ISSN 0386-586X

土木研究所彙報

TECHNICAL NOTE OF PUBLIC WORKS RESEARCH INSTITUTE

第 57 号

Vol. 57

MMZ計画策定の手引き（案）

Manual for Planning Marine Multi-purpose Zone (DRAFT)

平成4年3月

March 1992

建設省土木研究所

Published by

Public Works Research Institute, Ministry of Construction

Copyright © (1992) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は，土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって，本報告書の全部又は一部の転載，複製は，土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

土木研究所彙報
第57号 1992年3月

Technical Note of PWRI
Vol.57 March 1992

MMZ計画策定の手引き（案）

Manual for Planning Marine Multi-purpose Zone (DRAFT)

要　旨

本報告は、建設省総合技術開発プロジェクト「海洋利用空間の創成・利用技術の開発（昭和61年度～平成2年度）」の最終成果のうち、「MMZ計画策定の手引き(案)」を取りまとめたものである。外海に面した海域を静穏化することにより国土を保全すると伴に新たな多目的利用空間を創出するMMZ計画を対象として、調査計画手法、静穏海域を創出するために設置される海域制御構造物の設計、施工、維持管理の手法が記述されている。

キーワード：MMZ計画，手引き(案)，海域制御構造物

Synopsis:

The present report describes "Manual for Planning of Marine Malti-Purpose Zone" which were complied as a final in March in 1991 result of a comprehensive five years research project entitled "Development of Offshore Technology for Creation of Marine Multi-Purpose Zone" conducted in the Ministry of Construction from 1986 to 1990 fiscal year. It describes planning for the Marine Multi-Purpose Zone project by providing survey and planning method, method for design, construction and maintenance of offshore breakwater that create calm sea area.

Key Words: Marine Multi-Purpose Zone Project, Manual, Offshore Breakwater

はじめに

我が国は四方を海に囲まれた狭小な列島からなり、利用できる平地の面積は限られている。しかし周囲の海に目を向けると、200海里経済水域の広さは451万㎢と、陸地面積の38万㎢に比べ著しく広い。この広大な海域は漁業などの生産の場として、あるいは物質などの流通・交易の場として利用されてきている。将来においては、海洋の豊富な資源、エネルギー、および海洋空間の利用が期待されている。一方、列島が海と接する海岸線延長は約3.4万kmと長大であり、その沿岸域では、港湾、漁港、陸・海上交通、都市・生産基地の立地、農業など様々な利用が行われてきた。最近ではウォータフロントとして、あるいはレクリエーション利用の場として沿岸域が脚光を浴びつつあり、沿岸域のもつ意味はますます重要なものになると予想される。これらはとりもなおさず、海岸災害の克服と安全度の向上はもとより、沿岸域をめぐる情勢変化に対して的確な諸施策展開の必要性を意味するものである。

海がかけがえのない貴重な財産であり、人類に残されたニューフロンティアの1つであることから、国民が将来にわたって安全で快適な生活を営むことができるように、良好な自然環境を保全しつつ、海洋を含む沿岸域をあらゆる意味で有効かつ総合的に利用するとの基本認識に立つことが必要である。

マリーン・マルチ・ゾーン（MMZ）構想は、厳しい自然条件のために、従来あまり利用されていなかった外海に面した沿岸域で、海岸環境を保全するとともに、越波および侵食防止の国土保全機能をあわせ持った海域制御構造物を開発設置し、沿岸域に創成される多目的利用空間を高度に活用していこうとするものである。このような沿岸域を形成するための技術開発を行い、MMZ構想の実現を図るため、建設省総合技術開発プロジェクトにおいて、昭和61年度から5ケ年にわたり「海洋利用空間の創成・保全技術の開発」が実施された。本プロジェクトでは、建設省土木研究所、国土地理院が中心となり、民間企業15社が参加して研究開発が進められた。また、埼玉大学工学部の堀川清司教授を委員長とする「海洋利用空間の創成・保全技術の開発委員会」、その下に東京大学工学部渡辺晃教授を部会長とする「海域制御構造物の開発部会」と日本造園コンサルタント協会西沢成宣顧問（現日本公園緑地協会参与）を部会長とする「保全利用技術の開発部会」の2部会からなる委員会が設けられ、学識経験者、および建設省大臣官房技術調査室、河川局、都市局、㈱国土開発技術研究センターの担当者より研究計画および成果に関する御指導を頂きながら研究開発が進められた。

本プロジェクトでは、最終成果の1つとしてMMZ計画策定の手引き(案)を作成した。この手引きは、本報告にあるように総論および計画編、構造設計編、施工編、維持管理編より構成され、これまでの研究成果を取りまとめると共に、MMZ計画の基本的考え方、各種構造物の設計法や

施工法に関する事項が記載されている。これらの手引き(案)が今後広く活用され、MMZ計画の実現と良好な沿岸域の形成に寄与できれば幸いである。

終わりに、本手引き(案)の作成に当たり熱心に御指導、御協力頂いた、委員長、部会長をはじめとする委員の皆様、委員会および共同研究に携われた民間企業の関係者、大臣官房技術調査室、河川局海岸課、都市局公園緑地課、(財)国土開発技術研究センターの方々に厚く御礼申し上げる次第である。

平成4年3月

建設省土木研究所
所長　岩崎敏男

MMZ 計画策定の手引き（案）
目　　次

総　　論

第1章　総則 …… 3

第2章　適用範囲 …… 5

第3章　MMZ 計画における空間利用 …… 6

第4章　MMZ 計画のフロー …… 8

計　画　編

第1章　総則 …… 13

1.1　一般 …… 13

1.2　適用範囲 …… 13

1.3　関連法規 …… 14

第2章　MMZ 計画のために必要とされる調査 …… 17

2.1　空間利用計画のための調査 …… 17

2.1.1　自然条件調査 …… 17

2.1.2　社会条件調査 …… 21

2.2　海域制御構造物の設計に必要とされる調査 …… 23

2.2.1　波浪 …… 23

2.2.2　潮位 …… 26

2.2.3　流れおよび津波 …… 30

2.2.4　風 …… 31

2.2.5　海底地形・地質 …… 32

2.2.6　土質 …… 32

2.2.7　漂砂および洗掘 …… 34

2.2.8　地震 …… 36

2.2.9　生物付着 …… 38

2.3　環境アセスメントのための調査 …… 39

2.3.1　一般 …… 39

2.3.2　環境アセスメント関連の法規 …… 40

2.2.3　環境アセスメント実施項目および評価基準 …… 41

2.3.4　環境アセスメントの手法 …… 44
第3章　空間利用計画 …… 46
3.1　空間利用計画の前提 …… 46
3.2　空間利用のタイプ …… 47
3.3　空間利用計画の作成 …… 49
第4章　海域制御構造物の選定 …… 51
4.1　海域制御構造物の定義 …… 51
4.2　海域制御構造物の型式 …… 52
4.3　海域制御構造物の選定 …… 61
4.3.1　海域制御構造物の適用性 …… 61
4.3.2　海域制御構造物の選定 …… 64
第5章　海域制御構造物の機能設計 …… 85
5.1　機能設計の手順 …… 85
5.2　海域制御構造物の消波機能 …… 85
5.3　海域制御構造物の配置計画 …… 126
5.3.1　配置計画の考え方 …… 126
5.3.2　配置諸元の決定 …… 126
5.3.3　配置計画の検討手法 …… 161
参考文献 …… 162

計画編別冊「海洋性リゾート計画手法」

第1章　総説 …… 167
1.1　目的 …… 167
1.2　適用範囲 …… 167
1.3　わが国における海洋性リゾート …… 167
1.3.1　海洋性リゾートの概念 …… 167
1.3.2　海洋性リゾートの現状と問題点 …… 169
1.3.3　海洋性リゾートの今後の課題 …… 172
第2章　海洋性リゾートの考え方 …… 173
2.1　基本的な視点 …… 173
2.2　海洋性リゾートに必要な機能 …… 175
2.3　機能構成 …… 176
第3章　海洋性リゾート計画の手法 …… 178

3.1 基本的考え方 …… 178
3.2 海洋性リゾート計画の手順 …… 178
3.3 空間計画 …… 180
3.3.1 基本的考え方 …… 180
3.3.2 空間計画の手順 …… 180
3.3.3 土地利用計画 …… 181
3.3.4 空間構成計画 …… 183
3.3.5 景観構成計画 …… 199
3.4 緑化計画 …… 207
3.4.1 基本的考え方 …… 207
3.4.2 緑化計画の手順 …… 207
3.4.3 緑化計画 …… 208
3.5 施設計画 …… 238
3.5.1 基本的考え方 …… 238
3.5.2 主要施設の規模 …… 246
3.5.3 主要施設の立地条件 …… 254
第4章 あとがき …… 257
参考文献 …… 258

〔資料集〕
I 空間計画事例 …… 263
II 緑化技術 …… 273
III 緑化計画事例 …… 317
IV 海中生態系について …… 336
V 関連法規制 …… 342
VI 基礎データ …… 352
VII 緑化事例調査 …… 379

計画編別冊「海底地形・地質の面的調査手法」
第1章 総説 …… 421
1.1 目的および概説 …… 421
1.1.1 一般 …… 421
1.1.2 従来の調査手法 …… 421

1.1.3　海底地形・地質の面的調査手法 …… 424
1.2　適用範囲 …… 431
1.3　位置表示 …… 431
1.4　関係法令等の遵守 …… 431
1.5　配慮事項 …… 432
1.6　調査の成果 …… 432
第2章　事前調査および調査計画立案 …… 433
2.1　事前調査および資料収集 …… 433
2.2　調査計画立案 …… 434
2.2.1　調査地域および調査精度の決定 …… 434
2.2.2　調査時期 …… 435
2.2.3　調査手法の選択 …… 435
2.2.4　調査計画書の作成 …… 442
第3章　作業工程および管理等 …… 444
3.1　工程別作業区分および順序 …… 444
3.2　精度の管理等 …… 444
第4章　サイドスキャンソナーによる海底地形・地質調査 …… 445
4.1　要旨 …… 445
4.2　準備作業 …… 445
4.3　撮像条件および測線の設定 …… 446
4.3.1　撮像条件の設定 …… 446
4.3.2　測線の設定 …… 447
4.4　基準点測線 …… 450
4.5　潮位観測 …… 450
4.6　船位測定 …… 451
4.7　海底面音響映像調査 …… 452
4.8　音響測深 …… 453
4.9　底質調査 …… 454
4.10　分析・解析・図化作業 …… 454
第5章　空中写真による海底地形・地質調査 …… 461
5.1　要旨 …… 461
5.2　標定点の設置 …… 461
5.3　対空標識の設置 …… 462

5.4 空中写真撮影 …… 462
5.5 現地調査 …… 463
5.6 空中三角測量 …… 463
5.7 空中写真による図化 …… 464
5.8 空中写真による底質・地形の判読 …… 467
第6章 その他の手法による調査 …… 469
6.1 音響測深等による方法 …… 469
6.2 直接水準測量等による方法 …… 470
6.3 音波探査による方法 …… 471
第7章 調査成果の取りまとめ …… 473
7.1 図化編集作業 …… 473
7.2 調査報告書作成 …… 474

〔資料集〕（海底地形・地質の面的調査の事例等）
I はじめに …… 477
II 調査概要 …… 477
III サイドスキャンソナーによる調査 …… 478
IV 空中写真による調査 …… 491
V 調査成果の取りまとめ …… 502
VI 参考文献 …… 509

計画編別冊「波浪・流れ・水質・地形変化の予測手法」
第1章 総説 …… 515
第2章 波浪場の予測 …… 516
2.1 予測計算手法 …… 516
2.2 砕波条件と砕波変形 …… 519
2.3 数値計算の手法 …… 520
第3章 海浜流場の予測 …… 522
3.1 予測計算手法 …… 522
3.2 各項の算定式 …… 523
3.3 数値計算の手法 …… 524
第4章 水質に関する予測 …… 527
4.1 概説 …… 527

4.2 流れの計算方法 …… 527
4.3 水質変化の計算方法 …… 528
第5章 地形変化の予測 …… 531
5.1 予測計算手法 …… 531
5.2 沿岸漂砂推式 …… 534
5.3 数値計算の手法 …… 536
第6章 予測手法の適用例 …… 539
6.1 波浪、流れ、地形変化の予測 …… 539
6.2 水質変化の予測 …… 541
参考文献 …… 546

構造設計編

第1章 総則 …… 553
1.1 一般 …… 553
1.2 適用範囲 …… 553
1.3 用語の定義 …… 554
第2章 設計の基本 …… 560
2.1 設計の原則 …… 560
2.2 荷重の再現期間 …… 561
2.3 安全係数 …… 562
第3章 荷重および荷重の組合わせ …… 564
3.1 荷重 …… 564
3.1.1 荷重の種類 …… 564
3.1.2 死荷重 …… 564
3.1.3 波力 …… 565
3.1.4 静水圧および浮力 …… 571
3.1.5 地震の影響 …… 572
3.1.6 風荷重 …… 574
3.1.7 流れおよび津波による荷重 …… 575
3.1.8 衝突荷重 …… 576
3.1.9 施工時荷重 …… 577
3.2 荷重の組合わせ …… 577
3.2.1 終局限界状態照査用の荷重の組合わせ …… 577

3.2.2　使用限界状態調査用の荷重の組合わせ …… 579
3.2.3　疲労限界状態照査用の荷重の組合わせ …… 580
参考文献 …… 581
第4章　材料 …… 583
4.1　一般 …… 583
4.2　材料の強度 …… 583
4.3　材料定数 …… 584
4.4　防食 …… 584
4.4.1　防食設計の基本 …… 584
4.4.2　鋼構造部材の防食法 …… 586
4.4.3　コンクリート構造部材の防食法 …… 597
参考文献 …… 601
第5章　設計一般（共通事項） …… 602
5.1　設計の方針 …… 602
5.2　部材設計に関する一般事項 …… 604
5.2.1　鋼部材 …… 604
5.2.2　鉄筋コンクリート部材 …… 606
5.2.3　プレストレストコンクリート部材 …… 608
5.2.4　鉄骨鉄筋コンクリート部材 …… 609
5.3　基礎の安定計算に関する一般事項 …… 609
5.3.1　基礎の安定計算に関する基本方針 …… 609
5.3.2　設計上の地盤面 …… 611
5.3.3　設計のための地盤定数 …… 611
5.3.4　設計抵抗力 …… 612
5.3.5　設計反力および設計変位量 …… 616
第6章　各型式の構造設計 …… 617
6.1　有脚式構造物 …… 617
6.1.1　設計の基本方針 …… 617
6.1.2　連結ブロック式構造物 …… 632
6.1.3　H型スリット板ジャケット式構造物 …… 650
6.1.4　スリットケーソン式構造物（有脚式） …… 661
6.1.5　斜板ジャケット式構造物 …… 675
6.2　重力式構造物 …… 690

6.2.1 設計の基本方針 …… 690
6.2.2 斜板ケーソン式構造物 …… 698
6.2.3 中詰スリットセルラー式構造物 …… 718
6.2.4 並列Y字壁式構造物 …… 734
6.2.5 スリットケーソン式構造物（重力式） …… 748
6.3 鋼板セル式構造物 …… 753
6.4 捨石式構造物 …… 771
6.5 膜構造式構造物 …… 780
参考文献 …… 797

施 工 編

第1章 総則 …… 801
第2章 型式 …… 802
第3章 事前調査 …… 804
3.1 概説 …… 804
3.2 気象 …… 804
3.3 海象 …… 805
3.4 地形、土質 …… 808
3.5 施工環境条件の調査 …… 809
第4章 工程計画 …… 811
4.1 概要 …… 811
4.2 稼働率 …… 811
4.3 工程計画 …… 813
第5章 安全管理 …… 814
5.1 概説 …… 814
5.2 安全管理の基本 …… 814
5.3 安全管理組織の設置・運営 …… 816
5.4 災害事故防止対策 …… 817
5.5 緊急措置 …… 817
第6章 関連法規 …… 820
6.1 概説 …… 820
6.2 主要法規の概要 …… 820
6.3 工事許可申請の手続き …… 823

第７章　品質・出来形管理 …… 825
第８章　施工方法、仮設計画の共通事項 …… 826
8.1　杭打ち工 …… 826
8.2　捨石工 …… 827
8.3　鉄筋コンクリート工 …… 829
8.4　仮設計画 …… 830
第９章　連結ブロック式構造物の施工 …… 832
第10章　H型スリット板ジャケット式構造物の施工 …… 844
第11章　スリットケーソン式（有脚式）構造物の施工 …… 853
第12章　斜板ジャケット式構造物の施工 …… 863
第13章　斜板ケーソン式構造物の施工 …… 874
第14章　中詰めスリットセルラー式構造物の施工 …… 888
第15章　並列Y字壁式構造物の施工 …… 895
第16章　スリットケーソン式（重力式）構造物の施工 …… 905
第17章　鋼板セル式構造物の施工 …… 910
第18章　捨石式構造物の施工 …… 925
第19章　膜構造式構造物の施工 …… 932

維持管理編

第１章　総則 …… 943
1.1　一般 …… 943
1.2　適用範囲 …… 943
1.3　用語 …… 944
第２章　維持管理の基本方針 …… 945
2.1　維持管理の基本的な考え方 …… 945
2.2　鋼構造部材の維持管理 …… 947
2.3　コンクリート構造部材の維持管理 …… 948
2.4　ゴム・高分子系部材の維持管理 …… 949
2.5　付帯設備 …… 950
2.6　維持管理の記録 …… 951
第３章　鋼構造部材の維持管理 …… 952
3.1　一般 …… 952
3.2　鋼構造部材の点検 …… 952

3.3 鋼構造部材の健全度の判定 …… 958
3.4 鋼構造部材の補修 …… 960
第4章 コンクリート構造部材の維持管理 …… 963
4.1 一般 …… 963
4.2 コンクリート構造部材の点検 …… 963
4.3 コンクリート構造部材の健全度の判定 …… 967
4.4 コンクリート構造部材の補修 …… 968
第5章 ゴム・高分子系構造部材の維持管理 …… 971
5.1 一般 …… 971
5.2 ゴム・高分子系構造部材の点検 …… 971
5.3 ゴム・高分子系構造部材の補修 …… 974
第6章 捨石構造物の維持管理 …… 975
6.1 維持管理の基本 …… 975
6.2 捨石構造物の点検 …… 975
6.3 捨石構造物の補修 …… 975
第7章 生物付着 …… 977
7.1 一般 …… 977
7.2 生物付着促進技術 …… 979
7.3 生物付着防止技術 …… 980
7.4 付着生物除去技術 …… 980
第8章 付帯設備 …… 982
8.1 安全管理用設備 …… 982
8.2 点検補修用設備 …… 982
参考文献 …… 984
付 録 …… 989

MMZ計画策定の手引き(案)

総　論

MMZ計画策定の手引き（案）

第1章　総則

MMZ計画策定の手引き（案）は、MMZ（マリーン・マルチ・ゾーン）計画の策定に用いられるものである。MMZ計画とは、海域制御構造物により静穏海域を創出することにより海域の利用を促進するとともに、良好なウォーターフロント空間を形成し、さらに養浜等により新たな陸域を確保することで、沿岸域の良好な自然環境を維持しながら海域と陸域の空間を多目的かつ一体的に利用する一連の計画をいう。

〔解　説〕

(1) 一般

本手引きは、MMZ（マリーン・マルチ・ゾーン）計画の目的を確実に実現するとともに、計画の合理性、経済性を確保する上で考慮しなければならない基本事項を記したものである。

外洋に面した沿岸域では一般に海象条件が厳しく、海岸侵食や波浪等の脅威にさらされているため、その利用は従来極めて限られたものとなっていた。しかしながら海洋性レクリエーション需要の増大、親水空間の不足、沿岸部の土地・都市施設の不足等により、沿岸域に安全で快適な新しい空間を創出する必要性が高まっている。MMZ計画は、このような背景の下に生まれたものであり、その目的は次の5項目にまとめられる。

①国土保全

海象条件の厳しい沿岸域の波浪を海域制御構造物により弱め、広い静穏域を創出することにより海浜を安定化させ、背後地の安全度を向上させる。ただし、MMZ計画の実施により周辺海岸の防災に悪影響を生じないように十分な検討を行う必要がある。ここでいう海域制御構造物に関しては第4章で説明する。

②多目的利用の可能な静穏海域の創出

静穏化された海域空間において、海洋性レクリエーション利用が促進される。また、海域制御構造物の魚礁としての効果、あるいは静穏海域での魚介類の養殖等、水産面での有効利用が可能となる。このように多目的な利用が可能となる静穏海域が創出される。

③快適なウォーターフロント空間の創出

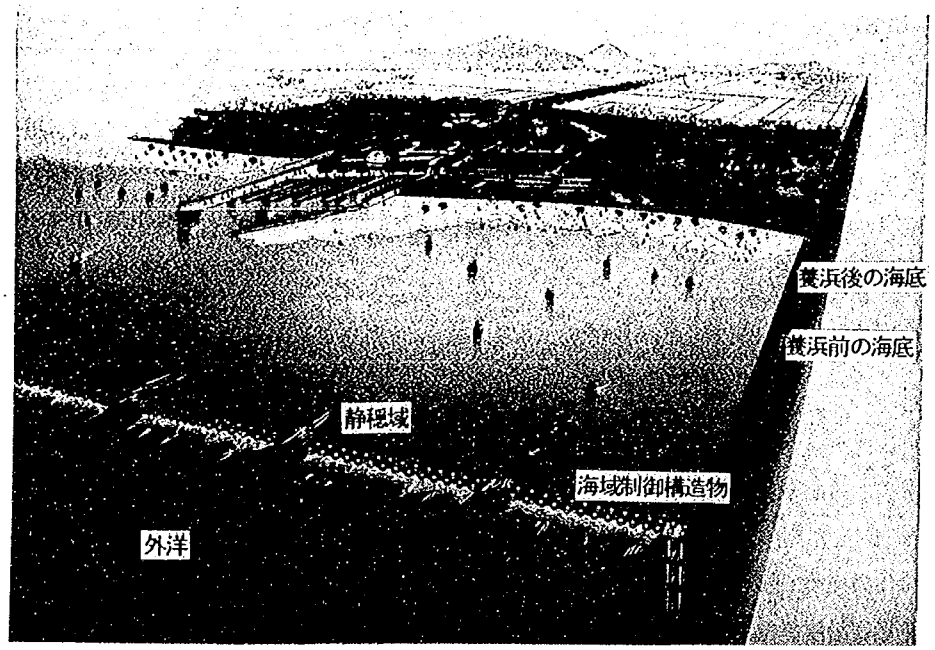
静穏海域と安定化された海浜により、快適なウォーターフロント空間が創出される。

④土地の有効利用

広い静穏海域が創出されることにより陸域の拡幅が可能となり、背後地の土地を新たに有効利用することが可能となる。

⑤良好な自然環境の維持

海域制御構造物は透過性であることにより、沿岸海域の水環境を悪化させることがなく、生態系あるいは景観上から見ても良好な自然環境を維持することが可能である。



図－1.1.1　MMZ計画のイメージ図

MMZ計画は以上に示すような目的のもとに実施される。MMZ計画の実施状況のイメージを図－1.1.1に示す。

(2)　沿岸域の環境の保全

MMZ計画では沿岸域の良好な環境を有効に利用して、海域および陸域の空間利用を図るものであり、沿岸域の環境を保全することはMMZ計画の前提となるものである。海域制御構造物は透過性であるため、水質を悪化させないように配置を検討すれば海水交換を阻害することはない。また、海域制御構造物は次のような環境の改善効果を有すると考えられる。

①海域制御構造物は、海域のもつ海水交換の機能を維持あるいは促進させる。

②海域の静穏化により、安定した砂浜海浜の維持、あるいは既に侵食された海浜の回復が可能となる。

これらに加えて、海域制御構造物は各消波型式ごとに特有の効果を有する。詳細は本手引き（案）計画編「4．2　海域制御構造物の型式」を参照されたい。

陸域の空間利用では、緑地の保全、緑化の促進等により、快適な自然環境を維持することが計画の前提となる。また、新たに造成される陸域や海浜を有効に利用することにより、既存の森林等を保存することが可能となる。

以上のようなMMZ計画特有の環境への配慮に加えて、周辺海岸や海底の地形変化、水質、大気、生態等への影響について、計画時に十分に検討しておく必要がある。環境アセスメントに関する詳細は本手引き（案）計画編「2．3　環境アセスメントのための調査」を参照されたい。

第2章　適用範囲

MMZ計画策定の手引き（案）は、MMZ計画に必要とされる調査、MMZ計画における陸域、海域の空間利用計画、海域制御構造物の計画・設計・施工・維持管理に係わる事項に適用される。

〔解　説〕

本手引き（案）は、MMZ計画における陸域、海域の空間利用計画、海域制御構造物の計画・設計・施工に係わる基本事項を記したものである。本手引き(案)は「総論および計画編」「構造設計編」「施工編」「維持管理編」により成り、各編には次の内容が記載されている。

①計画編

MMZ計画の策定に関する事項を取りまとめた編であり、陸域、海域の空間利用計画や海域制御構造物の計画に必要な事項が取りまとめられている。また、次の3つの別冊には調査、計画の具体的手法に関する詳細な事項がまとめられている。

・海洋性リゾート計画手法

・海底地形・地質の面的調査手法

・波浪、流れ、水質、地形変化の予測手法

②構造設計編

海域制御構造物の設計に必要な基準、手法等が取りまとめられている。また、海域制御構造物の耐久性向上に関する技術に関する事項も記載される。

③施工編

海域制御構造物の施工に必要な基準、手法等がとりまとめられている。

④維持管理編

海域制御構造物の維持管理、耐久性向上に必要な基準、手法等が取りまとめられている。

本手引き（案）のうち海域制御構造物の計画、設計、施工に係わる部分は、海岸保全施設築造基準（海岸保全施設連絡協議会，1985）、港湾の施設の技術上の基準・同解説改訂版（運輸省港湾局，1989ａ；1989ｂ）等の既往の指針・基準等も十分に参考として利用されるべきである。

第3章　MMZ計画における空間利用

MMZ計画における空間利用では、計画対象地域と周辺地域の自然条件、社会条件に配慮し、海域制御構造物の設置により創出される静穏海域とその後背陸域の空間を有効に活用しなければならない。

〔解　説〕

(1)　一般

MMZ計画における空間利用は、海域制御構造物の設置によって創出される静穏海域と後背陸域を対象として計画される。静穏化された海域は、海洋性レクリエーションや水産等の利用が可能である。後背陸域に関しては、海域の静穏化によりもたらされる防災安全度の向上、埋め立てや養浜による新たな陸域の造成、快適なウォーターフロント空間の創出等の効果により、沿岸域の特性を活かした新たな空間利用が可能になる。例えば、住宅地に代表される居住空間型、研究施設や先端技術工業を誘致する研究都市空間型、海洋性リゾート、海浜公園等のレクリエーション空間型等の空間利用を考えることができる。また、都市近郊の海岸では国土保全上必要な波浪の静穏化や海浜の安定化を実現させるとともに、都市に不足する教育、文化、社会福祉等の都市施設や商業業務、流通業務等に必要な空間を背後地に計画することも可能である。

MMZ計画における空間利用計画は、海域と陸域における多目的な利用の可能性を追求し、計画対象地域と周辺地域の自然条件、社会条件に適合した空間利用を図ることを目的とするものである。このため、計画作成に当っては、計画対象地域と周辺地域の自然条件、社会条件にふさわしい空間利用の目的を決定し、目的に適した調査を実施する必要がある。

MMZ計画の開発規模は、計画対象地およびその周辺地域の自然条件、社会条件により様々に変化する。したがって、陸域での開発規模は特に想定されるものではないが、多くの場合海域利用の観点から見て沖方向の距離にして数百m以上が想定される。また、海域制御構造物の構造上の観点から水深約20m以浅であることが必要とされる。

(2)　空間利用の目的と適地の選定

MMZ計画の立案に当っては、空間利用計画の目的と計画対象地が決定されなければならない。このとき、空間利用の目的が当初に決定され、目的に適合した自然条件、社会条件を持つ適地を選定する場合と、計画対象地が当初に決定され、当該地域の自然条件、社会条件にふさわしい空間利用を検討する場合とがある。いずれの場合であっても、自然条件から見た計画対象地域と空間利用との適合性、および周辺地域も含めた空間利用の社会的、経済的な有効性を判断して、空間利用の目的と適地を決定する必要がある。この際の判断基準となる条件は空間利用の目的により異なるが、一般的なものとしては以下の項目が考えられる。

○陸域　・開発需要の存在（周辺地域も含めた人口・産業構造および土地利用、交通条件等）
　　・開発に必要な土地の確保（地形・地質、植生、法的規制等）
　　・自然条件への適合（気象条件、海象条件、生態系等）

・周辺の土地利用との整合

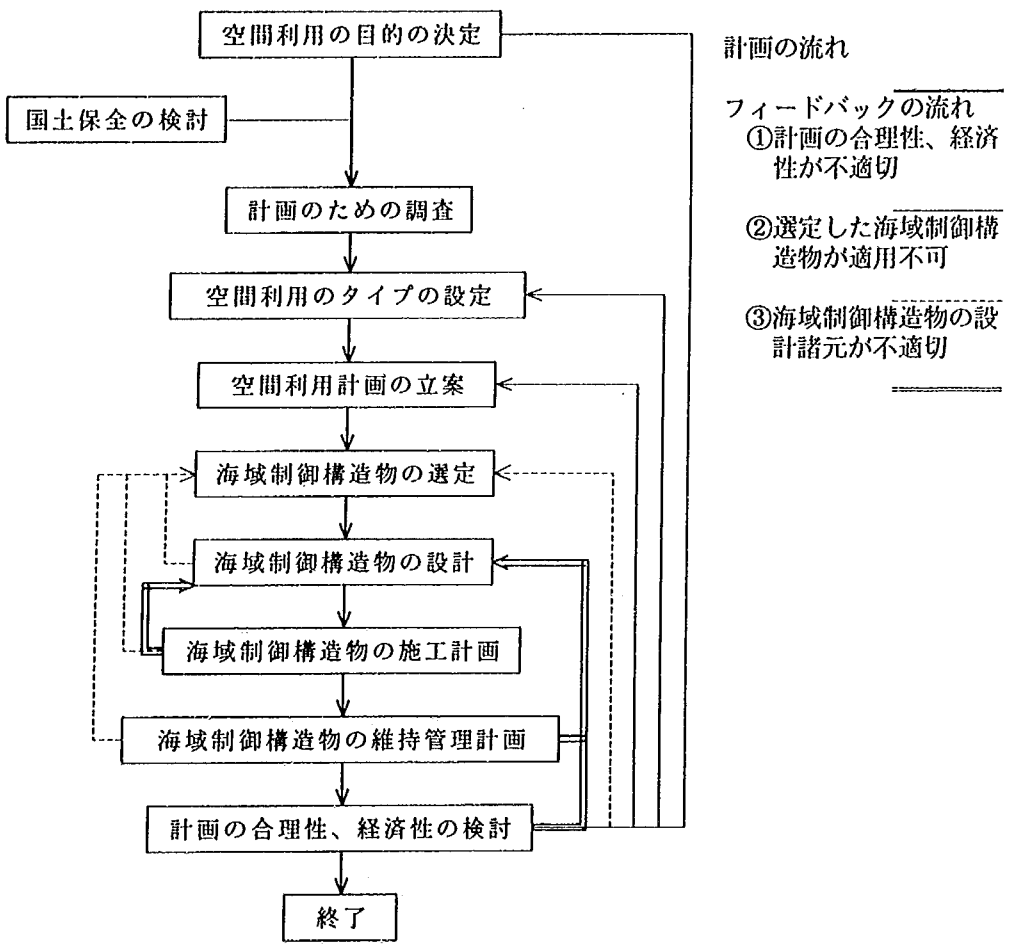
・上位計画との整合（国土計画、地方計画、都市計画等）

○海域　・海域制御構造物の建設可能性（海象および地盤条件）

・生態系、海運への影響

第4章　MMZ計画のフロー

MMZ計画は以下のフローに従って策定するものとする。



〔解　説〕

MMZ計画では、対象地域の開発・利用構想に基づいて海域および陸域の利用計画を合理的、経済的に策定する必要がある。そのためには、「総論および計画編」「構造設計編」「施工編」「維持管理編」からなる本手引き（案）を十分に活用しなければならない。「総論および計画論」により立案されたMMZ計画に基づき、海域制御構造物の構造設計、施工計画および維持管理計画が立案されるが、これらは相互に独立したものではない。「構造設計編」「施工編」「維持管理編」は計画への適合性、構造物建設の合理性・経済性等を考慮し、フィードバックを行いつつ利用されるべきである。場合によっては計画そのものの見直しも必要とされる。

MMZ計画のフローの各項目の内容は次の各編と主に関連する。

○国土保全……計画編

○計画のための調査……計画編

○空間利用計画……計画編

○海域制御構造物の選定……計画編

○海域制御構造物の設計……計画編（機能設計）、構造設計編（構造設計）

○海域制御構造物の施工計画……施工編

○海域制御構造物の維持管理計画……維持管理編

MMZ計画策定の手引き(案)

計　画　編

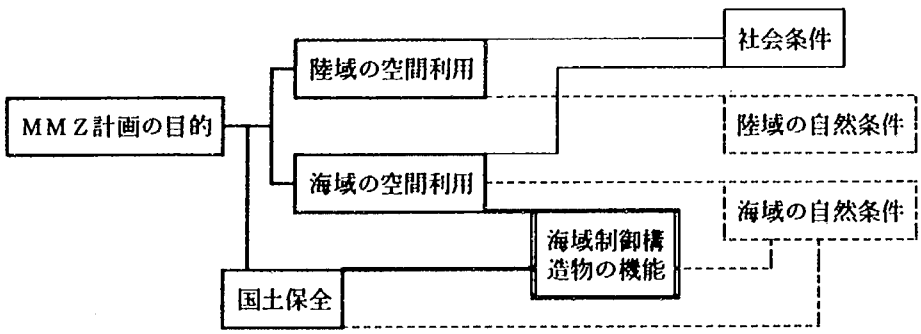
第1章　総則

1.1　一般

MMZ計画の策定に当っては、自然条件、社会条件等の十分な調査のもとに、海域および陸域における空間利用計画、および当該計画の達成に必要とされる海域制御構造物の計画を作成し、MMZ計画の目的が達成されるようにしなければならない。

〔解　説〕

MMZ計画は、計画対象とする陸域および海域において、当該海岸の自然条件、社会条件に適合する多目的な空間利用を図ることを目的とするものである。したがって、その計画策定に当っては計画対象地域と周辺地域の自然条件、社会条件を十分に調査しておく必要がある。MMZ計画の目的と社会条件、自然条件との関係を図－1.1.1に示す。与えられた自然条件・社会条件の下で、国土保全の点から見た当該海岸の安全性を検討し、さらに陸域と海域の空間利用計画を作成する。次に、これらの目的を実現するのに必要な海域制御構造物を選定し、選定された海域制御構造物の機能が計画に適するかを確認する。以上によって、MMZ計画の計画作成が終了する。



図－1.1.1　MMZ計画の目的と社会条件、自然条件の主な関係

1.2　適用範囲

MMZ計画策定の手引き（案）「計画編」は、MMZ計画の策定に当って必要とされる調査、MMZ計画における空間利用の計画および海域制御構造物の計画に係わる事項に適用されるものである。

〔解　説〕

本手引き（案）「計画編」にはMMZ計画の計画策定に関する事項が取りまとめられており、陸域、海域の空間利用計画、海域制御構造物の計画に必要な事項が取りまとめられている。また、調査計画の具体的手法に関する詳細事項は以下に示す本手引き（案）計画編別冊にとりまとめられている。

・「海洋性リゾート計画手法」……海洋性リゾートを目的とする場合の空間利用計画手法、緑化手法が取りまとめられている。

・「海底地形・地質の面的調査手法」……海底の地形および地質の面的な調査手法が取りまとめられている。

・「波浪、流れ、水質、地形変化の予測手法」…海域制御構造物の設置後の波浪場、海浜流場、水質および海浜地形の変化の予測手法が取りまとめられている。

1．3　関連法規

MMZ計画の策定に当っては、沿岸域の利用に関する様々な法規による制約を受けるため、これら関連法規に関する十分な検討が必要である。

〔解　説〕

沿岸域利用の計画を立案する際には様々な法規制について検討する必要があり、各種検討に際しては法規制の定める事項を十分に把握しなければならない。沿岸域に係わる法規の適用範囲は、沿岸域を陸域の一部としてとらえているもの、海域を対象としているもの、陸域と海域を一体的にとらえているものに分けられる。これらのうち「海」に関連を有する法規を図－1.3.1に示す（海洋産業研究会，1981）。さらに、陸域に関する法規を加え、各法規の主要目的あるいは主要規制対象に従い分類すると次のようになる。

①領海法

②利用計画に関連する法規

イ．一般法

国有財産法，国土総合開発法，国土利用計画法

ロ．漁業関連

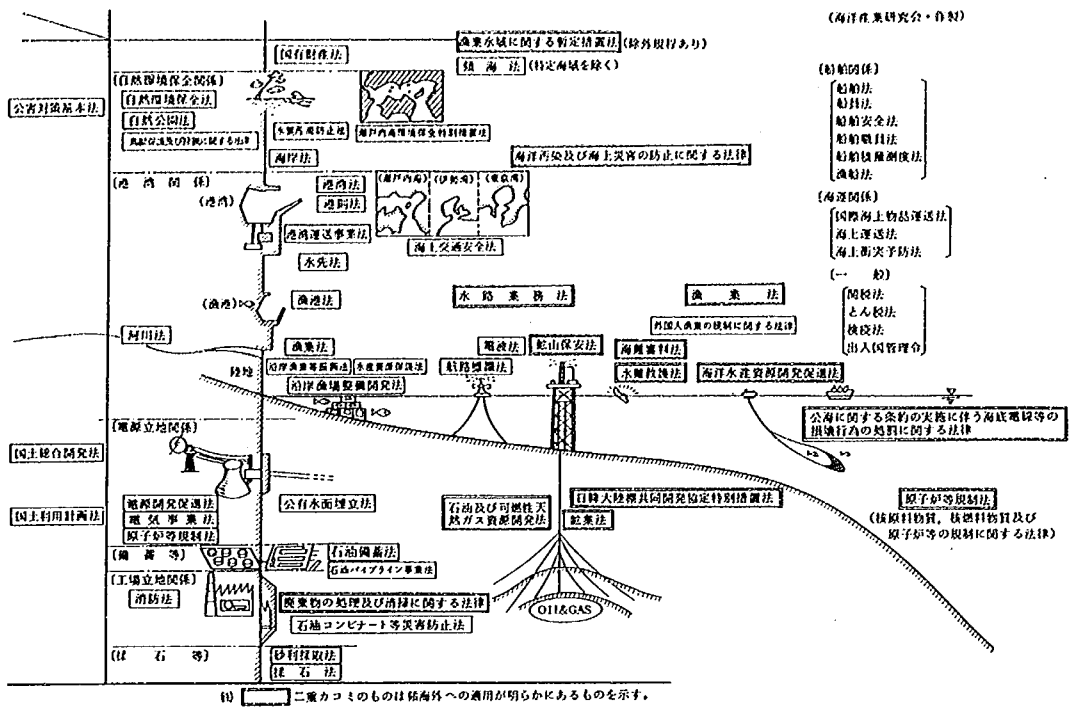
漁業法，水産資源保護法，漁業水域に関する暫定措置法，外国人漁業の規制に関する法律，海洋水産資源開発促進法，沿岸漁場整備開発法

ハ．鉱業関連

鉱業法，鉱山保安法，石油及び可燃性天然ガス資源開発法，採石法，砂利採取法，石油パイプライン事業法，石油備蓄法，日韓大陸棚共同開発協定特別措置法，等

ニ．運輸関連

海上運送法，海上交通安全法，海上衝突予防法，港則法，等



図－1.3.1　関連法規

ホ．公園関連

都市公園法，自然公園法

ヘ．埋立等土木事業関連

公有水面埋立法，港湾法，等

ト．土地利用関連

都市計画法，農業振興地域の整備に関する法律，農地法，森林法，自然公園法，自然環境保全法，都市緑地保全法，文化財保護法，等

チ．施設関連

建築基準法，駐車場法，道路法，下水道法，等

③環境保全に関連する法規

公害対策基本法，水質汚濁防止法，瀬戸内海環境保全特別措置法，廃棄物の処理及び清掃に関する法律，自然環境保全法，海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律，放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律，等

④管理に関連する法規

河川法，海岸法，港湾法，漁港法，等

⑤その他

船舶法，消防法，電波法，等

なお、一つの法規が複数の項目に該当する場合もあり、特に、環境ないし海洋の自然状態に変更をもたらす行為については、環境保全法、埋立事業関連法の項目に列挙された法規のほか、多数の法規により直接または間接に種々の規制を受ける。

第2章　MMZ計画のために必要とされる調査

2．1　空間利用計画のための調査

MMZ計画において空間利用計画を立案するに当っては、空間利用の目的に応じて、計画対象地域と周辺地域の自然条件、社会条件を調査しなければならない。

〔解　説〕

空間利用計画のための調査は、自然条件調査と社会条件調査に大別される。これらの調査項目、調査内容、調査手法は空間利用の目的と計画の精度によって異なるので、それらに応じた調査項目、調査内容、調査手法を選択する必要がある。本節では、一般的に必要と考えられる調査項目を以下に取り上げている。

2．1．1　自然条件調査

自然条件調査としては、空間利用計画の目的に照合し、以下に掲げる項目のうち必要な項目の調査を実施しなければならない。

(1)　気象
(2)　海象
(3)　地形・地質
(4)　土壌
(5)　自然災害の発生状況
(6)　水利・水文
(7)　植生
(8)　動物相
(9)　景観
(10)　その他

〔解　説〕

(1)　一般

計画対象地域の自然条件は、空間利用計画を立案する上での前提条件や制約条件となるものであり、十分に調査する必要がある。調査方法には、既存の資料調査や現地調査等の中から、空間利用計画の目的および調査項目に応じた方法を選択する必要がある。

(2)　気象

気象に関する調査項目は気温、風向・風速、降水量、積雪量、天気日数等である。これらの項目については、特に平年値の把握が必要である。各項目の観測データは全国各地の気象台で取得されており、「気象庁年報」「気象庁月報」（気象庁）や「理科年表」（東京天文台）に掲載されているほか、各地の気象

台で資料が入手できる。また、沿岸域の気温については、各都道府県の水産試験場が観測を行っている場合があるので、その資料を活用することもできる。

①気温

気温は、海洋性レクリエーションでは特に海水浴の強い制約条件となるほか、屋外レクリエーション等の活動にも影響する項目である。また、居住空間、特に別荘地等では冬季に温暖であることが有利な条件となる。

月別日平均気温、月別日最高・最低気温、時刻別月平均気温等の資料が気象統計等から得られるので、空間利用の目的に応じたデータを用いる。また、日最高気温≧30℃、≧25℃の日をそれぞれ真夏日、夏日といい、日最高気温＜0℃、日最低気温＜0℃の日をそれぞれ真冬日、冬日というが、これらの指標の月別日数は夏、冬の気候の特性をよく表すので有効な資料となる場合がある。

②風向・風速

風速は体感温度に関係するため海水浴、散策等の屋外活動の制約条件となる。また、ヨットやボードセーリング等風を直接利用する海洋性レクリエーションの活動を制約する条件でもある。外洋に面した沿岸域では海風の風速が大きな場合が多いので、風向・風速は防風・防砂林の配置、建築物の防風対策等、土地利用計画や建築計画においても考慮すべき項目である。

③降水量

空間利用計画において大規模な造成等を行う場合に排水計画の基礎となる資料である。排水計画の基準に基づいて過去の降雨量を調査する。この場合、気象統計のほかに「雨量年表」（建設省河川局）を利用することもできる。また、屋外でのレクリエーション活動等の計画においては、降水日数の把握が必要な場合がある。この場合には、降水日数および降水量階級別日数（日降水量が0.5mm以上、1.0mm以上、10mm以上、30mm以上あったそれぞれの日数）を気象統計等から得ることができる。

④積雪量

積雪の多い地域では雪害対策が必要であり、調査を要する。最深積雪および積雪階級別日数（最深積雪が10cm以上、20cm以上、50cm以上、100cm以上あったそれぞれの日数）は気象統計等から得ることができる。

⑤天候

計画対象地域の天候の特性を把握する際には、月別の日平均雲量階級別日数（日平均雲量が1.5未満（快晴）あるいは8.5以上（曇り）の日数）、不照日数（日照時間が0.1時間未満の日数）、雪日数、霧日数、雷日数、および夏日・真夏日・冬日・冬日の日数、降水日数、降水量階級別日数、積雪階級別日数等が適した指標となる。これらは気象統計等から得ることができる。

⑥雷

海上でのレクリエーション活動等では、雷による被害を生じる場合があるので、海域利用の計画等に当っては、雷の発生状況に関しても調査しておく必要がある。

(3) 海象

①波浪、潮汐

海域を利用する海洋性レクリエーションや、海浜の利用は波浪や潮汐により直接制約を受ける。したがって、年間の来襲波浪の変化や潮汐の変化等を把握しておく必要がある。これらの調査方法については、次節を参照されたい。

②水温

水温は、海水浴等の海洋レクリエーションの制約条件になるほか、水産利用にも関連する項目であり、気象条件と同様に平年値の把握が必要である。沿岸域における水温の観測は、気象庁、海上保安庁、都道府県水産試験場等で行われており、それぞれ「海洋資料観測資料」「気象要覧」（以上、気象庁）、「水路部観測報告海洋編」（海上保安庁水路部）、各水産試験場事業報告等に資料が掲載されている。

③水質

海水浴や水産利用では、法規により水質に関する基準が定められている。調査項目は「水質汚濁に係る環境基準について」（昭和46年12月28日・環告59）や日本環境衛生センターの基準に定められている。具体的には、水素イオン濃度（pH）、化学的酸素要求量（ＣＯＤ）、溶存酸素量（ＤＯ）、大腸菌群数、n－ヘキサン抽出物質等を調べる必要がある。水質資料としては「全国公共用水域水質年鑑」（環境庁水質保全局）、「日本河川水質年鑑」（建設省河川局）を利用することができる。

(4) 地形・地質

陸上の地形・地質は空間利用計画を立案する上での基礎資料となるものである。特に、急峻な地形では開発が不可能になる場合もあるため、陸上の開発規模を制約する条件となる。また、日照条件との関連も強いので、居住空間の計画や緑化計画等に当たっては詳細な調査が必要である。これらの調査方法としては、国土地理院発行の各種「地形図」「国土基本図」「土地条件図」「地質図」、国土庁の「土地分類基本調査図（地形分類図）」、その他の図面および空中写真等を利用するとともに、現地踏査、測量を実施することが望ましい。また、海底地形も海域利用にとって欠かすことのできない資料である。これらについては、国土地理院発行の「沿岸海域地形図」「沿岸海域土地条件図」、海上保安庁発行の「海図」「海の基本図」を利用することができる。また、地質資料は各種施設の建設等に必要であり、国土庁発行の「土地分類基本調査図（表層地質図）」等を利用することができる。詳細な資料を必要とする場合には、ボーリング調査、サウンディング、物理探査等を行う必要がある。

さらに、学術的価値の高い、あるいは天然記念物等の対象となる地形・地質については事前に調査し保護等の措置を講じる必要がある。これらの特殊な地形・地質については、「すぐれた自然図」（環境庁）、「文化財分布図」（都道府県、市町村教育委員会）等の資料を利用して調査するとともに、現地踏査を実施することが望ましい。

(5) 土壌

土壌は緑化計画の基礎資料となる項目であり、土壌断面、土壌の物理的・化学的特性を調査する。大規模な造成を行う場合には表土の保全を図る必要があり、この場合には利用可能土量を把握しておく必要がある。

(6) 自然災害の発生状況

計画対象地域の防災のために、台風、洪水、地震、地滑り等による陸上災害の発生状況や、高潮、津波

等の沿岸災害の発生状況を把握する必要がある。このうち、沿岸災害に関しては、海域制御構造物の設置による効果も考慮して検討する必要がある。

(7) 水利・水文

計画対象地域や周辺地域の水系を把握しておくことは、計画対象地域の排水系統の計画や周辺地域での利水への影響を検討するために必要である。主要河川の流量は「流量年表」（建設省河川局）により把握することができる。また地下水に関して、利用可能水量を把握するとともに、構造物の建設等により地下水脈を分断しないよう調査を行っておく必要がある。地下水に関しては、「地下水位観測施設調書」（農林水産省構造改善局）、「地下水位年表」（建設省河川局）、「観測井調査報告書」（通商産業省）等の資料よりその分布を把握できる場合がある。

(8) 植生

植物の分布は緑化の観点のみではなく、植物の種の構成によって土壌条件、日照条件、動物の生息環境等を判断することも可能であることから、計画対象地域の自然環境を把握する上で基本となる調査項目である。また、貴重な植物等保全の必要な植物群落等が存在する場合、開発の観点からは制限条件となるが、レクリエーション等の観点からは貴重な資源となることが考えられるので、十分な調査が必要である。

植生調査の結果は植生図として表現されるが、現在一般に使用される植生図は現存植生図と潜在自然植生図であり、現存植生図には植物社会学的方法によるものと相観によるものとがある。空間利用計画の目標によって適宜有効な方法を選択する。

全国的な植生調査は、2回の自然環境保全基礎調査（通称、「緑の国勢調査」）において実施されており、現存植生図が作成されている。さらに、貴重植物については「すぐれた自然図」「特定植物群落調査報告書」「動植物分布図」（環境庁）が作成されている。このほか「主要動植物地図」（文化庁）、「文化財分布図」（都道府県、市町村教育委員会）等を資料として利用することができる。空間利用の目的によっては、詳細な現地調査が必要な場合がある。

(9) 動物相

海鳥等の陸上の生物および海洋生物の生息状況と生息環境、貴重種の分布等が動物相の調査項目となる。特に貴重種については法律により保護されている種もあるので、特に詳細な調査が必要である。その生息状況は海域の水質や陸上の植生等と密接な関連を有するので、生息環境も十分に把握する必要がある。動物相の分布については、「すぐれた自然図」「動物分布調査報告書」「動植物分布図」（環境庁）、「主要動植物地図」（文化庁）、「文化財分布図」（都道府県、市町村教育委員会）のほか、鳥獣保護に関する資料等が活用できるが、詳細な資料が必要な場合には現地調査を行う。また、海洋生物に関しては既存の水産利用への影響と新たな水産利用の促進の観点から調査が必要である。

(10) 景観

新たな空間利用の景観的適合性を判断するための資料として、眺望点、ランドマーク等の景観構成要素の分布、計画対象地域の景観の特性等を調査する。

2．1．2　社会条件調査

社会条件調査としては、空間利用の目的に照合し、以下に掲げる項目のうち必要な項目の調査を実施しなければならない。

(1) 人口構造
(2) 産業構造
(3) 所得等の経済指標
(4) 土地利用
(5) 土地の所有区分および地価
(6) 建築物の状況
(7) 交通
(8) 観光
(9) 都市施設の整備状況
(10) 海岸保全施設の整備状況
(11) 規定計画
(12) その他

〔解　説〕

(1) 一般

計画対象地と周辺地域の社会条件は、空間利用計画の前提条件となるものであるが、自然条件に比べるとより広域な周辺地域を含めた調査が必要になる項目が多い。調査は統計資料等の既存の資料を用いる方法によることが多く、必要に応じて現地での実態調査や将来予測を行う。

(2) 人口構造

人口の総数および増減数（自然増減、社会増減に区分する必要もある）、人口の地域分布、人口密度、年齢層別人口、産業分類別常住地就業者数、産業分類別従業地就業者数、就業地別・職業別就業人口、世帯数、世帯の規模等が調査項目として挙げられる。これらの統計は「国勢調査」（総務庁統計局）や住民基本台帳から得ることができる。人口構造に関しては、空間利用計画の目的に応じて広域的な調査と時系列的な調査が必要になる。

(3) 産業構造

事業所数（産業分類別、従業員の規模別、形態別）、従業者数（産業分類別、形態別）、製造業出荷額（産業分類別）、商業販売額（産業分類別）、産業の立地動向等が産業構造の調査項目として挙げられる。これらの資料は「事業所統計」（総務庁統計局）、「工業統計調査」「商業統計調査」（以上、通商産業省調査統計部）等から得ることができる。産業構造に関しては、空間利用の目的に応じて広域的な調査と時系列的な調査が必要になる。

(4) 所得等の経済指標

経済指標に関しては所得水準、物価指数、消費動向等が調査項目として挙げられる。「国税庁統計年報」「県民所得統計年報」(経済企画庁経済研究所)、「消費者物価指数年報」「家計調査」(以上、総務庁統計局)や各都道府県の統計書、統計年報等を資料として利用できる。

(5) 土地利用

①土地利用現況

土地利用の地目別現況等を調査する。概況把握のためには、「土地利用図」(国土地理院)、「土地分類基本調査図(土地利用現況図)」(国土庁土地局)、航空写真等を利用できるが、地目別の土地利用の詳細な把握には、公図、土地課税台帳等の資料による調査と現地踏査による実態調査を併用することが望ましい。

②土地利用規制

法規による土地利用の規制は、開発規模等を決定する制約条件となるので十分な調査が必要である。「都市計画法」による区域区分、地域地区、「農業振興地域の整備に関する法律」による農業振興地域・農用地、「森林法」による保安林、「自然公園法」による国立公園・国定公園・都道府県立自然公園、「自然環境保全法」による原生自然環境保全地域、自然環境保全地域、都道府県立自然環境保全地域の指定状況のほか、「河川法」による河川区域、「海岸法」による海岸保全区域、「文化財保護法」による史跡名勝天然記念物、「鳥獣保護法」による鳥獣保護地区等の指定状況を調査する必要がある。

(6) 土地の所有区分および地価

用地取得に関連して調査が必要な項目である。土地の所有区分については、公図、土地課税台帳等の資料により調査する。地価については、公示地価及び周辺地域での取引価格等について調査を行う。

(7) 建築物の状況

建築物の用途、建築動態、住宅戸数、住宅規模等が調査項目として挙げられる。家屋課税台帳、「住宅統計調査」「国勢調査」(以上、総務庁統計局)、「建築着工統計」(建設省住宅局)等の統計資料を利用して、広域的、時系列的な調査を行う必要がある。

(8) 交通

交通量や交通施設の現況、および将来計画、周辺都市との時間距離等の調査を行う必要がある。調査は主に実態資料を利用して行う。交通量については全国道路交通情勢調査、パーソントリップ調査、自動車起終点調査、物資流動調査、自動車輸送統計等が参考になる。また、交通施設の現況及び将来計画の調査においては、交通容量を把握しておくことが重要である。

(9) 観光

観光は、特に海洋性リゾート等の計画に強く関連する項目である。入込数、観光資源・施設の分布状況等について調査を行う。入込数については各自治体において観光統計が整備されつつあるので、この資料を用いるのが最も簡便な方法である。ただし、調査方法が調査主体によって異なる場合があるので注意を要する。

(10) 都市施設の整備状況

都市施設の整備状況としては、供給処理施設、教育文化施設、社会福祉施設等の施設量、分布の現況等

について調査する。特に施設容量を把握しておくことが重要である。

(11) 海岸保全施設の整備状況

周辺海岸の保全と、計画対象地域の開発との整合を図るために、海岸保全施設の現況、海岸保全の長期計画等を調査する必要がある。

(12) 規定計画

全国総合開発計画から計画対象地が存する自治体の基本計画、総合計画まで様々の計画が調査対象となる。また、「多極分散型国土形成促進法」の規定による振興拠点地域基本構想、「地域産業の高度化に寄与する特定事業の集積の促進に関する法律」の規定による集積促進計画、「高度技術工業集積地域開発促進法」の規定による開発計画、「総合保養地域整備法」の規定による基本構想等、地域の振興を目的とした法律による開発計画等についても調査を行う必要がある。この場合、広域にわたる各種の開発計画における空間利用計画の位置付けと調整の観点から調査を実施する必要がある。

2．2　海域制御構造物の設計に必要とされる調査

2．2．1　波浪

(1) 当該海岸の波浪統計は、長期間にわたる実測値、長期間の気象データを用いた波浪推算、または近隣海岸の実測値に基づく推定値により求める。ただし、実測値の測定位置の選定に当っては当該海岸の地形、来襲波の特性を十分に考慮する必要がある。波浪統計に用いる波は、原則として有義波とする。

(2) 設計波を求めるための波浪統計は、設計上の各種限界状態に対応した波浪が求まるように、波向別の波高の確率分布として表わす。また、各波高の周期は波浪統計より求まる波高・周期の結合分布より決定する。

(3) 波高の確率分布は、実測値または推定値の単純統計処理、適切な分布関数を用いた予測等により求める。

〔解　説〕

(1) 一般

海の波は不規則な波形をしており、一般にはこれを統計処理した代表波として表示される。設計に用いられる代表波を以下に示す。

①最高波（H_{max}，T_{max}）

ある波群中で最大の波高を有する波をいう。

②1／10最大波（$H_{1/10}$，$T_{1/10}$）

ある波群中で波高の大きい波から数えて全体の波数の1／10の数の波を選びだし、それらの波の波高および周期の平均値に等しい波高、周期を有する波をいう。

③有義波（$H_{1/3}$，$T_{1/3}$）

ある波群中で波高の大きい波から数えて全体の波数の1／3の数の波を選びだし、それらの波の波高および周期の平均値に等しい波高、周期を有する波をいう。

④平均波（$\overline{H}$、$\overline{T}$）

ある波群中に含まれる全ての波の波高および周期の平均値に等しい波高、周期を有する波をいう。

波群中の波高分布にレーリー分布を当てはめると、各代表波の波高には次のような関係がある。

$$H_{1/10}=1.27\overline{H} \quad , \quad H_{1/3}=2.03\overline{H} \quad , \quad H_{1/3}=1.60\overline{H} \qquad (2.1)$$

この関係は、現地データによっても確認されてる。また、最高波に関しては、他の代表波との関係を定式化することは原理的に不可能であるが、一般には

$$H_{max}=(1.6\sim2.0)\,H_{1/3} \qquad (2.2)$$

の関係が用いられる（合田，1984）。

波浪の極値統計には、原則として有義波を用いるものとする。波浪統計に用いる実測資料は相当長期間（10ヵ年以上）あることが望ましい。ただし、異常波浪の発生状況を調べると、数年間に集中して発生している例や、長期的な変動を示す例などが見られるので、使用する資料の期間には十分な注意が必要である。また、実測資料が不足している場合には、以下の資料を補足利用する。

①おおむね30ヵ年以上の気象資料を用いて得られた推算値を実測資料で補正したもの。

②天気図等の気象資料を用いた波浪推算により作成した長期間の推算資料。

気象資料から求めた推算値を実測資料で補正する場合、実測資料は最低3ヵ年以上のものであって、かつ異常波浪時のデータを相当数含むことが必要である。ただし、数十年に1回起こるような異常気象時の波が観測され、それが推算値を上回る場合には、その観測値を用いて設計沖波を決めてもよい。気象資料による推算期間以外（例えばそれ以前の年代）の時期において、特に異常な記録がある場合は、それについても考慮する必要がある。また、自然条件（海底地形、気象条件、海象条件）の似通った隣接海岸での実測資料および推算値がある場合には、当該海岸と良い相関がある場合に限りその資料を参考にしてもよい。

a） 波向

波浪統計資料を作成する場合の波向は、構造物に最も大きな影響を与えるものをとるものとする。一般に、構造物に直角方向から来襲する波が最も大きな影響を与えることが多い。ただし、湾内の場合、遮蔽物がある場合などでは、外洋の方向、卓越風向などによって必ずしも直角方向から来襲する波が最大の影響を与えるとは限らないので注意する必要がある。

b） 実測地点の水深

実測値の利用に当っては、測定位置の水深と来襲波の波浪条件の関係に注意する必要がある。例えば、実測資料から得た有義波の波高が実測地点の水深の0.5倍以上になっている場合には、このデータは砕波の影響を受けていると考えられるので、沖波の諸元に換算して利用する必要がある。

c） 常時波浪

常時の波浪分布特性は、波向別に波高・周期の相関度数分布として表わしておくと、利用面、環境面の検討等に便利である。波高、周期については観測データが利用できる場合が多いので、これを使用するこ

とを標準とする。観測データが利用できない場合は推算によるものとするが、常時の波浪は局地風の影響を受けることが多いので、局地的な風特性を十分把握する必要がある。波向については一般に観測データが少ないので、推算によることを標準とするが、うねりの影響について十分考慮する必要がある。

(2) 異常波浪の極値統計

ある一つの気象条件において波が発達し、減衰する過程において波高が最大となる時の波を極大波（一般に有義波として求められる）という。サンプリングされた極大波は統計的に互いに独立と考えられる。確率波高の推定に当たっては、対象期間中において極大波高がある設定値以上のデータの時系列を使う場合と、各年ごとに極大波高の最大値を求めておいて毎年の最大極大波のデータを使う場合がある。いずれの場合にも、確率波高を与える理論分布関数は求められていないので、二重指数（グンベル）分布、ワイブル分布、その他の分布関数を当てはめ、データに最も適合する関数形を見出し、その推定関数を当てはめ種々の再現期間（例えば50年，100年など）に対する確率波高を推定する。分布関数の選定法については建設省河川局海岸課・建設省土木研究所（1976；1977；1978）、合田（1988）、合田・小舟（1989）等を参考にするとよい。なお、こうした推定値の精度は統計処理の方法よりも使用したデータの精度に支配されるものであるから、極大波のデータを波浪推算によって作成する場合には、適切な推算法の選択および推算結果の十分な吟味を怠ってはならない。また、十分な期間を有する実測資料が揃わない場合が多いので、一般には実測資料と推算資料とを併用する必要がある。

設計に用いる波浪の生起確率は設計目的ごとに異なるので、構造物の設置目的、安定性との関係より設計目的ごとの生起確率を定める必要がある。機能設計、構造設計に関する生起確率の設定法については本編「第5章　海域制御構造物の機能設計」および本手引き（案）「構造設計編」を参照されたい。

(3) 極大波高の再現期間の算出

極大波高の再現期間を算出する確立された手法は今のところないが、現状では多くの場合、二重指数（グンベル）分布、ワイブル分布等の分布関数を用いて、極大波高の未超過確率を求めることにより再現期間を算出している。二重指数（グンベル）分布、ワイブル分布を用いた場合の未超過確率は次式で与えられる。

$$P[H<\chi_{m,n}] = 1 - \frac{m-\alpha}{N+\beta} \qquad (2.3)$$

ここに、P：未超過確率、$\chi_{m,n}$：N個の極値中でm番目に大きな波高、α，β：分布関数のパラメーター、である。α，βの値は表−2.2.1で与えられる（土木学会，1985a参照）。分布関数の当てはめ法は水理公式集例題集(土木学会，1985b)を参照されたい。未超過確率分布が得られた場合には、再現期間R_p（年）は次式で求まる。

$$R_p = \frac{K}{N} \cdot \frac{1}{1-P[H\leq\chi]} \qquad (2.4)$$

ここに、K：資料の有効継続期間（年）である。この結果から求まる再現期間を用いて、機能設計に必要となる計画波や、構造設計に必要となる各種限界状態に対応した設計波高を求めることができる。

表－2.2.1　極大波高の未超過確率計算のためのパラメーター

分布関数	α	β
二重指数分布	0.44	0.12
ワイブル分布（k＝0.75）	0.54	0.64
〃（k＝0.85）	0.51	0.59
〃（k＝1.00）	0.48	0.53
〃（k＝1.10）	0.46	0.50
〃（k＝1.25）	0.44	0.47
〃（k＝1.50）	0.42	0.42
〃（k＝2.00）	0.39	0.37

※　k：形状母数

(4)　波高周期の結合分布

確率波高に対応する周期は、確率波高の推定資料である極大波のデータについて波高と周期の関係をプロットし、その相関関係を考慮して決定するものとする。

(5)　換算沖波

換算沖波波高は、沖波に波の屈折、回折など平面的な地形変化の効果を補正することにより、うちあげ高、越波等に関する実験結果を利用できるようにする仮想的な波高であり、有義波高で表わされる。換算沖波の算定には、原則として微小振幅波理論を用い、必要に応じて波の有限振幅性、不規則性を考慮するものとする。設計対象地点の換算沖波波高は次式で与えられる。

$$H_0' = K_d K_r H_0 \qquad (2.5)$$

ここに、H_0'：換算沖波波高、H_0：沖波波高、K_r：対象地点の屈折係数、K_d：対象地点の回折係数である。

2.2.2　潮位

設計に用いる潮位は、潮汐による天文潮、高潮、セイシュ、副振動等により定まる偏差の和より求める。偏差は、高潮、セイシュ、副振動等の発生頻度、継続時間等を考慮して決定する。

〔解　説〕

(1)　一般

潮位は波浪場、流れの場、構造物に作用する荷重等を決定する基本となるものであり、設計目的に応じて決定する必要がある。潮位の変動は種々の要因で生じるので、構造物設置海域の特性に応じて各要因を検討する必要がある。これらの要因としては、天文現象によって海域ごとに定まる潮汐、気象擾乱による高潮、湾内等で生じるセイシュ、副振動等がある。潮汐による天文潮、高潮、セイシュ、副振動等により定まる偏差は、既に海域ごとに定められている場合が多いので、それらを参考に設計に用いる潮位を決定

することができる。ただし、設計目的ごとに用いる潮位が異なるので注意しなければならない。

(2) 潮汐

潮汐は太陽や月の天文現象に基づく規則的な水位変動で、通常1日2回、場所と時期によっては1日1回の昇降を繰返す。1日2回潮のとき周期は平均12時間25分であり、1日1回潮の周期は24時50分である。海域制御構造物の設計に際して、潮汐変動まで考慮するのは海水交換を予測する場合等に限られ、一般には潮汐変動の極値である代表潮位が用いられる。潮位差は朔（新月）および望（満月）の1～3日後に最も大きくなり、これを大潮という。また、上・下弦の1～3日後には最も小さくなり、これを小潮という。1年のうちでは春・秋分前後の潮位差が最大である。潮位は種々の状況に応じて次のように定義される。

①計画高潮位（H. H. W. L. ）

当該海岸で生じる計画上の最高潮位。一般に朔望平均満潮位に偏差を加えて求められる。

②平均潮位（M. S. L. ）

ある期間中（実用上は1カ年）の潮位を平均した潮位である。

③朔望平均満潮位（H. W. L. ）、朔望平均干潮位（L. W. L. ）

我が国において慣用的に用いられている潮位で、朔および望の日から5日以内に現われる各月の最高（低）潮位を平均した潮位である。

④大潮平均高潮面（H. W. O. S. T. ）、大潮平均低潮面（L. W. O. S. T. ）

大潮時の高潮あるいは低潮を長期間にわたり平均した潮位である。

⑤小潮平均高潮面（H. W. O. N. T. ）、小潮平均低潮面（L. W. O. N. T. ）

小潮時の高潮あるいは低潮を長期間にわたり平均した潮位である。

各潮位は一般に東京湾平均海面（T. P. ）を基準として設定される。潮位の基準面には検潮記録の読み取り基準面（O. D. L. ）、各地域で習慣的に用いられているO. P. 、Y. P. 等の基準があるのでとり違えないように留意する必要がある。

(3) 偏差

a）気象潮

気象潮とは、高気圧あるいは低気圧の通過に伴う気圧変動や風などの気象に起因する潮位の変動のことをいう。したがって、気象変化に富んだ我が国では常時生じている。このうち台風や熱帯低気圧の通過によって生ずる異常潮位を高潮と呼ぶ。その原因は気圧低下による潮位上昇、それを原因とする長波変形としての潮位変動、風の吹き寄せによる水位上昇などがある。これらの結果定まる最大気象潮は、気圧降下量による静的な海面上昇量ζ_sと風の吹き寄せによる上昇量ζ_wとの和として次式で求めることができる。

$$\zeta = \zeta_s + \zeta_w = a\,(p_0 - p) + b\,W^2\cos\theta + c \qquad (2.6)$$

ここに、ζ；最大偏差（気象潮）（cm）、p_0；基準気圧（一般に、$p_0 = 1013$mb）、p；最低気圧（mb）、W；最大風速（m/sec）、θ；風向と湾の主軸方向とのなす角、である。また、a、b、cは各地点ごとに定まる定数であり、表－2.2.2のように求められている。

表－2.2.2　偏差の係数

地名	a	b	主風向	統計期間	資料個数	地名	a	b	主風向	統計期間	資料個数
稚内	0.516	0.149	WNW	'60～'68	38**	大阪	2.167	0.181	S.6.3E	'29～'53	28
網走	1.296	0.036	N W	'61～'68	29**	神戸	2.330	0.114	S31.2W	'26～'54	31
花咲	1.12	0.02	S E	'70～'79	38***	洲本	2.281	0.026	S S E	'50～'60	10
釧路	1.316	0.016	S W	'54～'68	33***	宇野	4.109	-0.167	E S E	'50～'60	8
函館	1.262	0.023	S	'55～'68	35**	呉	3.730	0.026	E	'51～'56	4
八戸	1.429	0.015	E N E	'57～'60	7	松山	4.303	-0.082	S S E	'50～'56	7
宮古	1.193	0.012	N N W	'58～'60	6	高松	3.184,	0.000	S E	'50～'56	9
鮎川	1.346	0.020	S E	'45～'59	9	小松島	1.720	0.019	S E	'50～'60	10
銚子	0.622	0.056	S S W	'51～'59	6	高知	2.385	0.033	S S E		8
布良	1.935	0.012	S W	'57～'60	7	土佐清水	1.428	0.022	S	'50～'67	10
東京	1.059	0.138	S7.0'E	'44～'60	13	宇和島	2.330	-0.012	S S E	'50～'56	7
伊東	1.128	0.005	N E	'51～'66	30	油津	1.005	0.036	S E		6
内浦	1.439	0.024	S W	'51～'66	29	鹿児島	1.234	0.056	S S E		6
清水港	1.350	0.016	E N E	'51～'66	36	枕崎	0.973	0.040	S		4
御前崎	1.324	0.024	N E	'51～'66	18	三角	1.185	0.154	S S W		11
舞阪	2.256	0.080	S	'51～'66	29	女神	1.175	0.054	W S W		6
名古屋	1.674	0.165	S S E	'52～'55	11	富江	1.094	0.027	S E		6
鳥羽	1.825	0.001	E S E	'50～'59	7	下関	1.231	0.033	E S E		10
浦神	2.284	0.025	S E	'50～'61	6	浜田	1.17	0.027	N N W	'50～'59	5
串本	1.490	0.036	S	'50～'60	10	境	0.48	0.021	E N E	'50～'59	6
下津	2.000	0.022	S S W	'34～'60	13	宮津	1.43	-0.014	N E	'50～'59	14
和歌山	2.608	0.003	S S W	'30～'60	12						
淡輪	2.552	0.004	S S W	'53～'60	8						

c　：浜田（c＝-12.9），境（c＝15.4），宮津（c＝-4.8）を除きc＝0
*　：＋20cm以上の資料を使用
**　：＋30cm以上の資料を使用
***：＋35cm以上の資料を使用

b）セイシュ、副振動

周囲の閉じられた湖水や入口の狭い湾等では、気象低下等の外力により生じた水位変動をきっかけとして湖や湾の代表長さで定まる波長を有する振動が生じる。これがセイシュである。また、湾の一端が外海に通じている場合に、外海の長周期の水位変動に励起されて湾内に現れる振動を副振動という。副振動としては、外海からの長周期のうねりなどの来襲によって湾内に強制振動がひき起こされるケースが多い。このため、副振動の周期は来襲波の周期に支配され、また湾の形状に固有な振動周期に対応した共振を起こす場合が多い。したがって、当該海域の固有振動周期を知ることが必要である。湾等の単純な形状に対応する固有振動周期および振幅増幅率は、理論計算でこれを求めることができるが、実際の湾等の地形、境界条件などは非常に複雑であるため、実測によって求めることが望ましい。

(4)　設計目的ごとの対象潮位

a）機能設計

機能設計に用いる潮位は、海岸保全（高潮対策、海浜の安定化）、静穏海域の利用等の目的ごとに定める必要がある。機能設計に用いる潮位は波浪計算に必要とされるので、各目的の対象波浪との同時生起を考慮した潮位を統計的に算定することが望ましい。しかし、統計処理に十分な資料がない場合が多いので、以下のような方法で決定しても良い。

①高潮対策

高潮対策の場合には、「海岸保全施設築造基準」に準じて設計高潮位を用いれば良い。設計高潮位の決定法は、既往の最高潮位、あるいは（朔望平均満潮面＋既往の最大潮位偏差）のいずれかが用いられる。

既往の最大潮位偏差は必ずしも実測値に限らず、既往の大型台風等の気象資料より推算される偏差を採用してもよい。また、東京湾、伊勢湾、大阪湾など重大な被害が予想される地域においては、最大潮位偏差あるいは高潮を数値計算によって検討する方法がとられる。また、朔望平均満潮面に既往の最大偏差を加えた値が過大と考えられる場合には、過去の資料に基づき両者の同時生起確率を考慮して設計高潮位を補正できる。

②海浜の安定化

海浜の安定化を検討する場合の潮位には、原則として平均潮位（M. S. L. ）を用いる。ただし、暴浪時の沖向漂砂の検討や養浜断面の検討の際には、朔望平均満潮位（H. W. L. ）が用いられる。

③静穏海域の利用

平均潮位（M. S. L. ）を用いることを原則とする。

以上のほか、海浜流場や海水交換等の検討に当っては、平均潮位を用いることを原則とする。

b）構造設計

構造設計に用いる潮位は、特に波力算定の場合に重要となる。このとき、潮位は設計に採用される各限界状態に応じて定める必要がある。波力は構造物直前で砕波が生じる場合に最大となる。したがって、潮位が高いほど波力が大きいとは限らない。海域制御構造物は、一般に水深10m程度の海域に設置されることを考えると、来襲波浪の波高があまり高くない海岸では潮位が高いほど波力が低下することも考えられる。そこで、終局限界状態の荷重対象となる波浪と潮位との関係より、次のように潮位を決定するものとした。まず、対象波浪との同時生起を考慮して潮位を算定する。この潮位条件で対象波浪が構造物より沖合で砕波する場合には、この潮位を採用する。対象波浪が非砕波で構造物に作用する場合には、この潮位以下の範囲で構造物にとって最も危険となる潮位を採用する。使用限界状態と疲労限界状態に関しては、対象波浪の生起確率から合理的に求まる潮位を採用するものとする。

機能設計と同様に、各限界状態の対象波浪との同時生起を考慮した潮位を統計的に算定するには十分な資料がない場合が多く、以下のような方法で潮位を決定しても良い。

①終局限界状態の場合

設計高潮位（H. H. W. L. ）を基準とし、この潮位以下で波力が最大となる潮位を用いる。

②使用限界状態、疲労限界状態の場合

平均潮位（M. S. L. ）を用いる。

2．2．3　流れおよび津波

(1) 設計に用いる流れには、潮流、海浜流等を考慮するものとする。

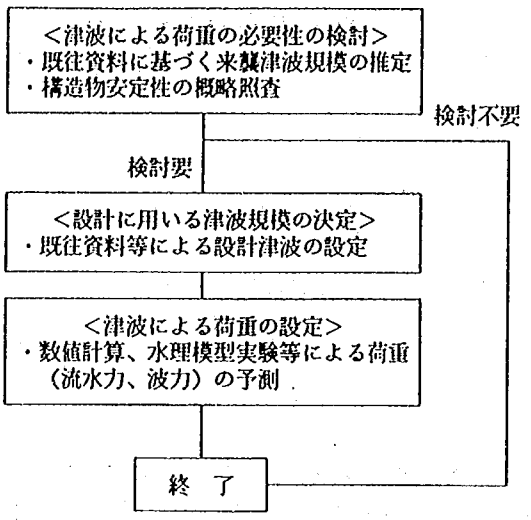
(2) 津波の来襲による海域制御構造物の被災が予想される海岸においては、設計に津波を考慮する必要がある。

〔解　説〕

海域制御構造物の機能設計に当っては、当該海域の潮流、海浜流等を考慮して、海域の利用、海水交換等に関する構造物の配置を検討する必要がある。また、構造設計に当たっては、流水力の検討が必要である。海岸近くの潮流や海浜流は局所的な変化が大きい場合があるので、既存の資料を収集するとともに、現地調査等による把握が必要である。

津波は、我が国沿岸に多大な被害を及ぼしてきたが、その生起確率は不明な部分が多い。しかし、一度巨大な津波が来襲すると構造物に多大な被害を及ぼす場合がある。設計に当っては津波の流体力が主に問題となるので、本編では流れの1項目として取り上げることとした。ただし、1983年の日本海中部地震津波のような段波性の津波では、津波波力が問題となる場合もあるので注意を要する。

海岸に来襲する津波は、海岸線の形状、当該海岸の地形等に強く影響を受ける。そのため、1つの津波であっても地域によって来襲波高は大きく異なることがある。例えば、直線的で延長の長い海岸線を有する海岸では、海に向かってV字型に開いた湾奥の海岸より津波の波高は一般に低くなる。また、津波の波源に関しても、波源位置のわずかな違いにより沿岸での来襲波高の分布が大きく変わることがある。日本全体で見ると津波の波源域はある程度特定されるが、局所的な波源位置の特定は困難である。以上のことから、海域制御構造物の設計荷重として津波を採用するか、採用する場合の規模をどのように決定するかは、各海岸ごとに個別に検討する必要がある。設計に用いる津波は、既往の津波記録を基にした実績よりその規模を設定し、当該海岸の位置・地形、設置水深等を考慮して数値計算、水理模型実験により決定する。津波に関する調査フローを図－2.2.1に示す。



図－2.2.1 津波の調査フロー

2．2．4 風

設計に当っては当該海域の風向・風速等を把握する必要がある。風の資料には、長期間にわたる観測値、推算値に適切な統計処理を行ったものを用いる。

〔解 説〕

(1) 一般

風は構造設計における風荷重として設計に必要である。没水型あるいは低天端型の構造物では風の効果を無視することができる。風向、風速の記録は、気象庁により取得されているので、比較的容易に各地区の特徴を知ることができる。ただし、これらの記録は一般に地上からの高さ10m付近の記録であり、当該海域の風向、風速の特性を推測する場合には、観測地点と構造物設置海域の差異を確かめ補正する必要がある。

(2) 設計風速

我が国では、海上における長期観測記録が非常に少ないので、次に示す各種の資料を総合的に検討して設計風速を設定する必要がある。

①設置海域に近い沿岸の気象台の長期観測資料から得られた再現期待値

②地形因子による重回帰分析などを用いて近隣気象台の観測値より推定された設置海域沿岸の再現期待値

③地域別モデル台風から推定される再現期待値

④近接する気象台の観測結果と設置海域の観測結果との相関、あるいは地形模型を用いた風洞実験から得られる気象台と設置海域との関係

「海洋建築物構造設計指針（固定式）・同解説」（建築学会，1987）では、参考となる再現期間50年の

風速を陸上の気象官署における風速から算出した全国マップを作成している。また、「海洋鋼構造物設計指針（案）」（土木学会，1973）では再現期間50年の海面上10mにおける10分間平均風速としての標準値を示している。

2．2．5　海底地形・地質

設計に当っては、海域制御構造物の設置海域およびその周辺の海底地形・地質を把握しなければならない。

〔解　説〕

海底地形・地質は、海域制御構造物の機能設計、構造設計、波浪、流れ、漂砂、地形変化の予測等の基礎となるものである。したがって、海域制御構造物の設置海域およびその周辺の海底地形を把握することが、計画設計の第一歩となる。海底地形・地質の資料には次のものをそろえる必要がある。

①設置海域の深浅資料

波や流れによる砂の移動や、構造物の設置に伴う地形変化が生じると考えられる水深以浅の海底地形ならびにその経年変化を把握する。一般には、外海域で水深20～30m、内海域で水深10～20m以浅の海底地形を把握する必要がある。

②海底地形図

建設省国土地理院、海上保安庁水路部の発行している海底地形図等により、設置海域周辺の広域な海底地形を把握する。

③海底地質図

基盤が露出する地域においては岩種、堆積物が分布する地域においては粒度特性や堆積厚さ等を把握する。

④汀線形状

設置海域を含む一連の海岸において、過去の航空写真、地形図等により、汀線の変化状況を把握しておく必要がある。

海底地形、地質の詳細な調査手法に関しては、本手引き（案）計画編別冊「海底地形・地質の面的調査手法」を参照されたい。

2．2．6　土質

設計に用いる土質条件は、原則として土質調査、土質試験を行って決定するものとする。また、土質調査には構造物の種類、規模、重要度、付近の土質性状を考慮して、設計目的に最も適合した調査法を選択するものとする。

〔解　説〕

(1) 一般

設計に必要な土質条件とは、支持層の深さ、軟弱層の厚さや地盤の成層状態、硬さ、締固め特性、せん断特性、圧密特性、透水性および地下水位（残留水位）などである。これらの土質条件を決定するための土質調査は、構造物の規模、重要度および工種などを考慮して、調査範囲、調査方法など調査目的に最も適合したものを選択する必要がある。その調査目的別の調査方法と、それから得られる土質情報の内容を表－2.2.3に示す。基礎の設計に関する調査の詳細は「道路橋示法書・同解説下部構造編」（日本道路協会，1990）を参照されたい。また、土質試験は、JISあるいは土質工学会の規定による試験方法によらなければならない。

表－2.2.3　調査目的別の調査方法

調査目的	調　査　方　法	調査内容
成層状態確認	ボーリング サウンディング 物理探査	基盤深度 軟弱層厚 層　序
支　持　力	乱さないサンプリング サウンディング 現場試験	一軸圧縮強さ せん断強さ せん断抵抗角 相対密度
斜面安定		
土　　圧		
繰返しせん断強さ		
圧密特性	乱さないサンプリング	圧密係数 体積圧縮係数
透　水　性	乱さないサンプリング 現場試験	透水係数
締固め特性	乱したサンプリングでも可 現場試験	最大乾燥密度 最適含水比 ＣＢＲ
分類特性	乱さないサンプリング （γ_t以外は構造的な乱れ可）	単位体積重量 含水比 土粒子比重 粒土 コンシステンシー

(2) 調査法の種類

a）既存資料の収集解析

ボーリング資料、地下水位変動記録、付近構造物の破壊、沈下の記録などを検討する。

b）地質、地形などの現地踏査

c）物理的探査（弾性波、電気抵抗など）

広範囲の地域の成層状態、地下水位などの調査に用いられるが、必ずボーリング資料により土質や深度

を確認し対比しなければならない。

d）ボーリング（サンプリングを含む）

概略調査、精密調査、工程管理の目的に使用される確実な方法で、粘性土に対しては、乱さない試料を採取して必要な土質試験を行う。

ボーリング法、サンプリング方法が適当でなかったり、これらの技術が不良であると採取試料の乱れの程度が著しくなるので、乱さない試料の採取には十分な注意が必要である。砂質土に対しては、乱さない試料の採取が困難なので、標準貫入試験、そのほかのサウンディング、および原位置試験を行う。必要な場合には、サンドサンプリングにより原位置の間隙比を求め、採取試料により必要な条件において種々の間隙比に対応した試験を行い、原位置の砂の工学的性質を推定することも可能である。

e）サウンディング

サウンディングは、概略調査、支持層深度の測定、地盤の成層状況が既知の場合の強度測定、乱さない試料の採取が困難な場合の強度測定および工程管理などに対して使用される。ただし、設計の精度が要求される場合は、現場の土の採取試料について考え得る種々の条件で必要な土質試験を行い、サウンディング結果との関連性を十分に検討しなければならない。

f）原位置試験

くい基礎などの計算に必要な横方向地盤反力係数Kh値の測定、ラジオアイソトープ（RI）による原位置密度測定などである。

(3) 波による過剰間隙水圧の発生

海底地盤の土質条件によっては、波による水圧変動に伴い地盤中に過剰間隙水圧を生じることがある。また、有脚式の構造物等では構造物の振動が海底地盤に歪を与え、その結果生ずる過剰間隙水圧は有効応力の低下をもたらし、円弧滑り、液状化、地盤支持力の低下等をもたらす (Ishihara and Yamazaki,1984；大草，1984；善，1985；酒井ほか，1990参照)。したがって、構造物の安定性の照査に当っては、設置海底地盤の過剰間隙水圧の発生条件を必要に応じて調査する。

2．2．7　漂砂および洗掘

設計に用いる漂砂は、底質、波、流れ等の資料をもとに、卓越方向、移動量の分布等を検討して決定する。

〔解　説〕

(1) 一般

海浜における底質は波や流れにより常に移動している。この海浜における底質の移動現象あるいは移動物質を漂砂という。なお風による砂の移動現象、あるいは移動物質を飛砂というが、漂砂を広義に解釈して飛砂も漂砂の中に含めて定義する場合がある。

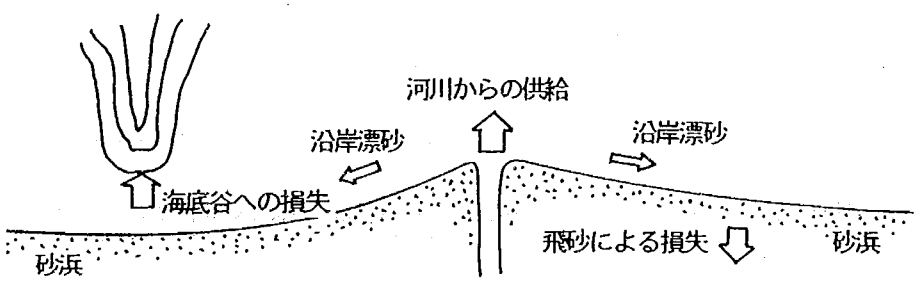
漂砂は、その移動方向から汀線に直角方向成分の漂砂（岸沖漂砂）および汀線に沿う方向成分の漂砂

（沿岸漂砂）とに分けて取り扱われる。沿岸漂砂は、海域制御構造物周辺に長期的な変形を生じさせるので十分な調査が必要となる。また、海域制御構造物が沿岸漂砂の移動域より浅い位置にあると、構造物沖合でも沿岸漂砂による地形変化を生じる。したがって、構造物の配置に当っては、漂砂の卓越方向や移動範囲を把握する必要がある。また、高波浪による沖向漂砂を生じる海岸では、配置計画に当って沖向漂砂の制御等を考慮する必要がある。

構造物の設置に伴い生じる構造物周辺海底の洗掘は、構造物の安定性や周辺海域への影響を与えるので、事前に十分な検討が必要である。

(2) 漂砂の連続性

海浜の安定は一連の土砂の流れの存在下（図－2.2.2）で検討する必要がある。この土砂の流れのバランスを漂砂の連続性と呼ぶ。海岸侵食のほとんどは、漂砂の連続性が破壊されることにより生じている。海域制御構造物は広範な海域を静穏化するために、漂砂の連続性を破壊すると計画対象海岸はもちろん、周辺海岸にも多大な影響を与える可能性がある。そのため、当該海岸全体の漂砂の流れ（供給、損失、移動量）を把握して、海域制御構造物の配置計画や、補助構造物の計画を作成する必要がある。



図－2.2.2　土砂収支

(3) 漂砂の移動限界水深

海域制御構造物の設置水深、海浜安定化の計画等を検討する際には、波による底質の移動限界水深を知る必要がある。移動限界水深の定義にはいくつかのものがある。佐藤・田中は、海底の表層の砂が集団的に掃流される場合の限界を表層移動、水深変化が明瞭に現われるほどに顕著な移動を示す場合を完全移動として移動限界水深を定義し、その算定図を示している（佐藤・田中，1962)。また、宇多（1990）は表層移動限界水深を用いて、沿岸漂砂により地形変化の生じる限界水深を定める手法を示している。

(4) 洗掘

洗掘により海底面の地盤高が低下すると、一般に構造物の安定性は悪化する。したがって、構造設計に際しては、洗掘深を見込んだ地盤高を用いて構造解析が行われる。そのため、設計時に洗掘深を求めておく必要がある。洗掘の事例をまとめて表－2.2.4に示す。海洋構造物の洗掘に関する研究は多くあるものの（橋本ほか，1980；入江ほか，1984；河田・土屋，1985；水口ほか，1985；勝井・東江，1990；宇多ほか，1991)、現在のところ洗掘深を一般的に算定する手法はない。また、構造物の型式によっても洗掘機

構が異なるので、洗掘機構の概要を構造物の型式ごとに示す図--2.2.3などを参考にして、十分な検討を行う必要がある。

表－2.2.4　洗掘深の調査事例

場所	構造物	洗掘位置の部材	洗掘位置初期水深	洗掘深	備考
茨城県阿字ヶ浦海岸	桟橋	直径0.6mの鋼杭 沿岸方向3.0m間、岸沖方向2.6m間隔の４本	約３ｍ	約１ｍ	堀田ほか (1976)
North California	桟橋	直径0.9mの鋼杭 沿岸方向4.6m間隔2本	約６ｍ	２～３ｍ	CERC(1989)
駿河湾	鋼製ジャケット	直径の鋼管杭 ３×３本、 計９本の群杭	７．５ｍ	１．８ｍ	宇多ほか (1988)
駿河湾	新型離岸堤	鋼管の群杭とプレキャストブロックの組合せ 直径1.8m/本	７ｍ	１．８ｍ	宇多ほか (1988)

2.2.8　地震

設計に用いる地震は、隣接地域の実測資料、過去の文献・資料等に基づく調査により決定する。

〔解　説〕

(1)　一般

海域制御構造物に関する耐震性の検討項目には次のものがあり、これらの検討に必要となる地震資料を、隣接地域の実測資料、過去の文献・資料等に基づき調査する必要がある。

①構造物全体の安定性

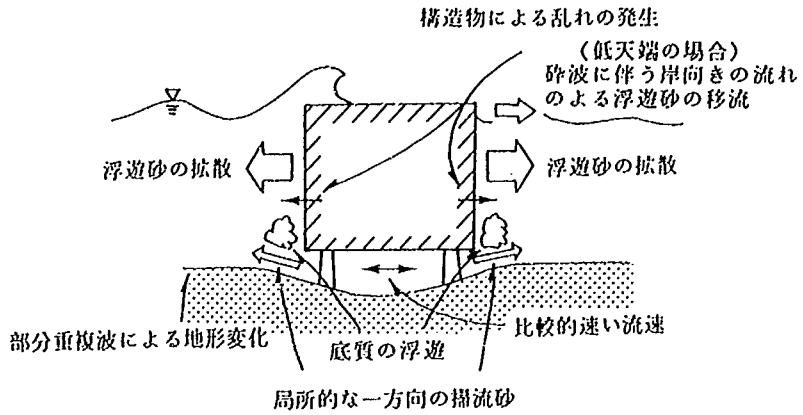
②構造物の部材応力

③基礎地盤のすべりに対する安定性

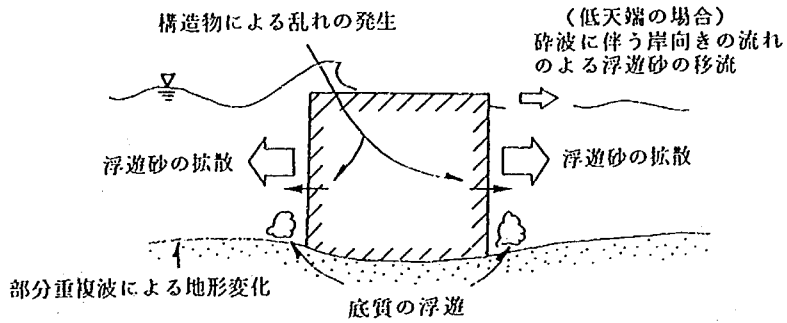
④砂質土からなる基礎地盤の液状化現象による影響

従来の海岸構造物に関しては、地震動の卓越振動周期に比べ構造物の固有振動周期が短いとみなして、耐震設計には震度法が適用されることが多い。震度法では、構造物の質量に比例する地震力が作用するものとし、その比例係数を重力加速度で除した値を震度とする。すなわち、地震力は構造物の重量に震度を乗じたものとなる。震度法とは、この地震力が常時荷重のように静的に構造物の中心に作用するとみなす設計法である。震度法における設計震度は、各地で定められている地域別、地盤種別に構造物の重要度を考慮して定める方法が一般的である。

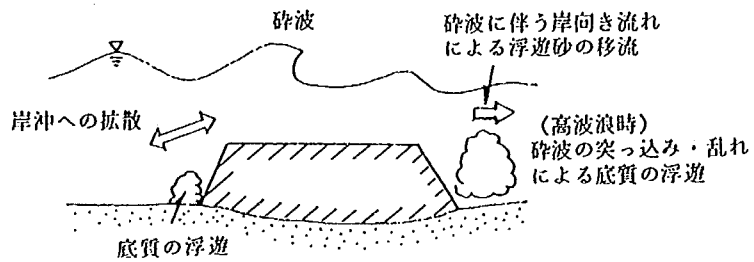
a）有脚式スリットの構造物



b）脚のないスリット式の構造物



c）潜堤式の構造物



図－2.2.3　洗掘機構模式図

震度法を用いる場合には地盤種別をあらかじめ調査しておく必要がある。調査項目としては、地層の厚さ、平均せん断弾性波速度、N値等である。詳細に関しては道路橋示法書・同解説V耐震設計編（日本道路協会，1990）等の文献を参照されたい。

(2)　液状化

ゆるく詰まった飽和砂質土は、地震動を受けると間隙水圧が上昇し、砂の粒子間のかみ合わせがはずれて液状になる。このような現象を液状化といい、液状化した地盤は支持力を失って、構造物の破壊の原因となることが多い。

液状化の判定方法には、N値、砂の粒度特性等を用いた簡易予測手法と、振動剪断試験による予測法とがある。一般には、N値等による簡易予測手法によって液状化の予測を行うが、特に重要な構造物については振動剪断試験による方法を併用することが望ましい（日本道路協会，1990参照）。

2．2．9　生物付着

生物付着は海域制御構造物の機能変化、安全性への影響、あるいは構造物周辺の生態変化をもたらす可能性があるので、設計に際して考慮する必要がある。

〔解　説〕

海洋構造物には、フジツボ、ムラサキイガイ等の生物が付着することが多い。生物付着は微小量であれば特に問題はないが、場合によっては20cmもの厚さにまで付着することもある。このような場合には、消波機能の変化、部材あるいは堤体の安全性への影響を生じることが考えられる。スリットを有する構造物では、生物が付着してスリット間隔が狭くなると、透過率の低下、反射率の増加、波力の増加等の変化を生じることが考えられる。また、部材によっては付着生物による防食塗装への影響等、耐久性の面で問題を生じることもある。一方、付着生物の効果としては、付着生物が集魚効果等を発揮して構造物周辺の生態変化をもたらす可能性を挙げることができる。生物付着の実態に関しては不明な点が多く、現状では付着生物の予測は難しい。したがって、海域制御構造物の計画に際しては設置海域および近隣海域における事例を十分に調査し、必要に応じて設計に考慮するか、維持管理による除去等を計画しなければならない（本手引き（案）「維持管理編」参照）。参考として、いくつかの生物付着事例を表－2.2.5に示す。

表－2.2.5　付着生物厚さの実測例

設置海域	水深 (m)	構造体	材料	経過年 (年)	水面下の深さ (m)	付着厚 (cm)	備考
<日本海> 山形由良沖	40	浮標燈	鋼	1	0 1.0 1.2 2.0 4.0 6.0 7.0	1 5 7 5 6 5 3	伊藤・梶原 (1984)
<日本海> 留萌沖	7	ｼﾞｬｹｯﾄ柱	鋼	?	0 1 5	0.5 1 1	青木・伊藤 (1987)
<太平洋> 鹿島港	21	群杭	ｺﾝｸﾘｰﾄ	10以上	1 2 4 7 9 10 12 18 20	10 17 26 28 20 10 16 18 16	伊藤・梶原 (1985a)
<相模湾> 平塚沖	21	ｼﾞｬｹｯﾄ柱	鋼	17	0 4 6 7 10 16 18 20	5 11 15 16 14 12 9 5	伊藤・梶原 (1985b)
同上	同上	同上	同上	21	0 1 2 4 6 7 16 20	7 8 13 9 11 5 4 1	青木・伊藤 (1987)
<駿河湾> 大井川沖	9	ｼﾞｬｹｯﾄ柱	鋼	5	0 2 4 6 8	10 12 9 6 4	片脇・西島 (1990)
同上	同上	ｺﾝｸﾘｰﾄ板ｽﾘｯﾄ供試体	ｺﾝｸﾘｰﾄ	1.3	2	20	
同上	同上	ｽﾘｯﾄ式離岸堤	ｺﾝｸﾘｰﾄ	1～3	0～4	9	

※付着厚さは測定値のうち大きな値を選定してある。

2.3　環境アセスメントのための調査

2.3.1　一般

MMZ計画の策定に当っては、陸域および海域の環境に与える影響を事前に予測するための、環境アセスメントを実施する必要がある。

〔解　説〕

MMZ計画では陸域の広域な開発、海域の埋め立て、海域制御構造物の建設等、陸域および海域の環境に

少なからず影響を与えることが考えられる。このため、計画の策定に当っては環境アセスメント（環境影響評価）を実施する必要がある。環境アセスメントのための調査の目的は、空間利用計画や海域制御構造物の配置計画を立案する際に、環境へ配慮する条件に関する事前の情報を得ることにある。なお、ここではMMZ計画の実施に伴う自然環境への影響を対象とし、社会環境に関しては空間利用計画の中で配慮するものとした。水質、大気、生態等に関する環境アセスメントの手法については、海洋工事技術委員会（1984）、港湾環境アセスメント手法の開発ワーキンググループ（1978）等の文献を参考にするとよい。また、海域制御構造物の設置や海浜での構造物の建設は、周辺の海底、海岸地形に影響を及ぼすことがある。特に、延長の長い海岸線の一部を開発対象とする場合には、周辺海岸に著しい侵食、堆積を生じる恐れがあるので、周辺海岸の保全等に関する十分な検討が必要とされる。

調査は、①MMZ計画実施に関連する法規の把握、②環境アセスメントの実施項目の抽出およびそれらの評価基準の決定、③現況の調査手法の整理、④環境アセスメントの手法の検討、⑤計画完了後の追跡調査、の順に行うことを原則とする。

2．3．2　環境アセスメント関連の法規

MMZ計画における環境アセスメントは、関連する法規の示す評価項目、基準に従って実施する必要がある。

〔解　説〕

MMZ計画の実施に関連すると考えられる法令、規制等は第1章に示した通りである。MMZ計画における環境アセスメントは、開発地域および周辺の自然環境との調和を図ることを目的とし、これらの法規に定められている評価項目、基準にしたがって実施する必要がある。関連法規のうち、特に自然環境に関する法規の内容を以下に示す（通商産業省立地公害局，1987）。

a）　自然環境保全法

自然環境の保全の基本理念と自然環境の保全に関し基本となる事項を定めるとともに、自然公園法その他の自然環境の保全を目的とする法律と相まって、自然環境の適性な保全を総合的に推進し、もって現在および将来の国民の健康で文化的な生活の確保に寄与することを目的とする。自然環境の保全対象地域内での建築物その他工作物の新設、改築、増築、土地の形質の変更、土石の採取あるいは水面の埋立、干拓等の行為および海中特別地区での上記行為と物の係留等の行為については、環境庁長官の許可を必要とする。

b）　自然公園法

自然の風景地を保護するとともに、その利用の増進を図り、国民の保健、休養および教化に資することを目的とする。対象地域内での工作物の新築、改築、増築、木材伐採、鉱物採掘、土石採取、河川・湖沼

等の水量の増減をきたす行為等、特別保護地区内での上記行為および木竹植栽、家畜放牧行為および海中公園地区内での上記と同様な行為とともに、広告等の掲出、設置、熱帯魚、さんご、海藻等の動植物の採捕、海面埋立、干拓、海底の形状変更、物の係留、汚水、排水の排水設備を設けての排出行為は、国立公園にあっては環境庁長官、国定公園にあっては都道府県知事の認可を必要とする。

c） 海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律

船舶、海洋施設等から海洋に油、有害物質等を排出することおよび焼却することを規制し、海洋の汚染および海上災害を防止し、あわせて海洋の汚染の防止に関する国際協約の適確な実施を確保し、もって海洋環境の保全並びに国民の生命、身体および財産の保護に資することを目的とする。工事船の運搬、稼働時に生じる水質汚濁物質（油の流出等）の発生、また浚渫、捨石、根固め、基礎工による濁り（SS）の発生、底質の撹乱等を規制する。

d） 水質汚濁防止法

工場および事業場から公共用水域に排出される水の水質を規制することによって公共用水域の水質の汚濁の防止を図り、国民の健康を保護するとともに生活環境を保全し、被害が生じた場合の損害賠償の責任について定めることにより、被害者の保護を図ることを目的とする。

e） 水産資源保護法

水産資源の保護培養を図り、その効果を将来にわたって維持することにより、漁業の発展に寄与することを目的とする。保護水面の区域内で埋め立て、浚渫工事、水路や河川の流量もしくは水位の変更をきたす工事等をしようとする場合、保護水面管理者の許可が必要となる。

f） 海洋水産資源開発促進法

沿岸海域における水産動植物の増殖および養殖を計画的に推進するための措置を定め、海洋水産資源の開発と利用の合理化を促進し、もって漁業の健全な発展と水産物の供給の安定に資することを目的とする。海底の掘削、工作物の措置等の開発計画により指定海域の水産資源に支障を及ぼす場合には都道府県知事に届出が必要であり、都道府県知事は漁場保全の観点からの勧告をすることができる。

2．3．3　環境アセスメント実施項目および評価基準

MMZ計画における環境アセスメントは、工事中および計画完了後に関して、適切な項目について実施し、適切な評価基準による照査を行う必要がある。

〔解　説〕

(1) 一般

MMZ計画における環境アセスメントは、陸域の開発工事および海域制御構造物の建設中、並びに計画完了後の環境変化に関して実施する必要がある。そこで、MMZ計画の実施段階（工事中、開発終了後）ごとに、環境アセスメントの実施対象項目となる環境要因およびその評価基準に関連する法規を整理して表－2.2.6に示す。

表－2.2.6　MMZ計画の実施と環境要因、関連法令等との関係

検討段階	環境要因等		関連法令等
計画完了後	開発地の利用 海域制御構造物による海象条件変化 等	流況 水質 地形 大気 海洋生物 陸上生物 自然景観	公害対策基本法 漁業関連法制度 自然公園法 自然環境保全法 公有水面埋立法 河川法 海岸法　等
工事中	施工機械・船舶、運送車両の稼動 等	水質汚濁物質（油、濁り等） 陸上交通 船舶の航行 漁業 海洋生物 陸上生物 大気 騒音、振動	公害対策基本法 海洋汚染及び海上災害の防止… 水質汚濁防止法 海運関連法制度 漁業関連法制度 大気汚染防止法 騒音規制法　等
	埋め立て、浚渫 海域での構造物設置工事 等	ＳＳ 底質 有害物質 漁業 海洋生物	公害対策基本法 海洋汚染及び海上災害の防止… 水質汚濁防止法 漁業関連法制度等

(2)　実施項目

MMZ計画の実施段階は大きく工事中と計画完了後とに分けられる。工事中では、施工機械・船舶、運送車両等の稼働、埋め立て、浚渫、海域での構造物設置工事等が環境への影響要因と考えられる。一方、計画完了後では、陸域からの排水による海域の水質の変化、海域制御構造物による流況、水質、生態、船舶の航行等への影響のような海域での環境変化が主な対象項目となる。これらの項目を整理し、環境アセスメントの対象となる実施項目を物理化学的項目と生物的項目とに分類した。詳細に関しては、小倉・半谷（1985）、日本水産資源保護協会（1972）、吉田（1983）等の文献を参照されたい。

a）物理化学的項目

海域制御構造物は波浪制御を目的とすることから、周辺海岸での波浪、海岸付近の流れに影響を与える場合がある。また、波浪や海浜流の変化は地形変化とも関連する。これらのことから、物理的項目としては、波浪、海岸付近の流れ、地形変化を挙げることができる。このうち地形変化に関しては、当該計画が周辺海岸の侵食、海岸や海底の環境悪化をもたらす堆積等の原因とならないように配慮しなければならない。

化学的項目に関しては、公害対策基本法により海域の水質環境基準としてpH、DO、COD、N-ヘキサン、大腸菌群数、有害物質が定められている。また、有機質による汚濁も重要であり、窒素、リン等についても検討する必要がある。一方、陸域の開発に伴う海域への排水や海域制御構造物の設置に伴う海浜流の変化は、水質や底質の化学的特性に影響を与えることが考えられるので注意を要する。さらに、海域・

陸域利用による海浜上でのゴミの集積、滞留域の形成による海上での浮遊物の集積等にも注意する必要がある。工事中については、濁り（SS）の発生、大気汚染物質、騒音に注意する必要がある。

MMZ計画では陸域の開発、海域制御構造物の設置等による沿岸域の景観の変化を検討する必要がある。以上に示した物理化学的項目をまとめて表－2.2.7に示す。

表－2.2.7　環境アセスメントの物理化学的項目

項目			工事中	計画完了後
海象	波浪		○	○
	海岸付近の流れ		○	○
	地形		○	○
水質等	水質	pH、DO、COD N-ﾍｷｻﾝ、大腸菌群数等、水質指標	○	○
		有害物質	○	×
		栄養塩等の有機質	×	○
		ゴミ、SS(濁り)	○	×
	底質	有害物質	○	×
		有機汚濁	×	○
大気			○	○
騒音			○	×
景観			×	○

b）生物的項目

生物としては、開発対象地域に生息している動植物、沿岸域に生息する生物（プランクトン、魚卵・稚仔魚、魚類、ベントス、海中植物等）を対象とする。陸域では特に海岸付近に生息することの多い鳥類が重要である。以上を整理して表－2.2.8に示す。

(3) 評価基準

水質、大気、騒音、生物等に関しては、前記の法規に定められた評価基準を準用することができるが、MMZ計画に適用する一般的な規定はないため、現地の状況に応じて適切な評価基準を定める必要がある。ここでは、MMZ計画での環境アセスメントに当って評価基準を検討する際の考慮項目を表－2.2.9に示す。

表－2.2.8　環境アセスメントの生物的項目

項目		工事中	利用・存在
海域	ﾌﾟﾗﾝｸﾄﾝ、魚卵・稚子魚	○	○
	魚類	○	○
	ベントス	×	○
	海中植物（草藻類、等）	×	○
陸域	鳥類等	○	○

表－2.2.9　各実施項目毎の評価基準の考慮項目

実施項目		評価基準の考慮項目
物理化学的項目	海岸付近の流れ	水質、海域の生態、船舶の航行
	波浪	反射波による船舶への影響
	地形	周辺海岸の侵食、海岸・海底への堆積による環境変化、海底地形、底質分布
	水質	公害対策基本法等による環境基準 海域の生態
	底質	底質の暫定除去基準、海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律の判定基準
	大気	公害対策基本
	騒音	公害対策基本法、騒音規制法
	景観	自然環境保全法、周辺との調和
生物的項目	海域	水産関連法規、当該海域の漁業、貴重な生物
	陸域	国際協約、鳥獣保護及狩猟ニ関スル法律、特殊鳥類の譲渡等の規制に関する法律、絶滅のおそれのある野生動植物の譲渡に関する法律

2．3．4　環境アセスメントの手法

MMZ計画における環境アセスメントは、必要な項目に関する事前調査および影響予測の順に行う。影響予測は水理模型実験、数値計算等の適切な手法により行う。

〔解　説〕

(1)　事前調査

事前調査は、空間利用計画および海域制御構造物の設計にために必要な調査の結果を準用し、不足する事項（特に水質、大気、騒音等）について追加する。また、水質等に関しては法規に調査方法が定められているものもあり、その場合には法規にしたがった手法で実施する必要がある。大気、騒音、振動、悪臭、景観などは、環境アセスメントの法令、条例等で方法が定められていることがあるので注意を要する。

(2)　影響予測

海象関連の項目については、海域制御構造物の配置計画時になされる波浪、海浜流、地形変化の予測結果を準用することができる（本編「5．3　海域制御構造物の配置計画」および本手引き（案）計画編別冊「波、流れ、水質、地形変化の予測手法」参照)。また、潮流の変化が予想される場合には別途の検討を要する。水質指標に関しては、数値計算による予測手法が開発されつつあり、これらの手法による適切な検討が必要である。この場合、負荷量の設定は、個々の開発毎に適切な検討が必要である。

海洋生物に関する予測に関しては、物理化学的要素のように数値計算等により定量的な予測結果を得ることは難しい。数値計算手法も一部の生物について開発されつつあるが、一般的に適用できる段階には至っていない。そのため、既存の事例、文献調査、学識経験者の意見等を参考に個別な検討が必要である。

(3)　計画完了後の追跡調査

環境アセスメントを実施した場合でも、必要な項目については追跡調査を実施し、環境に与える影響が予測と異なる場合には、計画の修正検討が必要となる。以下に項目ごとの追跡調査の概要を示す。

①海象

流れについては、水質の分布によりその状況をある程度把握できる。波浪や漂砂に関しては、周辺の地形変化を調査することにより影響を把握することが可能である。いずれの項目に関しても、定量的な影響を把握するためには、定期的な観測を実施することが望ましい。

②水質

周辺海域に調査地点を設定し、定期的にサンプリング、分析を行い監視する方法が一般的である。また、大きな負荷発生源がある場合には、その地点に関する重点的な調査も必要である。

③生物

生物に関しては予測が不完全なことが多く、十分な追跡調査が必要である。調査方法としては、水質同様に周辺海域に調査地点を設定し、定期的に海洋生物（プランクトン、ベントス、卵・稚仔、水生植物、付着生物等）のサンプリング、観察、分析を行って監視する方法が一般的である。また、魚類については、漁業関係者等のヒヤリングを中心に状況を把握する。生物に関しては季節的変化（季節的消長、繁殖期等）が大きな場合が多く、この点に注意した調査が必要である。また、赤潮の発生や、汚濁の指標となる生物種の出現に注意する必要がある。

第3章　空間利用計画

3．1　空間利用計画の前提

MMZ計画における空間利用計画は、国土保全、静穏海域の多目的利用、良好なウォーターフロント空間の創出、土地の有効利用、良好な自然環境の維持を基本的な理念とし、計画対象地域と周辺地域の自然条件および社会条件等を総合的に検討して立案する必要がある。

〔解　説〕

(1)　一般

MMZ計画の共通した目的は本手引き（案）「総論」で述べたように、国土保全、静穏海域の多目的利用、良好なウォーターフロント空間の創出、土地の有効利用、良好な自然環境の維持であり、空間利用計画はこれらの基本的な目的を総合的に検討して立案しなければならない。また、計画対象地域と周辺地域の自然条件、社会条件等を十分に考慮し、国、地方自治体が持つ広域の社会計画、都市計画、あるいは地域の要請に対応しつつ、安全で自然と調和した空間利用を図らなければならない。MMZ計画における空間利用としては、本手引き（案）「総論」で述べたように、快適なウォーターフロント空間を活かした住宅団地、研究都市、海洋性リゾート等を代表的な例として挙げることができる。また、これらに限定されることなく、計画対象地およびその周辺地域の自然条件、社会条件等にふさわしい空間利用計画を立案することが重要である。本手引き（案）においては、海域と陸域の一体的利用が特に求められる「海洋性リゾートの計画手法」を計画編別冊としてとりまとめている。

(2)　国土保全

MMZ計画により空間利用が図られる陸域は、必要とされる防災安全度を有する必要がある。特に、我が国の海岸は高潮、侵食等の問題を有する沿岸域が多いので、MMZ計画においても海岸保全は重要な課題となる。現状では特に海岸保全を必要としない海岸であっても、新たに空間利用が図られる陸域が十分な安全度を有するように波浪および漂砂を制御する必要がある。したがって、計画対象海岸では、海域制御構造物を防災施設として有効に利用し、高潮対策の場合には海浜、海岸堤防等と一体として、侵食対策の場合には、突堤、人工岬等と一体として保全計画を立案し、空間利用計画に位置づける必要がある。また、MMZ計画における海岸保全は周辺海岸の防災との十分な調整を図る必要がある。したがって、MMZ計画における海岸保全は周辺海岸を含めた海岸全体の保全計画の中に位置づけられなければならない。

(3)　静穏海域の多目的利用

海域制御構造物の設置により静穏化された海域は、海洋性レクリエーションや水産等の多目的な利用に資することが可能となる。一方、海域の利用は、水温、水質や気象条件といった自然条件等によって制約を受ける。このため、海域の利用計画は、多目的利用の可能性を十分に活かすとともに、当該海域の自然条件等に適合したものとする必要がある。また、海域の多目的利用のためには、利用目的に必要とされる静穏海域が確保されるように、海域制御構造物の規模や配置を検討する必要がある。

(4) 良好なウォーターフロント空間の創出

海域制御構造物の設置により静穏化された沿岸域においては、海浜が安定化し、養浜による砂浜の造成も容易に行えるようになることから、快適なウォーターフロント空間の創出が可能になる。このような良好なウォーターフロント空間は、地域の資源である水際空間に高い付加価値をもたらし、その有効活用により後背陸域の空間利用の可能性を拡大させるものとなるため、国土保全との整合を考慮しつつ、快適なウォーターフロント空間の創出を図る必要がある。

(5) 土地の有効利用

海域制御構造物の設置により静穏化された沿岸域においては、陸域の安全性が向上することにより新たに利用可能となる土地が創出されるとともに、埋め立てや養浜による新たな陸地の造成も容易に行えるようになる。したがって、空間利用計画においては、新たに利用可能となる陸域の多目的な利用を前提として立案する必要がある。また、陸域の土地利用は、計画対象地域と周辺地域の自然条件、社会条件への適合、地域の要請、静穏海域および海浜との一体的利用等を総合的に検討し、その計画を立案する必要がある。

(6) 良好な自然環境の維持

空間利用計画の立案に当っては、沿岸海域の水質、生態系等の良好な自然環境の維持に配慮する必要がある。このため、本編「2．3環境アセスメントのための調査」を参照し、事前に空間利用に伴う自然環境への影響を評価しておく必要がある。また、良好な自然環境は空間利用において貴重な資源となるものであり、必要に応じてその環境保全を空間利用計画に取り込む必要がある。

3．2　空間利用のタイプ

MMZ計画における空間利用は、都市計画、地域計画、国土保全等との関係により次のタイプに分類される。

(1) 新規開発タイプ

(2) 資源活用タイプ

(3) 機能付加・充足タイプ

〔解　説〕

(1) 一般

MMZ計画における空間利用の目的としては、本手引き（案）「総論」で述べたように居住空間型、研究都市空間型、レクリエーション空間型等を挙げることができる。これらの空間利用は、計画対象地域の自治体の要望、当該地域を含む広域な開発計画等、あるいは計画対象海岸の国土保全の条件により、次のタイプに分類することができる。

①新規開発タイプ

国あるいは自治体による広域な地域計画、都市計画等に基づき、余暇空間、居住空間、都市施設等を

供給するための開発として、現在低利用の沿岸地域を新規に開発するタイプである。したがって、規定の計画に沿って、適地を選定する必要がある。

②資源活用タイプ

このタイプは沿岸域の種々の資源を活用して拠点開発を行うタイプである。したがって、空間利用の目的は当該地域の自然条件、社会条件に基づき、周辺地域の需要等を考慮して決定される。

③機能付加・充足タイプ

海岸保全の必要性が高い海岸において、海域制御構造物や養浜により海岸保全の目的を果たすとともに、創出される良好なウォーターフロント空間を利用して周辺地域に不足する新たな機能を付加する、または不足している機能を充足するための開発を行うタイプである。

(2) 新規開発タイプ

本タイプは、首都圏における海洋性リゾート空間や居住空間の不足のように、広域の社会機能や都市機能の充足を目的としてMMZ計画を位置付け、現在低利用の沿岸地域を新規に開発するタイプである。したがって、このタイプの空間利用は比較的規模が大きくなり、空間利用計画は計画対象地域と広域な周辺地域との関連を重視して立案する必要がある。このタイプでは、空間利用の目的は計画当初に決定されていることが多いので、目的に応じた適地を選定することが重要である。適地の選定に当っては、大規模な開発による自然環境への影響に留意する必要がある。

(3) 資源活用タイプ

沿岸域のもつ資源を活用した新たな拠点開発を計画するタイプである。このタイプでは、計画の対象となる地域があらかじめ設定されている。したがって、計画対象地域と周辺地域の自然条件、社会条件を十分に調査し、さらに周辺地域の需要を考慮して適切な空間利用の目的を設定する必要がある。

(4) 機能付加・充足タイプ

海岸の侵食が著しい等の理由により国土保全の要請が高い沿岸域においては、海域制御構造物により海域を静穏化し、海浜を維持することにより侵食や越波を防ぐことができる。このようにして形成された安定な海浜と静穏海域を活用するとともに、安全度を増した後背陸域を利用し、周辺地域に不足する新たな機能を付加する、あるいは不足している機能を充足するための空間利用を図るのがこのタイプである。この場合の空間利用における重要なポイントは、自然条件から見た静穏海域、海浜、陸域の利用可能性と、計画対象地域と周辺地域の社会条件との関係から適切な空間利用の目的を設定することである。また、新たに付加される機能と既存の都市機能等との関係に留意する必要がある。このタイプでは、空間利用の目的と計画対象地域は計画当初にかなり限定されるので、計画対象地域の自然条件、社会条件の調査と立地分析を十分に行い、適切な空間利用の目的の設定と適地の選定を行う必要がある。

3．3　空間利用計画の作成

空間利用計画の作成に当っては、以下の内容について検討する。

(1)　空間利用の基本方針

(2)　計画フレーム

(3)　土地利用計画

(4)　交通計画

(5)　施設計画

(6)　環境計画

(7)　その他

〔解　説〕

(1)　一般

空間利用計画の内容は、空間利用の目的やタイプにより異なる場合がある。ここでは、標準的と考えられる内容について記述する。海洋性リゾートに関する空間利用計画作成の詳細については、計画編別冊「海洋性リゾート計画手法」を参照されたい。

(2)　空間利用の基本方針

本編「2．2　空間利用計画のための調査」に基づく調査結果から、空間利用の前提条件を整理するとともに、空間利用の核となる機能の具体的な性格、計画上の基準（施設原単位、環境基準）等を設定する。

(3)　計画フレーム

計画上の基準をもとに開発規模、収容能力等を検討する。

(4)　土地利用計画

計画対象地域内の開発区域、保全区域の設定、利用用途の決定、用途別土地利用強度の設定等を行う。また、法的土地利用規制の適用を検討する。この際、計画フレームから必要開発面積を算定するとともに、計画対象地の立地条件、特に自然条件と計画される土地利用との整合性および土地利用用途相互の関連性を検討する必要がある。

(5)　交通計画

広域的レベルおよび計画対象地内レベルの交通計画を作成する。広域的レベルの交通計画は、計画対象地域へのアクセスに使用される交通体系を計画するものであり、計画対象地域の発生集中交通量の予測、交通機関別配分を行い、既存の交通施設の容量に照らして必要な交通施設を計画する。計画対象地内レベルの交通計画は、地区内の交通システムを計画するものであり、地区内の交通手段（歩行者、自転車、自動車等）に対応した交通システムを形成する必要がある。

(6)　施設計画

空間利用の核となる機能をもつ施設およびそれに付随する施設（コミュニティ施設等）、供給処理施設、国土保全施設等の規模、配置等を計画する。

(7) 環境計画

既存資源の保護、活用のための環境保全計画、新たに形成される環境の質を確保するための環境形成計画を作成する。また、これら計画の実現のため、法制度の適用を検討する。

第4章　海域制御構造物の選定

4．1　海域制御構造物の定義

MMZ計画における海域制御構造物は、静穏海域を創出することにより国土保全、快適なウォーターフロント空間の形成を目的とする。海域制御構造物は、要求される機能・安定性を確実に満たす構造物でなければならない。

〔解　説〕

(1)　一般

海域制御構造物は、沖合に設置される透過性の消波構造物である。建設省総合技術開発プロジェクト「海洋利用空間の創成・保全技術の開発」およびそのなかでの官民共同研究「海域制御構造物の開発」により、その開発研究が進められた。開発目標とされてきた設置水深は約20m以浅、消波効果は透過率60％以下、反射率50％以下である。海域制御構造物は、静穏海域を創出し、波浪災害を防止するとともに海浜を安定化させることにより、国土保全に資することができる。さらに、養浜等による新たな陸地の造成も可能となる。また、構造物による海水交換の阻害は少なく、海水交換の促進を期待できる場合もあることから、沿岸海域の水環境は良好に保たれる。したがって、良好な環境を有するウォーターフロント空間を創出することも可能である。海域制御構造物背後に形成された静穏海域は、海洋性レクリエーション利用を促進するとともに、構造物の魚礁としての利用、あるいは静穏海域の養殖場としての利用も可能であること等から、水産業の面からの海域有効利用が可能となる。以上のように、海域制御構造物によれば、沿岸域の多目的利用、後背陸地の様々な土地利用が図れるようになる。また、ほとんどの構造物は低天端、あるいは没水した構造を有し、さらに沈下等による変形もないことから、海域の景観を良好に保つことができる。したがって、海域制御構造物はMMZ計画を実施する上での中核となる構造物であり、要求される機能・安定性を確実に満たすものでなければならない。

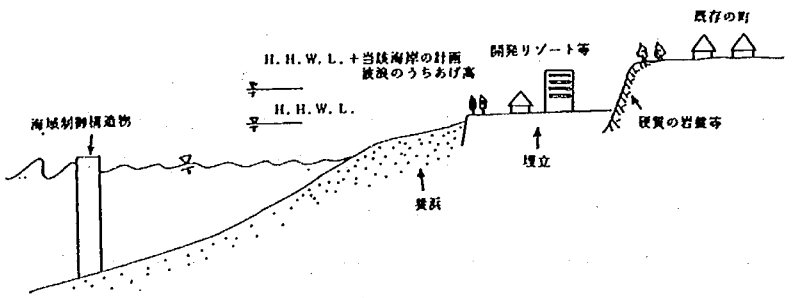
(2)　海域制御構造物の計画外力

我が国では、高潮、侵食等に対して何らかの保全を必要とする海岸が非常に多く、MMZ計画においても海域制御構造物は海岸保全施設としての機能が期待されることが多い。したがって、海域制御構造物は通常の離岸堤等と同様に、堤防、海浜等と合わせて所要の防災機能を確保し、さらに所要の安定性を有する必要がある。この場合には、海域制御構造物の設計に用いる計画外力は表－4.1.1上段のようにまとめられる。一方、計画以前に利用されている陸地が高台にあり、高潮対策や侵食対策を必要としていない海岸において、居住を伴わないリゾート等を埋め立て地上に建設するようなMMZ計画を立案する場合も考えられる。このように、異常波浪時に浸水等による被害を生じず海岸保全を必要としない場合には、海域制御構造物を海岸保全施設に指定する必要はない。このときの海域制御構造物の設計に用いる計画外力は表－4.1.1下段のように設定するとよい。

表－4.1.1　海域制御構造物の計画外力の考え方

開発の前提	陸域の状況・開発対象	海岸保全計画の計画外力	設計荷重の再現期	構造物の耐用年数	備　考
海域制御構造物を海岸保全施設に指定する場合	・居住、社会活動を伴うﾘｿﾞｰﾄ ・住宅地 ・研究都市、等	５０年以上 (堤防等と合わせて機能する)	５０年以上 (未超過確率を考慮して決定)	特に規定せず (維持管理、改築・撤去技術等の状況より、経済性を考慮して決定する)	
海域制御構造物を海岸保全施設に指定しない場合	・特定の開発主体のみによるﾘｿﾞｰﾄ ・背後地が侵食浸水の恐れのない高台	特に規定せず (開発、計画主体が設定する)	海岸保全施設築造基準に準拠して周辺に影響を与えない安全性を確保する。		開発施設の被害は開発地管理者の責任

※海域制御構造物を海岸保全施設に指定しない場合の例



4．2　海域制御構造物の型式

海域制御構造物の型式は、消波機能からみた消波型式、および構造・施工の面からみた構造・施工型式からなり、以下のように分類される。

〈消波型式〉
- ○スリット式
- ○斜板式
- ○潜堤式
- ○複合消波式
- ○透過セル式
- ○リーフ式
- ○柔構造潜堤式
- ○その他

〈構造・施工型式〉
- ○有脚式
- ○重力式
- ○鋼板セル式
- ○捨石式
- ○膜構造式
- ○その式

〔解　説〕

(1)　一般

建設省総合技術開発プロジェクトおよび官民の共同研究により様々な型式の海域制御構造物の開発が進められた。これらを消波型式および構造・施工型式により分類すると表－4.2.1、4.2.2となる。海域制御構造物には様々な型式があるので、各々の特徴を十分把握する必要がある。

表－4.2.1　消波型式から見た各構造物の分類

消波型式	構造物名称
スリット式	水平板付スリット型構造物
	多重スリット型構造物
	H型スリット板ジャケット型構造物
	透過水平板付スリットケーソン型構造物
斜板式	斜板堤
潜堤式	斜板消波潜堤
	複列透過性潜堤
複合消波式	複合消波型構造物
透過セル式	根入れ鋼板セル型構造物
リーフ式	レンズマウンド
柔構造潜堤式	フレキシブルマウンド

消波型式とは、構造物の形状、構造等による消波機構の差異に着目して分類した型式である。スリット式は波が鉛直または水平スリットを通過するときの乱れ、および複数の鉛直スリット壁間での多重反射を利用して消波する型式である。斜板式は海中に設置された斜板上での砕波により、潜堤式は構造物による砕波に伴う効率的なエネルギー減衰機構により消波する形式である。複合消波式は水平、縦スリットおよび遊水部により、波を流れと渦に変化して消波する型式である。透過セル式はセル本体による反射と間隙部の縮流効果により透過波高を減ずるとともに、スリット付き遊水室を設けることにより反射波高を低減することも可能な型式である。リーフ式は入射波を八角錐台状の構造物上に集中させ砕波させることで消波する型式である。柔構造潜堤式は入射波により変形する膜構造物の動きに伴い発生する波の干渉および膜構造物の運動に伴うエネルギー減衰により消波する型式である。

構造・施工型式は、構造物の構造、基礎、施工方法に着目して分類した型式である。有脚式はブロック・ケーソン等の構造物本体を基礎杭により支持し海底に固定する型式である。重力式は海底に設置した捨

表－4.2.2　構造・施工型から見た各構造物の分類

構造・施工型式		構造物名称
有脚式	連結ブロック式	水平板付スリット型構造物
		多重スリット型構造物
	H型スリット板ジャケット式	H型スリット板ジャケット型構造物
	スリットケーソン式	透過水平板付スリットケーソン型構造物
	斜板ジャケット式	斜板堤
重力式	斜板ケーソン式	斜板消波潜堤
	中詰スリットセルラー式	複列透過性潜堤
	並列Y字壁式	複合消波型構造物
	スリットケーソン式	透過水平板付スリットケーソン型構造物
鋼板セル式		根入れ鋼板セル型構造物
捨石式		レンズマウンド
膜構造式		フレキシブルマウンド

石マウンド等の基礎上にケーソン等の構造物本体を設置する型式である。鋼板セル式は鋼板セルを海底地盤中に根入れさせた上、セル内に中詰め材を投入する型式である。捨石式は海底に投入した砂・石等の中詰め材を被覆石、被覆ブロック等で覆う型式である。膜構造式は膜材でできた袋体の中に海水等の流体を充填し海底に固定する型式である。

(2)　各型式の概要

以下に建設省総合技術開発プロジェクトにおいて開発対象とした海域制御構造物の概要を示す。

a）スリット式（連結ブロック式構造物）

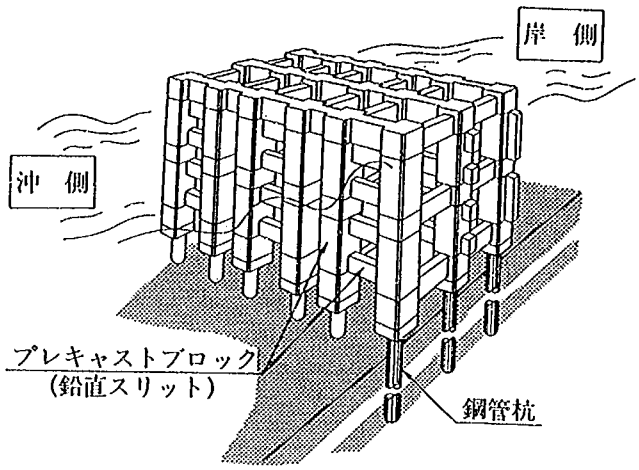
・連結ブロック式構造物は、複数の鉛直スリット、あるいは静水面付近に設置する水平板スリットを組み合わせ、乱れによるエネルギー損失と反射により消波を図る構造物である。

・連結ブロック式構造物は、鋼管杭の打設後にプレキャストブロックを据え付け、鋼管杭とプレキャストブロックを一体化して有脚式のラーメン構造を構築する構造型式である。

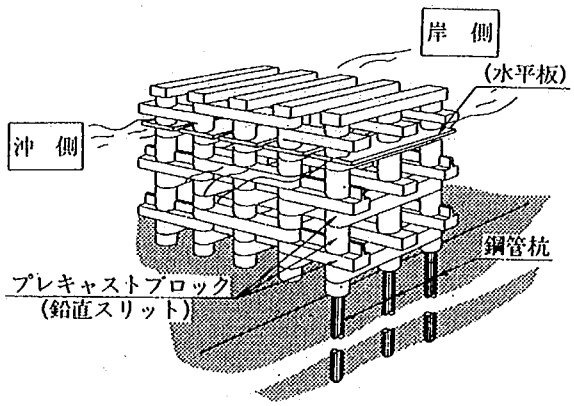
・連結ブロック式構造物には以下のような型式がある。

①多重スリット型……空隙率が異なる3枚の鉛直スリットにより構成される（図－4.2.1)。

②水平板付スリット型……３枚の鉛直スリットと静水面付近に位置する水平板スリットにより構成される。水平波力低減のため鉛直スリットの空隙率を大きくして、水平板スリットの空隙率を小さくする水平板機能重視型（図－4.2.2）と、鉛直スリットの空隙率が小さく、水平板スリットの空隙率を大きくした鉛直スリット機能重視型（図－4.2.3）とがある。



図－4.2.1　スリット式（連結ブロック式：多重スリット型）



図－4.2.2　スリット式
（連結ブロック式：水平板機能重視型）

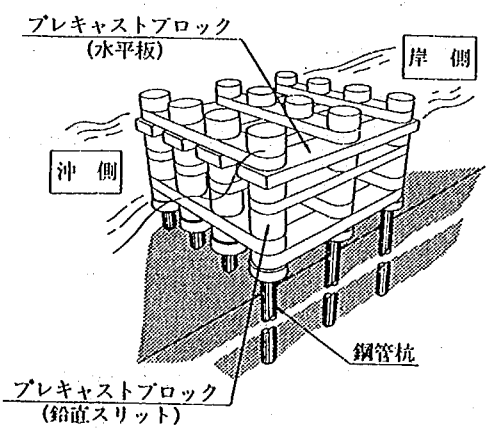
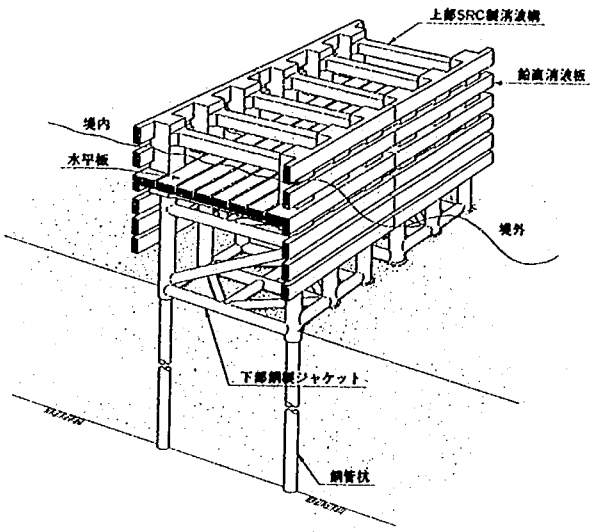


図--4.2.3　スリット式
（連結ブロック式：鉛直スリット機能重視型）

b）スリット式(H型スリット板ジャケット型構造物)

・H型スリット板ジャケット式は、２枚の透過性鉛直板と透過性水平板をH型に組み合わせた構造物であり、乱れによるエネルギー損失と反射により消波効果を得る構造物である（図－4.2.4)。

・堤体上部は鉄骨鉄筋コンクリート（SRC）製の一体構造、下部は鋼製ジャケット構造を組み合わせた構造物であり、これらを貫通する鋼管杭により支持される。



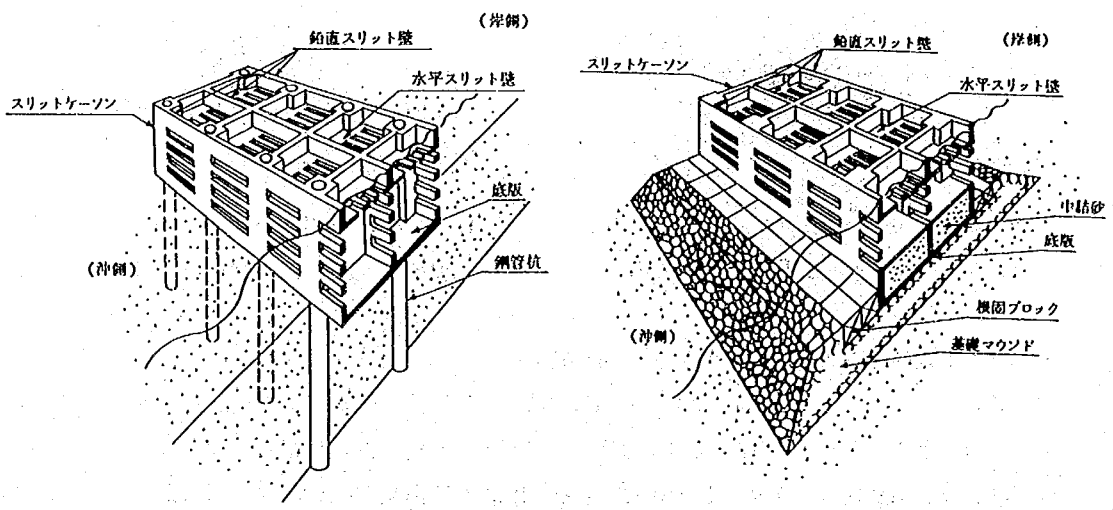
図－4.2.4　スリット式（H型スリット板ジャケット型）

c）スリット式（透過水平板付スリットケーソン型構造物）

・透過水平板付スリットケーソン型構造物は、前壁、中間壁、後壁の鉛直スリットと頂板の水平スリットで構成される低天端のケーソン構造物である（図－4.2.5）。

・スリットによるエネルギーの逸散、および低天端構造による砕波の促進により波エネルギーを減殺する。

・ケーソンの設置方式には有脚式と重力式があり、海域の波浪および地盤条件に応じて選択される。



a）有脚式　　b）重力式

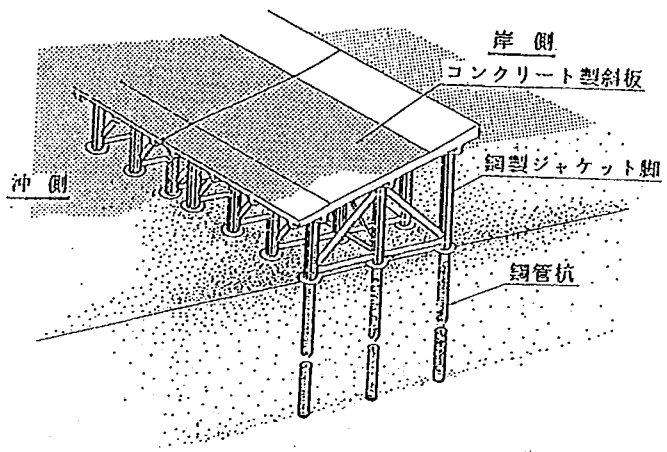
図－4.2.5　スリット式（透過水平板付スリットケーソン型）

d）斜板式（斜板堤）

・斜板堤は、波エネルギーが集中している海面付近に斜板を設置し、入射波を強制砕波させる効果等により消波する構造物である（図－4.2.6）。

・斜板堤の斜板は、沖側端が海中に没して海面を斜めに横切り海面上に天端が位置するように設置される。斜板の下端と海底面の間は一般に水深の半分以上である。

・斜板堤は主としてコンクリート製の斜板と鋼製ジャケットの脚およびこれを地盤に固定する鋼管杭により構成される。



図－4.2.6　斜板式

e）潜堤式（斜板消波潜堤）

・斜板消波潜堤は、傾斜した天端面（斜板）、斜板上の突起、および堤体前面と斜板に開口部をもつ遊水室を特徴とする構造物である（図－4.2.7）。

・斜板消波潜堤は、コンクリートケーソン構造の堤体を捨石マウンド上に設置する重力式の構造物である。

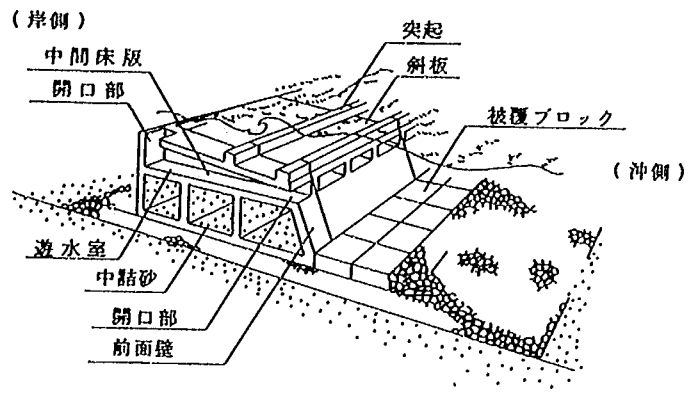
・斜板上での強制砕波、斜板上の突起によるエネルギー逸散の促進、および砕波に伴い生じる岸向き流れの一部が遊水室に流れ込む機能等により波浪を減殺させる。

・堤体には、標準型と圧抜き孔を有する揚圧力低減型がある。揚圧力低減型は急勾配海岸で衝撃性の波力が堤体に作用する場合に有効であり、標準型に比べ堤体重量を10～20％低減できる。

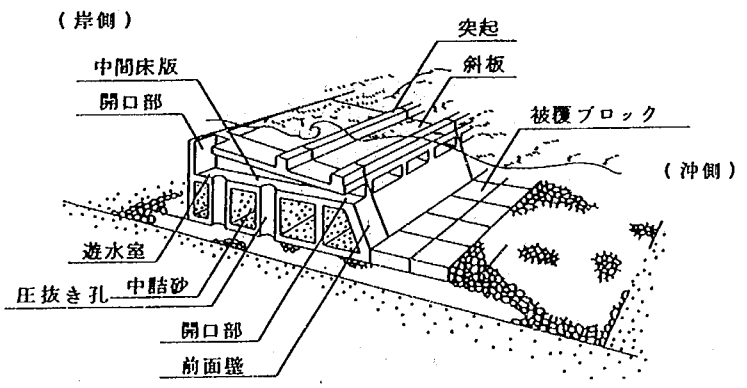
f）潜堤式（複列透過性潜堤）

・複列透過性潜堤は、異形ブロックを中詰めとするスリットセルラーを捨石マウンド上へ２列に設置した透過性潜堤である（図－4.2.8）。

・潜堤と同様の消波効果を有するが、沖側潜堤の天端高を岸側潜堤より低く抑えることにより反射率を低下させ、さらに水面近くに天端を有する岸側潜堤で透過波を低減させる。

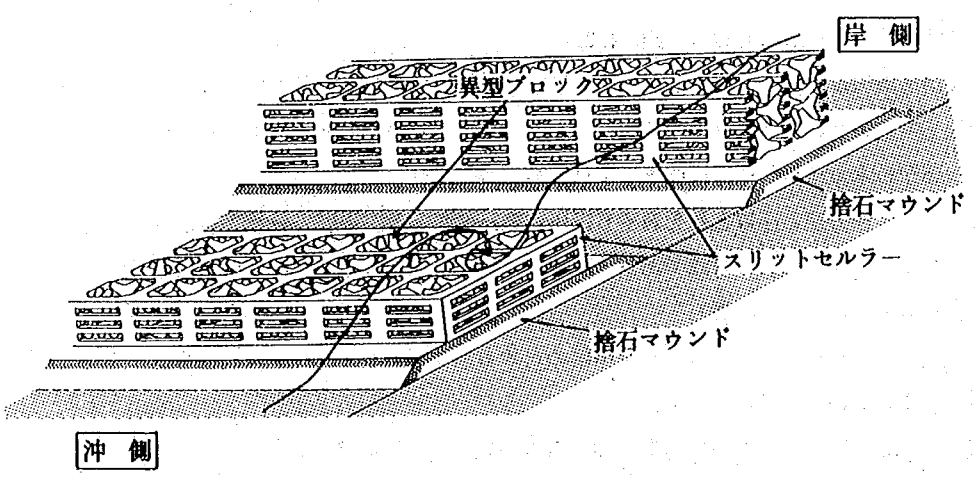


a）標準型



b）圧抜き型

図－4.2.7　潜堤式（斜板消波潜堤）

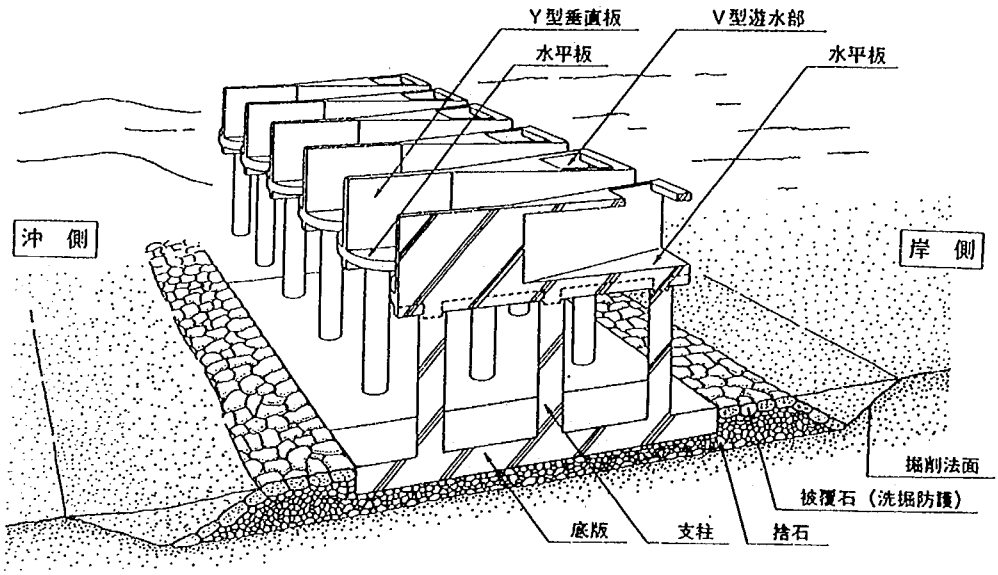


図－4.2.8　潜堤式（複列透過性潜堤）

g）複合消波式（複合消波型構造物）

・複合消波型構造物は鉄筋コンクリート製であり、消波機能を有する上部工（Y型垂直板、水平板等）およびこれらを支持する下部工（支柱、底版等）より成る（図－4.2.9）。

・水平板間の水平スリット、Y型垂直板間の縦スリットおよびV型遊水部により入射波を流れと渦に変換することにより消波される。



図－4.2.9　複合消波式

h）透過セル式（根入れ鋼板セル型構造物）

・根入れ鋼板セル型構造物は、円筒形の鋼板セルを一定の隙間を開けて一列に配置した構造物である。鋼板セル下部は海底地盤中に根入れされる。

・セル体にはスリット壁付遊水室を設けて反射率を低減させることができる。遊水室を設けた構造が遊水タイプ、遊水室のない構造が基本タイプである（図－4.2.10）。

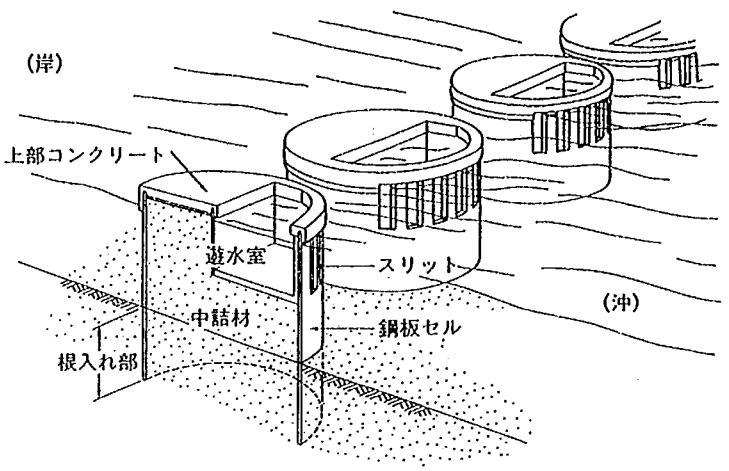
i）リーフ式（レンズマウンド）

・レンズマウンドは、海底面上に設置される角錐台の形状を持つ没水した消波構造物である。自然の浅瀬と類似した形状を有し、波を屈折、集中させることにより砕波させて消波効果を得る。

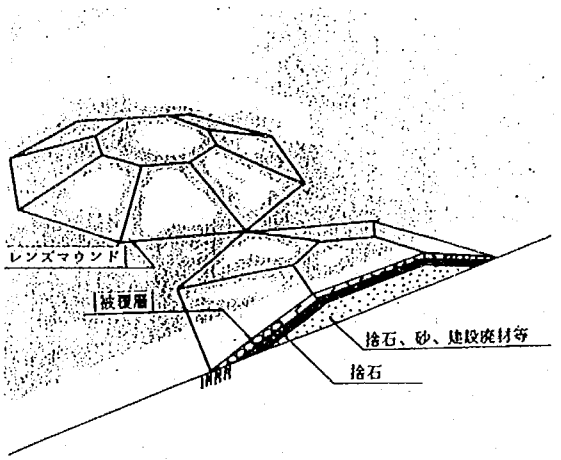
・堤体は、捨石、砂等による中詰め部と被覆石、被覆ブロックによる被覆層により構成される（図－4.2.11）。

j）柔構造式潜堤式（フレキシブルマウンド）

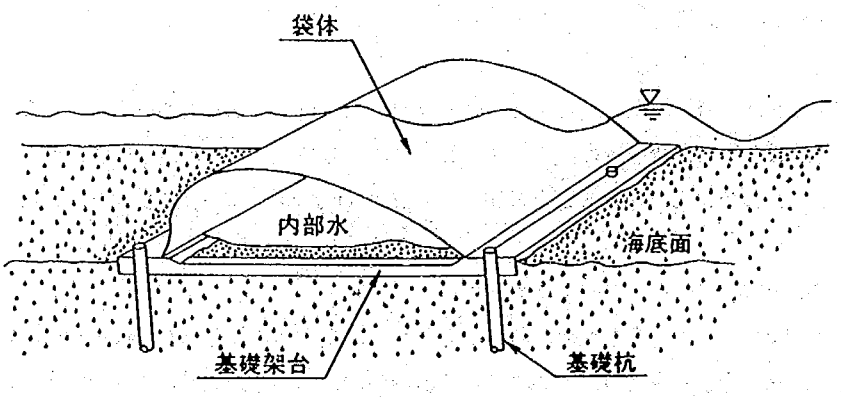
・フレキシブルマウンドは、可とう性の薄膜でできたゴム堰のような袋体を海底地盤に固定し、袋体内に水（または、水と土砂）を充填して形成される柔構造の没水型構造物である。設置水深はおよそ10m以浅を対象とする（図－4.2.12）。



図－4.2.10　透過セル式



図－4.2.11　リーフ式



図－4.2.12　柔構造潜堤式

・波の作用により構造物の運動に伴って発生する波と入射波との干渉効果、および構造物の運動に伴って生ずるエネルギー損失により消波する。

・フレキシブルマウンドは、基本的に袋体、基礎架台および杭基礎によって構成される。波浪条件が比較的穏やかな海域では重力式の構造も考えられる。

4．3　海域制御構造物の選定

4．3．1　海域制御構造物の適用性

海域制御構造物の適用性の検討に際しては以下の点について検討する必要がある。

(1)　消波効果

(2)　構造物周辺の海浜流の特性

(3)　構造物周辺の漂砂特性

(4)　構造および安定性

(5)　施工性

(6)　維持管理

(7)　付随効果

(8)　その他

〔解　説〕

海域制御構造物は形状、消波機構、構造、施工性等に各々の特徴を有する。そのため、海域制御構造物の選定、実海域への適用に際しては、各構造物の有する特徴を把握する必要がある。

①消波効果

消波効果は、海域制御構造物の機能性のうちで最も重要な項目である。各消波型式の消波特性は既に本編「4．2　海域制御構造物の型式」の項で述べた通りである。必要とされる静穏域を確保するためには、構造物が十分な消波効果を発揮しなければならない。また、周辺への影響を抑えるために、反射率が小さいことも必要となる。また、消波効果は静穏海域の形成のみならず、海浜流や海水交換、漂砂等とも関連するので注意する必要がある。

一般に、透過率と反射率は従属関係にあるため、各型式の消波特性を十分把握して計画目標に適合した型式および諸元を検討する必要がある。来襲波浪の波高と周期は一定したものではないため、季節変化や暴浪による消波機能の変化も把握しておく必要がある。また、潮位変化により消波特性が変化する場合があるため、潮位変化による消波機能の変化も検討する必要がある。

②構造物周辺の海浜流の特性

海域制御構造物を設置することにより生ずる海浜流は、海浜の安定性、海水交換、海域の利用に影響する。そのため、構造物設置による海浜流の変化を把握する必要がある。例えば、構造物上で砕波を促進するタイプの海域制御構造物では、構造物近くで岸向きの速い海浜流が生じるので、静穏海域の利用、漂砂

等に対する影響に注意する必要がある。一方、この場合には海水交換の促進効果も期待される。海浜流の発生は、入射波浪条件、潮位、海浜地形の状況によって異なるため、静穏時、暴浪時に関しては異なった検討が必要である。

③構造物周辺の漂砂特性

海浜の安定化効果を把握するためには、構造物背後海域の漂砂特性を知る必要がある。また、構造物からの反射波に起因する海底地形変化および局所洗掘は構造物の安定性に深く関与することから、これらを引き起こす漂砂について十分な検討が必要である。

海域制御構造物は、通常水深20m以浅の海域に設置されるので、我が国では地形変化の生じる移動限界水深と同程度の水深位置に設置されることが多くなる。このため、海域制御構造物は、構造物背後海域での岸沖漂砂による海浜断面の変化特性を変えるとともに、沿岸漂砂量の分布を変える。したがって、海域制御構造物の断面形、平面配置と背後海域の海浜断面変化特性、沿岸漂砂量との関係を把握しておく必要がある。また、周辺海岸の漂砂の連続性にも注意し、漂砂下手側の海岸の侵食や上手側の海岸の著しい堆積等を生じないようにする必要がある。一方、構造物周辺の洗掘は、構造物の構造型式、消波特性、海底の地形条件・底質条件等により変化するので、選定された型式の洗掘特性を十分に考慮した検討が必要となる。

遊水室を持つ型式では浮遊砂の堆積による遊水室容量の変化に注意する必要がある。また、海域制御構造物に魚礁効果を期待する場合には、堤体近傍で著しい砂の移動を生じると藻類の付着や魚介類の棲息が困難となることが考えられるので注意を要する。

④構造および安定性

海域制御構造物は沖合に設置され厳しい波浪条件にさらされるので、耐波安定性を十分に検討しなければならない。また、設置海域の自然条件に合わせて、地震、津波等に対する安定性、地盤の安定性を検討する必要がある。

海域制御構造物の安定性において波力は最も重要な外力の１つである。したがって、構造物はできるだけ波力を受けにくい構造とすることが望ましい。そのためには、消波機能が所与の目標を満たす範囲で、作用波力を最小にできるような型式および諸元を検討する必要がある。

海域制御構造物の構造は設置海域の海底地盤条件、異常波浪時の外力条件等を検討して、合理的、経済的なものとする必要がある。例えば海底地盤の条件から見ると、地盤が比較的軟弱な場合には重力式は適さない。また、N値の非常に大きな地盤や岩礁のような場合には有脚式の建設は難しい。各型式の構造および基礎の詳細に関しては本手引き（案）「構造設計編」を参照されたい。

⑤施工性

海域制御構造物は沖合に設置されるので、その施工は海上作業が主となる。そのため、現地の条件によっては施工性により構造物の型式が制約される場合もあるため、施工方法を十分に検討する必要がある。例えば、設置海域近隣での資材調達や陸上製作ヤードの条件は構造型式を制約し、海象条件は海上での施工方法を制約する。各型式の施工性に関しては本手引き（案）「施工編」を参照されたい。

⑥維持管理

海域制御構造物の維持管理としては、各部材の劣化・ひび割れ等の管理、防食の維持、付着生物の除去等がある（本手引き（案）「維持管理編」参照）。構造物の経済性を総合的に評価するためには、初期投資だけではなく維持管理まで含めた検討が必要であり、維持管理はできるだけ容易であることが望ましい。構造物の耐久性、点検補修の容易さ等も、海域制御構造物の選定に当っては十分に検討しなければならない。また、付着生物に関しては、消波効果の維持、作用波力増大の防止等の観点からは定期的な除去を検討しておく必要がある。この点からは、生物付着による機能変化、作用波力の変化も、維持管理の観点から構造物選定の際に考慮する必要がある。

⑦付随効果

ウォーターフロント空間の計画に際しては、海域の景観にも配慮する必要がある。また、海域の多目的利用に関しては、静穏海域の水質や海域制御構造物の魚礁効果を検討する必要がある。これらの検討のためには、海域制御構造物の形状、機能等による付随的な効果を把握しておく必要がある。考慮事項としては、魚礁効果、エアレーション効果、海水交換性、景観への影響等が挙げられる。これらの項目について、対象海岸の特性、MMZ計画の要求事項等と照らし合わせて、各型式の特徴を検討することが望ましい。付随効果の各項目と型式との関係を表－4.3.1に概説する。

表－4.3.1　付随効果と型式との関係の概説

魚礁効果	海域制御構造物は透過性の消波構造物であるため、空隙部が魚類の生育の場となることが考えられる。また、砂泥域においては、岩礁的な役割を果たして海藻や貝類が付着し、それを採餌する岩礁性の魚類がい集することが考えられる。遊水室を有する型式では、遊水室が魚類の生息の場になることも考えられる。また、捨石マウンドを有する型式では、捨石の間隙がエビや貝類の生息の場となることもある。また、魚礁効果の観点からは、付着生物に魚類のい集を促進する効果を期待できる。したがって、生物が付着し易い型式は、魚礁効果の点では有利となる場合がある。
エアレーション効果	消波時に生じる海水面付近の流体の混合により、海域制御構造物はある程度のエアレーション効果を有することが考えられる。特に、堤体上で砕波を生じる型式では、この効果が強いと考えられる。
海水交換性	各型式は透過性であることを前提として開発が進められており、元々海水交換性を有する。海水交換性は、海域制御構造物設置前の海浜流や潮流の状況、海岸線の形状、海底地形、さらには海域制御構造物の平面配置に強く影響されるが、消波時に強い岸向き流れを生じさせる型式では、海水交換を促進させることも考えられる。
景観への影響	各型式はほとんどが低天端の構造物であり、海域の景観に与える影響は全体的に少ないと考えられる。また。従来のブロック積み離岸堤のように、沈下や散乱に伴い形状が崩れることもほとんどない。特に、潜堤式や没水式の構造物では、海域の景観に与える影響はほとんどない。

⑧海上交通に対する安全性

船舶航行等の安全を確保するためには、構造物の設置位置が海上で明確に視認できるようにしておく必要がある。そのため、没水タイプの型式ではブイ等による表示が必要となる。視認性の面からは、天端が海面上にある構造物は有利な場合が多いと考えられる。

4．3．2　海域制御構造物の選定

海域制御構造物を選定する際には、要求される機能・安定性を十分に検討し、各構造物の特徴に留意する必要がある。

〔解　説〕

(1)　一般

海域制御構造物を選定する際には、MMZ計画に要求される静穏域創出、海浜の安定化等の機能、構造物としての安定性を十分に確保でき、個々の計画の特徴を反映できる型式・構造物を選定する必要がある。海域制御構造物は各々特徴を有するので、対象海域の自然および社会条件について検討し、各型式の機能、構造、施工上の特徴を考慮して、最も適切な構造物を選定する。

(2)　各型式の特徴

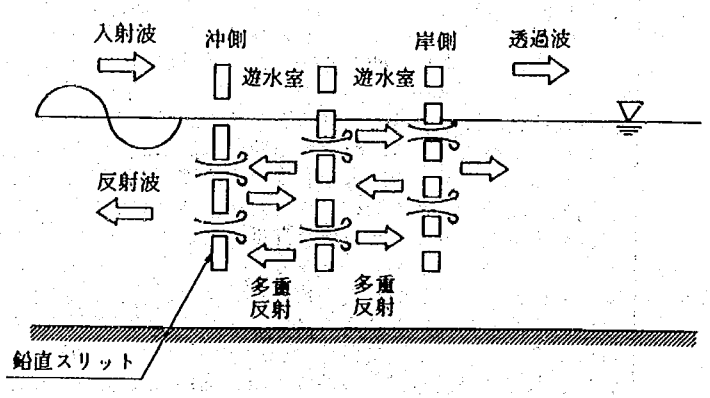
a) スリット式（連結ブロック式）

①消波機構

イ) 多重スリット型の消波機構（図－4.3.1）

・3枚の鉛直スリット壁を波が通過する時の水流の乱れによりエネルギー損失を得る。

・3枚の鉛直スリット壁の空隙率を沖側から順次小さくすることにより、透過率を低減させるだけでなく、遊水室における多重反射により反射率も低減させる。

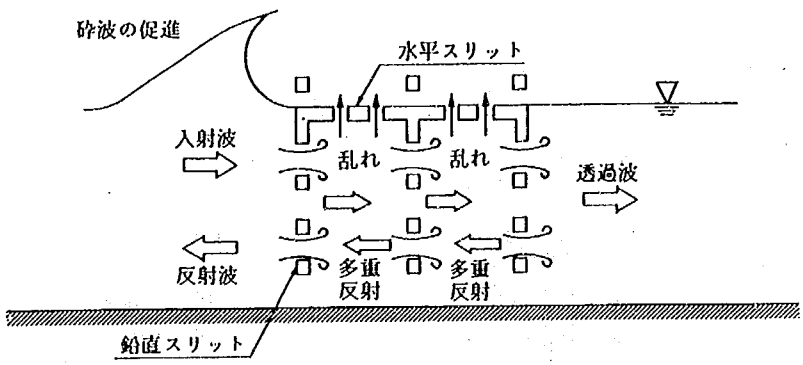


図－4.3.1　消波機構の概念図（多重スリット型）

b) 水平板付スリット型の消波機構（図－4.3.2）

・鉛直スリット壁では、入射波が複数のスリットを通過するとき、およびスリット間で多重反射するときにエネルギー損失を得る。

・水平スリット板は、反射とスリットにより発生する乱れ、および高波浪時に水平板上で生じる砕波により消波する。



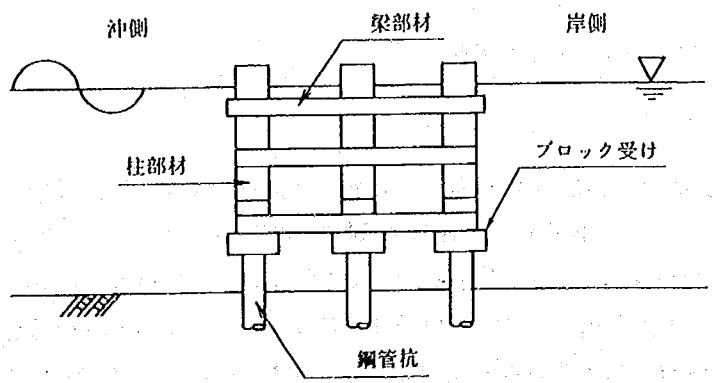
図－4.3.2　消波機構の概念図（水平板付スリット型）

②構造の特徴

・柱部材は、鋼管杭、プレキャストブロック、ブロックを緊結するPC鋼棒、および鋼管杭とブロックの間に充填する中詰めコンクリートよりなる合成構造である。また、梁部材はRC構造、あるいはSRC構造のプレキャストブロックにより構成される（図－4.3.3）。

・プレキャストブロックの組み合わせ構造であるため、スリットの空隙率の設定が容易である。

・鋼管杭はプレキャストブロックと中詰めコンクリートに覆われており、海中や飛沫帯での耐腐食性を有する。



図－4.3.3　スリット式（連結ブロック式）の構造概要図

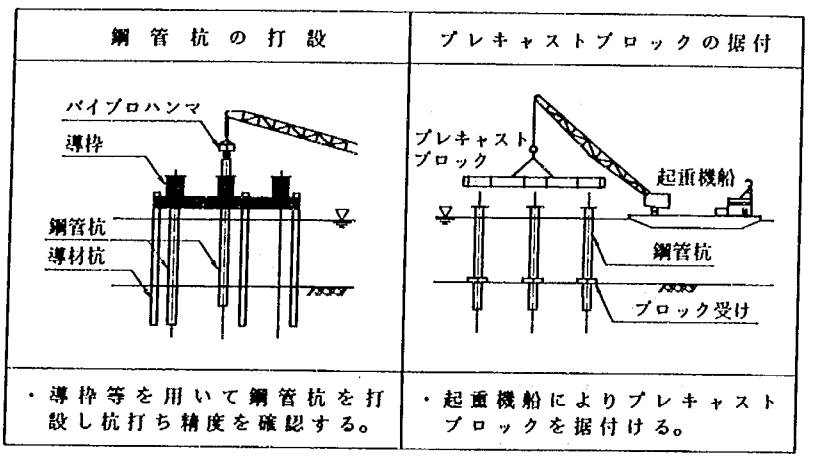
③施工の特徴

・鋼管杭の打設後、プレキャストブロックを据え付けて堤体を構築する。杭打設時においては導枠等を用いて杭の打設精度を確保する（図－4.3.4）。

・ブロックの製作時や据付時に大型の作業船や機械を必要としない。

・各部材は陸上で製作されるので品質管理が容易である。

・海底地盤の均し作業を特に必要としない。



図－4.3.4　スリット式（連結ブロック式）の施工要領図

④耐久性、維持管理の特徴

耐久性に関して、計画時に考慮すべき要素は、

・化学作用等によるコンクリートの劣化。

・PC鋼材および定着体の腐食。

・鉄筋の腐食。

・プレキャストコンクリート部材接合部の劣化。

・鋼管杭の腐食。

の５つである。

連結ブロック式構造物では、劣化・腐食環境の厳しい飛沫帯付近が、品質管理の容易な陸上で製作されたプレキャストコンクリートブロックで覆われた構造となる。したがって、適切な施工により密実で水密性の高い耐久性に優れたコンクリート構造とすることが可能と考えられる。また、鉄筋コンクリートの劣化の要因となるブロックのひびわれは、プレストレス量の選定等による制御が可能である。

緊張材、鉄筋、その他鋼材の耐久性向上のためにはエポキシ樹脂塗装等の防食を行うことも効果的である。鋼管杭の海中に露出している部分については、必要に応じて防食ライニング、電気防食等の処置を施す。

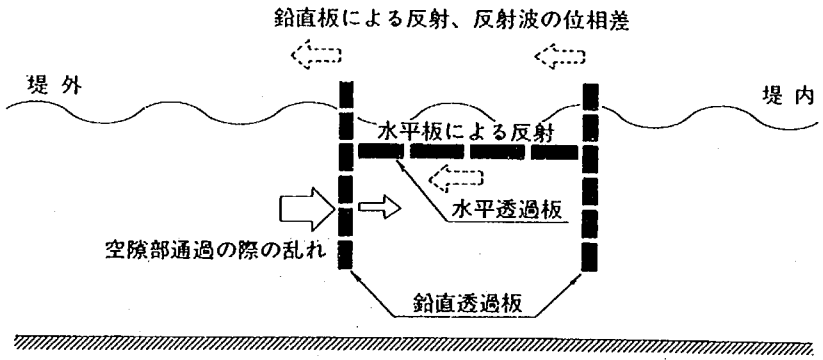
⑤総合的な特徴

プレキャストブロックの組み合わせにより様々な空隙率を有する堤体を設計できる。海底地盤の改良を必要とすることは少なく、軟弱地盤での設置も可能である。ただし、杭打設に精度を要するため、施工時の海象条件を考慮の上、導枠等を用いて杭打ち精度を確保する。また、設計時に洗掘深を考慮すれば特別な洗掘対策工を施す必要はない。

b）スリット式（H型スリット板ジャケット型構造物）

①消波機構

本構造物は鉛直方向2枚と水平方向1枚のスリットからなり、鉛直スリットによる反射、2枚のスリットによる多重反射、スリットを通過する際に生じる乱れによるエネルギー損失、水平スリットによる反射およびエネルギー損失により消波効果を得る（図－4.3.5）。



図－4.3.5　消波機構の概念図（H型スリット板ジャケット型）

②構造上の特徴

堤体は、上部がSRC製ジャケット、下部が鋼製ジャケットからなり、両者の脚部を鋼管杭が貫通する（図－4.3.6）。

・堤体は鋼管杭により支持されるため、洗掘防止、地盤改良を必要とする場合がほとんどない。

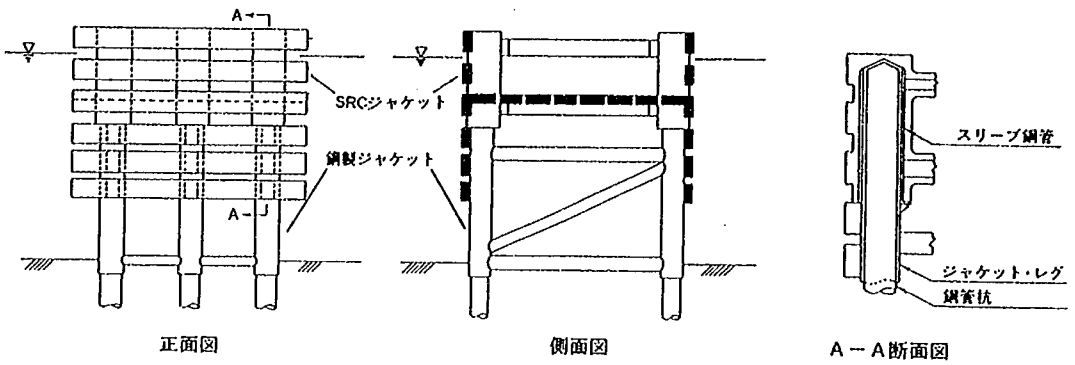
・鉛直板の下部は波力低減のために約30％開口している。鉛直スリットの天端高は、設計波高の0.35倍以下の低天端として水平波力を抑える。

③施工上の特徴（図－4.3.7）

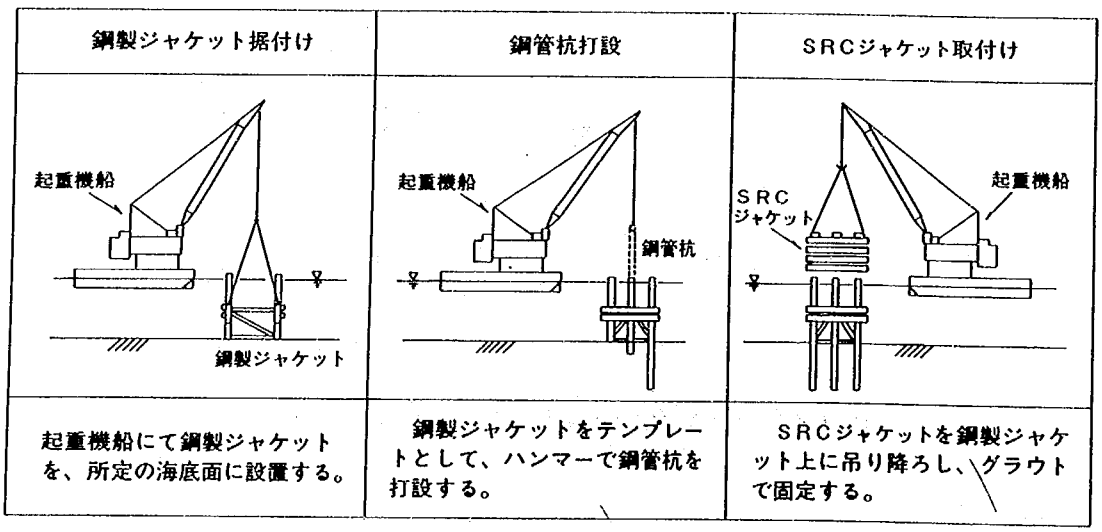
・堤体(SRC製、鋼製ジャケット）の製作は全て陸上で行うため、品質管理が容易である。

・海上での作業は、二分割された堤体の設置、および堤体をガイドとした鋼管杭の打設からなり、海上作業が少ない。

・鋼管杭の打設は鋼製ジャケットの脚部をガイドとして行うため、杭の打設精度を確保し易い。



図－4.3.6　スリット式（H型スリット板ジャケット型）の構造概要図



図－4.3.7　スリット式（H型スリット板ジャケット型）の施工概要図

④耐久性、維持管理の特徴

上部SRC製ジャケットに関しては、所要のかぶりを確保することにより、鉄筋あるいは鉄骨の腐食を防ぐ。また、下部鋼製ジャケットには、耐用年数に応じた容量を持つ電極（犠牲陽極）をジャケット加工時に取り付け、流電陽極方式による電気防食を施す。

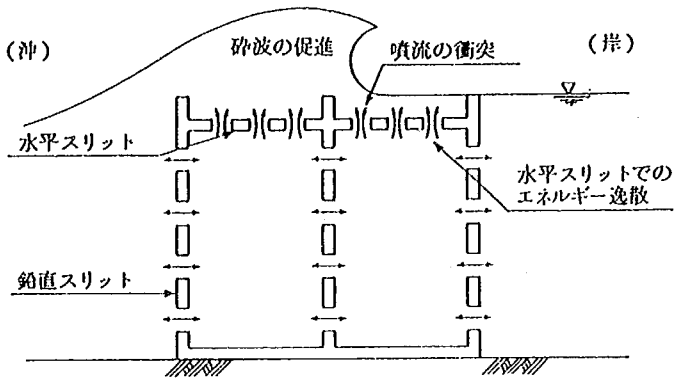
⑤総合的な特徴

鉛直および水平スリットから成る堤体を２つのブロック（SRC製と鋼製ジャケット）に分割した。さらに、鋼製ジャケットの脚部をガイドとして杭を打設する工法を採用した。以上のことより、杭の打設精度を確保し易く、また海上での作業を簡略化させている。

c）スリット式（透過水平板付スリットケーソン型構造物）

①消波機構

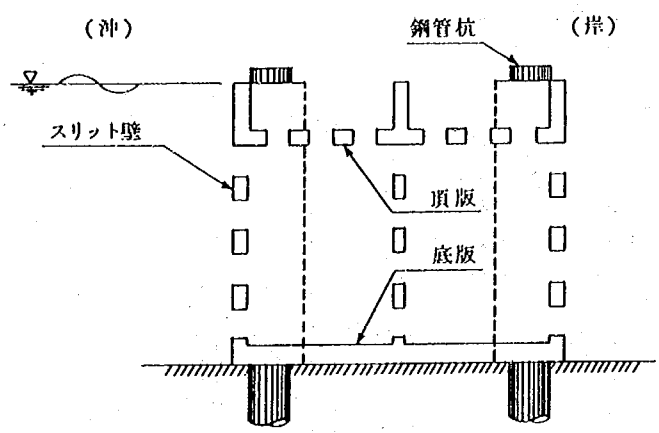
鉛直および水平スリットでのエネルギー損失、低天端の構造による砕波の促進、および水平板スリットでの上向きの噴流と越波が衝突することによるエネルギー損失によって消波する（図－4.3.8）。



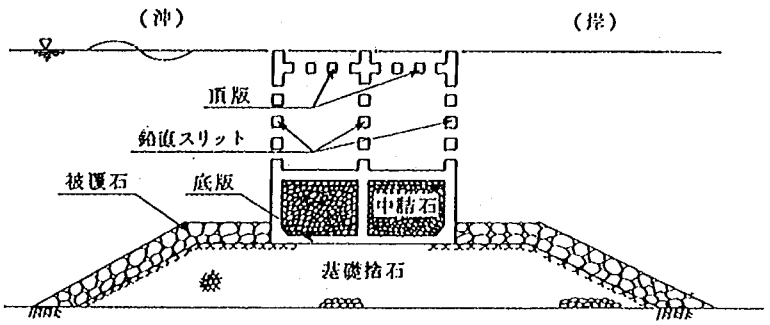
図－4.3.8　消波機構の概念図（透過水平板付スリットケーソン型）

②構造の特徴

・有脚式はスリットケーソンの堤体を鋼管杭で固定する構造であり、重力式は捨石マウンド上に堤体を設置し自重で安定化させる構造である（図－4.3.9）。
・有脚式では、ケーソンの柱を鋼管コンクリート構造とし、この鋼管をガイド管として杭を貫通させて固定する。杭とガイド管の間にはモルタルを注入する。
・重力式の場合にはケーソンの内部を中詰めすることにより堤体を安定化させる。
・有脚式の場合、局所洗掘に対してはあらかじめ洗掘深を考慮して設計する方法、または捨石など洗掘防止工を設置する方法を選択できる。



a）有脚式



b）重力式

図－4.3.9　スリット式（透過水平板付スリットケーソン型）の構造概要図

③施工の特徴

・海上での作業は、有脚式では杭打設、重力式では捨石マウンドの設置と中詰め工であり、海上作業が少ない（図－4.3.10）。

・有脚式では、ケーソンにガイド管が備えられているので、杭打設の際に位置決めを必要としない。また、陸上で製作された堤体をガイドとして杭打設するので海上での作業は少ない。

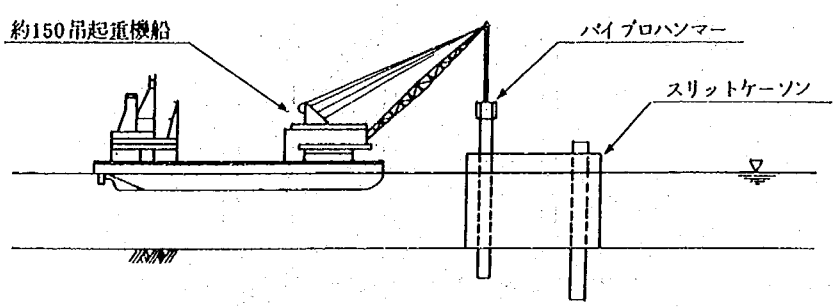
④耐久性、維持管理の特徴

・鉄筋コンクリート製ケーソンは陸上で製作されるため、耐久性に優れた構造とすることが容易である。

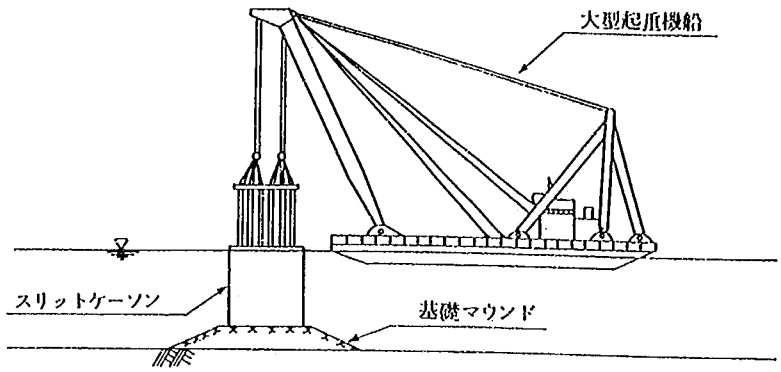
・有脚式の場合、鋼管杭には腐食しろ、電気防食等の必要な防蝕対策を施す必要がある。

⑤総合的な特徴

地盤の状況に応じて重力式、あるいは有脚式を選択できる。スリットケーソンの堤体は陸上で製作されるため、所要の耐久性を確保することが容易である。また、有脚式では堤体をガイドとして鋼管杭を打設することにより、海上での作業を少なくしている。



a）有脚式



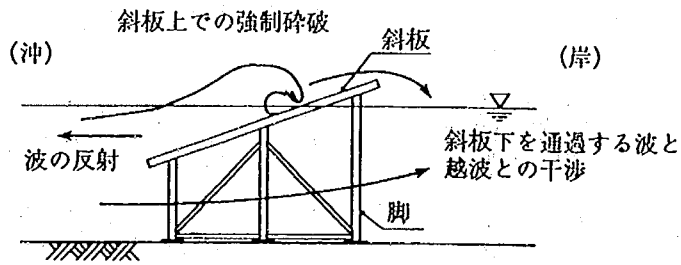
b）重力式

図－4.3.10　スリット式（透過水平板付スリットケーソン型）の施工要領図

d）斜板式（斜板堤）

①消波機構

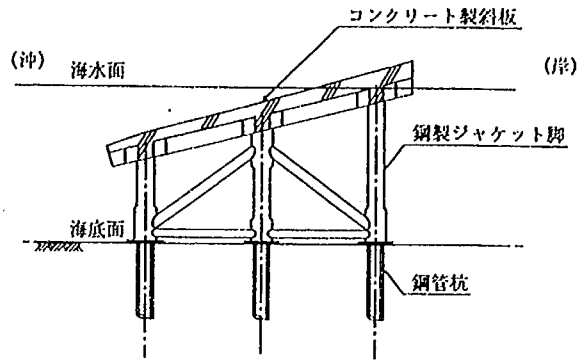
斜板堤は、斜板上での砕波によるエネルギーの逸散、斜板による波の反射、越波した水塊と斜板下を透過する波との干渉によるエネルギー損失により消波する構造物である（図－4.3.11）。



図－4.3.11　消波機構の概念図（斜板式）

②構造上の特徴

・斜板堤は海面を横切り設置される斜板（コンクリート製）および脚（鋼製ジャケット）が鋼管杭により海底に固定される構造を有する（図－4.3.12）。
・コンクリート製の斜板は、梁・スラブ構造である。また、鋼製ジャケットの海面付近はコンクリートで被覆される。
・斜板堤に作用する岸向水平波力が小さく、かつ水平衝撃波力を受けることはほとんどない。
・杭支持構造であるので洗掘に対する安定性を確保し易い。

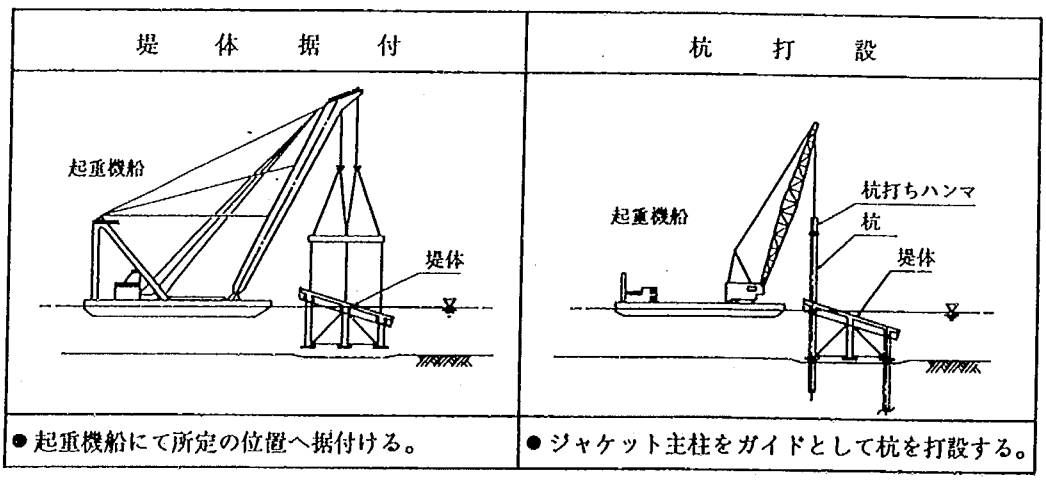


図－4.3.12　斜板式の構造概要図

③施工の特徴

・堤体（斜板と脚）を陸上で製作し、起重機船により所定の位置に据え付ける。さらに、ジャケット柱をガイドとして杭を打設し堤体を固定する（図－4.3.13)。

・海上作業はジャケット柱をガイドとした杭打設が主であり、海上での作業が少ない。



図－4.3.13　斜板式の施工要領図

④耐久性、維持管理の特徴

鋼製ジャケット、鋼管杭の鋼製構造部分に関しては、腐食環境の厳しい干満帯部分のL.W.L.－1.0mより高い位置をコンクリート被覆等の耐久性被覆とし、常時水中にある部分には電気防食、腐食しろ等の対策をとる。ジャケットの主柱部は構造が単純なので、被覆には安定した品質のコンクリートの施工が可能である。コンクリート部の鉄筋腐食に対しては、ひびわれ幅の制御、適切なコンクリートかぶりを設計時

に選定し、陸上製作ヤードで良質なコンクリートを施工する。

⑤総合的特徴

斜板の没水深と天端高を一定とした場合、設置水深が10m～20mの範囲では消波効果にあまり変化がない。また、構造が単純であるので付着生物による消波特性、波力特性の変化を生じにくい。斜板と脚からなる堤体では陸上で製作し、脚をガイドとして杭打設を行うため、海上での作業は少なくなる。

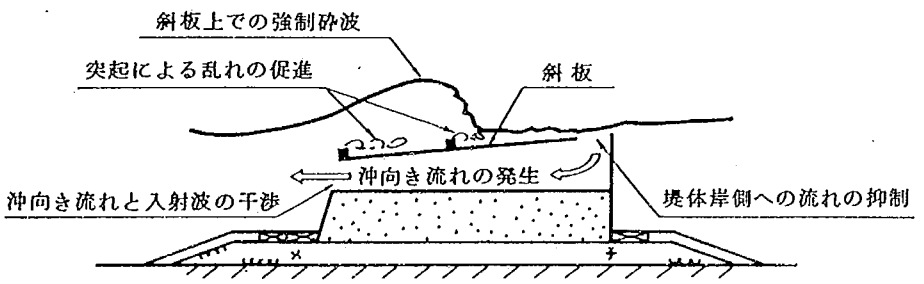
e）潜堤式（斜板消波潜堤）

①消波機構

・斜板消波潜堤は、斜板により入射波を強制砕波させ、さらに、斜板上の突起でエネルギー逸散を促進することにより消波する（図－4.3.14）。また、斜板に設けられた開口部は、斜板上の砕波により生じる岸向流れの一部を堤体内の遊水室に導き、堤体岸側への波の落ち込みを抑制する。この開口部の働きにより、波が堤体岸側へ落ち込むことによって生じる二次的な造波を抑制する。

・堤体前面の開口部は、堤体内の導いた流れを沖側へ戻し、この戻り流れと入射波の干渉により入射波の砕波を促進する。

・以上の消波機能により、通常の潜堤に比べ長周期の波に対する消波効果が改善されている。



図－4.3.14　消波機構の概念図（斜板消波潜堤）

②構造の特徴

・捨石マウンドとコンクリート製ケーソンの堤体から構成される重力式構造物である（図－4.3.15）。

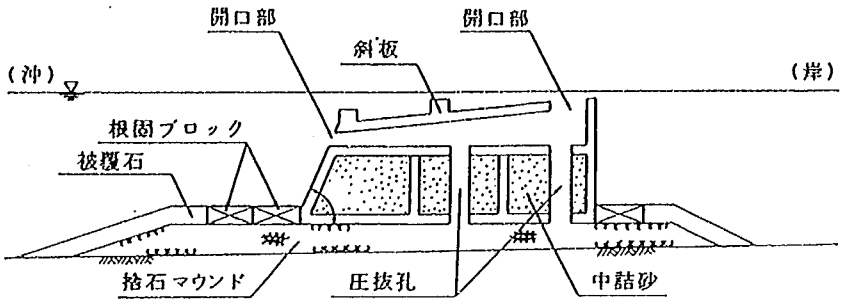
・急勾配の海岸で衝撃性の波力が堤体に作用するような場合には、堤体底部に圧抜き孔を設置することにより、揚圧力を低減することが可能であり、圧抜き孔なしの標準型に比べ堤体重力を10～20％低減できる。

・反射率が小さいのでマウンド被覆材の重量は直立混成防波堤の場合の所要重量に比べ約１／10になる。

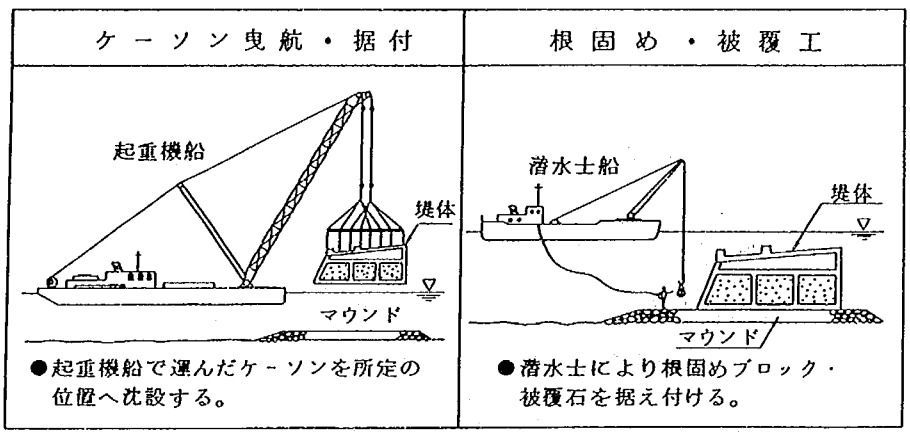
③施工の特徴

・ケーソンは陸上で一体製作される。そのため、海上での作業は捨石マウンドの設置とケーソン据付が中心となり海上作業が簡略化される（図－4.3.16）。

・ケーソンの製作と平行して、捨石マウンドを設置できる。



図－4.3.15　潜堤式（斜板消波潜堤）の構造概要図



図－4.3.16　潜堤式（斜板消波潜堤）の施工要領図

・ケーソン内への砂の中詰め方法としては、予め陸上でケーソン製作時に行う方法と、ケーソン設置後に海上で行う方法から選択できる。

・ケーソンの曳航方法としては、起重機船を用いてケーソンを吊り上げて曳航する方法と、ケーソンを浮上させて曳航する方法から選択できる。

④耐久性、維持管理の特徴

・斜板消波潜堤は陸上で製作される鉄筋コンクリート製のケーソン構造物であるので、堤体の品質管理が容易である。また、堤体が常に海水中にあり飛沫帯に露出していないため、耐久性を確保し易い。

・斜板消波潜堤は重力式の潜堤であるので、維持管理としてマウンドの変形、堤体の沈下特性を調査する必要がある。

⑤総合的な特徴

斜板消波潜堤は通常の潜堤に比べて、長周期の波に対する消波効果が改善されている。また、海面下に没した型式であるので、景観に影響を与えない構造物である。堤体は陸上で製作されるコンクリート製ケーソンであり、飛沫帯に露出していないため耐久性を確保し易い。さらに、堤体に圧抜き孔を設け、堤

体に作用する揚圧力を低減することにより、堤体重量を低減させることが可能である。

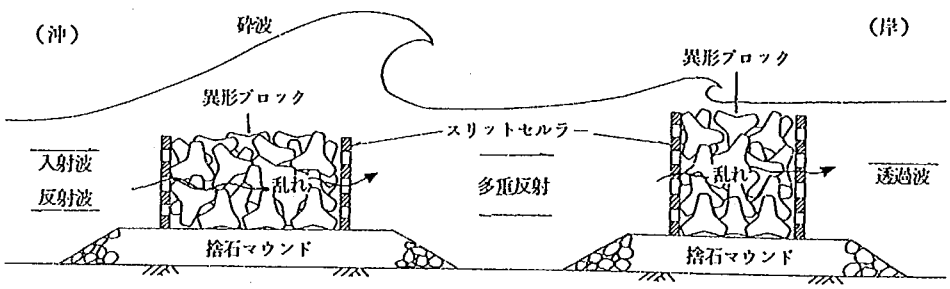
ｆ）潜堤式（複列透過性潜堤）

①消波機構

・入射波を沖側潜堤上で強制砕波させるとともに、岸側潜堤のスリット、中詰め材を波が通過するときのエネルギー損失により消波する（図－4.3.17）。また、沖側潜堤天端を岸側潜堤より低くすることにより反射率の低下を図る。

・潜堤を複列に設置することにより、潜堤間の多重反射を利用し消波する。

・沖側潜堤上で砕波しないような低波高の波も岸側潜堤により減衰させることが可能である。

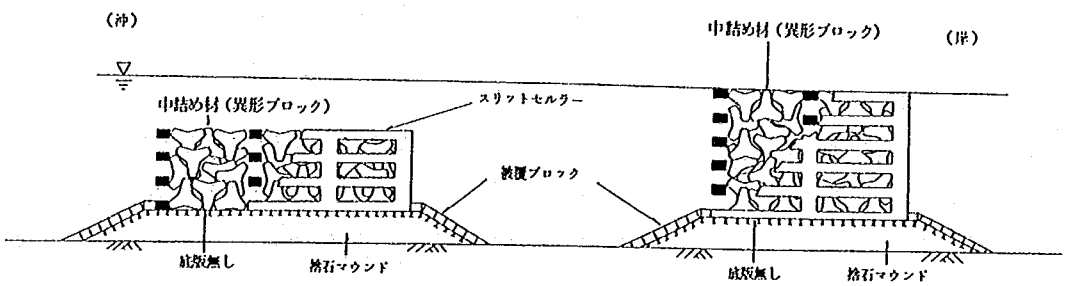


図－4.3.17　消波機構の概念図（複列透過性潜堤）

②構造の特徴

・沖側、岸側潜堤とも捨石マウンド上にスリットセルラーを設置し、異形ブロックを中詰めした構造である（図－4.3.18）。

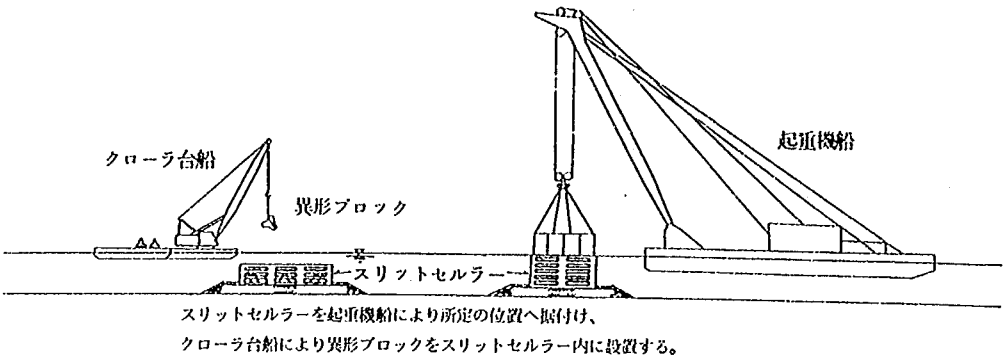
・スリットセルラーには底版がないので揚圧力が小さい。



図－4.3.18　潜堤式（複列透過性潜堤）の構造概要図

③施工の特徴

・施工の主な手順は、スリットセルラーおよび中詰め異形ブロックの陸上製作、捨石マウンドの設置、スリットセルラー運搬・据付、異形ブロックの中詰め、マウンド被覆石の設置である（図－4.3.19）。



図－4.3.19　潜堤式（複列透過性潜堤）の施工要領図

・スリットセルラーは陸上で一体製作し、大型起重機船（約1000tf吊り）により据え付ける。
・主要工種の異形ブロックおよびスリットセルラーの製作は陸上で行うため、海上作業は少ない。

④耐久性、維持管理の特徴

・堤体は、RC構造物であり鋼管杭等を使用していない。また、構造物の大部分は常時没水している。したがって、耐腐食性を確保し易い構造となっている。
・表層の中詰め異形ブロックが波によって動揺し、スリットセルラー上部にくり返し衝突することによりスリットセルラー上部にひびわれあるいは摩耗を生じることが考えられる。これらを防止する方法としては、スリットセルラー上部の内側に緩衝材を貼り衝撃を緩和する方法、または、スリットセルラーのコンクリート強度を中詰め材より大きくして、中詰め材を摩耗し易くする方法を取ることができる。前者では、耐用年数30年以上の緩衝材を用いることにより、維持管理を容易にできる。後者の場合には粗骨材のすりへり減量が小さく曲げ強度等の大きいコンクリートをスリットセルラーに用いる必要がある。
・捨石マウンドを有する重力式の構造物であるので、捨石マウンドの変形および堤体の沈下を調査する必要がある。

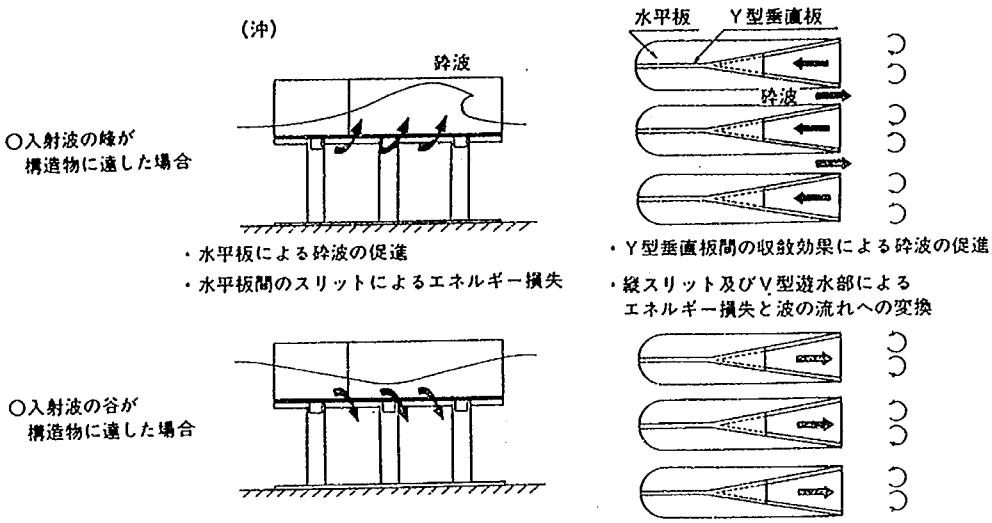
⑤総合的な特徴

堤体は底版を有していないので揚圧力が小さい。ただし、構造上中詰め材とスリットセルラーとの衝突に対する配慮が必要である。また、堤体と中詰め異形ブロックは陸上で製作されるため品質管理が容易であるとともに、海上での作業が少なくなる。また、没水した構造物のため耐腐食性を得やすく、景観に与える影響も少ない。

g）複合消波式（複合消波型構造物）

①消波機構

・複合消波式は、水平スリットの効果とY型垂直板による波の収斂効果により砕波を生じさせるとともに、Y型垂直板の縦スリットおよびV型遊水部の効果により波を流れに変換させることにより消波する（図－4.3.20）。これらの効果により長周期の波に対しても消波効果を有する。



図－4.3.20　消波機構の概念図（複合消波式）

②構造の特徴

・複合消波型構造物は直接基礎型式の重力式構造物であり（図－4.3.21）、堤体は鉄筋コンクリート製である。

・設置位置周辺の海底の表層を捨石置換することにより基礎地盤を改良し、洗掘に対する堤体の安定性を確保する。

③施工の特徴

・鉄筋コンクリートの堤体は陸上ヤードで製作するため、海上作業は少ない。また、陸上での堤体製作と平行して浚渫、捨石置換等の海上作業を同時進行できる（図－4.3.22）。

・本構造物は、中詰めや杭打設を要しない堤体を現地に据え付けるので、据付直後より安定性を確保することが可能である。

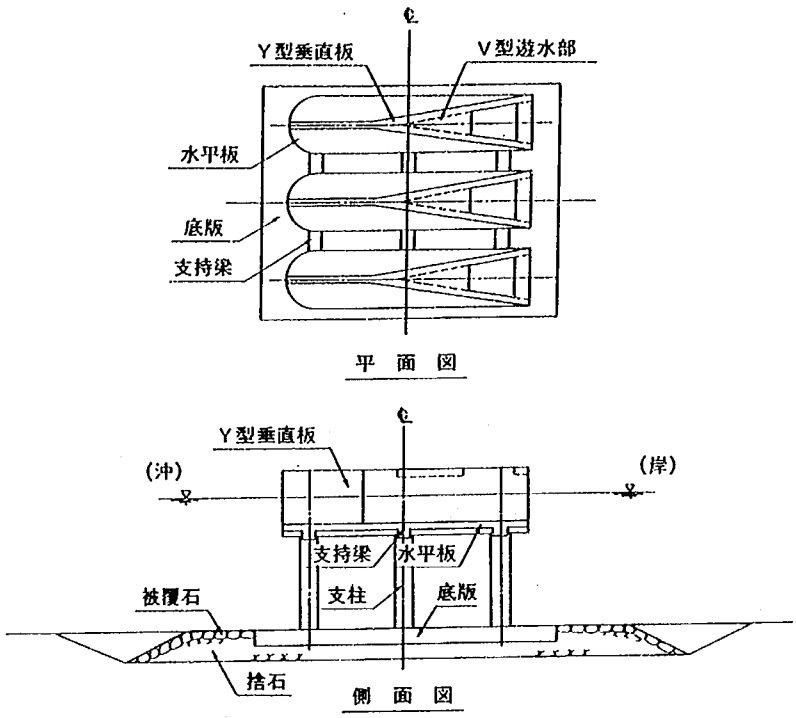
④耐久性、維持管理の特徴

・複合消波式は鉄筋コンクリート構造であるため、主要劣化要因（塩分浸透、中性化、ひび割れ）に対して十分な厚さを有する密実なかぶりコンクリートを陸上で施工することにより、耐久性を確保する。

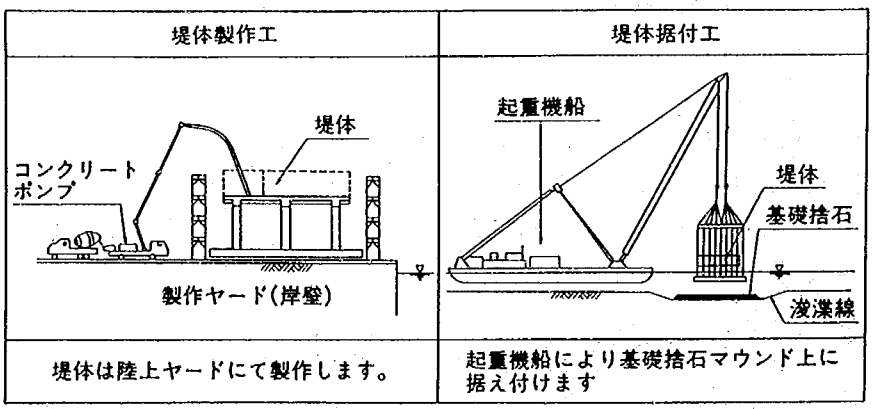
・捨石置換した基礎地盤の変形、堤体の沈下に関しては調査が必要である。

⑤総合的な特徴

複合消波式は長周期の波に対しても消波効果を有する。堤体は、陸上で製作される鉄筋コンクリート構造であるため、品質管理が容易である。また、中詰めや杭打設を要しない堤体が捨石置換された海底上に据え付けられるので、施工直後より安定性を確保できる。洗掘に対しては、海底の表層を捨石置換することにより安定性を確保する。



図－4.3.21　複合消波式の構造概要図

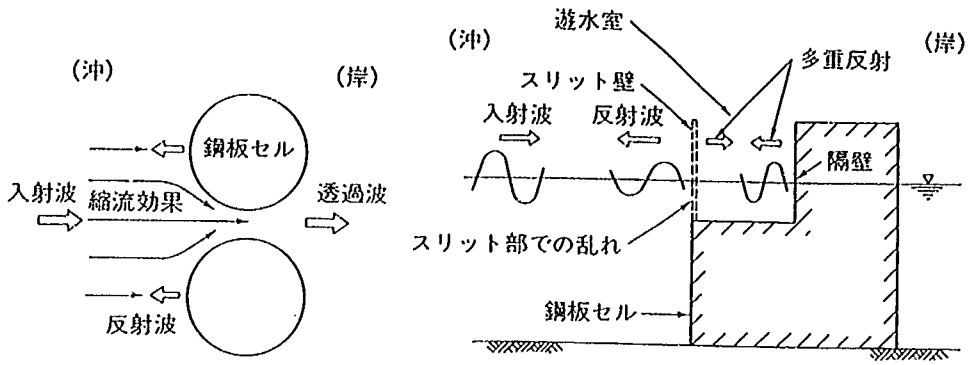


図－4.3.22　複合消波式の施工要領図

h）透過セル式（根入れ鋼板セル型構造物）

①消波機構

セル体による反射と間隙部の縮流効果によるエネルギー損失により透過波を低減させる。さらに、遊水タイプでは、スリットによるエネルギー損失と、スリット壁と遊水室隔壁との多重反射に伴うエネルギー損失により反射波を低減する（図－4.3.23）。



a）セル体による消波（平面図）　　b）遊水室による消波（断面図）

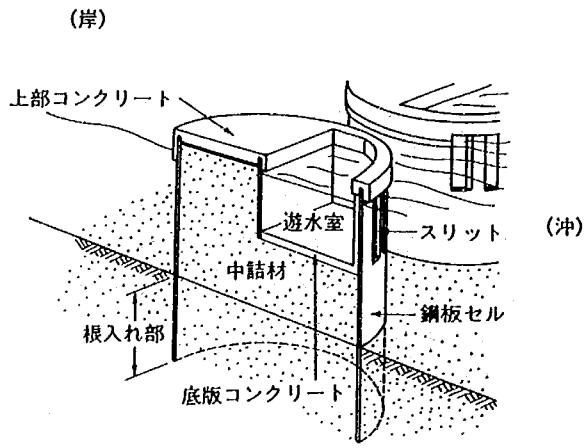
図－4.3.23　消波機構の概念図（透過セル式）

②構造の特徴

・円筒形のセル体は重力式構造物であり、下端部は海底地盤中に根入れされる。セル体は鋼板セルと中詰め材により構成される。基本タイプは単純な円筒形のセル体からなるが、遊水タイプはセル体上部の沖側にスリット壁付遊水室を有する。

・スリット壁付き遊水室には、コンクリート構造（コンクリート製スリット型）と鋼構造（鋼製スリット型）の２種類の構造がある（図－4.3.24）。

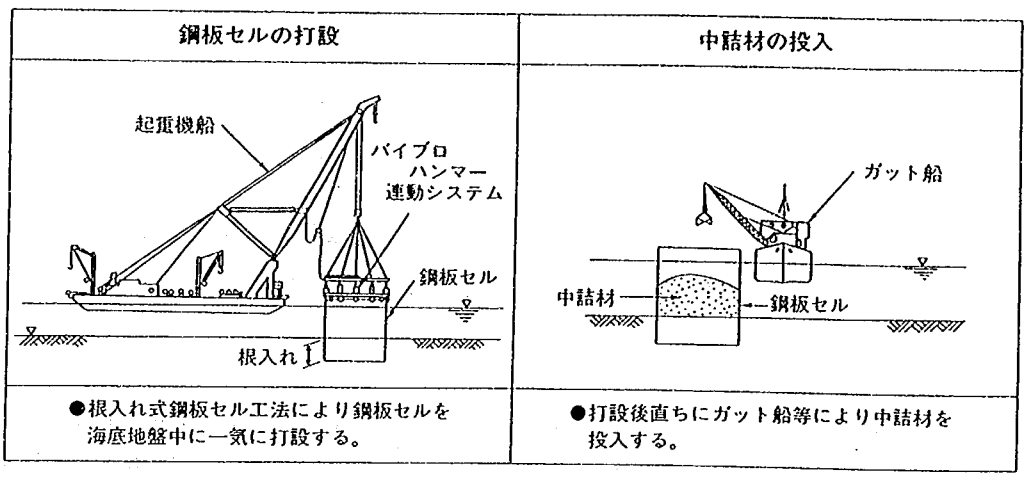
・セル体は海底地盤中に根入れされるので洗掘に対する安定性を確保し易い。



図－4.3.24　構造概要図

③施工の特徴

セル体は陸上で一体製作される。海上を運搬されたセル体は数台のバイブロハンマーの同調運転により海底地盤中に打設される（図－4.3.25）。したがって、海上での作業は少なくなる。設置されたセル内には中詰め材が投入され、重力式構造物として安定化させる。



図－4.3.25　透過セル式の施工要領図

④耐久性、維持管理の特徴

L.W.L.下約1.0mより高い位置の鋼製部材には、厚さ約300㎜のコンクリート被覆により長期的な耐久性を得る方法が考えられる。また、鋼製のスリット部材にはコンクリート被覆ができないので、塗装被覆などによる重防食を施す。これらの方法により長期の耐久性を得られないと考えられる場合には、適切な時期に補修を行う必要がある。L.W.L.下約1.0mより低い位置の鋼製部材に関しては、流電陽極方式による電気防食と腐食代の併用により所要の耐用年数に応じた設計を行う。

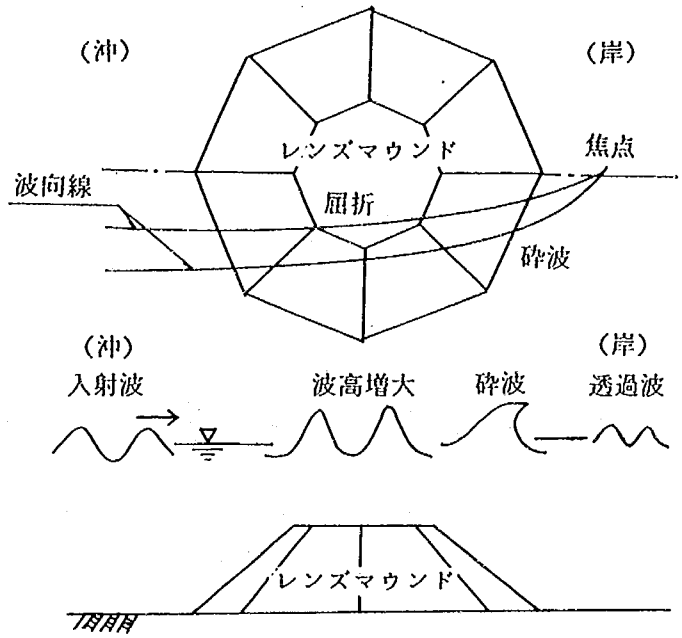
⑤総合的な特徴

基本タイプは反射率がやや高いものの構造が簡単である。また、反射率は遊水タイプとすることにより改善できる。セル体は陸上で製作されるため、品質管理が容易である。また、陸上で製作されたセル体が海底地盤中に一体的に打設されるので、海上作業が少ない。さらに、セル体が海底地盤中に根入れされるため、洗掘に対する安全性を確保し易い。

ⅰ）　リーフ式（レンズマウンド）

①消波機構

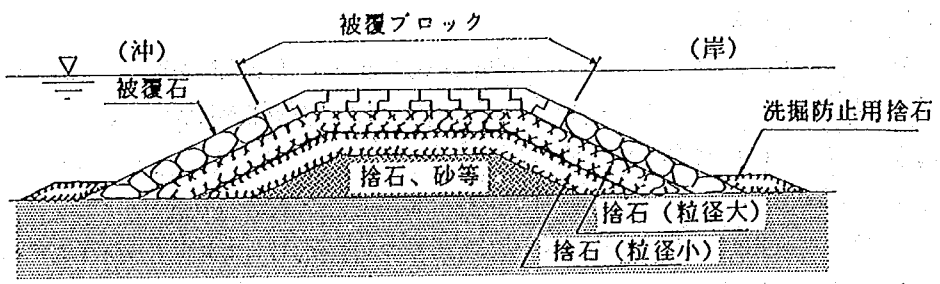
レンズマウンド上を通過する波は、レンズマウンドの天端あるいはその岸側の焦点に集中する方向に屈折する。このため天端付近の波高が増大し、入射波は砕波する。この結果、入射波のエネルギーが減少して透過波高が低下する（図－4.3.26）。このように砕波によって波エネルギーの消散を図るので、反射率は小さくなる。



図－4.3.26　消波機構の概念図（リーフ式）

②構造の特徴

レンズマウンドは、角錐台の形状を有し、捨石、砂等からなる中詰め部と捨石、被覆ブロックからなる被覆層で構成される捨石式の構造物である。中詰め部は、砂や捨石を用いて中心から外に向い徐々に粒径の粗いものを使用するようにして、被覆層を通しての吸い出しを防止する。中詰め材には建設廃材等を利用することも可能である。被覆層は被覆石と被覆ブロックにより形成され、波浪による中詰めの散乱、流失を防止する（図－4.3.27）。

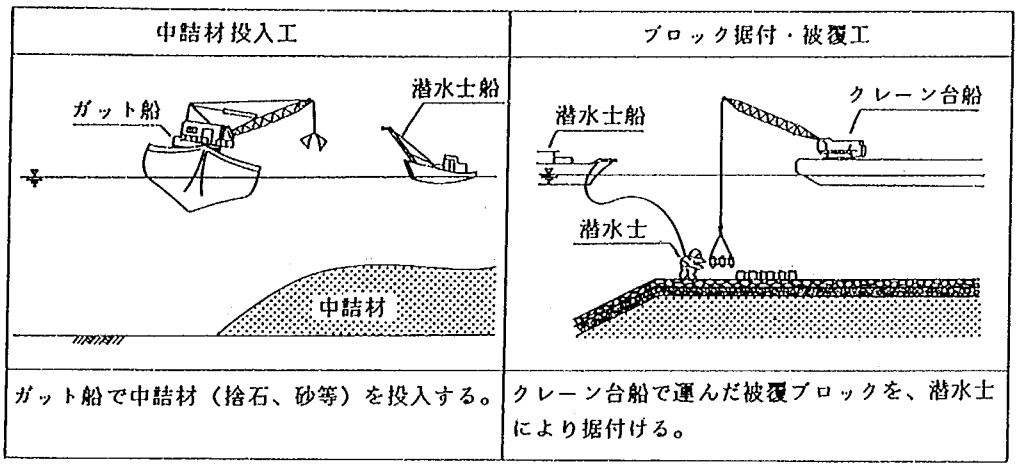


図－4.3.27　リーフ式の構造概要図

③施工の特徴

主な工種は盛砂、捨石工の運搬・投入・均し、ブロックの据付であり、全体として工種が少ない（図－

4.3.28)。また、陸上ヤードでは被覆ブロックの製作と仮置きを行うのみなので、作業面積が小さくてすむ。



図－4.3.28　リーフ式の施工要領図

④耐久性、維持管理の特徴

レンズマウンドの機能が失われるのは、異常波浪時に被覆層が移動あるいは散乱し、中詰め部が流失して、堤体が大きく変形する場合であると考えられる。この場合には中詰めを追加投入し、被覆層を復旧することにより機能を回復できる。したがって、維持管理においては、適切な時に堤体形状の検測と被覆層の確認を行えばよい。

⑤総合的な特徴

レンズマウンドは、堤体上で波を集中、砕波させることによって消波効果を得る構造物であるため、反射率が小さい。また、没水しているため景観に影響を与えない。自然の岩礁と類似した形状であり、魚礁としての効果も期待される。

施工に関しては、工種が少なく、さらに連続作業であることから、施工期間が短い。また、築造後に被害を受けた場合でも中詰め、被覆石、被覆ブロックの追加投入により復旧が可能である。

j）柔構造潜堤式（フレキシブルマウンド）

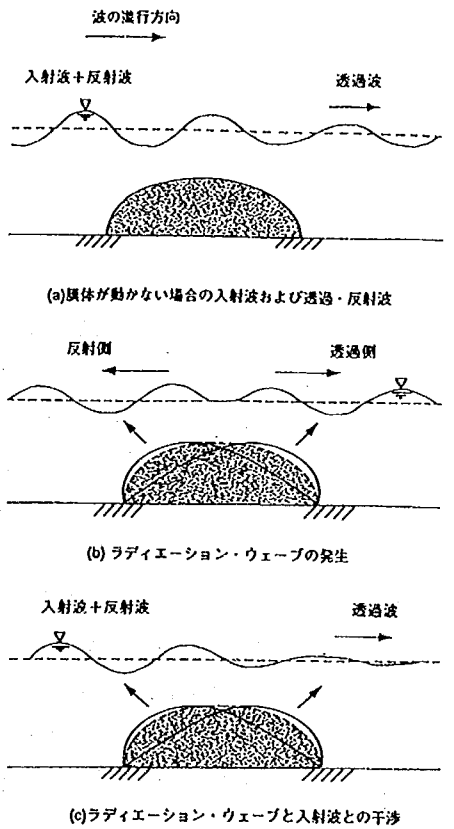
①消波機構

・フレキシブルマウンドは、入射波と、堤体（袋体）の変形・運動に伴って発生する波（ラディエーションウェーブという）との干渉により消波する。この現象は、構造物が変形しないときの透過波および反射波と、構造物の変形・運動に伴って発生するラディエーションウェーブとの重ね合わせとして説明することができる。フレキシブルマウンドの変形を考えないとき、透過波は、図－4.3.29の（a）に示すように伝播する。一方、入射波によって変形・運動するフレキシブルマウンドは、図－4.3.29の（b）に示すように透過側および反射側にラディエーションウェーブを発生する。結局、フレキシブルマウン

ドによって透過・反射する波は、（a）と（b）を重ね合わせた（c）のようになる。したがって、堤体が変形しないときの透過波とラディエーションウェーブが等振幅で、逆位相に近いほど高い消波効果を得られる。

・天端が水面近くにある場合、あるいは波高の高い場合には、従来の潜堤と同様に砕波により消波する。

・堤体の運動に伴い波エネルギーが消費されることにより、透過波および反射波が減衰される。



図－4.3.29　消波機構の概念図（柔構造潜堤式）

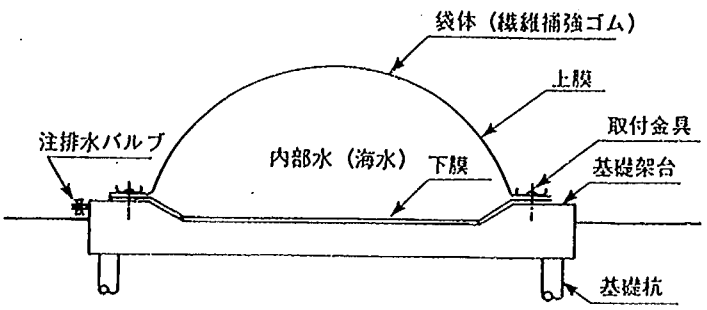
②構造の特徴

・フレキシブルマウンドは、膜製の袋体、鋼またはコンクリート製の基礎架台、および杭またはアンカーなどの固定部材で構成される（図－4.3.30）。

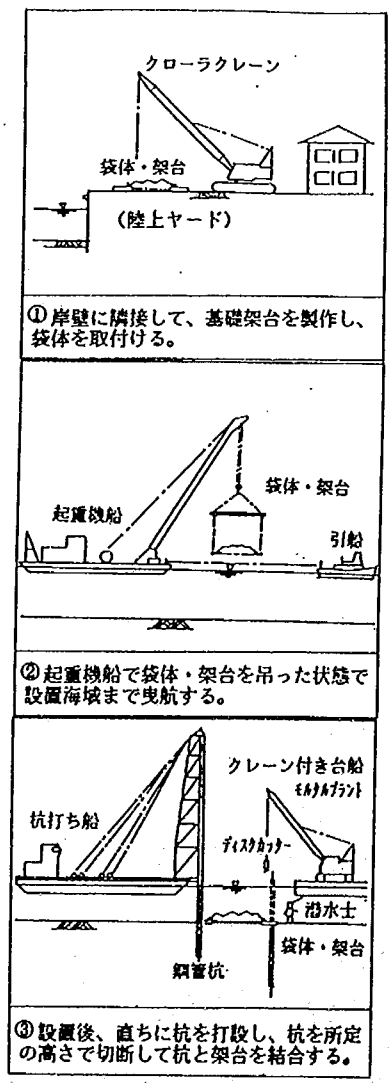
・袋体はその底部フランジ部を基礎架台に固定し、内部に海水を充填して形成されるカマボコ状の構造体である。ただし、重力式構造物とする場合は、袋体内に土砂を充填することもある。

・袋体内部の水圧は外部の静水圧よりも2～10%高く設定する。

・基礎架台の海底への固定は、杭による方法を基本とする。波浪条件および海底の土質条件によっては、アンカー固定式、重力式、あるいはこれらの組み合わせの型式も可能である。



図－4.3.30　柔構造潜堤式の構造概要図



図－4.3.31　柔構造潜堤式の施工要領図

③施工の特徴

・袋体と基礎架台は工場および陸上ヤードで製作し、基礎架台に袋体を固定する。そして、クレーン船、台船などを用いて設置海域に曳航し、海底に沈設した後に杭などで固定する（図－4.3.31）。

・構造物（袋体および基礎架台）が軽量なので、小型の作業船（台船、クレーン船など）で施工が可能である。

④耐久性、維持管理の特徴

袋体、取付け金具および基礎は、海象条件と疲労・強度試験等の耐久試験に基づき構造物の耐用年数に十分耐える材料、構造を検討する。フレキシブルマウンドは、陸上ヤードで袋体を基礎架台に固定し、気密試験を実施したのち現地に設置されるので水密性を確保し易い。袋体内部の水圧および注排水バルブは適切な時期に点検する必要がある。また、周辺地盤の洗掘、袋体の外傷などについて適切な時期に点検する。

⑤総合的な特徴

通常の没水構造物が砕波の発生によって消波するのに対し、本構造物は砕波の発生の有無にかかわらず消波することができるので、構造物の天端水深は水深の30～50％に設定できる。このため、景観に影響を与えず、また小型船舶やボートなどの航行の障害にもなりにくい。袋体に海水を充填して形成される簡単な構造の構造物であるので軽量であり、大型の作業船や施工装置を必要としない。

第5章　海域制御構造物の機能設計

5．1　機能設計の手順

海域制御構造物の機能設計は、消波機能等の海域制御構造物に要求される機能を満たす断面形の決定、静穏域の創出効果等に基づく構造物の配置計画の順に行う。また、構造設計、維持管理計画、施工計画によって、断面形または配置計画が不合理と判断された場合には、機能設計の再検討、あるいは構造物の再選定を行う。

〔解　説〕

海域制御構造物の機能は、基本的な消波機能に加えて、水質に関連して海水交換や水質改善の機能もある。また、魚礁効果などの生態変化に関する機能を有する場合もある。海域制御構造物の機能設計に当っては、これらの機能を総合的に検討して、断面形や配置を検討する必要がある。このうち、消波機能は防災、海浜の安定化、海域の利用などの目的に応じて所要の機能が異なるので、これらの目的に適した断面形や配置を設定しなければならない。

海域制御構造物の機能設計は、構造設計、維持管理計画、施工計画も含めて図－5．1．1のフローに示す手順に従って行われる。まず、当該海岸において要求される消波機能を、水路実験の結果等より検討して断面形を決定する。また、海水交換性や水質の改善効果、魚礁効果等の機能が要求される場合には、所要の消波機能が満足される条件の下で必要に応じて断面形を修正する。断面形の設定の際には、過大な洗掘が生じないように配慮しておく必要がある。次に、防災および利用面から見て所要の静穏域と海浜の安定性を確保できる配置を計画する。この配置計画の下で、設置海域の水質、生態に関する検討を行う。所要の静穏域を確保できない場合、あるいは海浜の安定性および水質、生態に関する検討結果が不可とされる場合には、断面形の再検討あるいは構造物の再選定を行う。以上が機能設計の手順である。機能設計はそれのみで完結するものではなく、構造設計、維持管理、施工の検討結果によっては機能設計を再検討することが必要とされる。

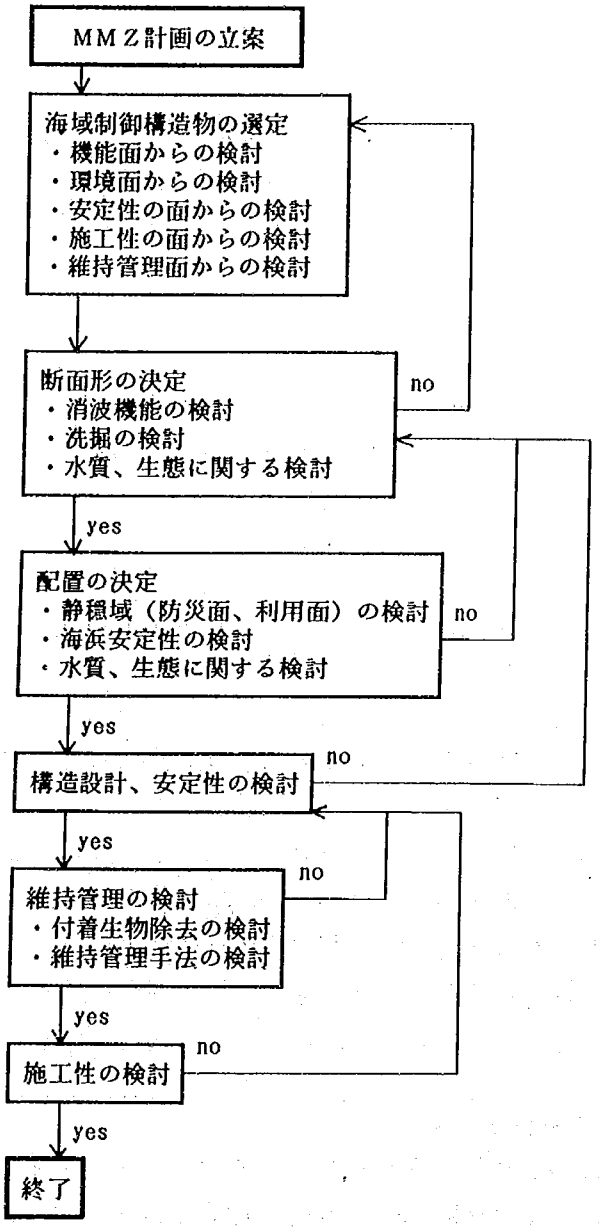
5．2　海域制御構造物の消波機能

海域制御構造物の消波機能は、防災および利用面から要求される透過率、反射率を目標とし、当該海岸の波浪条件、海底地形、設置水深等と断面形との関係を考慮して設計しなければならない。また、構造設計、維持管理計画、施工計画を考慮して、構造物の断面形の合理性、経済性を照査する必要がある。海域制御構造物の消波機能は原則として水理模型実験により決定する。

〔解　説〕

(1)　消波目標の設定

海域制御構造物の消波機能を設計する場合、まず消波目標を設定する必要がある。海域制御構造物の目的は、海域を静穏化することにより国土を保全し、新たな利用空間を創出することにある。したがって、



図－5.1.1　海域制御構造物の設計全般のフロー

その消波目標は国土保全と海域利用の観点から、当該海岸のMMZ計画の目的に応じて設定する必要がある。

①国土保全

決定された計画外力に対して、海浜、海岸堤防等と一体となり陸域を保全する。したがって、必要とされる消波機能は、海浜と海岸堤防等により背後地が越波、浸水から保全されるよう入射波を減衰させ

ることである。したがって、消波対象とする波浪は、当該海岸の高潮対策上必要な再現期間を有する波浪、あるいは隣接海岸における高潮対策の計画外力とする必要がある。

また、計画された海浜が安定して維持されることも保全上の必要条件である。このためには、沿岸漂砂や岸沖漂砂による海浜の変形を考慮し、海浜を維持するのに必要な消波機能が必要とされる。この場合の消波対象の波浪には、岸沖漂砂に関しては年に数回程度の高波浪が、沿岸漂砂に関してはエネルギー平均波が用いられることが多い。

②海域利用

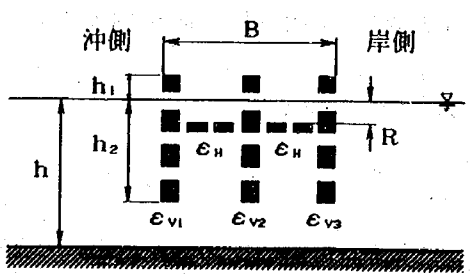
海域の利用に必要とされる消波機能は、海域の利用項目により異なる。したがって、空間利用の観点から決定された利用項目ごとに必要とされる波浪条件、海域の面積等を考慮し、目標とする透過波の波浪条件、静穏域の面積等を決定する必要がある。また、消波対象の波浪は、空間利用計画において設定される海域の利用可能日数や利用時期等を考慮して、当該海岸の来襲波浪統計より算定する必要がある。

(2) 各型式の構造物の消波機能

各型式の消波機構は本編「4．3．2　海域制御構造物の選定」で述べた通りであり、ここで示す内容は計画時の消波機能の設計に資するよう水理模型実験の結果を主に取りまとめたものである。各型式の欄には開発目標としてきた条件および開発に当って設定した水理実験の範囲を示してある。ここに示す結果は、限られた範囲の実験に基づくものであるから、現地の地形条件・海象条件や計画する構造諸元等が実験の範囲外にある場合には、水理模型実験を行い消波機能を調べる必要がある。なお、透過率、反射率の算定図は特にことわりのない限り規則波実験によるものである。実験の詳細等は建設省土木研究所海岸研究室（1987a；1987b；1988a；1988b；1989a；1989b；1990a；1990b；1991）等の文献を参照されたい。なお、ここで使用する主な記号は、H_I：設置位置での入射波高，H_T：設置位置での透過波高，H_R：設置位置での反射波高，L：設置位置での入射波波長，K_T：透過率（$=H_T/H_I$），K_R：反射率（$=H_R/H_I$），H_o'：入射波の換算沖波波高，L_o：入射波の換算沖波波長、である。

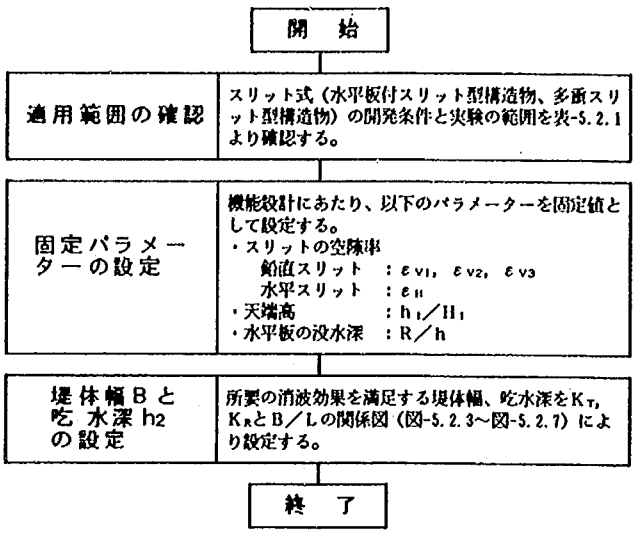
(3) スリット式（連結ブロック式）

スリット式（連結ブロック式）の諸元を図－5.2.1に、設計フローを図－5.2.2に示す。また、本型式の開発目標と実験範囲を表－5.2.1に示す。以下にはスリット式（連結ブロック式）の中の各構造物ごとに、設計フローに基づいて消波機能を説明する。



構造諸元	記号
堤体幅（水平板幅）	B
鉛直板天端高	h_1
鉛直板吃水深	h_2
水平板没水深	R
空隙率　鉛直	ε_{V1}，ε_{V2}，ε_{V3}
水平	ε_H

図－5.2.1　スリット式（連結ブロック式）の構造諸元



図－5.2.2　設計フロー（連結ブロック式）

表－5.2.1　開発目標と実験条件の範囲（連結ブロック式）

開発目標	
設置水深	h＝5～15m
波浪条件	$H_1/h=0.1\sim0.4$，$H_1/L\leq0.05$
実験条件の範囲	
H_1/h	$H_1/h=0.07\sim0.4$
H_1/L	$H_1/L=0.01\sim0.06$
B／L	B／L＝0.1～0.3
h_2/h	$h_2/h=0.6\sim1.0$

a）多重スリット型構造物

①固定パラメーターの設定

・鉛直スリットの枚数は3枚であり、各々の空隙率は透過率と反射率がともに小さくなるように検討した結果、以下のように設定される。

沖側：$\varepsilon_{v1}=0.3\sim0.4$、中央部：$\varepsilon_{v2}=0.2$、岸側：$\varepsilon_{v3}=0.1$

・鉛直スリットの天端高h_1は、$h_1/H_1=0.5$を基本とする。

②透過率（図－5.2.3）

透過率K_Tは相対堤体幅B／Lより吃水比h_2／hに強く影響されるので、透過率を低減するためには吃水比h_2／hを大きくするとよい。例えば、$K_T\leq0.6$を得るためには相対堤体幅B／Lが0.1～0.3の範囲で$h_2/h\geq0.85$にすればよい。また、K_TはH_1／Lが大きいほど小さくなる傾向を示す。

③反射率（図－5.2.3）

反射率K_Rはh_2/hには関係なく、B／Lが大きくなるほど直線的に減少する。$h_2/h \geqq 0.7$にすれば、B／Lが0.1～0.3の範囲で$K_R \leqq 0.4$とすることができる。また、波形勾配H_1/LはK_Rにあまり影響しないようである。

b）水平板付スリット型構造物（水平板機能重視型）

①固定パラメーターの設定

・鉛直スリットの枚数は3枚を基本とする。各々の空隙率は次のように設定する。

$\varepsilon_{v1} = \varepsilon_{v2} = \varepsilon_{v3} = 0.4$

構造上中央のスリットが必要ない場合には2枚スリットとすることも可能である。この場合の消波機能の変化はあまり大きくないと考えられる。

・水平板スリットの空隙率は、消波機能と設計波力との関係から次のようにするとよい。

$\varepsilon_H = 0.1$

なお、ε_Hによる消波効果の変化を図－5.2.4に示す。

・鉛直スリットの天端高h_1は$h_1 = 0$とする。

・水平板の没水深Rは、有効な消波効果が得られるように$0 \leqq R/h \leqq 0.2$とし、潮位変化を考慮の上適切に決定する（服部，1975参照）。

②透過率（図－5.2.5）

透過率K_TはB／L＞0.18でB／Lの増加とともに減少する。また、H_1/Lに関してはH_1/Lが小さいほどK_Tがやや大きくなるようである。$h_2/h = 0.6$と0.8では、B／L＜0.2で$h_2/h = 0.6$の方がK_Tはやや大きいが、このほかの範囲ではh_2/hはK_Tにあまり影響しない。

③反射率（図－5.2.5）

反射率K_RはB／Lの増加とともに大きくなる。また、H_1/L、h_2/hはK_Rにあまり影響しないようである。

c）水平板付スリット型構造物（鉛直スリット機能重視型）

①固定パラメーターの設定

・鉛直スリットの枚数は3枚を基本とする。各々の空隙率は以下のように設定する。

沖　側：$\varepsilon_{v1} = 0.40$、中央部：$\varepsilon_{v2} = 0.25$、岸側：$\varepsilon_{v3} = 0.25$

・水平板スリットの空隙率は消波機能を確保するために次の値とする。

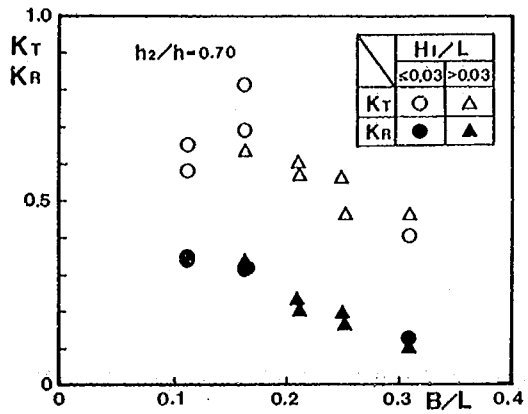
$\varepsilon_H = 0.20$

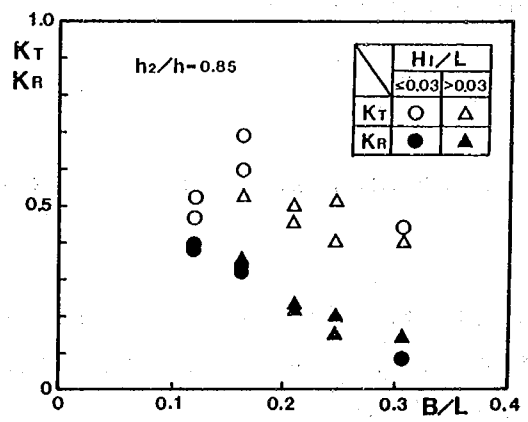
なお、ε_Hによる消波効果の変化を図－5.2.6に示す。

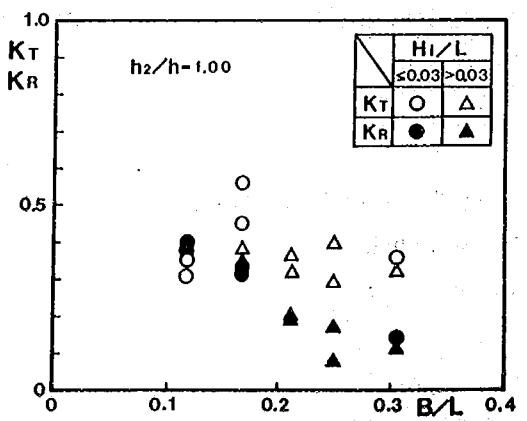
・鉛直スリットの天端高h_1、水平板の没水深Rは、水平板機能重視型と同様に設定する。

②透過率（図－5.2.7）

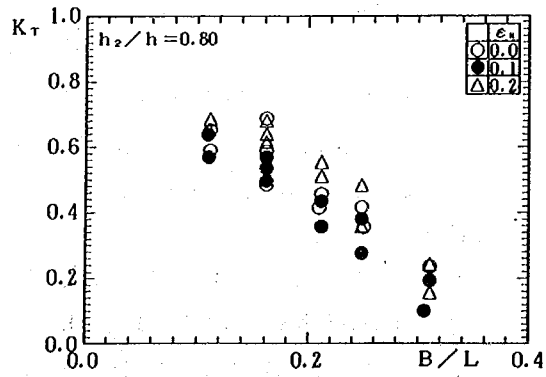
透過率K_TはB／L＞0.18でB／Lの増加とともに減少する。また、B／L＜0.2ではH_1/Lが小さいほどK_Tが大きい。さらに、h_2/hが大きいほどK_Tは小さく、この傾向はB／L＜0.2で顕著である。

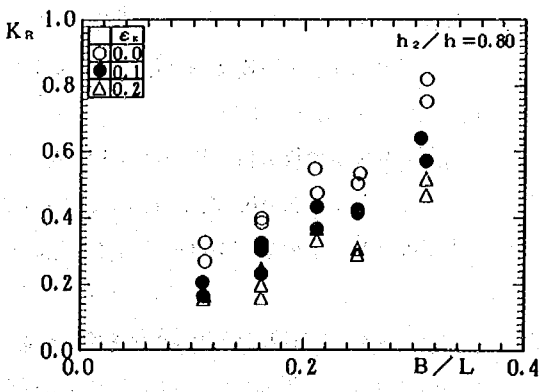




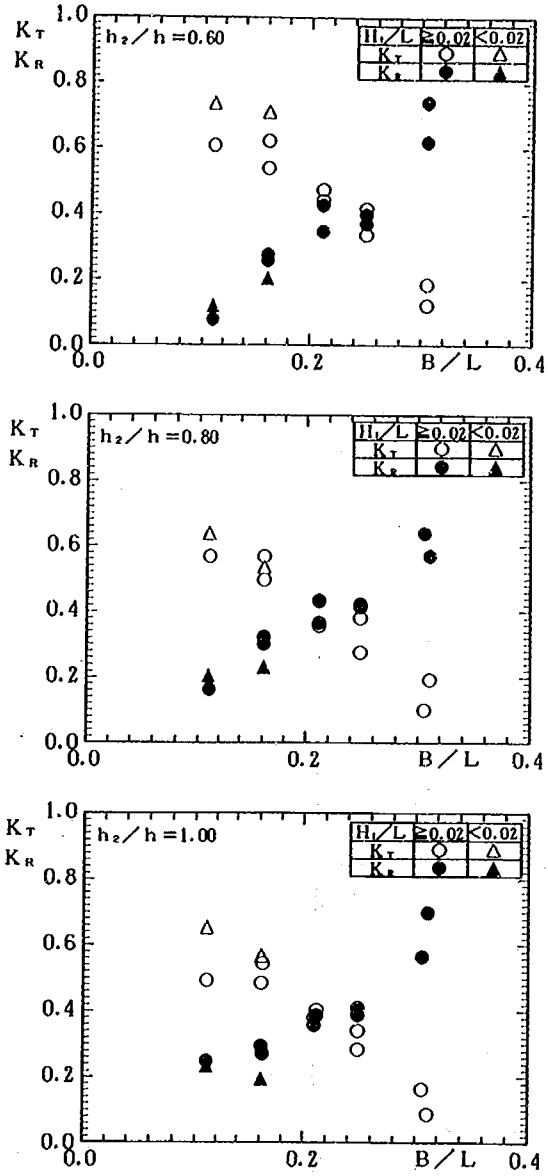


図－5.2.3　多重スリット型のK_T、K_R－B／Lの関係（$\varepsilon_{v1}=0.3$、$\varepsilon_{v2}=0.2$、$\varepsilon_{v3}=0.1$、$1.3<h_1/H_1<5.4$、$H_1/h<0.4$）

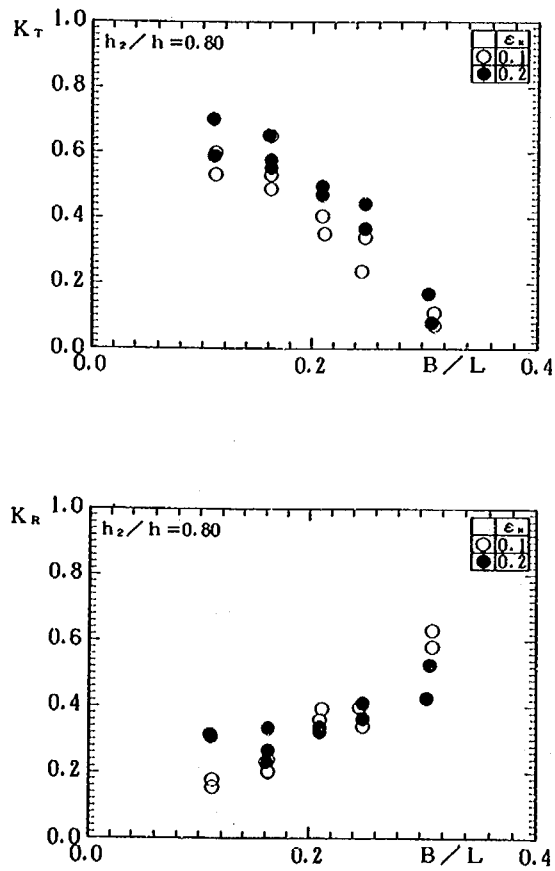




図－5.2.4　水平板付スリット型（水平板機能重視型）のK_T、K_R－B／Lの関係（$\varepsilon_{v1}=\varepsilon_{v2}=\varepsilon_{v3}=0.4$、$h_1/h=0$、$R/h=0.1$、$H_1/h<0.4$）



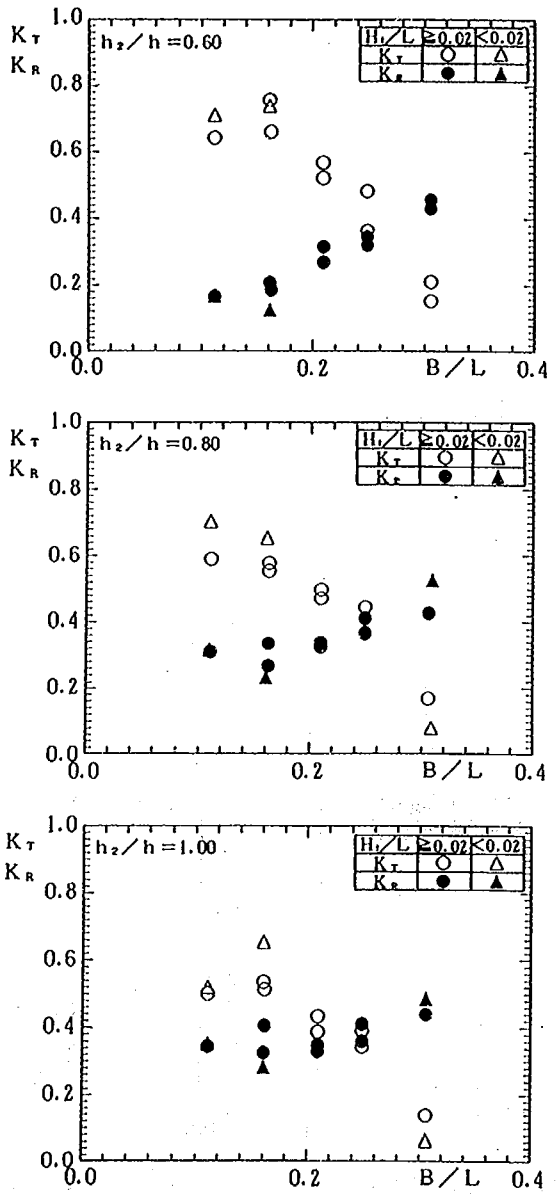
図－5.2.5　水平板付スリット型(水平板機能重視型)のK_T、K_R－B／Lの関係($\varepsilon_{v1}=\varepsilon_{v2}=\varepsilon_{v3}=0.4$、$\varepsilon_H=0.1$、$h_1/h=0$、$R/h=0.1$、$H_1/h<0.4$)



図－5.2.6　水平板付スリット型(鉛直スリット機能重視型)のK_T、K_R－B／Lの関係($\varepsilon_{v1}=0.4$、$\varepsilon_{v2}=\varepsilon_{v3}=0.25$、$h_1/h=0$、$R/h=0.1$、$H_1/h<0.4$)

③反射率（図－5.2.7）

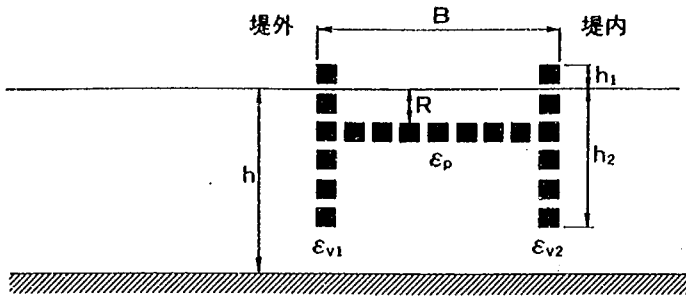
反射率K_Rは$h_2/h\leqq0.8$でB／Lの増加とともに増加する傾向がある。一方、$h_2/h=1.0$ではB／Lによる変化は小さい。また、H_1／Lによる変化も小さい。



図－5.2.7　水平板付スリット型（鉛直スリット機能重視型）のK_T、K_R－B／Lの関係
（ε_{v1}＝0.4、ε_{v2}＝ε_{v3}＝0.25、ε_{H}＝0.2、h_1／h＝0、R／h＝0.1、H_1／h＜0.4）

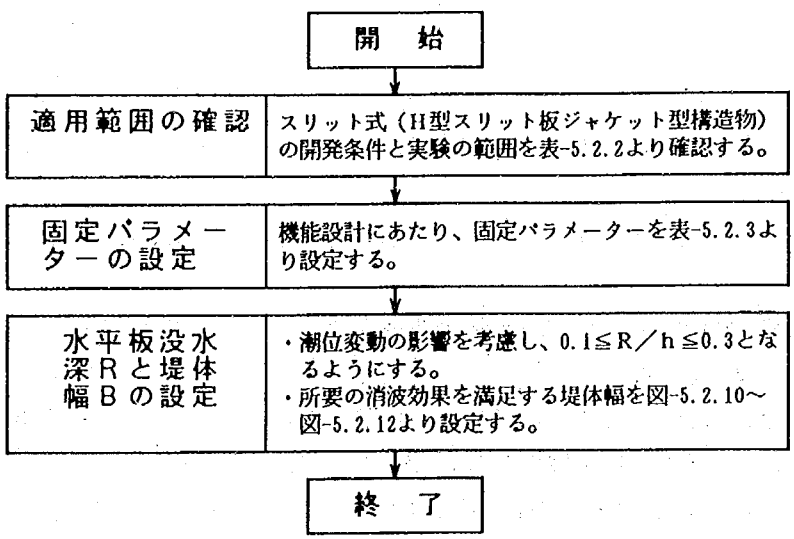
(4)　スリット式(H型スリット板ジャケット型構造物)

スリット式（H型スリット板ジャケット型構造物）の諸元を図－5.2.8に、設計フローを図－5.2.9に示す。また、本型式の開発目標と実験範囲を表－5.2.2に示す。



構造諸元	記号
堤体幅	B
鉛直板吃水比	h_2
鉛直板天端高	h_1
水平板吃水比	R
空隙率 鉛直	ε_{v1}, ε_{v2}
水平	ε_H

図－5.2.8　スリット式（H型スリット板ジャケット型）の構造諸元



図－5.2.9　スリット式（H型スリット板ジャケット型）の設計フロー

表－5.2.2　開発目標と実験条件の範囲（H型スリット板ジャケット型）

開発目標	
設置水深	h＝5～15m
波浪条件	H_I/h＝0.1～1.0，H_I/L＝0.01～0.08
実験条件の範囲	
H_I/h	H_I/h＝0.01～0.93
H_I/L	H_I/L＝0.01～0.08
B／L	B／L＝0.09～0.64

①固定パラメーターの設定

消波・波力特性の実験結果より以下のパラメーターを選定した（表－5.2.3）。

表－5.2.3　構造諸元および諸元の固定値（H型スリット板ジャケット型）

構造諸元	記号	固定値
鉛直板吃水比	h_2/h	0.7
鉛直板天端高波高比	h_1/H_1	0.35
水平板吃水比	R/h	0.2
空隙率　鉛直板（前面板）	ε_{v1}	0.2
（背面板）	ε_{v2}	0.2
水平板	ε_H	0.1
堤体相対幅	B/L	

・鉛直板吃水比h_2/hは、比較的周期の長い入射波に対しても所要の消波効果を得られるように$h_2/h=0.7$とする。

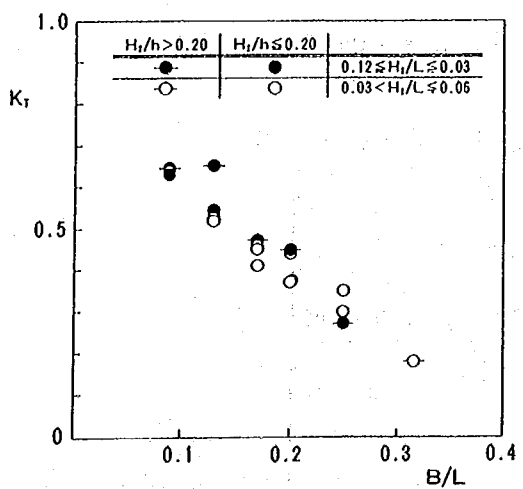
・水平板吃水比R/hは、潮位変化による透過率の変動が小さくなるように、$R/h=0.2$とした（図－5.2.10参照）。

・2枚の鉛直板の空隙率ε_{v1}、ε_{v2}と水平板の空隙率ε_Hは以下のように設定する。

ε_{v1}、$\varepsilon_{v2}=0.2$、$\varepsilon_H=0.1$

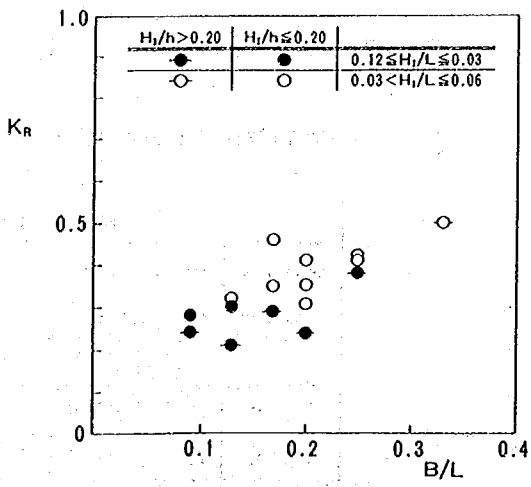
このとき、実用的な構造の範囲では、スリットの形状（横スリット、縦スリット、円孔のスリット）およびスリットの間隔により消波効果にあまり大きな変化を生じない。

・鉛直板の天端高h_1は、消波効果の確保と波力の低減の観点から、$h_1/H_1=0.35$とする。



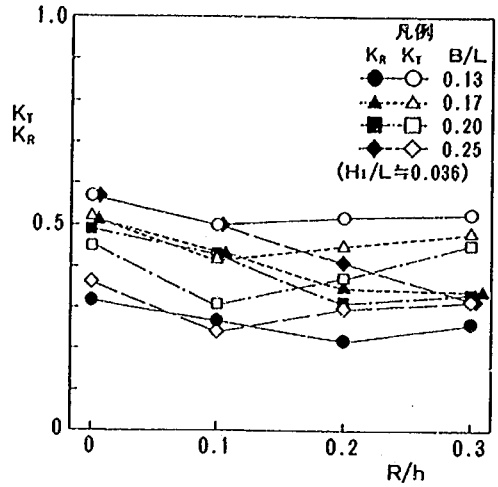
図－5.2.10　K_TとB/Lの関係

（$h_2/=0.7$、$R/h=0.2$、$0.110\leq H_1/h\leq 0.358$）



図－5.2.11　K_T、K_RとR/hの関係

（$h_2/h=0.7$、$R/h=0.2$、$0.110\leq H/h\leq 0.358$）



図－5.2.12　K_RとB/Lの関係

(h_2/h＝0.7、R/h＝0.2、0.110≦H_1/h≦0.358)

②透過率（図－5.2.11）

透過率K_TはB／Lにより変化し、B／Lが増すとK_Tは小さくなる。また、H_1／Lの影響は小さいようである。

③反射率（図－5.2.12）

反射率K_RはB／Lによりあまり変化せず、0.09≦B／L≦0.33、0.12≦H／L≦0.60の条件でK_R≦0.5を満足する。透過率と同様に施工可能な範囲ではスリットの形状、寸法によってK_Rはほとんど変化しない。

(5)　スリット式（透過水平板付スリットケーソン型構造物）

スリット式（透過水平板付スリットケーソン型）の構造諸元を図－5.2.13に、設計フローを図－5.2.14に示す。また、本型式の開発目標と実験範囲を表－5.2.4に示す。

①固定パラメーターの設定

・鉛直スリット壁の枚数は3枚であり、各々の空隙率は次のように設定する。

$\varepsilon_{v1}=\varepsilon_{v2}=\varepsilon_{v3}=0.25$

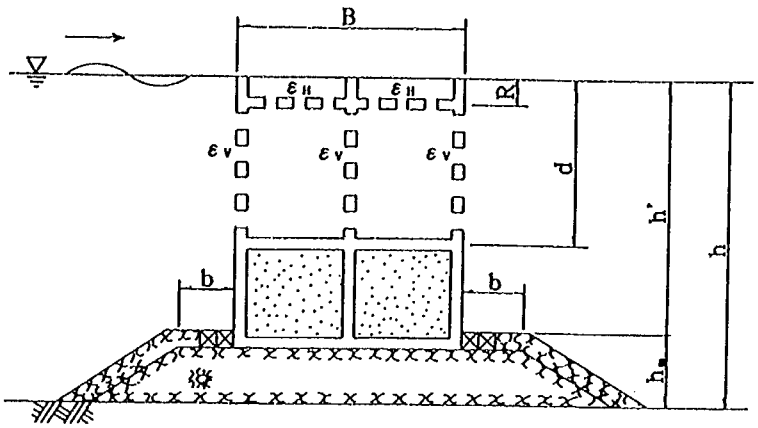
・水平板スリット壁の空隙率は、次のよう設定する。

$\varepsilon_H=0.15$

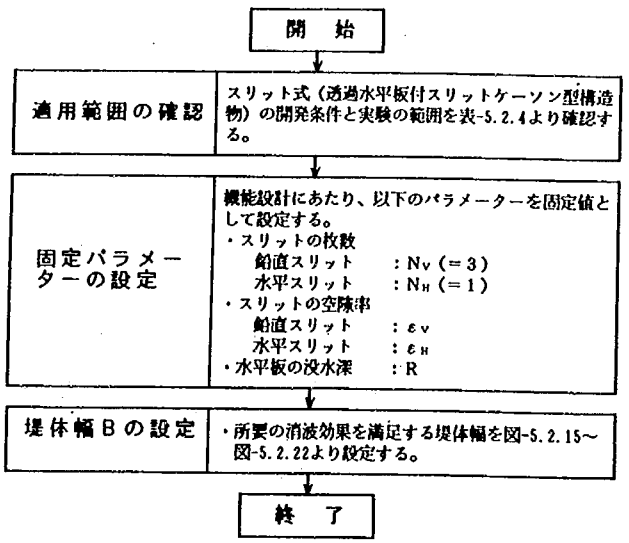
・鉛直スリット壁の天端高h_1は$h_1=0$とし、水平板の没水深Rは、有効な消波効果が得られるようにR／h＝0.1とする。

②透過率（図－5.2.15～5.2.18）

B／L＞0.1ではB／Lが大きくなると透過率K_Tは減少する（図－5.2.15）。また、鉛直壁のスリット高さと水深の比d／hが小さいほどK_Tは小さくなるが、d／h＝0.5～0.7での変化は小さい(図－5.2.16)。



図－5.2.13　スリット式（透過水平板付スリットケーソン型）の構造諸元



図－5.2.14　スリット式（透過水平板付スリットケーソン型）の設計フロー

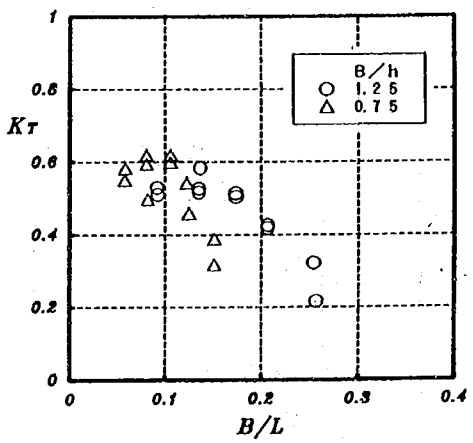
B／L、B／hを一定とした場合、H_I／Lの変化に対してK_Tはあまり変化しない（図－5.2.17）。不規則波実験結果の入射，透過波のスペクトル密度$S_I(f)$、$S_T(f)$（fは周波数）より求めた不規則波の透過率$K_T(f)=S_T(f)/S_I(f)$は、規則波とほぼ同様の傾向を示し（図－5.2.18）、規則波実験の結果は不規則波にもほぼ適用できることが分かる。

③反射率（図－5.2.19～5.2.22）

B／L＜0.2では、反射率K_RはB／Lによりあまり変化せずK_R＜0.4である。B／L＞0.2では、B／Lが大きくなるとK_Rも大きくなるようである（図－5.2.19）。また、d／hが小さいほどK_Rは大きくなるが、d／h＝0.5～0.7での変化は小さい（図－5.2.20）。H_I／Lの変化に対するK_Rの変化は小さい（図－5.2.21）。不規則波実験結果より求めた不規則波の反射率$K_R(f)=S_R(f)/S_I(f)$（$S_R(f)$：反射波のスペ

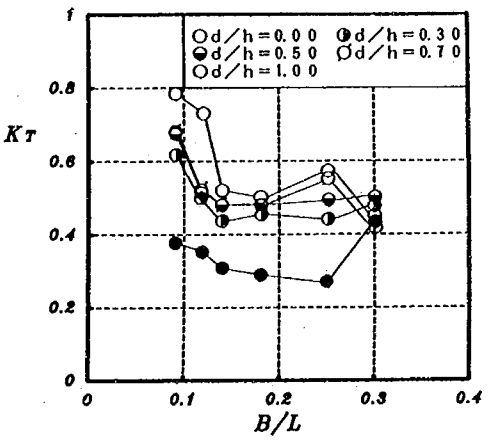
表－5.2.4　開発目標と実験条件の範囲（透過水平板付スリットケーソン型）

開発目標	
設置水深	h＝5～15m
着底条件	d／h＝0.6～1.0
波浪条件	h／L＝0.07～0.20, H_I／L＝0.01～0.06
実験条件の範囲	
h／B	h／B＝0.6～1.2
B／L	B／L＝0.078～0.236
R／h	R／h＝0～0.4
ε_V	ε_V＝0.15～0.4
ε_H	ε_H＝0.15～0.3



図－5.2.15　B／Lと透過率

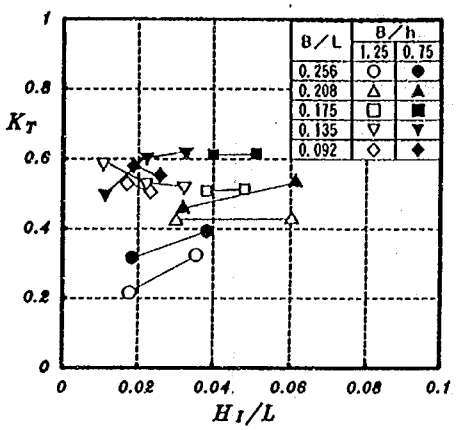
$\left\{ \begin{array}{l} N_V=3,\ \varepsilon_V=0.26,\ \varepsilon_H=0.16, \\ d/h=1.0,\ H_I/L=0.011\sim0.061, \\ H_I/R=1.0\sim4.0,\ R/h=0.1 \end{array} \right\}$



図－5.2.16　没水深と透過率

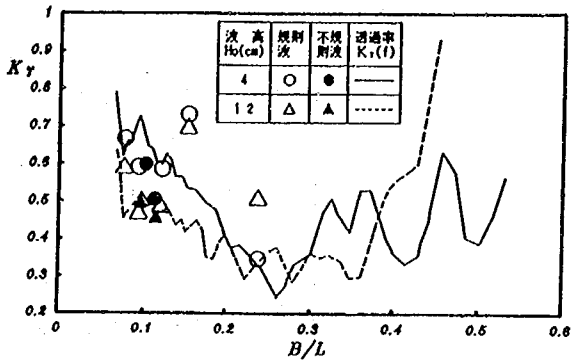
$\left\{ \begin{array}{l} N_V=3,\ \varepsilon_V=0.20,\ \varepsilon_H=0.15, \\ H_I/L=0.018\sim0.061, \\ H_I/R=1.0\sim4.0,\ R/h=0.1 \end{array} \right\}$

クトル密度）は、規則波とほぼ同様の傾向を示し（図－5.2.22）、規則波実験の結果は不規則波にもほぼ適用できることが分かる。



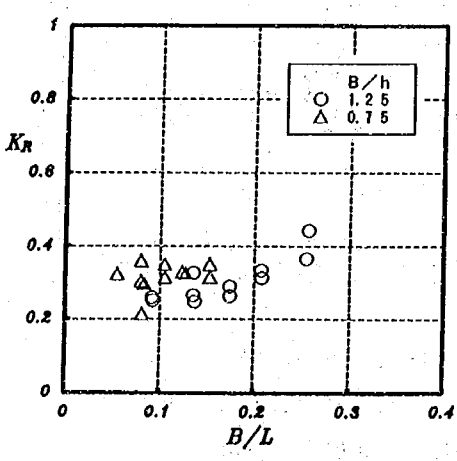
図－5.2.17　H_I/Lと透過率

〔$N_V=3$，$\varepsilon_V=0.26$，$\varepsilon_H=0.16$，
$d/h=1.0$，$H_I/R=1.0\sim4.0$，
$R/h=0.1$〕



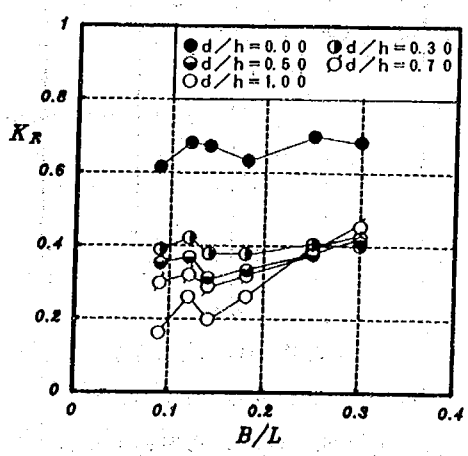
図－5.2.18　不規則波の透過率

〔$N_V=3$，$\varepsilon_V=0.20$，$\varepsilon_H=0.15$，
$d/h=1.0$，$R/d=0.133$，
$H_I/R=1.0\sim4.0$，$R/h=0.1$〕



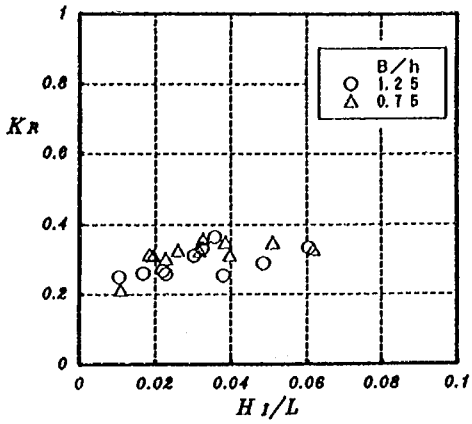
図－5.2.19　B/Lと反射率

〔$N_V=3$，$\varepsilon_V=0.26$，$\varepsilon_H=0.16$，
$d/h=1.0$，$H_I/L=0.011\sim0.061$，
$H_I/R=1.0\sim4.0$，$R/h=0.1$〕



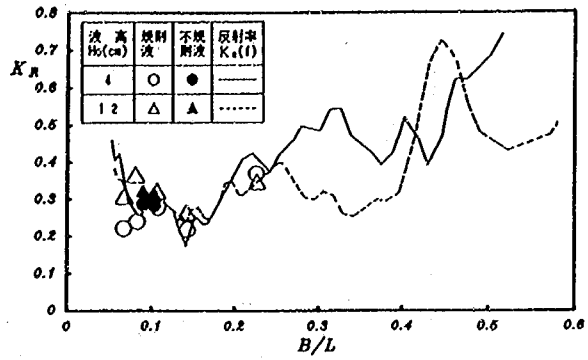
図－5.2.20　没水深と反射率

〔$N_V=3$，$\varepsilon_V=0.20$，$\varepsilon_H=0.15$，
$H_I/L=0.018\sim0.061$，
$H_I/L=1.0\sim4.0$，$R/h=0.1$〕



図－5.2.21　H_1／Lと反射率

（$N_V=3$，$\varepsilon_V=0.26$，$\varepsilon_H=0.16$，
d／h＝1.0，H_1／R＝1.0～4.0，
R／h＝0.1）

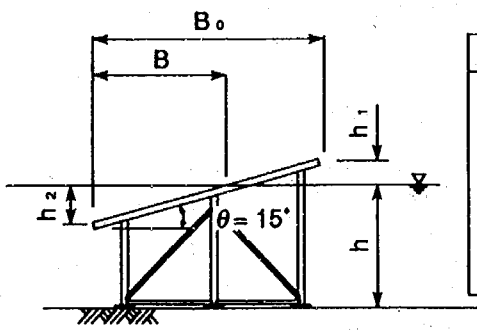


図－5.2.22　不規則波の反射率

（$N_V=3$，$\varepsilon_V=0.20$，$\varepsilon_H=0.15$，
d／h＝1.0，R／d＝0.133，
H_1／R＝1.0～4.0，R／h＝0.1）

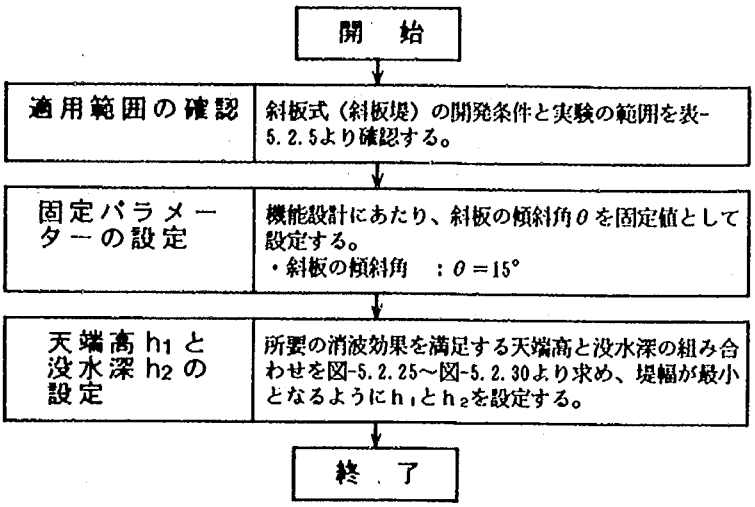
(6)　斜板式

斜板式の諸元を図－5.2.23に、設計フローを図－5.2.24に示す。また、本型式の開発目標と実験範囲を表－5.2.5に示す。この型式の実験は、実海域の水深h=10m、15m、20m、波高H＝２～５mを想定して縮尺１／25で行われた。



構造諸元	記号
設置水深	h
天端高	h_1
没水深	h_2
斜板傾斜角	θ
斜板水平幅（堤幅）	B_0
没水部斜板水平幅	B

図－5.2.23　斜板式の構造諸元



図－5.2.24　斜板式の設計フロー

①固定パラメーター

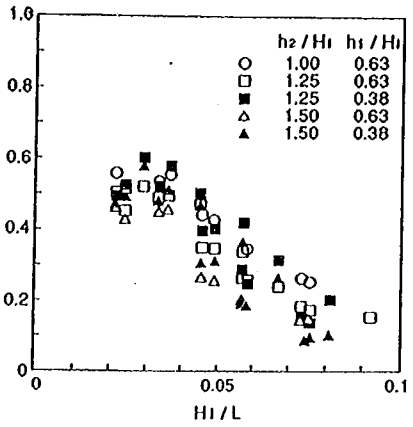
斜板勾配θは、消波効果と水平波力との関係よりθ＝15°とする。また、θを固定することにより、斜板水平幅Bは天端高h_1と没水深h_2により決定されることになる。

②透過率（図－5.2.25～5.2.27）

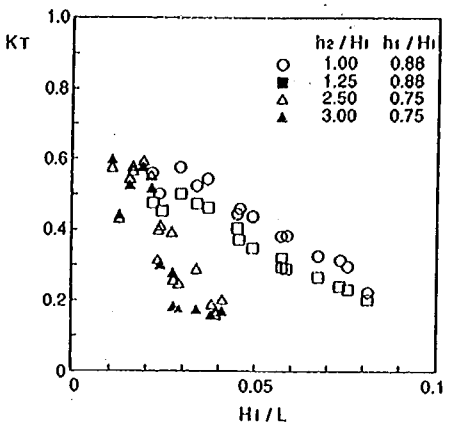
透過率K_TのH_I/Lによる変化をh_1/H_Iごとに分けて図－5.2.25～5.2.27に示す。いずれの場合にも、H_I/Lが大きいほどK_Tは小さくなる。また、$h_1/H_I \geq 1.25$では、H_I/Lが大きい場合にK_Tはかなり小さくなる。また、h_1/H_Iが一定の場合にはh_2/H_Iが大きいほどK_Tは小さくなる。

表－5.2.5　開発目標と実験条件の範囲（斜板式）

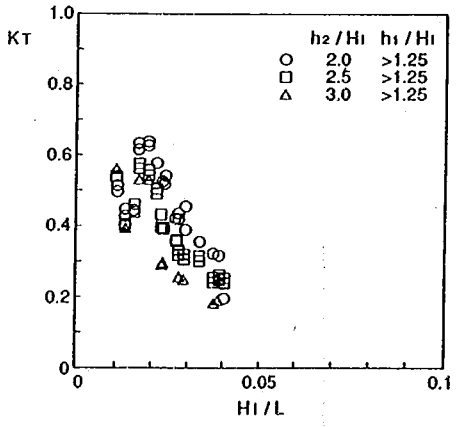
開発目標	
設置水深	h＝5～20m
波浪条件	H_I/L＝0.01～0.08
実験条件の範囲	
H_I/L	H_I/L＝0.01～0.08
B_0/L	B_0/L＝0.13～0.65
h_1/H_I	h_1/H_I＝0.38～1.75
h_2/H_I	h_2/H_I＝1.0～3.0



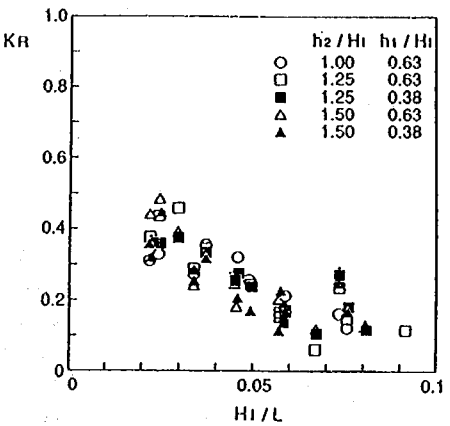
図－5.2.25　K_TとH_1／Lの関係
(h_1／H_1＝0.38、0.63)



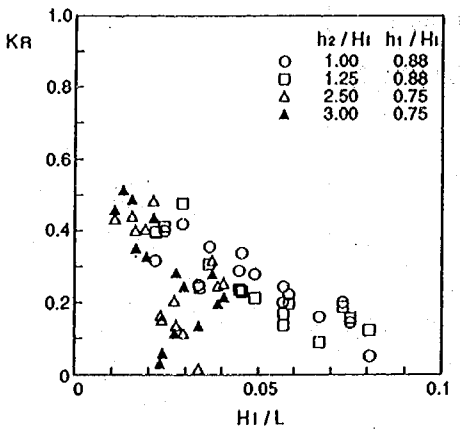
図－5.2.26　K_TとH_1／Lの関係
(h_1／H_1＝0.75、0.88)



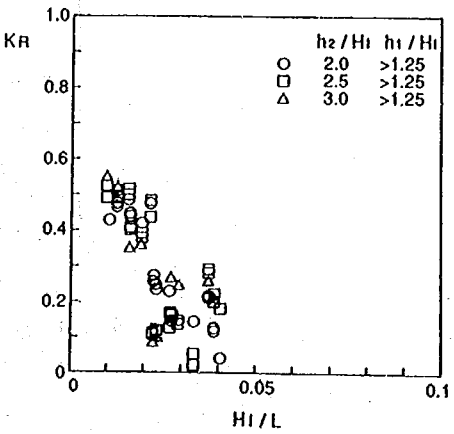
図－5.2.27　K_TとH_1／Lの関係
(h_1／H_1≧1.25)



図－5.2.28　K_RとH_1／Lの関係
(h_1／H_1＝0.38、0.63)



図－5.2.29　K_RとH_1／Lの関係
(h_1／H_1＝0.75、0.88)



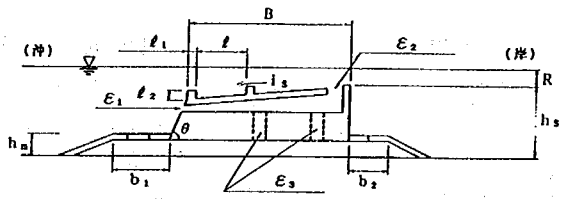
図－5.2.30　K_RとH_1／Lの関係
(h_1／H_1≧1.25)

③反射率（図－5.2.28～5.2.30）

反射率K_RのH_1/Lによる変化をh_1/H_1ごとに分けて図－5.2.28～5.2.30に示す。いずれの場合にも、H_1/Lが大きいほどK_Rは小さくなる傾向が見られる。また、h_1/H_1による差はあまり見られず、h_2/H_1が大きいほどK_Rはやや小さくなる傾向が見られる。

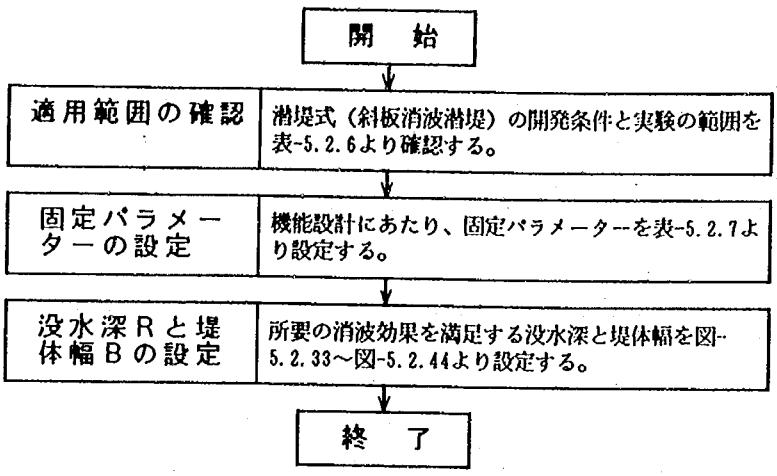
(7) 潜堤式（斜板消波潜堤）

潜堤式（斜板消波潜堤）の諸元を図－5.2.31に、設計フローを図－5.2.32に示す。また、本型式の開発目標と実験範囲を表－5.2.6に示す。



構造諸元	記号
堤体幅	B
没水深	R
堤体高	h_s
斜板勾配	i_s
突起幅	ℓ_1
突起高	ℓ_2
突起間隔	ℓ
堤体前面開口率	$\varepsilon_1 =$ 堤体前面開口面積 / 堤体水平投影面積
斜板開口率	$\varepsilon_2 =$ 堤体開口面積 / 斜板面積
圧抜孔開口率	$\varepsilon_3 =$ 圧抜き孔開口面積 / 堤体下面面積
堤体前面角度	θ
マウンド幅（前面）	b_1
マウンド幅（後面）	b_2
マウンド厚	h_m

図－5.2.31　潜堤式（斜板消波潜堤）の構造諸元



図－5.2.32　潜堤式（斜板消波潜堤）の設計フロー

表－5.2.6　開発目標と実験条件の範囲

開発目標	
設置水深	h＝5～20m
波浪条件	H_I/h＝0.1～0.8，H_I/L＝0.02～0.08
実験条件の範囲	
H_I/h	H_I/h＝0.08～0.81
H_I/L	H_I/L＝0.01～0.10
B／L	B／L＝0.09～0.44
R/H_I	R/H_I＝-1.0～3.0
R／h	R／h＝-0.13～0.25
I	I＝1/80～1/10

①固定パラメーターの設定

固定パラメーターの一覧を表－5.2.7に示す。これらの固定パラメーターは、消波効果の最適値に構造、安定性を考慮して決定した数値である。

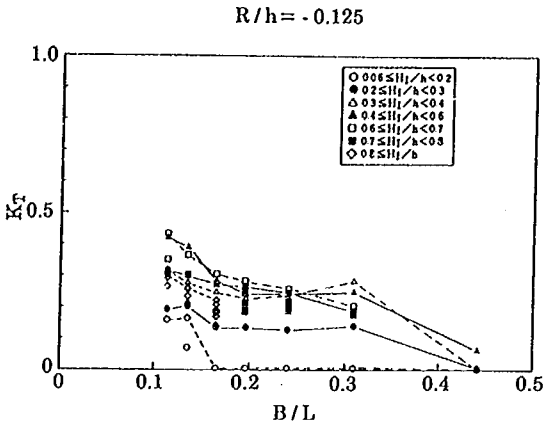
表5.2.7 固定パラメーター

諸元		標準値	決定理由
斜板勾配	i_s	1/10	消波実験により決定
堤体前面角度	θ	70°	消波実験により決定
堤体前面開口率	ε_1	15%	消波実験により決定
斜板開口率	ε_2	10%	消波実験により決定
突起間隔	l	B/2.5	消波実験により決定
突起高	l_1	B/20	消波実験により決定
突起幅	l_2	B/20	消波実験により決定
圧抜き孔開口率	ε_3	0%	揚圧力低減のため、ε_3=3~5%としてもよい。
マウンド厚さ	h_m	0.1~0.2h	洗掘実験により決定
マウンド幅(前面)	b_1	0.9h	洗掘実験により決定
マウンド幅(後面)	b_2	0.6h	ケーソン式防波堤の標準設計*を参照して決定
マウンド前面勾配	i_1	1/3	ケーソン式防波堤の標準設計*を参照して決定
マウンド後面勾配	i_2	1/2	ケーソン式防波堤の標準設計*を参照して決定

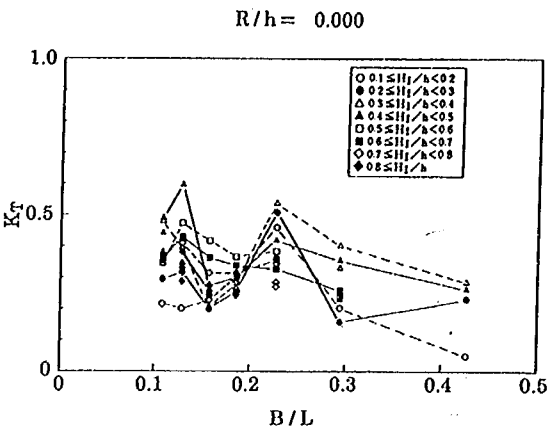
*日本港湾協会(1989)

②透過率K_T（図－5.2.33~5.2.38）

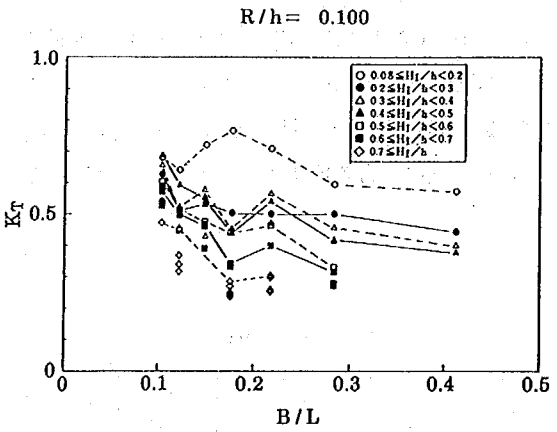
没水比R／hごとに分けて、H_I／hをパラメーターにしてK_TとB／Lの関係を図－5.2.33~5.2.37に示す。これらの図には、砕波後の波の入射に対する消波効果も含まれている。入射波が堤体沖で砕波する場合のH_Iには、砕波指標（合田，1975）より求めた砕波波高を用いている。R／hによるK_Tの変化は大きく、R／hが大きいとK_Tも大きくなる。B／LによるK_Tの変化は一定しておらず、H_I／hが一定のときB／L＝ 0.1~0.3にピークを示す場合が多い。また、H_I／LがK_Tに与える影響はあまり大きくなく、H_I／Lが小さくなるとK_Tはやや大きくなる。不規則波実験でのK_Tは規則波の場合とほぼ同じ傾向を示し（図－5.2.38）、規則波実験の結果は不規則波にもほぼ適用できることが分かる。なお、図－5.2.38では不規則波の場合のK_Tに$K_T=\sqrt{E_T/E_I}$（E_I：入射波エネルギー、E_I：透過波エネルギー）を用い、代表波を有義波として整理した。



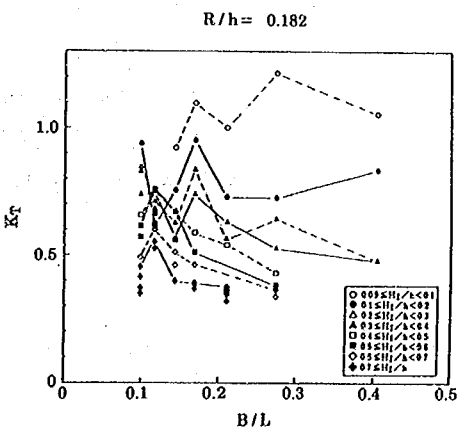
図－5.2.33　透過率K_Tと波高水深比H_1/h、堤体幅波長比B／Lの関係(没水比R／h＝－0.125)



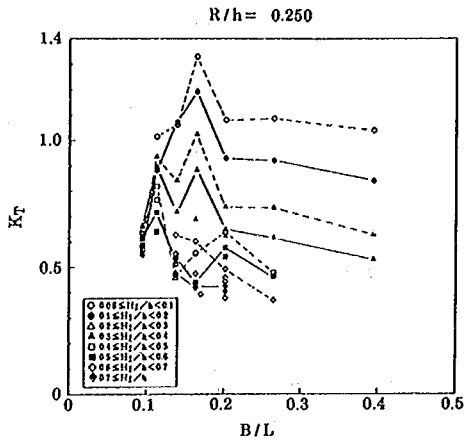
図－5.2.34　透過率K_Tと波高水深比H_1/h、堤体幅波高比B／Lの関係(没水比R／h＝0)



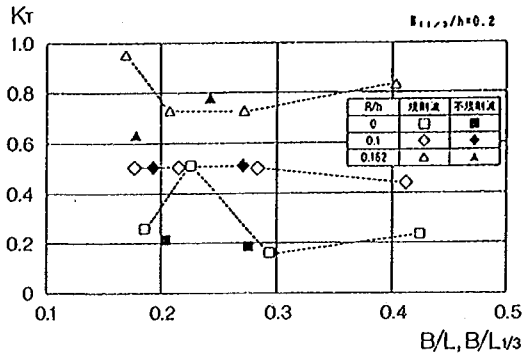
図－5.2.35　透過率K_Tと波高水深比H_1/h、堤体幅波長比B／Lの関係（没水比R／h＝0.1）



図－5.2.36　透過率K_Tと波高水深比H_1/h、堤体幅波長比B／Lの関係(没水比R／h＝0.182)



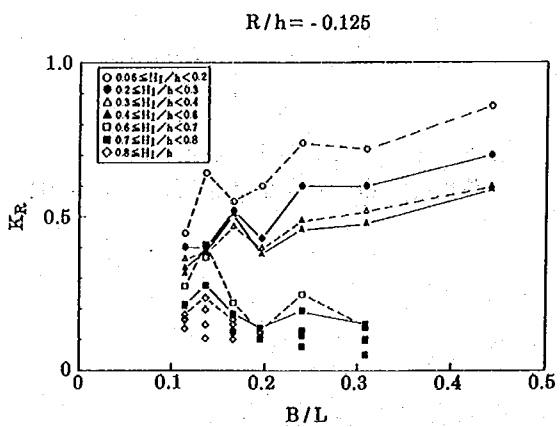
図－5.2.37　透過率K_Tと波高水深比H_I/h、堤体幅波高比B／Lの関係(没水比R／h＝0.25)



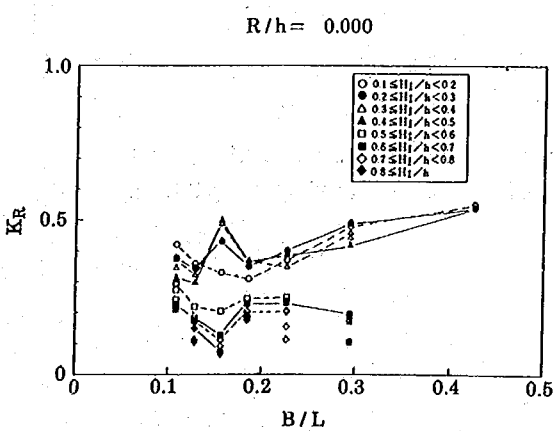
図－5.2.38　透過率（不規則波の実験）

③反射率K_R（図－5.2.39～5.2.44）

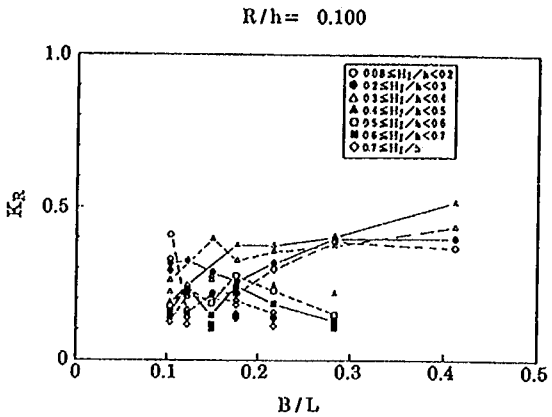
没水比R／hごとに分けて、H_I/hをパラメーターにしてK_RとB／Lの関係を図－5.2.39～5.2.43に示す。堤体沖で砕波する入射波の取り扱いは透過率の場合と同様である。$H_I/h<0.6$ではR／hによるK_Rの変化は大きく、R／hが大きいとK_Rは小さくなる。B／LによるK_Rの変化はR／h＝0.25を除くとあまり大きくなく、天端が水面上に出るR／h＝－0.125以外ではほとんど$K_R<0.5$となる。不規則波実験でのK_Rは規則波の場合とほぼ同じ傾向を示し(図－5.2.44)、反射率に関しても規則波実験の結果は不規則波にほぼ適用できることが分かる。ここで、不規則波の場合のK_Rは$K_R=\sqrt{E_R/E_I}$（E_R：反射波エネルギー）とした。



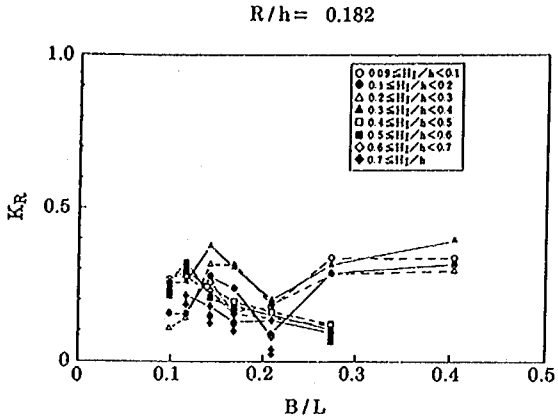
図－5.2.39　反射率K_Rと波高水深比H_I/h、堤体幅波長比B／Lの関係(没水比R／h＝－0.125)



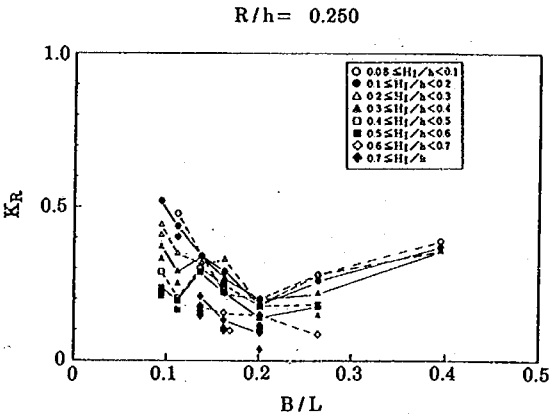
図－5.2.40　反射率K_Rと波高水深比H_I/h、堤体幅波長比B／Lの関係(没水比R／h＝0)



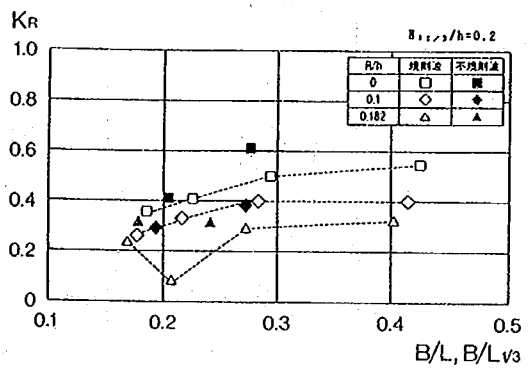
図－5.2.41　反射率K_Rと波高水深比H_I/h、堤体幅波長比B／Lの関係(没水比R／h＝0.1)



図－5.2.42　反射率K_Rと波高水深比H_I/h、堤体幅波長比B／Lの関係(没水比R／h＝0.182)



図－5.2.43　反射率K_Rと波高水深比H_I/h、堤体幅波長比B／Lの関係(没水比R／h＝0.25)



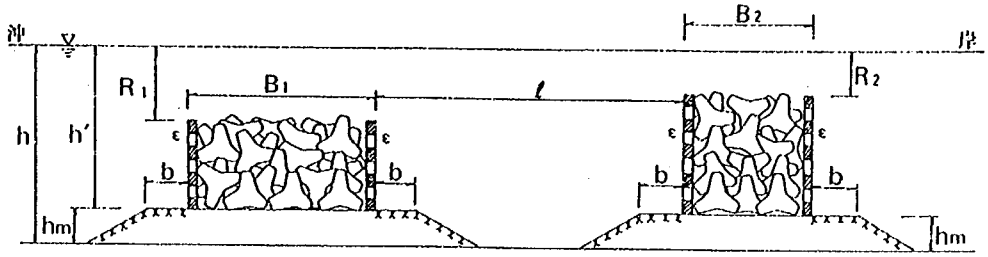
図－5.2.44　反射率（不規則波実験）

④消波機能の設計上の留意点

R／hによるK_T、K_Rの変化が大きいので、対象潮位のみならず、当該海岸で生ずる潮位変化も考慮した検討を行うことが望ましい。R／hは当該海岸の潮位変化の下で0～0.1の範囲内にするとよい。また、B／LによるK_T、K_Rの変化は小さいため、堤体幅Bは構造設計の安定計算から決定される場合が多い。消波機能の変化の少ない堤体幅の推奨値としてはB／h≒2を挙げることができる。ただし、B／LによってはK_Tが著しく大きくなる場合があることに注意を要する。

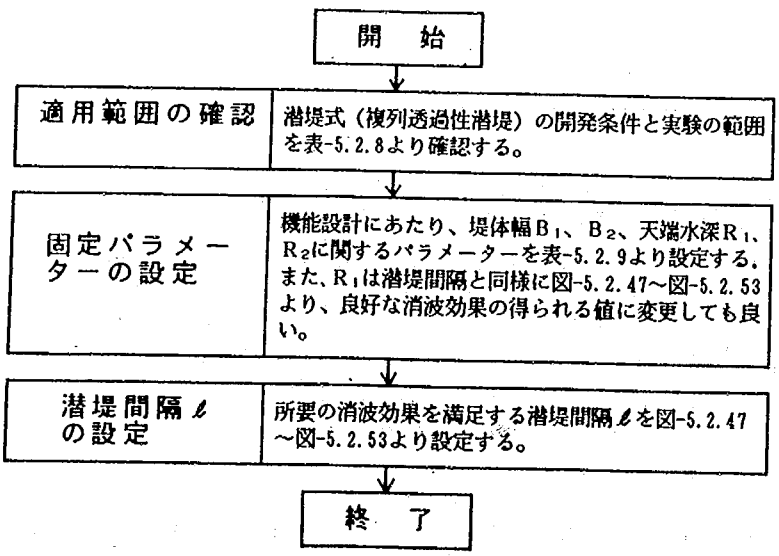
(8)　潜堤式（複列透過性潜堤）

潜堤式（複列透過性潜堤）の諸元を図－5.2.45に、設計フローを図－5.2.46に示す。また、本型式の開発目標と実験範囲を表－5.2.8に示す。



構造諸元	記号	構造諸元	記号
水深	h	マウンド上水深	h'
沖側潜堤天端水深	R_1	マウンド肩幅	b
沖側潜堤堤体幅	B_1	マウンド厚	h_m
岸側潜堤天端水深	R_2	潜堤間隔	ℓ
岸側潜堤堤体幅	B_2	スリット開口率(固定)	ε

図－5.2.45　潜堤式（複列透過性潜堤）の堤体諸元



図－5.2.46　潜堤式（複列透過性潜堤）の設計フロー

①固定パラメーターの設定

天端水深、堤体幅に関する固定パラメーターの一覧を表－5.2.9に示す。これらの固定パラメーターは、消波効果の最適値に構造、安定性を考慮して決定した数値である。消波機能は堤体間隔ℓにより調整することができる。

②透過率K_T（図－5.2.47～5.2.49）

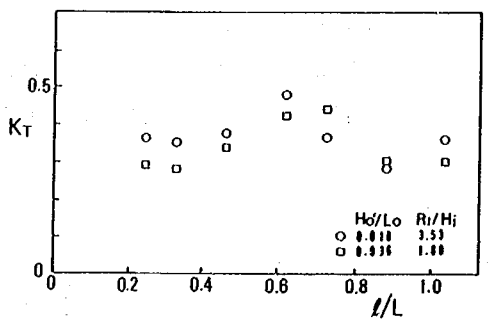
h/L_0ごとに分けてK_Tとℓ／Lの関係を図－5.2.47～5.2.49に示す。K_Tはℓ／Lにより変動し、h/L_0が大きいときに変動幅$K_{Tmax}-K_{Tmin}$（図－5.2.50参照）が大きい。一方、H_0'/L_0が大きいと$K_{Tmax}-K_{Tmin}$は小さくなるとともに、K_Tの値も全体的に小さくなる。これらの図ではいずれの場合でも$K_T<0.6$である。

表－5.2.8　開発目標と実験条件の範囲

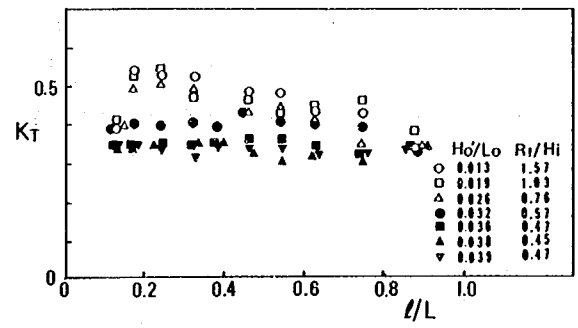
開発目標	
設置水深	h＝7～20m，h'≦15m
波浪条件	H_I/h＝0.1～0.7，H_I/L＝0.01～0.07
実験条件の範囲	
H_I/h	H_I/h＝0.09～0.71
H_I/L	H_I/L＝0.01～0.07
h/L	h/L＝0.07～0.21
B_1/L	B_1/L＝0.10～0.41
B_2/L	B_2/L＝0.15～0.29
R_1/H_I	R_1/H_I＝0.42～3.53
R_2/H_I	R_2/H_I＝0.0

表－5.2.9　固定パラメーター

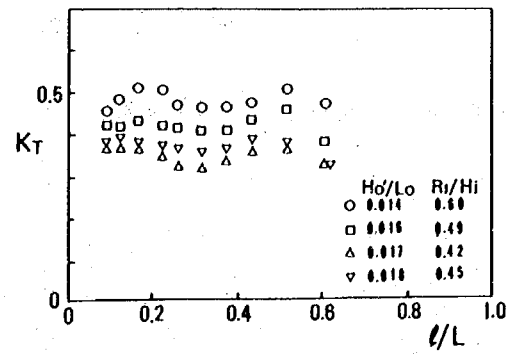
パラメーター	固定値
ε	0.4
B_1/h	2.0
B_2/B_1	0.7
R_1/h	0.3
R_2/h	0



図－5.2.47　K_Tとℓ/Lの関係(h/L_o＝0.178)

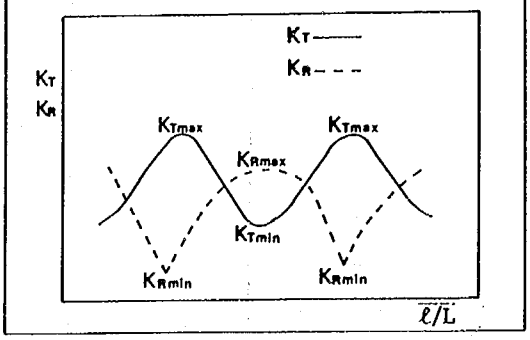


図－5.2.48　K_Tとℓ/Lの関係(h/L_o＝0.064)



図－5.2.49　K_Tとℓ/Lの関係(h/L_o＝0.033)

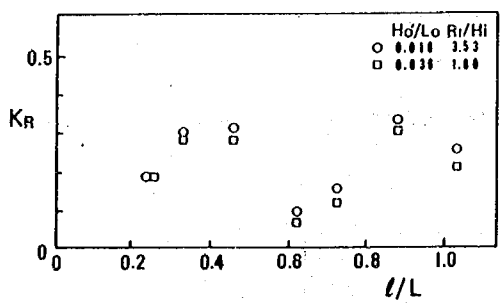
名　　称	記　号
透過率の極大値	K_{Tmax}
透過率の極小値	K_{Tmin}
反射率の極大値	K_{Rmax}
反射率の極小値	K_{Rmin}



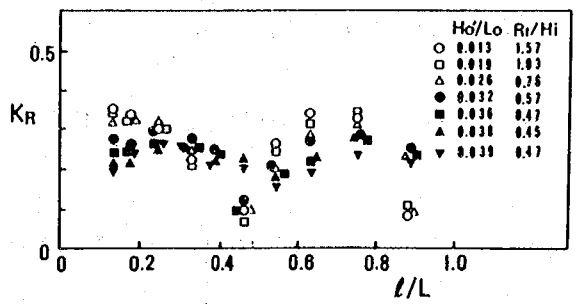
図－5.2.50　K_{Tmax}, K_{Rmax}の定義

③反射率K_R（図－5.2.51～5.2.53）

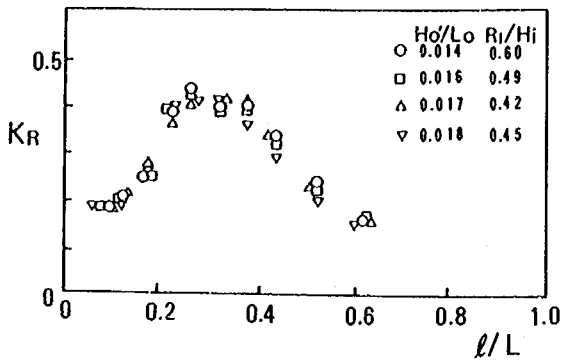
h／L_0ごとに分けてK_Rとℓ／Lの関係を図－5.2.51～5.2.53に示す。K_RはK_Tと同じくℓ／Lにより変動するが、h／L_0が小さい場合でも変動幅$K_{Rmax}-K_{Rmin}$（図－5.2.50参照）は大きい。また、H_0'／L_0が大きいと$K_{Rmax}-K_{Rmin}$は小さくなる傾向がある。これらの図ではいずれの場合でも$K_R<0.5$である。



図－5.2.51　K_Rとℓ／Lの関係（h／L_0＝0.178）



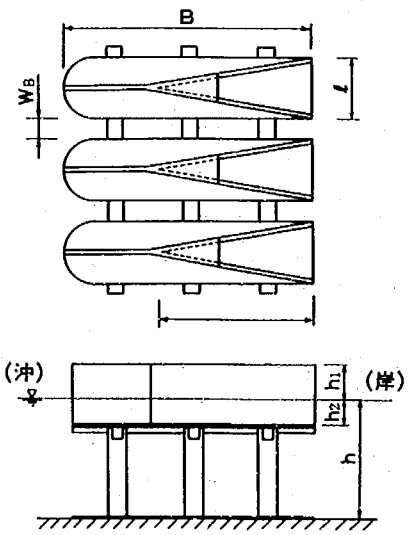
図－5.2.52　K_Rとℓ／Lの関係（h／L_0＝0.064）



図－5.2.53　K_Rとℓ／Lの関係(h／L_0＝0.033)

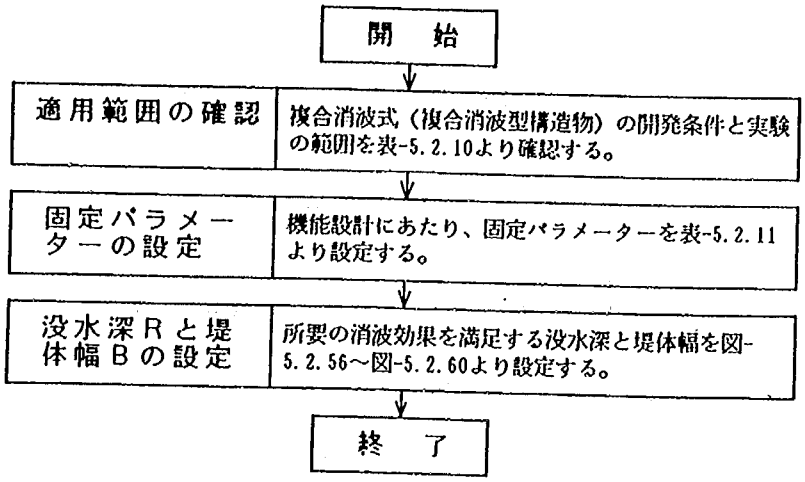
(9)　複合消波式

複合消波式の諸元を図－5.2.54に、設計フローを図－5.2.55に示す。また、本型式の開発目標と実験範囲を表－5.2.10に示す。



構造諸元	記号
水深	h
水平板幅	ℓ
天端高	h_1
水平板没水深	h_2
水平板間隔	W_B
堤体幅	B
V型遊水部奥行	d

図－5.2.54　複合消波式の構造諸元



図－5.2.55　複合消波式の設計フロー

表－5.2.10　開発目標と実験条件の範囲（複合消波式）

開発目標	
設置水深	h＝5～20m
波浪条件	$H_I/h=0.1\sim0.5$, $H_I/L=0.01\sim0.08$
実験条件の範囲	
H_I/h	$H_I/h=0.2,\ 0.3$
H_I/L	$H_I/L=0.01\sim0.08$
h/L	$h/L=0.05\sim0.40$
B/L	$B/L=0.1\sim0.6$
h_2/h	$h_2/h=0.1,\ 0.2,\ 0.3$
W_B/B	$W_B/B=0,\ 1/40,\ 1/20,\ 1/12$
d/B	$d/B=0,\ 1/3,\ 2/3$

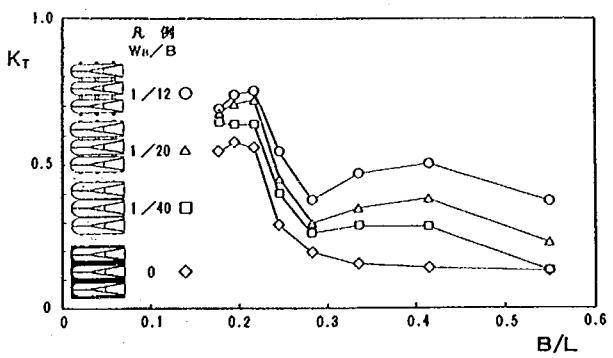
①固定パラメーターの設定（表－5.2.11）

・水平板没水深h_2による消波効果の変化はあまり大きくなく、潮位変動を考慮して$h_2/h=0.2$を基本とする。ただし、水平板の没水深が浅くなると、水平板上で波が砕波して周期の短い入射波の透過率を小さくできる一方で、没水深が深くなるとV型遊水部の消波効果が増大して長周期の入射波の透過率を小さくできることに留意しておく必要がある。

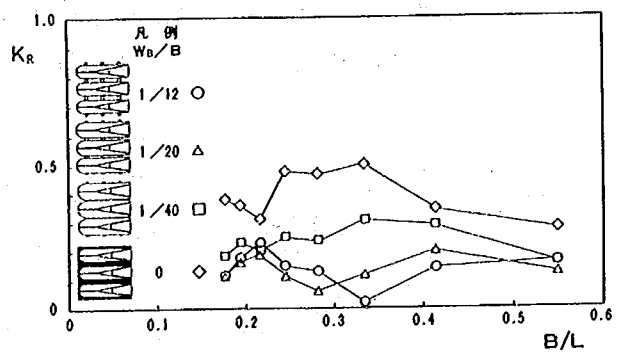
・水平板間隔W_Bを狭めることにより透過率を小さくすることが可能である（図－5.2.56）。しかし、W_Bを小さくすることにより反射率（図－5.2.57）、作用波力ともに大きくなる。そこで、$W_B/B=1/12$を基本とする。

表－5.2.11　固定パラメーター

諸　元	標　準　値
水平板没水深 h_2	$h_2/h=0.2$
水平板間隔 W_B	$W_B/B=1/12$
V型遊水部奥行 d	$d/B=2/3$
下部構造物	柱式下部構造物



図－5.2.56　水平板幅によって水平板間隔を変化させた場合の
K_TとB／Lの関係（$h_2/h=0.2$，$d/B=2/3$，$H_1/h=0.2$）



図－5.2.57　水平板幅によって水平板間隔を変化させた場合の
K_RとB／Lの関係（$h_2/h=0.2$，$d/B=2/3$，$H_1/h=0.2$）

・V型遊水部の奥行dは波長による消波効果の変化の少ない、$d/B=2/3$を基本とする。
・複合消波式の下部構造は消波効果にほとんど影響を及ぼさない。

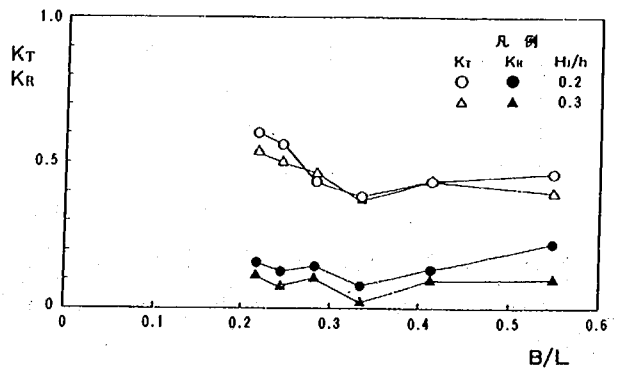
②透過率K_T（図－5.2.58、5.2.59）

K_TとB／Lの関係は図－5.2.59に示した通りであり、B／L≦0.2でK_Tが大きくなる。B／L＞0.24では、B／LによるK_Tの変化は小さくK_T＜0.5である。また、H_1／h＝0.2と0.3ではK_Tにあまり変化はない（図－5.2.58）。

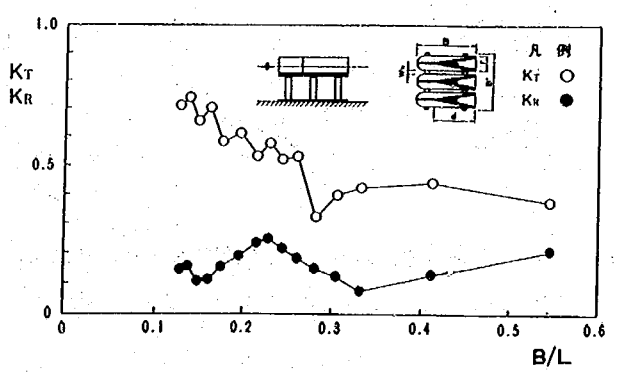
有義波高、有義周期を変えた不規則波実験より、各周波数の透過率$K_T(f)=S_T(f)/S_I(f)$と反射率$K_R(f)=\sqrt{S_R(f)/S_I(f)}$を求めたところ、各ケースとも規則波の消波特性とほぼ一致する（図－5.2.60 a）、b））。

③反射率K_R（図－5.2.58、5.2.59）

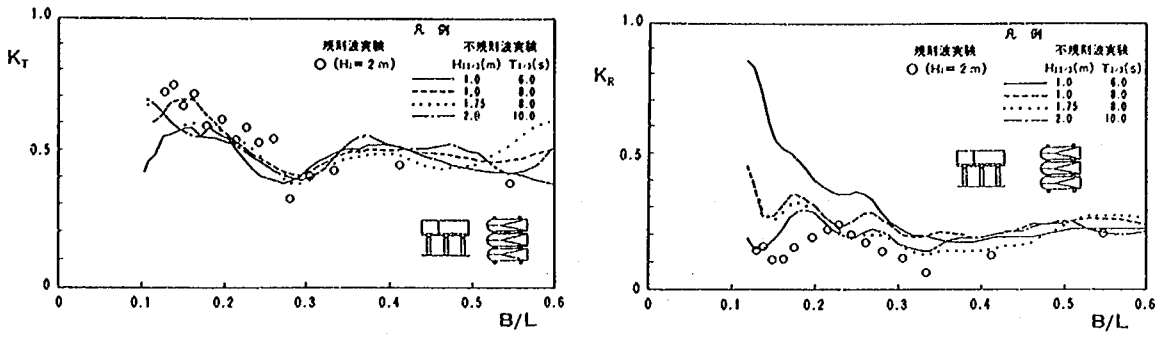
K_RとB／Lの関係は図－5.2.59に示した通りであり、B／LによるK_Rの変化は小さくK_R＜0.25である。また、H_1／h＝0.3に比べH_1／h=0.2ではK_Rがやや大きくなる（図－5.2.58）。



図－5.2.58　入射波高をパラメーターとしたK_T，K_RとB／Lの関係
（h_2／h＝0.2，W_B／B＝1／12，d／B＝2／3）



図－5.2.59　標準型構造物のK_T，K_RとB／Lの関係
（h_2／h＝0.2，W_B／B＝1／12，d／B＝2／3，H_1／h＝0.2）

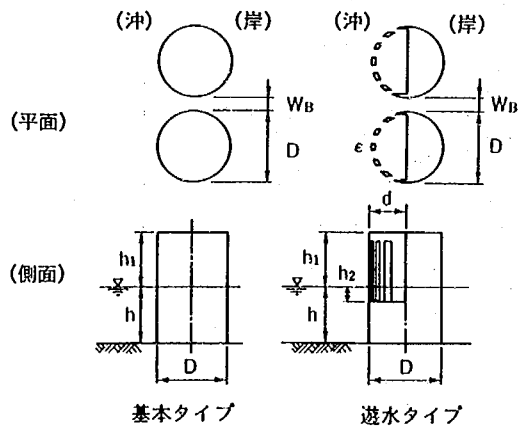


a） K_TとB／Lの関係　　b） K_RとB／Lの関係

図－5.2.60　標準型構造物の規則波と不規則波の関係

(10)　透過セル式

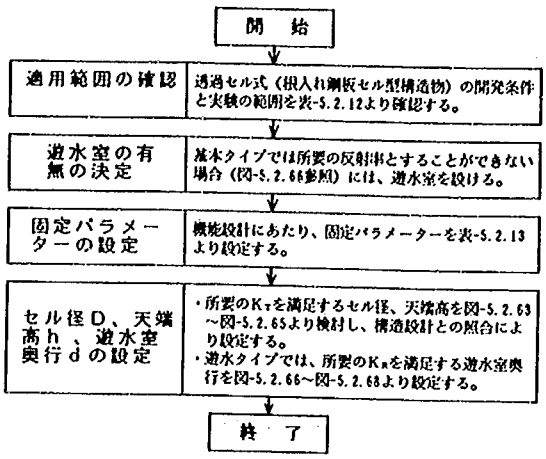
透過セル式の諸元を図－5.2.61に、設計フローを図－5.2.62に示す。また、本型式の開発目標と実験範囲を表－5.2.12に示す。



構造諸元		記号
セル諸元	セル径	D
	セル間隙	W_B
	天端高	h_1
	設置水深	h
遊水室諸元	*スリット開口率	ε
	遊水室奥行	d
	遊水室内水深	h_2

*ε＝総開口幅/セル径

図－5.2.61　透過セル式の構造諸元



図－5.2.62　透過セル式の設計フロー

表－5.2.12　開発目標と実験条件の範囲（透過セル式）

開発目標	
設置水深	$h \leqq 20m$
セル径	$D \leqq 30m$
波浪条件	$H_I/h = 0.07 \sim 0.40$, $H_I/L \leqq 0.05$, $D/L = 0.1 \sim 0.4$
実験条件の範囲	
H_I/h	$H_I/h = 0.07 \sim 0.4$
H_I/L	$H_I/L \leqq 0.05$
D/L	$D/L = 0.1 \sim 0.4$

①固定パラメーターの設定（表－5.2.13）

・セル間隔W_Bを大きくすると、経済的ではあるが透過率が増大し$K_T > 0.6$となる。一方、W_Bを小さくすると反射率が増大する。このような消波特性より、W_Bはセル径Dとの比$W_B/D = 0.2$を基本とする。

・遊水室諸元のうち、スリット開口率εと遊水室内水深h_2は、反射率が小さく、かつ潮位変動による反射率の変化も少なくなるように、$\varepsilon = 0.4$、$h_2/h = 0.25$を基本とする。この場合、$\pm h/8$程度の潮位変化では、反射率はあまり変化しない。

表－5.2.13　固定パラメーター

固定パラメータ	固　定　値	備　　考
セ　ル　間　隙	$W_B/D=0.2$	基本タイプ、遊水タイプ共通
スリット開口率	$\varepsilon=0.4$	遊水タイプのみ
遊水室内水深	$h_2/h=0.25$	

②透過率K_T（図－5.2.63～5.2.65）

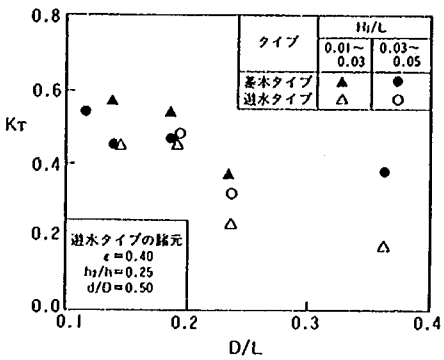
天端高が高く、非越波の条件でのK_TとD／Lの関係を図－5.2.63に示す。基本タイプ、遊水タイプともに$K_T<0.6$であり、D／Lが増加するとK_Tが減少する傾向を示す。この場合の遊水タイプは、遊水室奥行dがd／D＝0.5の条件である。次に、非越波の条件でのK_TとH_1/Lの関係を図－5.2.64に示す。基本タイプ、遊水タイプともにH_1/LによるK_Tの変化は小さい。

天端高h_1が小さくなると越波によりK_Tは大きくなる。遊水タイプ(d／D＝0.5)の場合のK_TとH_1/h_1の関係を図－5.2.65に示す。天端高は対象波浪が越波しないように$H_1/h_1\fallingdotseq0.8$を目安に設定するとよい。

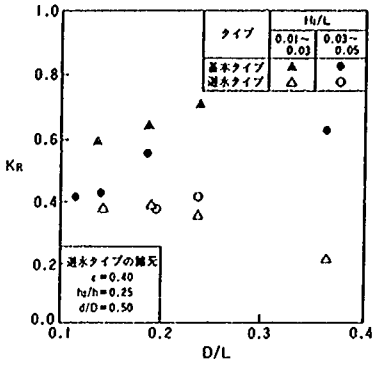
③反射率K_R（図－5.2.66～5.2.68）

非越波の条件でのK_RとD／Lの関係を図－5.2.66に示す。基本タイプでは、D／Lが大きくなるとK_Rが増大する傾向を示す。$H_1/L<0.03$では$K_R>0.6$になる。一方、遊水タイプ（d／D＝0.5）では、D／LによるK_Rの変化は小さく、K_Rはほぼ0.4以下となる。次に、非越波の条件でのK_RとH_1/Lの関係(図－5.2.67)によると、基本タイプではH_1/Lが大きくなるとK_Rはやや小さくなり、遊水タイプ（d／D＝0.5）ではH_1/LによるK_Rの変化は小さい。

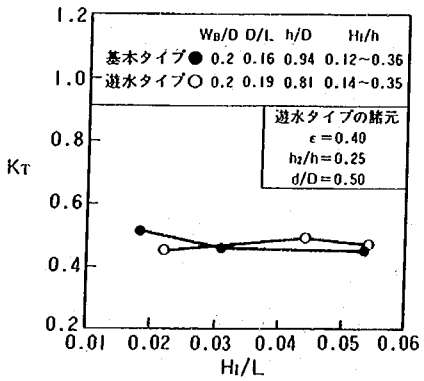
本型式では、K_Rはdの影響を強く受ける。K_Rとd／Lの関係を図－5.2.68に示す。ここで、L_2は遊水室内水深h_2で規定される入射波の波長である。$d/L_2\leqq0.2$ではd／L_2が大きいほどK_Rは小さい。D／L＝0.35の場合、$d/L_2=0.22$において極小値が見られる。スリット壁と遊水室隔壁による反射波の位相差を考慮すると、$d=0.25L_2$でK_Rが最小になると考えられ、実験結果とほぼ一致する。本型式ではセル体の構造から$d\leqq D/2$が適しており、この範囲でK_Rが小さくなるdを決定する必要がある。



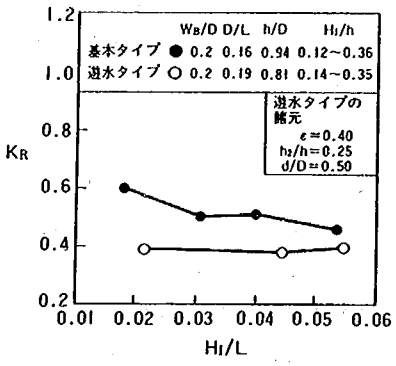
図－5.2.63　K_TとD／Lの関係
（W_B／D＝0.2、h／D＝0.18、
$0.07 \leqq H_I/h \leqq 0.4$、非越波）



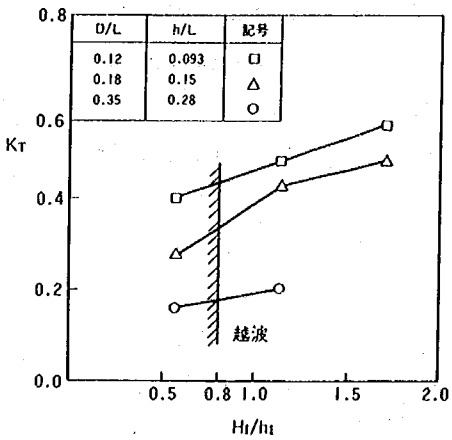
図－5.2.66　K_RとD／Lの関係
（W_B／D＝0.2、h／D＝0.81、
$0.07 \leqq H_I/h \leqq 0.4$、非越波）



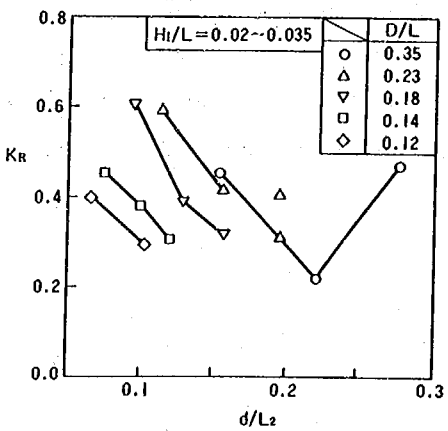
図－5.2.64　K_TとH_I／Lの関係（非越波）



図－5.2.67　K_RとH_I／Lの関係（非越波）



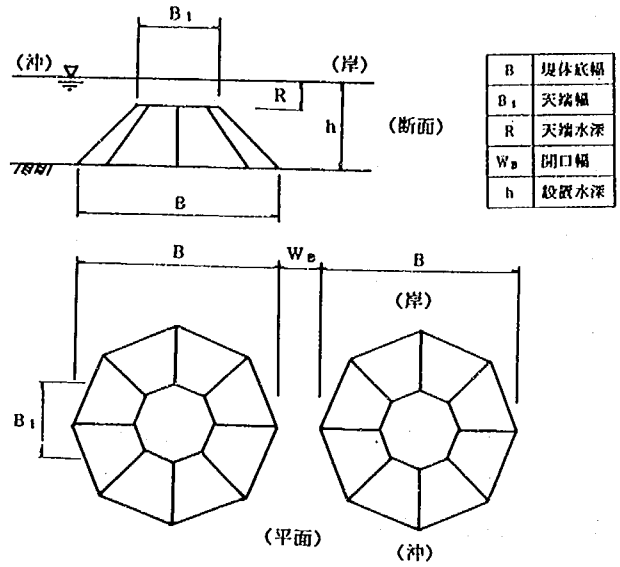
図－5.2.65　遊水タイプの越波によるK_Tの増加
（W_B／D＝0.2、h／D＝0.8、ε＝0.40、
d／D＝0.5、h_2／h＝0.25、$0.1 \leqq H_I/h \leqq 0.3$）



図－5.2.68　遊水タイプのK_Rとd／L_2の関係
（W_B／D＝0.2、h／D＝0.81、ε＝0.40、
h_2／h＝0.25、$0.07 \leqq H_I/h \leqq 0.4$、非越波）

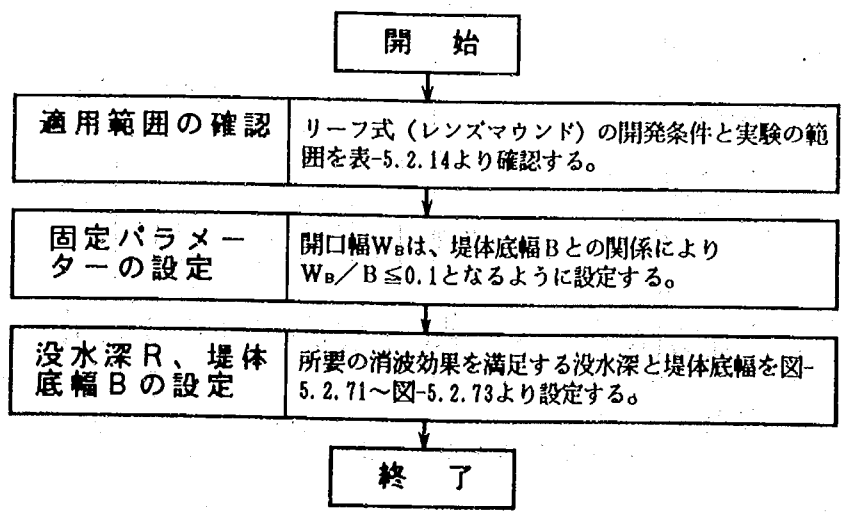
(1) リーフ式

リーフ式（レンズマウンド）の諸元を図－5.2.69に、設計フローを図－5.2.70に示す。また、本型式の開発目標と実験範囲を表－5.2.14に示す。



B	堤体底幅
B_1	天端幅
R	天端水深
W_B	開口幅
h	設置水深

図－5.2.69　リーフ式の構造諸元



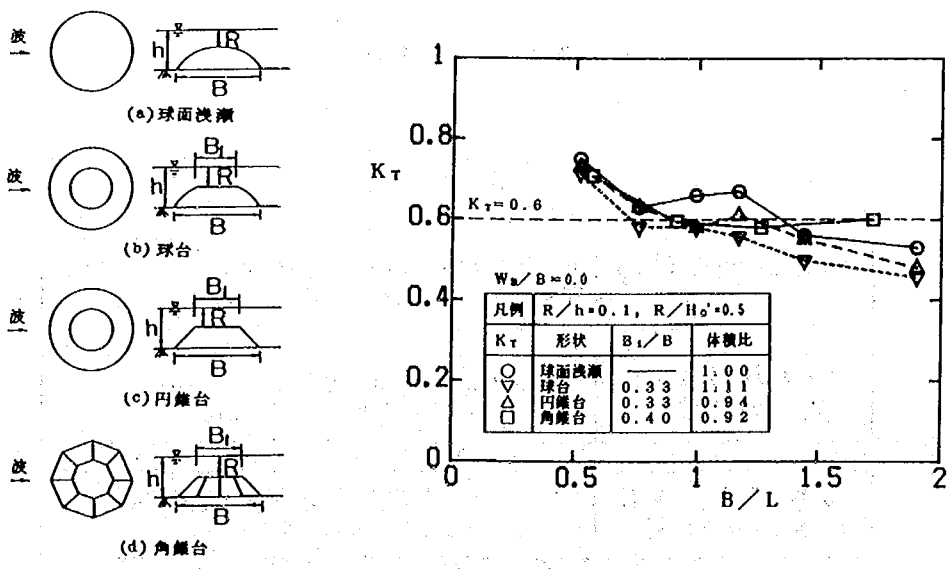
図－5.2.70　リーフ式の設計フロー

表－5.2.14　開発目標と実験条件の範囲（リーフ式）

開発目標	
設置水深	h＝5～15m
波浪条件	$H_I/h=0.1\sim0.4$, $H_I/L=0.01\sim0.10$
実験条件の範囲	
H_I/h	$H_I/h=0.09\sim0.44$
H_I/L	$H_I/L=0.01\sim0.10$
B/L	$B/L=0.54\sim1.77$
R/H_I	$R/H_I=0.0\sim1.2$
W_B/B	$W_B/B=0.0\sim0.4$

①堤体の形状について

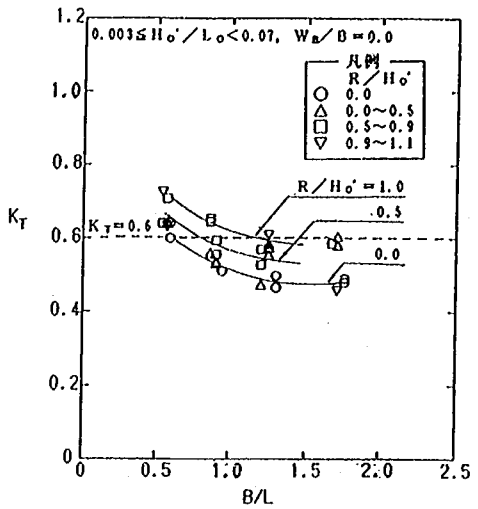
リーフ式の形状によるK_Tの差を図－5.2.71に示す。各形状のK_Tにあまり差のないことから、球面浅瀬より堤体容積が約10％小さく、施工性にも優れている角錐台を標準的な形状とする。このとき、堤体底幅Bと天端幅B_Iの比$B_I/B=0.4$を基本とする。



図－5.2.71　レンズマウンドの形状と透過率

②透過率K_T（図－5.2.72）

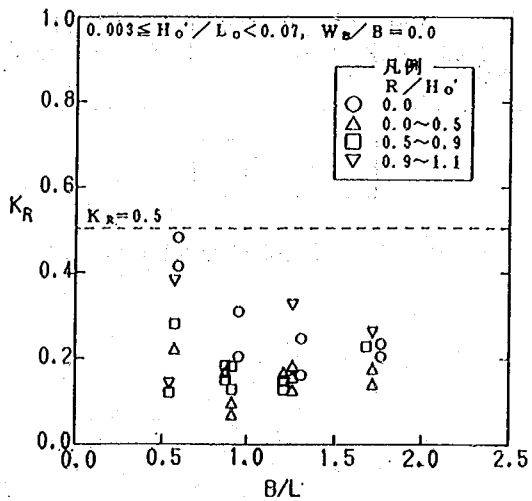
K_TとB／Lの関係を天端水深と入射波高の比R/H_0'をパラメーターとして図－5.2.72に示す。このとき、開口幅と堤体底幅の比$W_B/B=0.0$である。B／Lが大きいほど、あるいはR/H_0'が小さいほどK_Tは小さくなる。ただし、B／Lが1.2程度より大きくなるとK_Tはあまり変わらなくなる。



図－5.2.72　レンズマウンドの透過率

③反射率K_R（図－5.2.73）

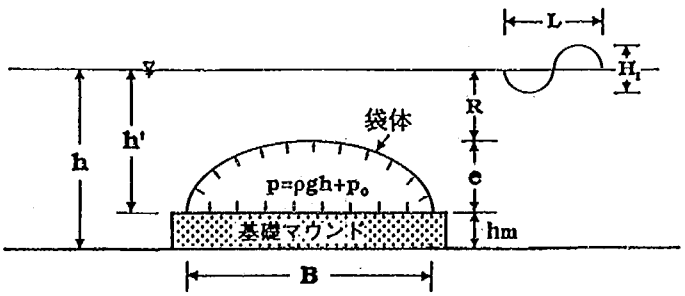
K_Tと同様にしてK_RとB／Lの関係を図－5.2.73に示す。$R/H_0' < 0.5$ではB／Lが大きくなるとK_Rは小さくなる傾向がある。$R/H_0' > 0.5$ではB／LによりK_Rはあまり変わらない。また、R/H_0'が小さいほどK_Rは大きくなる傾向が見られる。



図－5.2.73　レンズマウンドの反射率

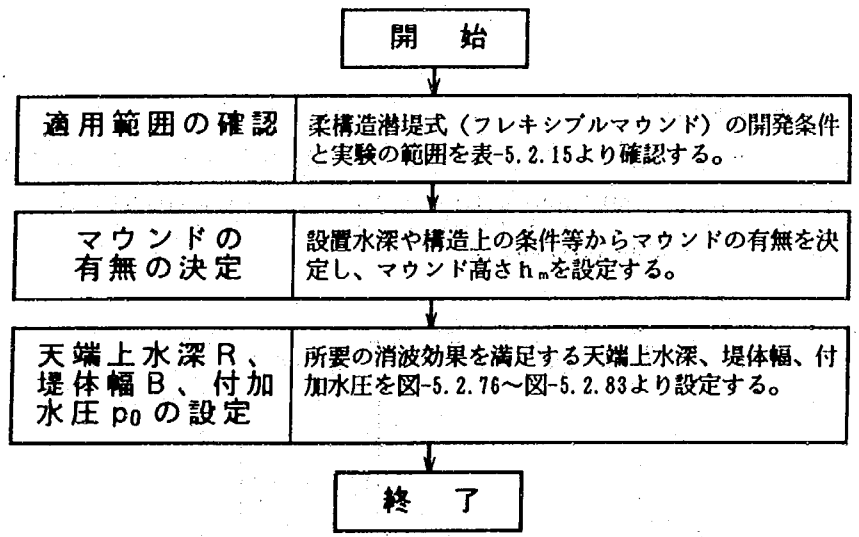
(12) 柔構造潜堤式

柔構造潜堤式の諸元を図－5.2.74に、設計フローを図－5.2.75に示す。また、本型式の開発目標と実験範囲を表－5.2.15に示す。



記号	名　称
B	袋体底部の幅
e	袋体の高さ
R	天端上水深
p_0	袋体内部に付加した水圧
h_m	基礎マウンドの高さ
h'	袋体底部から水面までの水深（以下、見かけ水深と称す）

図－5.2.74　柔構造潜堤式の構造諸元



図－5.2.75　柔構造潜堤式の設計フロー

表－5.2.15　開発目標と実験条件の範囲（柔構造潜堤式）

開発目標	
設置水深	h＝3～15m （ただし、h＞6.5mの場合には基礎マウンドが必要）
堤体幅	B＝6～13m
波浪条件	H_I/h＝0.1～1.0，H_I/L＝0.01～0.07
実験条件の範囲	
H_I/h	H_I/h＝0.05～1.15
H_I/L	H_I/L＝0.01～0.16
B／L	B／L＝0.1～1.4
R/H_I	R/H_I＝0.35～10.0
R／h	R／h＝0.2～0.7
$p_o/\rho gh$	$p_o/\rho gh$＝0.02～0.20

①透過率K_T、反射率K_R（図－5.2.76～5.2.83）

本型式のK_T、K_Rは、各諸元の変化により複雑に変化するため、各々の諸元をパラメーターとした場合のK_T、K_RとB／Lの関係を図－5.2.76～5.2.83に示す。

・R／hをパラメーターとした場合……図－5.2.76（B／h＝2.4、$p_o/\rho gh$＝0.05）

・$p_o/\rho gh$をパラメーターとした場合……図－5.2.77（B／h＝2.4、R／h＝0.4）

・B／hをパラメーターとした場合……図－5.2.78（R／h＝0.4、$p_o/\rho gh$＝0.05）

・数値計算により求めたK_Tの参考図……図－5.2.79（R／h＝0.4、$p_o/\rho gh$＝0.1）

・R/H_Iをパラメーターとした場合……図－5.2.80（B／h＝2.3～2.4、R／h＝0.4、$p_o/\rho gh$＝0.1）
図－5.2.81（B／h＝2.3～2.4、R／h＝0.4、$p_o/\rho gh$＝0.05）

・h_m／hをパラメーターとした場合……図－5.2.82（B／h'＝2.0、$p_o/\rho gh'$＝0.05、R／h'＝0.4、R/H_I＝6.0～8.0）

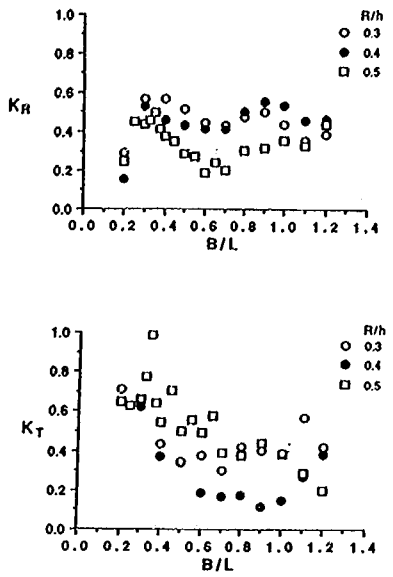
・数値計算により求めたK_T参考図……図－5.2.83（B／h'＝2.4、$p_o/\rho gh'$＝0.1、R／h'＝0.4）

②R、p_o、Bの設定

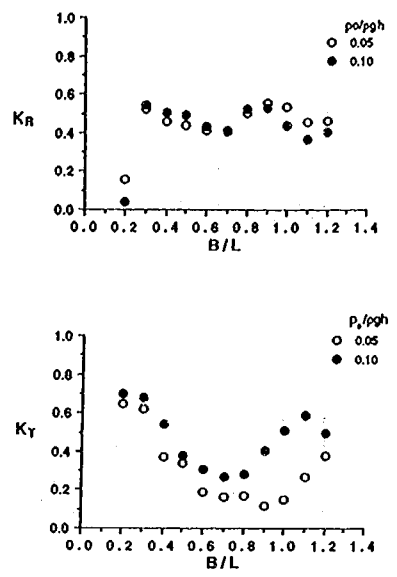
本型式では以下の範囲でR、p_o、Bの値を設定する。

B／h＝1.5～3.0、　R／h＝0.3～0.6、　$p_o/\rho gh$＝0.02～0.10

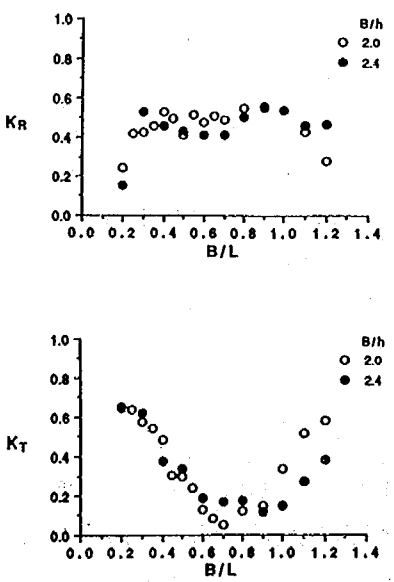
このうち、Rは消波機能に強く影響するため、R／h（図－5.2.76）、R/H_I（図－5.2.80）のパラメーター特性を十分に検討し、対象波浪に対して消波効果の得られるように設定する必要がある。また、基礎マウンドを設ける場合には、海底面までの水深hの代わりに見かけ水深h'を用いることにより図－5.2.76～5.2.81の図を用いることが可能となる（図－5.2.82、5.2.83参照：ただし$h_m/h \leqq 0.5$、$0.2 \leqq B/L \leqq 1.1$）。水深の深い海域に設置する場合には、B／h＝1.5～3.0とするとBが大きくなることがあるので基礎マウンドを設けてB／h'＝1.5～3.0となるようにBを選択することもできる。Bの設定に当たっては、膜の周長（架台への取り付け部を除く円弧部の長さ）が22mを越えないことが望ましい。



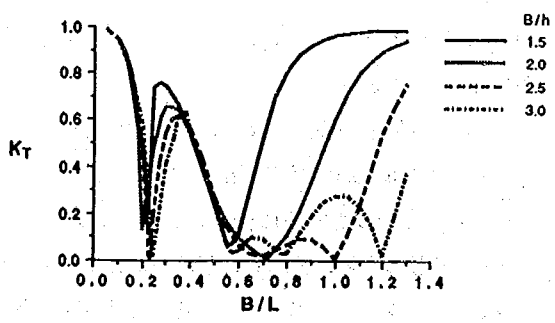
図－5.2.76　没水率R／hがK_R、K_Tに及ぼす影響（B／h＝2.4、R／H_I＝5.0～8.4、p_0／ρgh＝0.05）



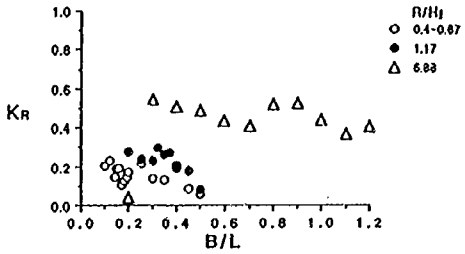
図－5.2.77　（付加水圧p_0／ρghがK_R、K_Tに及ぼす影響（B／h＝2.4、R／h＝0.4、R／H_I＝6.7）

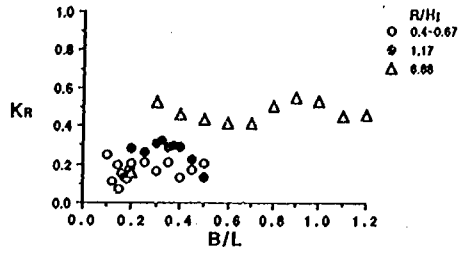


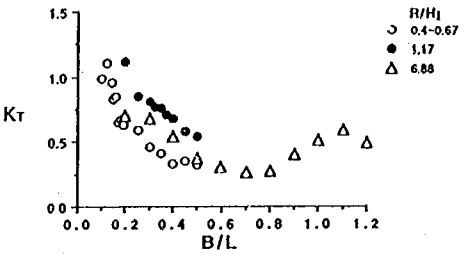
図－5.2.78　堤体幅水深比B／hがK_R、K_Tに及ぼす影響（R／h＝0.4、R／H_I＝6.7～8.0、p_0／ρgh＝0.05）

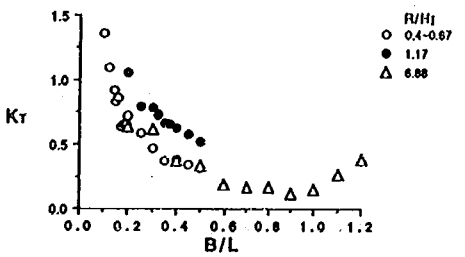


図－5.2.79　堤体幅水深比B／hがK_Tに及ぼす影響（R／h＝0.4、p_0／ρgh＝0.1）



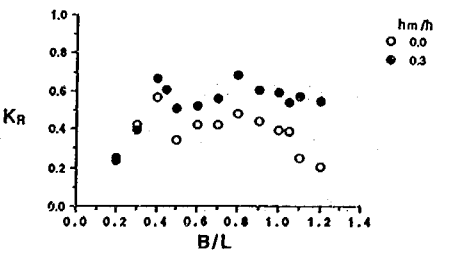


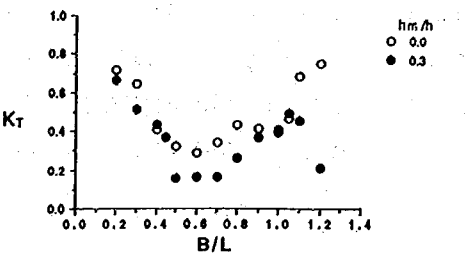




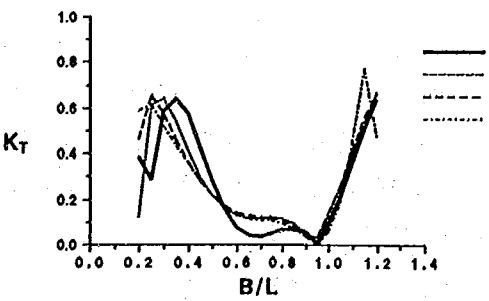
図－5.2.80　天端上水深波高比R／H_1がK_T、K_R及ぼす影響(B／h=2.3～2.4、R／h=0.4、p_0／ρgh=0.1)

図－5.2.81　天端上水深波高比R／H_1がK_T、K_Rに及ぼす影響(B／h=2.3～2.4、R／h=0.4、p_0／ρgh=0.05)





図－5.2.82　基礎マウンド高hmがK_Rに及ぼす影響(B／h'=2.0、R／H_1=6.0～8.0、p_0／ρgh'=0.05)



図－5.2.83　基礎マウンド高hmがK_Tに及ぼす影響（B／h'=2.4、R／h'=0.4、p_0／ρgh'=0.10)

5．3　海域制御構造物の配置計画

5．3．1　配置計画の考え方

海域制御構造物の配置計画は、防災および利用面から要求される静穏域が確保され、海浜の安定性が得られることを前提とし、環境への影響を考慮して決定する。

〔解　説〕

海域制御構造物の配置計画は、各種構造物の特徴をもとに、防災および利用面から必要とされる静穏域の創出、海浜の安定性の確保はもとより、環境への影響（本編「2．3　環境アセスメントのための調査」参照）も考慮して決定する。

環境への影響とは、海浜流、海水交換の変化に伴う水質等の変化、周辺の海岸・海底地形の変化、生態・景観への影響、船舶の航行に対する影響等である。このうち周辺の海岸の地形変化にとって特に注意すべき点は、漂砂の連続性である。海域制御構造物は広域に静穏域を形成させることから、沿岸漂砂の存在する海岸では沿岸漂砂量を変化させる。したがって、卓越方向を持つ沿岸漂砂のある一連の海岸の一部でMMZ計画を実施する場合には、当該計画が周辺海岸の侵食の原因にならないように配慮しなければならない。すなわち、周辺海岸の保全と一体とした海域制御構造物の配置計画を立案する必要がある。具体的には、一連の海岸全体を静的に安定した海浜に変える方法や、海域制御構造物の設置区間と周辺海岸の沿岸漂砂量の連続性を確保する方法等を検討する必要がある。

5．3．2　配置諸元の決定

配置計画では、本編「5．3．1　配置計画の考え方」に基づき、各種構造物の機能上の特徴（構造物周辺の平面的な波高分布、海浜流、漂砂特性等）を考慮して、構造物の配置諸元（離岸距離、堤長、開口幅等）を決定する。

〔解　説〕

(1)　一般

海域制御構造物は構造物の配置に応じて静穏域の創出効果が変化する。そのため、必要とされる海岸保全効果を確保でき、海域の利用が可能となる配置を計画しなければならない。また、海域制御構造物は消波機構に応じて特徴的な海浜流を生じるので、海域の利用、海水交換等に与える影響を各種構造物ごとに検討する必要がある。したがって、各種構造物背後の波高分布、海浜流場を十分に把握して、配置計画を作成しなければならない。

(2)　海域制御構造物背後の静穏域

海域制御構造物の配置計画において基本となるのは、構造物背後の海域の波高分布である。すなわち、利用上必要とされる静穏度、越波等に対して防災上必要とされる消波効果が計画を満足するかを検討しなければならない。このためには、既往の実験結果より各種構造物背後の波高分布の特徴を調べ、詳細には

水理模型実験や数値計算による検討を実施する必要がある。ここでは、参考として数値計算により求めた、構造物諸元と静穏化効果との関係を示すことにする。波高分布の数値計算には緩勾配方程式の放物型近似を用い、構造物の設置区間の入射波高を透過率を乗じて単純に低下させることにより静穏域の波高分布を計算した。静穏化効果の代表パラメーターには、所要の波高比以下となる面積と構造物背後の面積の比として次式より求まるパラメーターを用いた。

$$S_P = \frac{A_P}{A_{total}} \qquad (2.7)$$

ここに、S_P：静穏域の所要の波高比Pの場合の静穏度、A_{total}：構造物背後の面積、A_P：A_{total}の範囲内で静穏域の波高Hが$H/H_I \leqq P$となる面積、である。平面配置諸元の記号の定義と計算条件を表－5.3.1に示す。計算された波高分布の例を図－5.3.13に示す。これらの波高分布図より求めた平面配置諸元とS_Pの関係を図－5.3.1～5.3.12に示す。

表－5.3.1　静穏度算定図（参考）の計算条件

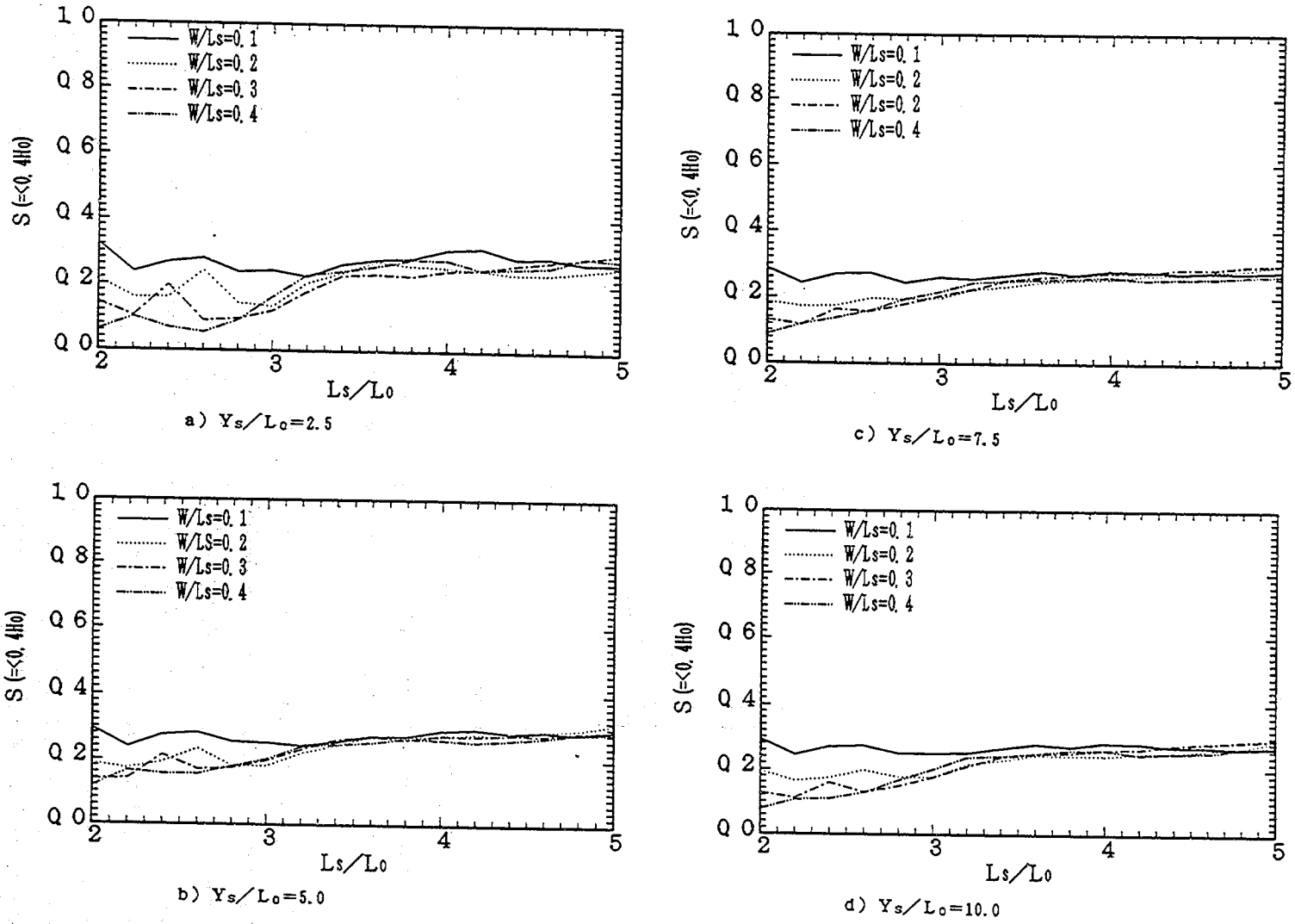
$Y_S/L_0=2.5\sim10.0$	L_S：一基の堤長
$L_S/L_0=2.0\sim5.0$	W　：開口幅
$h/L_0=0.05\sim0.15$	Y_S：離岸距離
$W/L_S=0.1\sim0.4$	h　：設置水深
$P=0.4,\ 0.6$	

(3)　各型式の構造物の波浪場、海浜流場

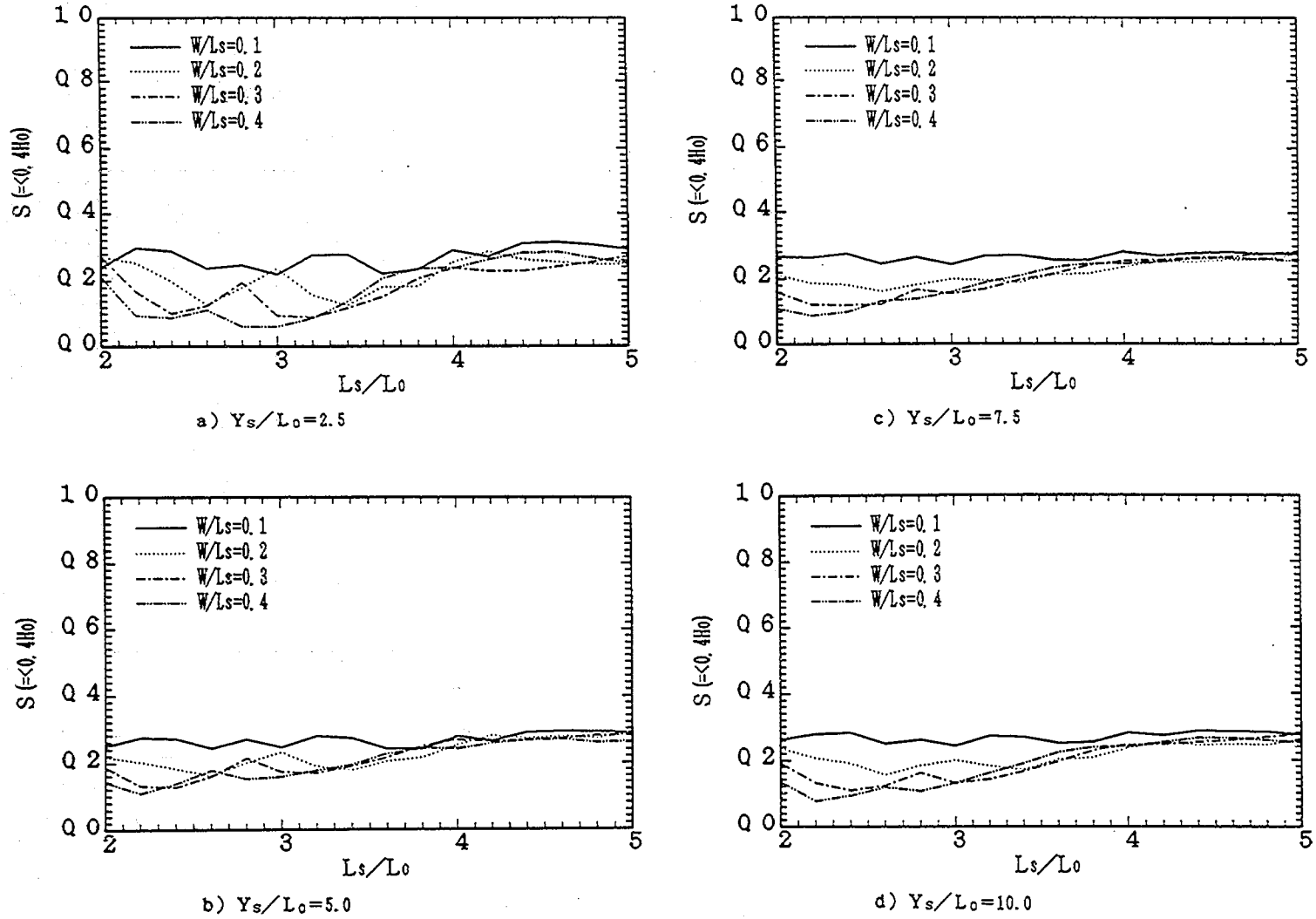
ここでは、水理模型実験の結果より求められた各型式の構造物の波浪場、海浜流場の特徴を概説する。波浪場と海浜流場を支配するのは、波浪条件に加えて構造物一基の堤長、構造物間の開口幅、離岸距離、海底勾配である。特に、消波時の強制砕波の有無は海浜流の流況に強く影響する。設置基数が少ない場合には、設置基数も支配要因となる。また、構造物の消波機構（強制砕波の有無等）も波浪場に影響を及ぼす。

海浜流場と平均配置との関係は、いずれの型でも堤長、開口幅、離岸距離により強く支配される。開口幅が堤長に比べかなり狭い場合には堤背後の波高分布にあまり変化がないので、比較的澱んだ流れとなる。開口幅がある程度広くなり、離岸距離が堤長の半分から同程度の範囲にある場合には、堤体背後に一対の循環流を生じることが多い。しかし、離岸距離が堤長よりかなり短い、あるいは長い場合には、明瞭な循環流は形成されず不安定な流況を生じるようになる。

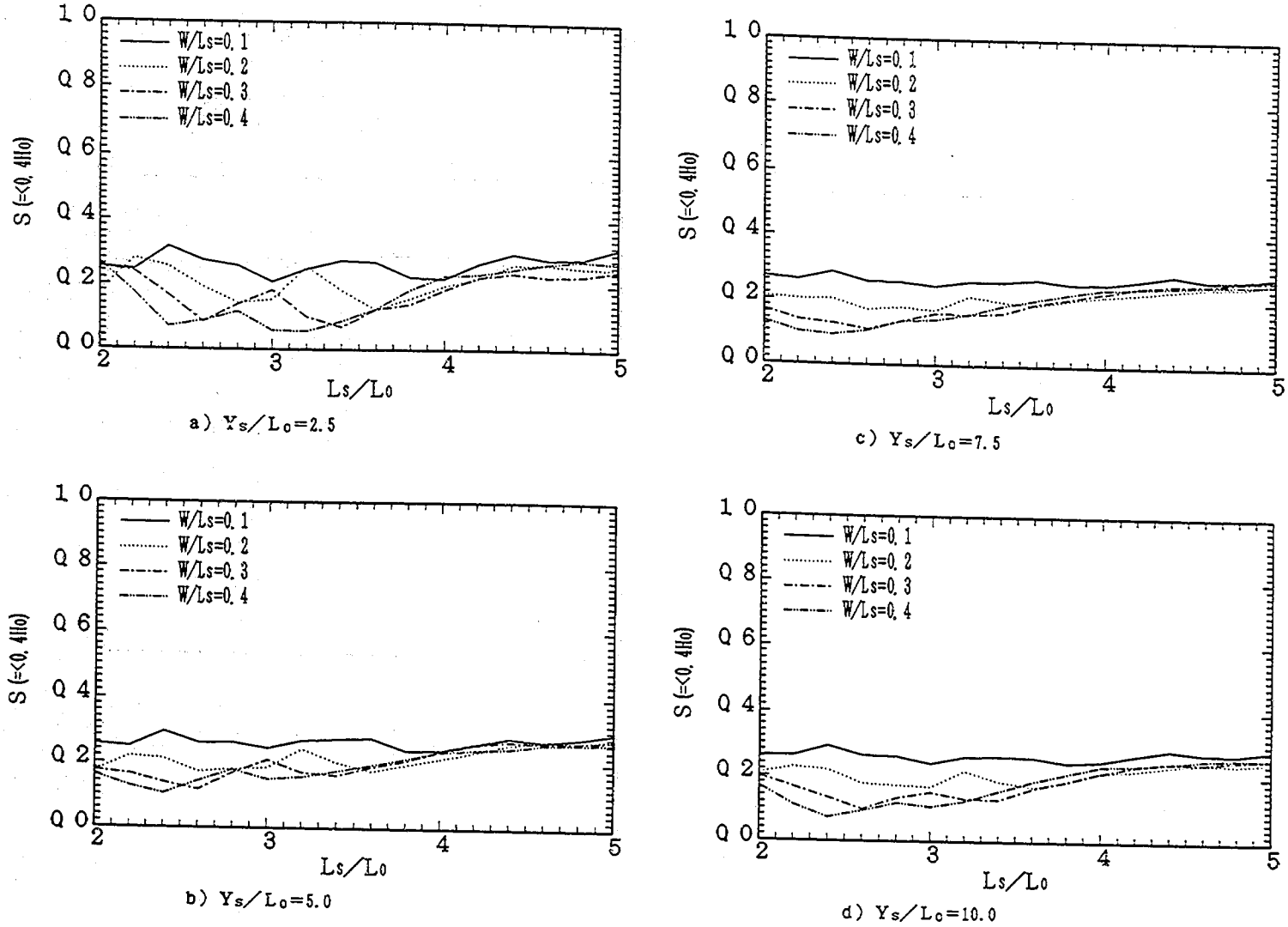
以下に示す全ての実験例は、汀線近くを除いて1／50より緩い海底勾配を対象とし、現地での入射波高が2～4mの比較的高波浪の条件を用いている。波高分布は格子状に測点を組んだ波高測定より、流況図は水表面にフロートを浮べて連続撮影した結果より求めたものである。実験の詳細等は建設省土木研究所海岸研究室（1987a；1987b；1988a；1988b；1989a；1989b；1990a；1990b；1991）等の文献を参照された



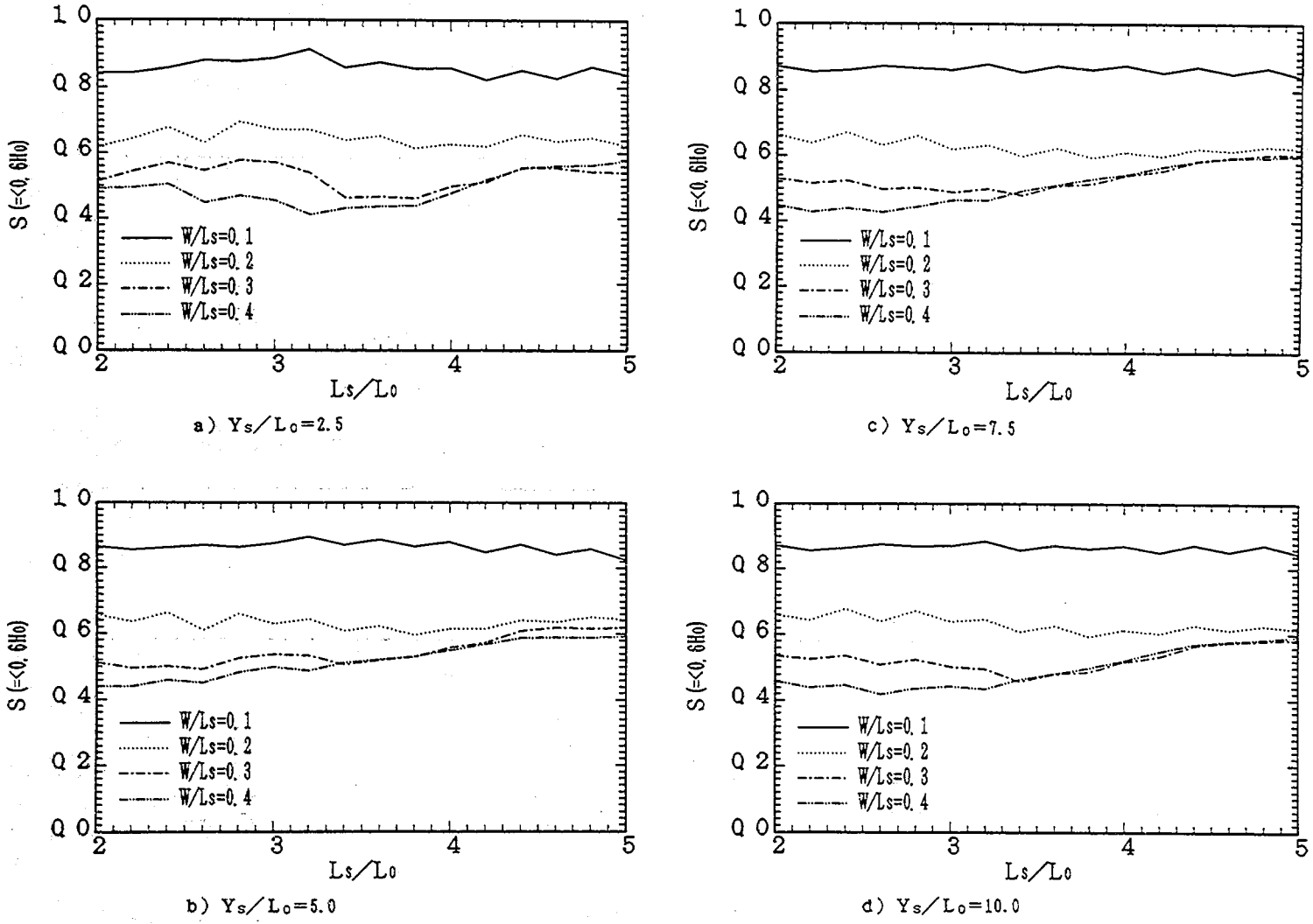
図－5.3.1 堤長、開口幅と静穏度との関係（P＝0.4, h／L0＝0.05, KT＝0.4）



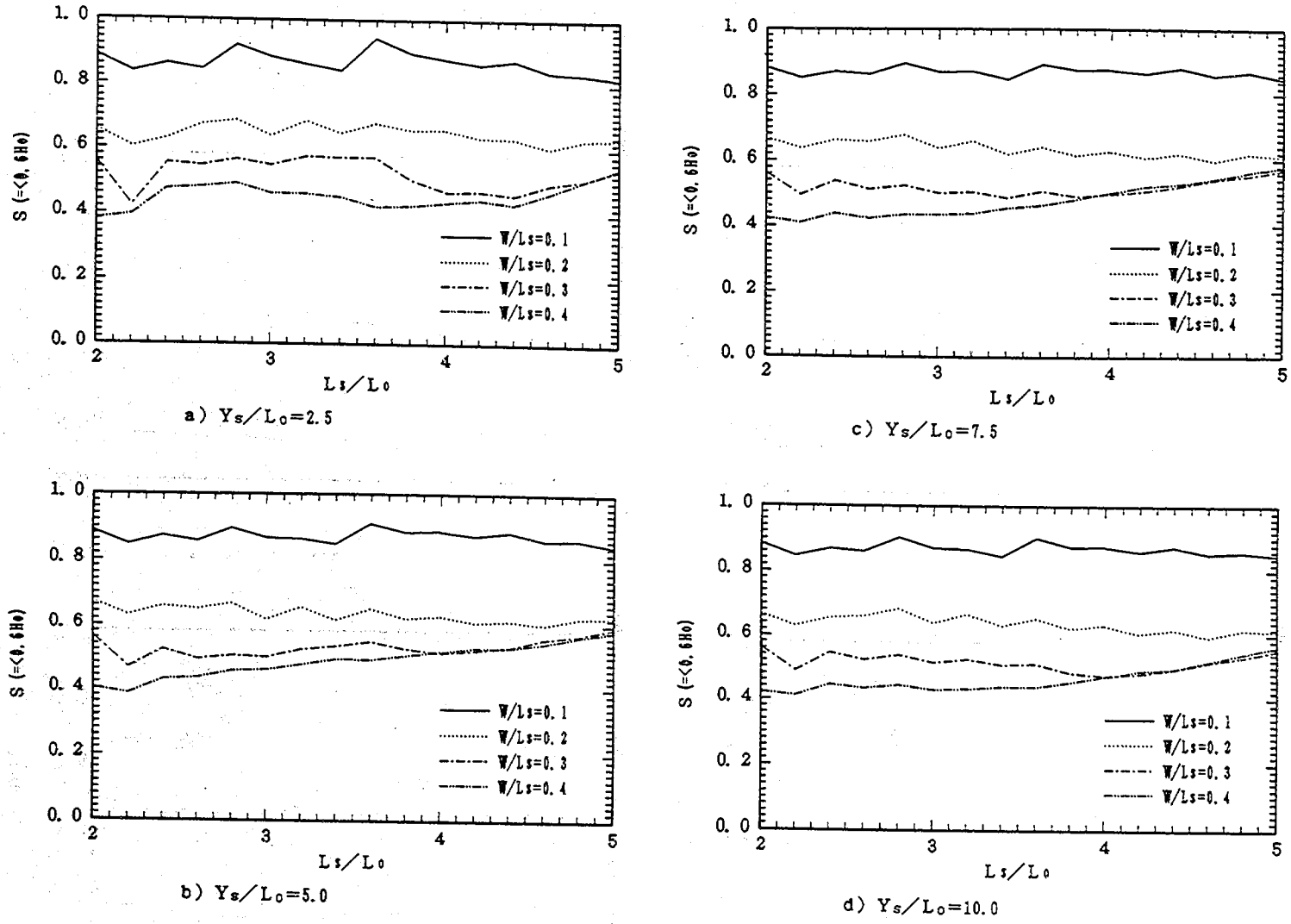
図－5.3.2 堤長、開口幅と静穏度との関係（P＝0.4, h／Lo=0.10, K_T=0.4）



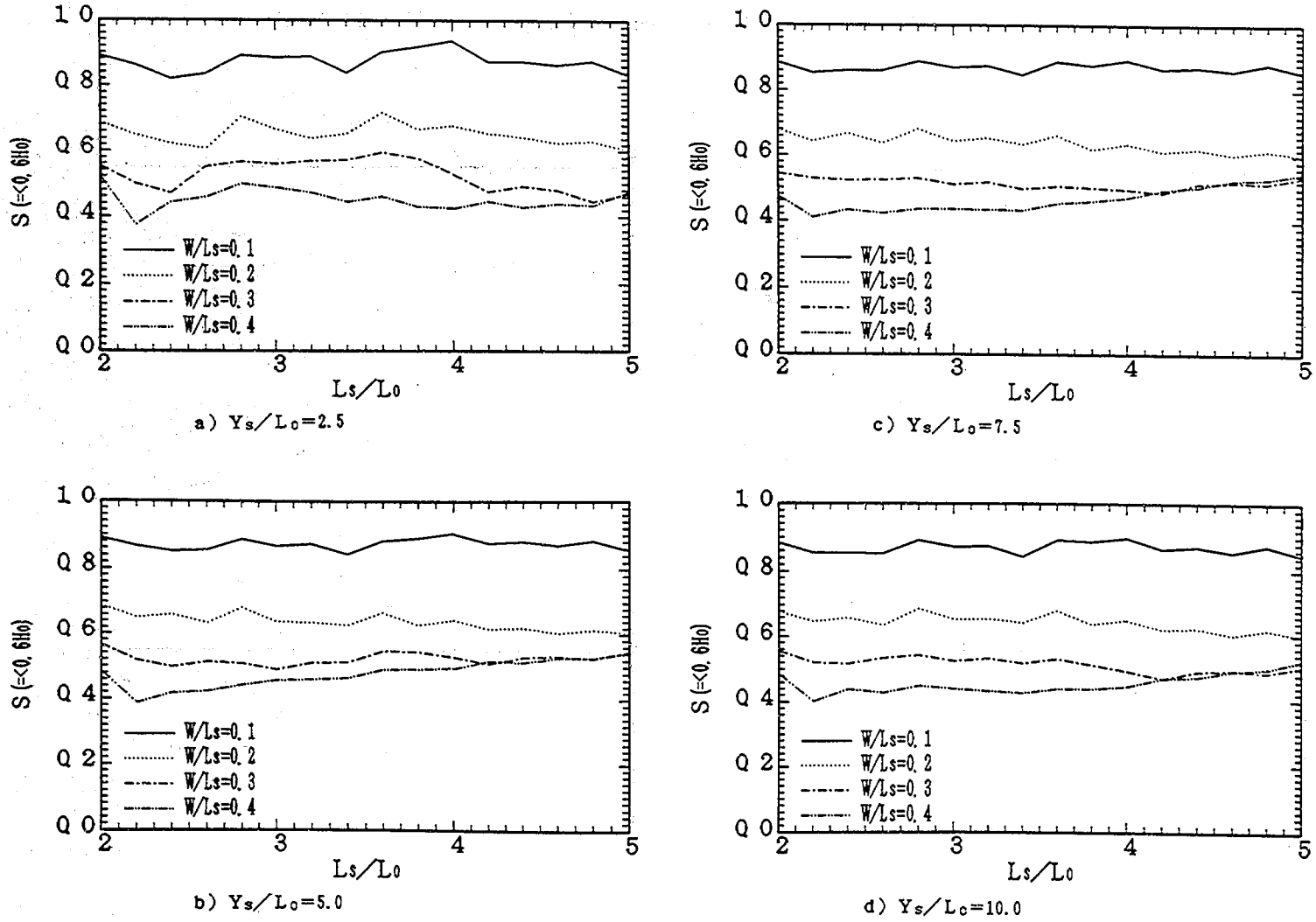
図－5.3.3 堤長、開口幅と静穏度との関係（P＝0.4, h／Lo=0.15, K_T=0.4）



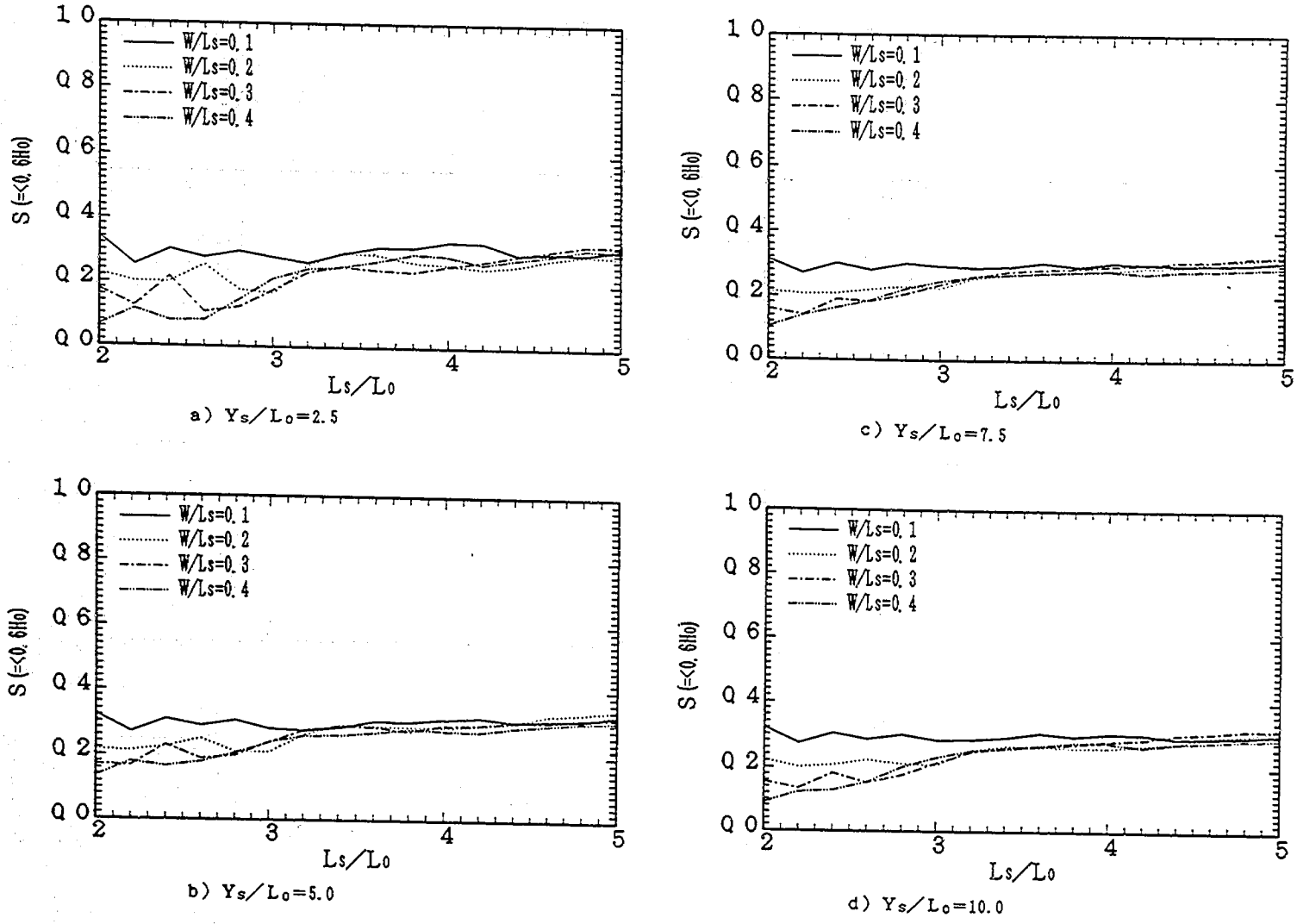
図－5.3.4 堤長、開口幅と静穏度との関係（P＝0.6, h／Lo＝0.05, K_T＝0.4）



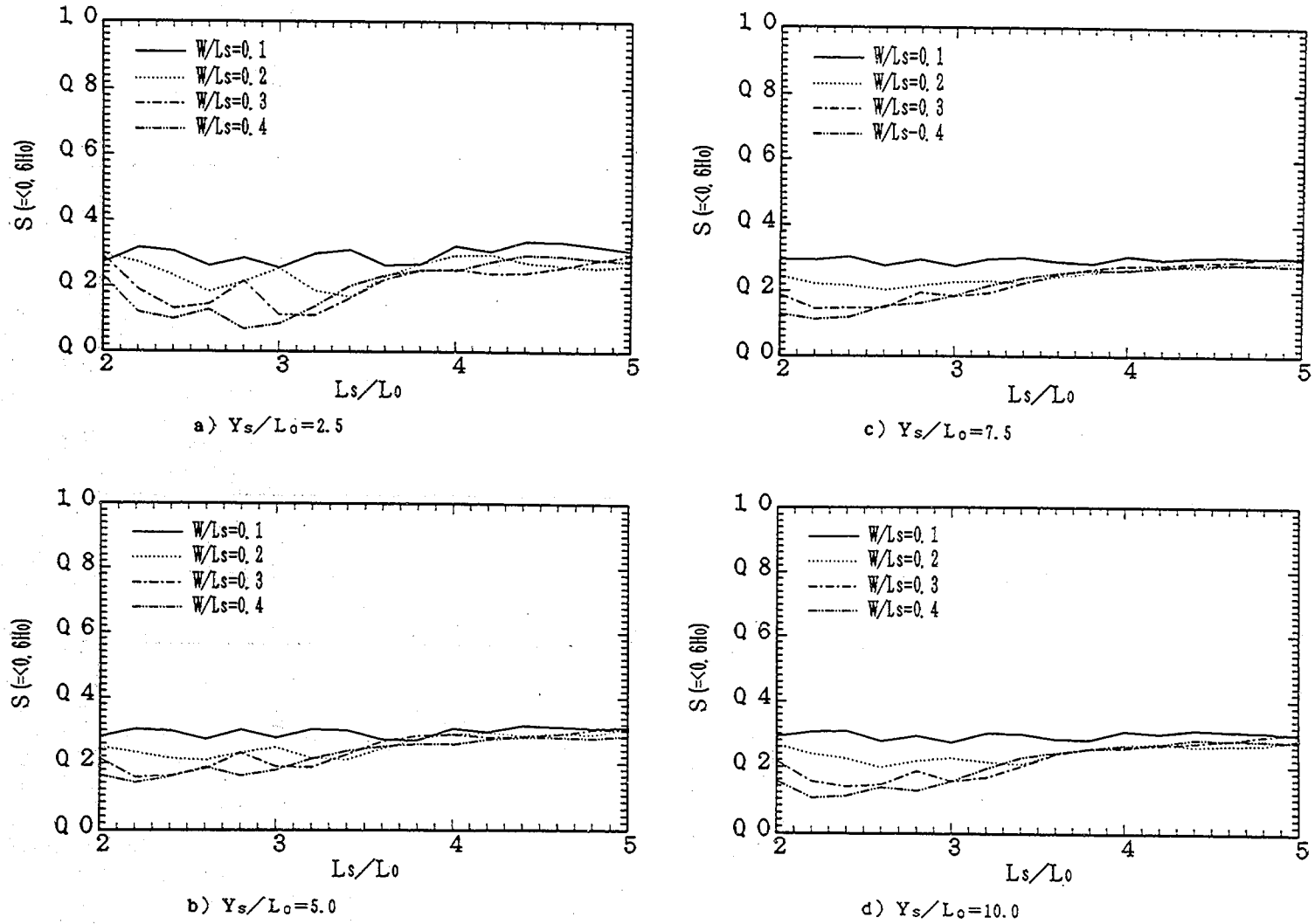
図−5.3.5 堤長、開口幅と静穏度との関係(P=0.6, h/Lo=0.10, K_T=0.4)



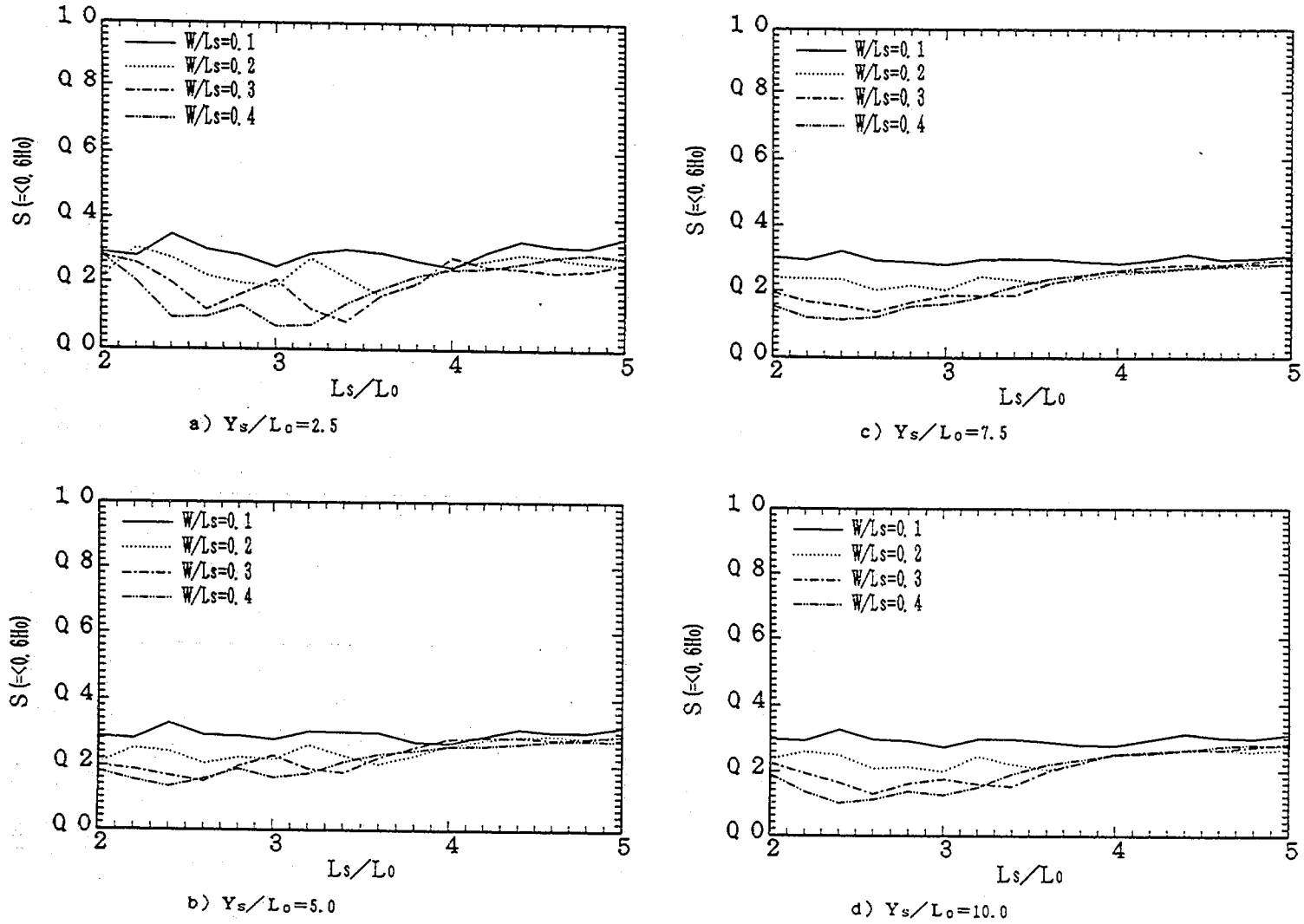
図－5.3.6　堤長、開口幅と静穏度との関係（P＝0.6, h／Lo＝0.15, K_T＝0.4）



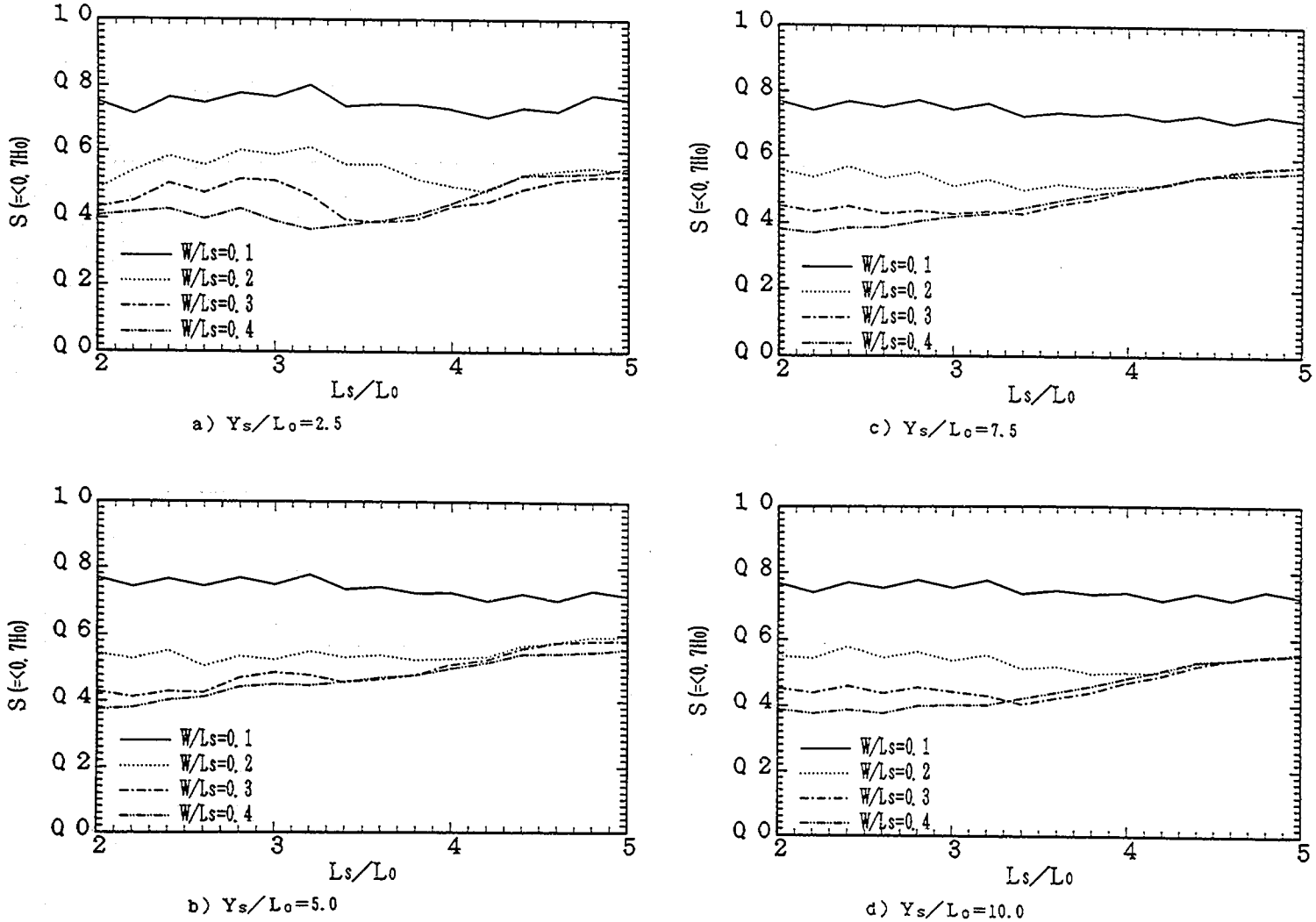
図－5.3.7 堤長、開口幅と静穏度との関係（P＝0.6, h／Lo=0.05, K_T=0.6）



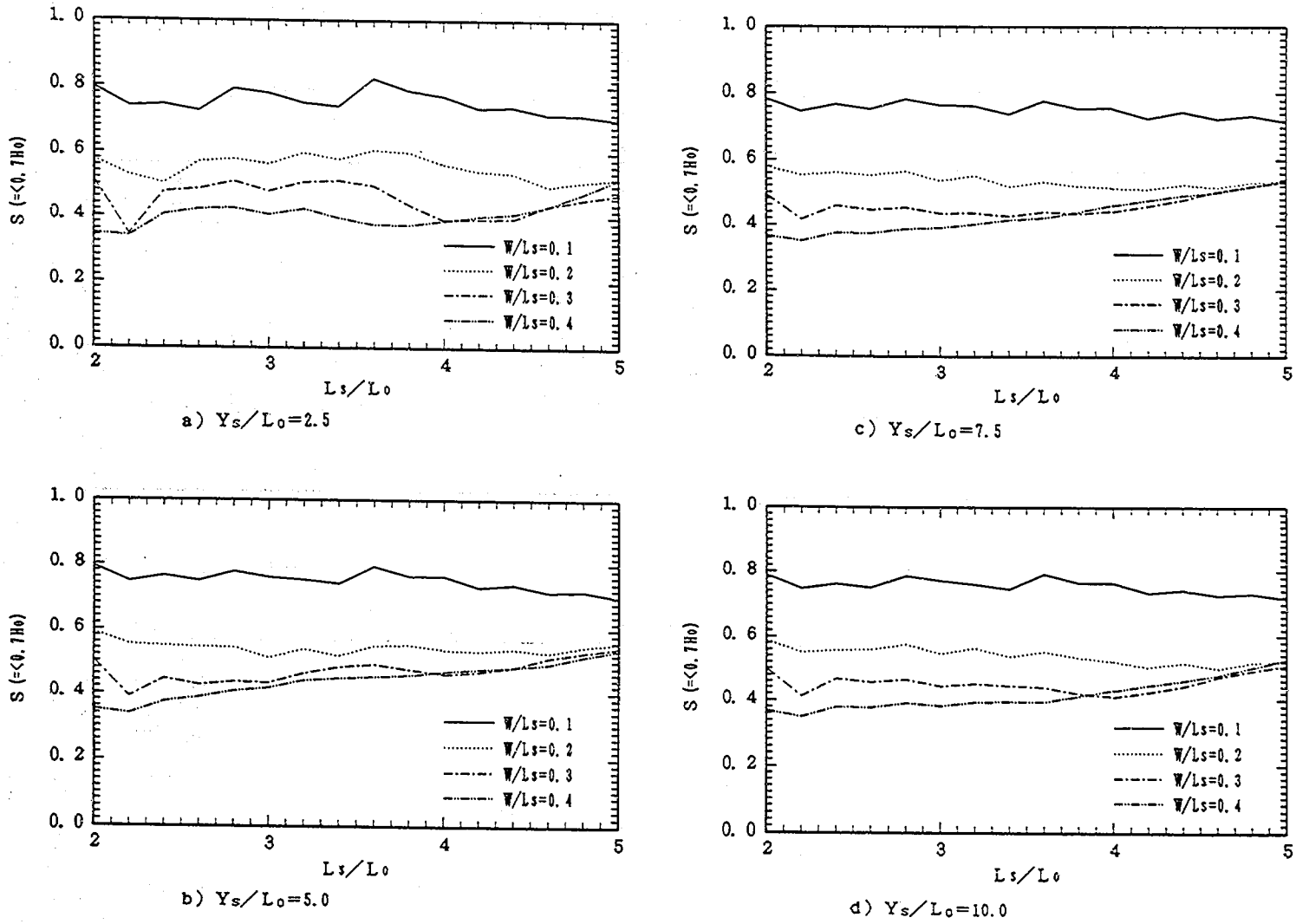
図－5.3.8 堤長、開口幅と静穏度との関係（P＝0.6, h／Lo＝0.10, K_T＝0.6）



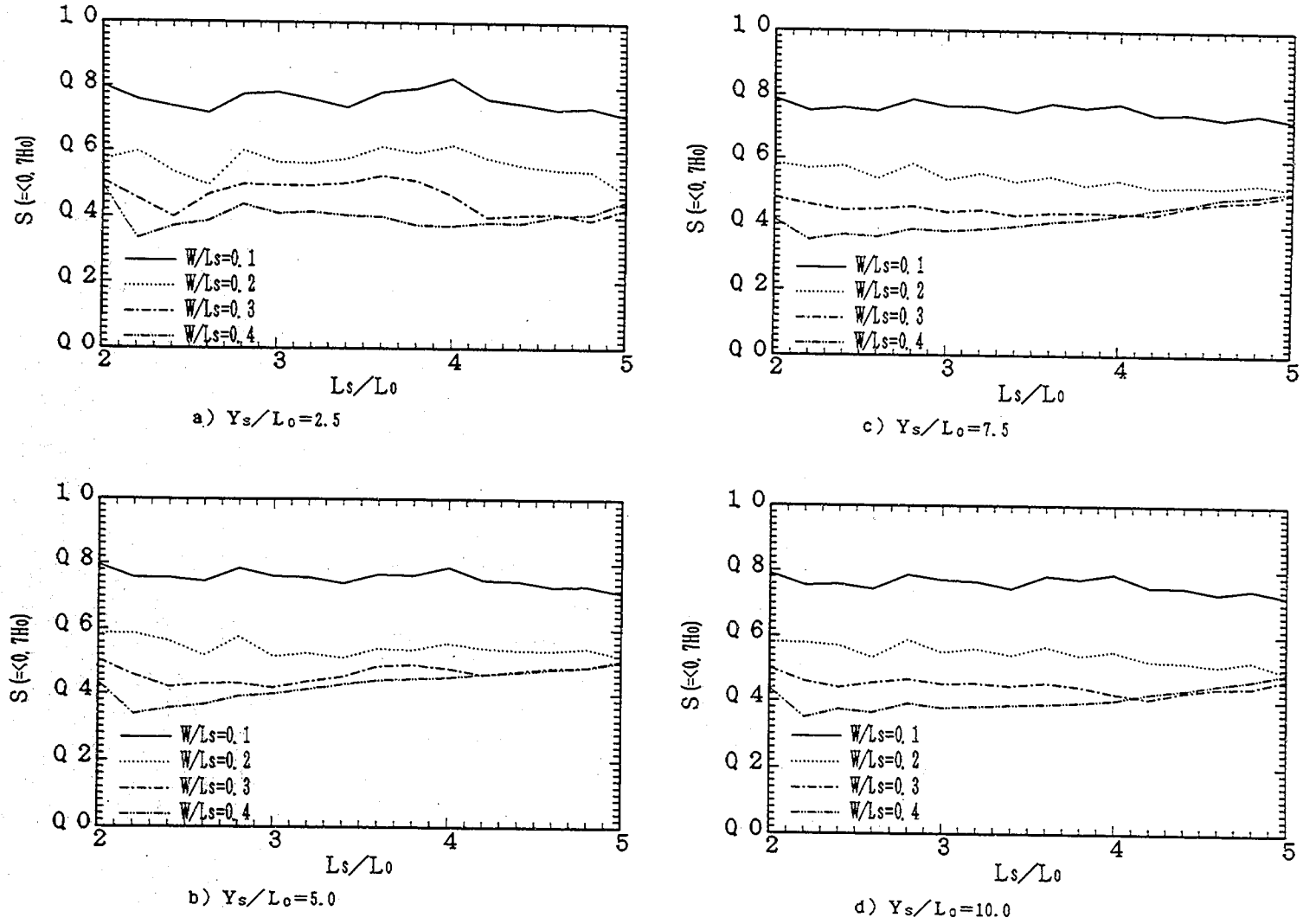
図－5.3.9 堤長、開口幅と静穏度との関係(P＝0.6, h／Lo=0.15, K_T=0.6)



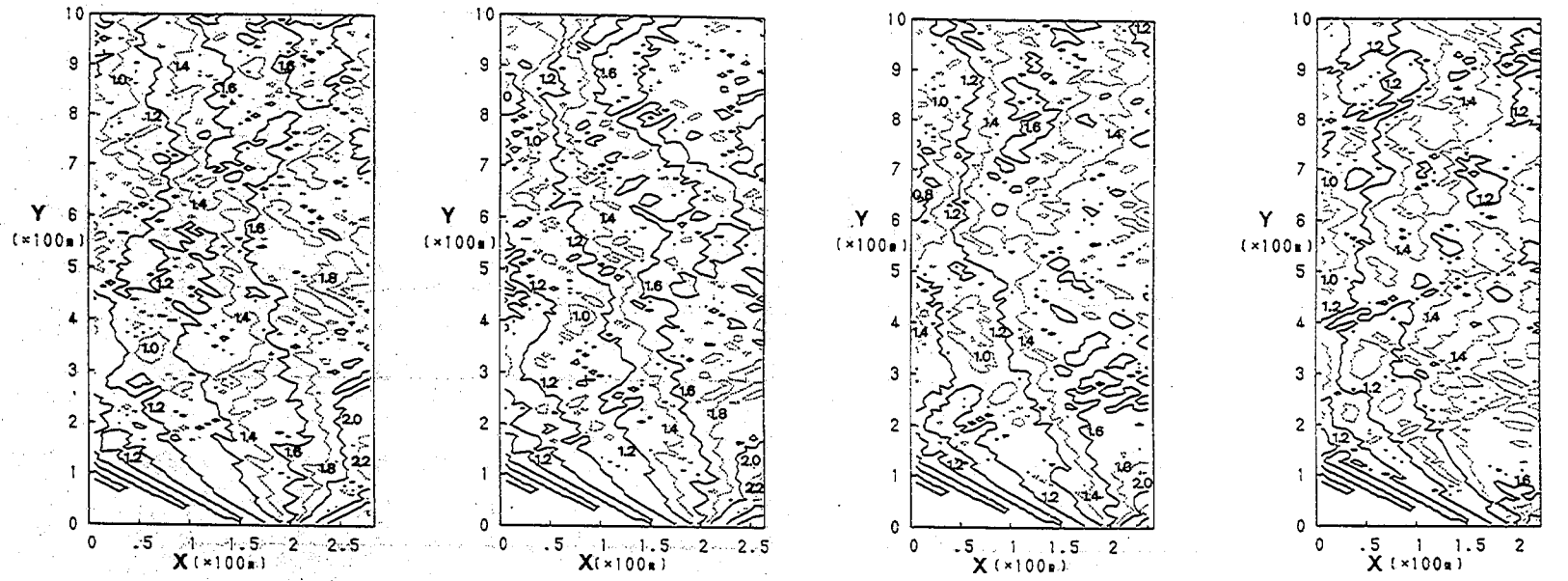
図－5.3.10　堤長、開口幅と静穏度との関係（P＝0.7, h／Lo＝0.05, Kr＝0.6）



図－5.3.11　堤長、開口幅と静穏度との関係（P＝0.7, h／Lo＝0.10, KT＝0.6）



図－5.3.12　堤長、開口幅と静穏度との関係（P＝0.7, h／L0＝0.15, KT＝0.6）



a) $h/L_o=0.10$, $K_T=0.6$, $W/L_s=0.4$, $L_s/L_o=4.0$

b) $h/L_o=0.10$, $K_T=0.6$, $W/L_s=0.3$, $L_s/L_o=4.0$

c) $h/L_o=0.10$, $K_T=0.6$, $W/L_s=0.2$, $L_s/L_o=4.0$

d) $h/L_o=0.10$, $K_T=0.6$, $W/L_s=0.1$, $L_s/L_o=4.0$

図－5.3.13 波高分布の例

い。なお、ここで使用する主な記号は次のとおりである。

L_s：堤長，Y_s：離岸距離，W：開口幅.

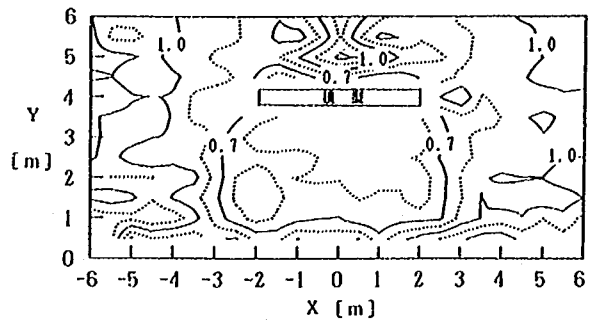
a）スリット式（連結ブロック式）

①平面的な波高分布（図－5.3.14）

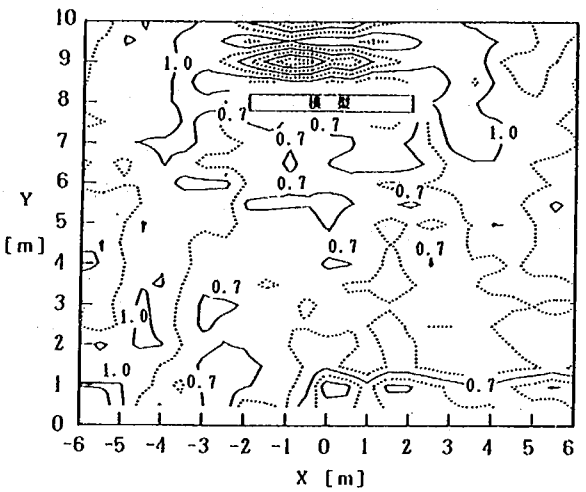
多重スリット型と水平板付スリット型の波高分布は類似しているので、多重スリット型について示す。透過率K_T＝0.6の断面諸元を持つ構造物について、離岸距離Y_s＝4.0mおよび8.0mとした場合の単堤の波高分布を図－5.3.14に示す。両者とも、構造物の沖側では反射波による波高の増大が見られるものの、構造物の背後では波高の減少が認められる。離岸距離Y_s＝4.0mの場合は、Y_s＝8.0mの場合に比べて沿岸方向に幅広い波高低下が認められる。静穏域を波高比0.7以下の範囲とすれば、静穏域は両者ともに構造物とほぼ同じ幅で汀線近くまで形成されている。

②海浜流場（図－5.3.15、5.3.16）

多重スリット型および水平板付スリット型の単堤の場合の流況図を図－5.3.15、5.3.16に示す。両者ともに構造物背後では向岸流、汀線近くでは構造物中央付近で離岸流を生じている。また、構造物と汀線には一対の循環流がみられる。循環流の形成状況は堤長と離岸距離によって変化する。また、群堤にした場合には開口幅が狭くなると循環流は形成されなくなる。



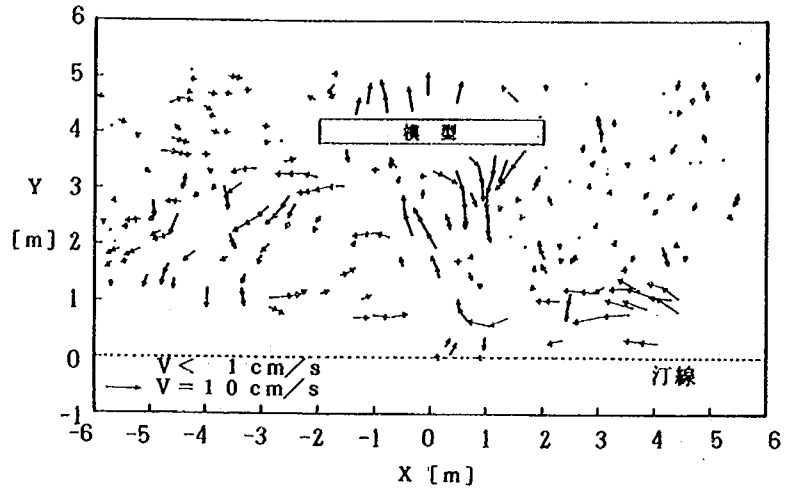
a)　離岸距離　Y_s＝4 mの場合



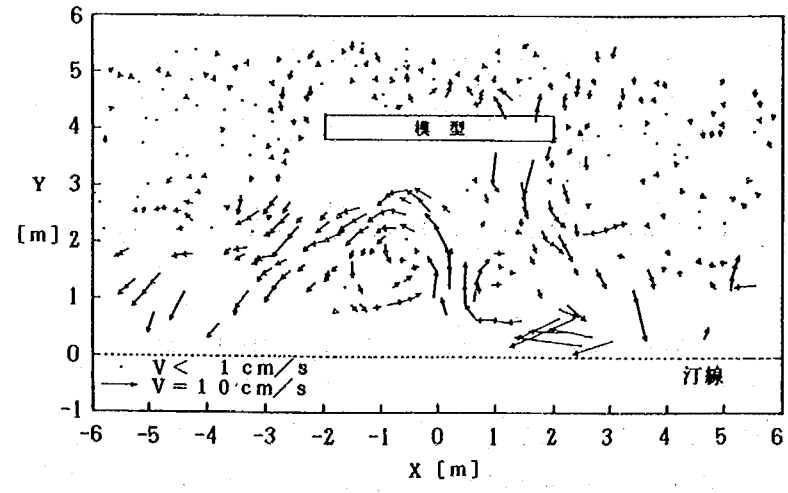
b)　離岸距離　Y_s＝8 mの場合

図－5.3.14　多重スリット型の波高比（H/H_I）の分布

(H_o'＝5.0cm、H_o'/L_o＝0.02、K_T＝0.6、L_s＝4.0m、h_I/H_I＝1.0)



図－5.3.15　多重スリット型の流況図
(H_o' =5.0cm、H_o'/L_o=0.02、K_T=0.6、
L_s=4.0m、Y_s=4.0m、h_1/H_1=1.0)

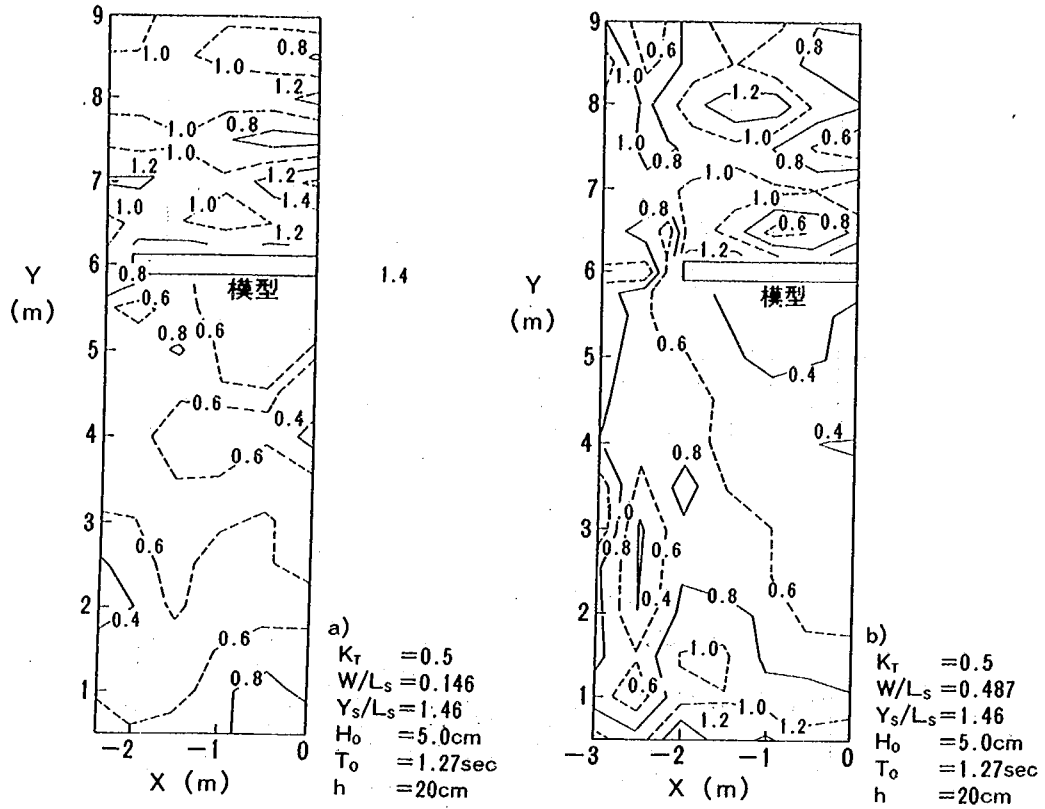


図－5.3.16　水平板付スリット型の流況図
(H_o' =5.0cm、H_o'/L_o=0.02、K_T=0.5、
L_s=4.0m、Y_s=4.0m、h_1/H_1=0)

b）スリット式（H型スリット板ジャケット式）

①平面的な波高分布（図－5.3.17）

透過率K_T=0.6の断面諸元を持つ構造物について、離岸距離Y_sと堤長L_sの比Y_s/L_s=1.46の条件で、開口幅WをW/L_s=0.146、0.487に変えたときの波高分布を図－5.3.17a)、b）に示す。W/L_s=0.146のケースでは堤体岸側がほぼ一様に静穏化されているのに対し、W/L_s=0.487のケースでは

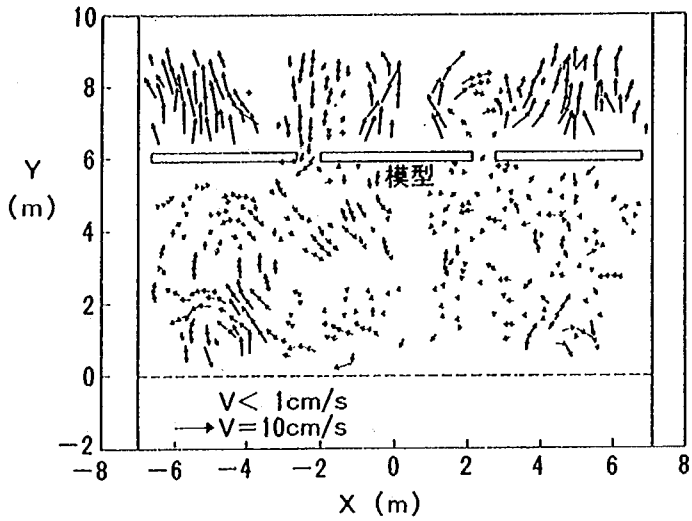


図－5.3.17　波高比分布図（H型スリット板ジャケット式）

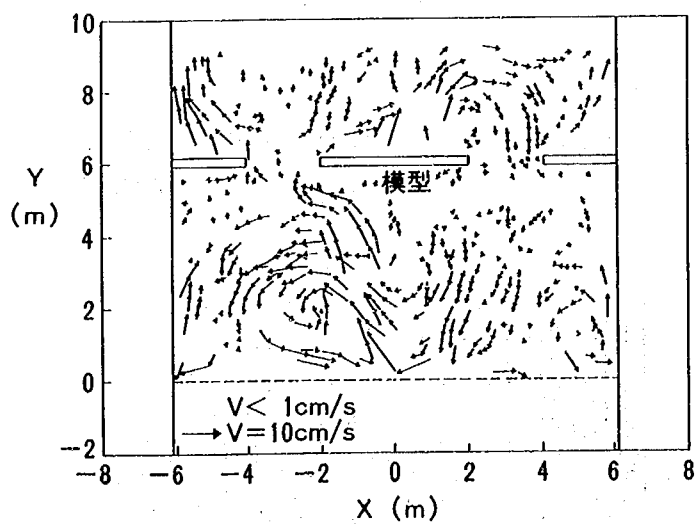
開口部の岸側に波高の高い区域が形成され、静穏域は岸に近づくほど狭くなる。

②海浜流場（図－5.3.18）

図－5.3.17と同じ条件での流況図を図－5.3.18a)、b）に示す。開口幅の狭い$W/L_s=0.146$のケースでは、堤背後の流速は小さく、全体的に澱んだ流れとなっている。これに対し、比較的開口幅の広い$W/L_s=0.487$のケースでは、全体的に流速が速く堤背後に循環流を生じている。



a）　$W/L_s=0.146$



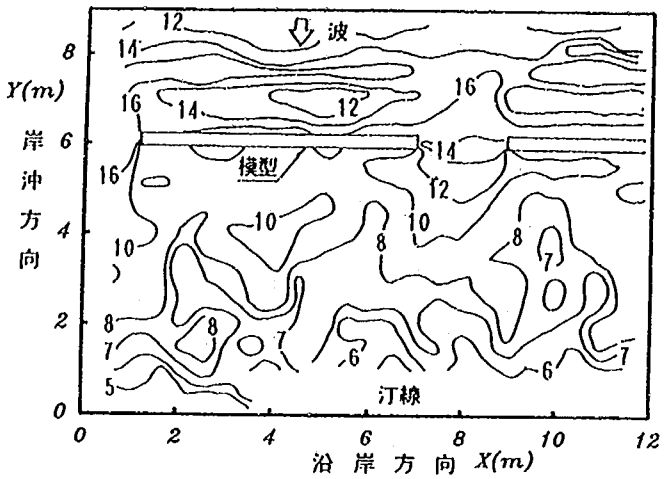
b）　$W/L_s=0.487$

図−5.3.18　流況図（H型スリット板ジャケット式）

c）スリット式（スリットケーソン式）

①平面的な波高分布（図−5.3.19）

透過率$K_T=0.6$の断面諸元を持つ構造物について、離岸距離Y_sと堤長L_sの比$Y_s/L_s=1.46$、開口幅Wが$W/L_s=0.33$の条件での波高分布を図−5.3.19に示す。堤体の中央部の直背後にやや波高の高い部分があるものの、静穏域は堤背後全域に形成されている。

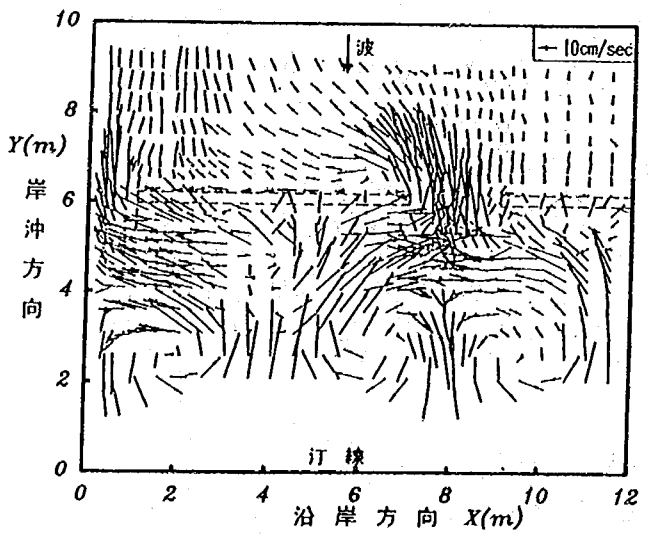


図－5.3.19　波高分布図（スリットケーソン式）

$\left[K_T=0.6,\ W/L_s=0.33,\ Y_s/L_s=1.0,\ H_o=12.0\text{cm},\ T=1.98\text{sec} \right]$

②海浜流場（図－5.3.20）

汀線近くでは、堤体の中央部背後で離岸流、開口部の背後で向岸流を生じ、一対の循環流が形成されている。堤体上で砕波を生じるため、堤体上では向岸流となり、その補償流として開口部で沖向流れが生じている。



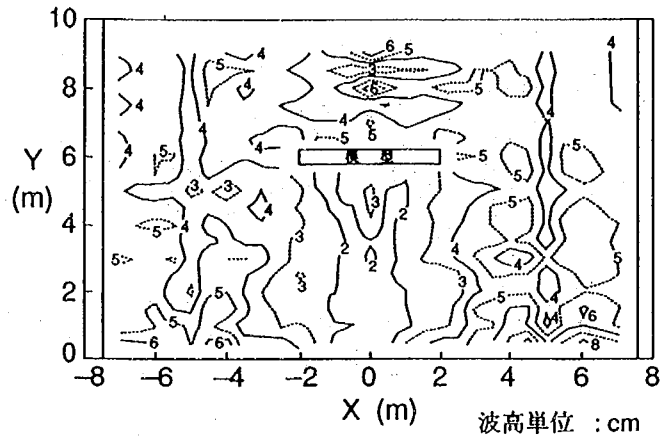
図－5.3.20　流況図（スリットケーソン式）

$\left[K_T=0.6,\ W/L_s=0.33,\ Y_s/L_s=1.0,\ H_o=12.0\text{cm},\ T=1.98\text{sce} \right]$

d）斜板式

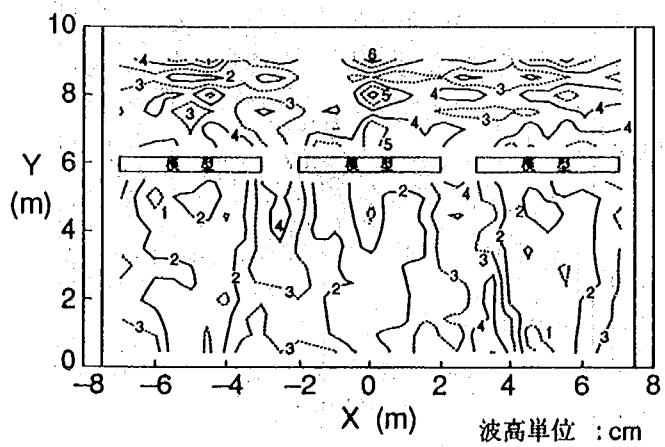
①平面的な波高分布（図－5.3.21）

透過率K_T＝0.6の断面諸元を持つ構造物について、離岸距離Y_s＝6m、堤長L_s＝4mの単堤と開口幅W＝1mの群堤の波高分布を図－5.3.21a)、b）に示す。両ケースともに堤長とほぼ同じ沿岸方向の幅を有する静穏域が汀線近くまで形成されている。群堤では、開口部背後でも、やや波高が低下している。



a） 単堤

(H_o＝5cm，T＝1.27s，K_T＝0.5，L_s＝4m，Y_s＝6m)



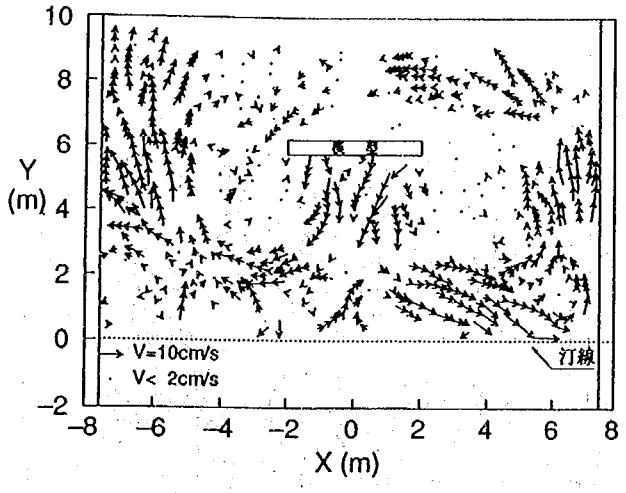
b） 群堤

(H_o＝5cm，T＝1.27s，K_T＝0.5，L_s＝4m，W＝1m，Y_s＝6m)

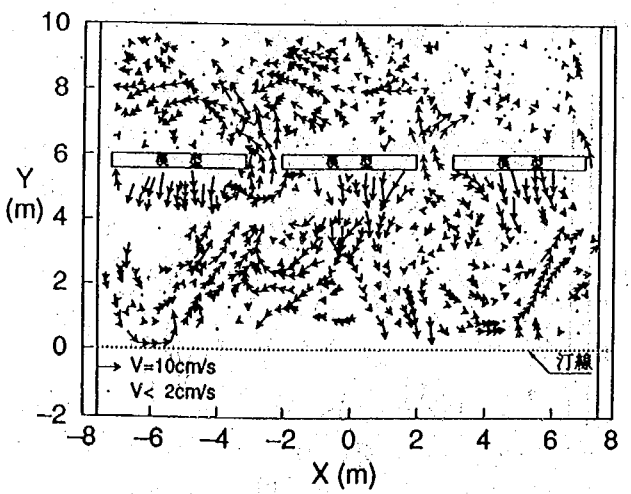
図－5.3.21 波高分布図（斜板式）

②海浜流場（図－5.3.22）

図－5.3.21と同じ条件での流況図を図－5.3.22a)、b）に示す。単堤では堤体上で速い向岸流を生じ、その補償流が堤体の両側から沖に向かって生じる。群堤でも同様に堤体上で向岸流、開口部で離岸流となっている。



a）　単堤（H_o＝5 cm，　T＝1.27s，　K_T＝0.5，　L_s＝4 m，　Y_s＝6 m）



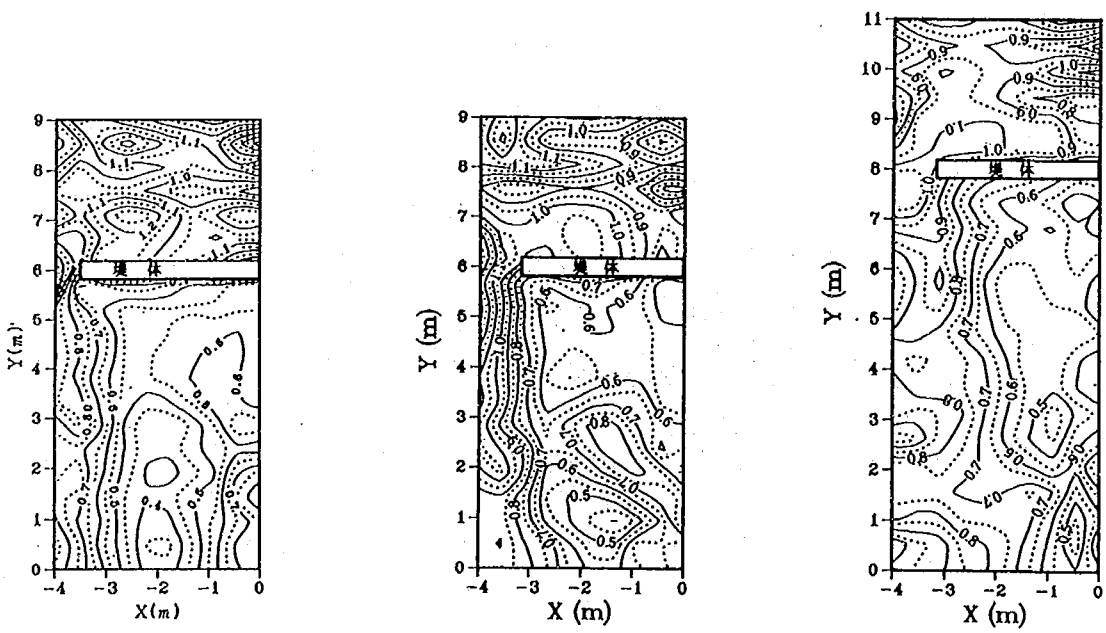
b）　群堤（H_o＝5 cm，　T＝1.27s，　K_T＝0.5，　L_s＝4 m，　W＝1 m，　Y_s＝6 m）

図－5.3.22　流況図（斜板式）

e）潜堤式（斜板消波潜堤）

①平面的な波高分布（図－5.3.23）

透過率$K_T=0.5$の断面諸元を持つ構造物について、離岸距離Y_s、開口幅Wと堤長L_sの比を組み合わせて、（Y_s/L_s, W/L_s）＝（0.84, 0.13）、（0.94, 0.25）、（1.25, 0.25）の条件での波高分布をそれぞれ図－5.3.23a)、b)、c）に示す。c）の離岸距離が大きいケースを除いて、静穏域は堤長とほぼ同じ沿岸方向の幅を持ち汀線付近にまで広がっている。c）のケースでは離岸距離が大きいので設置水深がやや深くなるため、開口部から入射する波の影響が大きくなるようである。開口部背後の波高は開口幅の大きなケースで高い。

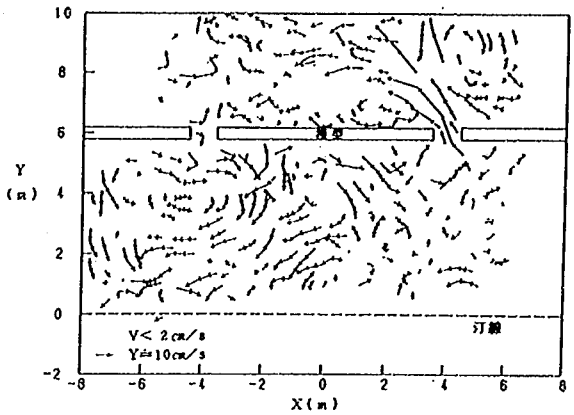


(a)$W/L_s=0.13, Y_s/L_s=0.84$　(b)$W/L_s=0.25, Y_s/L_s=0.94$　(c)$W/L_s=0.25, Y_s/L_s=1.25$

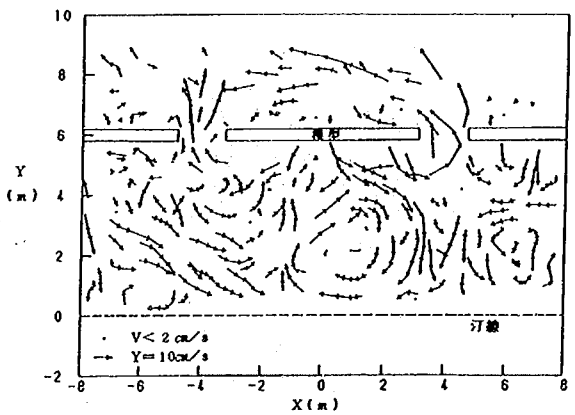
図－5.3.23　波高分布（斜板消波潜堤：$H_o=7$ cm, $H_o/L_o=0.028$, $K_T=0.5$, $R/h=0.1$, $R/H_I=0.35$, $B/L=0.24$）

②海浜流（図－5.3.24）

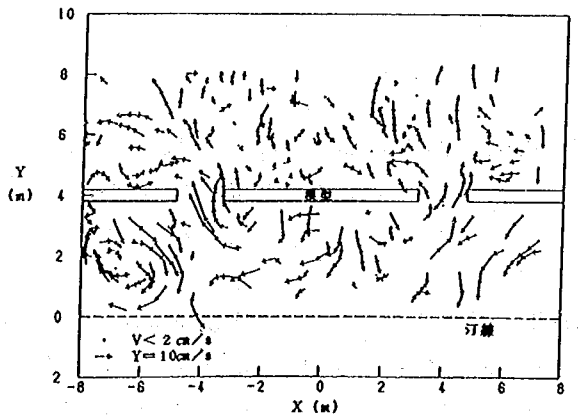
図－5.3.23と同じ波浪条件と堤体断面諸元で、（Y_s/L_s, W/L_s）＝（0.84, 0.13）、（0.94, 0.25）、（0.63, 0.25）としたときの流況図を図－5.3.24a)、b)、c）に示す。堤体上の砕波により、全てのケースで堤体のすぐ岸側には向岸流が生ずる。また、開口部では沖向流れが生じている。a）の開口幅の狭いケースでは、堤体岸側の流れに一定したパターンを見ることはできないが、開口幅の広いb）では堤体中央部の汀線近くで離岸流となる一対の循環流を生じる傾向が見られる。同じ開口幅でも離岸距離の短いc）では堤体背後では向岸流が卓越する。すなわち、堤体岸側の流況パターンは、堤体の平面



a)　$W/L_S=0.13$,　$Y_S/L_S=0.84$



b)　$W/L_S=0.25$,　$Y_S/L_S=0.94$



c)　$W/L_S=0.25$,　$Y_S/L_S=0.63$

図－5.3.24　流況図（斜板消波潜堤：$H_0=7$ cm,　$H_0/L_0=0.028$,　$K_T=0.5$,　$R/h=0.1$,　$R/H_1=0.35$,　$B/L=0.24$）

配置によって変化する。平面配置諸元と流況パターンの関係を実験により調べ、表－5.3.2にまとめて示す。

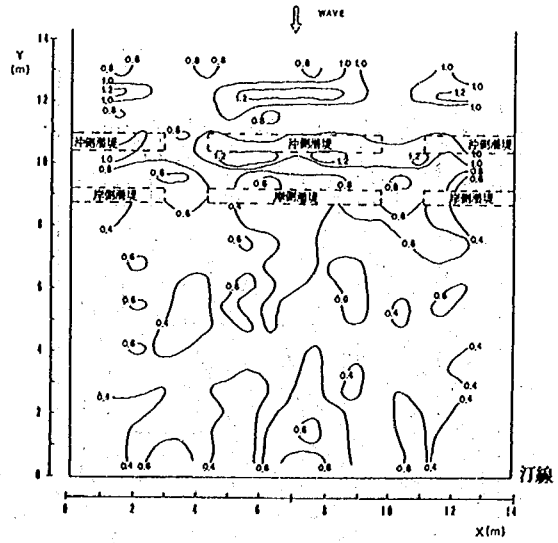
表－5.3.2　平面配置諸元と堤体岸側の流況パターンの関係

		W/L_S		
		0.125	0.25	0.50
Y_S/L_S	0.63		向岸流が卓越した流れ	
	0.84 ～ 1.13	澱んだ流れ	一対の循環流	一対の循環流
	1.25		不安定な流れ	

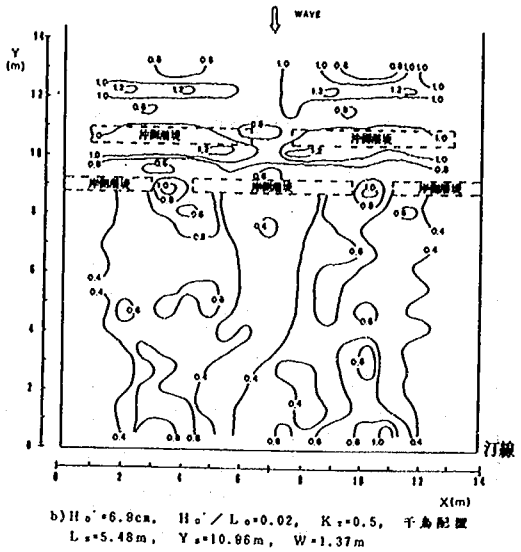
f）潜堤式（複列透過性潜堤）

①平面的な波高分布（図－5.3.25）

透過率K_T＝0.5の断面諸元を持つ構造物について、堤長L_S＝5.48m、離岸距離Y_S＝10.96m、開口幅W＝1.37mの条件で、複列の堤体を並列配置および千鳥配置した場合の波高分布を図－5.3.25a)、b)に示す。両者ともに堤体背後全域に静穏域が形成されるが、この条件では並列配置より千鳥配置で波高低下が顕著に見られる。



a）　並列配置

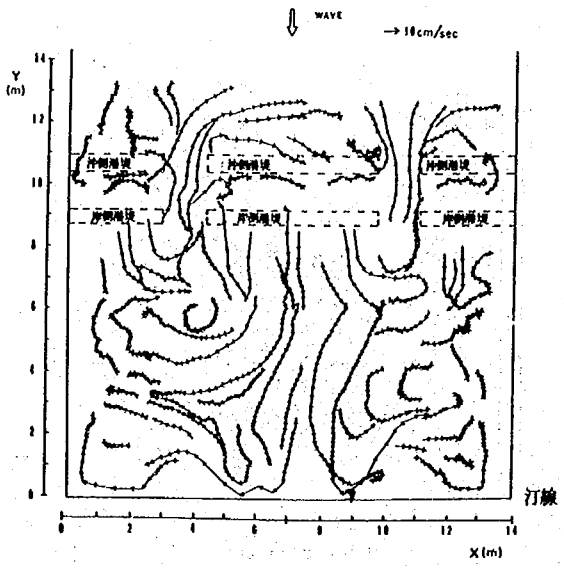


図－5.3.25　波高比分布図

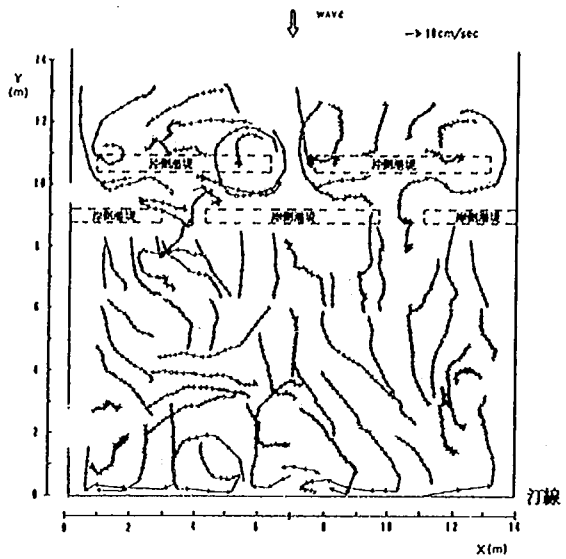
b）千鳥配置（複列透過性潜堤：$H_0'=6.9$cm, $H_0'/L_0=0.02$, $K_T=0.5$, $L_S=5.48$m, $Y_S=10.96$m, $W=1.37$m）

②海浜流場（図－5.3.26）

図－5.3.25と同じ条件の流況図を図－5.3.26 a）、b）に示す。両ケースとも、堤背後ではゆっくりとした向岸流を生じ、開口部には離岸流が見られる。



a）　並列配置



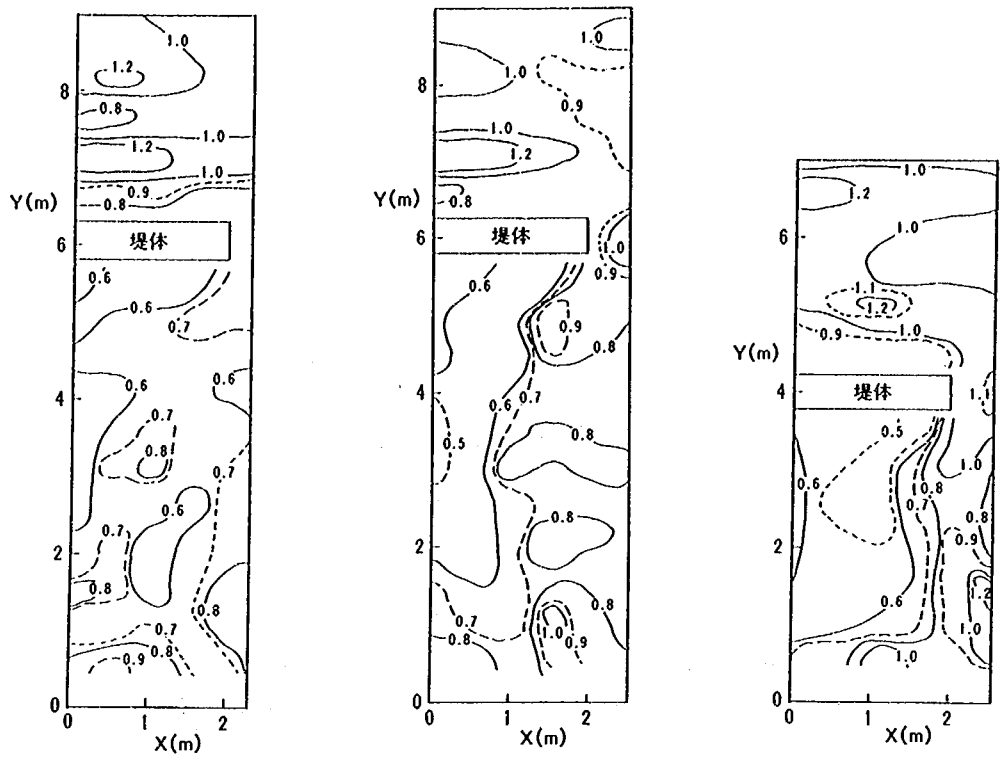
b） 千鳥配列

図－5.3.26 流況図（複列透過性潜堤：H_o＝6.9cm, H_o/L_o＝0.02, K_T＝0.5, L_s＝5.48m, Y_s＝10.96m, W＝1.37m）

g）複合消波式

①平面的な波高分布（図－5.3.27）

透過率K_T＝0.5の断面諸元を持つ構造物について、延長L_s＝4mと一定にして離岸距離Y_sと開口幅Wを組み合わせて、（Y_s, W）＝（6m，0.5m）、（6m，1m）、（4m，1m）の条件での波高分布をそれぞれ図－5.3.27a）、b）、c）に示す。b）の開口幅の広いケースでは、a）の開口幅の狭いケースに比べ、岸に近づくほど静穏域の幅が狭くなる傾向が顕著である。離岸距離が短く、設置水深が比較的浅いc）のケースでは堤長とほぼ同じ沿岸方向の幅を持つ静穏域が形成されている。



a)H_0'＝5cm, T＝1.27s, K_T＝0.5, b)H_0'＝5cm, T＝1.27s, K_T＝0.5, c)H_0'＝5cm, T＝1.27s, K_T＝0.5,
Y_s＝6m, W＝0.5m, W/L_s＝0.125 Y_s＝6m, W＝1m, W/L_s＝0.25 Y_s＝4m, W＝1m, W/L_s＝0.25

図－5.3.27 波高比分布（複合消波式）

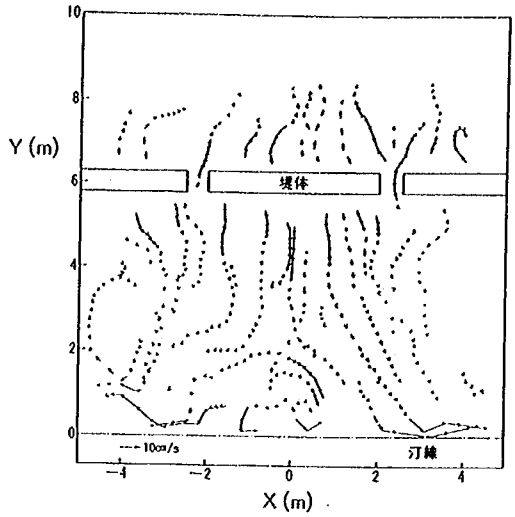
②海浜流場（図－5.3.28）

図－5.3.27と同じ条件での流況図を図－5.3.28a)、b)、c）に示す。複合消波式では、波を流れに変える消波機構を有するので、堤体岸側に向岸流が見られる。堤体の岸側ではa)、b）ともに向岸流が顕著に見られ、開口幅の広いb）では沿岸方向の流れがよく見られるようになる。一方、離岸距離が短いc）では堤中央部の背後で離岸流、開口部の背後で向岸流となり、堤背後に一対の循環流を生じている。また、いずれのケースも開口部は沖向き流れとなっている。

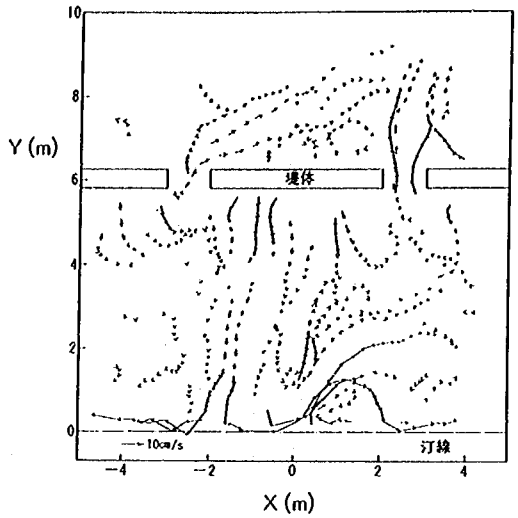
h）透過セル式

①平面的な波高分布（図－5.3.29）

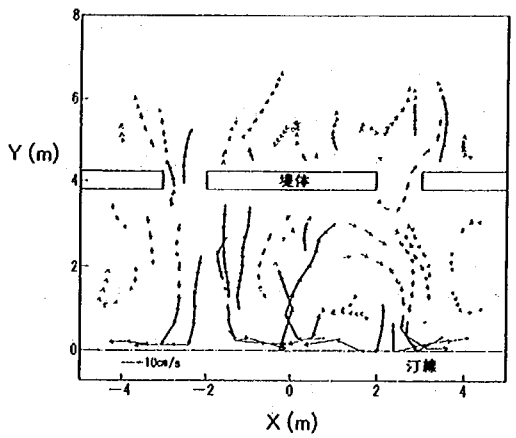
透過率K_T＝0.5の断面諸元を持つ遊水タイプの構造物について、堤長L_s＝5.25m、離岸距離Y_s＝6.00mで開口幅WをW/L_s＝0.27、0.52としたときの波高分布をそれぞれ図－5.3.29a)、b）に示す。開口幅の狭いa）のケースでは、入射波高との波高比0.4以下となる区域が堤中央で汀線近くにまで広がっている。一方開口幅の広いb）のケースでは、波高比0.4以下となる区域はせまいものの、0.6以下の区域は堤長とほぼ同じ幅で汀線近くにまで広がっている。



a) Y_s = 6 m, W=0.5m, W/L_s=0.125

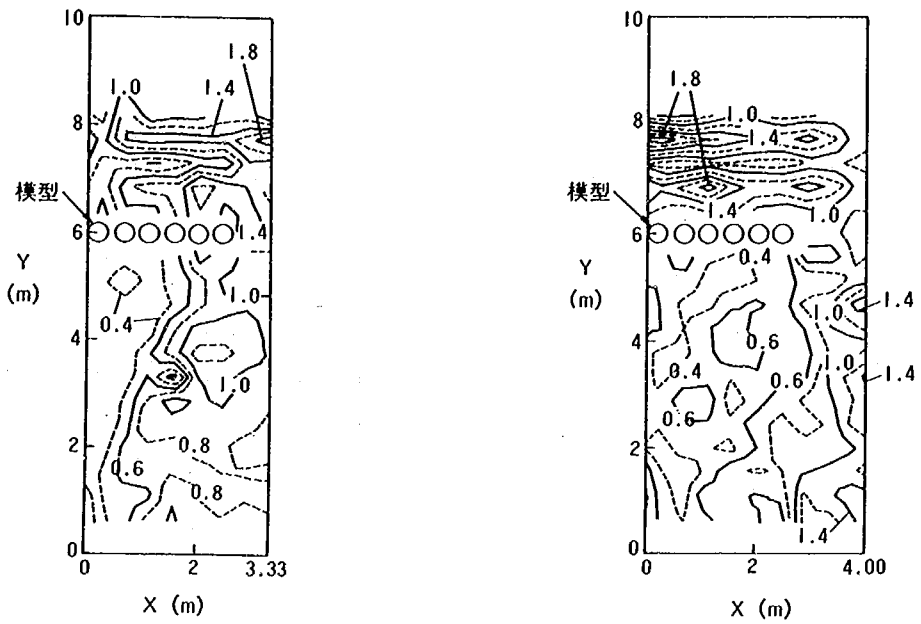


b) Y_s = 6 m, Y = 1 m, W/L_s=0.25



c) Y_s = 4 m, W = 1 m, W/L_s=0.25

図－5.3.28　流況図(複合消波式)



a)　W／L_S＝0.27　　b)　W／L_S＝0.52

図－5.3.29　透過セル式（遊水タイプ）の波高比（H／H_i）分布例
（H_o'＝5.3cm，H_o'／L_o＝0.021，K_T＝0.5，
L_S＝5.25m，Y_S＝6 m，W_B／D＝0.2，D／L＝1.6）

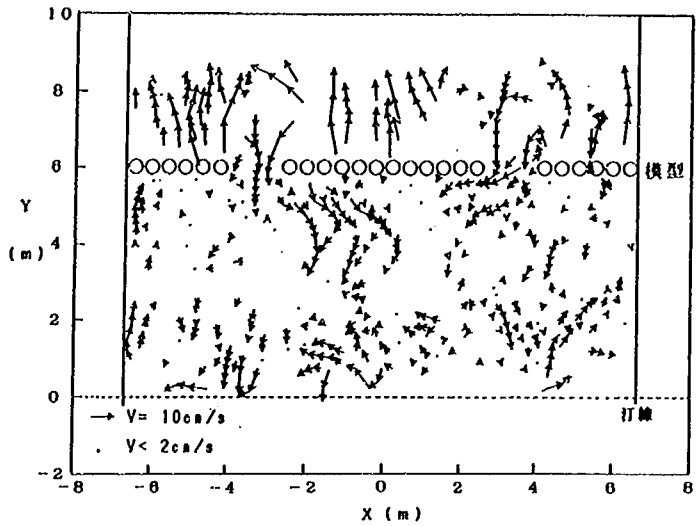
②海浜流（図－5.3.30）

図－5.3.29と同じ条件での流況図を図－5.3.30a)、b）に示す。両者ともに大きな差は見られず、堤体岸側ではゆっくりとした向岸流が見られる。この型式の特徴は、開口部が向岸流となっていることである。このため、一部ではセルの間隙から沖向流れが生じている。

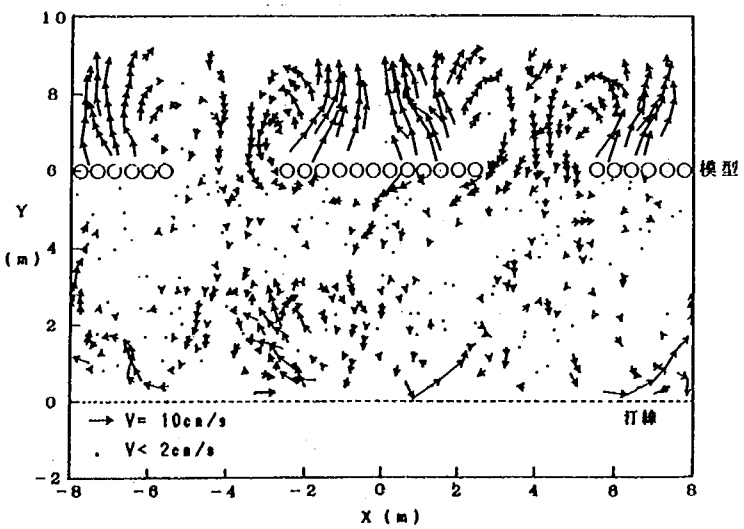
i）リーフ式

①平面的な波高分布（図－5.3.31、5.3.32）

本型式はある一定した間隔W_Bで連続的に堤体を設置する配置を基本とする。したがって、平面配置の諸元は離岸距離Y_Sと設置間隔W_Bとなる。透過率K_T＝0.6の断面諸元を持つ構造物について、Y_S／L＝5.5、W_Bと堤体底幅Bの比W_B／B＝0.1としたときの波高分布をそれぞれ図－5.3.31に示す。堤体背後には静穏域が形成されている。また静穏域の波高は堤体の間隔に応じて変化する。そこで、静穏域の定義を波高比P≦0.7とした場合のS_PとW_B／Bの関係を図－5.3.32に示す。W_B／Bが0.1より大きくなると、静穏域の面積が減少する傾向が見られる。したがって、W_B／B≦0.1が望ましい条件となる。

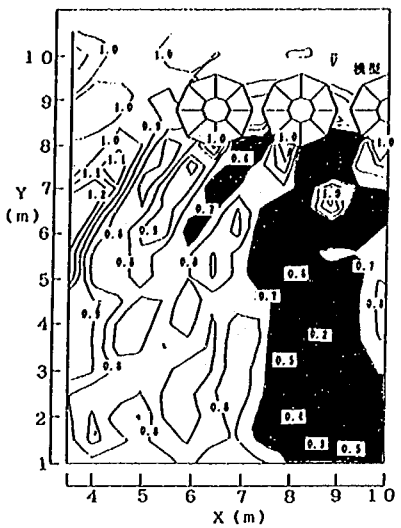


a)　W／L_S＝0.27

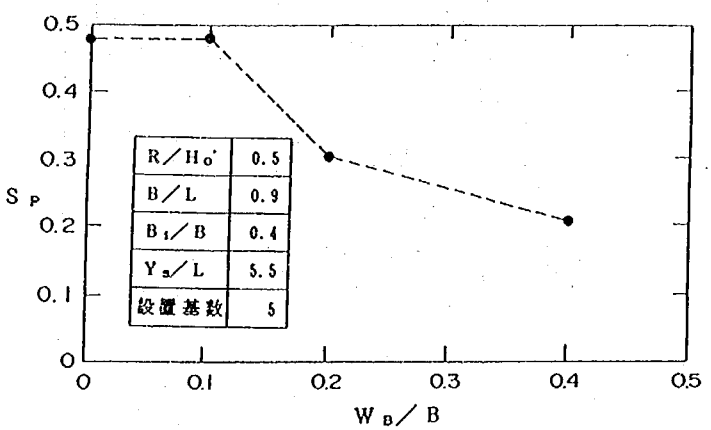


b)　W／L_S＝0.52

図－5.3.30　透過セル式（遊水タイプの流況図）



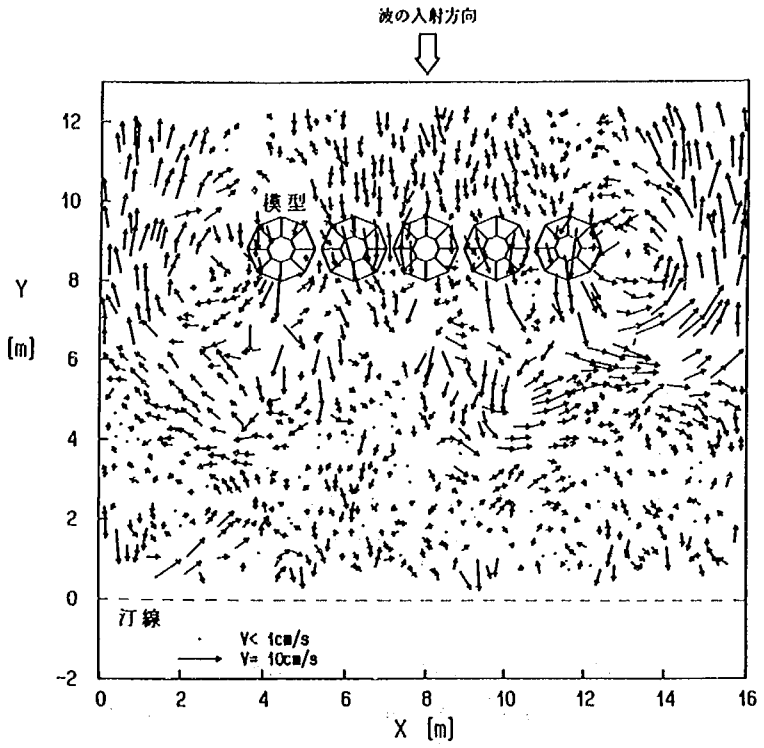
図－5.3.31　波高比分布（リーフ式）
(H_0' =5.0cm, T=1.27, K_T=0.6, R／H_0' =0.5,
B／L=0.9, W_B／B=0.1, Y_S／L=5.5, 設置基数＝5）



図－5.3.32　静穏域の面積比（リーフ式）

②海浜流場（図－5.3.33）

図－5.3.31と同じ条件での流況図を図－5.3.33に示す。堤体上での強制砕波により堤体背後では向岸流を生じている。



図－5.3.33　流況図（リーフ式）

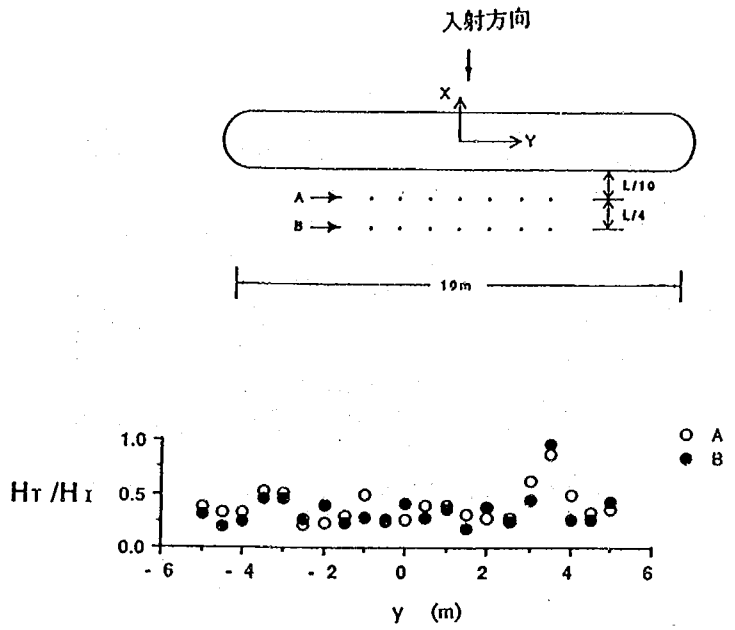
j）柔構造潜堤式

①平面的な波高分布（図－5.3.34）

本型式は連続的に堤体を設置する配置を基本とする。したがって、平面配置の諸元は離岸距離Y_sであり、沿岸方向に一様な消波効果をもたらすことが重要となる。延長L_s＝11mの堤体を離岸距離Y_s＝7mの位置に設置した場合の波高分布（平均透過率K_T＝0.36）を図－5.3.34に示す。沿岸方向の波高分布は完全に一様ではないものの、特に著しい波高差を生じることはない。

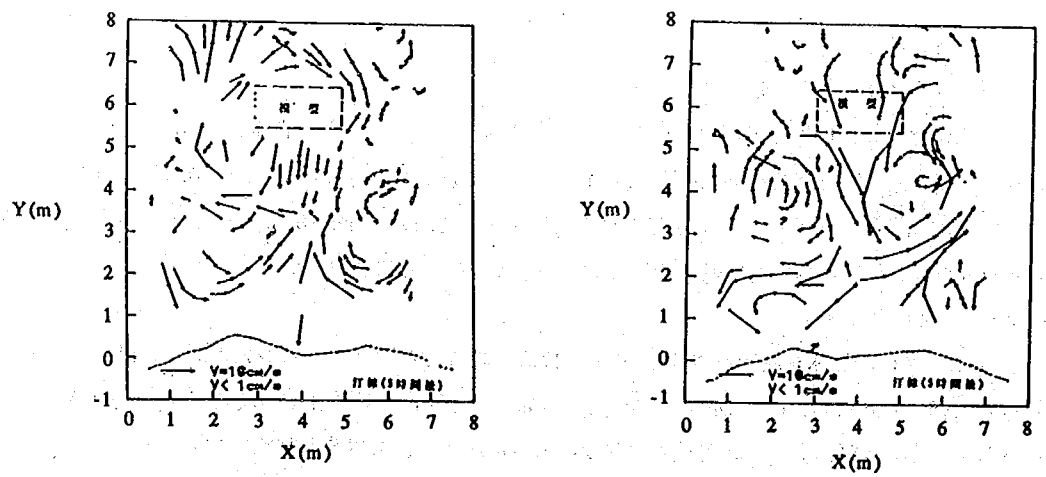
②海浜流（図－5.3.35）

堤長L_s＝2mの堤体を離岸距離Y_s＝6mの位置に設置した場合に、本型式と剛体の潜堤との流況を比較して図－5.3.35a)、b）に示す。剛体では堤背後に速い向岸流を生じ、その結果一対の循環流が形成されている。これに対し、本型式では向岸流の流速が遅く、循環流も明瞭でなくなる。



図－5.3.34　波高分布（柔構造潜堤式）

(H_o' = 4.2cm,　T = 1.18s,　K_T = 0.36,　R／h = 0.2,　B／h = 2.4)



(a)　本型式　　(b)　剛体潜堤

図－5.3.35　流況図（柔構造潜堤式）

(H_I = 5 cm,　T = 1.27,　L_S = 2 m,　R／h = 0.2,　B／h = 8.0)

5．3．3　配置計画の検討手法

海域制御構造物の配置計画の検討に際しては、設置に伴う波浪、海浜流、海浜地形の変化を予測する必要がある。これらの予測は、水理模型実験または数値計算により行う。

〔解　説〕

海域制御構造物を設置すると波浪や流れの場が変化する。波浪や流れの場が変化すれば、さらに海浜地形にも変化を生じる。これらの変化は周辺環境にもかなり大きな影響を及ぼす。したがって、配置計画に際しては、海域制御構造物背後のみならず、周辺海域を含めて波浪や流れの場の変化、海浜地形の変化を予測しなければならない。

波浪、流れ、地形変化の予測手法は、大きく水理模型実験と数値計算とに分けられる。水理模型実験としては、構造物の消波効果、波力特性等の基本的性質を把握するための2次元水路実験、および構造物周辺の海浜流、地形変化等を把握するための3次元平面実験がある。ただし、移動床実験の実施に当っては、相似則に関する十分な検討を行う必要がある。

波浪場の数値計算には屈折・回折を含んだ計算手法を用い、流れの場の計算にはradiation stressを含んだ海浜流方程式を用いることを基本とする。計算においては、各構造物固有の境界条件を考慮するものとする。数値計算による海浜変形の予測には、汀線変化モデルや沿岸漂砂量の水深方向分布を考慮した3次元海浜変形モデルを用いる。一般に、海域制御構造物は汀線よりかなり沖合に設置されるので、汀線付近の地形に対する構造物の影響は波の場の変化の形で現われる。したがって、波、流れの場を平面的に計算する3次元海浜変形モデルでなくとも、これらのモデルによりかなり精度の高い予測計算が可能である。これらの計算方法の詳細については本手引き(案)計画編別冊「波、流れ、水質、地形変化の計算手法」を参照されたい。

参考文献

青木　昱・伊藤信夫（1987）：生物付着の防止及び除去技術の開発，海洋構造物による海洋空間等の有効利用に関する研究（第2期）成果報告書，科学技術庁研究開発局，pp. 203～215.

伊藤信夫・梶原　武（1984）：海洋構造物における生物付着（第2報）山形県由良沖の燈浮標の生物，海洋科学技術センター試験研究報告，Vol. 12，pp. 103～111.

伊藤信夫・梶原　武（1985a）：海洋構造物における生物付着（第4報）茨城県鹿島港シーバースの生物，海洋科学技術センター試験研究報告，Vol. 14，pp. 203～211.

伊藤信夫・梶原　武（1985b）：海洋構造物における生物付着（第3報）平塚沖の波浪観測塔の生物，海洋科学技術センター試験研究報告，Vol. 14，pp. 193～202.

入江功・灘岡和夫・近藤隆道・寺崎賢次（1984）：重複波による防波堤前面での2次元的海底洗掘－底質の移動機構に着目した研究－，港湾技術研究所報告，第23巻，第1号，pp. 3～52.

宇多高明・堤　博志・村井禎美・藤原隆一（1987）：駿河湾海洋施設周りの洗掘実験，第42回年次講演会概要集第2部，pp. 622～623.

宇多高明・中村瑛佳・村井禎美・松永博史（1989）：有脚式離岸堤周りの初期洗掘の現地観測，海岸工学論文集，第36巻，pp. 409～413.

宇多高明(1990)：波による移動限界水深を決める代表波の選定法，海岸工学論文集，第37巻，pp. 294～298.

宇多高明・小俣　篤・川村哲也・桂川哲行（1991）：土木研究所資料，第3020号，76p.

運輸省港湾局監修（1989a）：港湾の施設の技術上の基準・同解説改訂版（上巻），日本港湾協会，469p.

運輸省港湾局監修（1989b）：港湾の施設の技術上の基準・同解説改訂版（下巻），日本港湾協会，499p.

大草重康（1984）：海底地盤の土質力学，土木学会論文集，第346号／Ⅲ－1，pp. 13～21.

小倉紀雄・半谷高久（1985）：水質調査法，丸善，378p.

海岸保全施設連絡協議会編（1987）：海岸保全施設築造基準解説，全国海岸協会，269p.

海洋工事技術委員会編（1984）：人工島施工技術，（社）日本海洋建設協会，山海堂，571p.

海洋産業研究会（1981）：新海洋時代に対応する海洋開発関連法制に関する研究，総合研究開発機構，239p.

片脇　清・西島高秀（1990）：消波構造物への生物の付着挙動に関する研究報告書(第一報)，土木研究所資料，第2867号，30p.

勝井秀博・東江隆夫（1990）：大口径円柱周辺の底質の移動限界と洗掘，海岸工学論文集，第37巻，pp. 379～383.

河田恵昭・土屋義人（1985）：浅海における桟橋橋脚周辺の局所洗掘について，第40回年次講演会概要集第Ⅱ部，pp. 589～590.

建設省河川局海岸課・建設省土木研究所（1976）：波に関する研究，第29回建設省技術研究会報告書(昭和50年度)，pp. 561～589.

建設省河川局海岸課・建設省土木研究所（1977）：波に関する研究，第30回建設省技術研究会報告書(昭和51年度)，pp. 579～612.

建設省河川局海岸課・建設省土木研究所（1978）：波に関する研究，第31回建設省技術研究会報告書(昭和52年度)，pp. 521～549.

建設省土木研究所海岸研究室（1987a）：海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(1)，土木研究所資料，No.2454，173p.

建設省土木研究所海岸研究室（1987b）：海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(2)，土木研究所資料，No.2510，138p.

建設省土木研究所海岸研究室（1988a）：海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(4)，土木研究所資料，No.2577，232p.

建設省土木研究所海岸研究室（1988b）：海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(7)，土木研究所資料，No.2661，185p.

建設省土木研究所海岸研究室（1989a）：海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(8)，土木研究所資料，No.2701，217p.

建設省土木研究所海岸研究室（1989b）：海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(9)，土木研究所資料，No.2788，209p.

建設省土木研究所海岸研究室（1990a）：海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(10)，共同研究報告書，第37号，126p.

建設省土木研究所海岸研究室（1990b）：海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(11)，共同研究報告書，第46号，208p.

建設省土木研究所海岸研究室（1991）：海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(13)，共同研究報告書，第56号，243p.

合田良実（1990）：増補改訂港湾構造物の耐波設計，鹿島出版会.

合田良実（1988）：極値統計におけるプロッティング公式ならびに推定値の信頼区間に関する数値的検討，港湾技術研究所報告，第24巻，第4号，pp. 65～102.

合田良実・小舟浩治（1989）：波浪の極値統計における分布関数のあてはめ基準，海岸工学論文集，第36巻，pp. 134～138.

港湾環境アセスメント手法の開発ワーキンググループ（1978）：港湾環境アセスメント技術マニュアル，323p.

酒井哲郎・畑中克也・間瀬肇（1990）：波浪による海底地盤内間隙水圧変動解の適用性と地盤の液状化条件，土木学会論文集，第417号／II－13，pp. 275～283.

佐藤昭二（1966）：漂砂，水工学に関する夏期研修会講義集B，pp. 19－1～19－29.

善　功企（1985）：波力を受ける構造部と海底地盤の動的挙動，水工学に関する夏期研修会講義集，Bコース，pp. B4－1～B4－16.

通商産業省立地公害局監修（1987）：公害防止の技術と法規　水質編，674p.

土木学会（1973）：海洋鋼構造物設計指針（案）解説，195p.

土木学会（1985a）：水理公式集，625p.

土木学会（1985b）：水理公式集例題集，310p.

日本建築学会（1987）：海洋建築物構造設計指針（固定式）・同解説，190p.

日本水産資源保護協会（1972）：水産環境水質基準，38p.

日本道路協会（1990）：道路橋示法書・同解説Ⅰ～Ⅴ，丸善.

橋本　宏・宇多高明・竹渕　勉（1980）：砕波帯における橋脚の洗掘特性，第27回海岸工学講演会論文集、pp. 265～269.

服部章太郎（1975）：水平板式透過性防波堤の波高伝達率，第22回海岸工学講演会論文集，pp. 513～517.

堀田新太郎・宇多高明・佐々木民雄（1976）：砕波帯内の橋脚周辺の洗掘地形の現地観測，第23回海岸工学講演会論文集，pp. 240～244.

水口　優・小島匡人・小宮山正二・佐藤忍（1985）：波動による小口径円柱周りの局所洗掘に関する実験的研究，第32回海岸工学講演会論文集，pp. 430～434.

吉田多摩夫編（1983）：漁業環境アセスメント，水産学シリーズ48，恒星社厚生閣，182p.

Coastal Engineering Research Center (1989) : Preliminary Data Summary, Jan.1989-Dec.1989.

Ishihara, K. and Yamazaki, A. (1984) : Analysis of wave－induced liquefaction in seabed deposits of sand, Soils and Foundations, Vol. 24, No. 3, pp. 85－100.

ＭＭＺ計画策定の手引き(案)

計画編　別冊

「海洋性リゾート計画手法」

MMZ計画策定の手引き（案）

第1章　総　説

1．1　目的

近年、所得水準の向上、自由時間の増大、価値観の多様化・個性化、自然志向の高まりなどを背景に、リゾートの整備が脚光を浴びつつある。一方、わが国の外洋に面した沿岸域では一般に海象条件が厳しく、その利用は限られたものであったことなどから、海洋性リゾート開発の歴史は浅く、その計画手法等が確立されていない。また、わが国の海洋性リゾートには、海洋性レクリエーションに適した季節が短いという気候特性、海浜地という植物にとっての過酷な環境条件等に起因する技術的課題が多く、それらの解決が求められているところである。

MMZ計画策定の手引（案）計画編別冊「海洋性リゾート計画手法」は、海洋性リゾート計画の立案に当っての基本的な考え方を整理し、空間計画、緑化計画、施設計画を立案するための手引として活用されることを目的として作成されたものである。

1．2　適用範囲

本別冊は、海洋性リゾート計画の基本的な考え方、海洋性リゾート計画における空間計画、緑化計画および施設計画等を対象とするものである。リゾート計画に当っては、リゾートを支える母都市を含めた地域計画でのリゾートの位置づけをもとに計画を立案することが重要であるが、ここでは、海洋性リゾート地域の拠点そのものを扱うものとする。

1．3　わが国における海洋性リゾート

1．3．1　海洋性リゾートの概念

(1)　海洋性リゾートの概念

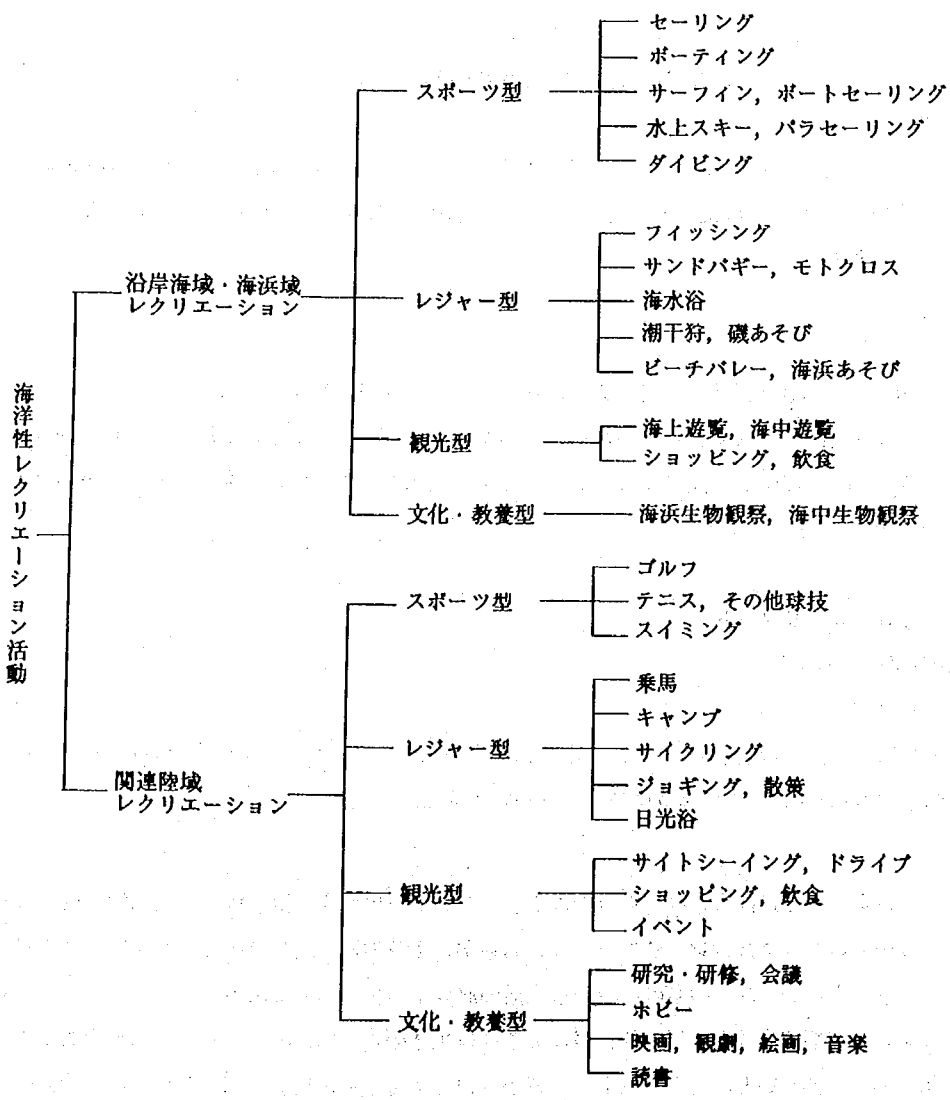
リゾートという言葉には様々な定義があるが、ここでは、わが国におけるリゾートのあり方という視点から、今後の社会環境条件を踏まえ以下のようにリゾートを定義する。

> リゾートとは、『日常生活では得られないくつろぎや安らぎを生み出す快適性を持ち、人間性回復、自己充実といった、多様で選択性に富むレクリエーション活動が行える地域的広がりを持った空間』と位置づけられるものであり、人々の生活そのものに関わる生活の必要不可欠な要素である。
>
> したがって、従来の通過型観光地とは異なり、滞在あるいは生活の場、居住の場としての余暇空間であり、その環境は単に美しく楽しいものである以上に、豊かな自然環境と都市機能が調和した、複合的機能を備えた良好な生活環境であることが必要である。
>
> そして、海洋性リゾートとは、『海岸域に立地した多様な海洋性レクリエーション活動を核としたリゾート空間』と定義するものとする。

(2) 海洋性レクリエーション活動

レクリエーション活動の中で、海洋と関連するすべてのものを海洋性レクリエーション活動として捉えることが重要である。すなわち、沿岸域および海浜域のレクリエーション活動に加え、海に接して存在することにより、魅力の増大が期待できる陸域のレクリエーション活動も含めて海洋性レクリエーション活動として位置づける。

以上の考え方に基づくと、海洋性レクリエーション活動は図－１．３．１のように整理される。



図－１．３．１ 海洋性レクリエーション活動

1．3．2　海洋性リゾートの現状と問題点

(1)　余暇をめぐる社会経済情勢

a）　レジャー・余暇志向の増大

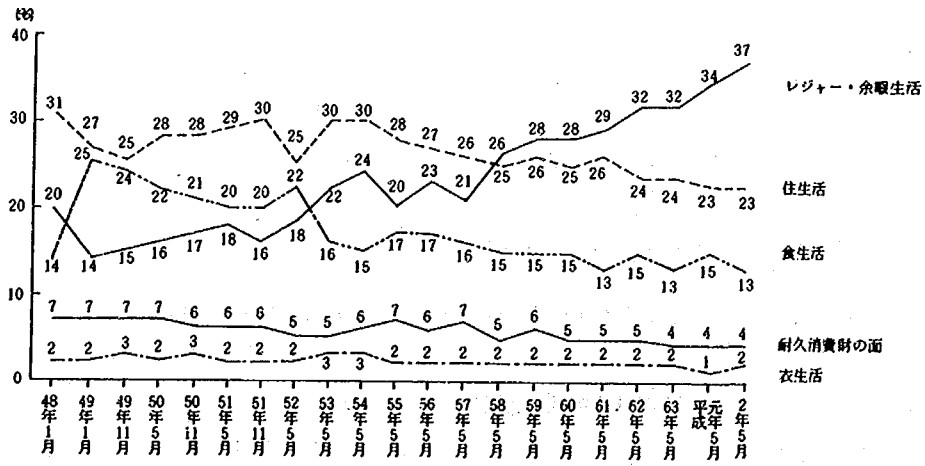
近年週休２日制の普及、夏休みをはじめとする長期連続休暇を設定する企業の増加など、自由時間の増加する方向が示されつつあり、生活にゆとりを求める社会風潮の中で、生活の力点を余暇やレジャーにおく人々が増えてきている（図－１．３．２参照）。こうした状況の下で自由時間の使われ方も著しく変化し、

①個性や創造力を発揮できるもの、知識や教養を高めるもの、健康や体力の向上を目指すもの等の需要の高まり、

②生涯にわたる自己啓発や趣味の拡充を目指した生涯学習活動、情報接触活動の活発化、

③地域社会における自主的社会参加活動の活発化

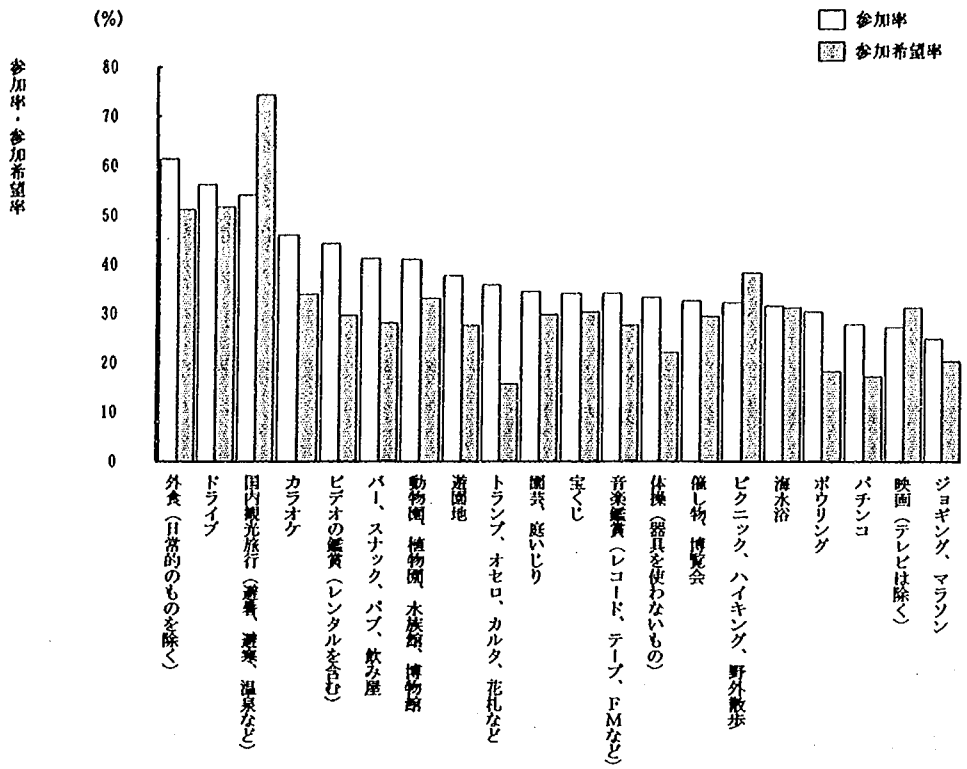
等の傾向が顕著となっている。



図－１．３．２　これからの生活の力点の推移（総理府広報室，1990）

b）　リゾートライフの方向

(財)余暇開発センター（1991）によると、現在、参加率の高い余暇活動は「外食」「ドライブ」「国内観光旅行（避暑、避寒、温泉など)」等で、これらの余暇活動は参加希望率も高くなっている。また、今後の伸びが期待される（参加希望率が現在の参加率を上回っている)のは、「国内観光旅行(避暑、避寒、温泉など)」「ピクニック、ハイキング、野外散歩」「映画（テレビは除く)」といった余暇活動である（図－１．３．３参照)。さらに、今後は「余暇の重視」「物質的充足から心理的充足へ」といった国民の意識やライフスタイルの変化、週休の増加や長期休暇の定着さらには高齢化社会に向かっての国民全体の自由時間の増大により、余暇活動の内容は大きく変化していくものと考えられる。



（注）1．調査対象は全国の15歳以上の男女4,000人（有効回収3,313人）．
2．参加率上位20の余暇活動を選定．

図－1．3．3　余暇活動の実態と希望（(財)余暇開発センター，1991）

c）　成熟化社会の到来と総合保養地域整備法の制定

合理化による生産性の向上や、輸出による経済成長などにより、わが国は、世界でも有数の経済大国へと成長した。これに伴い、市場開放などの各国からの圧力も高まり、経済政策にも転換が必要となってきた。

時を同じくして、1986年には、円の急激な上昇が始まり、輸出に依存していた各企業は大きな打撃を受けることになったが、むしろ円高のメリットとして、海外旅行ブームを引き起こしたり、海外製品の購入が増えるなど、個人消費を増大させるに至った。さらに、1987年頃より顕著となった首都圏を中心とする地価高騰は、土地所有者に対しては資産価値の上昇をもたらし、土地を所有していない人には住宅の取得をあきらめさせることになったが、このことがさらに個人消費の増大を助長するものとなった。すなわち、内需拡大の傾向に拍車がかかったといえる。

また、労働時間の短縮、高齢化の進展、女性の高学歴化と社会進出などに伴って、人々の価値観も大きく変わっていくものと考えられる。その基調となるものは、人々の欲求の高度化である。すなわち、衣食住などの基礎的欲求が充足されるにつれて、人々の欲求は選択的なものへと向かい、多様で、より個性的な自己実現の欲求が高まっていくものとみられている。

このような成熟化社会の中での、先に述べた余暇生活に対する国民ニーズの高まりと相まって、内需拡

大のための行政的措置である総合保養地域整備法（いわゆるリゾート法）が制定され、これによって官民一体となった我が国のリゾート開発が緒についた。

(2) 海洋性リゾートの現状と問題点

今後、余暇時間が増加し、余暇に対する支出が増えることは、相対的にリゾートに対する欲求が増し、需給が逼迫することを意味する。したがって、量的なリゾート整備の必要性が高まってくるとともに、新しいタイプのリゾートや宿泊施設に相当量の需要が見込まれる。このようなことから、わが国においても今後は海洋性リゾートが急速に整備されていくものと思われるが、その舞台となる沿岸域には現在様々な問題が山積している。

わが国は世界の陸地の0.3%に過ぎない国土の中に、世界の人口の3%を抱えており、しかも国土の大半は山地であるため、わが国の沿岸域の平坦地には人口や産業が集中し、陸域、海域ともに世界にも類をみないほどの高度利用がなされている。このため、海洋性リゾートの開発に当っては、用地取得、地域社会との共存、海域利用の競合などの種々の問題が阻害要因となっており、その発達を遅らせている。

また、わが国の沿岸域では、台風、高潮、津波、季節風などの自然の猛威があるため、海岸構造物など安全性を高めるための費用が非常に高価なものとなり、十分な施設整備ができないことも、海洋性リゾートの成立を難しくしている要因である。さらに、比較的気温の高い時期に、梅雨や台風、秋雨といった天候不良が続くことも海洋性リゾートの経営にとって不利な条件である。

わが国の海洋性リゾート開発の特色をみてみると、以下のような問題点があげられる。

a） 法規制と開発コントロールの不足

わが国の国土利用計画法の規程により、大きく五つ（都市地域、農業地域、森林地域、自然公園地域、自然保全地域）の地域に区分され、自然公園、保安林、農地など、様々な法規制がみられる。なかでも特徴的なものは、農地と漁業権である。農地の保護に関する規制が強いため、山林を切り開いて大規模な開発が行われることが多く、一部では自然破壊が問題視されるようになってきている。また、漁業権の存在も、わが国の海洋性リゾート開発にとって特徴的なものである。例えば海岸や沿岸を利用した開発には、漁業権に対する補償を必要とすることが多い。

これらに示されるように、開発行為そのものに対する規制は非常に厳しいが、一方、開発に際して、環境形成に関する規制誘導が行われている例はあまりなく、運営に関する規制措置も不備であるため、不健全な地区が生じる危険性をもっている。

b） 土地に対する投資とサービス機能の低下

わが国では、不動産投資に対する期待が強い傾向にあり、サービスなどに対する投資が控え目となるため、リゾートの質が一定水準以上には高まりにくいという傾向が見受けられる。

c） 自然環境・景観に対する配慮の不足

リゾートの雰囲気は、それを取り巻く自然環境に負うところが非常に大きい。海洋性リゾートも海浜部の自然の魅力を背景とし、かつ、海域および海浜を活用した様々なレクリエーション活動を核としたリゾートである。一方、海浜部の自然環境・生態系は、非常にデリケートであることから、格別の配慮が必要となる。また、施設まわりの近景から、目に入る限りの遠景に至るまで、景観の重要性は非常に高いも

のがある。

景観や自然環境の重要性の認識は高いものの、実際の開発においては採算性等が優先されることが多い。また、投資予算の配分においても、景観面に対する投資が優先されることが少ないのが現状である。

d） ソフト面の不足

リゾートライフという新しい余暇活動に対しては、変化に富んで、しかもゆったりと過ごすことのできるような、様々なサービスの提供が企画されるべきである。活動的な遊びだけでなく、ゆったりとした時間を楽しむための環境づくりなどの、さりげないサービスに対するノウハウの蓄積が必要である。

わが国の海洋性リゾート開発には以上のような特色があるが、近年、欧米型のリゾートのイメージの優れた環境を持つ海洋性リゾートが沖縄を中心に小規模ながら開発されつつある。さらに、単一施設であってもリゾート的な雰囲気を持つ施設が増えていることから、本格的な海洋性リゾートの出現の可能性が増大しているといえる。

1．3．3　海洋性リゾートの今後の課題

わが国においても今後、海洋性リゾートに対するニーズは一層高まってくることと思われる。その反面、わが国の沿岸域は人口や産業が集中し、世界に類をみないほど高度利用がなされ、開発に対する規制も強く、しかも海象条件・気象条件とも厳しいことから、リゾートとしてかならずしも有利な条件にはない。また、リゾートに対するニーズは極めて多様であり、その変化も大きく、リゾートには日常生活にはない固有性と快適性が求められている。

これらの点をふまえると、海洋性リゾートの整備に当っての今後の課題としては、以下のようなことが挙げられる。

a） 自然・歴史資源の保全

リゾートの本質的な魅力は豊かな環境にあり、地域開発といった長期的視点からみれば保全すべき環境を保全した上で、適正な開発方策が求められていかねばならない。近視眼的な開発施策は、地域の自然生態系に過分な負担をかけるばかりでなく、最も重要な地域の魅力を失わせる危険性をもっているため、エコロジカルな視点に立った開発方策を検討していく必要がある。

b） 景観形成の誘導

豊かな自然環境を保全し、乱開発による環境破壊あるいは災害の誘発を防止するための所要の規制を図るとともに、リゾート空間としての優れた景観形成のための誘導を図っていくことが不可欠である。従来の観光開発が、施設整備に重点を置きすぎ、施設そのものによって逆に環境の質を落としてきた反省を活かしていかなければならない。

c） 土地利用の誘導

リゾートの魅力は地域の環境そのものにあるため、適正な開発が行われるよう総合的なマスタープランの策定およびそれに基づく土地利用の誘導が重要となる。

d） 各種事業の調整

地域整備の観点から、地域において行われる様々な事業主体の各種事業が円滑に行われるよう調整し、全体として良質のリゾート空間が整備されるように誘導することが必要となる。

第2章　海洋性リゾートの考え方

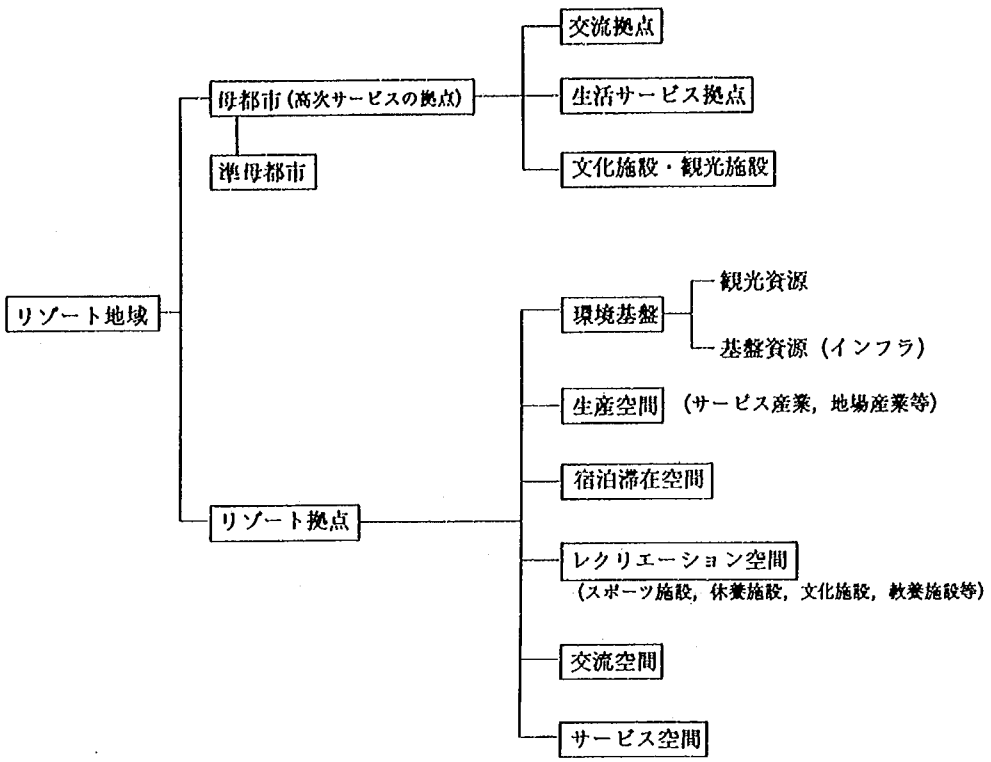
2．1　基本的な視点

海洋性リゾートとは、海辺のもつ豊かな自然環境と開放感あふれる魅力を背景に、多様な海洋性レクリエーションを楽しむことができ、しかも、日常生活では得られないくつろぎや安らぎを生み出す快適性を持ち、人間性回復、自己充実に寄与する、多様で選択性に富む余暇活動が行える第三の生活空間（第一の生活空間＝家庭、第二の生活空間＝職場）といえる。そして、その環境は単に美しく楽しいものである以上に、豊かな自然環境と都市機能が調和した、良好な生活環境であることが必要となる。したがって、海洋性リゾートの開発に当っては、次のような視点が重要である。

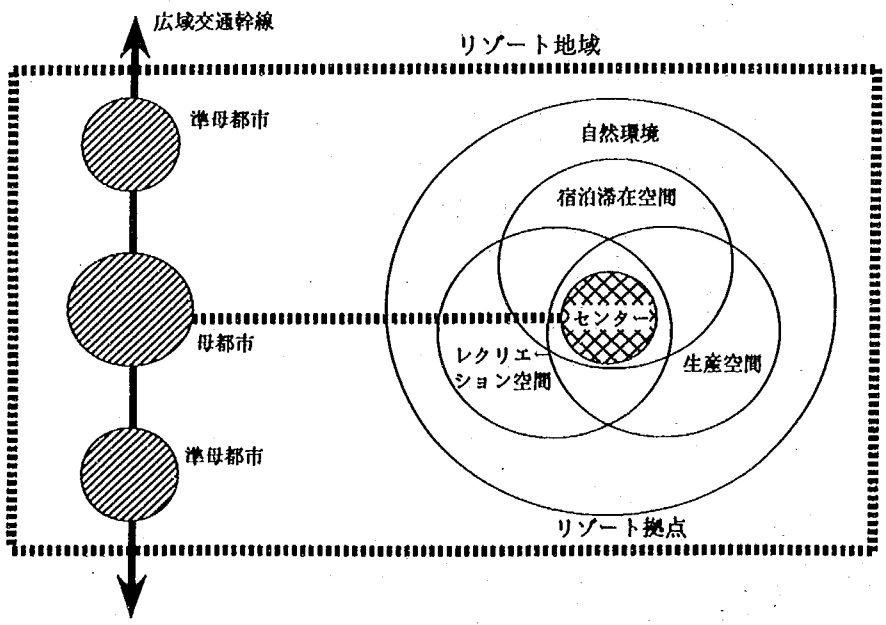
> 海洋性リゾートの整備は、開発する地域の歴史性、風土をも包括した自然環境を最大限活かした都市開発といえる。そして、空間のレイアウトは基本的に緑の中にゆとりを持って計画されるべきであり、かつ、海辺や海からの景観を重視した空間を演出することが必要である。さらに、リゾートライフを満喫させるためには、緑を活用することにより、環境をやわらげ、のどかで穏やかな情景を創出するとともに、多様で質の高い施設づくりが求められる。

なお、リゾート地域の拠点の中で確保できる都市的サービス機能には限界がある。また、長い年月をかけて、集積がなされてきた既存の都市のもつ多様性を、新たなリゾート拠点において確保するためには莫大な費用と時間を要する。したがって、都市的サービスを十分にもった多様性あるリゾートの開発には、地域内に都市を含むか、もしくは近接して都市（母都市）が存在することが望ましい。

このような母都市は、リゾートにおける生活に関連する様々なサービスを供給する場となり、リゾートにとっては利便性を高める役割をもち、また都市にとってはリゾートが近接して存在することが都市の魅力を高めることにもつながる。複合的なリゾート開発はクラスター型の形態をとることとなる場合があるが、この母都市はそのクラスターの1つとして一時間圏域内に存在することが望ましい（図－2.1.1、図－2.1.2参照）。



図－２．１．１　リゾートの構成（丸田，1989に追加）



図－２．１．２　リゾートの構成概念図（丸田，1989に追加）

2．2　海洋性リゾートに必要な機能

機能面からみて、海洋性リゾートが成立するために必要とされる要素は、多様で選択性に富む海洋性レクリエーション活動と、快適な居住環境である。言いかえれば、レクリエーション機能と滞在機能、生活機能が海洋性リゾートを構成する核的機能といえる。以下に海洋性リゾートに必要な機能について概説する。

(1)　海洋を活用したレクリエーション機能

海洋性リゾートは、特に沿岸域・海浜域のレクリエーション需要に対応したリゾート空間であるため、多様で選択性に富む海洋性レクリエーション機能の導入が必要となる。

(2)　生活のための空間としての機能

今後のリゾート活動が、人々の人間性の回復、自己充実のための活動等、人々の生活に密着した活動であることを考えると、リゾートの場もまた生活の場である。リゾートは、第一の生活空間である家庭、第二の生活空間である職場と同様に、トータルな生活の一部として、第三の生活空間として位置づけられる。したがって、本質的に生活のために必要な様々な機能を合わせもつ必要がある。

(3)　長期滞在のための滞在・居住機能

自由時間の増大に伴って、今後、リゾート活動の質が転換すると予想されることから、余暇活動は必然的に長期化するので、余暇活動のための空間も長期的な利用に耐え得るものでなければならない。すなわち、長期間の滞在を伴う活動を可能とする滞在・居住機能が十分なものでなければならない。さきに述べたようにリゾートは生活空間として捉えられるものであることから、宿泊という言葉で表現される機能よりも、滞在という言葉で表現される機能が重要になってくる。

以上の観点からみると、我が国のリゾートにおいては、居住施設と呼べるものは少なく宿泊施設というべきものが多い。その中でも、比較的低廉に供給される公的宿泊施設はその施設並びにサービスの質という点で問題がある。一方、サービスの質を選択すると民間の施設にたよらざるを得ないがかなりの出費を余儀なくされる。したがって、我が国のリゾートは長期間にわたり質の高いリゾート活動を行うのに十分な状況にはない。

今後の新しいリゾート拠点の整備においては、低廉で長期滞在に耐え得る質の高い宿泊・居住施設を大量に供給することが第一義的に必要である。また、リゾートの多様性の確保のためにも、セカンドハウス、リゾートマンション、コンドミニアム等様々な形態をもった住宅が配置されなければならない。観光地の一時的な滞留のためのホテル、旅館などの宿泊施設は、これを補完するものとして位置づけられ、キャンプ場およびオートキャンプ場などの自然とのふれあいを目的とした施設も同様に宿泊・居住機能を満たすものとして考えられる。

(4)　多様な魅力の形成のための機能

新しいリゾート拠点が、例えば高齢者の生きがいを創造する空間であり、社会人が心身の充実を図り明日への鋭気を養う空間であり、さらに子供たちにとっては自然と人間の調和の体験学習を行う空間であるように、リゾートは様々な世代・階層へ対応した空間として計画されなければならない。また、各世代においても、レクリエーションニーズは多様化し、特にその中でも学習や自己研鑽のための活動のような高度な活動が目立ってきている。したがってその受け皿となるリゾート地域も、多様なレクリエーション活動が可能と

なる多様かつ複合化した空間であることが求められる。

今後の新しいリゾート地域の整備に当っては、自然資源の活用をはじめとする地域の特色ある産業を活用した上で、文化活動、教養活動も含めた多様なレクリエーション機能を整備し、複合的な魅力を形成、整備していくことが必要である。特に、スポーツ・レクリエーション機能、健康管理・維持増進機能、文化教養機能、交流機能等の充実を図ることが重要である。

(5) 補完的な機能

前記のもの以外に、特に必要とされる機能には、供給処理機能、商業サービス機能、医療機能等がある。これらは広い意味では生活機能に含まれるものである。さらに、将来のリゾートについては、こうした機能のほかにリゾート地域の経済・社会をサポートし、その機能を高めるための産業機能を付加する形態も考えられる。欧米の例を引くまでもなく、わが国においても生産拠点の形成に当って自然環境、居住環境が重視されるようになりつつある。このことから、リゾート地域においてリゾート機能を活用した研究開発型産業、知識集約型産業等の先端産業の立地が予測され、土地利用の計画に際してはその可能性の検討を行うとともに、立地が予測される場合には、開発空間を確保しておくことが必要となる。

2.3 機能構成

わが国の海洋性リゾートは、①大都市近郊に存在し、多量の海洋性レクリエーション需要、特に沿岸域・海浜域のレクリエーション需要に対応した、主として週末利用の短期滞在型海洋性リゾートと、②多様で選択性に富みかつ居住性の重点を置き、大都市から遠距離に位置し、全国レベルの需要に応ずる長期滞在型の海洋性リゾート、の2つのタイプに大別される。以下にこれらのリゾートの機能構成を概説する。

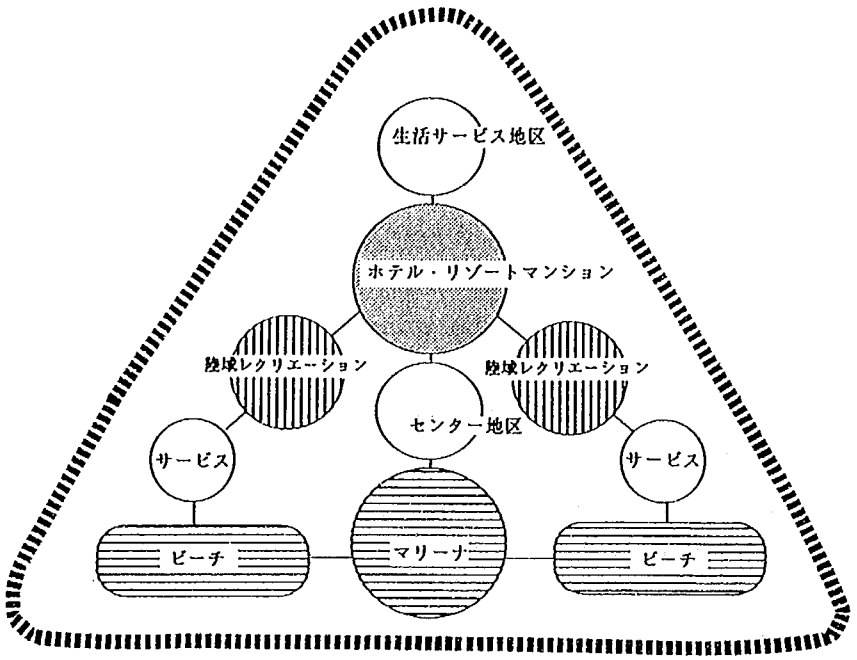
(1) 短期滞在型（週末利用型）海洋性リゾート

短期滞在型海洋性リゾートでは、沿岸海域・海浜域のレクリエーション活動が主であり、利用が夏期に集中し、かつ滞在期間が短期であるという特性がある。したがって、通年利用を可能にするためには陸域レクリエーション施設、文化施設等を備える必要がある。

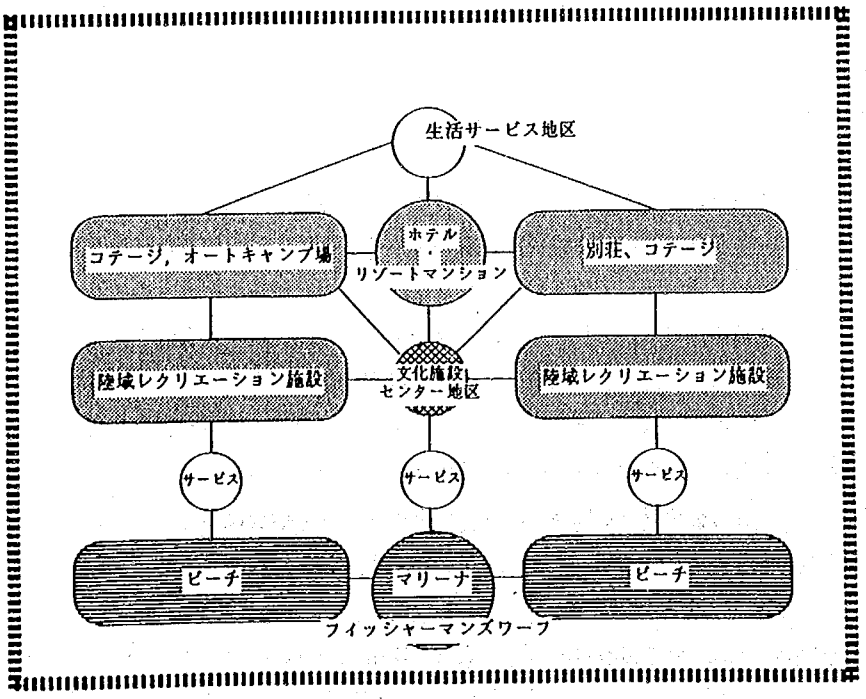
機能構成を考えるにあたっては、滞在機能すなわち生活基盤施設は集約化を図り、その配置はメインの沿岸海域・海浜域のレクリエーション施設に隣接させることを基本とすべきである（図－2.3.1参照）。

(2) 長期滞在型海洋性リゾート

長期滞在型海洋性リゾートでは、一つの都市づくりという観点に立ち、機能を構成する必要がある。すなわち、滞在が主として長期に渡り、しかも今後は永住者も増加すると予想されるので、そこには当然都市機能を集積させ、居住環境を重視した機能配置がなされる必要がある。また、居住形態およびレクリエーション活動も多様で選択性に富む必要があり、その開発も大規模なものとなるため、核的施設を有機的に構成することにより、魅力ある快適なリゾート空間の創出を基本とすべきである（図－2.3.2参照）。



図－２．３．１　短期滞在型海洋性リゾートの機能構成図



図－２．３．２　長期滞在型海洋性リゾートの機能構成図

第3章　海洋性リゾート計画の手法

3．1　基本的考え方

前章で述べたように、海洋性リゾートの計画に当っての重要な視点は、開発地域の歴史性、風土性を包括した自然環境と、沿岸域の自然が持つ開放感あふれる魅力を背景に、優れた居住環境と多様なレクリエーション空間を創出することにある。

そこで、海洋性リゾートの計画に当っては、企画段階から施設整備に至るまで、地域の持つ自然環境・資源をいかに保全かつ活用して、魅力あるものとして演出していくかというランドスケープ・プランニングの視点から作業をすることが重要となる。特に本別冊で扱う拠点地区の計画においては、快適で豊かなリゾートライフを創造するという視点に立ち、導入機能・施設内容の検討をするとともに、沿岸域特有の環境圧を緩和し、安定した環境を創出するための緑の役割を確認し、保全する緑を明確にした土地利用計画を作成した上で空間構成を検討し、具体的な緑化計画および施設計画を立案する必要がある。

3．2　海洋性リゾート計画の手順

海洋性リゾート計画の基本的な手順は、図－3．2．1に示すように4つの段階から構成される。

(1)　戦略目標の設定

この段階での主な作業は、発想・企画に基づいた空間利用の可能性の把握である。そのため、概略的な基礎調査を行い、リゾート需要の有無、立地上の問題整理、上位・関連計画との整合性のチェック、既存権益の把握等を行うとともに、植生を始めとする自然環境の評価を十分に行い、事業採算上の検討および自然環境上の諸要因の双方から求められる適正規模を設定する。

(2)　調査

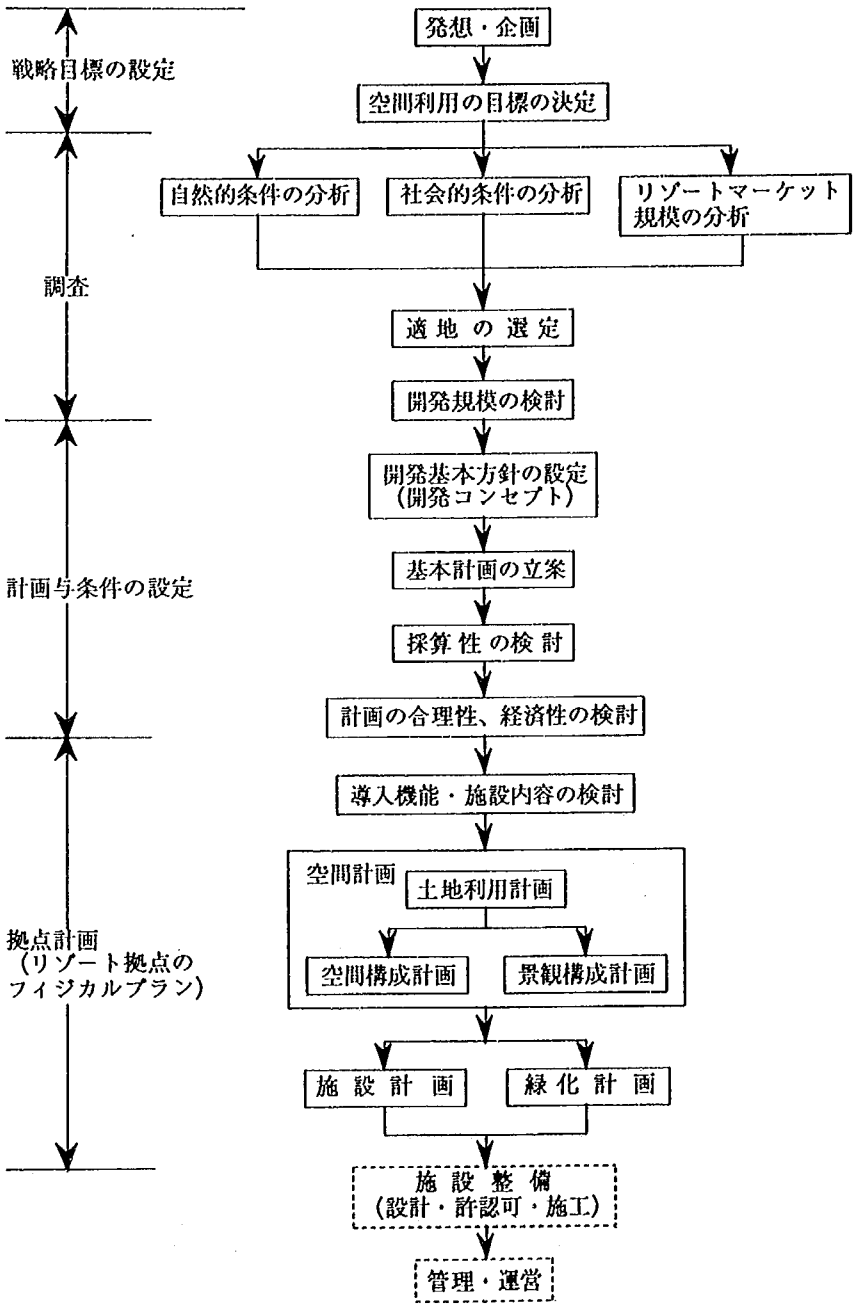
この段階での主な作業は、計画実現のために必要な様々な情報を収集整理することである。

リゾート空間では、豊かな自然環境や良好な景観の中での人々の生活といった状況が容易に想像される。それは、単に個々の構成要素が揃っているだけではなく、地域の自然環境と人々の生活が有機的に構成されることによりはじめて可能になる。したがって、リゾート計画では、地域の自然と人々の生活の相互作用により有機的に構成された環境を把握し、開発により良好な環境が創出されるような構成を考案すべきである。

そのため、開発区域だけではなく、周辺地域一帯の自然特性、自然の資源を調査し分析することが重要となる。さらに交通立地条件、開発地のリゾート立地条件および周辺の観光・リゾート資源の特性分析等の立地に関わる各種の調査と分析を行うと同時に、リゾートマーケットの規模の分析を行い、開発適地の選定、開発規模を概略決定する。

(3)　計画与条件の設定

戦略目標を具体的な計画目標に組み替える作業を行う段階であり、拠点の空間計画のための計画与条件を設定する。この段階での重要な作業は、現況の環境系の把握を通して、その中での現況の緑の役割を整理することによりその魅力を抽出し、リゾートとして造るべき環境のイメージやテーマを設定することである。



図－３．２．１　海洋性リゾート計画の手順（丸田，1989に加筆）

また、開発基本方針の確立と事業化の準備を行うことが重要な作業である。

次に、開発基本方針の設定に基づいて基本施設（海洋性レクリエーション、宿泊・居住施設）、目的施設（集客施設）を中心とした基本計画を作成し、事業化に向けた事業規模の決定と、開発プログラムの設定、収支見通しの設定等が主要な課題となる。

(4) 拠点計画

この段階での主要な作業は、具体的なフィジカルプランを作成することである。具体的には、開発拠点（リゾートとして特定されたエリア）における空間計画（土地利用、空間構成、景観構成）と空間のイメージを創出するための緑化計画および施設計画を検討することである。この際、利用者の立場からみて、いかに快適で豊かなリゾートライフを創造するかが重要な視点となる。そのためには、計画の目標に従って利用者の欲求を適確に満足させるための要素（施設）の選択と、計画の物理的、生態的適合性を十分に検討することが課題となる。さらに、リゾートとして求められる環境創出のための緑の役割を確認し、保全する緑、育成する緑を検討するとともに、緑の機能や魅力の創出に必要な規模や形態、相互関係を検討し、土地利用計画を作成する。そして、土地利用計画に基づいて空間構成および景観構成を検討し、具体の緑化計画および施設計画を立案する。

3．3　空間計画

3．3．1　基本的考え方

海洋性リゾートでは、日常の生活では味わえない海をとりまく豊かな自然や良好な景観のなかで生活し、海のやすらぎや海の楽しさ等、沿岸域の魅力を充分に満喫できる余暇を過ごすことが目的とされる。したがって、海洋性リゾートの計画では、リゾートライフを満足させるために過不足ない機能の充実と優れたリゾート環境の創出が必須であり、そのためには、リゾートを都市機能面で支える母都市との広域計画上での調整に加え、帯状に構成される海陸の自然や景観の特徴を十分に活かしていくことが求められる。特に、緑は海岸地域の自然や風土の特徴を端的に表し、また、変化が激しい気象条件に適応してリゾートの環境を和らげ、のどかで穏やかな情景をつくり出すとともに、各種の活動の場を提供している。このため、海洋性リゾートの計画には、緑を保存・修復・創出するというランドスケーププランニングに立脚した空間計画が重要となる。そこで、空間計画に当たって重要な視点は以下のように整理される。

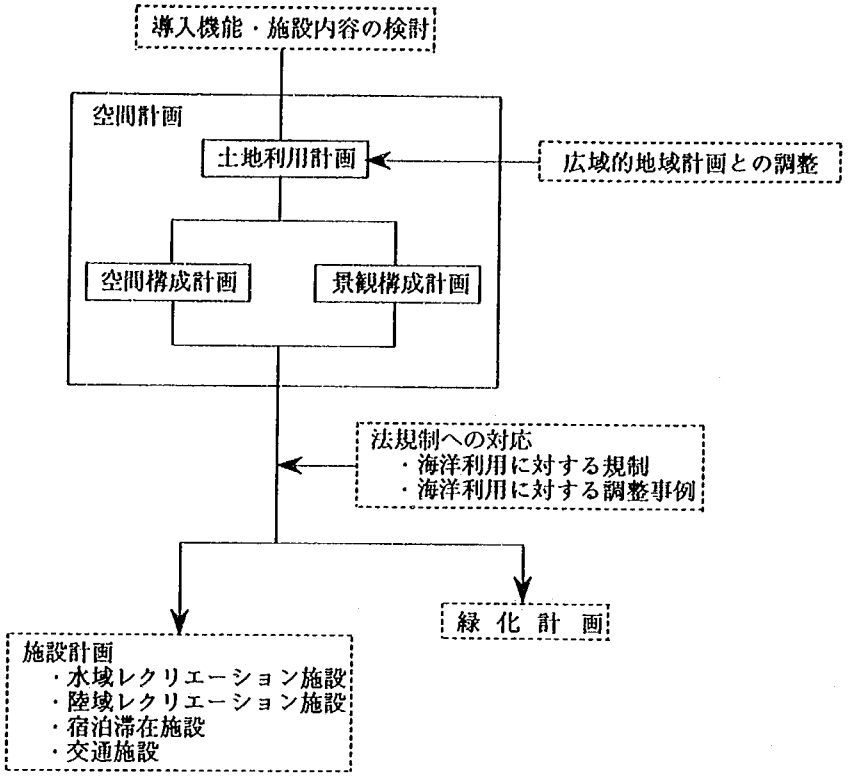
①リゾートを支える母都市を含めた地域全体の広域計画に位置づけされたリゾート空間の創出と、リゾート拠点における沿岸域特有の環境圧が緩和された安定した環境創出のための自然環境の保全と開発との調和を図るための土地利用

②地域の自然環境を生かし優れた環境を創出するための空間の構成

③リゾートライフを満足させるための理想郷としての景観の構成

3．3．2　空間計画の手順

海洋性リゾートの空間計画の手順は図－3．3．1に示す通りである。



図－３．３．１　空間計画の手順

３．３．３　土地利用計画

(1)基本方針

リゾートにおいては、リゾート拠点の施設を補完する交通拠点、文化的施設、生活サービス施設などが立地する母都市を含めた広域的な地域が生活圏となる。したがって、それら生活圏全体の土地利用の秩序化、自然環境の保全、さらには快適な環境の創造といった視点からの土地利用計画の作成が必要である。さらに、拠点地区においては、自然との調和や立地への適合を図り、環境の変化に対処して海辺の活動やニーズに応えた空間機能を構成するとともに、海辺の情景や雰囲気、景色を効果的に演出することを目指しているため、対象とする空間スケールに応じた緑の役割に留意して土地利用計画を作成する必要がある。計画立案に当っての基本的な方針を以下に示す。

①自然保全地域、開発地域等、土地利用のゾーニングを明確に示した広域的土地利用計画と土地管理計画を立案することにより、公共、民間、あるいは第三セクターによる事業の仕分けの明確化と、土地や自然資源の秩序ある利用と保全を目指す。

②詳細な環境づくりに対するプログラムにより、地域の特色を活かした魅力あるリゾート環境の形成を目指す。

③開発拠点地区にあっては、詳細な環境調査に基づいた開発計画により、良好な自然や景観の質の維持、

向上を目指す。

(2) 計画立案にあたっての留意点

①広域的土地利用、土地管理計画の立案

広域的土地利用、土地管理計画の立案に当っては、都市計画の枠組の中で位置づけを行い、土地管理政策の確立と、土地利用規制の徹底化を図る。また、良好な生活環境の創造の観点に立脚した計画的な基盤整備や交通網の確立、開発区域の限定およびリゾート基地にふさわしい建築基準の設定が必要となる。

自然を損なうことなく、自然との調和を図りながらひとつの地方を開発するという観点から、隣接する公共団体との整合した都市計画の策定が必要である。また、不動産投機を呼び起こさせないために、公共団体による土地の先行買収や国土利用計画法の規制区域、監視区域の指定等の措置が必要である。

さらに、道路、上下水道等に加え、緑地、および海洋性リゾートの核となるマリーナ、ビーチ等の大規模なレクリエーション施設についても基盤整備として先行的な整備が必要である。交通網の計画に当っては、沿岸地域の環境保全とリゾートの活用の観点から、路線ルートと景観を重視する必要がある。無秩序な市街地の拡大防止と周辺地域との調和を図るため、開発拠点区域の限定が必要であり、統一感のある町並み形成と個性ある都市づくりという観点に立脚した建築基準の設定が必要である。

②環境形成のためのプログラム作成

環境形成のためのプログラム作成に当っては、土地利用に加え、交通計画、公園緑地計画、自然環境計画などを含む包括的な基本計画を立案するとともに、地域イメージの醸成と継承を図っていくことが重要である。

定住人口に加え、宿泊客を見込んだ人口推計による長期的な政策目標に基づいた計画を立案するとともに、歴史的背景を重視した街並みや建造物の保存と、そのための細部にわたる法的規制を行う一方で、民間の持つ自由な発想、企画力を活かし、魅力的な環境を創出するための誘導処置も導入することが必要である。

また、風土性、郷土性についても充分考慮し、特に郷土景観の保全、創出という観点から自然環境の保護・保全および植栽に関する規制・誘導策を講ずる必要がある。

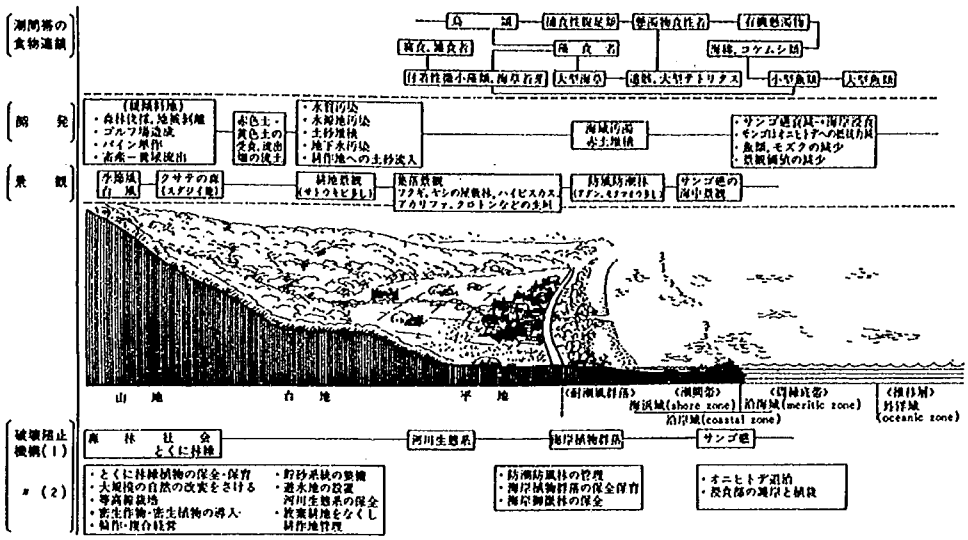
③環境調査に基づいた開発計画の立案

拠点地区の良好な自然や環境の質を維持する、あるいは向上させるためには、海岸に沿って帯状に構成されている自然や景観の秩序を乱さないよう、土地利用に際して緑を保護する部分と利用する部分などに区分し、リゾートやその周辺地域の自然や郷土景観の調和を図る。さらに、海域の自然環境の保全を図るため、環境アセスメントを行い、利用区域と保全区域を明確に区分するとともに、水質の維持や海中の生態系の保全を図るため、環境容量に基づいた利用の規制を講じる必要がある。

海岸部では、海岸から内陸にかけて環境が段階的にしかも急激に変化し、その秩序に従って自然や景観が海岸に沿って帯状に構成されている。この秩序を無視して開発を行うと、自然や景観に対して違和感を与えて地域の風土性や郷土性を損なうばかりでなく、防災上の問題を生ずることなどによって海域の自然環境や良好な生活環境も損なう危険性がある。このため、地域の地形、気象、海象、植栽の条件や過去における災害の発生状況等から地域の環境構成の秩序性を把握し、汀線際の植生や土地利用の境界部など秩

序性を維持する上で重要な緑の保全を図る必要がある。また、秩序性が壊れている場所については必要に応じて緑を修復・創出してその弱点を補完する必要がある。

海岸部では、特に、海岸植物群落や防潮風林の保存が重要である。また、後背部では土砂の崩壊・流出など自然環境の劣化要因に対して、土地利用の境界部の緑を修復したり、裸地化している場所に緑を創出するなどの対策が必要となる。環境構成の秩序と環境劣化に対する対策の事例を図－３．３．２に示す。



図－３．３．２　環境構成の秩序と環境悪化に対する対策の事例（斎藤，1979）

この事例では、緩傾斜地で森林伐採や地被剥離、ゴルフ場造成、パイン単作、畜産の糞尿流出などにより土壌の流出や畑の流土などが生じ、水質汚濁、水源地汚染、土砂堆積、地化水汚染、耕作地への土砂流入が誘発され、さらに、海域での汚濁や赤土堆積がサンゴ礁衰退や海岸の侵食、魚類やモズクの減少、景観価値の減少をもたらしている状況が示されている。これらの開発のインパクトに対しては、山地や台地の森林や畑、河川の生態系、平地の畑や集落、海岸植物群落、海中のサンゴ礁の各々で適切な対策を講じることにより、生態系を保全することが可能とされている。

３．３．４　空間構成計画

土地利用計画においては、リゾートを支える母都市を含めた地域全体の土地利用計画について考察を述べたが、本項では拠点地区における空間の構成手法について解説する。

(1)基本方針

リゾートにおいては、その地域の自然環境及びリゾートライフ空間としての優れた環境、すなわち精神の開放を求めるライフスタイルに適した環境が重要な要素である。

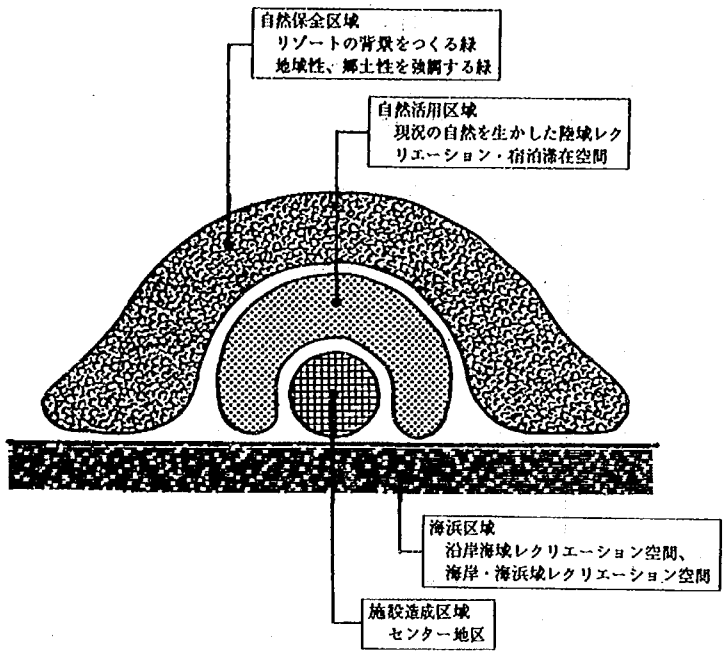
リゾートにおいては、従来型の観光地での行動と異なり、滞在する（あるいは暮らす）、休養する、精神を開放する、といった自己充実的な余暇を過ごすライフスタイルがとられる。したがって、その場は生活空間として機能性に優れていることはもちろんであるが、質的に優れ豊かな空間であることが求められる。

この豊かさとは、リゾート全体の雰囲気からもたらされるものであり、個々の空間が持つ特性を活かすことにより生まれる。例えば、滞在空間であれば「美しさ」に加え、「落ち着く」「ゆったりした」「安らぎ」などといったキーワードで表現される雰囲気が大切であり、海浜域のレクリエーション空間では「華やか」「ときめき感」「明るい」などといったキーワードで表現される雰囲気が大切になる。リゾート全体およびこれらのキーワードで表現される個々の空間の環境づくり、すなわち空間構成計画立案に当っての基本的な方針を以下に示す。

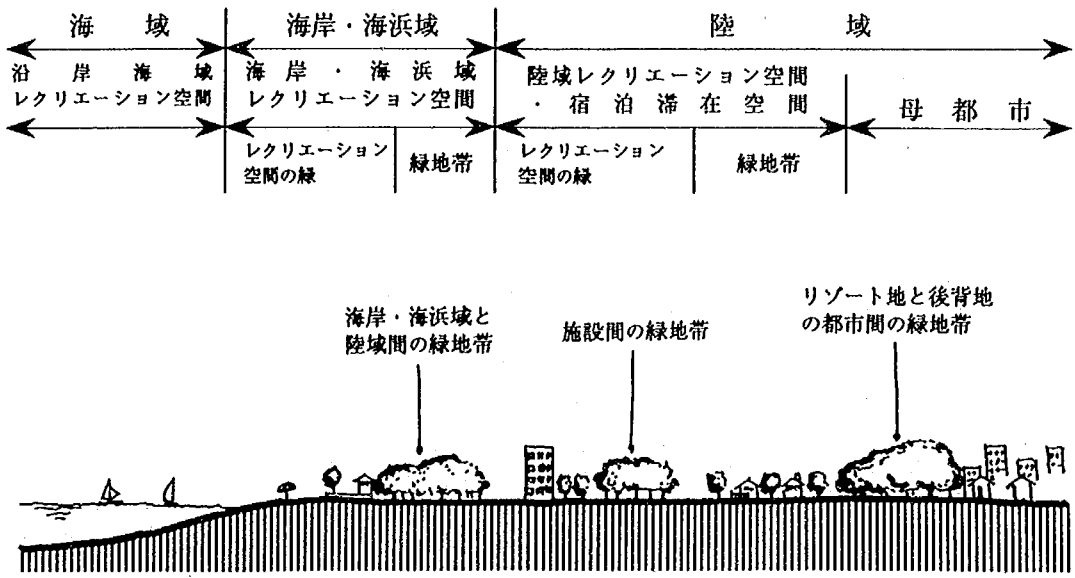
①リゾートとしての魅力を創出するために、リゾート全体が自然の中に包み込まれているイメージを演出する（図－3．3．3、3．3．4参照）。そして、その自然を地域性、郷土性を強調する緑として、あるいはリゾートのテーマ性を強調する緑として演出する。

②海の眺望、海からの景観の維持・向上、さらには潮風、潮害を防ぐ緑の形成によって、空間の魅力の創出と過しやすいリゾート環境の形成を図る。

③各空間においては、個々の施設と、その施設周辺の環境の質が優れており、空間全体が一つのまとまりとして形成される必要がある。そして、その環境の創出は表－3．3．1に示すキーワードから得られるイメージを緑によって演出する。



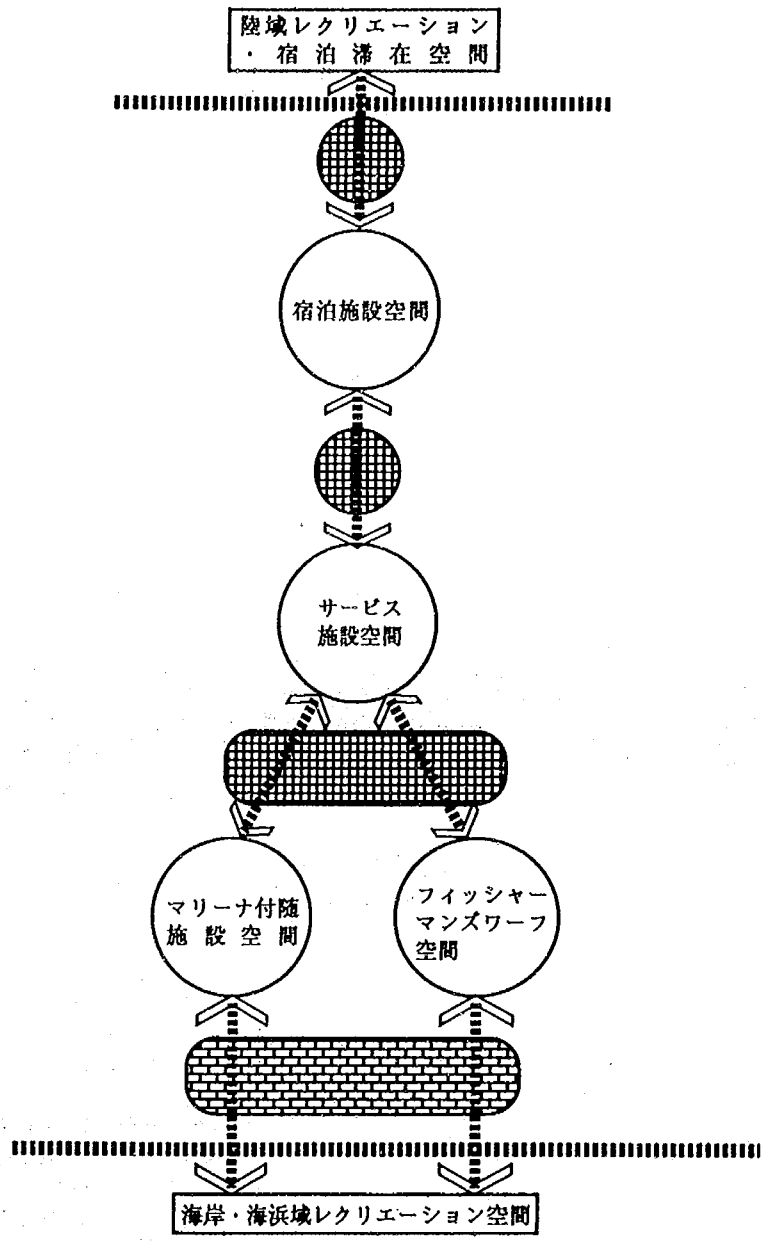
図－３．３．３　リゾート全体の空間構成の考え方



図－３．３．４　基本となる空間構成要素と空間構成の考え方

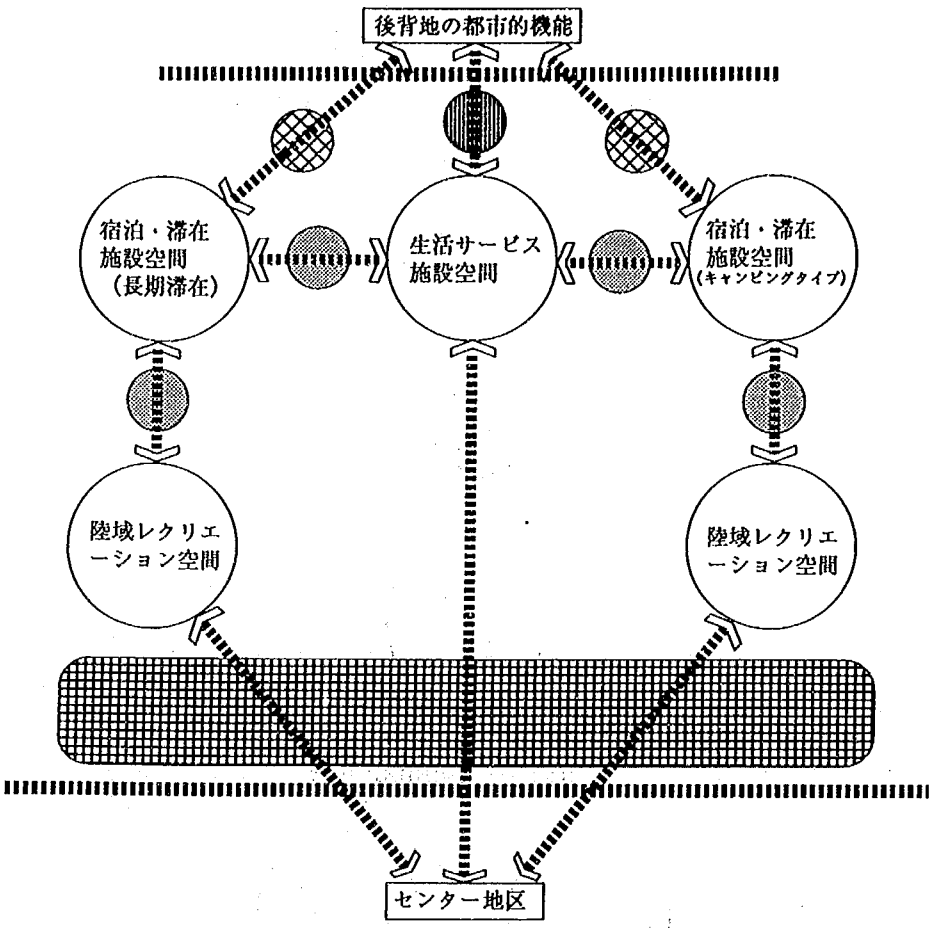
表－3.3.1　空間イメージのキーワード

空間		キーワード	空間を構成する要素
リゾート全体		地域性、郷土性、テーマ性に基づいた「美しさ」	
海岸・海浜域レクリエーション空間		海らしさ、華やかさ、ときめき感、明るさ（図－3.3.5参照）	・マリーナ陸域空間 ・ビーチ空間 ・ビーチサービスヤード空間
センター地区		にぎわい感、かいわい性、及びシンボル性（図－3.3.5参照）	・マリーナ付随施設 ・フィッシャーマンズワーフ空間 ・宿泊施設空間 ・サービス施設空間
陸域レクリエーション・宿泊滞在空間	陸域レクリエーション空間	明るさ、開放感（図－3.3.6参照）	・スポーツ施設空間 ・文化施設空間 ・休養施設空間
	宿泊・滞在施設空間	くつろぎ感、安らぎ感、ゆったり感（図－3.3.6参照）	・宿泊滞在施設空間
	住宅サービス施設空間	にぎわい感、かいわい性（図－3.3.6参照）	・住宅サービス施設空間
施設間の緑地帯		地域性、郷土性、テーマ性	



凡　例	機能・役割
	海らしさに加え、にぎわい感、ときめき感を創出・演出する空間
	にぎわい感、ときめき感に加え、かいわい性を創出・演出する空間

図－3．3．5　センター地区の空間構成概念図



凡例	機能・役割
	にぎわい感、ときめき感に加え、かいわい性を創出・演出する空間
	プライバシーの確保及び優れた生活環境を産み出す空間
	背後地の都市との遮断及び借景としての空間
	入口としての魅力を創出するための空間

図－3．3．6　陸域レクリエーション・宿泊滞在空間の空間構成概念図

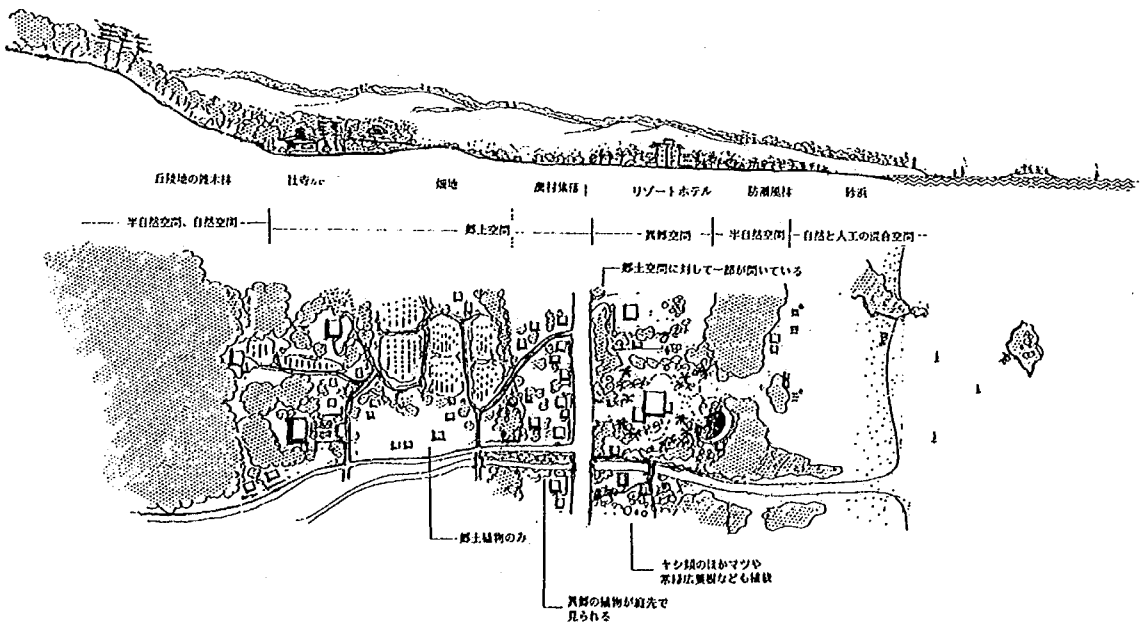
(2) 計画立案に当っての留意点

a） リゾート全体の空間構成

リゾートの魅力を創出するために、リゾート全体が自然の中に包み込まれているイメージを演出する。その際、環境構成の秩序に配慮して歴史性や象徴性を感じさせる緑を保存し、リゾート内の様々な空間機能の構成要素となる緑をその土地のもつ潜在力に応じて創出することにより、環境や景観の連続性を保ち一体化を図る。

社寺林・並木・巨木・古木など歴史を感じさせたり、地域を象徴する緑や地形の凸部など目立つ場所にある樹林などの緑を保存し、また、環境の秩序に配慮して緑を修復することにより、地域の自然環境に調和し地域らしさを強調した個性的な空間づくりが可能となる。また、様々な機能の要請に応じ、地域の景観に対して異質な感じを与えないように、質やボリュームなどを考慮し、土地のもつ潜在力に応じた緑を創出して配慮することにより、リゾート地内の景観の調和を図ることが重要である。

図－３．３．７に示すモデル事例は、リゾートの外周部に郷土植物によるボリュームのある緑を配置して海岸から内陸へと郷土の緑による景観の連続性を確保しようとするものである。



図－３．３．７　リゾート地と地域景観を調和させる緑の配置のモデル例

b） 海岸・海浜域の空間構成

海岸・海浜域の空間構成に当っては、自然景観と調和した空間の創出と内陸部の環境保全に必要な樹林帯の形成を図る。

海からの眺めを考慮し、現況の原風景を意識した空間を構成（例えば、緑のスカイラインを保全した施設づくり）するとともに、施設整備により保安林を解除した場合には、内陸部の環境を保全するために代替林による防風、防砂、防潮機能の回復を図る必要がある。

c） 個別空間の空間構成

個別空間の空間を構成するに当っては、海浜域においては「海らしさ」「華やかさ」「ときめき感」「明るさ」の創出を図り、センター地区においては「にぎわい感」「かいわい性」「シンボル性」の創出を図る。また、陸域レクリエーション空間においては「明るさ」「開放感」の創出を図り、宿泊・滞在施設空間においては「くつろぎ感」「安らぎ感」「ゆったり感」の創出を図る。

海浜域においては、海への視界を開放する空間構成とする。その際、完全な開放ではなく、緑によりビューポイントを限定するなどの手法により、海への期待感を高める工夫を図る。また、花卉・花木などにより華やかさを強調する。センター地区においては、空間として広過ぎず、かつ空間全てが意識として捉えられる規模とし、テーマ性を感じられる緑によって空間を構成する。陸域レクリエーション空間においては、空間まわりは緑により取り囲み、他の空間との分離を図る一方で、内陸は過度の高木植栽は避け、空間が一つのまとまりとして開放的である必要がある。宿泊・滞在施設空間においては、色どりがあり、かつ季節感ある密生しない緑で包み込み、建物と建物の間は十分な間隔を保つ必要がある。

以下に空間構成の事例を示す（写真－3．3．1～3．3．21）。また、事例の位置を図－3．3．8に示す。

●自然景観との調和と内陸部の環境保全を重視した空間構成の事例



緑のスカイラインの保全

・海からの眺めを考慮し、緑のスカイラインを保全している。

写真－３．３．１　長崎オランダ村（長崎県）



海岸沿いの樹林の保全

・海からの景観を保全し、さらには潮風、潮害を防ぎ、陸域の環境をやわらげるため、海岸一帯の樹林が保全されている。

写真－３．３．２　宮古島東急リゾート(沖縄県)

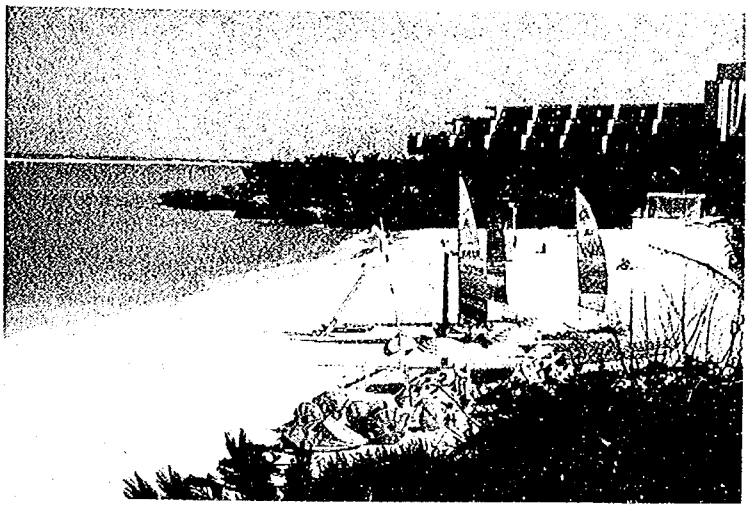


代替林による環境の保全

・敷地とビーチを一体化するために、保安林の一部を解除し、その代替林として外周部にモクマオウ、カジュマルおよびそのマント植栽で構成する樹林地を造成している。

写真－３．３．３　宮古島東急リゾート(沖縄県)

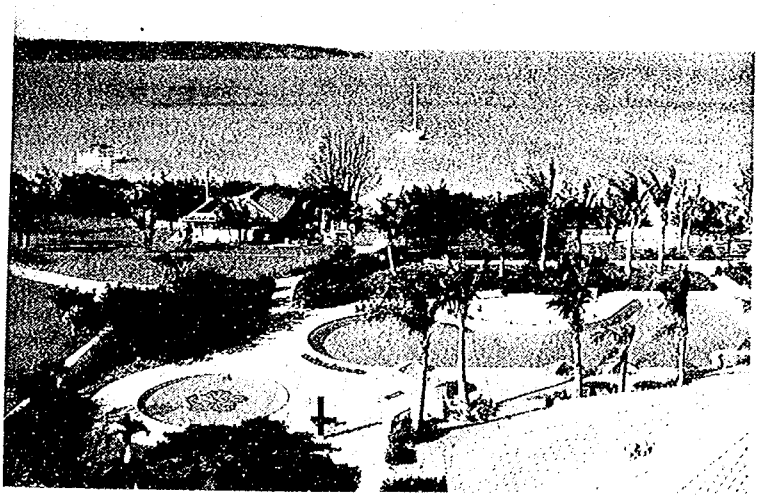
●個別空間の空間構成事例



明るく開放的な海浜空間の創出

・さりげなく置かれた小型ヨットの帆が明るく開放的な雰囲気を演出している。

写真－3．3．4　ムーンビーチ（沖縄県）



華やかさのある海辺

・洗練されたプールのデザインと南方のヤシなどの植栽により華やかな雰囲気を演出している。

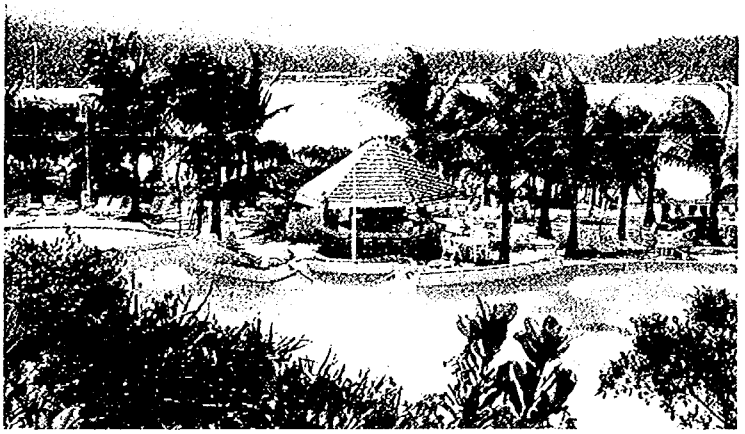
写真－3．3．5　宮古島東急リゾート（沖縄県）



原風景と調和した華やかさのある海辺

・海浜の植生を保全し、かつ海辺の華やかさ、ときめき感、明るさを創出している。

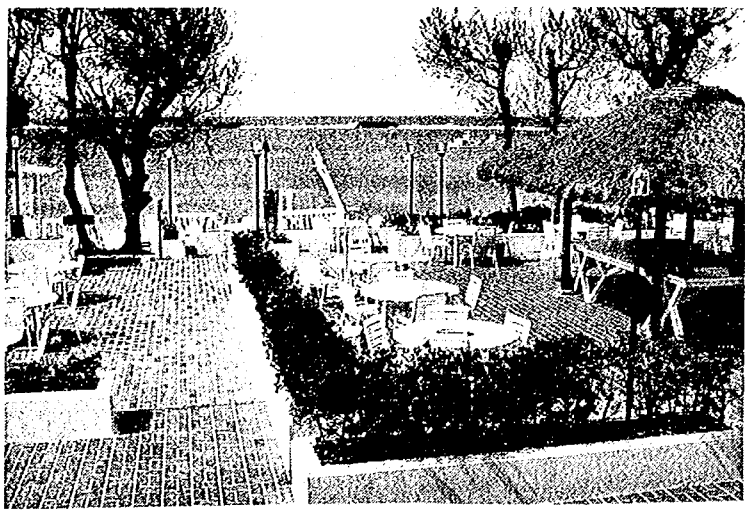
写真－3．3．6　万座ビーチ（沖縄県）



原風景を活かし、海らしさを強調した空間

・青い海と遠方の緑豊かな山並、そしてヤシの植栽により、沖縄の海らしさを強調している。

写真－３．３．７　万座ビーチ
（沖縄県）



海辺の明るさ、開放感を活かした空間の創出

・海への視界を開放することにより、海辺の明るさや開放感を取り込んだカフェテラス。

写真－３．３．８　万座ビーチ
（沖縄県）



にぎわい感、かいわい感のある空間の創出

・人の流れを一つの空間に導くことにより、にぎわいやかいわい感を創出している。

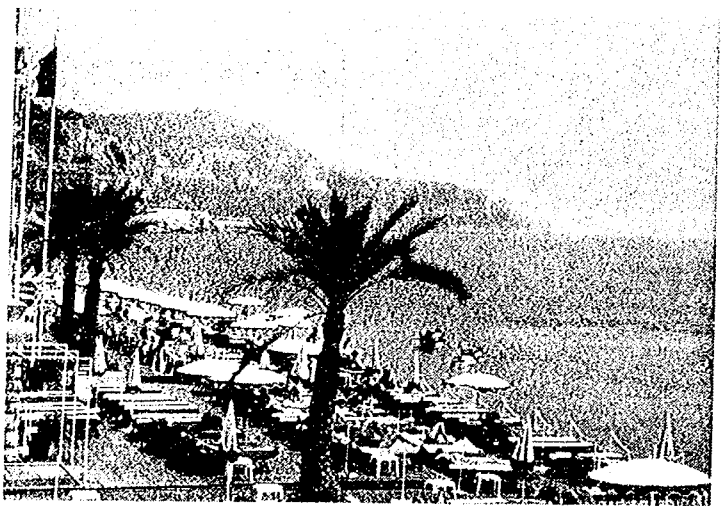
写真－３．３．９　長崎オランダ村
（長崎県）



にぎわい感のある空間の創出

・意識的に通路を狭くすることにより、にぎわい感のある空間を創出している。

写真－3．3.10　長崎オランダ村(長崎県)



開放的な海の景観を生かしたにぎわい空間の創出

・海辺にカフェテラスなどを集約的に配し、明るく開放的なにぎわい空間を創出している。

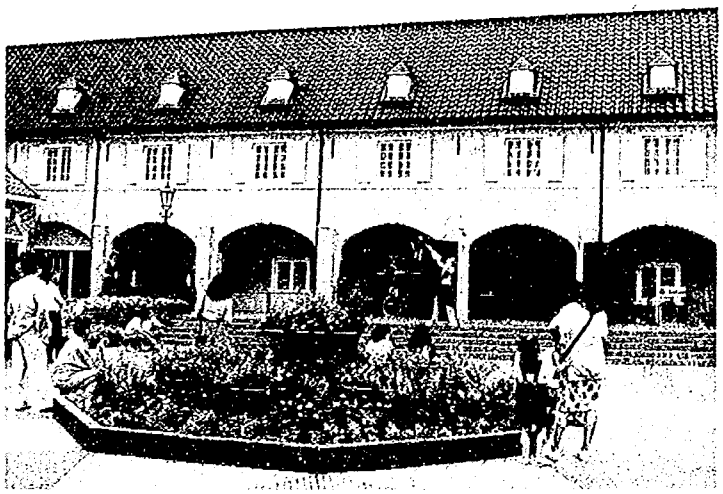
写真－3．3.11　ニース(フランス)



にぎわい感のあるセンター地区

・プールサイドをカフェテラスとして利用することにより、魅力的でにぎわい感のある空間を創出している。

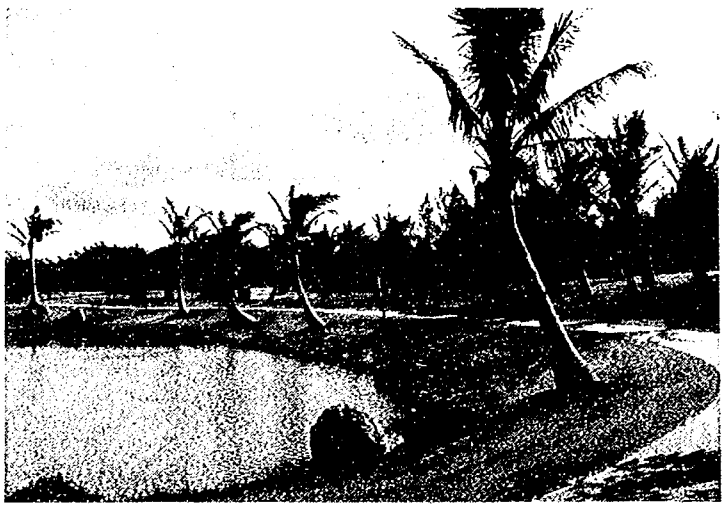
写真－3．3.12　コートダジュールオピオ(フランス)



シンボリックな空間の創出

・コンセプトを代表する建築物と色とりどりの花が咲きみだれる花壇によって、シンボリックな空間を演出している。

写真－３．３．１３　長崎オランダ村（長崎県）



明るく、開放的な陸域のレクリエーション空間

・広大で開かれた景観を創出することにより、日常では味わえない、明るく開放的な雰囲気を演出している。

写真－３．３．１４　宮古島東急リゾート（沖縄県）



明るく、開放的な陸域のレクリエーション空間

・スポーツコートと園路の境界に柵や生垣がないため、明るく、開放的な空間を演出している。

写真－３．３．１５　万座ビーチ（沖縄県）



安らぎ感、くつろぎ感のある宿泊空間の創出

・明るく、開放的な園路構成により、安らぎ感のある空間を創出している。

写真－3.3.16　宮古島東急リゾート(沖縄県)



安らぎ感、くつろぎ感のある宿泊空間の創出

・やわらかい園路曲線と低木の花物の植栽によってヒューマンスケールにあったゆったりとした、くつろぎ感あふれる空間を創出している。

写真－3.3.17　宮古島東急リゾート（沖縄県）



安らぎ感、くつろぎ感のある宿泊空間の創出

・明るく、すっきりとした植栽により、安らぎ感やくつろぎ感のある空間を創出している。

写真－3.3.18　宮古島東急リゾート(沖縄県)

緑の中に埋れた別荘地

・地域の緑と一帯化し、景観の保全とともに、安らぎを感じさせる宿泊空間が創出されている。



写真－3．3.19　伊豆高原
（静岡県）



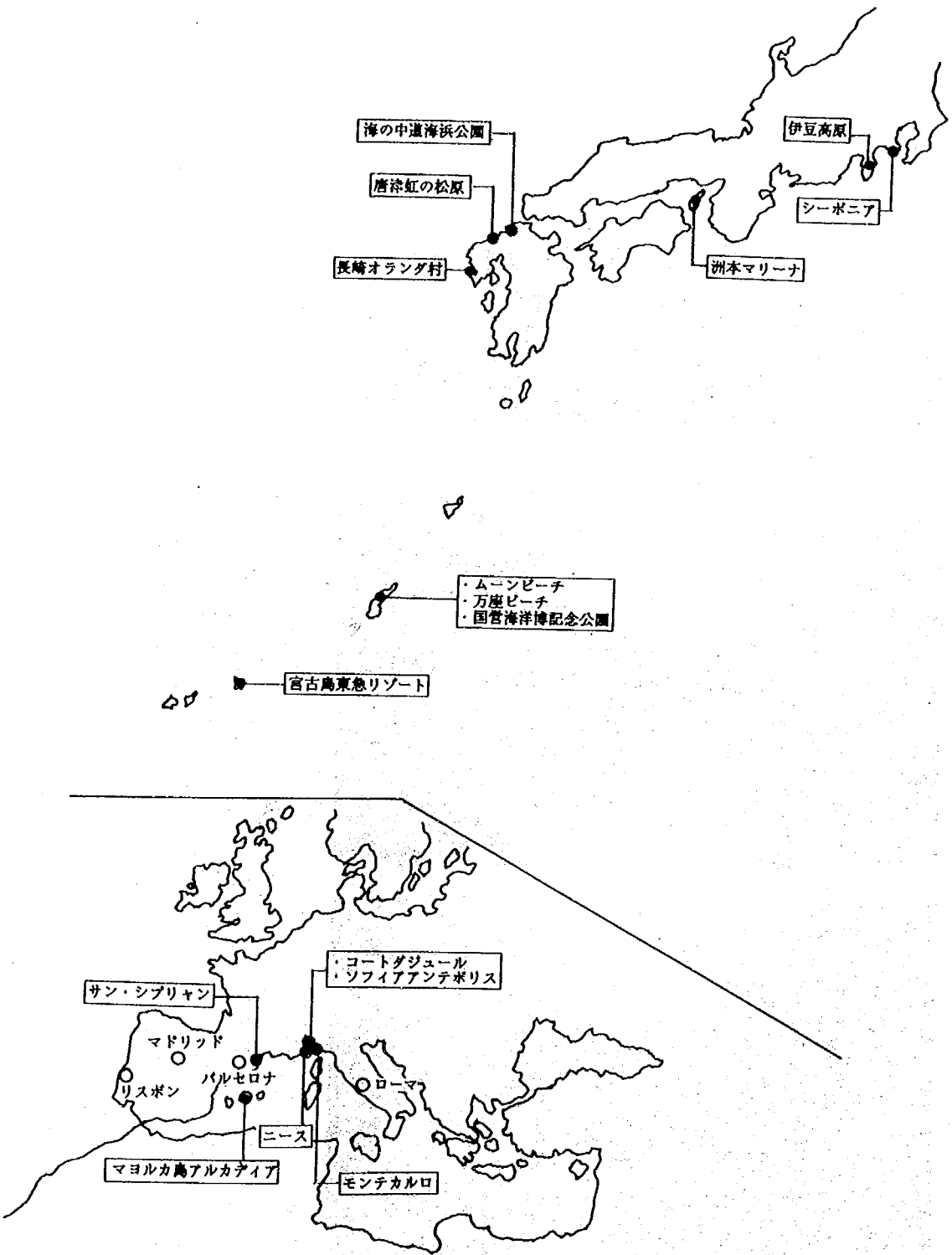
くつろぎ感、安らぎ感を感じさせる魅力的な空間

・小さな園路とヒューマンスケールにあった魅力的な住戸間の植栽によって、くつろぎ感、安らぎ感のある長期滞在施設空間を創出している。

写真－3．3.20　コートダジュール
セピオ（フランス）



写真－3．3.21　コートダジュール
セピオ（フランス）



図－3．3．8　リゾート事例の位置図

3.3.5 景観構成計画

景観構成は，広義の意味では空間構成と同一であると捉えられるが、ここではリゾートとしての魅力を創出し、かつ地域の持つ風土景観の保全と風土景観を積極的に活かすための効果的手法について解説する。

(1) 基本方針

リゾートにおいては、前項で述べたようにその地域の自然環境およびリゾート空間としての優れた環境が重要な要素となる。とりわけ、海洋性リゾートにおいては海岸線の景観維持がリゾートとしての魅力を創出する最も重要な要素であり、また、海からの眺望を意識した景観の創出が必要である。計画立案に当っての基本的な方針を以下に示す。

①海岸線の景観を保全するための有効な管理施策の運用と土地利用規制により、海岸景観の維持を目指す。

②地域の魅力ある風土景観を活かしたリゾート空間を創出するため、眺望をコントロールするなど有効な景観形成施策の運用を図る。

③開発拠点については、開発規制や景観形成のための有効な誘導施策の運用を図り、調和のとれた優れた景観を創出する。

④植物の持つ様々な魅力を活かし、個々の空間のイメージや海辺の情景等を効果的に演出する。

(2) 計画立案に当っての留意点

a） 海岸景観の維持

海岸景観の維持に当っては、海岸線は公共空間であると明確に定義し、海岸線の景観を維持するために必要な陸域をも含めた土地利用規制が必要である。

海洋性リゾートにおいては、海岸線の景観を保全することがリゾートとしての魅力を維持する上で最も重要なことである。海洋性リゾートの核となるべき海岸線については、公共空間としての考え方に立ち、公共機関による整備と管理によって海岸線の景観維持を図っていく必要がある。例えば、海岸線沿いの植生の保全や開発後の植生の回復はもとより、海岸線に展開するビーチやマリーナの整備に当っては、できうる限り公共機関による施設整備を図り、質が高く、環境に配慮した施設づくりを行う必要がある。

また、無秩序な開発を避けるために、土地利用等の規制を設けることが重要なポイントとなる。

b） 風土景観の保全

地域の魅力ある風土景観を活かし、リゾート地の景観の秩序を保つために、都市的土地利用がなされる地域で、用途・容積・高さ等細部にわたる建築規制が必要である。また、地域の風土景観を維持するため地域のシンボル的な山などを展望できる地域では、土地利用規制や高さ規制が必要である。

リゾート地の景観の秩序を保つためには、リゾート全体が緑に包み込まれた景観を創出することが有効であるため、特に建築物の用途、容積、高さ、デザイン、色等の規制が重要な要素となる。また、海洋性リゾートの魅力の一つは、海からの眺望が優れていることであり、地域の風土景観となる山並のスカイラインの維持等に当っては、十分留意することが重要である。したがって、様々な地点からの景観調査を実施し、その結果に基づいた詳細な土地利用規制や高さ規制を定めることが重要である。

c） 開発拠点の景観構成

開発拠点については、調和のとれた魅力的な空間を創出するために、建築デザイン、色、材質等の規制を設けるとともに、緑化基準を設定し、豊かな緑の創出を図る必要がある。

魅力的で、優れた景観を創出し、リゾートとしての質を維持していくためには、全てのデザイン面での統一を図っていく必要がある。特に、建築物は景観上の大きなポイントとなるとともに、規模によっては自然地形を壊わし環境破壊に結びつくこともあるので、詳細な規制を設ける必要がある。

また、緑化に関しては、緑化率等を設定しボリュームある緑の創出を図るとともに、緑化材料に関しても基準を設定し、地域の風土景観と調和した魅力ある空間を創出することが必要である。

d） 植物の活用

活動内容やニーズに合わせた空間のイメージを演出するために、植物の持つ様々な特性や魅力を活かし、多様な海辺の情景や雰囲気、そして景色をもつ空間の創出を図る。

緑は、その種類、おかれた環境、季節などにより、それ自身で、あるいは整枝や剪定など人為的なコントロールにより様々な美しさを発揮する。また、視覚のみならず聴覚・味覚など五感のすべてに訴える魅力を発揮する。リゾート内の様々な利用空間におけるイメージの演出を行うに際しては、五感に訴える緑の魅力を駆使して演出を行うのが効果的である。これにより、利用空間のテーマに沿った演出や季節間の演出などが可能となる。にぎわい感、ときめき感、海らしさを演出するために以下に示すような効果的手法を用いることが必要である。

①人の目の高さ、あるいは歩くスピードといったヒューマンスケールを意識する。

②ランドマーク、ビスタ、アイストップなど緑の特性を効果的に利用した魅力ある景観を創出する。

③花、紅葉などにより、季節感、海らしさなど演出装置として効果的に利用する。

以下に景観構成の事例を示す(写真－3．3．22～3．3．39参照)。なお、事例の位置を図－3．3．8に示した。

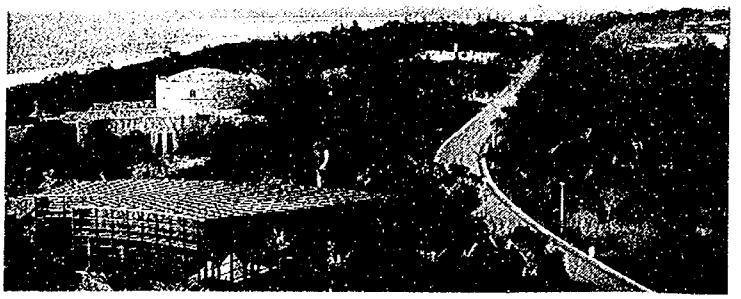
●土地利用の規制による景観の維持



海岸線の保全

・海岸線の保全により、優れた景観が維持されている。

写真－３．３．２２　宮古島東急リゾート(沖縄県)



海岸線の保全

・建築物を海岸線から遠ざけ、優れた海岸線の景観を保全している。

写真－３．３．２３　国営沖縄記念公園(沖縄県)



海岸線の保全

・貴重な海岸線の地形と植生の保全により、魅力ある遊歩道となっている。

写真－３．３．２４　万座ビーチ(沖縄県)



海岸線の保全

・自然景観をこわさないよう配慮された利用。

写真－3．3.25　万座ビーチ
（沖縄県）

シンボル景観の保全

・スカイラインより建物を低くおさえていることにより、シンボル的な山並の景観を保全している。



写真－3．3.26　万座ビーチ
（沖縄県）

●建築規制による景観の維持



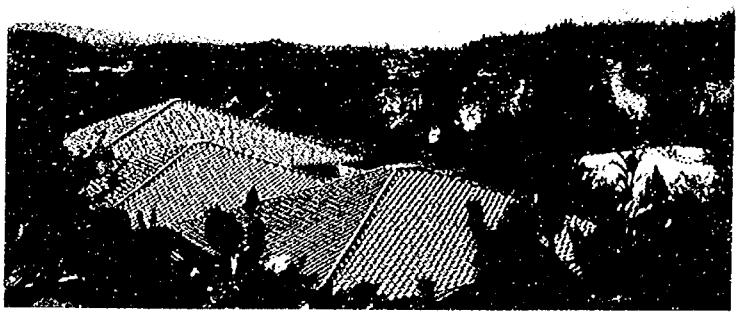
建築物の高さ規制

・海岸線の景観を維持するため、建築物の高さを抑えている。

写真－3．3.27　ムーンビーチ
（沖縄県）

建築物の高さ規制

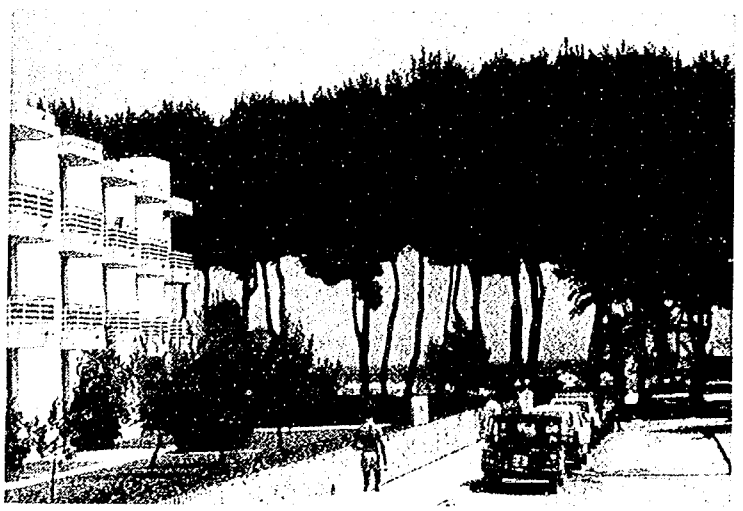
・緑の中に埋没するように、建築物の高さを抑えている。



写真－3．3.28　万座ビーチ
（沖縄県）

建築物の高さ規制

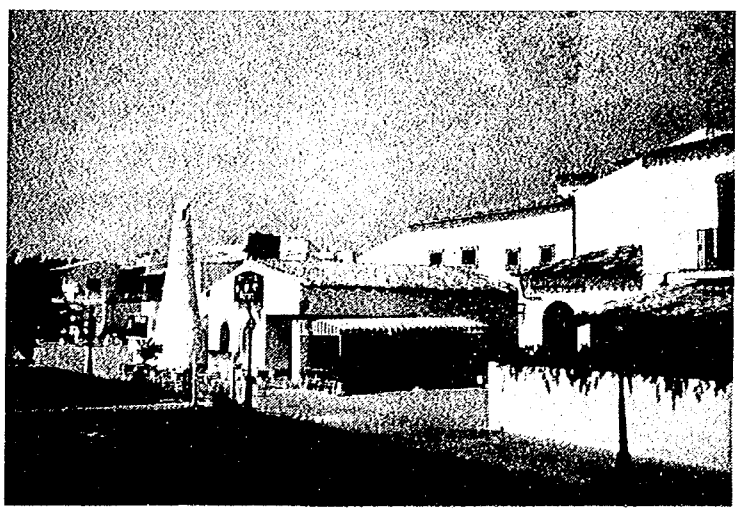
・海岸の自然植生より、建築物の高さを抑えている。



写真－3．3.29　マヨルカ島
アルカディア(スペイン)

デザインの統一

・建築デザイン、色、材質等の規制により、統一感ある景観を創出している。



写真－3．3.30　マヨルカ島
アルカディア(スペイン)



建築物の高さ規制

・建築デザイン、高さの規制とともに、屋上部の緑化も図っている。

写真－3．3．31　ソフィア
アンテポリス(フランス)

●植物による空間イメージの演出



魅力的な景観の創出

・ビスタを形成し、効果的な景観を創出している。

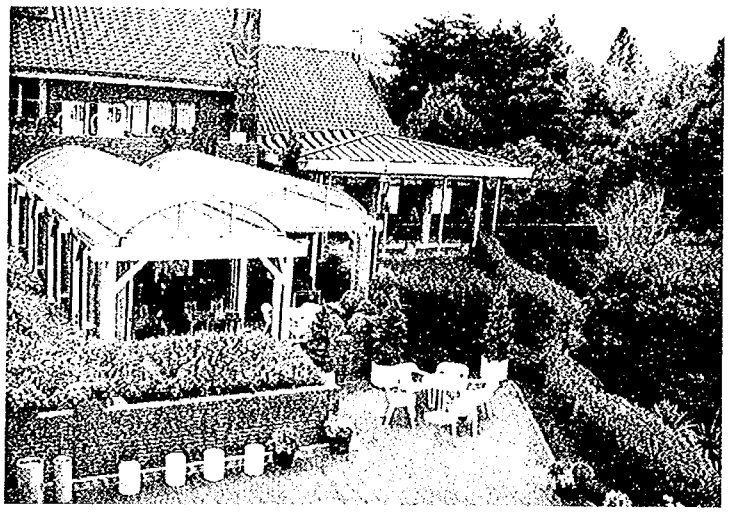
写真－3．3．32　宮古島東急
リゾート(沖縄県)



シンボリックな景観の創出

・花を効果的に使い、シンボリックで魅力ある景観を創出している。

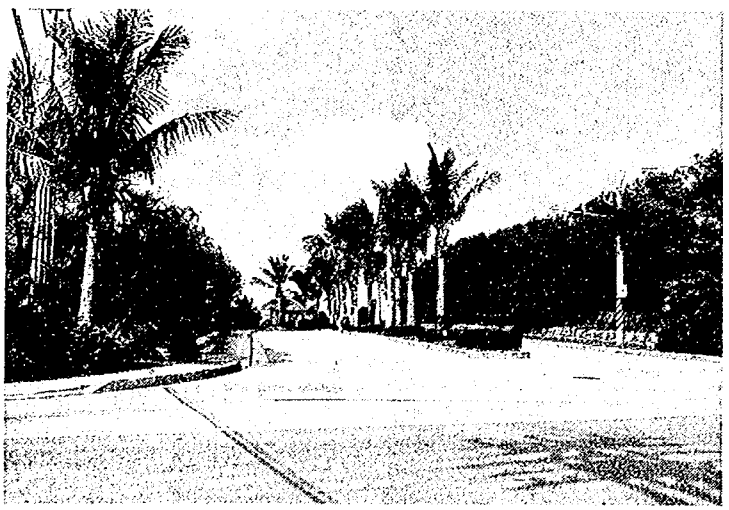
写真－3．3．33　長崎オランダ
村(長崎県)



季節感の創出

・花によって季節感あふれる、華やかな景観を創出している。

写真３．３．３４　長崎オランダ村（長崎県）



期待感の創出

・背の高いヤシの並木によって期待感を感じさせる入口を創出している。

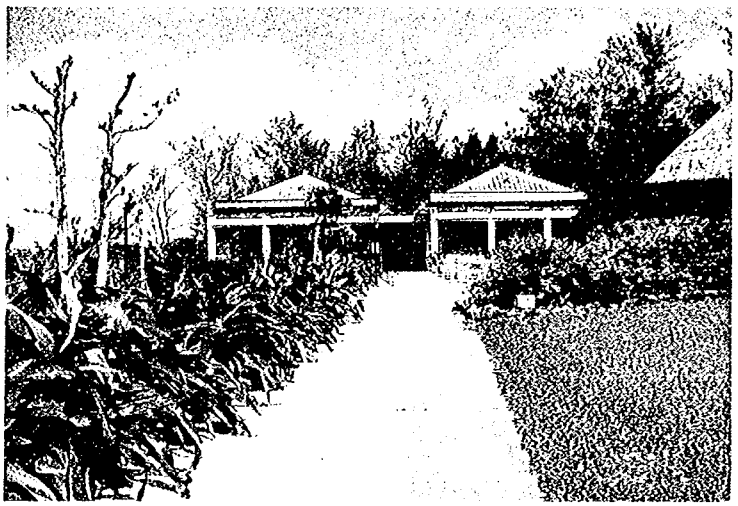
写真―３．３．３５　万座ビーチ（沖縄県）



海らしさの表現

・高いヤシの木の植栽が空の高さを強調し、明るく開放的な海らしさを表現している。

写真―３．３．３６　宮古島東急リゾート（沖縄県）



海らしさの表現

・海辺の植物を効果的に使い海らしさを表現している。

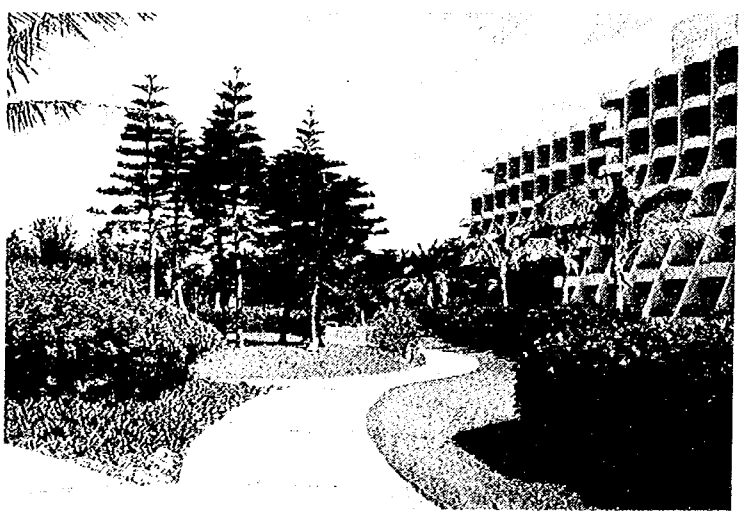
写真－3．3.37　宮古島東急リゾート(沖縄県)



魅力的な景観の創出

・南国的な植栽により、魅力的な海の景観を創出している。

写真－3．3.38　万座ビーチ(沖縄県)



魅力的な景観の創出

・高木によるアイストップにより魅力的な景観を創出している。

写真－3．3.39　宮古島東急リゾート(沖縄県)

3．4　緑化計画

3．4．1　基本的考え方

リゾートの環境形成を行う上で、緑化は環境の基盤としての緑を修復・育成することによりその秩序性を維持する役割や、秩序性を維持しつつニーズに合わせた雰囲気を演出する役割を果たす。これらの役割は明確に区別できず、両者の性格が共存する場合も多い。このような役割を果たす緑化を計画的に進めていく際には、以下のような点に配慮することが重要である。

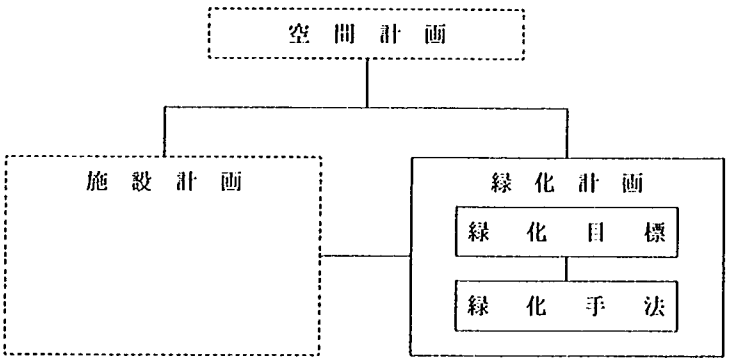
①上位計画の意図を十分にくみとり、環境の秩序性の維持、自然環境の保全、環境資源の活用、空間の機能性向上、郷土景観の維持・活用などの考えを反映させた目標を設定する。

②緑化手法の限界性を熟知し、植栽整備や維持管理の水準を考慮した無理のない目標を設定する。

③多様なニーズに対応する緑化目標の要件を満たす緑化手法を駆使する。

3．4．2　緑化計画の手順

緑化計画では、図―3．4．1に示したように、上位の空間計画を前提として施設計画と整備を図りながら緑化目標を設定し、その目標達成のための有効な緑化手法を選ぶことが必要となる。



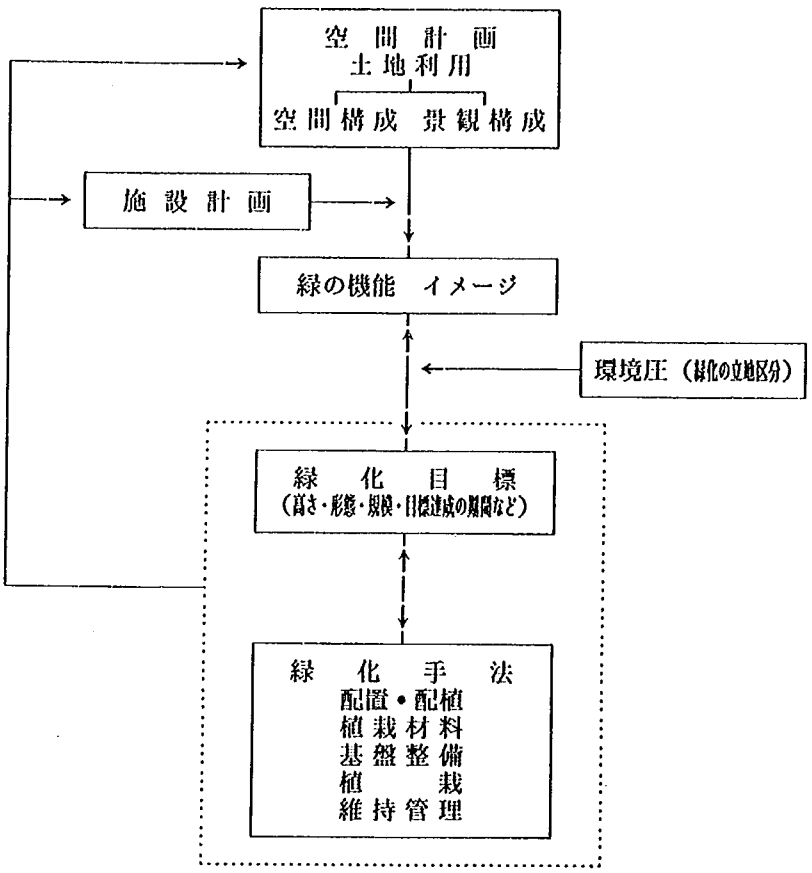
図―3．4．1　緑化計画の手順

緑化目標の設定に際しては、環境形成を意図した土地利用、空間構成、景観構成の上位計画および施設計画から求められる機能発揮やイメージ発揮の要請に基づき、緑化対象地の緑に対する海からの環境圧を考慮して、目標とする形態（高さ、構成、規模〈面積・幅〉）とその目標達成期間を設定することが重要である。

目標達成のための緑化手法を選ぶ際には、配置・配植、植栽材料、基盤整備、植栽、維持管理の面から検討を加えることにより、目標とする緑の形態やその目標達成期間に応じて効果的な手法を計画的に選定することが重要である。

緑化手法の検討に際しては、特に技術的な問題がないかどうか充分に検討し、問題がある場合には、その解決方法に関する詳細な検討が必要となる。技術的に解決困難な問題がある場合には、機能発揮やイメージ発揮の要請に支障をきたさない範囲で目標を設定し直す必要があり、また場合によっては、空間計画や施設計画の見直しが必要となる。一方、個々の植栽地に求められる整備水準や維持管理のために実施可能な労力

などの管理水準から緑化目標が規定されることもある。以上のような検討項目間の関係を図－3．4．2に示す。



図－3．4．2　緑化計画の検討項目間の関係

3．4．3　緑化計画

(1)　緑化計画の構成と展開の考え方

海岸地域では、海から内陸にかけて環境が急激に変化するので、その環境圧の強さに従い自然や景観が帯状の秩序を持って構成されている。このため、緑化計画を立案する上では、特に環境圧に対応した自然や景観の秩序に配慮し、緑の機能発揮やイメージ発揮を検討し緑化目標を設定する必要がある。

ここでは、図－3．4．2で示した緑化計画の検討項目に従い、海岸地域の環境圧に対応した標準的な緑化の立地区分を設定し、これに対する海洋性リゾートの緑化計画の構成と展開の考え方を示した。その考え方を図－3．4．3に示す。

緑化の立地区分は、海岸の最前部で潮風害を受け易い〈海岸・海浜域〉、海岸・海浜域の内側で潮風害がやや少ない〈臨海・沿岸域〉、臨海・沿岸域に続く内陸部で潮風害の少ない〈後背域〉の3つに設定される。

〈海岸・海浜域〉では、他の場所に較べて環境の変化が激しく、それに伴って多様な自然や景観が見られる。このため、それらを保全することにより海らしさや郷土性などの個性が発揮でき、さらに、内陸側に対する環境緩和のための防風・防潮や緩衝などの機能発揮が期待される。また、この区域でも様々な活動が行われる場所では、潮風に対する配慮のもとに目的に応じた緑による様々なイメージの演出が求められる。

〈臨海・沿岸域〉では、宿泊などの中心的な施設が配置される場合が多い。このため、緑には、風致・レクリエーション機能やトロピカルなイメージなどその場のテーマに合わせた演出が求められる。また、中心的な施設と周辺の自然や景観との調和を図るために、緩衝機能も求められる。

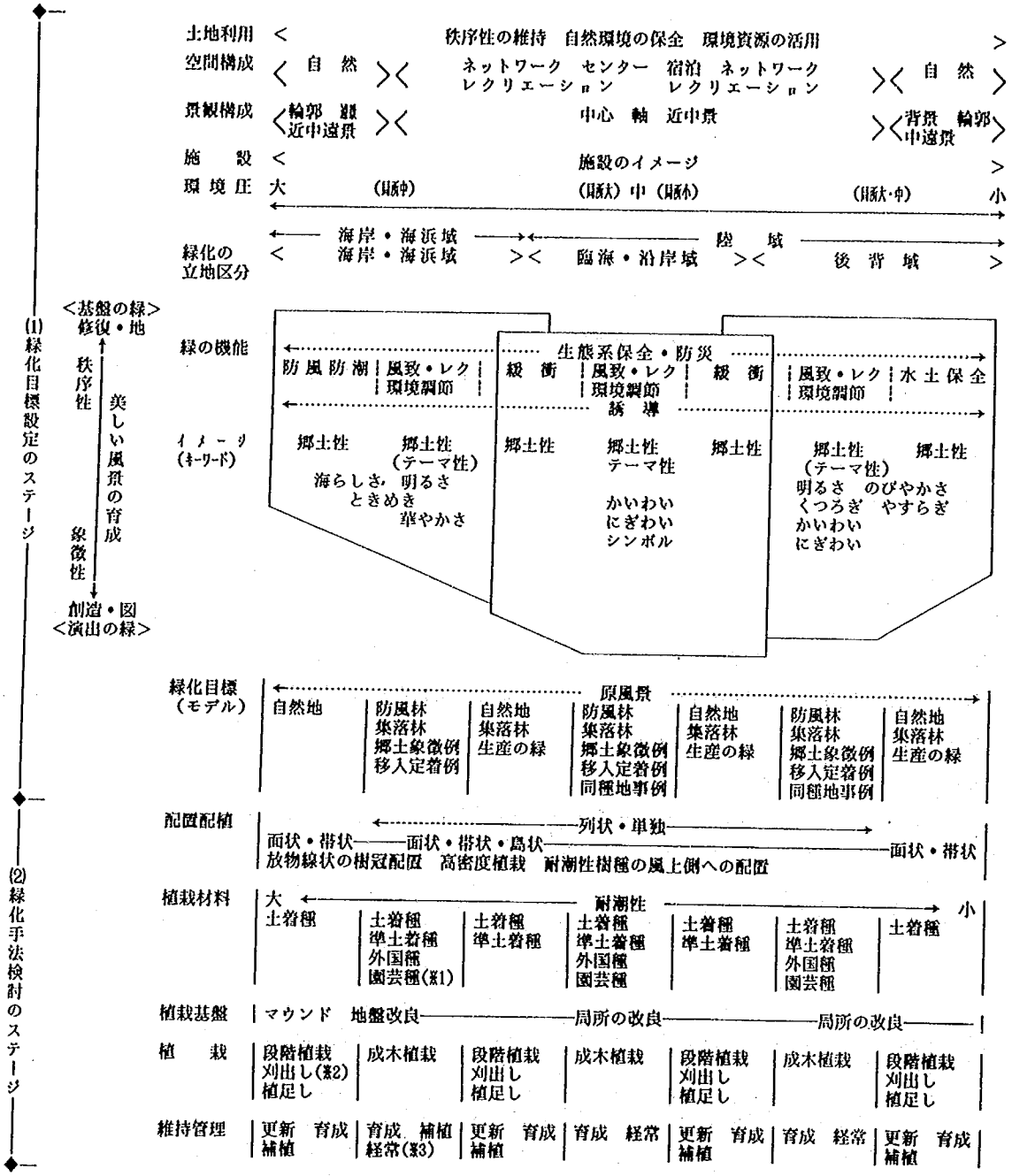
〈後背域〉は、海岸近くに較べて穏やかな環境にあるため、様々な活動が展開される可能性が高い。このため、緑には、風致・レクリエーション機能やその場のテーマ等に合わせた演出が求められる。また一方では、集水域の緑の水土保全機能により海への土砂流出等を防ぐことが求められ、また、自然やリゾートの背景として郷土のイメージづくりへの貢献も期待される。

なお、この考え方は、標準的と考えられる海岸を対象としたものであり、実際には、既存の自然や環境圧等の様々な条件に応じて緑化目標が決定される。

(2) 緑化目標

緑化目標を設定する上では、潮風や飛砂などの環境圧を十分に把握しそれに対処する必要がある。そのためには、計画対象地やその周辺地あるいは類例地の自然地、生産地、集落、市街地などそれぞれの場所で環境圧にどのように反応あるいは対処しているのかを見極め、それらを参考としながら目標を設定していくのが良いと考えられる。それらの目標とするモデルは、海岸際の自然地、集落林、防風林、類例地の良好事例である。

また、リゾートのテーマとして「かいわい」「にぎわい」「シンボル」などを演出するためには、潮風や飛砂の環境圧をコントロールする必要があり、海岸林や建物などとの位置関係に配慮しながら緑化目標を設定することが重要である。



(※1) 土着種：対象地に土着しているか潜在的に生育しうる種
準土着種：土着種以外で日本国内に土着している種
外国種：土着種・準土着種以外で外国に土着している種
園芸種：人の手によって造りだされた種

(※2) 目的とする種類や群落を目立たせるためにその周囲の植物を刈り取ること

(※3) 経常的に行われる管理

図－3．4．3 緑化計画の構成と展開の考え方

海岸の地形タイプごとの緑化目標設定上の留意点を以下に示す。

① 砂浜タイプ

外洋に面している場所などの強い海風が吹く砂浜では、潮風や飛砂の影響が大きく、快適な生活を行うためには防風防潮や飛砂防止の機能が強く求められる。海岸最前部の海岸林は防風防潮や飛砂防止の機能を持ち、かつ郷土や海らしさや自然のイメージを醸し出す点で非常に重要な役割を果たす。これらの役割を十分に活かすためには、潮風圧の条件を考慮し樹林を衰退させずに維持していく林帯幅の確保が必要となる。また、環境圧のそれほど強くない場所でも、砂浜と宿泊施設などの中心施設との間や施設の周囲に緑を設け、郷土性あるいはテーマ性の演出を図るとともに、緩衝的な機能として周囲の環境や景観との調和を図ることが良好な生活空間をつくる上で重要となる。

② 磯浜タイプ

海岸の磯の部分には自然の植生が残っていることが多く、それを保全することはリゾート地の自然性や郷土性を確保する上で非常に重要である。また、それに続く部分については、潮風等の環境圧の強さに応じ、環境や景観の連続性に留意し対処する必要がある。特に環境圧が強い場合には、磯の植生に連続させて防風・防潮機能を持つ樹林帯を設けるなどの対応が重要となる。

③ 埋立地タイプ

目標とする全体のイメージに対して、環境圧の条件を考慮した上で、防風防潮機能を持つ樹林帯、周囲の環境や景観との調和を図る緩衝的な機能を持つ緑、テーマ性・かいわい・にぎわいなどの演出のための緑などの緑化目標が決定される。環境圧が弱い場合には、目標設定の自由度は大きいが、環境圧が強い場合には樹種などの制約が大きく、目標の設定に注意する必要がある。

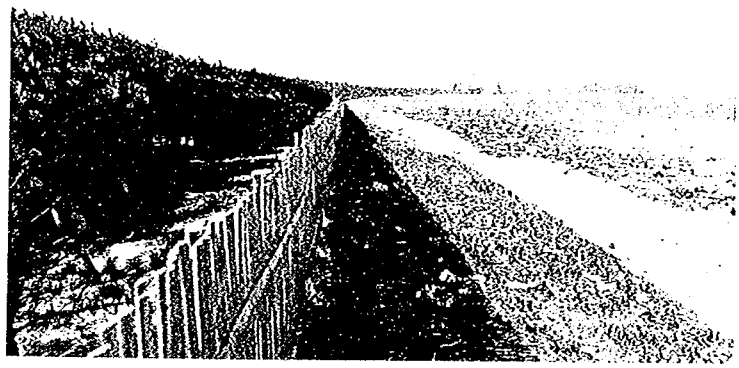
緑化の立地区分の中で、海岸・海浜域と臨海・沿岸域に相当する場所に対して、目標となりえる良好な緑化事例を砂浜、磯浜、埋立地の３つの海岸地形のタイプに分けて示した（写真―3.4.1～3.4.36参照）。なお、事例の位置は図－３．３．８を参照されたい。

a） 砂浜タイプ

①唐津　虹の松原

日本海側に面しており、冬季の季節風が非常に強い場所である。飛砂や潮風を遮るためにクロマツの樹林帯が幅広く造成され、郷土景観が形成されている。

写真－３．４．１　林帯の海岸際の最前部



・潮風や飛砂の影響で高さが低く抑えられており、それが自然の厳しさを感じさせる。

写真－３．４．２　林帯の内部



・環境圧が軽減されて樹高も高くなっている。林帯の内部に道路や保養施設があり、安心感が得られるが、曲がりくねった幹が環境の厳しさも感じさせる。

②宮古島東急リゾート1

サンゴ礁があるため波は比較的静かであるが、頻繁に台風が来る。潮風圧を軽減するために、海岸の第一線に自然の植生を残し、自然の雰囲気を強調している。



写真－３．４．３　林帯の海岸際の最前部

・アダンの低木林を残すことにより、潮風を緩和すると共に、自然な雰囲気を醸している。



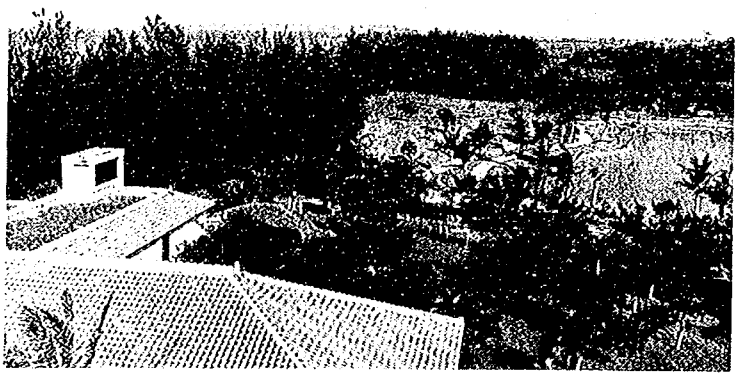
写真－３．４．４　林帯を横切る道

・テリハクサトベラやハマユウなどを林縁に植栽することにより林縁を保護し自然な雰囲気の演出を図っている。

③宮古島東急リゾート2

既存のモクマオウの防風林を残して潮風を軽減し、郷土景観を背景として、トロピカルなイメージのレクリエーション空間を演出している。

写真－3．4．5　海岸の防風林と後背部



・モクマオウの防風林が潮風を防ぎ、後背部に安定した空間をつくり多様な植栽を可能にしている。

写真－3．4．6　後背部のレク空間



・ヤシ類を主体とした植栽でトロピカルな雰囲気が演出されている。

④宮古島東急リゾート3

ホテルの周辺は、快適なレクリエーション空間が作られ、トロピカルなイメージが演出されている。内陸側の敷地の外周部には、外部空間との緩衝帯を設け、郷土景観を背景として快適なレクリエーション空間を演出している。



写真－3．4．7　ホテルの前庭

・ヤシ類以外に耐潮性のある土着種でトロピカルなイメージを持つ樹種が効果的に用いられている。

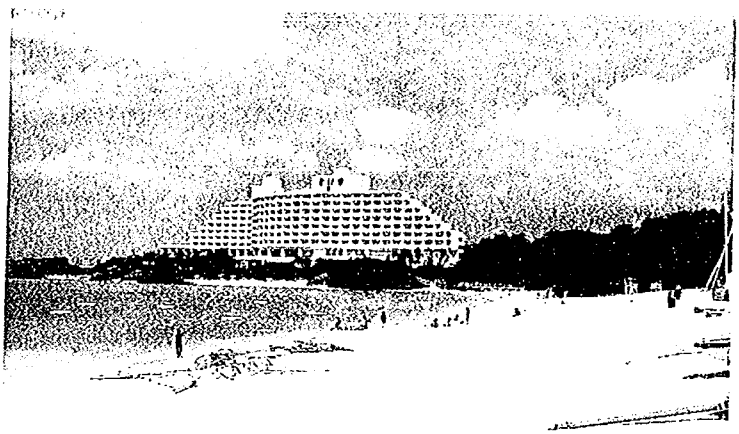


写真－3．4．8　ホテルの後背部

・敷地の外周部は、モクマオウや土着の樹種が用いられ、緩衝帯として郷土の緑が形成されている。

⑤万座ビーチ1

ビーチは内湾にあり、冬の季節風からも守られる場所に位置している。しかし、しばしば訪れる台風の影響はまぬがれない。砂浜の背後に残された既存の樹木や崖の既存林が防風や緩衝の役を果たすとともに、周囲の景観とも調和した郷土景観を形成している。



写真－3．4．9　ビーチの全景

・海岸際に既存林や既存木が残されているために、郷土景観が保たれている。

写真－3．4．10　ビーチの後背部



・ビーチとの境にモクマオウとアダンの既存木と海を背景として主として土着種を用いてトロピカルなイメージを演出している。

⑥万座ビーチ２

ビーチの背後のレクリエーション空間のさらに背後にある駐車場で、緩衝帯として帯状に植栽帯が設けられている。

写真－３．４．１１　駐車場



・他の土地利用との緩衝帯としての役割を果たし、郷土景観の骨格の一部を形成している。壁面緑化も行われ、きめ細く緑化されている。
（写真－３．４．１１、３．４．１２）

写真－３．４．１２　駐車場



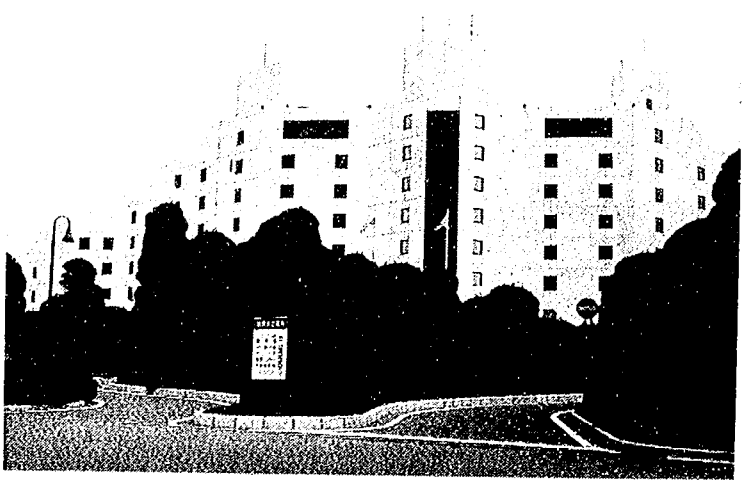
⑦海の中道海浜公園・ホテル海の中道

博多湾に面した比較的環境の穏やかな場所であるが、クロマツの既存林に加え常緑樹の緩衝帯をつくり、耐潮性の高いカイズカイブキやカナリーヤシなどにより海岸らしさの演出を図っている。



写真－3．4．13　海岸部

・クロマツや常緑樹を背景とし、広い芝生地とカナリーヤシの植栽により、すっきりとした雰囲気づくりを行なっている。

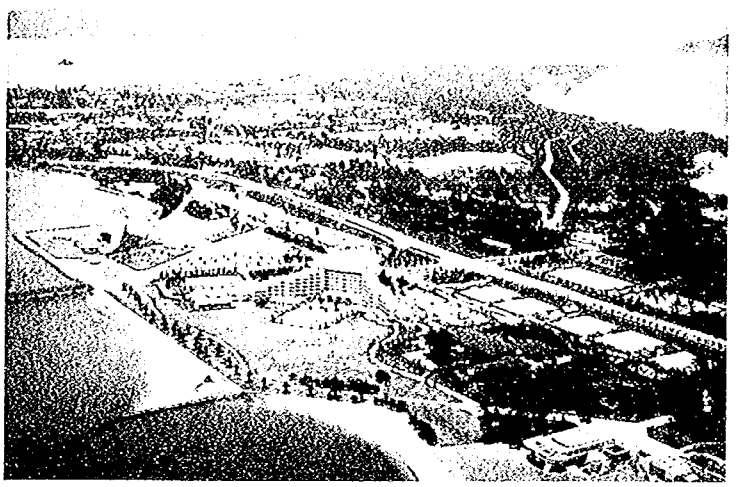


写真－3．4．14　後背部

・カイズカイブキの群植により建物の威圧感を和らげている。

⑧海の中道海浜公園

冬の季節風が非常に強い場所で、海岸よりにクロマツの防風林があり、それにより風を防ぎ、風下側に多様で安定した空間をつくっている。



写真－３．４．１５　海岸防風林と公園

・玄海灘側にクロマツの防風林があり、それにより冬の季節風を防ぎ博多湾側に安定した多様な空間を造っている。



写真－３．４．１６　海岸防風林

・防風林の内部は環境も穏やかで、サイクリングロードなどが通っている。

b） 磯浜タイプ

①ムーンビーチ

サンゴ礁に守られて波は比較的穏やかであるが、外洋に面し冬の季節風が直接当たる場所に位置している。岩礁部の自然植生の緩衝帯に対して、後背部にヤシ類を導入してトロピカルなイメージを演出している。



写真－３．４．１７　海岸の岩礁部

・アダンやテリハクサトベラの自然の低木林と後背部のヤシ類でトロピカルな雰囲気を演出している。

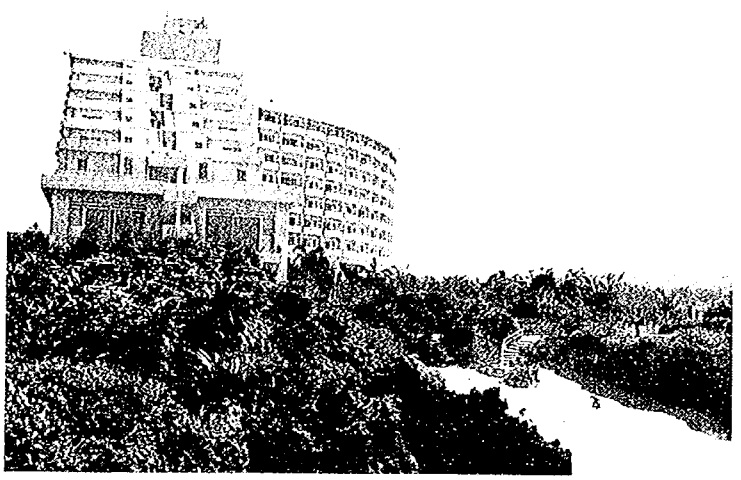


写真－３．４．１８　岩礁部の後背部

・後背部に岩礁部の構成種をヤシ類と混ぜることにより自然景観との調和を図っている。

②万座ビーチ1

ホテルのある岩礁部は、外洋に面し季節風が直接当る場所に位置している。防風と緩衝の役割を兼ねて、既存の植生を残し、郷土景観を形成している。



写真－3．4．19　ホテルのある岬の突端

・自然植生をそのまま残し、自然の厳しさを感じさせている。



写真－3．4．20　ホテルへのアプローチ

・リュウキュウマツの既存林を残して緑のボリュウムを保ちホテルの圧迫感を弱めている。

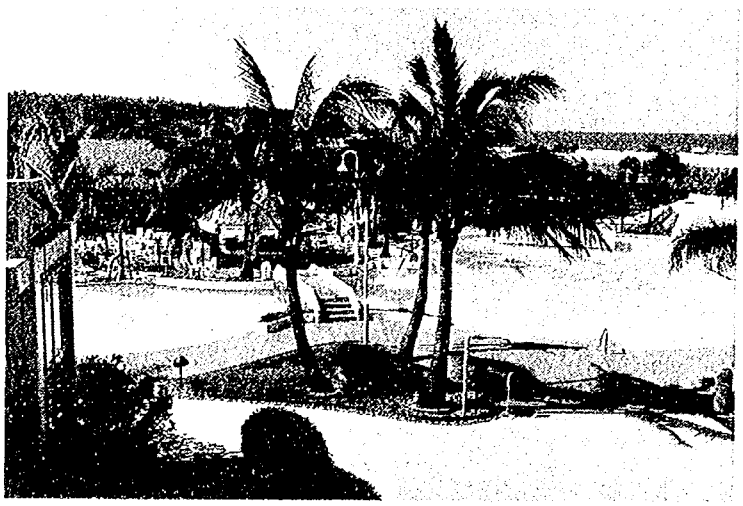
②万座ビーチ2

ホテルの前庭は、ホテルにより季節風が遮られるため比較的環境圧が緩和されている。岩礁部の既存林と海を背景としてヤシ類でトロピカルなイメージを演出している。



写真－3.4.21　ホテルの前庭

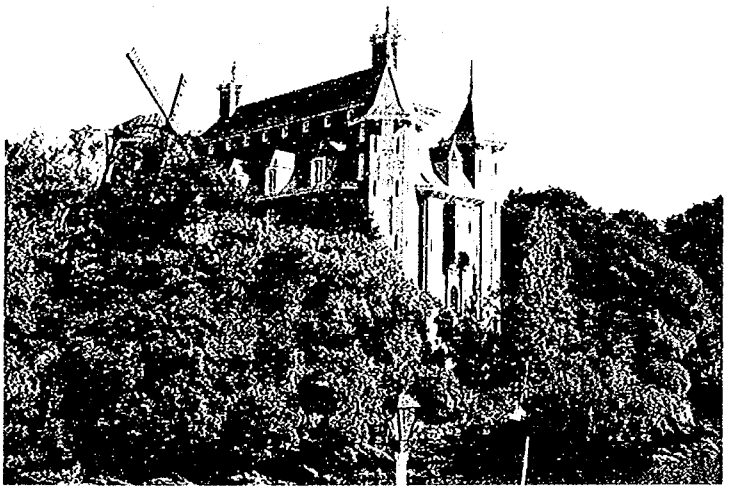
・ヤシ類を中心とした植栽により、トロピカルな雰囲気を演出している。
（写真－3.4.21、3.4.22）



写真－3.4.22　ホテルの前庭

③長崎オランダ村1

内湾に位置しており、潮風などの環境圧は小さい。内部の環境圧を抑えるとともに、周辺の環境との調和や内部景観演出のための緩衝的な役割を持たせるために、海岸の崖の既存林を残している。



写真－3．4．23　海岸部の既存林

・海岸部の既存林を残すことにより、建物を周囲の景観となじませている。また、敷地外との緩衝帯や内部景観の背景ともなり良好な景観を造り出している。
（写真－3．4．23、3．4．24）

写真－3．4．24　海岸部の既存林



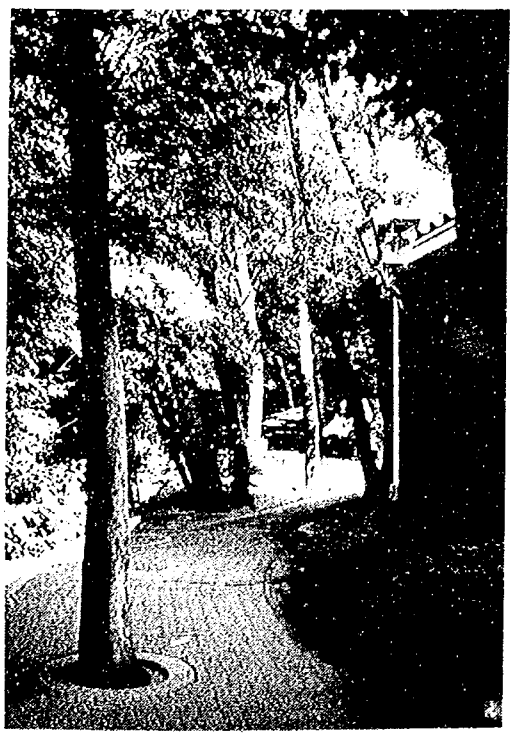
④長崎オランダ村2

既存林の中や縁辺部を通る道では、崩壊や侵食など著しい悪影響を与えないように、既存林を極力残して林縁部を保護するなどにより、自然の雰囲気を高めている。



写真－3．4．25　既存林の中の道

・自然石の擁壁や林縁の植生を整えることにより、自然の雰囲気を醸している。



写真－3．4．26　既存林の縁辺の道

・既存の樹木を極力残し自然の雰囲気を高めている。

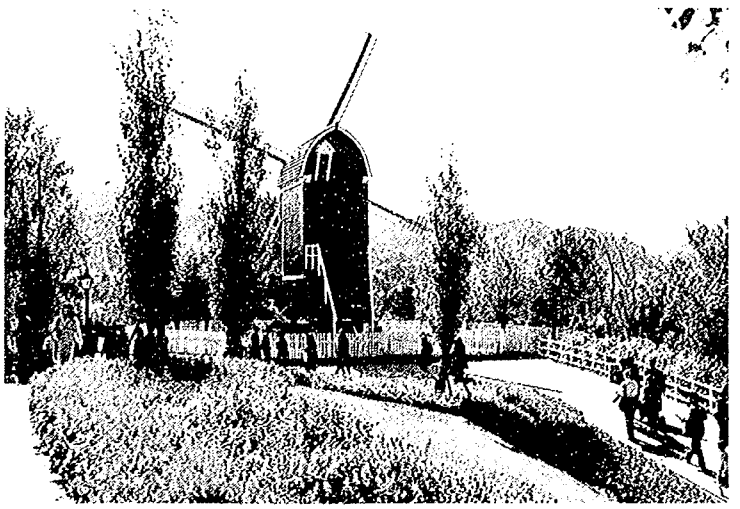
⑤長崎オランダ村3

中心施設やそれへのアプローチは、花などによりオランダらしさの演出を図っている。



写真－3．4．27　広場

・花壇やフラワーポットなどにより演出している。



写真－3．4．28　アプローチ

・道沿いに花壇を配置しオランダらしい華やかさを演出している。

⑥長崎オランダ村4

内部のゾーンとゾーンの間や敷地の外周部には、各ゾーンや内部のイメージを壊さないように、緩衝帯として帯状の緑地を設けている。



写真－3.4.29　ゾーン間の緑地

・建物の前面をボリュウムのある樹木で遮蔽し違和感を与えないようにしている。



写真－3.4.30　敷地の外周部の緑地

・内部から敷地の外周部が極力見えないように遮蔽植栽などを行っている。

⑦国営沖縄記念公園

台風や季節風により環境圧が非常に厳しいところであり、耐潮性の高い郷土の樹林や樹木を骨格として郷土の景観やトロピカルな景観が演出されている。



写真－3．4．31　正面入口付近の広場

・海と郷土の樹林を背景として、郷土の景観が演出されている。郷土の樹木のガジュマルなどは樹木や葉の形態からトロピカルな雰囲気も合わせ持っている。

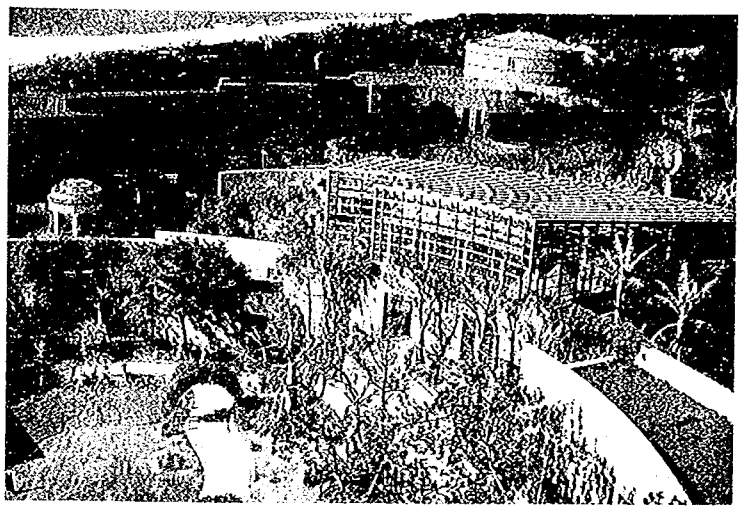
（写真－3．4．31、3．4．32）



写真－3．4．32　正面入口付近の広場

⑧国営沖縄記念公園・熱帯ドリームセンター

建物や周囲の樹林により環境圧を防ぎ、内部空間の環境圧を低下させて多様な景観を演出している。



写真－3.4.33　中心施設

・建物や壁面が潮風を防ぐように配置され、内部に密度の高い植栽を行い、トロピカルな雰囲気を演出している。
（写真－3.4.33、3.4.34）



写真－3.4.34　中心施設

ｃ） 埋立地タイプ

①シーボニア

深く入り込んでいる湾内に位置しており、環境圧は比較的弱い。トロピカルなイメージを演出するために、ヤシ類を群状や列状に植えるなどにより効果的に配置している。



写真－３．４．３５　コンドミニアムの背後

・ヤシ類を列植や群植により効果的に配置し、建物の圧迫間を抑え、かつトロピカルな雰囲気を演出している。
（写真－３．４．３５、３．４．３６）



写真－３．４．３６　コンドミニアムの背後

(3) 緑化手法

緑化手法を検討するに際しては、個々の緑化対象地について設定した緑化目標に従い、対象地の環境条件を考慮して目標を実現する配置・配植を設定し植栽材料を選定する。同時に、これらを実現する基盤造成、植栽、維持管理の手法を検討する。

緑化目標を達成させるための形態などの要件は、集約すると「緑が健全に生育し見どころを発揮させること」になる。このため、緑化手法の検討では、緑を海岸の環境の条件にいかに適応させるかが課題となる。

緑化手法検討の各対応段階での設定内容と海岸の環境条件に対する対応の要点を、表－3．4．1に示す。

海岸地域の環境条件は、植物の生育にとって厳しく、潮風・波浪・砂の体積や移動・波による土地の侵食などが植物の生育を制限する要因として働いている。これらの制限要因は、地域や海岸の地形条件など場所により違いがある。海岸の地形タイプの違いにより植物の生育を制限する要因を表－3．4．2に示す。

海岸地域の各種の植物生育の制限要因に対しては様々な技術対策が考えられるが、それらを緑化手法検討の対応段階ごとに整理すると表－3．4．3に示す通りとなる。

また、海岸の環境条件に対する、各々の緑化手法検討の対応段階での手法について以下に示す。

a） 配置・配植

海岸地域では、潮風や波浪などの海の影響を受けて、植物の生育環境としては厳しい条件となっている。このため、海岸の前面には耐性の強い種類を置き、耐性の劣る種類は耐性の強い種類の後背部に植栽することが基本となる。また、単植よりも群植の方が環境圧を分散することができるため、海岸地域のような厳しい条件の場所では面状・帯状・島状の配植が効果的である。多様な植栽が求められるリゾートでは局所的な環境条件をも配慮した配置や配植が求められる。

潮風の強い場所では一定の幅をもつ樹林帯を海側に設けて、その陸側に潮風の弱い空間を形成させる。

表－3．4．1 緑化手法検討の対応階段の設定内容と対応の要点

対応段階	設定内容	対応の要点
配置・配植	植栽単位・密度・樹冠線など	・潮風等の環境圧に見合った植栽単位、密度樹冠線等の設定
植栽材料	樹種選定・形状・品質・調達など	・潮風等の環境圧に見合った材料の選定 ・海岸の郷土景観を乱さない材料の選定
基盤造成	地形造成・客土・土層耕起・排水施設・土壌改良材など	・潮風や飛砂を軽減する地形造成 ・砂浜や岩石地などのせき悪土壌の改良
植栽	工程・植栽時期・植栽方式・施肥・支柱・防風施設など	・潮風等の環境圧に見合った段階植栽、成木植栽などの使い分け
維持管理	体制・指針・補植・灌水・病中害防除・下刈りなど	・整備水準に応じた経常管理のレベルの設定 ・既存林の更新・育成・補植などの管理 ・生育状況のチェックと管理内容の修正

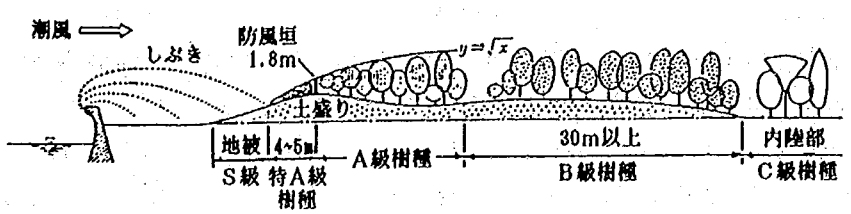
表－3．4．2　植物の生育を制限する要因

	砂浜海岸	塩湿地海岸	岩石海岸	埋立地海岸
地上部	潮風・波浪・塩分飛沫・潮の干満など			
地下部	・基盤が砂のため養・水分含量が少ない ・砂の移動・堆積（飛砂） ・塩分濃度が高い	・過湿 ・塩分濃度が極度に高い（潮干帯）	・基盤が岩のため養・水分含量が少なく根の侵入が困難 ・岩の崩落 ・塩分濃度が高い	・基盤が埋立土のため養・水分含量が少ないことや湛水して過湿になることや塩分濃度が高いことなど様々

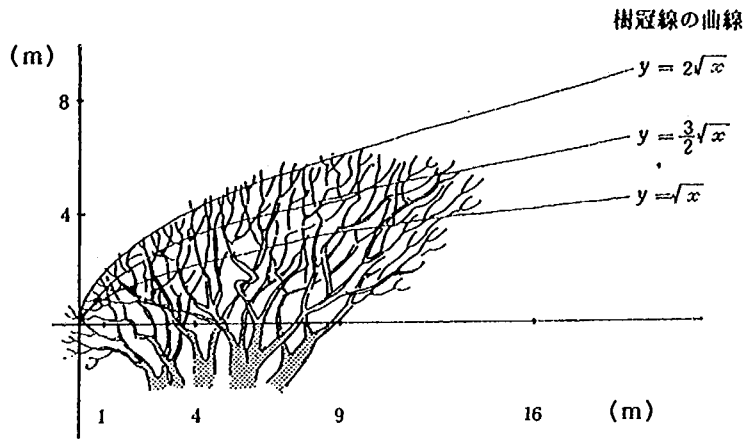
表－3．4．3　海岸地域の植物生育の制限要因に対する対応技術

植物生育の制限要因 ＼ 緑化手法検討の対応段階	潮風	波浪・塩分飛沫 潮の干満	貧養	乾燥	飛砂	強塩分土 強アルカリ土	排水不良
① 植栽材料	適性種の選択　苗木からの導入　根系の良く発達した材料						
② 配置・配植	・耐潮性の大きい種の風上側への配置 ・樹冠の形態・密度・樹種構成の工夫				・植栽帯の配置 ・幅の広い林帯の確保		
③ 植栽基盤造成	人工砂丘		・土壌改良 ・客土	・土壌改良 ・客土	・人工砂丘	・排水施設 ・土壌改良 ・客土	・排水施設 ・盛土 ・土壌耕起
④ 植栽	・防潮風施設 ・蒸散抑制剤		・施肥 ・肥料木の混植	・マルチ ・防潮風施設	・防潮風施設		
	幼木を用いた生態的工法						
⑤ 維持管理	・灌水・洗浄		・施肥	・灌水		・灌水	

その樹林帯の林冠は図－3．4．4に示すように放物線を描くようにするのが良い。若干潮風が弱まる場所では、耐潮性のあるクロマツや常緑広葉樹は単木でも生育が可能となるが、樹木は図－3．4．5に示すような風衝形となる点を考慮しておく必要がある。



図－3．4．4　臨海埋立地グリーンベルト案（東京都港湾局ほか，1972）



図－3．4．5　臨海地域における潮風に対する樹木の風衝形の様相

（東京都港湾局ほか，1972）

b）　植栽材料

緑化の対象とする樹種は、①植物の生育にとって最低必要条件である温度条件や海岸の潮風等に適応する樹種の中から、②歴史的に地域の固有な植物景観を構成している樹種、③植栽地の土地条件に対してそこが本来的な生育地となっている樹種、④各種の演出に対して見どころとなる可能性の高い樹種を、緑の基盤づくりや緑の演出の考え方に則して選ぶのが効果的である。

4つの選定原則に対する選定指標を以下に示す。

①　→　自然分布、生育実績（植栽分布）、耐潮性・耐塩性など

②　→　土着性（土着種、準土着種、外国種、園芸種）

③　→　植生タイプ（樹林構成種、林縁構成種、草地構成種）、土壌立地（湿～乾）

④　→　生育型（常落、針広、高中低）、花や実や紅葉などの見どころ

海岸地域においては、特に海の影響により内陸性の樹種の生育が困難な場合が多く、各々の場所の潮風の強さや土壌の貧養や乾燥や塩分などに応じて適性種を使い分ける必要がある。耐潮性や耐塩性のある樹種の例を、表－3．4．4に示す。

潮風に対しては最も注意する必要がある。潮風圧の程度はいくつかの階級に使い分けられるが、緑化の立場から階級を分けた例（本間，1973）では、臨海樹林をモデルとして①樹林の前端部の樹木の風衝形などと②臨海樹林の海岸線に対する部位により潮風圧の程度を以下のように分けている。①についてはA級（風衝形が顕著な場合）、B級（風衝形がやや認められる場合）、C級（風衝形が全く認められない場合）、②についてはBeltⅠ（臨海樹林の最前部で強風時の潮風害が最も大きい部分）、BeltⅡ（臨海樹林のBeltⅠに続く内陸側・中央部分で強風時の潮風害がやや少ない部分）、BeltⅢ（臨海樹林のBeltⅡに続く最内陸部で強風時の潮風害が最も少ない部分）の分類が用いられている。①と②の組合わせによる潮風圧の場に出現する種類間には図－3．4．6に示すような関係が成立している。例えば、B級のBeltⅠに出現可能

な植栽材料は、A級ではBeltⅡより内陸で出現が可能で、BeltⅠでは生育が困難と考えられる。そして、臨海樹林の調査によりその地区の極地的な潮風の強弱が把握でき、植栽計画・設計への応用が可能となる。また、潮風の階級に適する植物として表－３．４．５に示す植物があげられる。

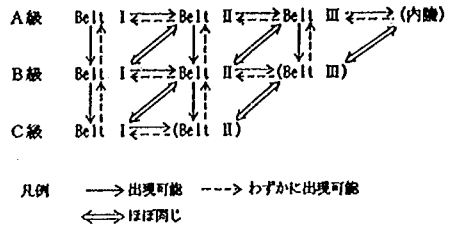
表－３．４．４　耐潮性・耐塩性のある樹種（通商産業省立地公害局立地指導課（1976）を参考に作成）

樹名	耐潮性	耐塩性
◎常緑針葉樹		
アカマツ	×	×
アヌマツ	△	△
イイチイ	○	△
イヌガヤ	△	△
カイヅカイブキ	◎	○
クロマツ	◎	○
コウヤマキ	△	△
サワラ	×	×
トウヒ	×	×
ノチガシワ	×	×
モミ	×	×
ヨウマツ	△	×
スギ	×	×
チャボヒバ	×	×
ヒノキ	×	×
ヒマラヤスギ	△	△
◎常緑広葉樹		
アオキ	○	△
アラカシ	△	△
アセビ	△	△
(半常緑)アベリア	△	△
イスノキ	△	◎
イヌガシ	◎	○
カクレミノ	△	△
キョウチクトウ	○	○
(半常緑)オオバイボタ	◎	◎
カンツバキ	○	△
キンモクセイ	△	×
クスノキ	△	△
ロガネモチ	△	△
ケイヅタ	○	△
チナミジ	○	△
ゴンズイ	△	△
ザツキ	△	△
シラカシ類	△	×
ヤリバカエデ	△	△
ヒイラギモチ	◎	○
ヨウラクツバキ	△	△
ヒヨドリジョウゴ	○	×
ヒサカキ	○	○
ベニカナメモチ	◎	○
マサキ	◎	○
ヒメユズリハ	△	○
ミズキ	○	△
ミヤマキリシマ	○	×
ルテツバキ	○	△
ヤブコウジ	△	△
ヤマグルマ	◎	○
ユズリハ	○	○
ユニメモチ	○	△
ヤブツバキ	○	○

樹名	耐潮性	耐塩性
キササゲ	◎	◎
キリ	○	○
ハゲイチョウ	○	○
ミキ	○	○
ワシロノチモミ	◎	○
◎落葉針葉樹		
カラマツ	×	×
ラクウショウ	△	△
◎落葉広葉樹		
アオギリ	△	△
アキニレ	△	△
アキグミ	◎	○
アジサイ	○	×
イヌエンジュ	△	○
イヌツゲ	△	△
ウメモドキ類	△	×
エンジュ	○	△
オオシマザクラ	○	△
カエデ類	×	×
カツラ	×	×
ケヤキ	×	×
コブシ	×	×
サルスベリ	△	△
シラカシ	×	×
シャリンバイ	○	○
ナギ	△	△
ジンチョウゲ	△	△
センダン	△	△
チャノキ	△	△
ドウダンツツジ	×	×
ナカムラノキ	×	×
ハンノキ	△	△
ヒサカキ	×	×
アキグミ	○	○
ムクノキ	○	△
モチノキ	◎	○
ヤブツバキ	×	×
ヤブニッケイ	△	×
ヤマグルマ	△	△
ヨシノキ	○	△
ヤマモミジ	×	×
ヤマハゼ	○	△
ヤマブキ	△	△
ヤマボウシ	×	×
ユキヤナギ	×	×
ユリノキ	×	×
◎特殊植物		
アツバキミガヨラン	◎	◎
イトラン	◎	◎
サユテンリュウ	◎	◎
サツキ類	◎	◎
セイヨウヒイラギナンテン	◎	◎
ソテツ	◎	◎
タケ類	◎	◎
ドラセナ	◎	◎
フヨウ	△	△
ヤシ類	○	○
ヤツデ	◎	○
リュウゼツラン	◎	○

耐性のきわめて強いもの…◎
耐性の強いもの……○
耐性のやや弱いもの……△
耐性のきわめて弱いもの…×

（注）　耐潮性――耐潮風害性
　　耐塩性――耐土中塩分害性



図－3．4．6　植栽材料の耐潮性の階級（本間，1973）

表－3．4．5　潮風の強さがA級の場合のBeltⅠ・Ⅱ・Ⅲ及び内陸に適する植物（本間，1973）

	BELT I		BELT II		BELT III		内陸	
	常緑	落葉	常緑	落葉	常緑	落葉	常緑	落葉
高木層（B_1）	クロマツ				アカマツ ヒマラヤスギ クスノキ、クスノキ シロダモ ホルトノキ スダジイ ツブラジイ クロガネモチ アラカシ	イチョウ シンジュ クヌギ コナラ センダン スズカケノキ アオギリ ハリギリ	ヒノキ サワラ ヒムロスギ ツガ スギ イタリアイトスギ モミ シラカシ アカガシ	ケヤキ アメリカヤマナラシ イタリアポプラ モミジバフウ カツラ トウカエデ シダレヤナギ
亜高木層（B_2）	イブキ カイズカイブキ トキワギョリュウ ビロウ	ギョリュウ	イヌガヤ、イチイ ヤブニッケイ ヒメユズリハ ヤブツバキ ヒサカキ イヌツゲ	オオシマザクラ エノキ ムクノキ オオバヤシャブシ ニセアカシア エンジュ	イヌマキ サンゴジュ ヤマモモ、モッコク モチノキ、タラヨウ イスノキ、ハマビワ クイミンクチバナ フサアカシア ユーカリー サカキ オガタマノキ カクレミノ	ミズキ アキニレ ゴンズイ ソルウメモドキ	キンモクセイ ギンモクセイ ヒイラギ	ソメイヨシノ モクレン コブシ ハンノキ ヤマモミジ
低木層（S）	トベラ、マサキ ボクシュウマサキ マルバシャリンバイ シャリンバイ ナワシログミ マルバグミ ハマヒサカキ クバベガシ アコバキミガヨラン アオノリュウゼツラン ソテツ、メダケ ネザサ、ダンチク ニンドウ マキバブラシノキ オオイタビ ニューサイラン トキワススキ	オオバイボタ クコ ハマゴウ ハマセンナ ハマナシ ヨモギイタソウ アキグミ パンパスグラス ハチジョウススキ アメリカンビーチグラス	ネズ、キャラボク ツルグミ キョウチクトウ オリーブノキ ジンチョウゲ シャシャンボ ヤツデ アオキ キブシ クチナシ サネカズラ	ガクアジサイ アカメガシワ クサギ ハマゴウ ヤマグワ イボタノキ イヌコリヤナギ イヌビワ ハチジョウキブシ アメリカデイコ	ハクサンボク ツゲ マンリョウ	カンコノキ カラスザンショウ サンショウ サイカチ マユミ ハコネウツギ ヌルデ ガマズミ ハナゾノツクバネウツギ ウツギ アケビ ミツバアケビ	コノテガシワ クルメツツジ ヒラドツツジ サツキツツジ シャクナゲ	ニシキギ チョウセンレンギョウ レンギョウ
草本層（K）	ヒゲスゲ、ツワブキ イソギク、ダルマギク ハマナデシコ タイトウコメ オノマンネングサ マルバマンネングサ アツバギク ハマニンニク ケンタッキー31フェスク クリーピングレッドフェスク	ノシバ コウライシバ ビロードシバ ギョウギシバ バミューダグラス ハマオモト ハマヒルガオ クィーピングラブグラス Tifton turf タチテンモンドウ チガヤ	テイカカズラ フウトウカズラ ヤブラン リュウノヒゲ タツタナデシコ ツルニチニチソウ	カキドオシ ツボクサ ディコンドラ	Belt Iに同じ	Belt IIに同じ	シュンラン エビネラン カンアオイ ハナツメクサ	

c）　植栽基盤造成

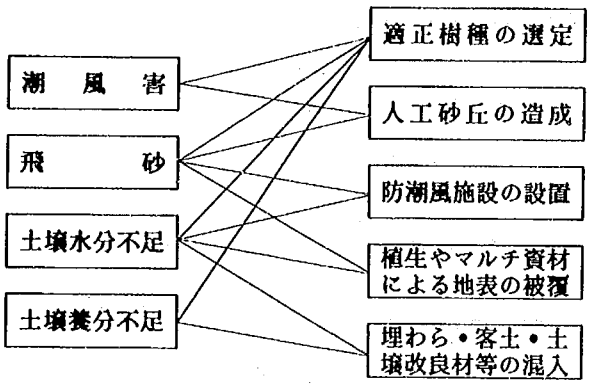
一般に海岸地域は、養分や水分の含有量が少なく、塩分濃度の高い土壌の場合が多い。また、砂浜は飛砂により砂が移動するので、植物の生育基盤として不安定な場合が多い。そのため、これらの環境条件に適応する植物以外のものを植栽する場合には、植栽基盤を改良する必要がある。特に、多様な植物を植栽する場合には、土壌改良材による改良や客土などが必要となる。

砂浜海岸では基盤が砂のために、海から吹く強風で飛砂が起こり、移動・堆積を繰り返し、植物の生育

を制限する要因となっている。この現象は潮風や土壌の乾燥とも密接に結びついており、飛砂を防止することが潮風や土壌の乾燥を軽減することとなる。

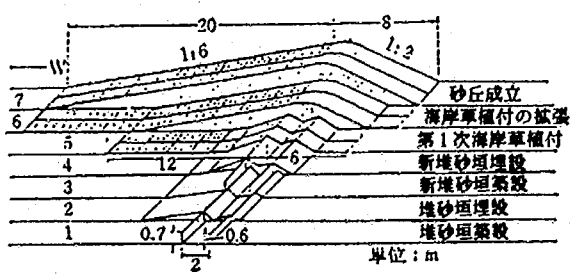
砂浜海岸の緑化では、林業的な手法が普及しており、基盤整備では、潮風・飛砂・土壌水分や養分の不足対策としての人工砂丘の造成や埋わら・客土・土壌改良材等の混入が効果的である。

潮風、飛砂、土壌の水分不足に対しては、人工砂丘を造成し、適性樹種の選定、防風施設の設置・植生やマルチング資材による地表の被覆等を組み合わせる方法が最も効果的である。また、土壌の水分不足や養分不足については、保肥・保水力を増加させるために、埋わら・客土・土壌改良材等の混入が効果的である（図－３．４．７参照）。

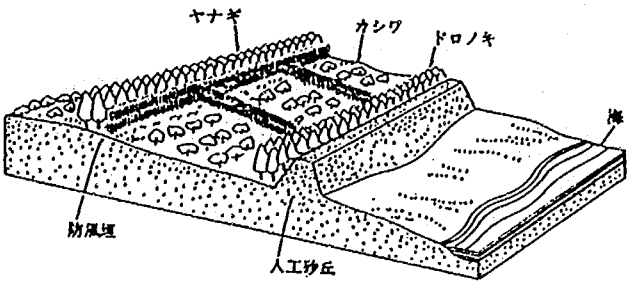


図－３．４．７　砂浜海岸の緑化の問題点とその対策

人工砂丘の造成には、図－３．４．８および図－３．４．９に示すように、堆砂垣を利用して自然の風の力により砂丘を造成する方法や人工的に造成した砂丘の背後にクロマツ（本州以南）やカシワ（北海道）を主体とした造林を行うことにより、潮風や飛砂の圧力を和らげる方法がある。

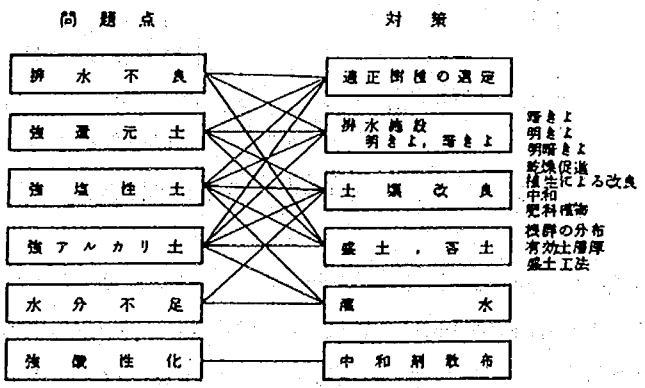


図－３．４．８　ヨーロッパにおける人工砂丘築設の段階（原，1952）

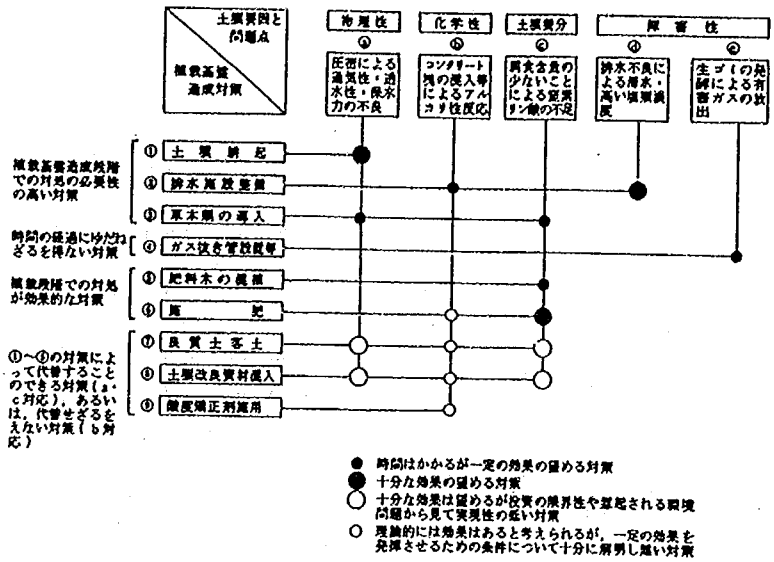


図－3．4．9　人工砂丘を用いた北海道の緑化例（倉田，1979）

埋立地海岸では、埋立ての経緯により、通気性・透水性・保水力の不足、排水不良、アルカリ土、水分不足、養分不足など様々な不良条件のもとにある場合が多い。これらの土壌の物理性・化学性・土壌養分不足・障害性を改善するためには、改良資材を用いての土壌改良・土壌耕起・客土・排水施設整備等を行い、それに加えて耐性種の選定等の対策が効果的である（図－3．4．10、3．4．11参照）。



図－3．4．10　ヘドロ地盤と砂質土地盤の問題点とその対策
（日本住宅公団首都圏宅地開発本部ほか，1980）



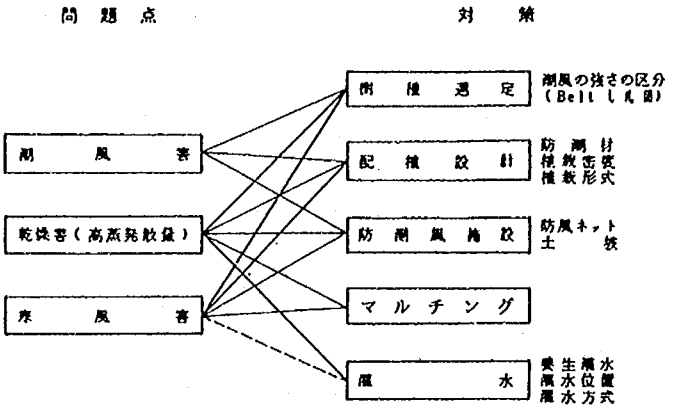
図－３．４．１１　建設発生残土によるゴミ埋立地の問題点とその対策（東京都港湾局ほか，1982）

d）植栽

環境圧の強さと目標達成期間により、幼木を用いた段階植栽か成木植栽かを選択することが重要である。潮風圧が非常に強い所では、幼木を用いた段階植栽しか選択できない場合もある。目標達成までの時間を長くとれる場所では、段階植栽を行うのが望ましい。緑化目標の達成期間を短くする場合には、成木を植栽する。成木植栽は、環境圧のストレスを受け易く、目標状態になるまでにかえって時間がかかり、あるいは、枯死することもある。成木植栽を行う場合には、植栽帯などで潮風が弱められる場所や内湾などの潮風が弱い場所で行うのが安全である。それも耐潮性のある樹種に限られる。

地上部の潮風（気象環境圧）に対しては、塩分や乾燥に対して抵抗性のある樹種を海岸に近い場所から順次配置し、潮風を弱めながら潮風に対して抵抗性のない樹種を内陸に植栽することが効果的である。したがって、植栽地の潮風の強さを周辺の植生や植栽植物により的確に判断し、それに対する耐性のある種を選定することが必要となるが、植栽施工の段階で潮風を弱める各種防潮風施設を設置するのも有効である。特に、リゾートでは短期間に景観づくりを行うことを目標とする場合も多く、潮風に強くない成木を移植する際などでは防潮風施設は不可欠である。

防潮風施設には、潮風に対して耐性の弱い樹種を植栽する場合の恒久的なものと、抵抗性の弱い植栽時だけ潮風から守る一時的なものがある。さらに、施工時のマルチングや灌水も潮風による土壌の乾燥を防止する効果がある（図－3.4.12参照）。



図－３．４．１２　気象環境の問題点とその対策（日本住宅公団首都圏宅地開発本部ほか，1980）

ｅ）維持管理

環境の秩序性の維持や自然環境の保全などの目的で残される既存林については、林相の改良、林縁や林内の管理など、場所によって更新・育成・補植などの管理を行い、機能を維持し高めていくことが重要である。

常に緑を良好な状態にしておくためには、管理のレベルを設定して経常的に維持管理していくことが必要である。リゾートにおいては特に、除草や清掃、高木や灌木の剪定、刈込み、芝や花の手入れなど、一般的な管理でも密度の高い管理が要求される。

さらに、海岸近くでは、潮風による塩害や台風による強風など予測できない被害が生じる危険性がある。このため、生育状況を常にチェックし、管理内容の見直しをするなどの体制を整えておくことが有効である。

東京ディズニーランドでは、塩害対策として、灌水による塩分洗浄に連動したシステムの開発を予定しており、現在、塩分測定装置を含めた気象観測装置を設置し、空中塩分濃度と植物の塩害の関係などのデータを集めている。また、塩害による樹形の矯正として、樹木を反転させることなどの管理も行っている。

３．５　施設計画

３．５．１　基本的考え方

海洋性リゾートの施設計画に当っては、空間計画でも述べたように、多様なニーズに対応し、質の高いサービス水準を備えた施設づくりが必要とされることから、各施設の計画に当っては以下に示す基本的な考え方に基づいて計画することが重要である。なお、全ての施設に共通することとして、海からの視点（低い視点からの景観）に留意することが挙げられる。また、台風による高潮や強雨あるいは雷など、わが国特有の気象・海象条件を十分考慮することも重要である。

(1) マリーナ

a） 親水空間としての開放的な配置

海洋性リゾートがその魅力や快適性を維持し、リゾート客を誘導するためには、海岸線を含む水際線の魅力づくりと親水空間への自由な接近の確保が最も重要である。

海外の事例によれば、まずリゾートの核である水際線周辺にはホテル、リゾートマンション、コンドミニアム等の高層の宿泊・滞在施設や商業施設などを配置して、魅力ある親水空間を構築している。その外側には大多数のリゾート客が利用する個人用別荘、キャンプ場、アパート等の低層住宅を置き、さらに外側には陸上レクリエーションや文化教養などの施設を配置している。これらの点は魅力ある親水空間の形成を促進するためであり、人々が共有すべき限られた親水空間を、過度な人の集中から守るためでもある。さらに、このような配置計画によって人の動線は海側へも内陸部へも自由な移動が可能となり、リゾート客は全てのレクリエーションに対する幅広い選択の自由が確保される。

b） 公共空間としての整備

マリーナには、ボーティングを行わない人々をも引きつける魅力がある。マリーナは単にボーティングを行う人のものだけではなく、広く一般の人々がマリーナを訪れ、食事やショッピングを楽しんだり、風景を眺めたり、散歩をしたりできるような“ヨット・ボートのある公園”として開放された空間とする必要がある。

マリーナ空間を解放する手法としては、水際線周辺にマリーナ空間へ簡単に接近できるプロムナードのような施設を設け、その付近に、多様な人々が楽しめる多種な施設を適切に配置することがポイントとなる。

c） リゾートの景観を構成する施設づくり

マリーナにおいては、ヨットやボートに搭乗して海上にいる人間と、陸上で散策や休息等をしている人間の間に、「見る－見られる」という関係が成立している。この関係を容易に成立させるような考え方に基づいて、マリーナや施設の形状および配置を考えていく必要がある。

海外の海洋性リゾートでは水際線を重視した計画が主流であり、主要な海洋性リゾートには水際線を自由に開発できる掘込型のマリーナが数多く採用されている。

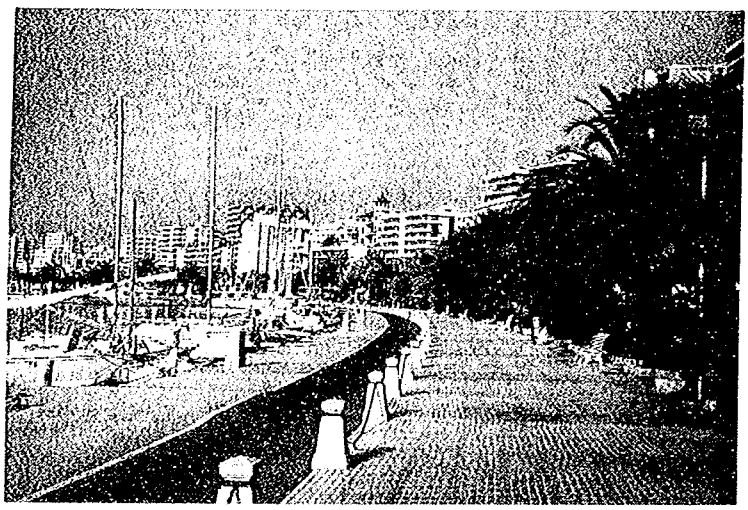
以下に、マリーナの施設計画の事例を示す（写真－3．5．1～3．5．3）。なお、事例の位置は図－3．3．8を参照されたい。



開放的で魅力ある
親水空間の創出

・親水空間としてマリーナが開放されており、魅力的な散策路となっている。
（写真－３．５．１、３．５．２）

写真－３．５．１　マヨルカ島
パルマ(スペイン)



写真－３．５．２　マヨルカ島
パルマ(スペイン)



魅力を生かした施設づくり

・マリーナを堀込式にすることによって、水際線の魅力を陸域の奥まで取り込んでいる。

写真－３．５．３　ニース
(フランス)

(2) ビーチ

a） 海洋性リゾート全体の核としての位置づけに基づいた整備

マリーナとも同様に、ビーチは一部の利用者だけでなく、一般市民が気楽に立ち寄る「街のひろば」的な機能をもつものであり、海洋性リゾートの核として位置づけられる必要がある。この意味では、ビーチは公共的な色合いが強いものであり、これからの海洋性リゾートの整備にあたって、公共機関の果たすべき役割は大きい。

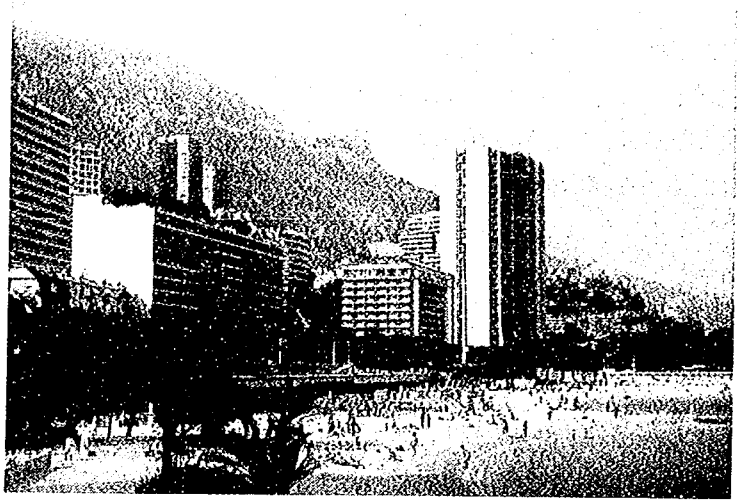
b） 陸域空間との視覚的なつながり

ビーチは前面に広い海と、背後に防砂林、防風林を介して農地等が広がっている平坦地の場合が多い。つまり視覚的な変化（高低差の）の貧しい場合が多く、このような場合はシンボリックな意味での塔、建築物も必要となろう。しかし各施設間における視覚的な不快感、圧迫感、過密感を与えるような配置は避けるべきである。

c） くつろぎ空間の創出

海水浴客のみならず、散策する人、木陰で休む人等あらゆる人がくつろぎを得られるように、砂浜に接して緑豊かで十分な広さをもったプロムナードを整備する。また、海の雄大な広がりを感じさせるため、視界を遮らないようにすることがポイントとなる。

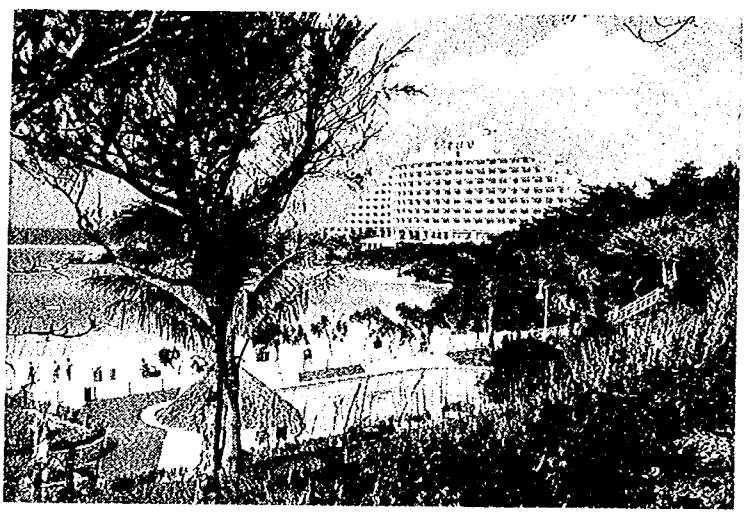
以下に、ビーチの施設計画の事例を示す(写真－３．５．４～３．５．９)。なお、事例の位置は図－３.３.８を参照されたい。



街のひろばとしてのビーチ

・リゾートの核となるビーチ。にぎわいと魅力的な空間を創出している。

写真－3．5．4　モンテカルロ（モナコ）



魅力的な景観の創出

・海岸線に建つシンボリックなホテルによって、魅力的な景観を構成している。

写真－3．5．5　万座ビーチ（沖縄県）



魅力的な景観の創出

・効果的な植栽と休養施設によって魅力的な景観を創出している。

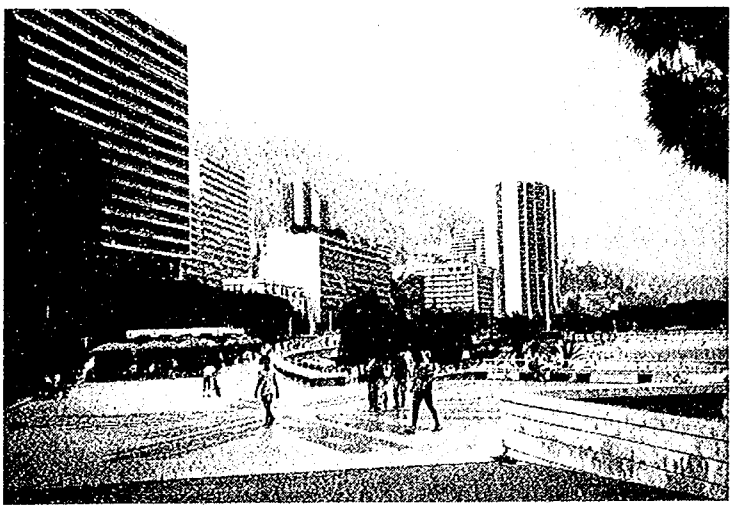
写真－3．5．6　ムーンビーチ（沖縄県）



魅力的な空間の創出

・出島により変化に富んだ海辺の景観を創出するとともに、陸域空間との視覚的なつながりを持たせている。

写真－3．5．7　名護(沖縄県)



ゆったりとしたプロムナード

・十分な広さを持った海辺のプロムナードにより、海水浴客のみならず、散策する人々にとってもくつろぎが得られる空間を創出している。

写真－3．5．8　モンテカルロ
(モナコ)



くつろぎ空間の創出

・砂浜に接した緑豊かなプロムナードにより、魅力的で、くつろげる雰囲気を演出している。

写真－3．5．9　マヨルカ島
アルカディア(スペイン)

(3) 宿泊施設

a) 別荘地

別荘地は、定住地としての機能を果たす中核的な施設といえる。滞在拠点としての別荘地整備の要点は、充実した生活環境下におけるリゾート・コミュニティの形成にある。このことは従来の別荘にありがちなセカンドハウスとしての季節的利用に留まらず、利用頻度の高い効率的な活用が望まれることを示し、リゾート周辺に職場をもつ人や住宅業務の可能な職種に携わる人達のプライマリーハウスであったり、都市にプライマリーハウスをもつ所有者が、定年退職後に、別荘をプライマリーハウスとし、都市のプライマリーハウスが逆にセカンドハウスとなるという生活形態が、今後十分見込まれるからである。したがって、このような状況へ別荘地を誘導することは、リゾート全体の基盤およびその性格を決定する重要な要因となる。

b) ホテル

①センター機能を持たせた施設づくり

リゾート開発は、1つの都市空間を形成するという側面が強いため、そこでのリゾートホテルの開発は、単にホテル滞在客に対する宿泊・サービスの提供という機能に留まらず、リゾートエリア全体に対するセンター機能の役割を果たすことが重要である。例えば、分譲別荘所有者やリゾートマンション所有者、あるいはリゾート利用客のための交流機能、飲食・物販機能の提供を行える機能を有することが求められる。

②自然環境に留意した施設づくり

リゾートホテルは、リゾートにおける中核的な施設であり、かつ施設規模も大きくなることが多いことから、景観的にシンボライズさせることが重要となる一方で、そのデザイン、色によってはリゾート全体のイメージを損なうことになりかねない。したがって、ホテル自体のデザインの良否を検討することに加え、海からの景観等、周辺環境との調和に十分配慮したデザインの検討が重要となる。

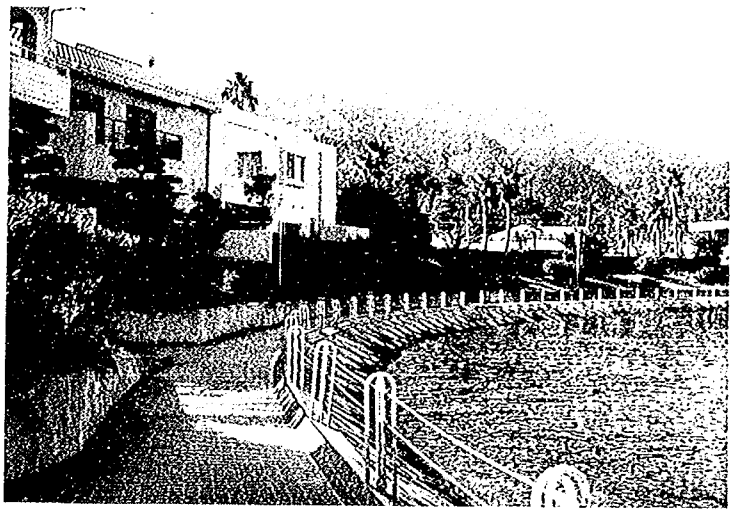
以下に宿泊施設の計画事例を示す（写真－3.5.10～3.5.12）。なお、事例の位置は図－3.3.8を参照されたい。

c) キャンプ場・オートキャンプ場

キャンプ場というとテントサイトが主で、それに管理施設と炊事場が基本的な組み合せであると考えがちであるが、これだけではリゾートとしてのキャンプ場の要素は不備である。キャンピングは自然に密着した生活の方法であり、自然とかかわりの深い行為とそれを受け入れる資源が一体となった施設構成が、リゾートのキャンプ場を特色あるものにする条件である。自然とかかわりの深い行為としては以下のようなものがある。

・水泳、ヨット、ボート、カッター、カヌー、魚つり、磯の生物採集、イカダ作りとそれを使っての探険
・植物・動物・鉱物の採集・観察、昆虫採集、ハイキング、オリエンテーリング
・キャンプファイア、野外ゲーム、フォークダンス、野外コンサート、野外劇等のイベント

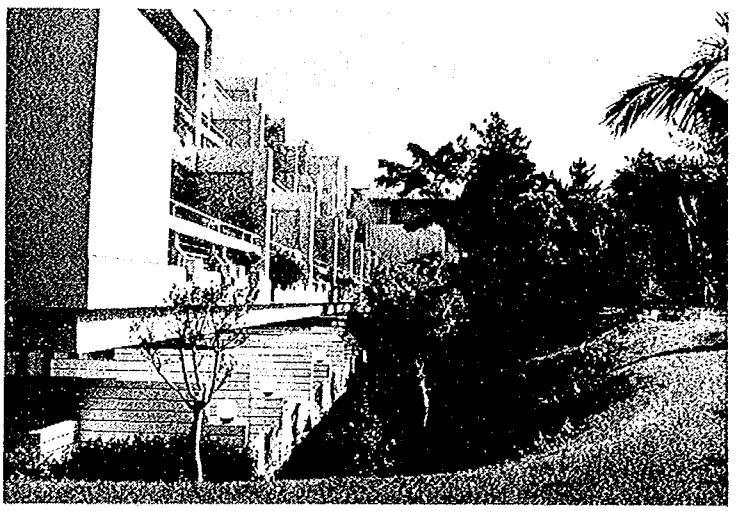
リゾートで通常考えられている施設は、学童以下の子供達が単独で利用し難いものである。アクティビティの豊富なキャンプ場は、子供達に楽しみを与えると同時に大人達にもリゾートを楽しむ余裕を与えることになる。



水辺の魅力を生かした別荘地

・水辺の魅力を効果的に演出した別荘地

写真－３．５．１０　洲本
サントピアマリーナ(兵庫県)



自然と調和したホテル

・自然にとけこんだホテルのデザイン

写真－３．５．１１　ムーンビーチ
(沖縄県)



魅力的なコンドミニアム

・マリーナとの一体化により、魅力的な景観を創出するとともに、リゾートライフの楽しみを向上させている。

写真－３．５．１２　サン・
シプリャン(フランス)

3．5．2　主要施設の規模

リゾートにおける施設の規模の決定に当っては、リゾートの空間構成からみてふさわしい規模と施設の運営、採算、需要からみて適正な規模との整合を図る必要がある。本別冊においては、開発計画事例等から核的施設の標準規模を検討するとともに、需用予測との整合性の検討に必要とされる、核的施設の収容力を算定するための原単位および付随施設の規模算定に必要な原単位を整理し、事例的に収容力および規模の算定を行っている。

海洋性リゾートの概念で述べたように、我が国にあってはリゾートのタイプとして、短期滞在型と長期滞在型の２つのタイプが必要となるが、我が国の実情を考えると、短期滞在型の海洋性リゾートが当面主流と考えられる。そこで、主要施設の規模の設定に当っては、短期滞在型海洋性リゾートの活動の中核となる沿岸海域・海浜域レクリエーション施設を中心に行い、他の主要施設については、沿岸海域・海浜域レクリエーション施設との関連性を検討している。

(1)　マリーナ

a）　収容隻数の設定

①　運輸省港湾局（1987）によると、リゾート型マリーナの配置要件を以下のように設定している。

イ）　大規模（2,000～3,000隻クラス）

大都市圏もしくはこれに準ずる規模の誘致圏内人口を有すること

ロ）　拠点型（1,000～1,500隻クラス）

30万～10万規模の地方中核都市を背後に有すること

ハ）　小規模（500隻クラス）

需要に応じて適地に配する

②　現在リゾート開発地域で計画されているものをみると、500隻～1,000隻が標準的である(表－３．５．１参照)。

③　海外の先進事例でみると、1,000～2,000隻が標準的である。

①～③より、マリーナの規模は500～1,000隻規模を標準とした（表－３．５．２参照)。なお、次のｂ)、ｃ)、ｄ)における施設規模の試算例は1,000隻規模の場合の例を示す。

表－3．5．1　各地マリーナの事例

施設名	施設規模				収容能力				付随施設
	陸域㎡	水域㎡	合計㎡	水域の占める割合%	陸上保管（隻）	水面係留（隻）	合計（隻）	水面係留の割合（%）	
湘南港	17,000	33,000	50,000	66	1,002	85	1,087	8	駐車場,クラブハウス マリンショップ, プール等
サントピア マリーナ	50,000	23,100	73,100	32	400	100	500	20	駐車場，ホテル, テニスコート, 分譲住宅等
須磨ヨット ハーバー	32,000	39,000	71,000	55	296	204	500	40	駐車場 管理棟等
小戸ヨット ハーバー	53,000	82,000	135,000	61	350	150	500	30	駐車場 クラブハウス等
シーボニア	51,450	8,890	60,340	15	350	70	420	17	駐車場,クラブハウス マンション, 管理棟等
佐島 マリーナ	7,390	7,570	14,960	51	162	55	217	25	駐車場,クラブハウス 宿泊施設等
VOC 志摩ヨット ハーバー	15,000	25,000	40,000	62	40	150	190	79	駐車場,クラブハウス 宿泊施設等
平均値	32,300	31,200	63,400	50	370	116	486	24	———
	※　水面係留における1隻当りの平均水域面積　269㎡／隻								

表－3．5．2　マリーナの標準規模

収容隻数	施設規模			必要活動水域		付随施設
	陸域㎡	水域㎡	合計㎡	形状寸法	面積	
(500～) 1,000隻	50,000	50,000	100,000	(沖合) 2km×10km	2,000ha	駐車場 ｸﾗﾌﾞﾊｳｽ等

b） 施設規模の設定に関する原単位

① ・陸域と水域の面積比率　1：1　……　陸域は付随施設も含む

・陸域と水域の収容比率　75：25　～　60：40

② 水域における1隻当りの必要面積　90～200㎡／隻

③ 陸域における1隻当りの必要面積　20～80㎡／隻

〈試算例〉

①～③より、

・水域面積＝　1,000隻×25％×200㎡／隻＝50,000㎡

・陸域面積＝　50,000㎡

c） 必要活動水域に関する原単位

① ヨットとモーターボートの比率　25：75（運輸省港湾局，1985）

② 活動水域原単位　・ヨット　2.5～3.0ha／隻　（安全最小0.11ha）

・モーターボート　8.0ha／隻

③ 活動水域面積　・下限値　300～400ha

活動水域範囲　・国体級レース　直径1.6～3.0km　平均約　300ha

・オリンピック級レース　直径3.6km　平均約　1,000ha

④ 最大同時利用率　90％

同時出艇率　25～40％

〈試算例〉

①～④より

適正活動水域面積（同時出艇率を40％とする）

250隻×0.9×0.4×3.0＋750隻×0.9×0.4×8.0≒2,500ha

(250隻×0.9×0.4×0.11＋750隻×0.9×0.4×8.0≒2,200ha)

∴・国体級レース開催を考慮した場合の活動水域範囲＝2km（沖合方向）×10km（幅）

・オリンピック級レース開催を考慮した場合の活動水域範囲＝4km（沖合方向）×5km（幅）

d）付随施設等の施設原単位

① 駐車場　（駐車台数／出艇数）　2.0台／隻

（必要面積／駐車台数）　25～30㎡／台

② クラブハウス　ロッカー　0.8個／隻

宿泊施設　2.5㎡／隻

〈試算例〉

・駐車場の必要面積＝1,000隻×0.9×0.4×2台／隻×25㎡／台＝18,000㎡

(2) ビーチ

a） ビーチ規模および活動水域の設定

① 立地条件からの条件

・海浜延長　　500m以上が望ましい。

・海浜幅　　30m以上（満潮時）、50～60mが適当である。

・海浜面積　　500m以上×30m=15,000㎡以上

・必要活動水域（水深1.5mまでとし、海底勾配1／30を仮定）

海岸方向　500m以上

沖合方向　50m

活動水域　500m以上×50m=25,000㎡以上

② 事例

リゾートとして計画あるいは利用されている海浜の事例（表－3．5．3参照）によると、海岸の延長は自然海浜で1,000～2,000m、人工海浜で500～1,000mが標準的である。

表－3．5．3　各地ビーチの事例（1990年現在）

自然海浜		人工海浜		
名称	海浜延長 m	名称	海浜延長	平均砂浜幅 m
宮崎東の浜	800	須間海岸	1,000	50
長崎内海	1,150	エクスポビーチ	600	70
九十九里豊海	1,000	稲毛海岸	1,200	50
九十九里片貝	1,500	熱海サン・ビーチ	400	60
芦屋海岸地域リゾート開発	1,200	南伊勢マリンコミュニティ	500	——
三重サンベルトゾーン国府地区	2,000			
宮古島東急リゾート	4,000			

③ サーフィンの利用

・オフシーズン時にサーフィンに開放するとした場合、海浜延長1,000m以上が望ましい。

①～③より、ビーチの標準規模を、海浜延長1,000～2,000mと設定した（表－3．5．4参照）。以下の試算例は海浜延長1,000mの場合を示す。

表－3．5．4　ビーチの標準規模

ビーチ規模（1ユニット）			活動水域		付随施設		
海浜延長 m	砂浜幅（満潮時）	海浜面積 m²	海浜方向 m	沖合方向 m	面積 m²	ビーチハウス m²	駐車場 m²
1,000 (～2,000)	60	60,000	1,000	50	50,000	2,500 m²/棟を2棟	30,000

b）収容力に関する原単位

① 海浜　　占有面積　6～20㎡／人

同時利用率　80～100％

回転率　1～1.5回／日

② 水域　　占有面積　3～15㎡／人

同時利用率　25～50％

回転率　1.0～1.5回／日

〈試算例〉

・収容力＝60,000㎡÷1.0×1.5≒9,000人／日

c）付随施設（ビーチハウス）

① ビーチハウス規模の設定

・ビーチハウスの施設内容　更衣室、ロッカー、シャワー、便所、食堂

・配置基準　海浜延長500mに1カ所

② ビーチハウス等の原単位

ビーチハウス等の施設原単位を表－3．5．5に示す。

表－3．5．5　ビーチハウス等の原単位

付随施設	更衣室	（一人当り面積）	㎡／人	0.7～2.5	
		（利用率）	%	90	
		（回転率）	回／日	21	
	ロッカー	（一人当り面積）	㎡／人	2	
		（利用率）	%	60	
		（回転率）	回／日	1.0～1.5	
	シャワー	（一人当り面積）	㎡／人	1.5	
		（利用率）	%	90	
		（回転率）	回／日	40～60	
	便所	（一人当り面積）	㎡／人	2～4	男子(大)・女子3～4㎡/穴
		（利用率）	%	1～2	男子(小)2～4㎡/穴
		（回転率）	回／日	40～60	女子
			回／日	200	男子
	飲食施設	（一人当り面積）	㎡／人	3	
		（利用率）	%	5～20	
		（回転率）	回／日	2.5～3.5	
	駐車場	（必要面積）	㎡／台	25～30	普通車(同乗者人数2.5～3人/台)
			㎡／台	50～55	バス(同乗者人数40～60人／台)
		（利用率）	%	20～85	
		（回転率）	回／日	1.0～1.5	

〈試算例〉

① ビーチハウス

・最大利用者数　9,000人

・更衣室規模　9,000人×0.9÷21回／日×2㎡＝770㎡

・ロッカー規模　9,000人×1.6÷1.5回／日×0.2㎡＝720㎡

・シャワー規模　9,000人×0.9÷50回／日×1.5㎡＝240㎡

・便所規模　9,000人×0.015×1／60×3.0㎡＝7.0㎡

・食堂　9,000人×0.1÷3回／日×3㎡＝900㎡

上記の合計2,636㎡より、ビーチハウスの規模は2,600㎡／棟を標準とする。

② 駐車場

・自家用車利用率　70%とする。

・同乗者人数　3人／台とする。

・規模算定　9,000人×0.7÷3人／台÷1.5回／日25㎡／台＝35,000㎡

したがって、駐車場の規模は、35,000㎡／ケ所を標準とする

(3) その他の主要施設の規模設定に当っての考え方

海洋性リゾートにおけるその他の核的施設、すなわち滞在施設、陸域レクリエーション施設の規模算定に当っては、沿岸海域・海浜域レクリエーション施設の収容力とリゾート全体の需要との整合性に配慮することが重要である。

a） 滞在施設

滞在施設については、海洋性リゾートの主たるレクリエーション活動が海岸域・海浜域におけるレクリエーションであることから、利用が夏期に集中し、しかも年間を通じての利用のピークになるため、沿岸海域・海浜域レクリエーション施設の収容力に対して滞在施設の収容力をどの程度に設定するかが第一の課題となる。一方、リゾートにおいては、滞在そのものがリゾートの利用目的といって過言ではないため、開発コンセプトに応じて快適で利便性の高い滞在の行える収容力を設定することが第二の課題となり、リゾート滞在需要を的確に把握し、需要にみあった規模設定を行うことが第三の課題となる。その他、施設の運営面からも検討を行う必要がある。

そこで、沿岸海域・海浜域のレクリエーション活動の中でも、利用が集中するマリーナとビーチについて前述したマリーナとビーチの規模算定結果を基にして、滞在者数及び宿泊者数の試算の例を示す。

〈試算例〉

① マリーナ

・収容力　1,000隻　　・同乗者数　3人／隻とする

・同時出艇率　30％とする　　・同時滞在率　90％とする

・利用者に対する宿泊者の割合　60％とする

イ） 最大日利用者数＝1,000隻×3人／隻×30％÷90％＝1,000人／日

ロ） 宿泊者数＝1,000人×60％＝600人

② ビーチ

・ビーチ規模　60,000㎡　　・施設原単位　10㎡／人とする

・同時滞在率　100％とする　　・回転率　1.5回／日とする

・利用者に対する宿泊者の割合　30％とする

イ） 最大日利用者数＝60,000㎡÷10㎡／人÷100％×1.5回／日＝9,000人／日

ロ） 宿泊者数＝9,000人×30％＝2,700人

b） 陸域スポーツ・レクリエーション施設（公園・緑地を含む）

前述したように海洋性リゾートの主たるレクリエーション活動が沿岸海域・海浜域におけるレクリエーションであることから、その活動が気象、海象に左右され易いので、場合によっては多量の利用者を陸域のレクリエーション活動に振り替える必要が生じる。また、利用者が夏期に集中し、他の利用者が大きく減少することが特に施設の運営、経営上の問題となり、年間を通じた利用を確保する必要がある。以上のことから、陸域レクリエーション施設は、沿岸海域・海浜域レクリエーション施設の収容力とのバランスを考慮して規模を決定する必要がある。一方、リゾートの魅力は、機能面からは沿岸海域・海浜域レクリエーション施設、陸域レクリエーション施設および滞在施設の複合体としての魅力であるといえることから、リゾートとしての形態を整えるにふさわしい規模を検討する必要がある。なお、陸域レクリエーショ

ン施設についても、レクリエーション需要との整合を図る必要がある。

c） その他生活基盤・コミュニティ施設

滞在者数に対し以下の基準値を目安とする。

① 商業施設

イ） 近隣商店街の商圏

平均商圏半径を700mとし商圏人口は9,000～18,000人とする。

ロ） 総店舗数（スーパーマーケットを含む）

・周辺に自然発生店舗が予想されない場合：1店／40～55戸

・周辺に自然発生店舗が予想される場合：1店／55～70戸

ハ） 小売店舗規模

1店当りの床面積を35～40㎡とする。

ニ） スーパーマーケット規模

総店舗数が20店を超えるものについてはスーパーマーケットの設置を検討し、店舗数を換算する。換算店舗数は8～20店に対しスーパー1店とし、床面積は約1,000㎡、敷地面積は床面積の1.25倍とする。

② 医療施設

イ） 各施設の機能のネットワークを考慮するとともに他の施設系も関連づけて計画する。

ロ） 受け持ち区域の設定は利用者のアクセシビリティを考慮する。

ハ） 他施設からの騒音、視線を避ける場所であるとともに救急患者の予想されるものについては、幹線道路からの接近性を高める。

ニ） 診療所については、歩行者専用道路に接するように配置する。

ホ） 病院については、駅またはバス停付近に設置、将来の高層化、拡張に対応できる計画とする。

ヘ） なお、診療所の規模は、以下の原単位を参考にして設定する。

・500戸に対して開業医　1～2軒

・建築延べ面積　：　対象人口$\times\frac{5}{1,000}\times$（患者数率）$\times$40㎡

・敷地面積　：　建築延面積の6倍程度

③ 行政サービス施設

イ） 市役所出張所（日本住宅公団の基準）

・人口10,000～20,000人に対して1ヶ所

・建築延面積：対象人口$\times\frac{7}{1,000}\times\frac{10}{100}\times$18㎡／人
（職員数）（出張職員）

・敷地面積：建築延面積に対して3倍程度

ロ） 警察署（警官派出所）（日本住宅公団の基準）

・500～1,000戸に対して1ヶ所、警察官1人に対する人口800人

・建築延面積：警察官2名の場合21.5～43㎡

・敷地面積：建築延面積の2倍程度

ハ) 郵便局（日本住宅公団の基準）

・中学校区にほぼ1ヶ所

・建築延面積：対象人口×$\frac{5}{10,000}$×15㎡／人

・敷地面積：建築延面積のほぼ2倍程度

ニ) 消防署（分署）（日本住宅公団の基準）

・担当区域2㎢を基準

・建築延面積：対象人口×（$\frac{22㎡}{10,000人}+\frac{45㎡}{10,000人}$）

・敷地面積：建築延面積の2～3倍

④ コミュニティ施設（公民館）

市では中学校単位、町村では小学校単位にコミュニティ施設を設置することが望ましい。その建築延面積は400～900㎡、敷地面積は建築面積の2倍程度である。

⑤ 教育施設

長期滞在型について教育施設の必要性を検討する（表－3．5．7参照）。

表－3．5．7 教育施設の標準規模（秀島，1977）

種　別	児童数または生徒数	就学率・就園率	1学級当たり児童・生徒数	標準通学距離	標準校区人口
小学校	戸数 ×0.45	100％	40～50人	500m以下	7,000～9,000人
中学校	戸数 ×0.22	100％	40～50人	1,000m以下	14,000～18,000人
幼稚園	戸数 ×0.15	5歳児　100％ 4歳児　100％ 3歳児　30％	35～40人 35～40人 25～30人	300m以下	5,000人
保育所	戸数 ×0.45	10％	30人		

3．5．3 主要施設の立地条件

(1) マリーナの立地に適した条件

丸田（1989）によると、マリーナの立地に適した条件は以下の通りである。

① 湾形をした静穏水域が確保できることが最も望ましい。

② 気象、海象条件が厳しくない。

③ ボーティングおよびヨッティングのための水域に近く、特に小型ヨット等は航行のはげしい航路等にかからない安全なレース水域が確保できる。

④ 水域施設ばかりでなく、駐車場その他関連施設が立地するため、背後地はできるだけ広く取れる平地

を有しているか、埋立造成の可能な地形条件を備えていることが望ましい。

⑤ 周辺景観が優れていて、近くに他のマリンレジャー施設（海水浴場・プール・ホテル等）があることが望ましい。

⑥ 暗礁や岩礁などの危険地域はさけることが望ましい。

⑦ 漂砂や泥、漂流物により港口部がふさがれることがない。

⑧ 風波が激しい場所は、施設のいたみも早いのでさけることが望ましい。

⑨ ノリやカキ類が極端に付着しやすい海域はさけることが望ましい。

⑩ ヨッティングやボーティングの楽しさや安全面からも5～10kmの範囲に他のマリーナ（寄港）があることが望ましい。

⑪ 海底の地盤条件に優れている。

⑫ 港口付近に砕波帯が生じない。

⑬ 不利な恒風の少ないところが望ましい。

(2) ビーチの立地に適した条件

丸田（1989）によると、リゾートのビーチの立地に適した条件は、以下の通りである。

① 海水浴場は、できれば東南または南に向いている浜で、その背後に丘陵地または樹林地があると日照・風・景観などの点からみても望ましい。

② 海水浴客数によって異なるが、砂浜の延長としては500m以上が望ましい。

③ 海水浴に適する水温としては、23～25℃が望ましい。

④ 風速が大きくなると体感温度を下げ、また飛砂現象を起こすことから不快感を増すので、風速は5m／s以下が望ましい。一方、風は海水交換を促し水質の維持に効果があるので、ある程度の風はある方が望ましい。

⑤ 波高は高すぎると危険であるが、全くないと砂が動かず海藻が生えて不快なビーチとなるので、ある程度の波がある方が望ましい。

⑥ ビーチの近くに川が流れ込んでいる所では、密度差による局所的な流れが発生したり、水温差を生ずることもあり望ましくない。

⑦ 水質は非常に重要な事項で、日本環境衛生センターの基準は以下のようである。

透視度	：30cm以上
COD	：2ppm以下
大腸菌群数	：1,000MPN／100ml以下
油膜	：肉眼で認めないこと。

⑧ 海底の土質としては、泥土、岩石などは不適である。貝殻は少ない方がよい。

⑨ 海藻などの浮遊物のない所がよい。また有害生物がいてはならない。

以上の条件から、海洋レクリエーションに適した自然条件を整理した結果を表－3．5．8に示す。

表—3・5・8　海洋性レクリエーションにおける自然条件

項目		沿岸海域（セーリング・ボーティング・ダイビング域）	海浜域（海水浴・浜遊び・サーフィン域）	陸域の自然条件
気象条件	気温	活動には10℃以上が必要、一般には20℃以上が好ましいため、この期間が長いほど優位。	24℃以上（浜遊び20℃以上）	特に制約はないが、寒さを感じさせる気温（10℃以下）でなければ適性あり。
	日照	晴天が望ましいが、曇天や多少の雨はあまり問題とならない。	晴天であることが好ましく、夏場の晴天日数が少ないところは不適。	晴天であることが好ましいが、夏場の晴天日数は海浜域ほど制約は少ない。
	風	10m／s以下が目安。ただし、セーリングでは2m／s以下の微風は問題となる。	5m／s以下の風が好ましい。	5m／s以下の風が好ましい。
海象条件	波浪	50cm以下が好ましい。（1.5m以上では危険）	50cm以下が望ましい（1m以上あると遊泳に危険。ただし、サーフィンは波高が高いほど好ましい）	関連性は少ない。
	潮流・沿岸流	1m／s（2ノット）以下が好ましい。	20～30cm／s以下(浜遊びは関連性は少ない)	関連性は少ない。
	水温	10℃以上が好ましい。	24℃以上が好ましい。（浜遊びは関連性は少ない）	関連性は少ない。
	水質	水質が良好なほうが好ましい。	COD2mg／l以下、透明度は1m以上が好ましい。その他水浴水域の水質基準による。	関連性は少ない。
地形・地質	海岸形状	内湾が好ましい。 潮流の乱れをひきおこすような形状はよくない。	広々として開放的な海浜が好ましい。	長く続く海浜など、海との接点が多いほうが望ましい。
	水深	関連性は少ない。ただし、暗礁があるところは不適（最低水深2.5m）	1.5mまで（浜遊びは関連性は少ない）	関連性は少ない。
	海底勾配	関連性は少ない。	10%以下で遠浅が好ましい。（浜遊びは関連性は少ない）	関連性は少ない。
	底質	関連性は少ない。	泥土、岩石がなく粒径2mm以内の砂	関連性は少ない。
	陸域の地形 ・自然環境	周辺の自然環境、景観が良いことが重要。	・豊かな自然、すぐれた景観はプラス要因となる。 特に背後に樹林地があることはプラス要因となる。 ・付近に流入河川がないことが重要。	豊かな自然、すぐれた景観が条件となる。 計画地内の地形は平坦地であるほうが望ましい。
面積規模		活動水域面積は絶対条件はないが(下限値300～400ha)、1隻当り2～3ha（モーターボート8ha）は確保することが望ましい。ヨットのレース開催を考えた場合、国体級で直径1.6～3.0km必要。オリンピックでは直径3.6km必要となる。	汀線長は500m以上が望ましい。 砂浜幅は30m以上（満潮時）が望ましい。	沿岸海域、海浜域の規模により決まるが、標準的には50ha～200haが目安となる。

第4章　あとがき

近年の週休2日制の普及、長期連続休暇の定着、さらには高齢化社会に向って、国民の自由時間の拡大が進み、かつ生活にゆとりを求める国民のニーズと相まって、内需拡大の要求が高まるなか、総合保養地域整備法が制定され、我が国の海洋性リゾート開発の機も熟してきたといえる。

しかし、海洋性リゾートの開発の舞台となるわが国の沿岸域の状況をみると、沿岸域の平坦地には人口や産業が集中し、世界にも類をみないほど高度利用がなされている。さらに、わずかに残された開発可能な沿岸域については、海洋性リゾートとしての気象条件や市場条件が整っていても、海象条件がマリーンスポーツに適さなかったり、陸域の開発可能面積が狭いなどの阻害要因が多いことも事実である。

そこで、国民ニーズに対応し、海洋性リゾート開発を促進していくうえでMMZ構想の導入を含めた開発の検討を行い、わが国における海洋性リゾート開発の可能性を拡大していくことが重要である。また、海域の自然環境の保全と秩序ある利用を図るため、海域利用空間の都市計画区域の設定等、法的規則の可能性について検討していく必要がある。

参考文献

アーバンレジャー・リゾート研究会（1987）：日本に根付く総合リゾート成功の条件，45p.

運輸省港湾局臨海工業地課（1973）：レクリエーション港湾調査報告書，69p.

運輸省港湾局（1979）：人工海浜の建設技術マニュアル，110p.

運輸省港湾局（1987）：これからのマリーナのあり方について－マリーナ懇談会報告書，㈳日本マリーナ協会，95p.

亀山　章（1988）：21世紀のリゾートを構想する。21世紀のリゾートとランドスケープ，㈳日本造園学会国際シンポジウム実行委員会・国際リゾート研究会，pp.10～25.

國方洋一郎（1990）：計画的リゾート拠点開発を契機とした都市形成について，都市計画，No.162，pp.32～35.

倉田益二郎（1979）：緑化工技術，森北出版，298p.

国土庁計画・調整局（1984）：日本21世紀への展望，251p.

斉藤一雄編著（1979）：緑化土木，森北出版，470p.

住宅・都市整備公団（1986）：都市開発事業における余暇施設整備等の方策に関する調査.

㈳全国海岸協会（1986）：明日への海洋開発－豊かな国土づくりを目指して，185p.

総合ユニコム㈱（1987）：最新レジャー産業開発・経営モデルプラン資料集－2 407p.

総合ユニコム㈱（1987）：全国リゾート事業の開発・運営実態調査資料集－2 340p.

総合ユニコム㈱（1987）：リゾート開発事業計画資料集，304p.

総合ユニコム㈱（1989）：公園開発・整備実務計画資料集，489p.

総合ユニコム㈱（1989）：最新・水族館，マリンランドの開発・運営実務資料集，167p.

総合ユニコム㈱（1989）：マリーンリゾートのランドスケープデザイン資料集，229p.

総理府広報室（1990）：日本人のライフスタイル，72p.

染谷昭夫・藤森泰明・森繁泉（1988）：マリーナの計画，鹿島出版会，222p.

㈶地域活性化センター（1988）：リゾート地域整備及び経営に関する調査研究報告書，66p.

㈶地域活性化センター（1988）：リゾートづくりハンドブック，289p.

地域振興整備公団・㈶日本システム開発研究所（1987）：国民ニーズの多様化に対応した効果的な地方都市開発整備方策に関する調査－リゾート編，264p.

通商産業省立地公害局立地指導課監修（1976）：工場緑化ハンドブック，㈶日本緑化センター，427p.

東京都港湾局・㈱愛植物設計事務所（1982）：15号地海浜公園緑化基本計画報告書，51p.

東京都港湾局・三井共同コンサルタント（1972）：東京港埋立地緑化計画報告書，166p.

㈶日本海事広報協会（1989）：海洋性レクリエーションの現状と課題，178p.

㈳日本観光協会（1975）：観光レクリエーション施設の計画，No.1，300p.

㈳日本観光協会（1976）：観光計画の手法，399p.

㈳日本観光協会（1987）：海洋性観光地計画の手びき，166p.

㈳日本観光協会（1989）：日本型リゾートを考える，91p.
㈳日本観光協会（1989）：日本人のリゾートイメージ，145p.
日本住宅公団首都圏宅地開発本部・㈶日本緑化センター（1980）：浦安地区緑化基礎整備計画報告書，116p.
㈳日本造園学会（1979）：造園ハンドブック，技法堂出版，1350p.
㈳日本マリーナ協会（1981）：マリーナ施設整備計画指針案，10p.
長谷川芳郎（1987）：リゾートの構図，総合ユニコム，203p.
原　勝（1952）：海岸砂防林・林業解説シリーズ42，23p
原　重一（1987）：豊かな自由時間対応空間の開発と環境問題について，環境情報科学，Vol.16，No.4，pp.43～48.
樋口忠彦（1975）：景観の構造，技法堂出版，168p.
秀島俊彦編（1977）：宅地造成施工法，山海堂，407p.
本間　啓（1973）：サンドポンプによる臨海埋立地における緑地植物の植栽に関する研究，127p.
丸田頼一（1987）：リゾート整備と環境形成にかかわる－考察，環境情報科学，Vol.16，No.4，pp.32～38.
丸田頼一（1989）：リゾート開発計画論，ソフトサイエンス社，427p.
㈶余暇開発センター（1990）：レジャー白書　'90，101p.
ピエール・ラシーヌ（1987）：自由時間都市，パンリサーチ出版局，295p.
ラック計画研究所（1975）：観光・レクリエーション計画論，技法堂，204p.
リゾート研究会編（1987）：観光リゾート開発戦略データファイル，第一法規，1965p.

MMZ計画策定の手引き(案)

計画編　別冊
「海洋性リゾート計画手法」
資　料　集

MMZ計画策定の手引き（案）

Ⅰ　空間計画事例

本別冊においては、海洋性リゾートの土地利用計画の基本方針として、以下の3点を挙げた（3.3.3　土地利用計画参照）。

①自然保全地域、開発地域等、土地利用のゾーニングを明確にした広域的土地利用計画と土地管理計画の策定により、公共、民間、あるいは第三セクターによる事業の仕分けの明確化と、土地や自然資源の秩序ある利用と保全を目指す。

②詳細な環境づくりに関するプログラムの策定により、地域の特色を活した魅力あるリゾート環境の形成を目指す。

③開発拠点地区にあっては、詳細な環境調査に基づいた開発計画の策定により、良好な自然や景観の質の維持、あるいは向上を目指す。

本項では、これらの基本方針に基づいて開発計画が立案されている事例として、①広域的な土地利用・土地管理計画の立案についてはラングドック・ルーション（フランス）を、②環境形成のためのプログラムの策定についてはパーク・シティ（アメリカ合衆国）を、③環境調査に基づいた開発計画の立案についてはアメリア・アイランド・プランテーション(アメリカ合衆国)を取り上げ、その計画の概要を紹介する。

Ⅰ.1　ラングドック・ルーション（フランス）

(1) 概説

地中海に面したラングドック・ルーションは、スペイン国境からマルセイユにいたる総延長約180km、幅約20km、面積約25,000haにわたる大規模なリゾートである。この計画区域内に、8か所の大規模開発拠点を整備するとともに、残りの区域は貴重な自然環境の保護地域、農村地域の保全地域、さらには将来の開発までの留保地を含め環境保全や緑化を図る地域といった、広域土地利用計画が策定されている（図Ⅰ－1、Ⅰ－2参照）。

リゾート拠点の開発に当っては、単なるレジャー、レクリエーション機能を導入するのではなく、人々が長期にわたって余暇の生活を過ごすことができるよう、母都市や周辺の都市の集積を含めた、都市空間の整備を行っている。

(2) 施策の概要

a）人口密度と土地利用比率の設定

リゾートゾーン内の人口密度を定めるとともに、リゾートゾーン以外の土地の人口密度、土地利用比率を定める。

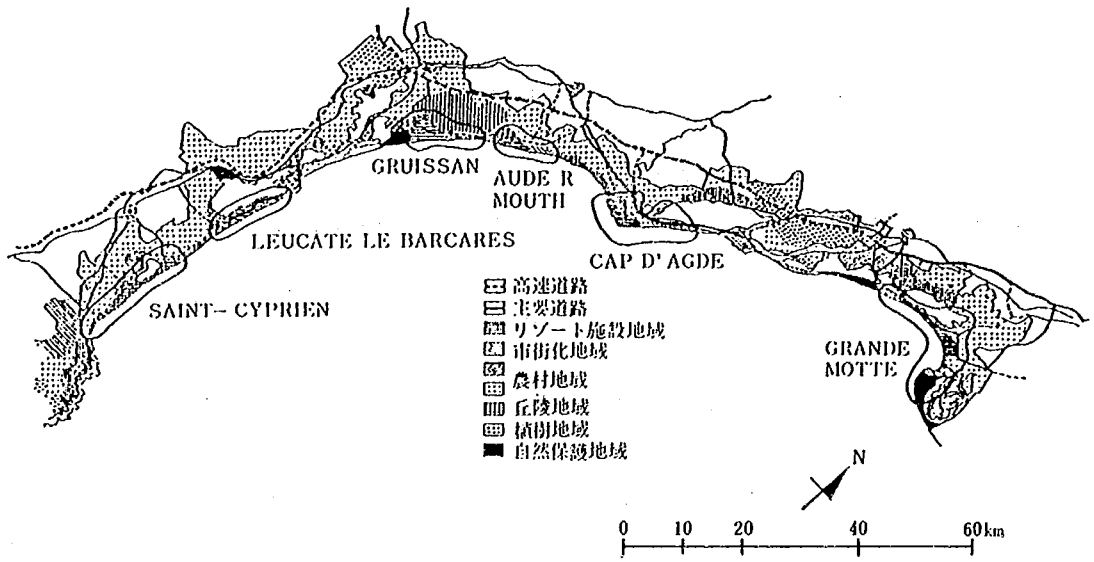
b）ゾーン区分と共通規定の設定

①既存市街地ゾーンまたは新市街地ゾーン

現在または将来において都市整備基本計画の対象となる。

②優先市街地ゾーン

リゾートゾーンに含まれ、沿岸域の漸進的な開発の目的で公共団体が取得するための公益公示の対象と



図Ⅰ－1　ラングドック・ルーション広域土地利用計画（丸田，1987）

なる。

③保護リゾートゾーン

リゾート施設の受け入れに充てられる。宿泊施設、住宅施設、キャンプ場について制約がある。

④既存植林ゾーンおよび計画植林ゾーン

公有地、私有地の別なく、建築もしくは農地として活用されていないすべての土地については、植林または植栽を行う。

林業または、農業経営に必要な建造物を除くあらゆる種類の建造物の建設の禁止、その他、工事および樹木伐採の制限処置がなされている。

⑤自然景観保護ゾーン

遊歩道、展望台、リゾート客のための避難施設以外の建設については全面的に禁止されている。

⑥排水対象ゾーン

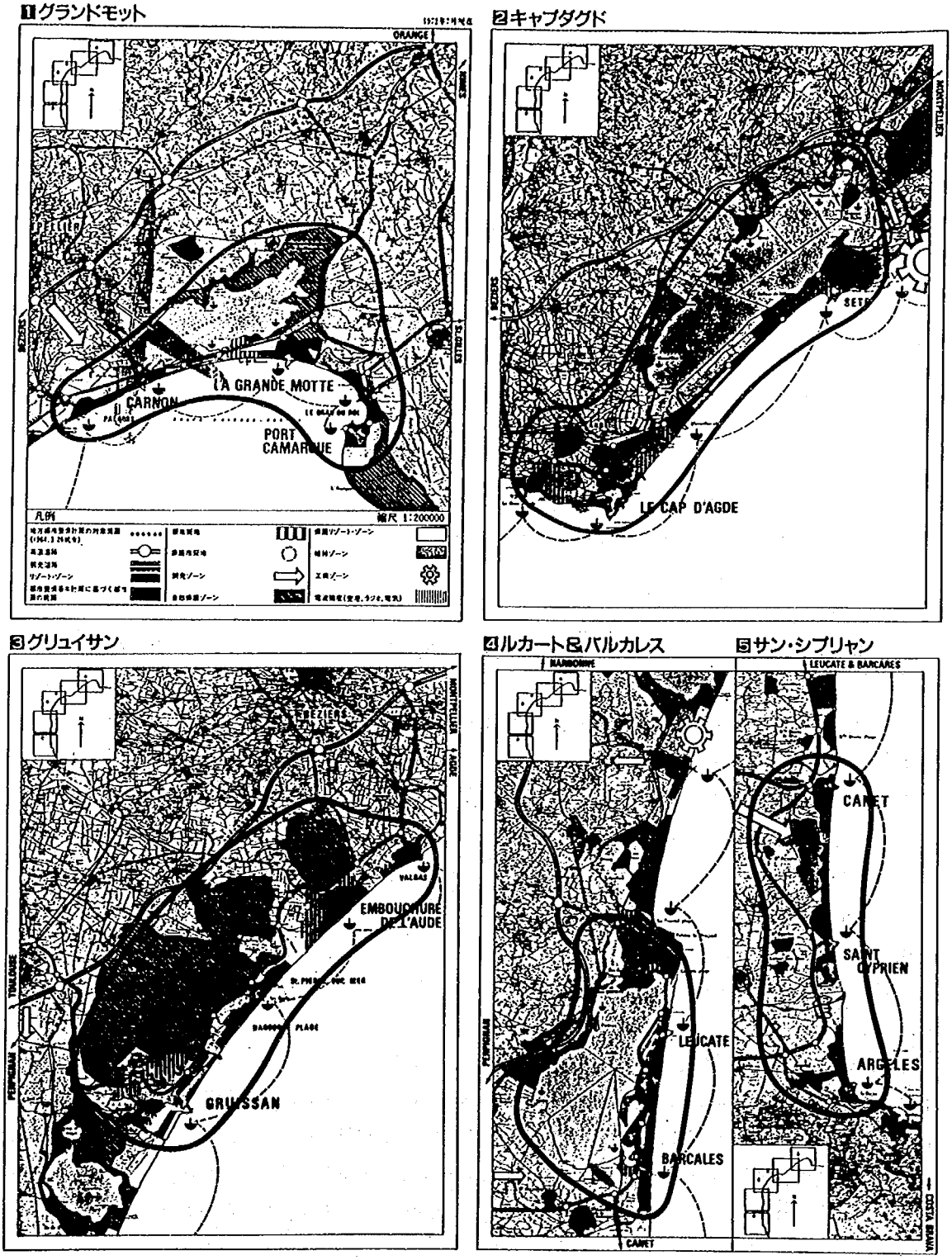
治水に関する工事を実施するゾーンである。土地利用区分は都市整備基本計画で定める。

⑦工業ゾーン

都市整備基本計画の対象となるもので、同計画が土地利用区分および土地占有率を定める。

⑧農地ゾーン

あらゆる農業活動に充てられるゾーンである。宅地としての分譲は一切禁止されている。ただし、農業経営に必要な建築物の建設は許可される。宅地の建設は、土地の総面積が10,000㎡以上であって一辺が60m以上のものについては許可される。



図Ⅰ－2　ラグドック・ルーション地区別計画図（ラシーヌ，1987）

⑨生物保護区

ここに生息し、その保存に科学的価値がある動物相および植物相を保全するために充てられる。現在の生態学的諸条件を変更させる一切の介入と工事は、都市計画で定める規則に準ずる。

⑩農地森林混在地区

農業のための土地利用に抵触しない限り、植林を実施する。

⑪保護市街地

市街地の芸術的・歴史的・考古学的価値を保全する目的で、建築許可の交付は特記条件に従わなければならない。

⑫高速道路

約200kmにわたる高速道路の建設に当って、沿岸地域の環境保全という観点から、海岸線から5km離れた地点に建設する。道路周辺については、景観を考慮し、各種の施設の配置規制を付けている。

⑬その他

観光道路：道路沿いにおける建設に制限がある。――バカンス道路の創出

騒音対策：騒音を発生する施設に関する義務事項がある。

建築許可対象外の施設の管理：各種条件が設定されている。

c） リゾートゾーンに関する規定

①ゾーン区分

リゾートゾーンには、各種のゾーンまたは地区が含まれるほか、優先市街地ゾーンが含まれる。

②収容能力および人口密度

収容能力は、個々の観光要素の合理的利用の可能性による。リゾート基地の平均人口密度は、1ha当り100ベットとする。リゾートゾーン内の人口密度は総合計画によって設定する。

③禁止される建築物、建築物のデザイン、非建築物用地の利用に関し、細部にわたる制限が加えられる。

d） 公共、第三セクター、民間の役割分担

①公共機関がインフラストラクチュアーのみならず大規模公園、海水浴場、マリーナなどの核施設についても整備する。また、ニュータウンの建設も行っている。

②第三セクターは、土地の買収、造成を行い、そして民間への土地の譲渡に関わることによって、土地の低価格安定化を維持する。さらに公共で整備した緑地や核的施設の管理運営を受けもつ。

(3) 評価

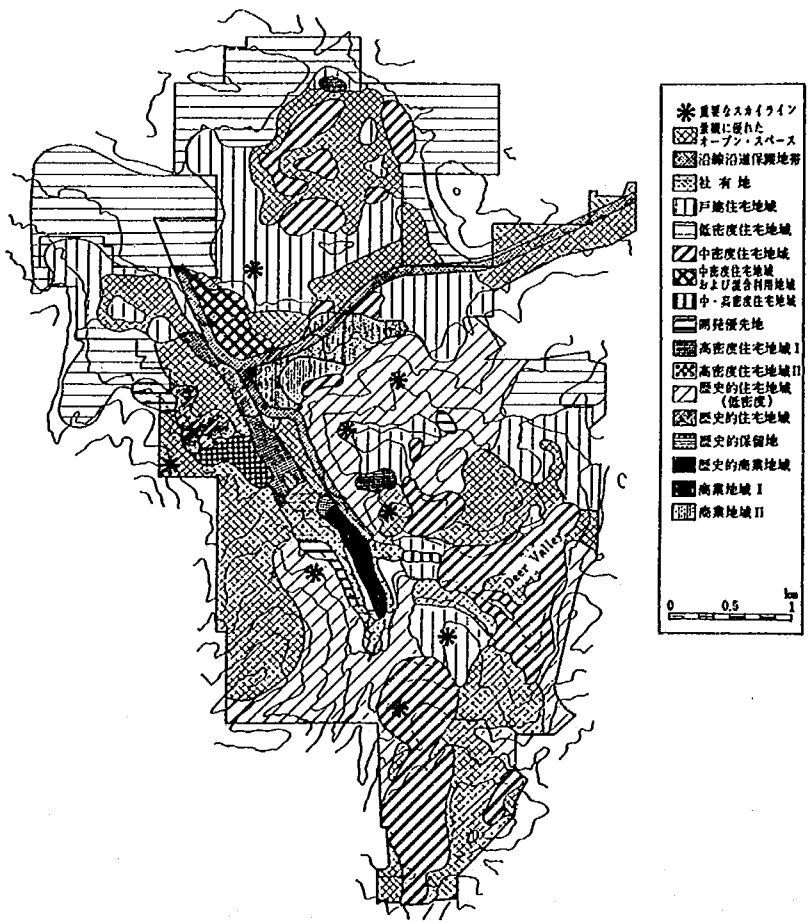
もともと、緑が乏しく不毛の地であったが、地域全体の環境づくりと、長期に滞在するリゾート客が快適に生活できることを目的に、開発拠点そのものが一つの都市として形成されることを最重点とした土地利用計画が作成された。この計画に基づいた明確な土地利用区分と実効性のある施策によって、土地や自然資源の秩序ある利用と保全が図られている。また、開発後20年以上を経過し、リゾート拠点の整備とそこへの多量のリゾート客の流入によって、リゾートを核とした地域再生の面でも成功をおさめている。

Ⅰ．2　パーク・シティ（アメリカ合衆国）

(1)　概説

パーク・シティは、アメリカ・ユタ州のソルトレイクから50km、標高約2,100mに位置し、以前は銀鉱の町として栄えていたが、1962年に銀鉱が閉山されたため、年間平均降雪量900cmという気象条件を活かしたスキーリゾートとして開発が進められた。現在は、夏季にも人々が訪れる通年型のリゾートとすべく努力がなされている。

パーク・シティにおける開発の特色としては、銀鉱当時の歴史的背景を重視し、街並や歴史的建造物の保存に力が注がれており、そのための各種規制事項、基準等が示されている基本計画に基づき、行政の厳しい審査のもとに民間開発の規制、誘導が行われている（図Ⅰ－3参照）。



図Ⅰ－3　パーク・シティ（Park City）基本計画（丸田，1987）

(2) 施策の概要

a) 基本計画、地域制、宅地分割規制、計画単位開発の作成

①基本計画（General Plan）の概要

20年程度の長期的な期間における、土地利用、交通計画、公園緑地計画、自然環境保全計画などを含む包括的かつ概略的な政策目標を示す長期計画書であり、西暦2000年における定住人口に加え、スキーシーズンにおけるピーク日の滞在客を加えた人口推計のもとに計画案が立案されている。また、計画図には、保護、保全すべき自然地や密度・形態別住居のほか、歴史的市街地や建造物保存のための地区等が指定されている。

②地域制（Zoning）

画地ごとの建ぺい率、容積率、前庭、後庭、側庭などが規制されている。

③計画単位開発（Planned Unit Development）

地域制とは異なり、必ずしも敷地を街区や画地に分割せずに、地形や樹林地等の関係からクラスターにしたり、住宅地（別荘地）のみならず商業地を含めた総体に対し計画する自由な配置をとる計画手法をとっている。

b) 民間に対する開発許可に関する手続きや開発基準に対する施行指針書の作成

①開発業者案内

図Ⅰ－4のように、手続きと概略的基準内容が示されている。

②設計指針

設計指針は、イ）敷地計画、ロ）建築デザイン、ハ）植栽、ニ）トレイル、ホ）サインの5部門からなり、総計75項目にわたる。主要な点は以下のとおりである。

イ） 敷地計画

i) 建築物の建設に当っては自然地形を極力保護し、スカイラインを保ち、山頂や尾根線には建築物を建てない。

ii) 建築物は意義ある植生や眺望を極力保護する。

iii) 自然の排水系統を変更してはならない。

iv) 道路は等高線に沿って建設する。

v) 角地では8mのすみ切りを行うとともに、そこには高さ約70cm以上の植物を植栽しない。

vi) 擁壁の高さを2m未満にする。

vii) 太陽の動きに考慮して、建築物の配置計画を立案する。

viii) サービスエリアや駐車場は建築物の裏側に配置し、生垣、フェンス等により遮へいする。

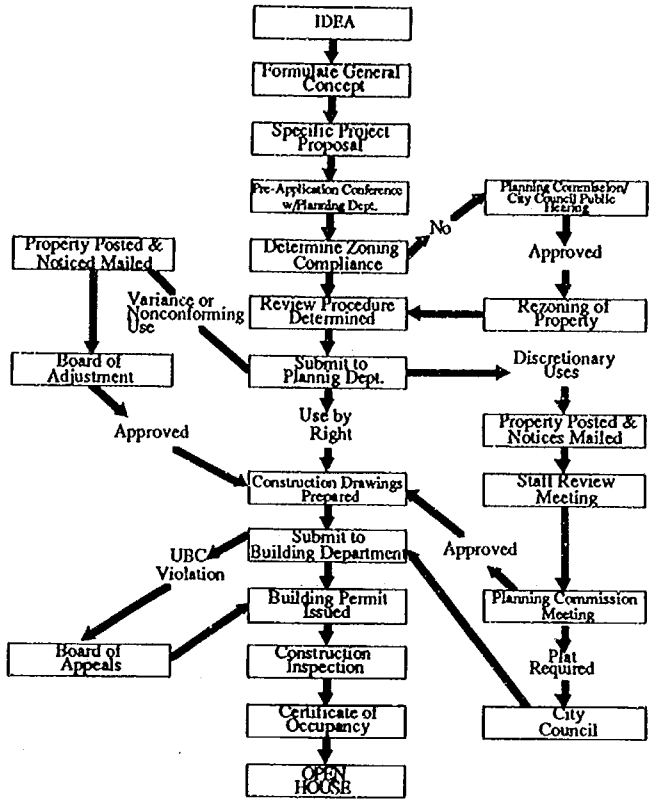
ix) 屋根は雪の落下地点を見越して設計するとともに、除雪場所も計画的に確保しておく。

ロ） 建築デザイン

i) 傾斜地の建築物は自然地形に沿わすこととし、高床、階段や石積を多用する。

ii) 建築物は歴史的様式を模倣したものとし、外見上の規模を最小に見せ、かつ単純な設計とする。

iii) 屋根線は周囲の建築物とも調和したものとし、地上から約2.3m以上は離す。



図Ⅰ－4　パークシティにおける開発許認可のフロー（丸田，1987）

iv) 屋根上のクーラー等機械類は遮へいするとともに、ソーラーパネルは屋根の傾斜と平行させて設置する。

v) 外壁の色彩や素材は周囲の建築物と調和させる。

vi) 窓、戸、バルコニーやポーチの設計は単純なものにする。

vii) 集合住宅は屋根や壁の変化により個性を生み出す。

viii) 照明にあたっては対象建築物のみを照射するようにする。

ix) プールの周囲は遮へいする。

x) 増築に際しても新築と同じ指針に従う。

ハ) 植栽

i) 建築物の設計に際しては、現存植生を極力保全するとともに、植栽時には郷土植物を優先させて用いる。

ii) 樹種の選択に当っては、形態、テクスチャー、色彩や成長度合のみならず耐乾性や耐久性にも留意する。

iii) 郷土植物により覆われたところでは、芝生地の造成を最小限にとどめる。

iv) 戸建てを除いたすべての開発地では、スプリンクラーシステムを計画する。

v) 広場や休憩地の植栽に当っては、落葉樹や花木を多用する。

vi) 約556㎡以上の駐車場では、全体面積の1／4は高木や低木により植栽する。

vii) 維持管理に配慮するとともにその費用を見込んでおく。

ニ) トレイル

i) バイク、歩行、乗馬やハイキングに供するトレイルについては、「公園・レクリエーション基本計画」や「街路基本計画」に記されており、それらとの調整を図る。

ホ) サイン

i) 建築物の正面部分のデザインと調和させ、しかも強調しうるようにサインの大きさ、色彩、位置などを工夫する。

ii) サインの色彩は建築物の色彩と調和させる。

iii) 数年間は耐えうる良質なサインを設置する。

iv) サインに電話番号、商品リスト、価格などを含めない。

v) サインへの照明に際しては、その表面に直接照射する。

③歴史的地区設計指針

歴史的地区設計指針（Historic District Design Guidelines）において、商業用建造物と住居用建造物とに分けられ、建築様式、高さ、材質、屋根、窓、戸、擁壁、階段など191項目にわたって述べられている。

(3) 評価

規制と誘導の比較的厳しい事例ではあるが、この環境形成のための一連のプログラムによって、歴史的保存に留意した街づくりが行われ、優れた地域イメージが醸成された結果、魅力あるリゾートとして、また、他のリゾートと異なる個性的なリゾートとして、成功をおさめている。

Ⅰ.3 アメリア・アイランド・プランテーション（アメリカ合衆国）

(1) 概説

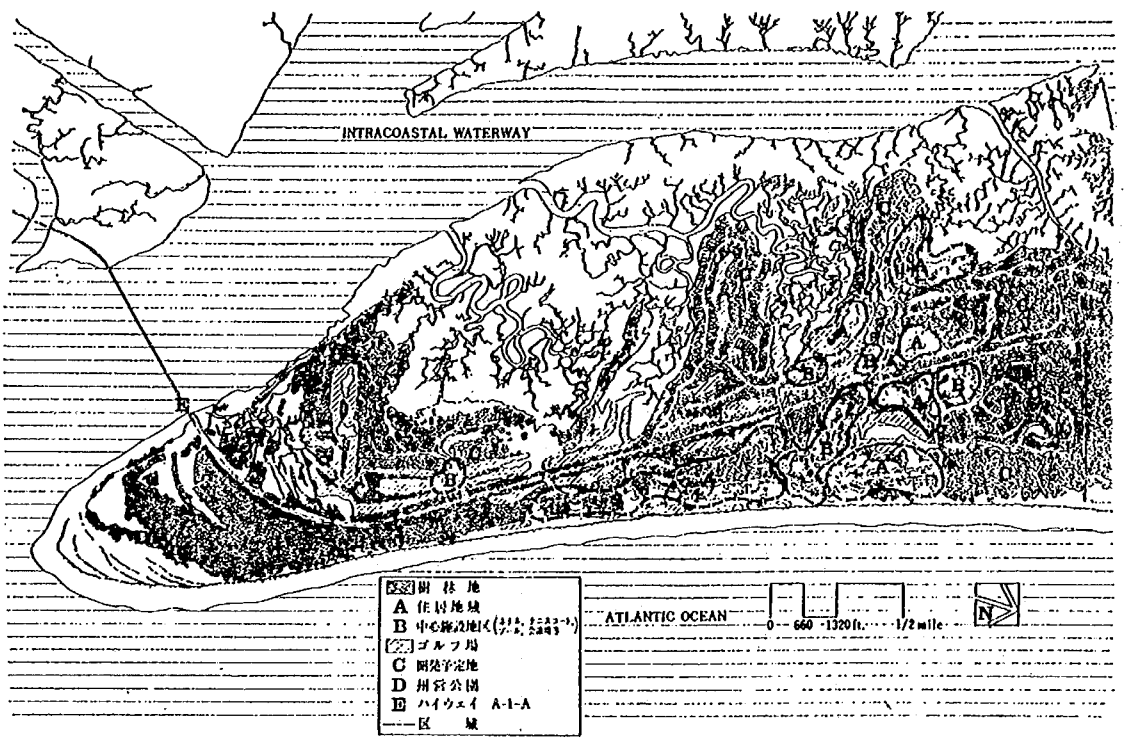
アメリア・アイランド・プランテーションはフロリダ州北部のジャクソンビルから約50kmの大西洋岸に位置する面積505haのリゾートである。

その開発は、一地元企業によって行われたが、数多くの専門家の協力のもとに、自然環境、特に植生について数ケ年を費やした詳細な調査に基づく計画が立案されており、優れた環境を持ったリゾート開発として成功した先進的事例である（図Ⅰ－5参照）。

(2) 調査・計画概要

調査は気候、太陽、風、雨量、地質、地形、水文、土壌、植生、野生動物および文化財の11項目について進められた。特に現況を中心に調査が行われ、それらの結果はできうる限り図化されている。次に、将来利用と地域の物的特性との関係のマトリックスが示され、当地域の一般的方向性が求められている。

さらに、リゾートの定住ゾーンとなる住居について、マトリックス表での形態別、すなわち戸建て、低



図Ⅰ－5　アメリア・アイランド・プランテーション（Amelia Island Plantation）計画図（丸田，1987）

層連続住宅、中層連続住宅、高層住宅などと、物的特性とを関連付け、4段階評価を加えることにより、適性と不適性とに明確化させている。一方、これらの評価は植生、湿地や砂丘に起因したものを中心としているために、さらに他の条件を加味させて適地選定を行っている（表Ⅰ－1参照）。

以上のような詳細な検討を加えて、基本計画が描かれた。州政府との手続きにおいて、当地域の最西端の部分でのみ、計画原案のゴルフコース（11ホール）と戸建て別荘が州営公園に変更されたほかは、基本計画どおりに許可がなされ、開発が進められている。

なお、入居に当っては、会社とフロリダ州政府、ナッソウ郡政府（County of Nassau）両政府との取り決めにより、入居協定書に署名する。入居協定書には、地上高約70cmにおける樹幹直径15cm以上の樹木の伐採や移植は会社の許可なくしては不可能なこと、建築にさいしては形態、材質、色彩、フェンスの禁止など建築協定に類するものに従うほか、建築審査会の許可が必要であること、自治会組織に全員加入し、公園や木道等の清掃管理をボランタリーに行うことなどが義務付けられている。

(3)　評価

アメリア・アイランド・プランテーションの整備は、現状の地域特性の調査を踏まえ、とくに植生、湿

表Ⅰ－1　宅地開発に対する環境評価マトリックスの例（Amelia Island）〈植生要素〉

（日本造園学会，1979）

物理的特性分類	小分類	住宅形式：土地利用適性								計画設計管理のガイドライン
		独立家屋	パーティー	パビリオンとプール	パティオ	別荘	タウンハウス	海浜ハウス	ガーデンアパート	
許容性	1 海岸草地	□	□	□	□	□	□	□	□	住宅使用不可
	2 海岸サバンナ	□	□	□	□	□	□	▤	□	
	3 防風雑木林	□	□	□	□	□	□	□	□	住宅使用不可
	4 防風森林地	▬	■	□	■	□	□	■	▬	最低限伐開で敷地設定可
	5 広葉樹林地	■	■	■	■	■	■	□	■	
樹木のサイズ	1 10″以上	■	▬	▬	■	■	■	■	■	択伐で可
	2									
	3 6″～10″	▬	■	■	▬	■	▬	■	▬	下枝の最小伐採可
	4									
	5 6″以下	▤	▬	▬	▤	▤	▤	▤	▤	
樹冠の高さ	1 0′～6′	□	□	□	□	□	□	□	□	
	2 6′～12′	▤	□	▤	□	▤	□	□	□	
	3 12′～25′	▬	▬	▬	▬	▬	▤	▬	□	
	4 25′～50′	■	■	■	■	■	■	■	▬	樹冠保護の要有り
	5 50′～70′	■	▤	▤	▬	▬	■	□	■	
下ばえのタイプ	1 ワックスマートル（ヤマモモ類）	▬	■	▤	■	▤	■	□	▬	最小伐開可
	2 スラッシュ松	■	□	□	□	▬	■	□	▬	造園計画にとりこむ
	3 イチゴの茂み	□	■	□	□	□	□	□	□	
	4 混　　種	■	■	■	■	■	■	■	■	
	5 ノコギリヤシ	■	■	■	■	■	■	■	■	造園デザインに美立木を生かす

□：不　適　　▤：低位適性　　▬：中位適性　　■：高適性

地帯や砂丘の保護・保全と、リゾート開発との調和を図るために、植生を中心とした解析評価がなされ、それに基づく計画案が立案された好例といえる。

参考文献

(社)日本造園学会（1979）：造園ハンドブック，技法堂出版，1350p.

丸田頼一（1987）：リゾート整備と環境形成にかかわる一考察，環境情報科学，Vol．16，No.4，pp.32～38.

ピエール・ラシーヌ（1987）：自由時間都市，パンリサーチ出版局，295p.

Ⅱ　緑化技術

臨海地における緑化技術全般及び配置・配植、植栽材料、基盤造成、植栽、維持管理に関する緑化技術について主ないくつかの知見をシート状に整理した。知見のテーマとその内容の対応項目を表Ⅱ－1に示す。なお、シート中の文献番号は本章末の参考文献番号に対応する。

表Ⅱ－1　知見のテーマと対応項目

番号	知見のテーマ	対応項目					
		全般	配置配植	植栽材料	基盤造成	植栽	維持管理
1	埋立地植栽計画のプロセス	○					
2	特殊環境での各種修正改善手法の比較	○					
3	環境圧と環境改善方法	○					
4	環境圧と対応策	○					
5	臨海地の芝生づくりの方向	○					
6	林冠線と防潮風施設		○			○	
7	臨海地の緑化の考え方モデル		○	○			
8	防風林による安定空間の創出		○				
9	臨海部緑化のモデルパターン		○				
10	緑地の配植と候補樹種		○	○			
11	自然性を意図した配植と植栽材料		○	○			
12	高木密生林の配植と構成種		○	○			
13	植栽材料の選定			○			
14	適性樹種選定のプロセス			○			
15	臨海地を彩る植物			○			
16	臨海地に適する芝草類			○			
17	日本に於ける芝生用植物の耐塩性分類表			○			
18	サンドポンプによる埋立土壌の特殊性と改良方法				○		
19	ヘドロ区の砂溝法および砂注法による植栽基盤造成				○		
20	基盤造成の方法				○		
21	現有土の改良手順				○		
22	盛土の手法				○		
23	飛砂に対する植栽工法と植栽材料			○		○	
24	林業技術を用いた施業					○	
25	段階植栽					○	
26	成木による修景植栽					○	
27	整枝・剪定					○	
28	防潮風網事例					○	
29	防潮風施設の事例					○	
30	支柱					○	
31	植栽当初の管理						○
32	長期管理						○
33	樹木と芝生の管理						○
34	灌水						○
35	肥培管理						○
36	台風後の管理						○

参考文献

1）東京都港湾局・三井共同コンサルタント㈱（1972）：東京港埋立地緑化基本計画調査報告書，166p.

2）日本建築学会編（1983）：建築設計資料集成　10　技術，丸善，221p.

3）㈳日本公園緑地協会（1974）：東京港埋立地緑化対策報告書.

4）日本芝草学会編（1988）：新訂芝生と緑化，ソフトサイエンス社，562p.

5）日本住宅公団首都圏宅地開発本部・㈶日本緑化センター（1980）：浦安地区緑化基盤整備計画報告書，116p.

6）斉藤一雄編著（1979）：緑化土木，森北出版，470p.

7）東京都港湾局・㈱愛植物設計事務所（1982）：.15号地海浜公園緑化基本計画報告書，51p.

8）東洋造園土木㈱（1971）：京葉臨海工業地帯環境緑化適用試験地基本計画.

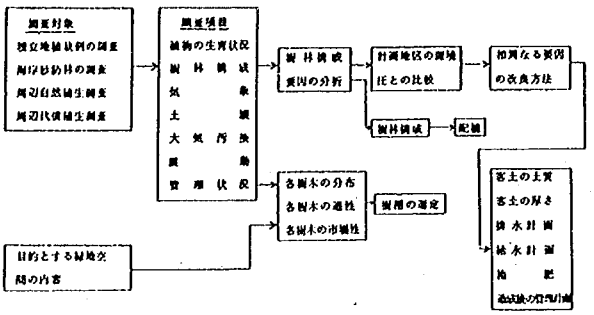
9）㈱日本公園緑地協会（1971）：千葉海浜ニュータウン開発埋立地植栽試験報告書.

10）本間　啓（1973）：臨海埋立地の緑化技術、ランドスケープ，10，Vol. 3，№2.

1

対応項目	全般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植栽	維持管理	文献番号
	○						8
テーマ	埋立地植栽計画のプロセス						

知見内容



2

対応項目	全般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植栽	維持管理	文献番号
	○						1
テーマ	特殊環境での各種修正改善手法の比較						

知見内容

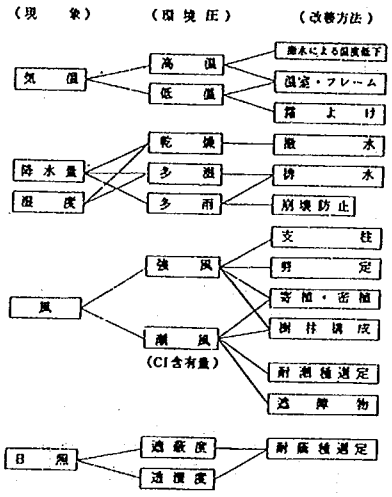
手法の分類	目的・要求	環境の修正	投資	時間	結果の植生	技術	特徴
1. 生態的アプローチ	自然保護	無修正（現状保全）	微少	きわめて長期	自然遷移から極相林	なし	テクニックとしては維持的作業に止まる。時間的に無制限，自然まかせ
2. 林業的アプローチ（緑化工法）	飛砂崩壊防止	最小規模修正	最少限投資	やや長期	第一次人工林から防災林	林業技術	肥料木による土地改良に期待，代償植正
3. 特殊工的アプローチ	緑の急速添加	必要な修正	効果的投資	短時間	マツとしての緑（移行の可能）↓庭園的景観林	林業）綜合造園）技術	修正により土地に生態的可能性をあたえまづ強健なもので安定させその庇護下で次の景観的植生へ移行する
4. 造園的アプローチ	すぐれた景観造成	大規模な修正	莫大な投資	短時間	庭園的景観林	造園技術	修正に限度があり，要求される景観が実現不可能の場合がある

3

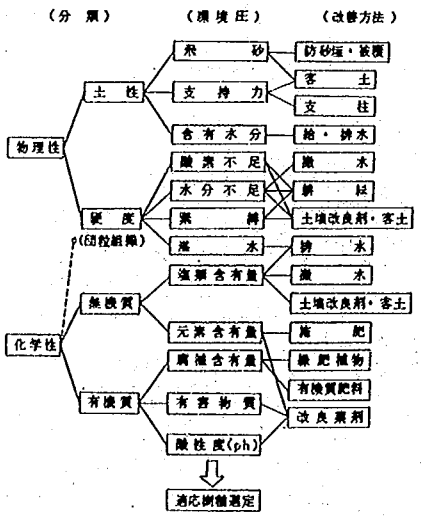
対応項目	全般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植栽	維持管理	文献番号
	○						1
テーマ	環境圧と環境改善方法						

知見内容

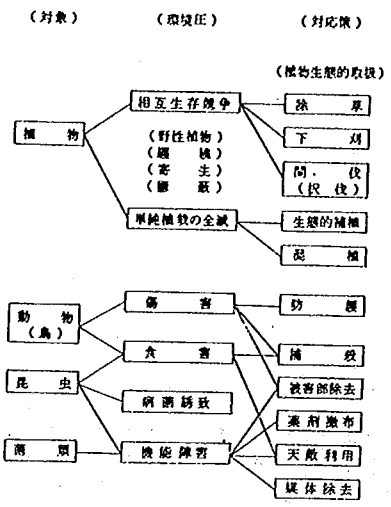
その1 気象的要素



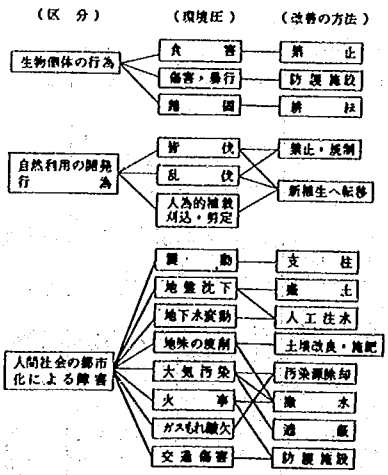
その2 土地的要素



その3 生物的要素



その4 人為的要素



4

対応項目	全般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植栽	維持管理	文献番号
	○						1
テーマ	環境圧と対応策						

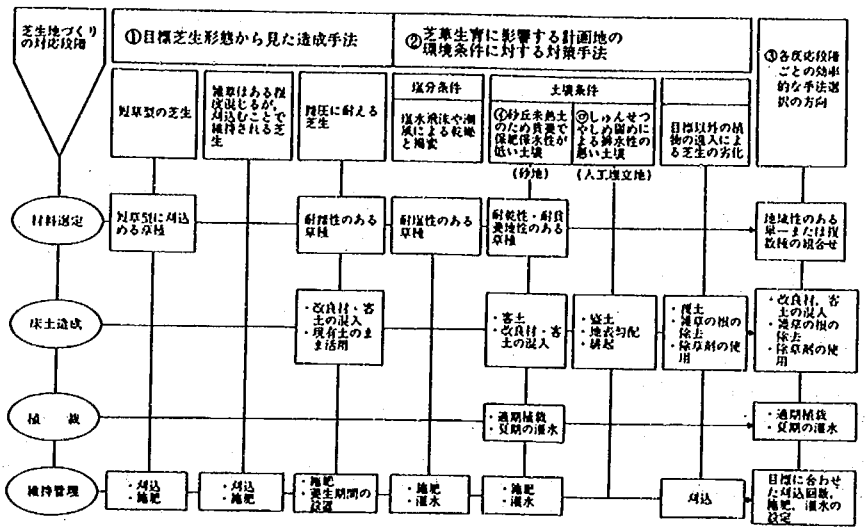
知見内容

環境圧	特徴	対応策	樹種
飛砂	7～8月及び冬季に発生し易い 表層吹上砂の地域，とくに京浜6区，13号その2	排水溝（Cannal，砂溝法，砂柱法） 防砂施設，撒水	グランドカバープランツ
潮風害（しぶき）	6～8月の南風，10号その1，その2，13号その2，11号，12号，15号地その1，その2　いずれも南側	防潮風施設（ヨシズ，エンビロンネット，築山），しぶきについては，護岸より約30～40m離す，撒水	耐潮種，密植，規格，マスグリーン，放物線
風害	機械的折損 夏季の乾燥助長 冬季の樹温低下	防風施設，有効土壌の獲得 支柱の強化 撒水	密植
湛水	堅硬による湛水 ヘドロによる湛水 14号地その1，南側，13号地その2中央部	排水溝（Cannal，砂溝法，砂柱法） 耕耘，盛土，土壌改良資材	浅根性
乾燥	夏季，冬季 吹上砂　排水施設設置後	撒水施設の設定 土壌改良（保水力の増加） 蒸発の防止	耐乾樹種
塩類障害	比較的少ない，部分的にある。 0.05%以上，№3，8，11，17，20，21，25，28	排水，撒水による溶脱 土壌改良資材 盛土	耐塩樹種
肥料不足	窒素不足，リン酸，カリ多い 置換塩基多い。	土壌改良資材（有機質，直接肥料） 腐植	肥料木
有害物質	礫多し，嫌酵ガス，しびれ水 ビニールにより不透水層	礫ー盛土，ガスーパイプ抜き しびれ水ー排水（研究余地） ビニールー排水	

5

対応項目	全　般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植　栽	維持管理	文献番号
	○						4
テーマ	臨海地（砂浜と人工埋立地）の芝生地づくりの方向						

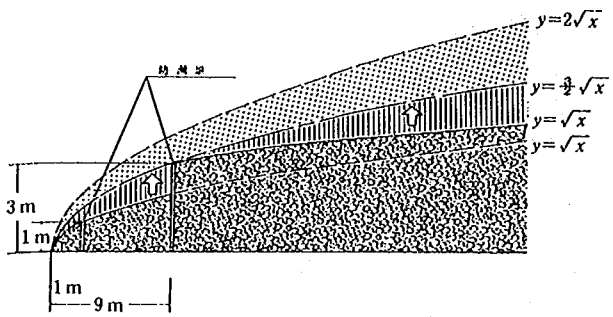
知見内容



6

対応項目	全　般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植　栽	維持管理	文献番号
		○			○		1
テーマ	林冠線と防潮風施設						

知見内容



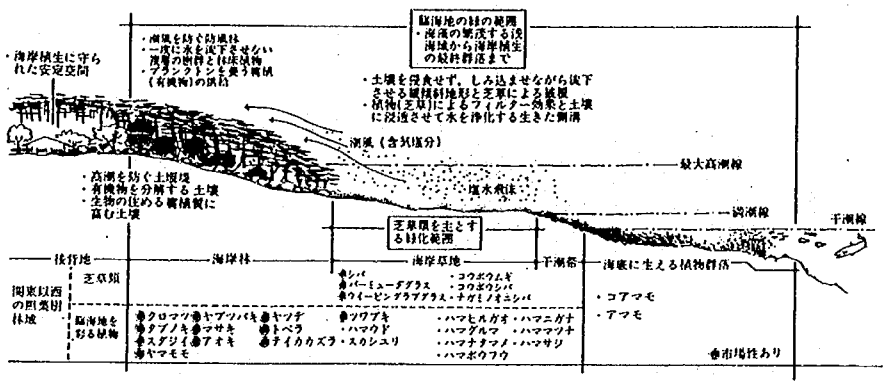
樹木の指向性および海岸自然植生の林冠線(放物線)はほぼ$y=\sqrt{x}\sim2.2\sqrt{x}$である．埋立地の植栽（特に潮風害の強い所）は安全率をみこんで$y=\sqrt{x}$（単位はm）を植栽時の基本林冠線とする．これらが成長すると数年後には$y=\frac{3}{2}\sqrt{x}$程度の林冠線を呈するものと思われる．したがって植栽時における防潮垣の設置位置は，高さ1mの垣ではA点になり，高さ3mの垣を併用する場合はB点が最も効果的な設置位置である．つまり数年後には林冠線が$y=\frac{3}{2}\sqrt{x}$となって防潮垣の除去が可能になると推定されるからである．

7

対応項目	全　般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植　栽	維持管理	文献番号
		○	○				4

テーマ　臨海地の緑化（照葉樹林域の砂浜）の考え方モデル

知見内容



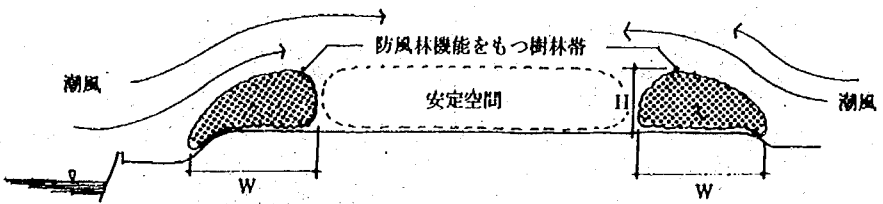
8

対応項目	全　般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植　栽	維持管理	文献番号
		○					7

テーマ　防風林による安定空間の創出

知見内容

敷地の外周部に防風林帯を設けて環境圧を緩和し、
その内側に安定した空間をつくる。



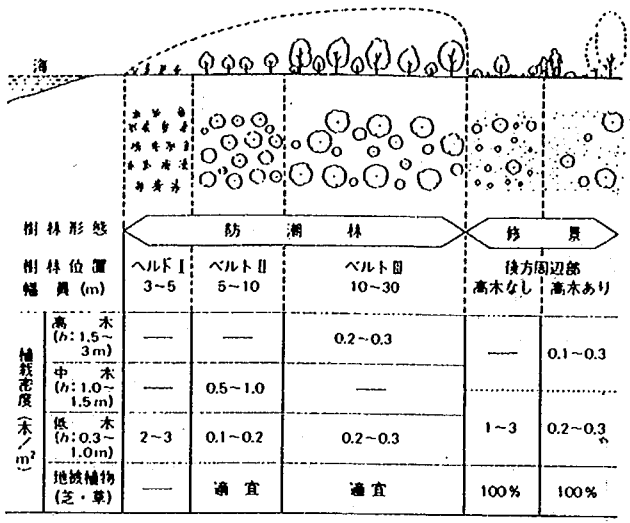
W：防風林に必要な巾
H：安定空間をつくるのに必要な高さ

9

対応項目	全　般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植　栽	維持管理	文献番号
		○					3

テーマ　臨海部緑化のモデルパターン

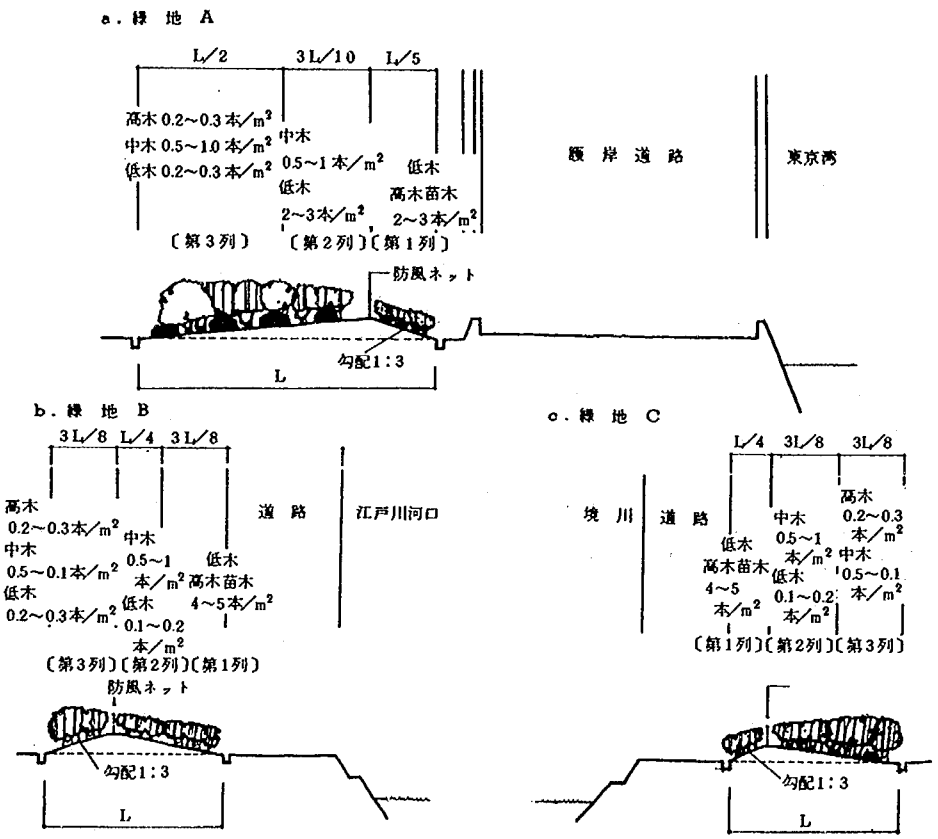
知見内容



10

対応項目	全般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植栽	維持管理	文献番号
		○	○				5
テーマ	緑地の配植と候補樹種						

知見内容（その1）



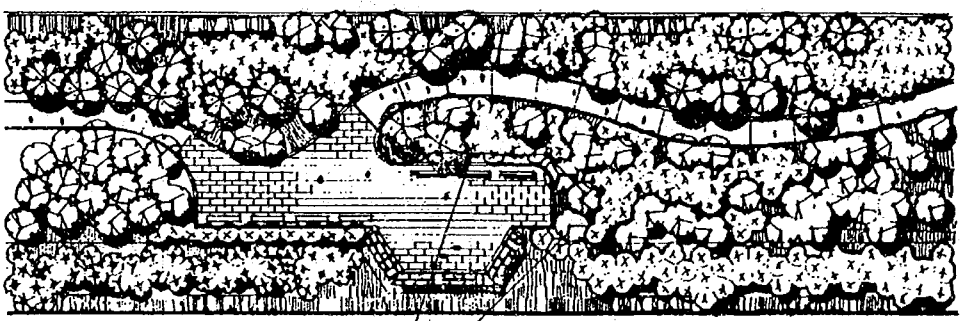
緑地の配植パターン例

候補樹種

	中・高木類	低木類	草本・地被類
(Belt) 用樹種	クロマツ，カイズカイブキ，イブキ	ウバメガシ，トベラ，シャリンバイ，マルバシャリンバイ，ハマヒサカキ，マサキ，オオバグミ	パンパスグラス，フイリダンチク，ノシバ，コウライシバ，ティフトングラス，バミューダグラス，ハマニンニク，ケンタッキー31フェスク，クリーピングレッドフェスク

知見内容（その2）

	中・高木類	低木類	草本・地被類
（Belt Ⅱ）用樹種	ギョリュウ，ギンドロ，イチイヤブニッケイ，ヤブツバキ，イヌツゲ，エンジュ，オオバヤシャブシ，カシワ，ムクノキ，ニセアカシア，オリーブノキ，エノキ	ハマナシ，クコ，キョウチクトウ，アオキ，ヂンチョウゲ，ツゲ，カクレミノ，アジサイ，イボタノキ，ディゴ，ツバキ，モッコク，フヨウ，モミジ，アキグミ	ジャノヒゲ，ヤブラン，ツルニチニチソウ
（Belt Ⅲ）用樹種	ヒマラヤスギ，クスノキ，スダジイ，アラカシ，サンゴジュ，ヤマモモ，イチョウ，スズカケノキ，アオギリ，アキニレ	ハクサンボク，アベリア，サイカチノキ，マユミ，ハコネウツギ，ガマズミ，アケビ，クニウツギ，モミジバアオイ	



（参考）緑地Aの一例

注）BeltⅠ、Ⅱ、Ⅲは、潮風圧の程度を緑化立場から段階分けしたもので、その区分は次のとおりである。

BeltⅠ：臨海樹林の最前部で強風時の潮風害が最も大きい部分

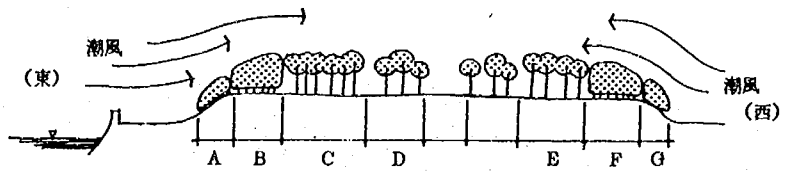
BeltⅡ：臨海樹林のBeltⅠに続く内陸側・中央部分で強風時の潮風害がやや少ない部分

BeltⅢ：臨海樹林のBeltⅡに続く最内陸で強風時の潮風害が最も少ない部分

対応項目	全般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植栽	維持管理	文献番号
		○	○				7
テーマ	自然性を意図した配植と植栽材料						

知見内容（その1）

計画地において，東西軸方向には主として潮風圧の程度と，レクリエーション利用の面から樹種の配置を決め，南北軸方向には，主として景観構成上の理由から樹種の配分を行った。また，クロマツについてはマツクイムシ対策上の理由から，南北軸方向で配置を規制した。〈基本種〉についてのゾーン別の樹種配分は次のとおりである。

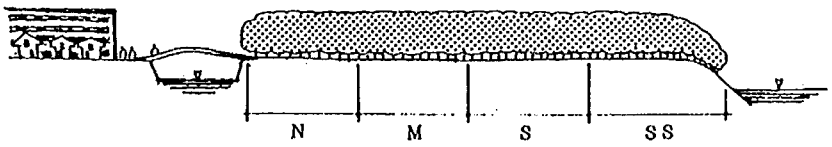


種別		樹種名	ゾーン区分 A	B	C	D	E	F	G
基本種	樹林構成種	ツイキイキレモイハキチモキクキンワキライシキキュチミゲキウ	—	●	●	●	•	—	—
		マジノシノ	—	●	●	●	●	●	—
		ロダブテスノ	—	●	•	●	●	•	—
		バ	—	•	—	●	●	—	—
		ニモッズノミダバコノダガノベンメササヒゴミロダツカクト	—	—	●	●	●	—	—
		キマニュチネロブッゴンメムリメササヒゴミロダツカクト	—	●	—	●	●	●	—
		ケリモズツコノダガノベンメササヒゴミロダツカクト	—	●	●	•	—	—	—
		ブメウブッゴンメムリメササヒゴミロダツカクト	—	—	•	●	—	•	—
		チネロブッゴンメムリメササヒゴミロダツカクト	—	●	—	—	●	—	—
		ズツコノダガノベンメササヒゴミロダツカクト	—	—	•	—	—	•	—
		モダバコノダガノベンメササヒゴミロダツカクト	—	•	—	—	—	—	•
		キンワキライシキキュチミゲキウ	—	—	—	—	—	—	—
		ヤモエセアネトシウマハサネナマイヒキョ	●	—	—	—	—	●	●
	環境改良種	ギウミダュデギ	—	—	•	●	●	—	—
		サリュグシンジ	—	●	●	—	—	●	—
		クギアエクヌヤ	●	●	●	●	●	●	•
		ヨキニバナエロル	—	•	●	●	●	●	—
		マハ	—	—	●	•	●	•	—

太字は基調種を示す

● 主植栽域
• 植栽域

知見内容（その2）



種別		樹種名	ゾーン区分			
			N	M	S	SS
基本種	樹林構成種	ツイキイキギレモイハキチモキクキンワキライシキキュチミミゲキウ ロダブノシバスノニキマモケリッズノミダバツコノゴンガシメガノペンバガサカジモグログツカトチ マジノシバスノニキマモケリッズノミダバツコノゴンガシメガノペンバガサカジモグログツカトチ	●	●	●	●
	環境改良種	クギアエクヌ サリュキグシニバナエンジュデギルマハ	●	●	●	●

太字は基調種を示す

● 主植栽域
• 植栽域

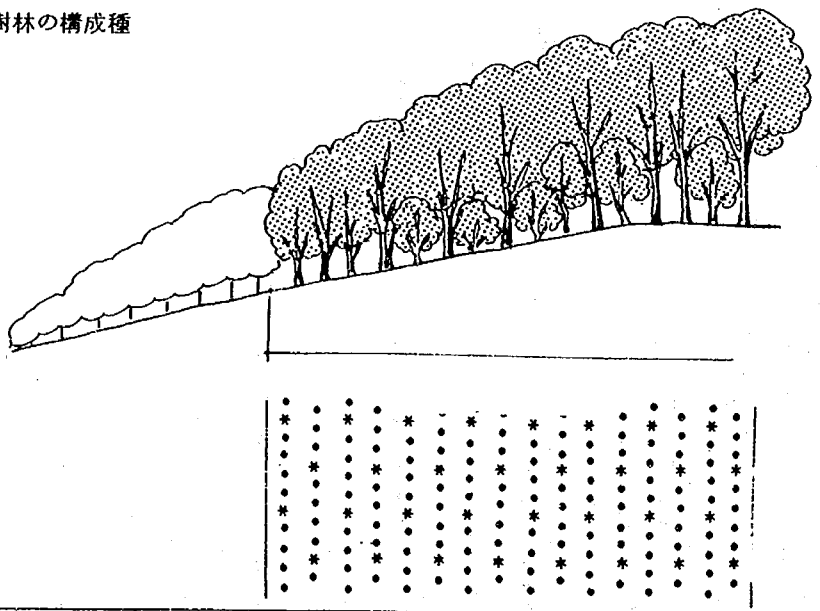
12

対応項目	全般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植栽	維持管理	文献番号
		○	○				7
テーマ	高木密生林の配植と構成種						

知見内容

基調種については，林帯の前縁には特に，耐潮風性の大きい種の内，低木密生林と接続しやすい亜高木性種を多く配植し，後方は，高木性種を中心に配植する。植栽密度は 2.0本/㎡とし，畝巾は 1 mとする。中低木類の植栽比率は約20%，環境改良種の混植比率は 30%とする。潮風の影響の小さい西側の林帯については，比較的耐潮風性の小さい種によって構成し，南・東側との景観の対比を図る。

樹林の構成種



樹林構成種 (•)	高木亜高木類	クロマツ　マテバシイ　タブノキ　スダジイ ヒメユズリハ，ヤブニッケイ，ヤマモモ，モチノキ，サンゴジュ，シロダモトウネズミモチ，エノキ，ネムノキ
	中低木類	マサキ，マルバグミ，モッコク，トベラ，ヤブツバキ，ネズミモチ
環境改良種 (*)	アキグミ，ヌルデ，ギョリュウ，クロバナエンジュ，ヤマハギ，エニシダ	

太字は基調種を示す

(注) クロマツ林型樹林の基調種の構成は，クロマツ50%，マテバシイ，タブノキ，スダジイ50%とする。
常緑林型樹林は，常緑樹 100%とする。

対応項目	全　般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植　栽	維持管理	文献番号
			○				6
テーマ	植栽材料の選定						

知見内容（その1）

a) 植栽材料の選択

元来，臨海地帯で造園材料として使用されている植物の大半は，その地域周辺，あるいはそこと同様な環境に生育する植物のうちから，たとえばモチノキ，シャリンバイ，トベラ，ウバメガシ，ヤブツバキなど耐潮性が大きく，かつ造園材料として利用価値のあるものが選ばれてきたものである．しかし，これらの樹木は，臨海地とはいえ四周を塀や建物などで囲まれた〈庭園〉という安定空間にあってはじめて順調に生育するものであり埋立地のようにまったくさえぎるもののない，厳悪な平地に植栽しようとする場合には，それがそのまま適正材料として通用すると判断することはまことに危険である．臨海地帯の植栽材料については，これまでにも多くの文献により発表されてきているので，その種類については他の資料にゆずることとし，ここでは植栽地の環境圧と植栽植物の扱い方について考えてみることにしたい．植栽地の環境圧が大きくなればなるほど，植栽可能な植物が減少することは当然のことであり，一般に適度な〈水〉と〈温度〉および十分な〈養分〉があれば，そこに生育可能な植物の種類は増加する．当然これらの条件が揃っている熱帯の森林には，単位面積当り考えられないほど多種類の植物が生育している．ところが，森林の中でも乾いた尾根筋とか沼地など，生育条件のバランスが悪いところでは，単位面積当りの出現種数が著しく減少する（吉良）.[10] この場合は，水分条件の環境圧が大きいからに外ならない．このように環境を構成する要因が，極端な値を示せば示すほど，またその数が増せば増すほど，その環境に生育できる植物は少なくなる．臨海埋立地についても例外ではなく，土壌条件や気象条件が悪くなればなるほど，そこに生育が可能な植物の種類は減少する．埋立地における極度の乾燥や湛水，強い風や塩を含んだ風，または極端な痩地など，いずれをとってもその土地の適生植物の種を減少させる大きな要因となるが，それらが相乗相加の作用をもった場合，その条件下で生育可能な種数はさらに激減する．これらの事実の裏付けとして，埋立地の植栽地でよく経験する例をあげれば，以下の通りである．

- 植え付けてから1年後の植栽地では，潮風に対してさほど抵抗力の大きくないニセアカシア，フサアカシア，ヤマモモ，エニシダ，ヤマハンノキ，ヤシャブシ，ヤマハギなどが目立って生育がよく，それらの樹木より一般に抵抗力の大きい，クプ，モッコク，ヤブツバキ，サザンカなどの元気がないことが多い．これは，前者が痩地に対して抵抗力が大きく，特別に強力な潮風の影響がないかぎり，厳悪な埋立地土壌には適していることを示している．一方後者は，潮風に対しての抵抗力は大きくても，肥沃・適湿な土壌条件を好む種であるために一時的に衰弱しているのであり，土壌条件さえ良ければ前者と同様あるいは，それ以上に順調に生育する可能性がある．

注：吉良竜夫（1976）：自然保護の思想　人文書院

知見内容（その2）

- 関東周辺のサンゴジュは，同じ埋立地でも場所によって生育度は著しく異なる．それは，本来サンゴジュが適湿地を好む暖地性の樹種であるため，潮風に対しての抵抗力は比較的大きいが，乾燥，寒風に対しての抵抗力がごく小さいことによるものである．このため，寒風から守られた建物の陰や湿気の多い土地での生育は著しく良好で，反対に，吹きさらしの乾燥地に植えられたものは衰弱度が激しく，その度合いが増せば枯死してしまう．同様な例として，沖縄地方におけるオキナワキョウチクトウは，海岸地帯の河口など塩水のかぶるところにも良く生育するが，乾燥の激しい埋立地などでは衰弱が激しく，枯死することが多い．
- 潮風に対してとくに抵抗力の大きいといわれるキョウチクトウ，ハマヒサカキ，マルバグミなども，寒さに対しては抵抗力が小さく，北国での植栽には適さない．しかし，グミの仲間でも，アキグミは東北地方の海岸地帯でも旺盛な生育を示す．

このように，一口に埋立地といっても，そこの立地条件により適正な植栽材料はまちまちであり，単純に〈潮風に強い植物リスト〉がそのまま埋立地適正種であるとすることは大きな誤りであることがわかったことと思う．とくに埋立地では環境圧の要因が一つだけということは少なく，通常は最低3つ以上の要因が重なるので，これに耐える種はごく限られたものになり，植栽景観も単純にならざるを得ない．しかし，反面そのような植栽景観が埋立地の景観であるとすれば，それをいかに効果的に演出するかが埋立地緑化の鍵であるともいえよう．さてこのようにして，〈さまざまな条件のフルイ〉を通過してきた，ごく限られた種類の植栽材料によって施工されたはずの埋立地の植栽地において，なお多数に植栽樹木が枯死する現状を，どう解釈すればよいのであろうか．その主な要因は，〈植栽材料の品質〉〈植栽時期〉〈植栽技術〉の3点に集約される．

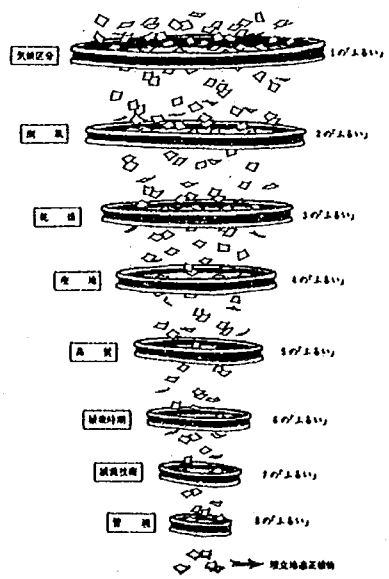
b) 植栽材料の品質

〈品質〉に対する評価の内容はいろいろ考えられるが，埋立地の場合は，第一に「地下部と地上部とのバランスがとれていること」であろう．環境圧の小さい部ではかりに少々根の状態が悪くても，灌水や施肥等の管理によって十分回復が可能であるが，埋立地の環境ではほんのわずかなバランスの狂いが命取りになることがあるので，この点をとくに留意して細根の十分発達したものを選ばなくてはならない．栽培時に根を損傷することのないポット栽培品が埋立地緑化にとくにもてはやされるのはこの理由による．第二に「組織が堅固なこと」．最近，各地の臨海地で大きな問題になっている，〈緑化材料の生育環境の急変による植栽材料の衰弱または枯死〉は，一時期の緑化材料の需要急増に伴い，環境の良い気象条件下（温室，フレーム栽培を含む）で大量施肥による促成栽培が行われ，そのために，根の荒れた軟弱な材料が市場に出回ったことが主な原因とされている．軟弱につくられた植物は，急に環境の厳しい海岸地帯などに植栽されると，軟弱な細胞組織が破壊され，枯死に至らないまでも致命的な打撃を受けることになる．このため，埋立地の植栽材料として選定するには，〈根の良いもの〉と同時に〈生産地の土壌や気象条件および生産の手法〉についても，十分確認する必要がある．植栽材料は，ここでさらに〈品質〉というフルイにかけられることになる．

知見内容（その3）

c） 植栽時期

適切な植栽時期の選定は，適正材料（種類，品質，形状など）の選択と併わせて，最も留意しなければならない点である．植栽材料の種類も適正で，品質も良質のものを植栽したにもかかわらず，それが不適期に植栽されたばかりに全滅の憂目にあったということは，埋立地ではよくあることである．一般に，植栽適期は，個々の植栽材料の生理的な要求によってきまるもので，その主な要因は温度と水分条件である．とくに，埋立地の適正種が多く含まれる常緑広葉樹類の多くは，その生育地が暖帯地帯を中心とするもので，低温に対する抵抗力は小さいものが多い．このため，関東地方周辺では少なくとも霜の心配のなくなる3月下旬～9月中旬までに植栽を完了することが肝要である．さらに，乾燥に対する配慮をすれば7月下旬～8月下旬の酷暑時期を避けるのが賢明であるが，筆者の経験では，7月下旬の乾燥期にマテバシイ，サンゴジュ，ヤブツバキ，クスノキなど百数十本を植栽し，1日おきに1週間計3回の灌水を行った結果，枯損率がわずか1％弱という実績もある．常緑広葉樹の場合，この程度の灌水が期待できるならば，盛夏といえども植栽可能期と考えてよいであろう．一方，落葉広葉樹の場合は，埋立地に適した種類はあまり多くないが，植栽する場合には内陸部と同様，葉面からの蒸散による萎凋の心配がない落葉期がよく，さらに理想をいえば根の活動が活発になる直前，すなわち早春，2月下旬～3月上旬（関東地方の標準）の頃が最適期ということになる．このように，最終的に〈植栽時期〉というフルイにかけられたものが，はじめて埋立地の適正材料といえるわけである

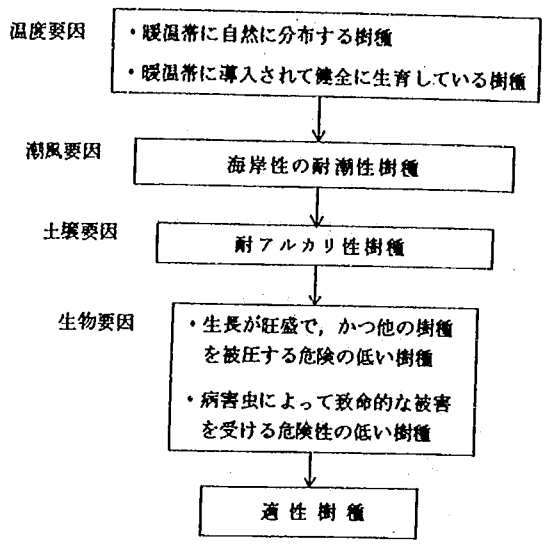


埋立地における植栽材料選定の選別構成図

14

対応項目	全般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植栽	維持管理	文献番号
			○				7
テーマ	適性樹種選定のプロセス						

知見内容



15

対応項目	全般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植栽	維持管理	文献番号
			○				4

テーマ　臨海地を彩る植物

知見内容（その1）

〈塩湿地〉

植物名	主な生育場所	日本の主な生育地
アツケシソウ	塩湿地	北海道東部
ウミミドリ	塩湿地	主として北海道
アイアシ	海岸～河口塩湿地	北海道～九州
シバナ	塩湿地	北海道～九州
ハママツナ	塩湿地	北海道～九州
シチメンソウ	塩湿地	北九州
ハマサジ	礫浜・塩湿地	宮城以南～九州
フクド	塩湿地	伊勢湾以西～九州
ハマボウ	河口塩湿地	三浦半島以南～沖縄
ハマジンチョウ	河口塩湿地	九州南部～沖縄
メヒルギ	河口塩湿地	鹿児島以南～沖縄
オヒルギ	河口塩湿地	奄美以南～沖縄
ミルスベリヒユ	河口塩湿地	沖縄
サガリバナ	塩湿地海岸林	沖縄
サキシマスオウノキ	塩湿地海岸林	沖縄

〈砂浜～海岸〉

植物名	主な生育場所	日本の主な生育地
ハマベンケイソウ	砂浜～礫浜	主として北日本
シロヨモギ	砂浜～腐植質地	主として北日本
ウンラン	砂浜	主として北日本
ハマハコベ	砂浜～礫浜	主として北海道
ハマエンドウ	砂浜～礫浜	主として北日本
エゾスカシユリ	海崖草地	北海道
アサツキ	海崖	東北～北海道
キリンソウ	岩棚	主として北日本
コハマギク	海崖	茨城～北海道東部
ハマナス	砂浜	北日本
ハマギク	海崖	茨城～青森
イソスミレ	砂浜	主として日本海沿岸
ハマハタザオ	砂浜	主として日本海沿岸
スナビキソウ	礫浜に多い	北海道～九州
ハイネズ	砂浜	北海道～九州
マンテマ	海岸後背地	北海道～九州（場）
ツルナ	砂浜～礫浜	北海道西南部～沖縄
ハマヒルガオ	砂浜	北海道中南部以南～沖縄
ハマニガナ	砂浜	北海道～沖縄
ハマボウフウ	砂浜	北海道～沖縄
アキグミ	砂浜～岩棚	北海道西部～沖縄
ハマグルマ	砂浜	福島以西～沖縄
マルバシャリンバイ	海崖	東北以南～沖縄
トベラ	海崖	東北南部以南～沖縄
ダルマギク	岩場	山陰～九州西岸
イソギク類	海崖草地	茨城以南～四国
スカシユリ	海崖岩棚	本州
ソナレムグラ	岩場～サンゴ礁	関東以西～沖縄
イワダレソウ	砂浜内岩上など	関東以西～沖縄（場）
ハマウド	砂浜～海崖	関東以西～沖縄
キケマン	有機質の礫浜	関東以西～沖縄
ハマゥンゾウ	海崖	関東以西～九州
ハマアザミ	礫浜	関東以西～九州

知見内容（その2）

ハマナクマノ	礫浜～岩場	関東以西～沖縄
ハマナデシコ	海崖	関東以西～沖縄
ハマユウ	礫浜に多い	房総半島以西～沖縄
ワダン	海崖	三浦・房総半島、伊豆諸島
イワタイゲキ	有機質礫浜～岩場	伊豆以西～沖縄
イソマツ	岩棚	伊豆諸島～沖縄
アゼトウナ	海崖	伊豆半島～九州
ウバメガシ	急な岩場	伊豆以西太平洋岸
キキョウラン	砂浜	紀州以南～沖縄
ハマダイコン	腐植質地	主として本州中部以南
ルリハコベ	礫浜	西日本（帰）
ノジギク類	海崖草地	四国以西
タイトゴメ	岩棚	南日本～九州
ハマボツス	礫の岩間～後背地	主として南日本～沖縄
ハマゴウ	砂浜～礫浜	南日本～沖縄
ハマヒサカキ	海崖	愛知以西～沖縄
ハマビワ	砂浜	中国地方以西～沖縄
ソテツ	海崖	九州～沖縄
グンバイヒルガオ	砂浜	四国以南～沖縄
テッポウユリ	海崖草地	屋久島以南～沖縄
ヒメキランソウ	砂浜	沖縄
オキナワギク	海崖	沖縄
シマアザミ	海岸草地	沖縄
シロバナミヤコグサ	砂浜	沖縄
キダチハマグルマ	有機質砂浜	沖縄
モクビャッコウ	岩棚	沖縄
ミズガンピ	サンゴ礁	沖縄
テンノウメ	サンゴ礁	沖縄
イソフジ	砂浜	沖縄
モンパノキ	砂浜～サンゴ礁	沖縄
クサトベラ	砂浜～サンゴ礁	沖縄
アダン	砂浜～サンゴ礁	沖縄

〈海岸林〉

植物名	主な生育場所	日本の主な生育地
カシワ	海岸林	北海道～九州
クロマツ	海岸林	本州，四国，九州
マサキ	海岸林内	東北以西～沖縄
タブノキ	海岸林	東北以西～沖縄
ヤブツバキ	海岸林内	青森以西～沖縄
スダジイ	海岸林	主として関東以西～沖縄
ヤツデ	海岸林内	福島以西～沖縄
テイカカズラ	海岸林内	主として関西以西～九州
ヤブコウジ	海岸林内	主として関東以西～九州
キチジョウソウ	腐植質の林内	関東以西～九州
ツワブキ	腐植質の林内～林縁	関東以西～沖縄
ビナンカズラ	海岸林内	主として関西以西～沖縄
フウトウカズラ	海岸林内	関東以西～沖縄
マンリョウ	海岸林内	関東以西～沖縄
アオキ	海岸林内	主として関東以西～沖縄
ヤマモモ	海岸林	関東以西～沖縄
オオハマボウ	海岸林	屋久島以南～沖縄
タイワンウオクサギ	サンゴ礁海岸林	沖縄
ハマイヌビワ	サンゴ礁海岸林	沖縄
ミフクラギ	海岸林	沖縄
クロヨナ	海岸林	沖縄
サキシマハマボウ	海岸林	沖縄
モクマオウ	砂浜海岸林	沖縄
ハスノハギリ	砂浜海岸林	沖縄
コバテイシ	海岸林	沖縄

（帰）帰化植物

16

対応項目	全　般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植　栽	維持管理	文献番号
			○				4

テーマ　臨海地に適する芝草（イネ科）類

知見内容

芝草の種類	日本の主な生産地	備考
◉レッドフェスク（オオウシノケグサ）	関東以北～北海道	
◉ケンタッキーブルーグラス（ナガハグサ）	関東以北～北海道	ヨーロッパ原産
・ハマニンニク	北日本～北海道	
◉シバ（ノシバ）	札幌以南～沖縄	
◉コウライシバ	東北以西～沖縄	
・オニシバ	北海道西南部～沖縄	
・ナガミノオニシバ	南日本～九州	
◉ウイーピングラブグラス（シナダレスズメガヤ）	東北以西～沖縄	南アフリカ原産
◉バーミューダグラス（ギョウギシバ）	関東以西～沖縄	
・ケカモノハシ	北海道南部～九州	
・コウボウムギ	北海道～九州	（カヤツリグサ科）
・コウボウシバ	北海道～沖縄	（カヤツリグサ科）
・ツキイゲ	屋久島～沖縄	
・クロイワザサ	沖縄	
◉セントオーガスチングラス（イヌシバ）	南日本～沖縄	西インド原産

◉市場性あり

17

対応項目	全　般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植　栽	維持管理	文献番号
			○				4

テーマ　日本に於ける芝生用植物の耐塩性分類表

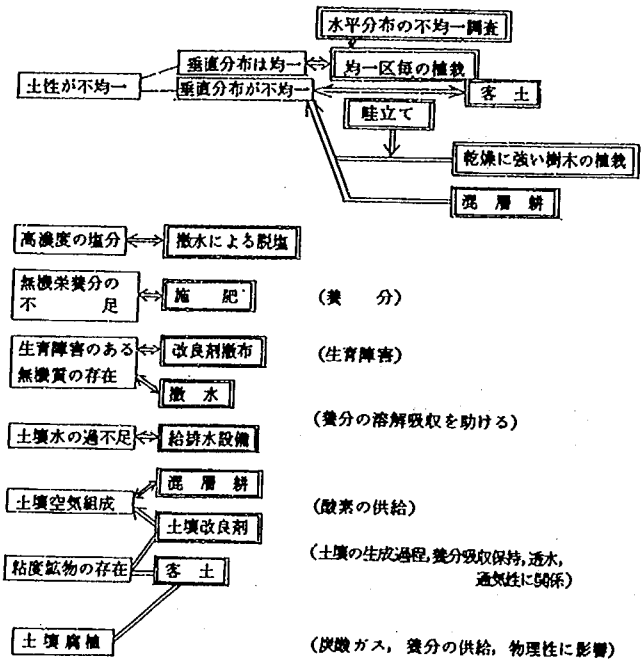
知見内容

耐塩性	種　　類
弱	ベントグラス類（ハイランド・ベントグラス，シーサイド・ベントグラス） ブルーグラス類（ケンタッキー・ブルーグラス，アニュアル・ブルーグラス）
中	フェスク類（クリーピング・レッド・フェスク） ライグラス類（ペレニアル・ライグラス，イタリアン・ライグラス）
強	バーミューダグラス類（コモン・バーミューダグラス，ティフグリーン，アフリカン・バーミューダグラス） シバ類（のしば，ちゅうしば，からしば，ひめしば，エメラルド・ゾイシャ） （日本芝）

18

対応項目	全般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植栽	維持管理	文献番号
				○			8
テーマ	サンドポンプによる埋立土壌の特殊性と改良方法						

知見内容



対応項目	全　般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植　栽	維持管理	文献番号
				○			9
テーマ	ヘドロ区の砂構法および砂注法による植栽基盤の造成						

知見内容

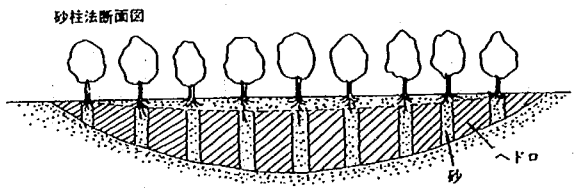
ヘドロ区の砂溝法および砂柱法による，植栽地盤の造成

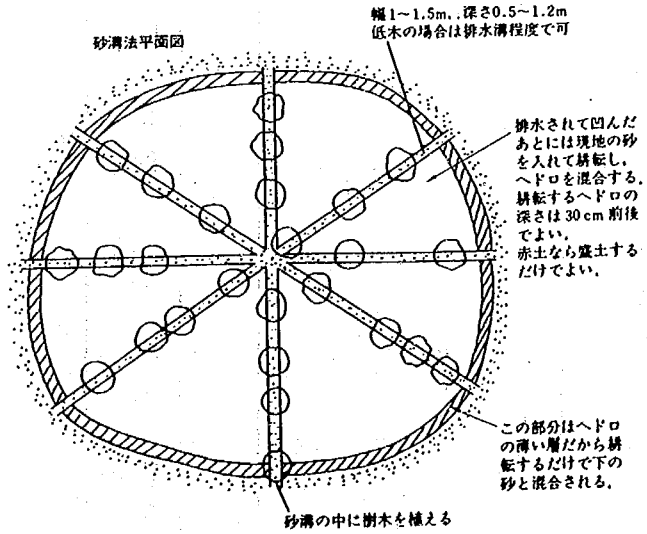
ヘドロ部分は，乾燥，収縮によって中央部が低くなり，降水時に滋水幅 100 m ほどの池になり，再び乾燥して干上り，表層に亀裂を生じ，これをくりかえすにすぎず，ヘドロは亀裂面以外は酸化されず，永く還元状態のままである．

したがって，最低部（約−50 cm）から周辺に向って排水溝（砂溝）を設けるか，縦にヘドロを貫いて垂直の排水溝（砂柱）を設けるかにより，ヘドロ部分に溜った塩水を排出する必要がある．

i）砂溝法はかなり効果が認められる．

ii）砂柱法は全般的に生育が劣り効果は少ないが，ヘドロ地の排水を図る上からは，効果が大きく，赤土盛土法，砂溝法との併用により一段と効果があがるものと思われる．



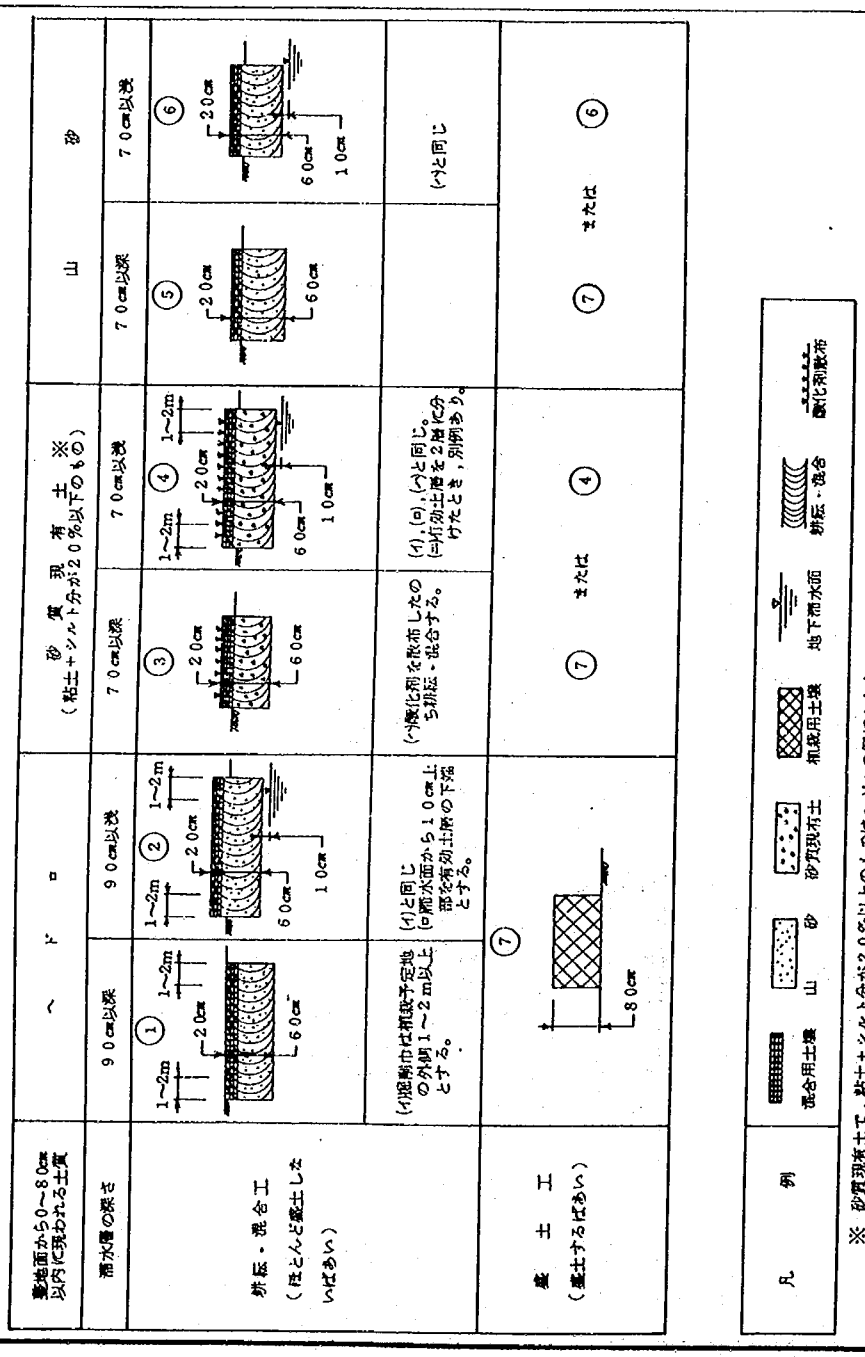


20

対応項目	全般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植栽	維持管理	文献番号
				○			5

テーマ　基盤造成の手法

知見内容



21

対応項目	全　般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植　栽	維持管理	文献番号
				○			5
テーマ	現有土の改良手順						

知見内容

改良現有土は放置期間中に現有土を改良するもので，かなり長期間を要するため，地区中央台地以外の部分で改良することになろう。

改良の順序：

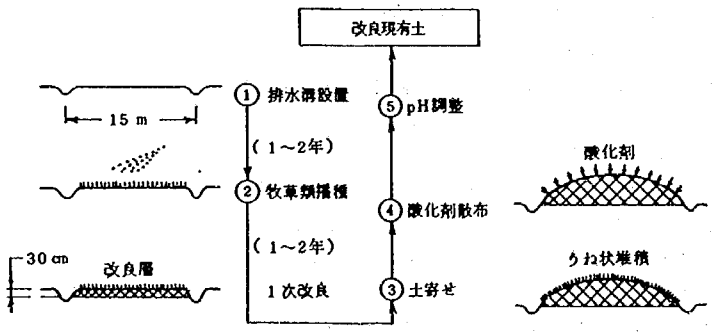
① 排水溝を１５ｍピッチで設け除塩，酸化を促進させる。

② 除塩が進んだ時点（排水溝設置１～２年後）で牧草類を播種する。

③ 改良された約３０㎝の土を土寄せし，うね状に堆積し，端部に排水溝を設け，地表に牧草類を播種する。

④ 酸化剤を用い酸化を完全に行なう。

⑤ 酸度をＰＨ5.5～7.0に調整する。



牧草類はイタリヤンライグラス，シロツメクサ等

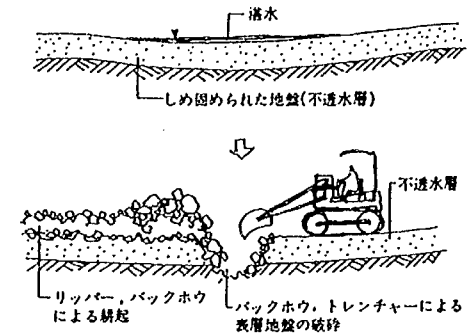
対応項目	全般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植栽	維持管理	文献番号
				○			6
テーマ	盛土の手法						

知見内容（その1）

盛土の手法　埋立地において，以上のような原因で衰弱または枯損した樹木は，解明されないまま見過ごされているものも含めれば，相当な数にのぼることと思われる．埋立地において，それまで順調に育っていた樹木が，特別な理由もなく突然衰弱したり，枯れたりした場合は，まずこのような原因によるものと疑ってみる必要がある．そこで，このような失敗を防ぐためには，次のような作業を行わなくてはならない．

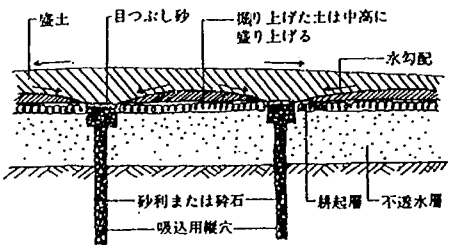
- わずかな降雨で埋立地盤の表面に水が溜るような場所は，地表面を破砕して水を地下に浸透させるようにする．
- 表面の破砕だけで水がはけない場合は，排水溝を切り，盛土の際にはそのまま溝に砕石をつめ，目つぶし用の砂をかぶせた暗渠排水とする（図－1）．埋立地盤と盛土との間に砕石や砂による層を設け，埋立地盤の表面水を暗渠に集める手法もあるが，前にも述べたように，砂層が乾燥時に毛管水の絶縁層となってしまうことから，人為的に給水の管理ができるような場合を除いては，行わない方が安全である．
- 一般の埋立地表面は堅固にしめ固まっているので，表面を少なくとも30 cm 以上は耕起し，膨軟な状態にしておく．耕起用機械は土質に応じて，バックホウ，リッパーなどを使い分ける．
- 耕起された部分にさらに盛土に使用する土壌を浅く（20 cm 程度）敷きならし，再度耕耘機などで埋立土と盛土を十分に切りまぜた上で盛土を行えば万全であるが，工事の手順や経済性などの理由から施工が困難な場合は，耕起する時点で埋立土と盛土とをかくはんしてしまう方法もある．いずれにしても，最少限度の作業としては，埋立地盤の表面を耕起し膨軟にしておくことが，堅固な埋立地盤上に盛土を行う際の必須条件となる（図－2）．

知見内容（その2）

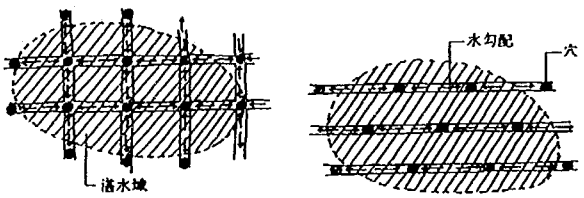


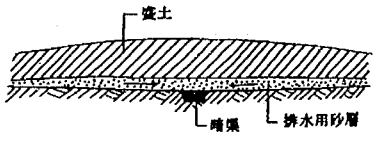
大型重機によって埋立地の表層地盤は既図にしめ固められており，降水は容易に地中に浸透しない．

盛土作業を行う前に，湧水部分の表層地盤を破砕し，全面をリッパーなどによって50cm程度の深さで耕起する．



湧水部分の表層地盤が厚く，破砕によっても排水効果が少ないときは，排水溝を切り，砂利または砕石をつめ，目づまり防止の砂を被覆した暗渠排水とする．
排水溝の寸法やピッチは，湧水の規模によって異なるが，幅，深さとも60～100cm程度，ピッチは5～10m内外が一般的である．
また排水の終末は，排水溝の交点または適当な距離に杭打機などで縦穴を掘り，砂利または砕石をつめた吸込式とする．





暗渠による排水効果を高めるために埋立地盤と盛土との間に砂層を設ける場合もあるが，乾燥時に毛管水の上昇を絶縁してしまうことになるので，給水施設体制が整っていることを前提に行うのが安全である．

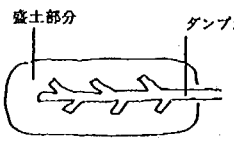
図－1　盛　土　の　手　法

知見内容（その3）



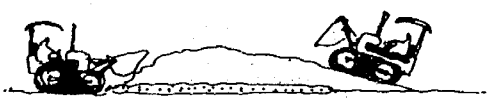
耕起
植栽地盤はリッパーによって，深さ30～50 cm 耕起する．その際に大きな瓦礫か，コンクリート塊などがあれば適時除去する．耕起した後は再び重機により踏み固めないようにする．





盛土
粘質性の植栽用盛土に砂を10～30%程度の割合で混合する．混合の手順は

集積 → 積込み → 盛土
（山土と砂を交互に） （運搬） （整地）



図－2　沖縄県名護埋立地における施工例（1977.10月）

対応項目	全　般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植　栽	維持管理	文献番号
			○		○		1
テーマ	飛砂に対する植栽工法と植栽材料						

知見内容

植物による飛砂防止工法としては，従来広面積の場合は牧草類の吹付播種工法が最も多く用いられて居り，比較的小面積の場合には，海浜植物の植付工法も行なっている。

A）牧草類播種工法の理由

i）発芽，生長が著しく良い。

ii）種子が安価で大量に手に入る。

iii）性状が解明されている。

iv）地被効率が高い。

B）海浜植物植付工法の理由

i）海浜の自然景観を再現出来る。

ii）生態的植栽の為，長期間景観が崩れない。

iii）活着が確実であり，むらのない緑が得られる。

iv）活着後の管理は皆無である。

A群の植物

バーミューダグラス，クリーピングレッドフェスク，ケンタッキー31フェスク，ウィーピングラブグラス，アメリカンビーチグラス，ティフトン

B群の植物（今後検討したい植物群）

ギョウギシバ，オニシバ，ノシバ，ハマニンニク，コウライシバ，コウボウムギ，ハマヒルガオ，ハマゴウ，ツルナ，ハマオグルマ，コウボウシバ，ハマエンドウ

A群の植物が安価で大量に入手し易い事から，応々にして，どの様な場所にも乱用されがちであるが，日本の優れた海岸風景が，しばしば上記の牧草の進入により乱されている。使用に際しては慎重を期するとともに，今後B群植物の利用及び開発は造園緑地の進展の為の急務であろう。

対応項目	全般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植栽	維持管理	文献番号
					○		6
テーマ	林業技術を用いた施業						

知見内容（その1）

（1） 林業技術の導入

松島のアカマツ林や三保の松原を例にあげるまでもなく，海岸林の美しさは，入念に配植された名園のマツの植込みに優るとも劣らない．これは種子または幼木から植栽された樹木が長い間，その土地の自然条件によってさまざまな制限を加えられながら『その土地の自然の理にかなった形態の林』に成林したからで，自然という管理者によってつくられた名園といってもよい．埋立地における緑化についても，以下にあげる四つの理由により幼木植栽による林業的施業を導入した植栽を行うことを奨励したい．

㋐ 植栽材料の地上部と地下部（根茎）とのバランスは幼木ほど均衡させやすい（図－1）．地上部が地下部に対して大きいと，地下部の負担が大きく，潮強風による影響を受けやすく，衰弱がはげしい．

㋑ 潮風・強風による抵抗を緩らげるためには，植栽の密度を高め（表－1），植栽地の幅員も広く確保しなければならず，結果的に大量の材料が必要となるので成木を使用するには支柱材の負担も含めて経済的な負担が大きすぎる．

㋒ 幼木を植栽する場合は，総体的に盛土，客土の量は少なくてすむので，経済的負担が小さくてすむ（図－2，表－2）．

㋓ 基本的には自然の管理にまかせ，要所のみ人為的にコントロールする管理手法をとれば将来とも維持管理の負担が少なくてすむ．また大量な樹木をすべて剪定整姿するには，一時期に多量の技術者が必要で現状では無理がある．

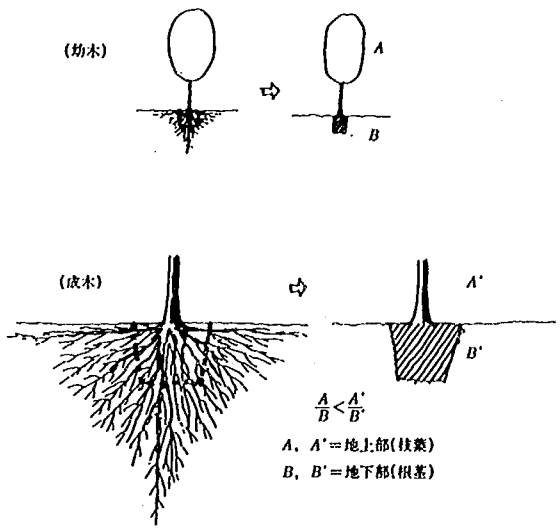
表－1 目的，機能別の植栽密度

目的・機能別の植栽	植栽密度（本/m²） 樹林帯	低木	中木	高木	地被植物	芝生	備考
①潮風の甚しく強い場所での防潮，防風林の植栽	Belt Ⅰ	(H 0.3～0.5 m) 2～3	—	—	—	—	幅員 (m) 3～5
	Belt Ⅱ	(〃) 0.1～0.2	(H 1.1～1.5 m) 0.5～1.0	—	適宜	—	〃 5～10
	Belt Ⅲ	(〃) 0.2～0.3	—	(H 1.5～3.0 m) 0.2～0.3	〃	—	〃 10～30
②公園など周辺部の樹林帯（防風林より疎な樹林）の植栽	* A	(H 0.3～1.0 m) 1～3	(H 1.5～3.5 m) ——		適宜	—	
	B	0.1～0.2	0.1～0.2		〃	—	
③風致的植栽の場合		(H 0.3～1.0 m) 0.2～0.4	(H 1.5～3.5 m) 0.03～0.1)		なるべく多用	—	
④芝生を主体とした広場の植栽の場合		(H 0.3～1.0 m) 0.05～0.1	—	(H 3.0～5.0 m) 0.01～0.03	なるべく多用	90%～	

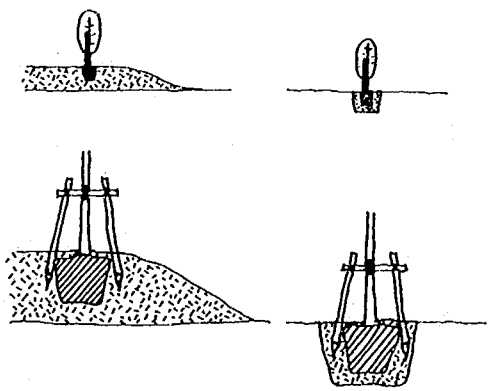
H は植栽時の樹高規格である．

* A：周辺樹林帯の外縁部，B：周辺樹林内部．

知見内容（その2）



図－1　植栽材料の形状別地上部と地下部の比較



図－2　植木の形状別植栽仕様

対応項目	全　般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植　栽	維持管理	文献番号
					○		6
テーマ	段階植栽						

知見内容

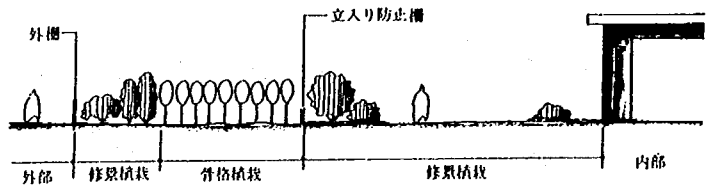
（2） 段階計画の採用

幼木による高密度植栽は，経済的な負担も少なく，将来的には景観的にも優れた緑地となる点からは大いに歓迎される手法である．しかし，実際には植栽当初の景観は決して美しいものではなく，また植栽地の利用の面からも，植栽が高密度であることと幼木であることから，ときによっては一時的に人の立入りを禁止しなくてはならないことになる．このため埋立地において緑地を計画する場合は次の3点に留意することが必要である．

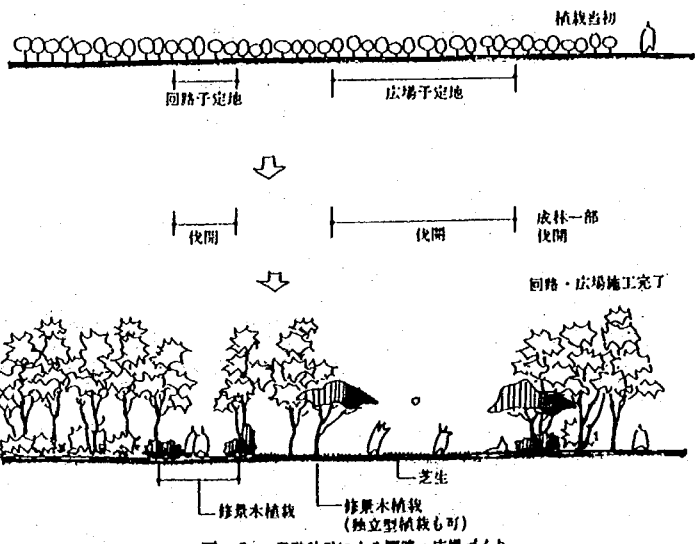
⑦ 主要植栽地については，建物の設置される以前に植栽を完了させておき建物完成時にはある程度緑地の景観として観賞に耐えられるように計画する．

④ 事前に植栽ができない場合は，人の干渉に対して十分配慮し景観的には，人目につきやすいところのみ修景効果の高い植栽を行う（図－1）．

⑦ 幼木による主要植栽帯内部の利用については，計画のみを先行させておき，施工は樹林が成林し環境圧に対して抵抗力ができた段階で行う（図－2）．



図－1　埋立地における植栽手法の使い分け



図－2　段階計画による園路・広場づくり

対応項目	全　般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植　栽	維持管理	文献番号
					○		6
テーマ	成木による修景植栽						

知見内容（その1）

（3） 成木による修景植栽

計画上やむを得ず成木による修景植栽を行う場合は，次にあげる2点をつねに頭に入れておきたい．

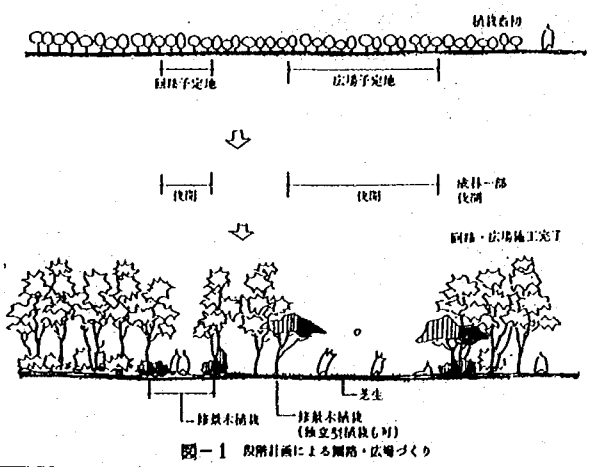
⑦ 独立木は最も環境圧を受けやすい．亭々と枝を繁らせた独立木が点在する芝生広場は利用面からも風景的に見ても植栽計画に積極的にとり入れたいところである．しかし埋立地においては，このような景観は段階計画によって十分に時間をかけた後でなければむずかしいと思ってよい（図－1）．なぜならば周辺が開放された状態で植栽された独立木は自然的環境圧（潮風，強風，乾燥など）と人為的環境圧（踏みつけ，物理的破損など）の両面からの影響を受けやすく，満足に育つケースは少ない（図－2）．

④ 群植を行うことによって環境圧を緩和させ得る．風の吹き抜けや，直射日光による地表の照射，人の立入りなどは配植の手法，密度の調整によって大幅に緩和することができる（図－3，表－1）．

表－1 樹木の形状別植栽費比較表

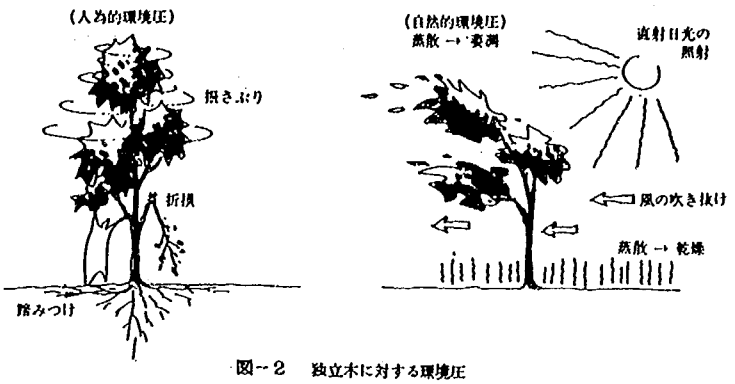
	幼　木	成　木	備　考
支柱費	（唐竹1本支柱） 650	（二脚鳥居支柱） 2,500	材工とも
盛土量	（厚さ 20 cm 1 m³/本） 2,000	（厚さ 60 cm 3 m³/本） 6,000	アール当り 20 本，植栽として1本当り土量を算出
客土量	（0.05 m³/本）	（0.2 m³/本）	高木類
植栽材料費	（樹高 1.5 m） 2,000	（樹高 3.0 m） 7,000	常緑広葉樹
植付手間	700	1,700	
計（円）	5,350	17,200	

（1978，3月現在，東京都平均）

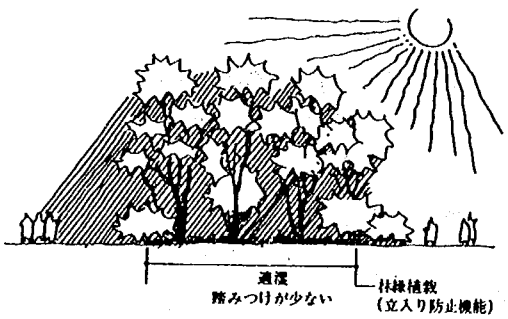


図－1 段階計画による園路・広場づくり

知見内容（その2）



図－2　独立木に対する環境圧





図－3　群植による環境圧の緩和

対応項目	全　般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植　栽	維持管理	文献番号
					○		6
テーマ	整枝・剪定						

知見内容

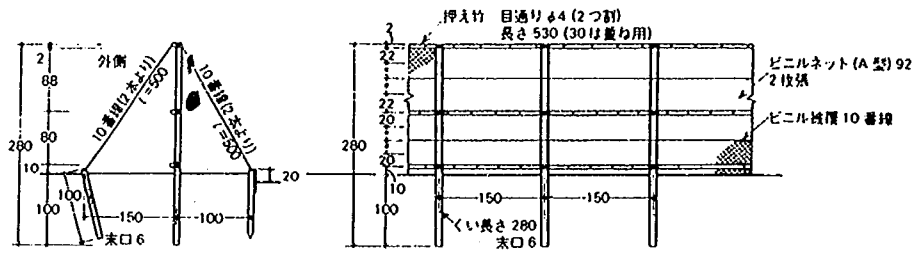
（1）　整枝・剪定

整枝・剪定では，植栽に際して，不必要な枝葉を切り落して植栽材料の姿形を整えることの他に，植物の生理的な均衡を保つことも埋立地などのきびしい条件下にあっては重要な目的の一つとなる．これは，枝葉を適当に切り透かすことによって枝葉からの水分蒸散を防ぎ根の負担を少なくするために行うもので，根の悪い材料や軟弱なもの，または不適期に植栽する場合など，極端な場合は，いったん地上部分を全部切り捨て，改めて萌芽してくる新梢に期待することもある．剪定の度合いは，材料の種類，品質，時期などにより一定ではないが，原則的に，組織が堅固で細根のよく発達した材料を適期に植栽する場合は，剪定の量は少なくてよい．また，ハギやフヨウのように冬期に地上部が消失し，翌年に元の状態に戻るような樹種は，枝葉からの水分の蒸散や風の抵抗力を小さくするなどの効果を考え，根株だけを植え込むような処置を講ずるべきであろう．このように，埋立地においては，まず第一に早く活着させてできるだけ早く環境に順応させることに重点をおくべきである．

28

対応項目	全般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植栽	維持管理	文献番号
					○		2
テーマ	防潮風網事例						

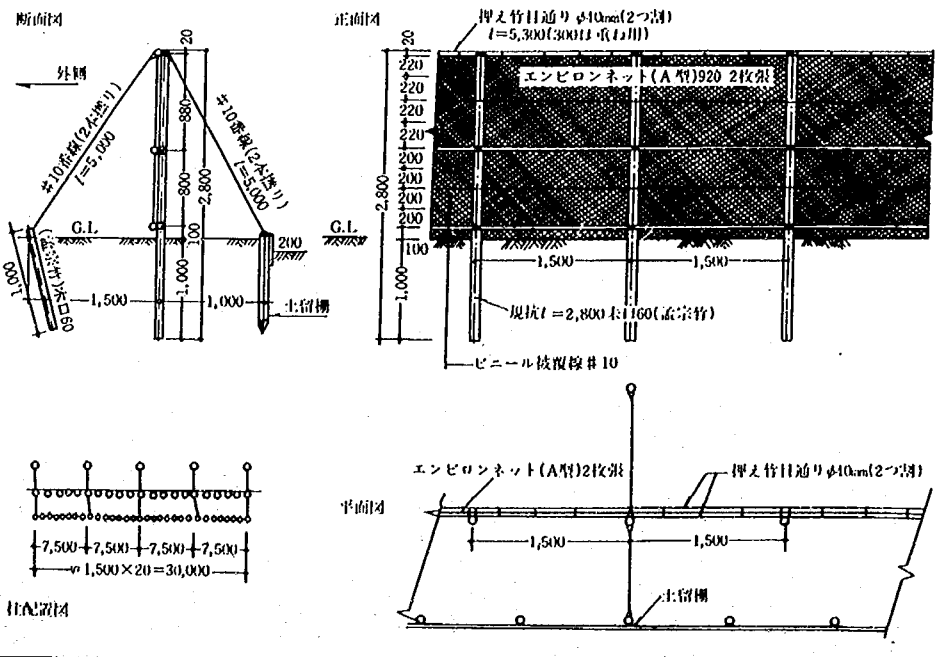
知見内容



29

対応項目	全般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植栽	維持管理	文献番号
					○		10
テーマ	防潮風施設の事例（ビニール静砂網）						

知見内容



30

対応項目	全　般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植　栽	維持管理	文献番号
					○		6
テーマ	支柱						

知見内容

（2）支　柱

支柱は，植栽されたばかりの樹木の風などによる風倒防止や，地上部がゆれることによって，伸びはじめた新しい根が〈引張り〉によって切断されるのを防ぐことが，大きな目的である．〈細根の切断〉は，植物の水分の吸収力を弱め，さらに潮風に含まれる塩分による脱水と，強風による水分の蒸散が相乗的に作用することにより，急速に萎凋現象がおこり，はなはだしい場合は枯死に至る．このため，風当りの強いところでは，支柱の打ち込み部分を大きくし，根ぐいの結束なども十分堅固に施工しなくてはならない．

対応項目	全般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植栽	維持管理	文献番号
						○	6
テーマ	植栽当初の管理						

知見内容

（1） 植栽当初の管理

環境の良い苗畑から，突然環境のきびしい埋立地に植栽された植物は，どんなに強健な種類でも，植栽直後には必ず衰弱する．その状態がひどい場合は枯死してしまうか，またはどうにか活着したとしても回復に時間がかかる．植栽当初の管理の要点は，〈植栽された植物をできるだけ早く活着させ，衰弱させずに，自力でその土地の環境に合った生育ができるような状態にしてやること〉である．

ア．灌　水　活着のための第一の作業は，何といっても〈水〉を与えることである．常緑樹の植栽適期が5～6月とされるのは，この時期が暖地性の常緑樹の発根に適した温度であることと同時に，この期間が梅雨期にあたり土壌中の湿度が高いことが大きな原因である．しかし実際には，すべての植栽作業をこの時期に合わせることはむずかしい．そのような場合は，植栽後の〈灌水〉が重要である．とくに植栽されたばかりの植物は，細根が痛められているため，水分吸収能力が低下しているので，普通の状態よりも多量の水分を必要とする．このため，埋立地のように風が強く，乾燥しやすいところでは，水分の吸収力が回復してくるまでの最低一週間は〈継続的な灌水〉を行うことを義務づけるようにすべきである．

イ．施　肥　衰弱している植物を早く元気づけるために，吸収しやすい速効性の液状肥料を与えることは効果的である．しかし，速効性の肥料を与える目的は，〈移植による衰弱の回復〉であるから，十分に活着した後に個体の充実を図るためにほどこす肥料は，油かす，鶏ふん，その他の遅効性の総合肥料など，バランスのとれた有機質系のものを与えるようにする．

ウ．除　草　埋立地に限らず，粗放管理の緑地では，植栽された植物が十分に活力を回復しないうちに，周辺の大型の雑草やつる植物が繁茂して，形状の小さな植栽植物がそれらの植物に被圧されてしまう状態がよく見られる．これは，植栽当初の植栽地では日照，水分，肥料などの条件がよいため好窒素性の植物が急速に伸長するからである．植栽された植物がある程度繁茂してくれば，それらの植物の多くは自然に消滅してしまう．このため雑草と植栽植物との競合を制御するための植栽当初の除草は，健全な緑地をつくるためには欠かせない作業で，少なくとも植栽した植物が活着繁茂しはじめるまでの1～2年間は継続しなければならない．また，埋立地のように風のおこりやすい植栽地では乾燥防止の意味から，除去した草は地上に敷きならべて，マルチング（根おおい）を行う．これは有機物質の土壌への還元という意味からも効果的である．

対応項目	全　般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植　栽	維持管理	文献番号
						○	6
テーマ	長期管理						

知見内容（その1）

（2） 長期管理

植栽された植物はいったん活着してしまえば，あとはその種が植栽地に適しているかぎり，植栽された場所の環境に適応した状態で適当に生長してゆくものである．ところが，樹木相互の競合や樹木の生長に伴う周辺環境の変化などによって，植栽当初は元気だったものがしだいに衰弱してくることがあり，その間，植栽景観は植栽された当初と樹木が生長した時点とでは，全く異なるものである．これは，植物生態学では〈植生の遷移〉と呼ばれる現象であり，造園学においては，さしずめ〈植栽地の変遷〉と呼んでもよいであろう．長期的な管理計画は，そのような植物の消長をうまくコントロールして，目標とする植栽景観により速く近づけることが第一の目的である．従来，日本庭園などにおいては，目的とする植栽景観を植栽当初にほぼ完成させてしまうため，管理の内容はいかにして植栽当初の景観をそのままの状態で維持してゆくかが最大のポイントとなっている．これは，京都の三宝院，詩仙堂などの刈り込みがいまだに，植栽当初の形状とそれほど異なっていないのを見てもわかる．しかし，埋立地のように環境のきびしい無植生地帯に期待される緑は，第一に緑量が大きく健全なものであることが一般的な条件であるため，管理の内容も必然的に前述したような〈樹木を矯正しながらコンパクトな景観をつくる〉のではなく，〈個々の樹木が互いにのびのびと生長できる〉ために必要な作業がその要点となる．

ア．密度調整　埋立地における植栽当初の植栽密度は，潮風や強風などの環境圧に対処するために，どうしても過密になりやすい．しかし，いったん活着してそれぞれが生長しはじめると1～2年で競合がおき，互いに衰弱してしまう．この場合，そのまま放置しておいても自然に虚弱な個体が淘汰されて強い個体が残るようになるが，その間に共倒れになる危険性もある．このため，人為的に虚弱な個体を早めに除去して，植栽樹種に合わせた適正な密度にまで漸次密度調整を行う必要がある．とくに，植栽当初からこの〈間引き〉を計算に入れて計画される段階植栽［e)-(2) 参照］においては，密度調整の度合いとタイミングが最も重要な管理の内容で，この作業は植栽当初の配植よりも技術的な比重が大きい．

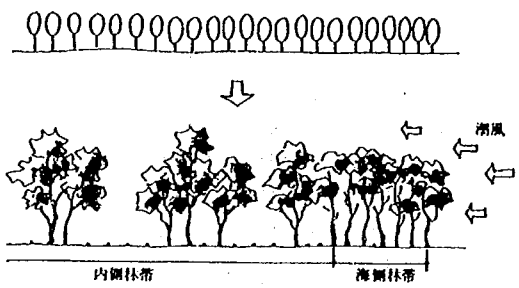
イ．景観づくり　密度を調整する際に注意すべきことは，優れた植栽景観づくりをつねに頭に入れておくことである．考えようによっては，密度調整による伐採は何もないところに新たに配植するのと全く同じ見方が必要である（図－1）．この場合，埋立地においては緑地に耐潮風効果をもたせる意味から，海側部分の密度は高くし，内側部分は漸次疎にしてゆくような配慮が必要である．

ウ．補　植　〈伐採〉による景観づくりを行う一方，補植によってより健全な，より美しい緑地を創造することも重要な管理作業の一つである．これは，植栽当初の樹種がその環境上，どうしても好陽性のものが主体となってしまうため，それらの樹種が育った後に，その林下に耐陰性樹種を植栽して，対象緑地を高木～草本までの複層構造とし，景観的にも生態的にも安定したものとするため

知見内容（その2）

である（図－2）．環境のきびしい埋立地では，このような二段構えの植栽計画が必要であり，計画の内容も初期植栽樹木の生長の様子を見ながら，その状況に応じて補植してゆくことになるので，実際の作業は管理計画の中で行われることになる．

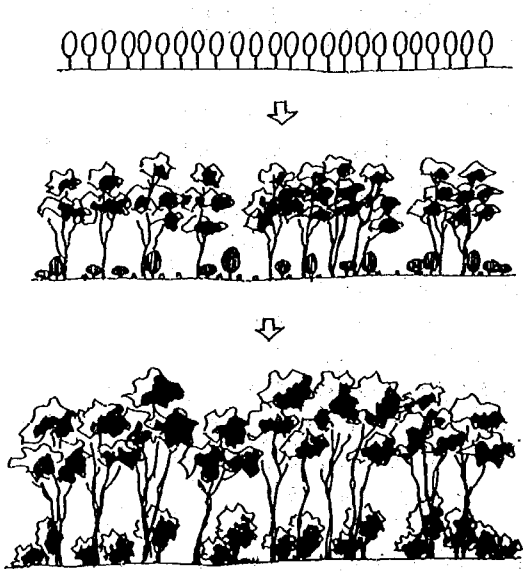
以上，埋立地の植栽地管理について，ごく基本的な考え方を述べたが，実際には個々の緑地の条件に対してさらに細かい検討が必要であり，対処方法もそれに伴って複雑化する．



環境のきびしい埋立地では，幼壮木が高密度で植栽されることが多い．

景観づくりは，樹木が活着した後に，間伐によって行われる．この際，海側の林帯は，伐採の程度を少なくして防風効果を低めないようにする．

図－1　伐採管理による景観づくり



植栽当初の樹種は，埋立地の環境圧（やせ地・乾燥・潮風・直射日光など）に耐える種で，高密度植栽が原則とされる（先駆植栽）．

先駆植栽種が生長し，安定した段階で間伐を行い，樹下に景観木を補植する．種類は，樹間，樹下などの安定空間に適した種とする．

樹林は多層となり，生態的にも景観的にも安定した健全なものとなる．なお，樹下利用に際しては，補植時に密度と位置を調整する．

図－2　伐採・補植管理による樹林づくり

33

対応項目	全般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植栽	維持管理	文献番号
						○	1

テーマ　樹木と芝生の管理

知見内容

樹木管理

作業	目的	内容
剪定 整枝	樹姿,樹型の維持改善,病虫害の除去 風害の防除 すぐれた花，果実の結着促進 樹枝，樹冠の更新	一般に10～12月骨格づくりの強剪定（冬期剪定）11～12月 整枝，枝透し剪定（夏期剪定）7～8月
刈込み(生垣カン木仕立物)	枝の更新，密度の調節 通風枝透し，形の整正	3回（5月，6月，10～11月） 2回（5～6月，10月）
灌水	乾燥の防止，水分の補給	7～8月　灌水をはじめたら降雨時まで続行移植時の水ぎめ
施肥	生長の助長，土壌の改良	3月～4月－春肥　芽出し肥 6～7月－夏肥（速効性肥料） 11～1月－寒肥（遅効性肥料）
支柱 添木 添え竹	風圧による倒伏，折損の防止 動揺による根の切断と発芽 阻害の保護	移植　定植の際 8月－暴風期の前
幹巻き	発散作用の防止 病虫害の防除	ワラ，コモ粘土を巻く移植の時 害虫駆除10～11月
除草	乾燥の調節，養分の保持 病虫害の防除	春秋2回　7～10月 常時
敷ワラ	乾燥の防止，凍害防止	乾燥期，凍害期
薬剤撒布	病虫害の防除， 活着の促進	4～7月　植栽による時期

芝生管理

作業	目的	内容
刈込み	景観，不陸の矯正，表土硬化の防止，芝生の更新	5～10月 年間5～10回
施肥	生育助長	目土に混合，水に溶して撒布 成育期　2～3回
目土	匍匐茎や根の新生，伸長促進 凹凸をなくす。徒長を防ぐ	生育初期と生育旺盛期 良土に肥料を混合
灌水 排水	衰弱の防止，水分の補給 過湿の調節	乾燥時　スプリンクラー 20～25 ℓ/m^2
転圧	匍匐茎伸長抑制，節間の短縮 密生度を大きくする。	播種後50 Kg 一般100～150 Kgのローラー
エアレーション	土壌硬化の害を防ぐ	7～8cmの深さ
除草	美観，養分保持，病虫害防止	雑草種子の熟さないうちに取る。 除草剤
薬剤撒布	病虫害の防除	8～9月　赤銹病，斑葉病
防寒	凍止を防ぐ	特に保護を要するとき コモかけ目串止め

対応項目	全般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植栽	維持管理	文献番号
						○	5
テーマ	潅水						

知見内容

8月中旬，海の中道海浜公園の砂丘地に植栽されたアラカシのうち，根もとに6ヶ月間継続して潅水されたものは，潅水を中止した後も順調に生育し続けている。生育が良い理由は，十分な水分が根もとにあったため，植えいたみせず，根が伸長し，広い範囲から養水分を吸収できたためであった。とのことから，臨海部の植栽地においては，長くて1～2年間根元に潅水すると，植えいたみせず，根が十分張って，その後の生育は加速されたように良くなるものと考えられる。

① 潅水方式

樹木には点滴潅水方式，芝生には散水方式が有効である。葉面洗浄は必要に応じ，散水栓または散水車にて行う。

② 潅水量

夏期の潅水量を面積的には5ℓ／㎡.日，単木的には樹冠投影面積あたり2～5ℓ／㎡·日（葉の密度により選択）程度とすることが望ましい。

③ 潅水点

根鉢直上部とする。低木植込の場合も，極力根鉢直上部となるよう配慮する。

④ 間断日数

乾燥時自動潅水または夏期毎日潅水とすることが望ましい。

対応項目	全　般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植　栽	維持管理	文献番号
						○	5
テーマ	肥培管理						

知見内容

本地区の植栽地は，関東ロームと山砂，改良砂質現有土，あるいは改良ヘドロと山砂，の混合土壌で構成される。いずれの土壌も養分，特に窒素成分が欠乏している。関東ロームは，その他にカリウム，りん酸，カルシウムが欠乏している。したがって，これら養分を補給する必要がある。

a）植栽時の施肥

植栽地では度々施肥できないため，緩効性の肥料を用いる。このような肥料としてイソブチレンジウレア成形品やポリオレフィン系樹脂で高度化成をコーディングしたものがある。

施肥料（案）

緑化樹木の大きさ	けい糞	ウッドエース	施肥方法
高木　目通り60cm以上	2000g／本	20ケ／本	ウッドエース；車肥とする。
高木　〃　10～60cm	1500g／本	15ケ／本	けい糞；地表に散布した後
高中木　〃　10cm未満	500g／本	5ケ／本	浅く覆土する。
低木	100g／株or500g／㎡	2ケ／株	

この値は窒素成分としておおよそ0.04%にあたる（目通り20cm，埋戻し土0.2㎥として）。

b）追　肥

春・秋各1回追肥することが望ましいが，緩効性肥料を用いた場合は，年1回でもよい。

樹木の種類	施用量
葉量の多い高木	ウッドエース　10ケ／本
葉量の少い高木	〃　5ケ／本
低木	〃　1ケ／株

36

対応項目	全般	配置・配植	植栽材料	基盤造成	植栽	維持管理	文献番号
						○	5
テーマ	台風後の管理						

知見内容

① 必要に応じ散水栓または散水車にて葉面洗浄を行なう。

② 風倒木を立て起す。

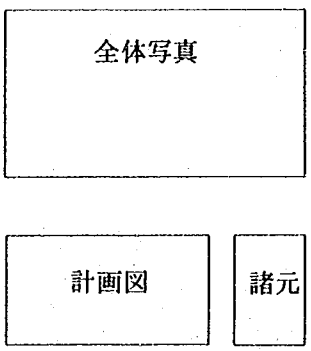
③ 支柱への結束を確認する。

Ⅲ　緑化計画事例

良好な環境づくりのための緑化計画が行われた次の２つの事例についてまとめた。

オランダ村ウィレムスタットは、既存の緑を計画的に残し、それを骨格として各々の場に合わせた緑の演出を行った事例である。また、東京ディズニーランドは、緑の全く無かった埋立地から、骨格の緑や演出の緑の全てを創出した事例である。以下に示す２ヶ所の事例の紹介は次のように構成されている。

(1)　計画の現況

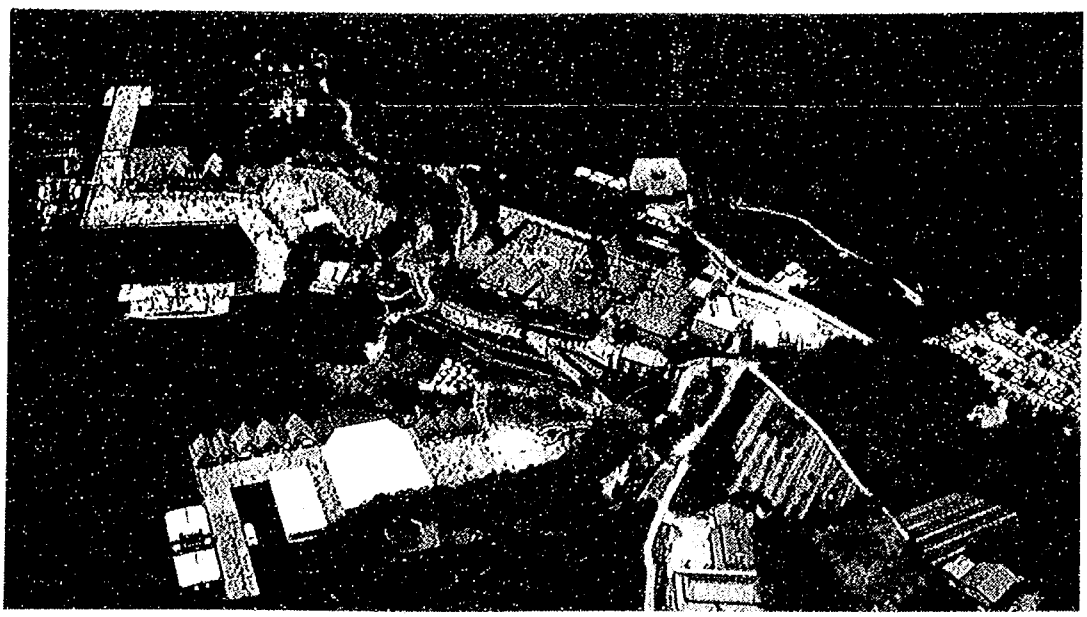


(2)　計画から管理までの流れ（フロー）

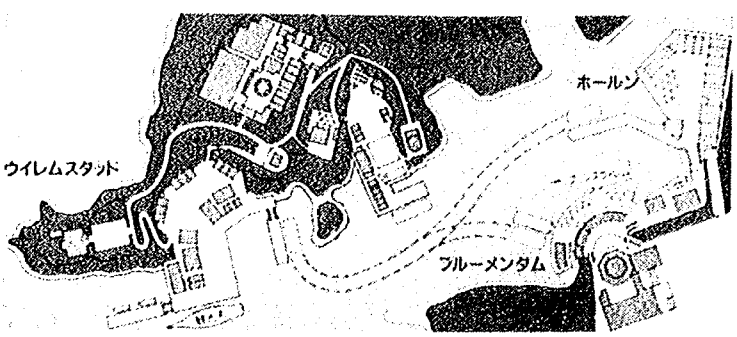
(3)　関連資料

Ⅲ.1 オランダ村ウィレムスタット

(1) 計画の現況



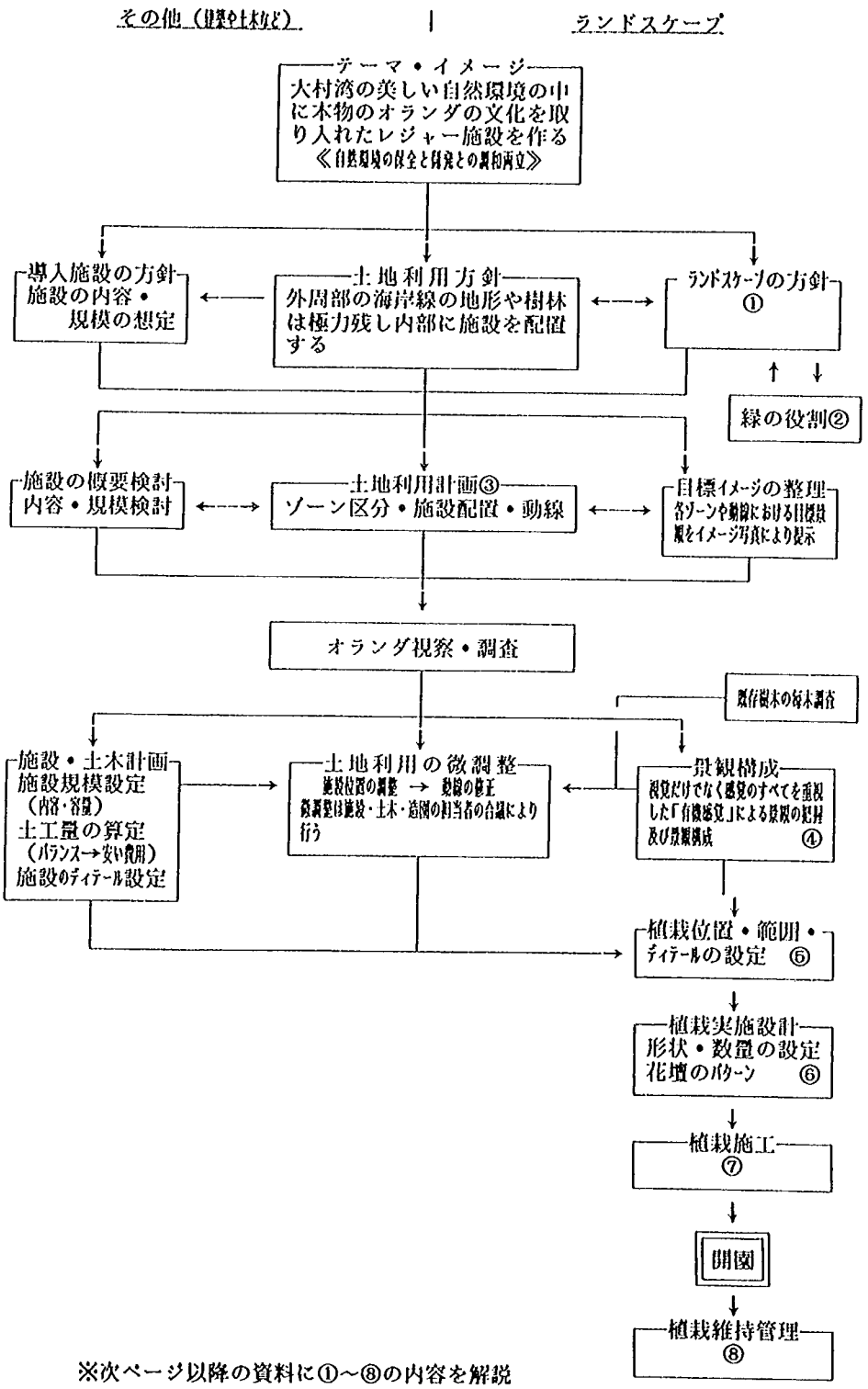
写真Ⅲ－1　オランダ村ウィレムスタット全景



敷　地　面　積　　2.34ha
建　築　面　積　0.90ha（38％）
（延床面積）
緑　地　面　積　約 1.24ha（53％）
外周既存林面積　約 0.45ha（19％）
（一部敷地外を含む）
植　栽　面　積　約 0.79ha（34％）
花　壇　面　積　約 1400㎡（6％）

図Ⅲ－1　土地利用案内図

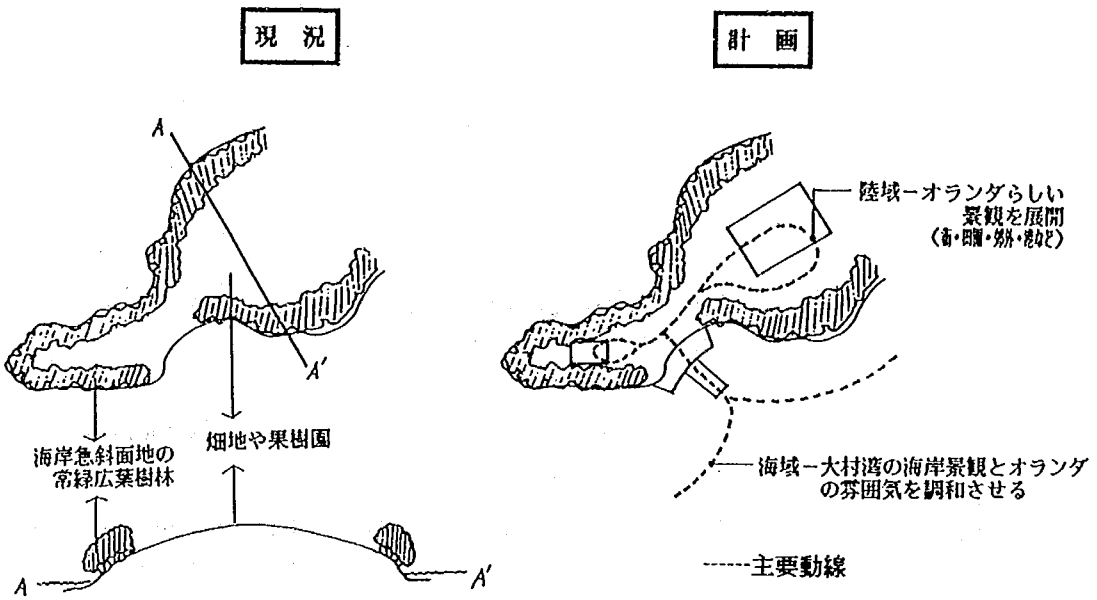
(2) 計画から管理までの流れ



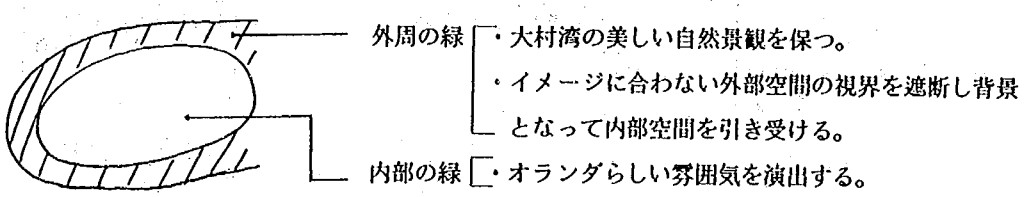
※次ページ以降の資料に①～⑧の内容を解説

(3) (2)に関する資料

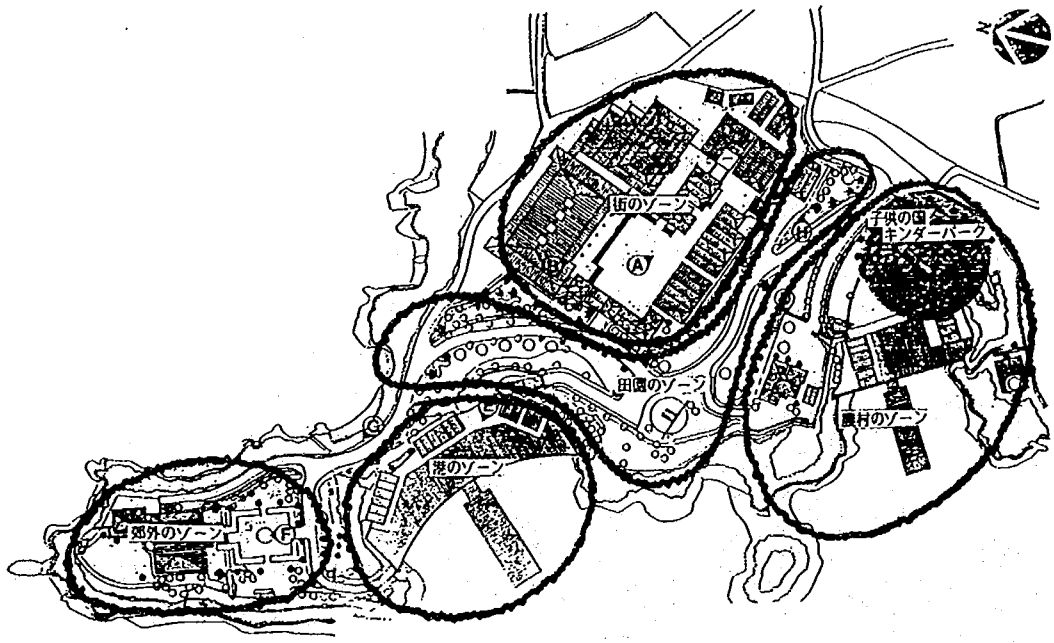
① ランドスケープの方針



② 緑の役割



③ 土地利用計画（ゾーン区分）図



④ 景観構成の方法

長崎オランダ村の景観構成を行うにあたり、まず「有機感覚」からアプローチをすることにした。一般的に景観計画で検討されるシークエンス（時間の経過とともに変わる景観のうつろい）と性格を異にしたものでシークエンス視覚を重視することに対し、有機感覚は視覚を含めた他のすべての感覚を重視するものである。

景観に対する人間の反応は、本来人間の知覚機構、いわゆる視覚、聴覚、臭覚、味覚、触覚、想覚、その他の覚など全ての覚を通して有機感覚で把握されるものである。また風景の知覚を構成する要素は空間構造、事物の形態とそのスケール、要素相互間の作用力、そして何よりもその視野の中で動く人間の動き、表情、息づかい等々であり、これらは視野、視角、光線と大気の作用、距離、構図、印象、イメージ、知識によって実現する。それら空間構成要素からの刺激が人間の心理条件、生理条件に影響を与え、人間の自然歩行にその場の環境条件で無自覚のうちに導かれた行動となる。すなわち、人間の覚にうったえる刺激の質の判定をし、さらにそれらをコントロールすることがランドスケープデザイン上重要なポイントとなるのである。

ウイレムスタッドは港町ゾーン、郊外ゾーン、田園農村ゾーン、街のゾーンの各ゾーンにゾーニングされるが、各ゾーンにアイデンティティをもたせながら、各ディテールの刺激の質・配置の検討を行い、さらにそれらのゾーン間を結ぶ動線にも同レベルでの作業をして、全体としてリズミカルで統一感のとれた

景観としてバランスさせていくのである。

⑤ 植栽の位置・範囲・ディテールの設定

施設および動線が確定した残りの部分で、利用者の目に付くほとんどの部分が植栽の対象地となっている。これらの対象地は、全体でオランダの雰囲気を演出する、また、各ゾーンの雰囲気を演出する目的で植栽がなされている。

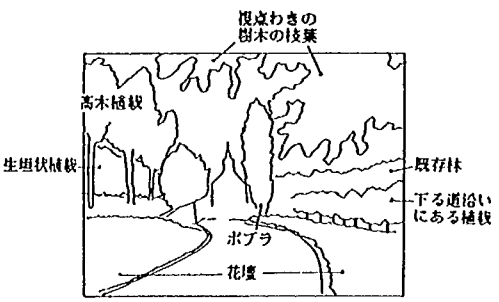
以上の目的を達成するための景観構成上の配慮、植栽の位置・範囲・デイテールの設定、設計上の工夫について、次の２つの具体シーンを例に示す。

例－1．田園のゾーン

●景観構成上の配慮と植栽の位置・範囲・ディテールの設定



写真Ⅲ－２



図Ⅲ－２

・オランダの花畑が広がる田園をイメージし、View pointとして道路わきにある木の垂れ下がる枝葉を通して田園のシーンが展開するようにしている。

・動線の両側に花畑をイメージさせる花壇を配置しているが、特に写真右下の斜面に配置することにより広がりを感じさせている。

・オランダ（ヨーロッパ）の雰囲気を出すために高木は落葉樹を主体に植栽している。費用との関連で、列や群でみせる高木は５～６m、単木で見せる高木は目立つように８～10mとしている。

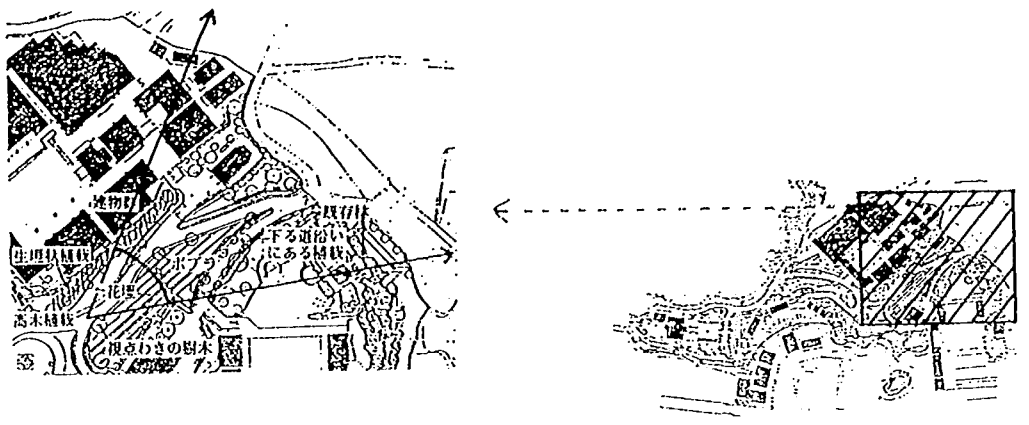
・写真正面建物（教会）の右側に見える、他の形状より大きなポプラを広がりのある空間の中に置くことで空間に遠近感を与えている。

・写真左側は、街のゾーンの建物群を緑の生垣状の植栽と手前の高木を連続させることにより適度に遮蔽している。

・写真中央から右側の背景は海岸線に残した既存林で視界を遮断しここの田園の雰囲気の演出効果を高めている。

●設計上の工夫

写真右側の花壇は斜面となっており、土砂流出が心配されるがここでは周辺の農耕地の傾斜度をモデルにして設計した。



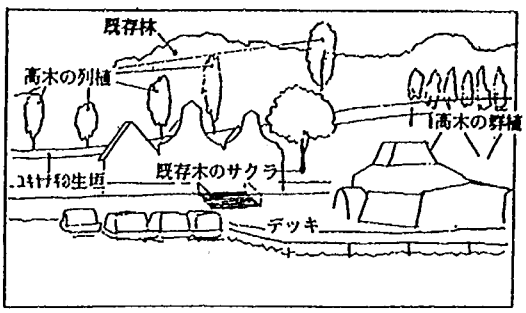
図Ⅲ－3　撮影アングル

例－2．港のゾーン



写真Ⅲ－3　撮影写真

●景観構成上の配慮と植栽の位置・範囲・ディテールの設定



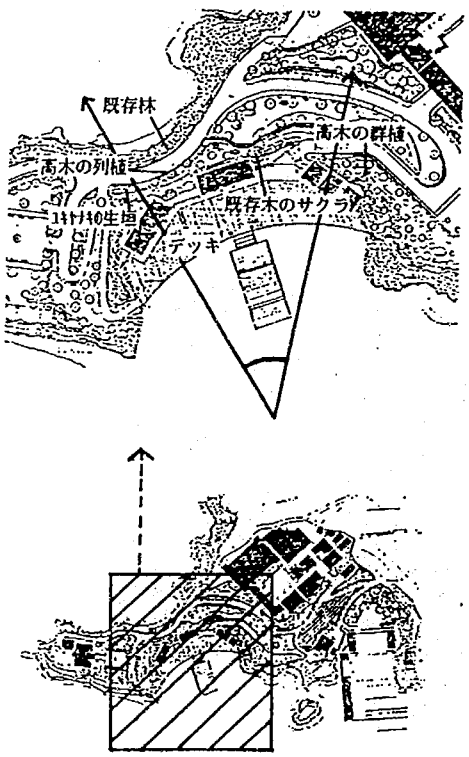
図Ⅲ－4　景観の構図

・港のゾーンで、船・デッキ・建物などの施設により港の雰囲気を演出している。写真中央の建物の右側にある緑量の多い樹木は既存のサクラを残したものである。

・港の背後は、港のゾーンと田園のゾーンと郊外ゾーンの接点に当たる部分で各ゾーンへのアプローチとして単純な構成を目指し、いくつかの種類の高木を組み合わせて列状に植栽して足元は白い垣根とユキヤナギを組み合わせている。

・写真右側の建物の背後の植栽は既存の樹林に連続させて港の背景の緑とするため成長の早い樹種による群植とした。

・全体の背景となっている反対斜面の既存林は、オランダ村とは異なるイメージの対岸の景観を遮断している。



図Ⅲ－5　撮影アングル

●設計上の工夫

港のゾーンではデッキの高さを設定し、その高さにテープを張り、見え方を確認しながら設計を進めた。

⑥　植栽実施設計において留意した点

・植　栽　材　料　潮風がそれほど強くなくその面での制限は少ないが、九州で使用できる樹種が限られ、しかも、大径木が入手しずらい。
　花壇に用いる花の色をオランダのイメージに合わせた。

・植栽基盤整備　大きな地形造成は行わない。

・植　栽　施　工　客土材が入手しずらいため客土は植え穴客土で最小限におさえた。

・植栽維持管理　いつ来ても花が見られるように花壇の維持管理計画を綿密に行った。
・施工プログラム　施工期間が短いことを想定した。
・事　業　費　事業費を越える部分については全体の形状を小さくしたが、景観上特に重要な部分については事業費を追加し、形状の1ランク上のものを使用した。

⑦　植栽施効の特徴

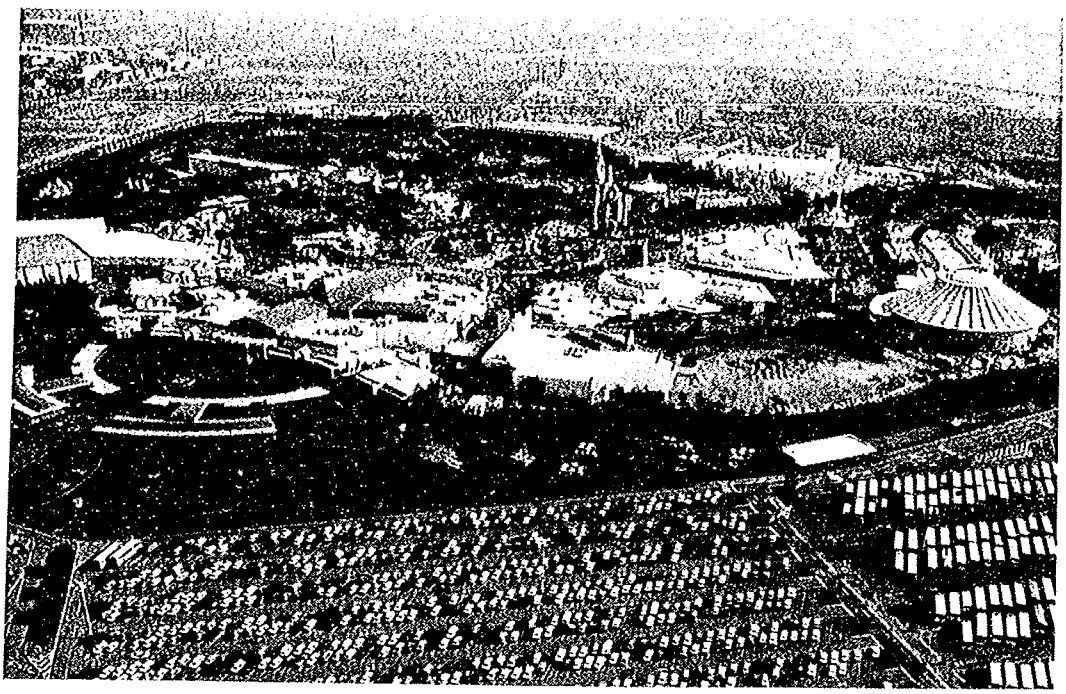
建築の工期がぎりぎりのため、十分な植栽工期が取れない。

⑧　植栽維持管理の特徴

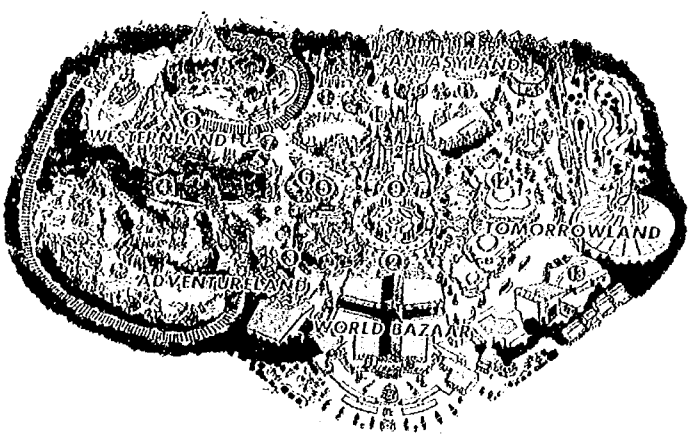
高木・生垣・刈込み・芝生など通常の管理については管理マニュアルを作成しそれに基づき地元の業者が行っているが、設計者からの管理に関する指示も行っている。

Ⅲ.2 東京ディズニーランド

(1) 計画の現況



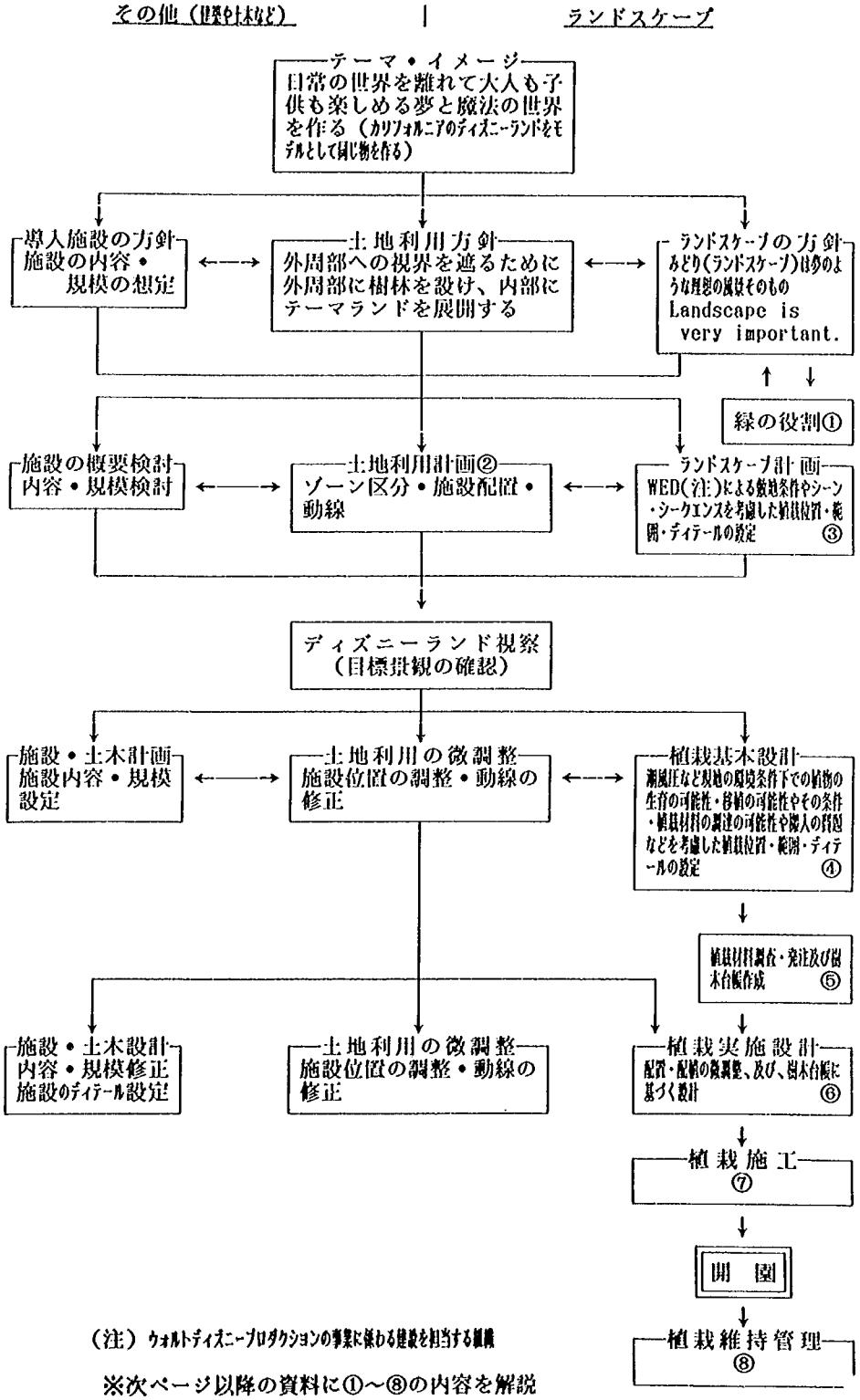
写真Ⅲ－4　東京ディズニーランド全景



図Ⅲ－6　土地利用案内図

敷地面積	約82.5ha
パーク	約46ha
サービスエリア	約11ha
パーキング	約25.5ha
（以下パーク内の面積）	
建築面積	10.7ha (23%)
緑地面積	19ha (41%)
外周植栽帯面積	約4.2ha (約9%)
植栽面積	19ha (41%)
花壇面積	7000㎡ (1.5%)

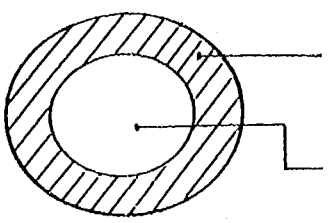
(2) 計画から管理までの流れ



(3) (2)に関する資料

a) 緑の役割

舞台に例えるならばアトラクションを際立てる舞台装置



外周の緑
- ・外界を遮り内部の演出効果を高める
- ・潮風を遮り内部の植栽環境の向上および快適な利用環境を確保する

内部の緑
- ・各テーマゾーンのイメージを演出する

b) 土地利用計画（案内図…図Ⅲ－7）

〈5つのテーマランド〉

①アドベンチャーランド（熱帯の冒険とロマン）

大きな葉を繁らせた常緑の樹々とヤシやタケの組合わせとし、ジャングルやポリネシアなどの熱帯の雰囲気を演出する。

②ウエスタンランド（アメリカ西部開拓時代）

マツ類、葉の小さな常緑広葉樹と落葉広葉樹の組合わせにより、騎場兵隊とインデアンの活躍した西部の岩山やミシシッピー川流域の雰囲気を演出する。

③ファンタジーランド（ディズニーの夢と幻想）

白雪姫の住む北欧の森、アルプスの山小屋と針葉樹・落葉樹による高原の風景、トピアリーによるおとぎの国などを演出する。

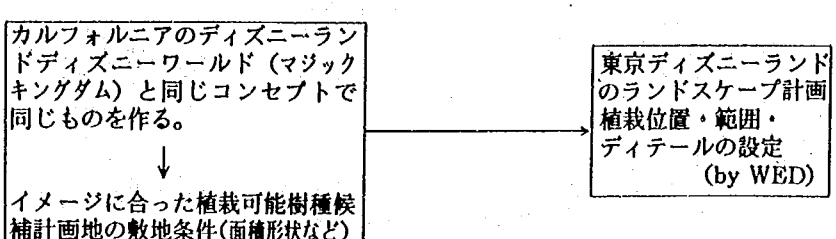
④トモローランド（宇宙と科学への挑戦）

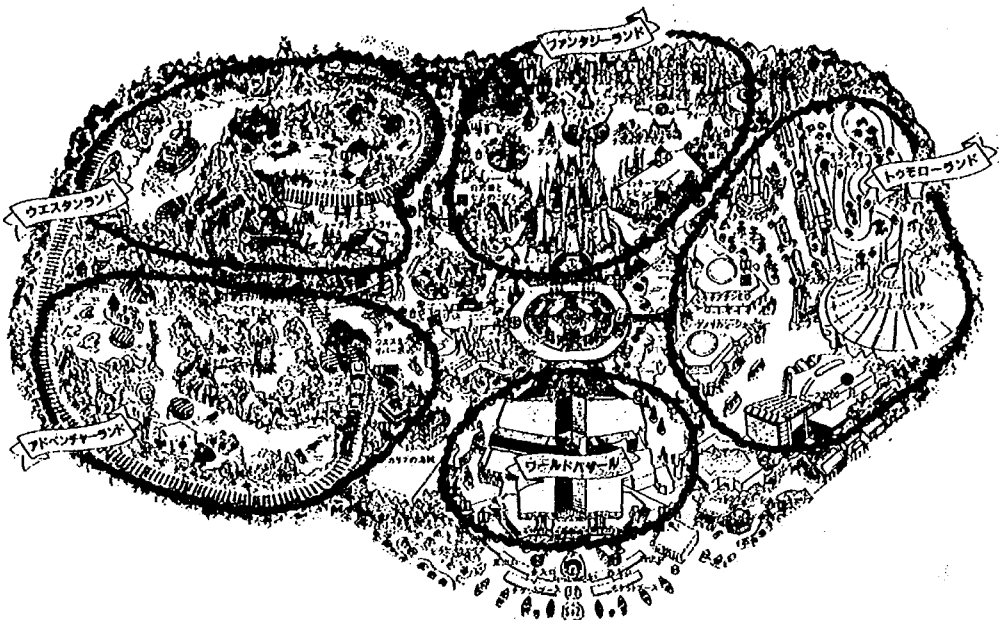
空を突く高い樹は未知なる空間への旅立ちを表し、三角形や四角形に刈り込んだ樹により高度に発達した未来の世界を演出する。

⑤ワールドバザール（国際色豊かなメインストリート）

低い緻密な刈込みと色鮮やかなもうせん花壇、常緑性の芝生によるビクトリア王朝時代の幾何学式庭園がゲストを迎える。

c) ランドスケープ計画





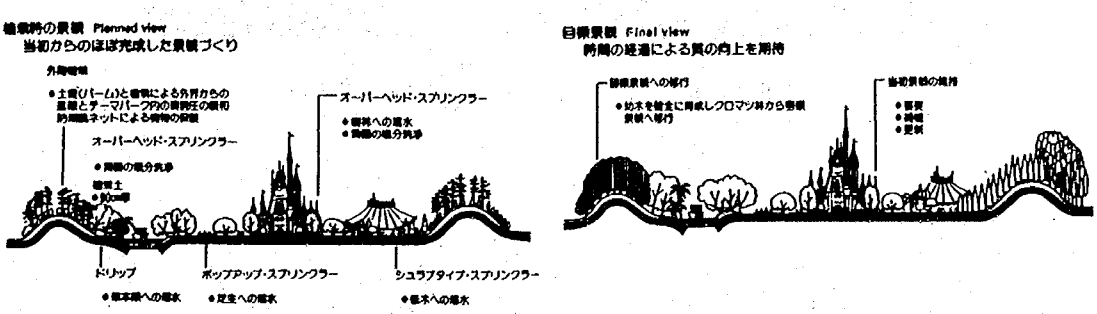
図Ⅲ－7　テーマランドの案内図

d）植栽基本設計

基本設計では、アメリカのディズニーランドを基にした計画のイメージに対して、日本で使用可能な植栽材料を用いていかに景観を構成するかが課題であった。開園当初から完成した景観づくりをめざしたことから（図Ⅲ－8参照）、樹木は可能な限り大きなもの、緑量のあるものが要求された。

これに対して、臨海埋立地にある当地での問題は植栽材料の耐潮性・耐寒性・市場性であった。このため、景観木として用いるような樹木は、当初8～10mの高さで緑量が多いことを目標としていたが、それを高さ6mに修正し、1本で見せるところを3本で緑量を確保するなどの工夫をしている。また、アメリカでは入り口の部分などに傘型の樹冠の大きな樹木が用いられているが、ここでは直接潮風が吹きつけるため耐潮性の特に強いカイズカイブキを用いたすっきりとした構成にデザインを変更したところもある。

目標とするイメージを作るための、景観構成上の配慮、植栽の位置・範囲・ディテールの設定、設計上の工夫について、アメリカにおける景観と比較しながら次の2つの具体シーンを例に示す。



図Ⅲ－8　景観づくりの考え方

①例－1．ウエスタンランド（写真Ⅲ－5．Ⅲ－6・図Ⅲ－9．Ⅲ－10参照）

●景観構成上の配慮と植栽の位置・範囲ディテールの設定

・ミシシッピー川の周辺に展開する温帯の広葉樹林を主にして、乾燥地帯の疎林や草地を混じえた構成をイメージしている。

・ジャングルのボートと異なり、3階建てのマークトゥエイン号からは、樹林を俯瞰することになり、視距離も10m以上になることから、外周（バーム）の樹林もここでは広く取っている。

・ランドスケープの表現もジャングルクルーズが部分を重視したのに対して、スケールの大きな景観づくりに主眼を置いている（次ページ参照）。

●設計上の工夫

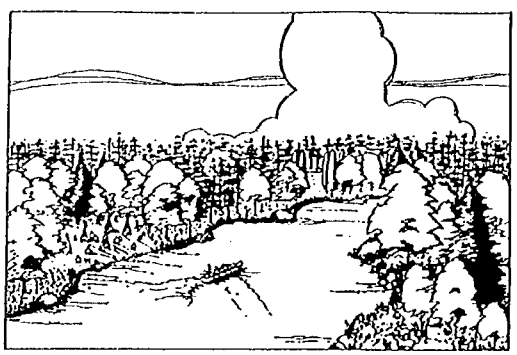
カリフォルニアやフロリダの気候は暖かく強風が吹かないことから、植栽材料は常緑性の広葉樹を主体としており、ヒマラヤスギなどを樹冠に突出させてアクセントとしている。一方、東京ディズニーランドでは温度が零下に下がり潮風・強風が吹きつけるため、林冠線を構成する樹種をクロマツとし、広葉樹類を風下の林縁に配し、アクセントは樹冠を突出しないヤナギ類や大潅木で対応している。



写真Ⅲ－5　東京ディズニーランド（アメリカ河）



写真Ⅲ－6　アメリカのディズニーランド（アメリカ河）



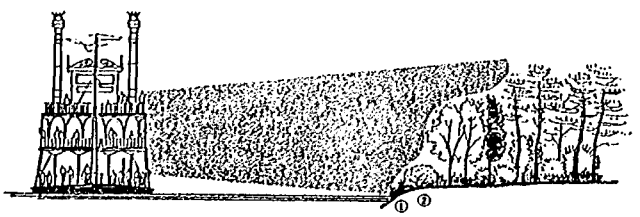
アメリカ河の景観

基調性の樹林は、常緑広葉樹に落葉広葉樹や針葉樹を混じえた景観をイメージしている。

落葉広葉樹は、感染により被害を受け易いものが多いこと、ショウとして季節的な変化を望ましいこと、の二つの理由により常緑九州に対して気候帯の目安で分類比率の内訳を主にして混植している。常緑広葉樹の植栽は、ジャングルで用いた広い葉の植物に対して、葉の細かいシラカシ、モチノキ、ウバメガシ等を用い、水辺には、アキニレ、ハンノキ、ヤナギ類、メタセコイヤ等の落葉樹類を配植している。針葉樹は、アメリカの中部地域に成育するダイオウショウ、テーダマツ、ストローブマツ等、日本で入手できる外国産のマツ、およびヒマラヤスギ、カヤノキ等、クロマツ林を背景にして、その風下側の要所に配置している。

——ウエスタンランド
WESTERN LAND

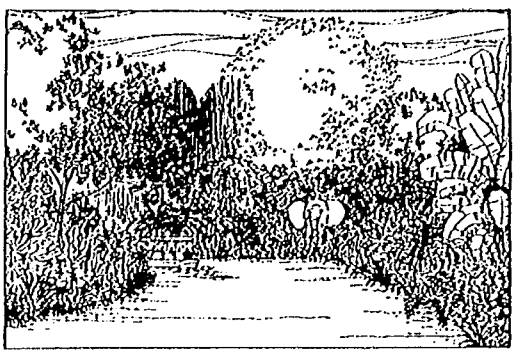
ミシシッピー河岸を模した植栽景観



①単純な組合わせによる水辺下草類・(主)セキショウ，カンスゲ，キチジョウソウ。(従)イ，トクサ，キシュウブ，シュクブ他。

②河岸の修景用灌木類・(主)アキグミ，ナワシログミ，オオバイボタ，ジュニパラス類，サワラ，アスナロ。(従)イヌコリヤナギ，シモツケ，シジミバナ，セイヨウイボタ，ピラカンサ，ヒバリカム類他。

図Ⅲ－9　アメリカ河の景観

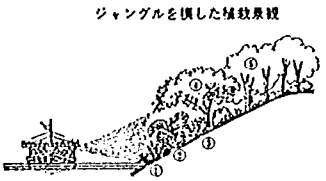


ジャングルの景観

全体としては、葉の広い常緑広葉樹林内に、大型の葉をもつヤシ類やバショウの仲間の点在する景観の構成をイメージしている。常緑広葉樹林の中で特に重要な景観木（KEY TREE）として、ジャングルの発生気を見せるためには水面に枝を広げる湿生の樹木が求められる。

ヤシ類は、耐寒性のあるカナリヤシ、ココスヤタイ、ワシントンヤシの三種を主体とし、個性を出すために組み換えとしている。冬季に地上部が枯れてしまうバショウ、カミヤツデ等は、景観を維持するために常緑性の植生域の後背に配植している。

アドベンチャーランド
ADVENTURE LAND



①モザイク状の下草類・ハラン，ノシラン，オモト，ツワブキ，シュロガヤツリ，ヘデラカナリエンシス，ビナンカズラ，ヤブラン，フッキソウ，シダ類（オニヤブソテツ，ベニシダ，リョウメンシダ）他。
②ヤシ類等の景観木・（主）カナリーヤシ，ココスヤタイ，ワシントンヤシ，ジョウオウヤシ，（従）オオカミヤシ，サバルヤシ，バショウ，カミヤツデ等
③投掛め用低木類・アオキ，ヤツデ，ワジュロ等
④傘型の主景観木（Kee tree）・ビワ，ユズリハ等
⑤背景となる常緑広葉樹類・タブノキ，スダジイ，マテバシイ，サンゴジュ，タラヨウ，ユズリハ，セイヨウバクチノキ，ネズミモチ，カクレミノ他。

図Ⅲ－10　ジャングルの景観

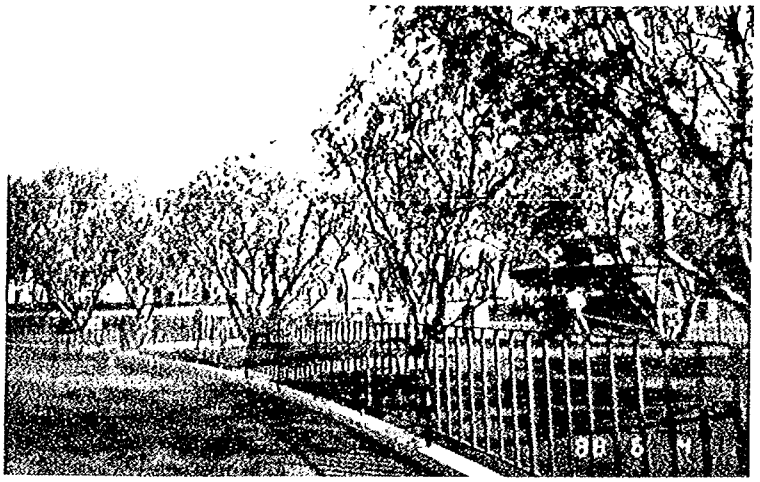
②例－２．プラザエリア（パークの中心部：写真Ⅲ－７，Ⅲ－８参照）

●景観構成上の配慮と植栽の位置・範囲・ディテールの設定

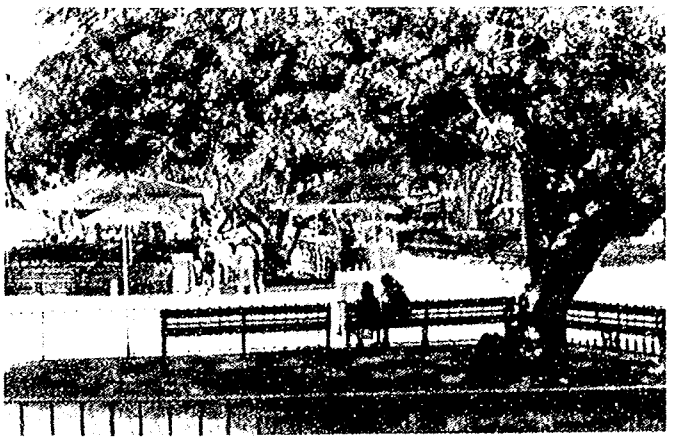
パーク中央は、パレードなどの催し物、待ち合わせの場所などに使われ、すべてのテーマランドの接点部に位置するため、中に入っても見通しがきき、明るく軽快な雰囲気で広がりのある空間が求められる。このため、芝生と花壇と並木で構成し、並木の高木は、材料の形状が揃い、樹下から見通しがきき、枝葉が密でなく透かして向こうがみえ、さらに、エキゾチズムを感じるような樹木を選んだ。また、シンデレラ城など各テーマランドにビスタを通し、それらの象徴的な景観が望めるように工夫している。

●設計上の工夫

東京ディズニーランドの設計者のイメージとしてはヤマモモを推薦した経緯があったが、日本人がエキゾチズムを感ずる耐潮性・耐寒性のある樹種としてオリーブを提案した。芝生については、維持管理上の難点も予想されたが、景観の演出効果を考えると欠かせないので、耐暑性・市場性に配慮して常緑性の洋芝の種類を決めた。

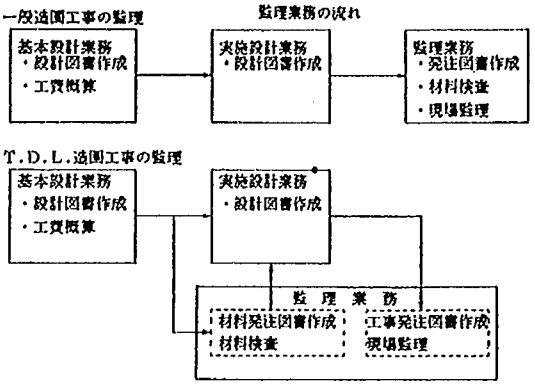


写真Ⅲ－7　東京ディズニーランド（ハブエリア）



写真Ⅲ－8　アメリカのディズニーランド（ハブエリア）

e） 植栽材料調査・発注および樹木台帳作成



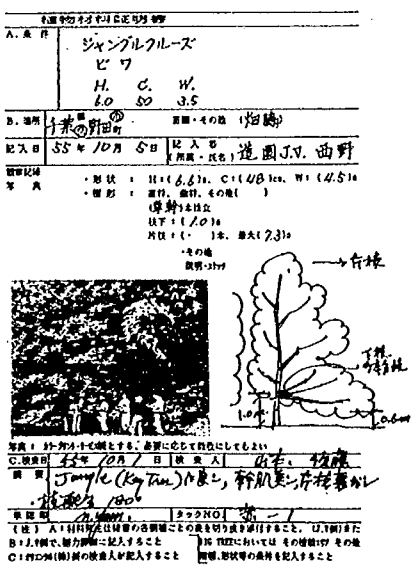
図Ⅲ－11監理業務の流れ

表Ⅲ－1材料検査の要点

対象 / 規格	ジャングルクルーズ			アメリカ河			広場・建物まわり			
	景観木			景観木			景観木			
	林縁	林内	背景木	林縁	林内	背景木	独立	寄植	列植	刈込
							人工樹形			
樹形	自然樹形			自然樹形			自然的整姿			幾何学的刈込
枝葉の配分	◆	・	・	◆	・	・	◆	◆	◆	◆
樹高	◆	・	・	◆	・	・	・	・	◆	◆
幹周	・	・	・	・	・	・	・	・	・	◆
葉張	◆	◆	◆	◆	◆	・	◆	◆	◆	◆
下枝高	◆	・	・	・	・	・	・	・	◆	◆
幹枝 傷	◆	・	・	・	・	・	◆	◆	◆	◆
幹枝 切口	◆	・	・	◆	・	・	◆	◆	◆	・

◆ 重点項目 ・ 一般項目

表Ⅲ－2植物材料証明書



表Ⅲ－3 自然樹形の材料調達仕様（規格基準）例

ジャングルクルーズ

樹種	形状寸法	特記		
タブノキ スダジイ マテバシイ ユズリハ ヒワ ヤブニッケイ シロダモ タイサンボク	特大 H=6~7m 中 H=4.5~5m 小 H=3.5~4m	樹形	・自然樹形とする。 ・枝先のひりつの恐は不可。	葉張を優先する 枝葉の下端はできるだけ低い方が良い（1.5m以下）
		枝葉の配分	・配植で対応できる片枝は可とする。	
		樹高	・樹高は8mを越えないものとする。	
		幹周	・指定寸法以上とする。	
		葉張	〃	
		枝下高	・枝葉の下端は1.5m以下とする。	
		樹肌の傷	・つるの巻き跡は不可。 ・新しい刃傷、及び付は不可。 ・古傷、うろ、良もけは可。	
		幹・枝の切口	・切り込み小さい物は不可。 ・人口的な切口のないもの、または目立たないものは可。	

f） 植栽実施設計において留意した点

・植　栽　材　料　e)で述べたように、植栽材料の有無が景観構成の大きな制約要因となっている。このため、事前に材料を確保し、作成した樹木台帳に基づき具体の対象地に樹木を当てはめる方法で設計を進めた。その際には、当初使用を予定していた場所と異なる場所に配置した材料もある。

・植栽基盤整備　植栽試験・土壌分析の結果、基本設計の段階で客土を行うことを決定し、最終的には、ジャングルでは黒土90cm、その他では赤土60～90cmの全面客土とした。

・植　栽　施　工　外周の緑については早期に植栽を行うために、他の設計に先行して設計を行った。

・植栽維持管理　高密度管理を前提として設計を行った。

・施工プログラム　開園時に完成した景観づくりを目標にした。

・事　業　費　事業費は一応の枠はあったが、景観構成上必要と認められたものについては追加費用が認められた。

g） 植栽施工の特徴

開園時に完成した景観にするために、外周の緑や大径木を先行して植栽し、その他工事はその植栽位置を前提として行なわれた。例えば、ジャングルクルーズでは見込みで盛土を行い大径木を植栽し、その後、植物の生育場所を考慮して水路の範囲が決められた。

h） 植栽維持管理の特徴

毎日が初演というパークの基本姿勢に基づき、管理が行われている。

Ⅳ　海中生態系について

——陸海システム（Land and Water system）への留意——

Ⅳ. 1　概説

海浜地のレクリエーションないし緑化の計画については、陸上のみならず、海中の緑を基盤とする海中生態系について留意する必要がある。海浜レクリエーションないし海岸の自然の保全は、このような陸海システムに直接かかわる問題だからである。一方、これを利用する人間の側の生態についても同時に考慮せねばならないから、厳密に言えばこれは人間－陸海システムHuman-Land and water systemの問題にもなる。

このことに関しては、まだ海浜生態計画とも言うべき問題に応えられる充分な科学的資料は得られていない。しかし、現在これへの対応は逐次進められつつある。

歴史的に見れば、その大々的な着手は第三次全国総合開発計画（1977年）からと言ってよいであろう。三全総は、初めて陸と海とを一つの系として扱おうとした。それまでに、海中公園の法制化（1970年）や、同じ頃大規模海洋レクリエーションの調査や、海洋に対する石油コンビナート汚染などが調査され、海洋生態系についての関心や知見の蓄積が行われた。そして、離岸堤や人工礁やマリンマルチゾーン構想が論議され、1986年にはいわゆるリゾート法が施行され、ウォーターフロント開発熱が広がり親水護岸が各地で計画建設されるようになった。

しかし、親水護岸や海中構造物の設計ではデザイン（親水工法）や機能に重点がおかれており、海岸生態系にまでは十分な対応が及んでいないのが一般的である。そこで今後の課題も含めて、その対応についてまとめてみる。

Ⅳ. 2　海中生態系の分類

(1)　海中生態系の分類

海中生態系について時岡ら（1972）は、次のように分類している。

A　海浜群系族

A_1磯浜群系　　および気候的制約をうけたサブタイプとしてのA_1'サンゴ礁群系

A_2砂浜群系（砂礫地形）

A_3内湾群系　　および気候的制約をうけたサブタイプとしてのA_3'マングローブ沼群系

B　沿海群系族

C　外洋群系族

このうち、海中での人間のレクリエーション行動と最も関係の深いものはAの海浜群系族であり、本章ではこれを対象とする。

注）海中生態系はここでは浅海（およそ20m以浅）の海中生物生態系を指し、海岸生態系は、この海中生態系と陸域の耐塩最終群落（ヤブツバキクラス域では一般にクロマツ群落）を含めた生物生態系を指すものとする。

Ⅳ. 3　海中生態系に係わる人間のレクリエーション行動

レクリエーションの種類と底質・地形、生物、水質の海中生態系の資質との関係を表Ⅳ－１に示す。

表Ⅳ－１　レクリエーションの種類と底質・地形、生物、水質との関係

レクリエーションの種類	底質・地形	生　物	水　質
海水浴	砂浜、遠浅	砂浜群系 内湾群系	ＣＯＤ２㎎／ℓ以下 透明度１ｍ以上
魚釣り	変化のある地形、 岩礁、岩壁	多様の生物 主に磯浜群系	良好な水質
浜あそび	広いこと、 砂浜、岩礁	多様の生物 Ａ群系族	良好な水質
サーフィン	広い砂浜	関係小	良好な水質
ヨッティング ボーティング	比較的関係小	関係小	比較的関係小
ダイビング	岩礁地形が主で、 砂浜も入る	特に岩磯浜 群系	良好な水質、透明度 ５ｍ以上

Ⅳ. 4　海中生態系の汚染・損壊要因と復元力

汚染・損壊要因とされるものは次のとおりである。

① 産業排水：発酸性有機物、無機物質、有毒性物質、汚濁
② 雑排水　：下水（発酸性有機物、合成洗剤、大腸菌等）
③ 埋立　　：根底的な破壊
④ 過養殖、廃物投棄
⑤ 踏圧、摩擦、投錨等による損壊
⑥ 釣りによるテグスの巻き付け
⑦ 台風
⑧ 寒波または冷水塊の存在（サンゴ礁）
⑨ 無秩序な磯あそびやダイビング（不法な採取、漁獲）

直接生態系に影響を及ぼすレクリエーション行動は、磯を荒らす生物採取やダイビング活動が最も大きい。レクリエーション海域においては、自然に対する不可抵抗力的な要因を除き、秩序ある誘導によって海中生態系の人為的な破壊を抑制することができる。例えば、すぐれたインストラクターシステムを持っているところでは、海中生物への見かけの影響は軽微という報告が多い（串本海中公園センター，1991）。

一般にレクリエーション行動による汚染損壊は、要因①～④、⑦、⑧に比較すれば軽微であるが、レクリエーションゾーンにおいては不可抗力的な自然災害以外には人為的要因を極力なくすよう努めるべきである。

特に、海中景観が最も華やかなサンゴ礁群系では損壊に対する復元力が一般に低い。

Ⅳ. 5　海中環境の指標

海中環境の概要を調査する項目は、一般には次のとおりである。

(1)　水質

・水温

・比重

・水色

・透明度：海水浴場30cm以上（32cmメスシリンダー底5号活字認識）

・DO（溶存酸素量）：A類型海域で7.5ppm以上

・COD（化学的酸素要求量）：A類型海域で2ppm以下

・大腸菌群数：1,000mpn／100ml以下

（公害基本法第9条にもとづく水質汚濁に係わる環境基準）

(2)　底質および底生動物

一般に海域では、環境指標としては、漂泳生物群集（ペラゴス）よりも底生物群集（ベントス）が対象になる。海中環境の悪化は、通常富栄養化の程度（内湾性の増大）によって測られる（図Ⅳ－1参照）。

なお、底生動物の出現種、出現量を分析して指標とする。すなわち、

①　底生動物の分類群別の編組比率

②　Biotec Index（総個体数／種数）

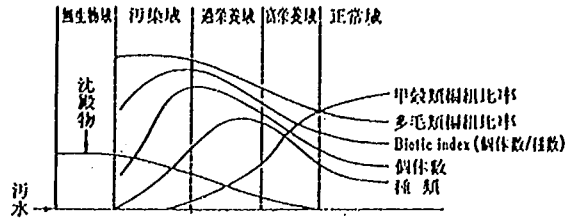
正常域ほど甲殻類が増え、汚濁域ほど多毛類が増加する。汚染の進んでいる地域は、Biotec Indexは高い数値を示す。①と②の関係を図Ⅳ－2に示す。

宮地ほか(1944)，波部(1956)を参考にして作成

	湾奥 ←(内湾)→ 湾口				
	←強内湾性	強・中内湾性		中・弱内湾性	弱内湾性→
	泥底	泥底	泥底	砂泥底	砂底
	高栄養極汚域	一時停滞域	中・高栄養 非停滞域	中・貧栄養性	貧栄養性
貝類	ホトトギス ヒメシラトリ シズクガイ ウメノハナガイ	シズクガイ チヨノハナガイ チゴトリガイ	シズクガイ イヨスダレ ヒメカノコアサリ ゴイサギ	シズクガイ ケシトリガイ ヒメカノコアサリ マメグルミ キヌタレガイ	マメグルミ マダラチゴトリ ミジンシラオガイ アデヤカヒメカノコアサリ
多毛類	ギボシイソメ ミズヒキゴカイ	ヨツバネスピオ	ヨツバネスピオ タマグシフサゴカイ ダルマゴカイ マサゴウロコムシ	ホソタケフシ コウキケヤリ属	ハナカンムリ コウキケヤリ属
その他			カキクモヒトデ ウナワイカリナマコ	クシノハクモヒトデ ヨコエビ類 [ドロクダムシ科 スガメソコエビ科] モルグラ属ホヤ	クシノハクモヒトデ ヨコエビ類 [スガメソコエビ科 クダオソコエビ科] ナメクジウオ ラスバンマメガニ

注）内湾性の度合いが移行する過程で生物の組み合わせも中間的性格を示す。
太平洋岸と日本海岸，南日本と北日本で指標生物を異にすることがあり全国一律にはゆかない(波部，1956参照)

図Ⅳ－1　砂泥底底生動物を指標とする内湾性の表現（海中公園センター，1988）

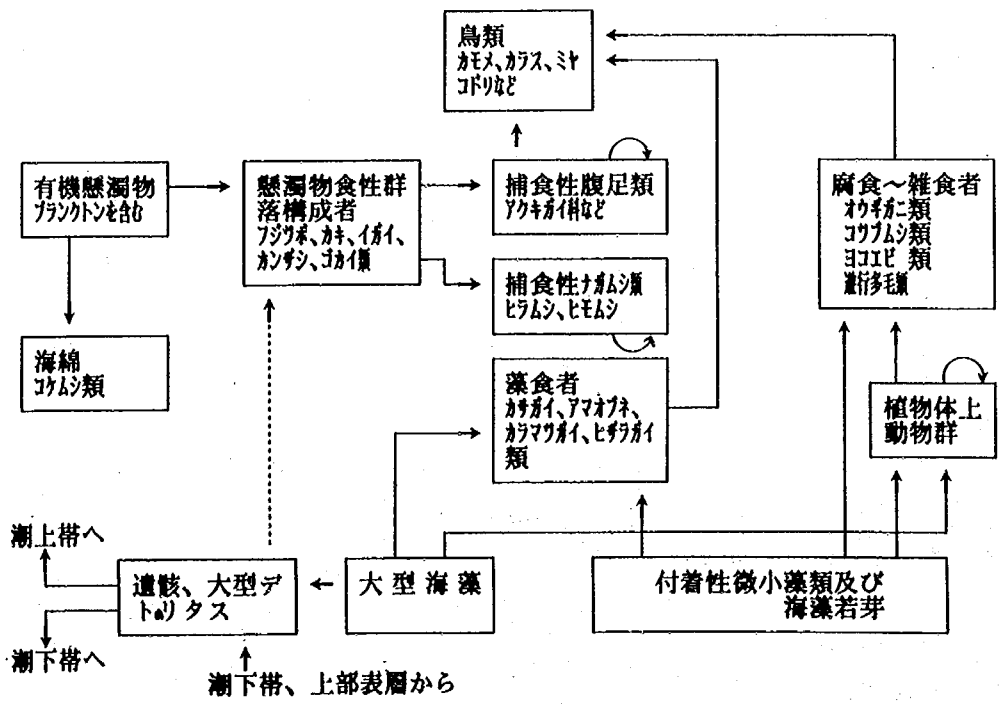


図Ⅳ－２　底生動物群集構造の変化と汚染度区分の模式図
（日本生態学会環境問題専門委員会編，1975）

(3) 海藻類　アオサ、アオノリ類が汚染指標となる

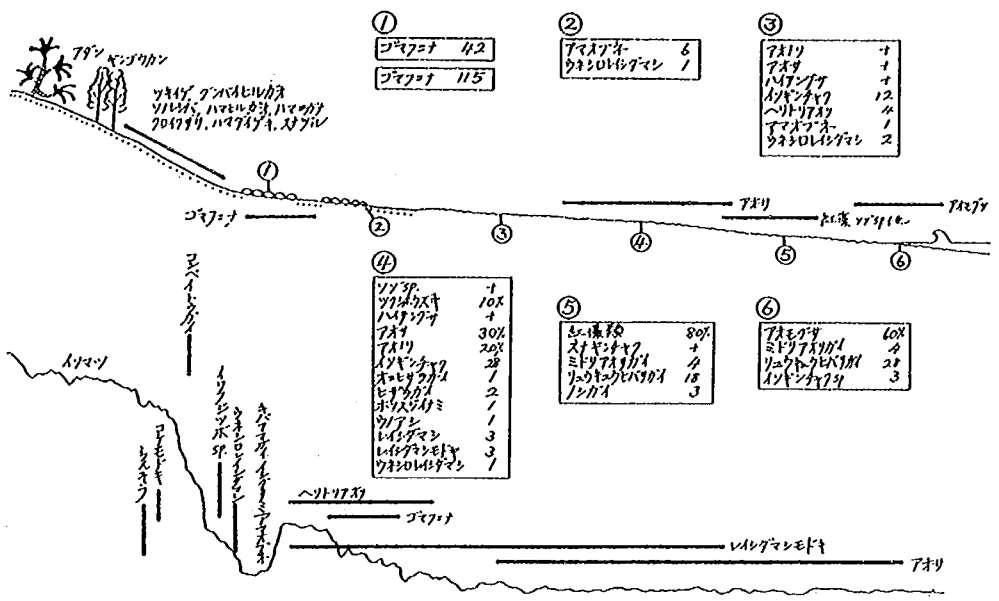
Ⅳ．6　岩礁潮間帯の食物連鎖

海浜生態系で最も陸地に近い陸海の最初の接点領域の生物生態系は、レクリエーション行動によって最も影響を受け易く、かつ景観的にも眼につきやすいところである。この点に関しては、特に生物の種類の豊富な変化の多い岩礁地帯は、保全・利用の上で高い効果をもっている。この部分を含む岩礁潮間帯の食物連鎖の簡単な図を示す（図Ⅳ－３参照）。この図のように、主として陸に由来するデトリタス（有機懸濁物）をとらえて、海域の清浄化に役立つ生物群に注目すべきである。



図Ⅳ－３　岩礁潮間帯における食物連鎖模式図（時岡ほか，1972）

次に生物の配列について沖縄の同地区の砂浜地と岩礁地の潮間帯の一例を図Ⅳ－4に示す。



図Ⅳ－4　伊江島東海岸の砂浜地と岩礁地の潮間帯の生物の配列（流大海洋保全研究会，1974）

沖縄北部の陸地の開発による赤土流によって、最初に埋められるのがフジツボ等デトリタス捕食群、いわば陸海接点領域の清浄化部隊である*。これらは、レクリエーション利用にとっても最も強くかかわるところであり、海中景観の尖兵ゾーンとして眼につきやすいところであることを認識しなければならない。

※）他に一般海浜域で

沈澱物腐食…端脚類、等脚類、線虫類、クモヒトデ類、ヒトデ類、ナマコ類、小型甲殻類、多毛類、イソギンチャク類

懸濁物食　…コケムシ類、ホヤ類、海綿類、定座多毛類、二枚貝類、八放サンゴ、イシサンゴ類、ウミシダ類

Ⅳ．7　海浜域の保全

海水の汚染は、海域ではなく、主として陸上に起因する。したがって、地先海浜環境の性格（陸海資源、水質、潮流、地形地質、権利制限等）を把握した上で、次の対策が必要である。

① 付近工場の汚染源の排水規制

② 家庭排水規制（各戸浄化、小規模地域浄化システムを主体）

③ 養殖、畜養魚規制

④ 海中工作物による環境影響調査

⑤ 陸上の開発および利用規範と海中環境と見合う濾過浄化施設の整備（ゴミ収集システム、曝気システ

ム（噴水、砂礫浜など）、土壌浄化システム等も考慮）

⑥ 陸上生態系の健全化

・表流水のコントロール…等高線植栽、栽培、沈泥、調整池、浸透性舗装等

・自然の保全、緑化、魚付林、グラスフィルターの配置

⑦ 水際フィルターベントスの保全

・自然保全、自然護岸（流入河川および流域の自然の保全、緑化）

・磯遊び教育

⑧ 保全域の利用方法樹立

例えば、ダイビングエリアでの管理システムの樹立（インストラクターの配置、環境評価、情報教育、誘導のシステム、入水規制…人員・時間・入水インターバル等）

⑨ モニタリングシステムの形成

・モニタリングステーションの設置、研究者や一般関係者による衆目

・モニタリングシステムの形成

上記については、特に水系環境系（陸上流域と関連海域）を単位として考慮するとまとまりやすい。

Ⅳ. 8 チェックアンドビルド方式

海陸生態系の詳細は未だ十分には解明されていない。特に陸地の開発または人の利用の種類、程度と海岸生態系の反応の詳細を明らかにするには、要因が複雑にからまり合っているために、なお多くの厳密な実験や調査の畜積が必要である。現在のところは大局的に因果関係を推測しているにすぎない。

そこで、厳密に保全すべきゾーンは別として多くの利用や開発が行われるゾーンについて、行為と調査の繰り返しという慎重な対処が必要であり、その一連の関係から問題の解決策を探り出す努力を行わなければならない。

参 考 文 献

時岡 隆・原田英司・西村三郎（1972）：海の生態学，築地書館，317ｐ.

串本海中公園センター（1991）：串本海中公園タイビングパーク利用計画報告書，21p.

㈱海中公園センター（1988）：オランダ村水域環境モニタリング調査，37p.

日本生態学会環境問題専門委員会編（1975）：環境と生物指標２，共立出版，310p.

琉大海洋保全研究会（1974）：沖縄の潮間帯，262p.

V　関連法規制

V．1　海岸法の適用範囲と管理主体

海岸法は、津波、高潮等の被害から海岸を防護することを目的としており、この目的の達成のため必要な海岸として指定されたものが海岸保全区域である（原則として満潮時の水際線から陸側へ50m、干潮時の水際線から海側へ50mの幅で指定される）。

海岸保全区域の管理は、都道府県知事、市町村長、港湾管理者の長および漁港管理者の長が、海岸の区分に応じ海岸管理者として行うことになっている（表V－1参照）。海岸管理者は、海岸保全区域内における海岸保全施設の新設、改良等の行為のみならず、海外保全区域の占用許可、行為制限等の行政処分を含む海岸の保全に関する一切の権限と責任を有している。

表V－1　海岸管理者の区分

海　　岸	海岸管理者
原　則	都道府県知事
市町村長が管理することが適当と認められる場合	市町村長
港湾区域　港湾隣接区域	港湾管理者の長
漁港区域	漁港管理者の長である地方公共団体の長

V．2　港湾法の適用範囲と管理主体

港湾の秩序ある整備と適正な運営を図るとともに、航路の開発、保全を目的とする法律である。港湾のうち、防波堤、航路、係留施設等の施設が整備され、船舶の航行、係留の場となる水域が港湾区域である。また、港湾区域に隣接する一定の地域のうち、港湾管理者の長が港湾隣接地域として指定した地域についても、港湾区域に準じた扱いがなされることになっている。

また、港湾を管理・運営するための区域として臨港地区が都市計画法または港湾法の規定に基づき指定されることになっている。臨港地区内では、一定の工事をする場合に届出が必要になるほか、建築物条例が定められている場合には、条例で定める建築物の建築が禁止される。

港湾管理者は、港湾区域や臨港地区の管理だけでなく、各種の港湾施設の管理・運営、各種料金の徴収、水域の占用許可等の行政処分の権限を含め港湾の管理・運営に関する一切の権限を有する者であるが、港湾管理者となる者としては、港湾法によると

①港務局（港湾法に基づく公法人）

②普通地方公共団体

③一部事務組合

の3つのケースがある。現実には、②のケースがほとんどである。

V．3　漁港法の適用範囲と管理主体

漁港法でいう漁港とは、天然または人工の漁業根拠地となる水域および陸域、ならびに施設の総合体をいうとされており、この漁港を管理する主体が漁港管理者である。漁港管理者は、漁港の種別に応じて次の通り定められている（表Ｖ－２参照）。

① 第１種漁港で１つの市町村の範囲内のもの…市町村

② 第１種漁港以外で１つの都道府県の範囲内のもの…都道府県

③ ①、②以外の漁港…農水大臣が告示で指定する地方公共団体

表Ｖ－２　漁港の種類

種　別	内　容	漁港管理者	
		都道府県	市町村
第１種漁港	その利用範囲が地元の漁業を主とするもの	360	1,841
第２種漁港	その利用範囲が第１種漁港より広く第３種漁港に属さないもの	303	216
第３種漁港	その利用範囲が全国的なもの	103	6
第４種漁港	離島その他辺地にあって漁場の開発または漁船避難上特に必要なもの	93	—

V．4　公物としての海面、河川水面等との利用の調整に関する規制

(1) 港湾法第37条（港湾区域内の工事等の許可）

港湾区域または港湾隣接地域内において、水域の占用、水域施設、外郭施設、係留施設の建設または改良等の行為をしようとする者は、港湾管理者の長の許可を受けなければならない。

(2) 海岸法第7条（海岸保全区域の占用）、第８条（海岸保全区域における行為の制限）

海岸保全区域内において、海岸保全施設以外の施設または工作物を設けて当該海岸保全区域を占用し、土地の掘さく、盛土その他の行為をし、あるいは水面において海岸保全施設以外の施設または工作物を新設しようとするときは、海岸管理者の許可を受けなければならない。

(3) 河川法第23条～27条（流木の占用の許可等）、第54条～第57条（河川保全区域における行為の制限等）

河川の流木を占用し、または河川区域内の土地を占用しようとする者は、河川管理者の許可を受けなければならない。河川区域内の土地、河川保全区域または河川予定地において、土地の掘さく、盛土もしくは切土その他の土地形状を変更する行為や工作物の新築、改築をしようとする者も同様である。

(4) 漁港法第39条（漁港の区域内の行為の制限等）

漁港の区域内の水域または公共空地において、工作物の建設もしくは改良、土地の掘さくもしくは盛土または水面もしくは土地の一部の占用等をしようとする者は、漁港修築計画もしくは漁港管理規程によってする場合を除き、農林水産大臣の許可を受けなければならない。

(5) 公有水面埋立法

公有水面の埋立の場合には、公有水面埋立法に基づく免許が必要である。免許権者は港湾区域内にあっては港湾管理者、それ以外の水域にあっては都道府県知事である。

V. 5 マリーナの設置に関する規制

(1) 港湾法第3条の3（港湾計画）

マリーナの立地計画が港湾計画に位置付けられてない場合には、港湾法第37条に基づく水域占用の許可等が受けられず、また後に述べる各種の助成措置も受けられないことがある。

(2) 港湾法第38条～第41条（マリーナ港区）

港湾管理者は、当該港湾の港湾区域を地先水面とする地域で港湾の管理運営に必要な地区を臨港地区として定めることができ、さらに、臨港地区を商港区を始め9つの分区に指定することができる。この分区の中に、マリーナ港区があり、マリーナ港区が指定された場合には、当該地域においてはマリーナと調和しない建築物は建築できないことになり、マリーナを中心とした計画的な土地利用が促進される。

(3) 港湾法第56条の2（技術上の基準）

港湾施設の利用の安全を図る見地から、運輸大臣は、水域施設、外郭施設等について港湾区域の内外を問わず技術上の基準を示し、これに適合することを義務付けているが、マリーナを構成する泊地、岸壁、艇庫等の施設についてもこの基準を遵守しなければならない。

(4) 港湾法第56条の3（マリーナの設置の届出）

港湾区域および港湾法第56条第1項の規定により公告されている水域以外の水域において、5隻以上の船舶を係留するマリーナを設置しようとする者は、建設工事の開始の日の60日前までに、各施設の位置、規模、種類、構造、使用計画等を記載した水域施設等建設届出書を都道府県知事あて提出しなければならない（港湾区域内にあっては前述の許可が必要）。

V. 6 船舶の運航の観点からの規制

船舶の運航に関しては、港則法、海上交通安全法等の法律があり、ヨット、モーターボートを含め航法に関する規定がある。この中で、ヨットは、港内で帆を減じなければならない、小型船は大型船の進行を妨げてはならない等の規定がある。また、マリーナの設置に当って、港則法の規定により、特定港内または特定港の境界付近で工事を行う場合には、港長の許可を受けなければならないことになっている。

なお、マリーナの設置は港内において船舶交通全体に影響を与えることから、港湾計画の中でマリーナを位置付けるような場合には、事前に海上保安部等との間で、マリーナの位置、規模等について調整が図られている。

V. 7 保安林の指定と解除

(1) 指定の権限と目的

保安林の指定は、公益目的の達成のために行われるものであるが、その目的は表V－3に示すものに限定

されている（森林法第25条第1項）。保安林指定の権限は、指定対象地の所有形態（国有林であるか、民有林であるか）およびその指定目的によって異なる。国有林の場合は指定目的にかかわらず全てが農林水産大臣、民有林の場合は水源かん養、土砂流出防備、土砂崩壊防備のための保安林については農林水産大臣、その他の保安林（飛砂防備、防風、水害防備、潮害防備、干害防備、防雪、防霧、なだれ防止、落石防止、防火、魚つき、航行目標、保健、風致のためのもの）については都道府県知事の権限である（森林法25条第1項、第40条及び森林法施行令第5条第1項）。

表Ⅴ－3　保安林の指定目的と種類

法第25条第1項に列挙する目的		保安林の種類
第1号	水源かん養	1 水源かん養保安林
2	土砂の流出の防備	2 土砂流出防備保安林
3	土砂の崩壊の防備	3 土砂崩壊防備保安林
4	飛砂の防備	4 飛砂防備保安林
5	風害、水害、潮害、干害、雪害、霧害の防備	5 防風保安林
		6 水害防備保安林
		7 潮害防備保安林
		8 干害防備保安林
		9 防雪保安林
		10 防霧保安林
6	なだれ、落石の防備	11 なだれ防止保安林
		12 落石防止保安林
7	火災の防備	13 防火保安林
8	魚つき	14 魚つき保安林
9	航行の目標の保存	15 航行目標保安林
10	公衆の保健	16 保健保安林
11	名所又は旧跡の風致の保存	17 風致保安林

(2) 海岸保全区域での保安林の指定

海岸保全区域については、原則として保安林の指定をすることができない（森林法第25条第1項）。ただし、農林水産大臣は特別の必要があると認めるときは海岸管理者と協議して海岸保全区域内の森林を保安林に指定することができる（森林法第25条第2項）。また、海岸法には、保安林または保安施設区域に対しては特別の必要がない限り海岸保全区域の指定をしない旨の規定がある（海岸法第3条）。

(3) 保安林の解除

a） 解除の条件

保安林の解除の理由として森林法で定められている要件は、①保安林の指定理由が消滅したとき（森林法26条第1項）、②公益上の理由により必要が生じたとき（森林法26条第2項）の二つの場合であり、これ以外の理由により保安林の解除が行われることはない。

b） 解除の権限

保安林解除の権限は、農林水産大臣の指定に係る保安林については農林水産大臣、都道府県知事の指定

に係る保安林については都道府県知事である。

c） 解除の適否判定

①指定理由の消滅のための解除

農林水産大臣（委任によるものは都道府県知事）は、保安林について、その指定の理由が消滅したときは、遅滞なくその部分につき保安林の指定を解除しなければならない（森林法26条第1項)。保安林の指定は、指定時の森林の状況その他の事情を総合的に勘案して公益上の必要から財産権に制限を課すものであるから、指定後の状況の変化によって保安林の指定の必要がなくなった場合には、私的財産権の尊重の立場から、指定権者は遅滞なくその指定を解除する法律的義務を負うこととされている。これに該当するのは、おおむね次の場合である。

イ) 受益の対象が消滅したとき

ロ) 自然現象等により保安林が破壊され、かつ、森林に復旧することが著しく困難と認められるとき

ハ) 当該保安林の機能に代替する機能を果たすべき施設等が設置されたときまたはその設置が極めて確実と認められるとき

ニ) 森林施業を制限しなくても受益の対象を害するおそれがないと認められるとき

②公益上の理由による解除

農林水産大臣（委任によるものは都道府県知事）は、公益上の理由により必要が生じたときは、その部分につき保安林の指定を解除することができる（森林法26条第2項)。これに該当する場合としては、森林を保安林として存置し、その保安的機能を活用するという公益上の必要と、保安林として存置することをやめて他の公益目的に利用することとの比較を行った結果に従うことになるが、実際の処理においては、保安林を土地収用法その他の法令により土地を収用もしくは使用することができるとされている事業またはこれに準ずるものの用に供する必要が生じたときである。ただし、ある事業が公益事業であっても直ちに保安林の解除がなされるものではない。保安林も公益のために存在するものであるから所定の要件を備えるものでなければ解除すべきでないとされている。この要件については次の「転用のための保安林解除」を参照されたい。

③転用のための保安林解除

保安林解除は、解除後の利用目的別にみると、将来とも森林のまま維持するものと森林以外の用途に供する（転用する）ものとの2つに分けることができる。この転用のための保安林解除は、保安林解除の取り扱いにおいて他のものと区別して取り扱う必要があるとされ、森林法第25条第1項第1号から第7号までに掲げる目的を達成するため指定された保安林（表Ⅴ－3参照）の転用に係る解除について、「保安林の転用に係る解除の取扱い要領」（昭和49年10月31日付49林野治第2527号林野庁長官通達）が定められている。

イ) 解除の方針

転用が保安林の機能に及ぼす影響の少ない区域を対象とするよう指導するものとし、以下に示す級地区分による第1級地については、「公益上の理由」による解除のうち転用の目的、態様、規模等からみて国土の保全等に支障がないと認められるものを除き、原則として解除は行わないものとす

る。第２級地については、「開発行為の許可基準の運用について」(昭和49年10月31日付49林野企第82号農林事務次官通達以下「開発許可運用基準」という）の第２の趣旨に照らし、その解除に当っては、転用の目的、態様、規模等を考慮の上、極力、機能の高い森林からこれ以外の土地へ転用を指向させるものとする。

ｉ） 第１級地

次のいずれかに該当する保安林とする。

・治山治水緊急措置法第２条第１項に規定する治山事業の施行地（同法施行以前のこれに相当する事業の施行地を含む）であるもの（事業施行後10年を経過し、かつ現在その地盤が安定しているものを除く）。

・傾斜度が25度以上のもの（25度以上の部分が局所的に含まれている場合を除く）。

・地質その他の理由により崩壊しやすいもの。

・人家、校舎、農地、道路等国民生活上重要な施設等が近接して所在する保安林であって、当該施設等の保全またはその機能の維持に直接重大な関係があるもの。

ii）第２級地

第１級地以外の保安林とする。

ロ) 転用を目的とする解除の要件

転用を目的とする解除は、次の要件の全てを具備する場合に行うものとする。

ｉ）「公益上の理由」による解除（森林法第26条第２項）

○用地事情等

保安林の転用の目的に係る事業または施設の設置（以下、「事業等」という）による土地利用が、その地域における公的な各種土地利用計画、当該転用の目的およびその性格等にかんがみ、その土地以外に他に適地を求めることができないか、または著しく困難であること。

○面積

保安林の転用に係る土地の面積が、次に例示するように当該転用の目的を実現する上で必要最小限度のものであること。

・道路法に基づく道路のように法令等により基準が定められている場合には、当該基準に照らし適正であること。

・大規模かつ長期にわたる事業等のための転用に係る解除の場合には、当該事業等の全体計画および期別実施計画が適切なものであり、かつ、その期別実施計画に係る転用面積が必要最小限度のものであること。

○代替施設の設置等

後述する「指定理由の消滅」による解除の場合に準じた措置が講じられるものであること。

○実現の確実性

次の事項の全てに該当し、転用に係る事業等を行うことが確実であること。

・事業等に関する計画の内容が具体的であり、当該計画通り実施されることが確実であること。

・事業等を実施する者（以下、「事業者」という）が当該保安林の土地を使用する権利を取得しているか、または取得することが確実であること。
・事業者が事業等を行うため当該保安林と併せて使用する土地がある場合において、その土地を使用する権利を取得しているか、または取得することが確実であること。
・前2項の土地の利用又は事業等について、法令等による許認可等を必要とする場合には、当該許認可等がなされているか、またはなされることが確実であること。

ii）「指定理由の消滅」による解除

○用地事情等

事業等による土地利用が、その地域における公的な各種土地利用計画に則したものであり、かつ、当該転用の目的、その地域における土地利用の状況等からみて、その土地以外に他に適地を求めることができないか、または著しく困難であること。

○面積

保安林の転用に係る土地の面積が、次に例示するように当該転用の目的を実現する上で必要最小限度のものであること。

・法令等により基準が定められている場合には、当該基準に照らし適正であること。
・大規模かつ長期にわたる事業等のための転用に係る解除の場合には、当該事業等の全体計画および期別実施計画が適切なものであり、かつ、その期別実施計画に係る転用面積が必要最小限度のものであること。

○代替施設の設置等

・保安林の転用に当っては、当該保安林の指定の目的の達成に支障のないよう代替施設（森林法施行規則第17条第2項第2号に掲げる施設）の設置等の措置が講じられたか、または確実に講じられることについて都道府県知事の確認があること。
・前項の代替施設の設置については、当該施設の設置に係る転用が、開発許可運用基準および「開発行為の許可基準の運用細則について」（昭和49年10月31日付49林野治第2521号林野庁長官通達．以下、「運用細則」という）に示す基準に適合するものであること。
・前項のほか、事業等に係る転用に伴う土砂の流出または崩壊その他の災害の防止、周辺の環境保全等については、当該事業等に係る転用が、開発許可運用基準および運用細則に示す基準に適合するものであること。

○実現の確実性

次の事項の全てに該当し、転用に係る事業等を行うことが確実であること。

・事業等に関する計画の内容が具体的であり、当該計画通り実施されることが確実であること。
・事業者が当該保安林の土地を使用する権利を取得しているか、または取得するこが確実であること。
・事業者が事業等を行うため当該保安林と併せて使用する土地がある場合において、その土地を使用する権利を取得しているか、または取得することが確実であること。
・前2項の土地の利用、または事業等について、法令等による許認可等を必要とする場合には、当該

許認可等がなされているか、またはなされることが確実であること。

・事業者に当該事業者等を遂行するのに十分な信用、資力および技術があることが確実であること。

○利害関係者の意見

転用の目的を実現するため保安林を解除することについて、当該保安林の解除に利害関係を有する市町村の長の同意およびその解除に直接の利害関係を有する大多数の同意を得ていること。

d） 事前相談

事前相談は、保安林の転用を目的とする解除申請について解除事務の迅速化等のために、行政運用上の措置として行われているもので、保安林解除申請書が提出される前に都道府県または営林(支)局が事業者に対して事前指導をしようとするものである。この場合の指導は、必要なものについては都道府県と営林局が林野庁との調整をしたうえで行われる。

①都道府県または営林(支)局による指導

都道府県または営林(支)局、事業者から相談を受けた場合には、次の点に留意して適正な申請書類が提出されるように指導する。

イ） 転用目的、開発行為の態様および規模、事業の実施時期など計画の概要について十分聴取したうえで、これに対する解除の要件および手続き、書類の作成要領その他注意事項等を説明するとともに適切な指導をする。

ロ） 当該事業を実施するについて法令等による行政庁の免許、許可、認可その他の処分（以下、「許認可」という）を必要とするものでまだ許認可を得ていないものについては、その許認可の申請手続きを速やかに行うよう指導する。

ハ） ②の調整を踏まえ、当該保安林の解除の可否見通し、申請に当って措置すべき事項を示す等事業者に対して的確に指導する。

②都道府県または営林(支)局と林野庁との調整

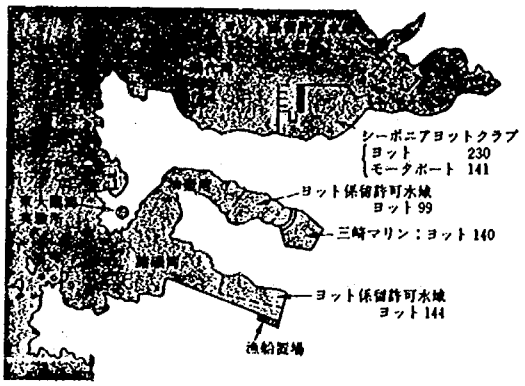
事前相談があった事業の対象地が農林水産大臣の指定に係る保安林（国有林の保安林ならびに民有林の水源かん養、土砂流出防備および土砂崩壊防備の保安林）であって、転用しようとする保安林の面積が一定規模以上のものについては、その概要を林野庁に報告し調整を図る。この場合に調整を要するのは、保安林解除の理由が指定理由の消滅に該当するものについては1ha以上、公益上の理由に該当するものについては5ha以上のものとされている。

V．8 海域利用の調整事例

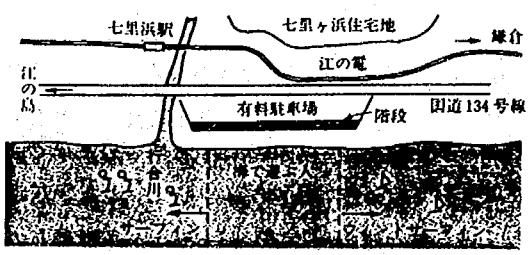
(1) 油壺湾における漁業とマリーナの共存事例（図V－1参照）

湾内は穏やかなことから、プレジャーボートが多く集まってきた結果、係留放置されたプレジャーボートが湾内を占有し、荒天時に漁船が避難できなくなったり、漁網の切断などの問題が生じ始めた。そこで、県、三浦市、地元の5漁業協同組合が出資し、第三セクターの㈱三崎マリンを設立して、プレジャーボートの保管の受皿となるマリーナを建設した。また、収容力がこれだけでは不足したため、漁協の了解のもとに係留許可水域を設けた。さらに、湾域のマリーナと漁業者の話合いの場をつくり、プレージャーボートと漁業と

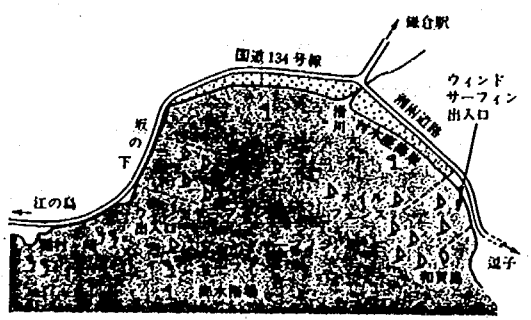
のトラブルのチェックや対策について話し合を随時行うなど、相互理解に努めている。



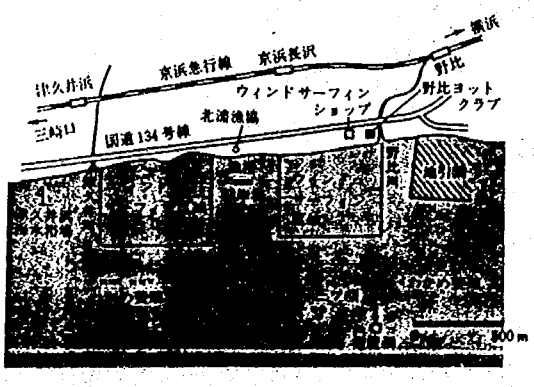
図Ⅴ－1　ヨット、モーターボート利用と漁業との共存（油壺湾での事例）



図Ⅴ－2　サーフィン、ボートセーリングと地域住民との調和（七里ケ浜海岸での事例）



図Ⅴ－3　海水浴場周辺でのボードセーリング対策（鎌倉材木座由比ケ浜での事例）



図Ⅴ－4　ボードセーリング区域の指定（野比海岸での事例）

(2) 海水浴、漁業とサーフィン、海水浴等の共存事例（図Ⅴ－2～Ⅴ－4参照）

サーフィン、ボードセーリングの利用区域を指定することにより、他利用と分離するなどとともに、サーフィン・ショップやフリートと地元の自治会、漁業協同組合、行政等が組織を作り、トラブル防止、救難、清掃などの活動を行っている。

(3) 漁業関係者との意見調整項目の事例

① 漁業関係者との協定または約束

・相互立入禁止区域の協定または約束
・保管艇と漁船との航路区分の協定または約束
・海難時の相互救助体制の協定または避難漁船の収容
・トラブルが起こった場合の損害賠償方式の協定または約束
・トラブルが起こった場合の仲介

② 漁業の参画

・漁業関係者またはその子弟の雇用
・マリーナのレストラン、特産品など、地元漁業からの魚介類の購入

③ 安全対策

・漁業関連施設が設置されている水域の海上パトロール
・相互安全航行などに関する漁業関係者との交流または定期的会合
・海上航行に関するマリーナ利用へのマナー、ルール等の指導

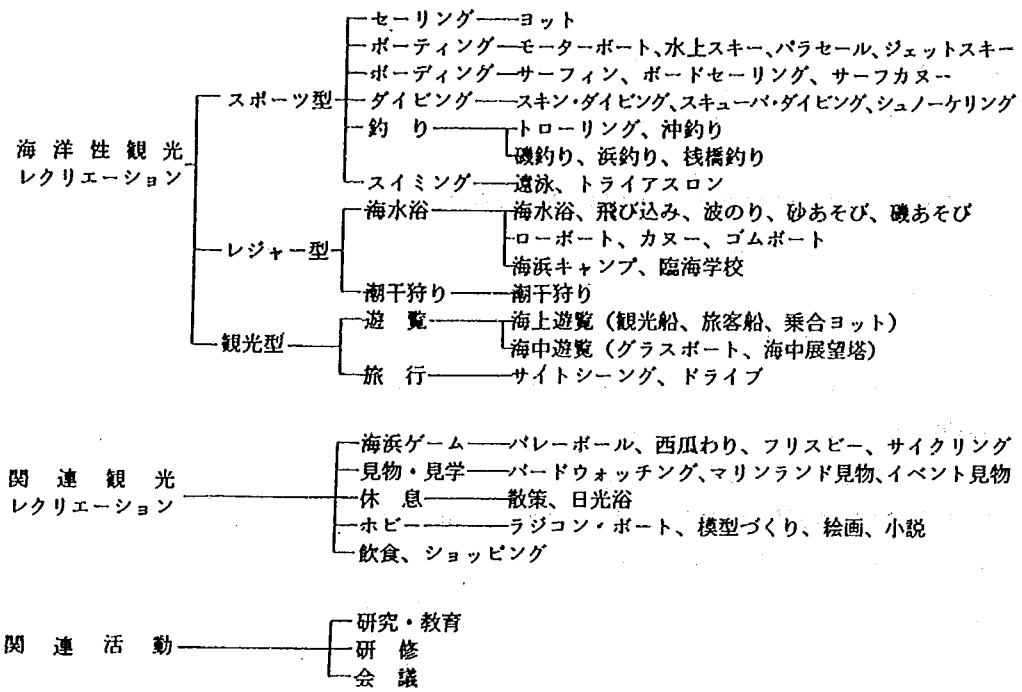
参 考 文 献

染谷昭夫・藤森泰明・森繁泉（1988）：マリーナの計画，鹿島出版会，222p.
林野庁監修（1989）：保安林制度，林野弘済会，219p.

VI 基礎データ

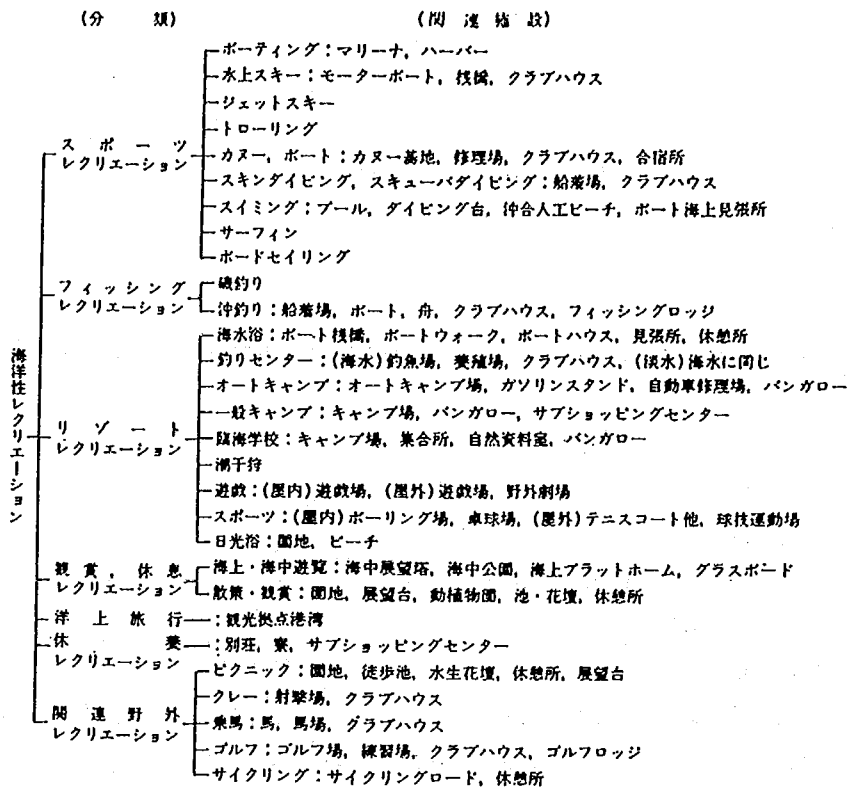
VI. 1 海洋性レクリエーション活動の種類

(1) 海洋性観光レクリエーション活動の種類（㈶日本観光協会，1987）



資料：(財)日本海事広報協会「海洋性レクリエーション振興方策調査報告書」昭和61年3月

(2) 海洋性レクリエーションの分類と関連施設（染谷ほか，1988）



(3) 海洋性レクリエーションの分類（㈱全国海岸協会，1986）

a） 海（海中・海面）・海浜を直接必要とするもの。

1. スポーツ・活動型

海水浴、釣り、潮干狩り

スキンダイビング、スキューバーダイビング

プレジャーボート（ヨット、モーターボート）、ウインドサーフィン

サーフィン、水上スキー、パラセーリング

サンドバギー、モトクロス、BMX、セールバギー

2. 文化・創作型

魚貝類の養殖

3. 学習型

海中生物観察、海浜生物観察

4. 観光型

海上（海中）遊覧、展覧物見物、レストラン、ショー、海中水族館

その他、海上、海中で行われる観光型レクリエーション

b） 海のイメージが魅力を増すもの

1. スポーツ型

プール活動、ゴルフ、カイト、乗馬、キャンプ、ジョギング、散歩

その他の公園活動

2. 文化・創作型

絵、写真、貝殻細工、サンゴ細工、ボート製作、海産物料理

マリンルックデザイン

その他の海に関する趣味レクリエーション活動

3. 観光型

海中魚水族館、海上展望台、マリンフードレストラン、その他海に関連した観光型レクリエーション

4. その他宗教活動等

(4) 新しい海洋性リゾートのイメージ（㈱全国海岸協会，1986）

①背景人口　　1,000,000人以上

②到達時間　　2時間以内

③基幹産業分野　・先端産業を主体とした無公害産業

・新規サービス分野

④基盤施設　・空港、鉄道駅

・高速鉄道インターチェンジ、道路網

・公共サービス施設（コンベンションセンター等）

・文化施設

・住宅団地

・公園緑地、上下水道、処理施設、流通施設

・その他生活サービス全般

⑤リゾート施設　宿泊施設、ホテル、ペンション、別荘

⑥海洋性レクリエーション活動施設

・マリーナおよびクラブハウス

・海浜及びビーチハウス

・釣りデッキおよびビーチハウス

・ゴルフ場

・一般スポーツ施設、公園施設

・観光遊覧型サービス施設

・博物館、美術館、水族館等

⑦その他サービス　レストハウス、サービスセンター

(5) 求められるリゾート空間機能（地域振興整備公団，1987）

- 居住機能 ――居住施設，交通施設，供給処理施設
  商業・サービス施設，利便施設，医療施設
- リフレッシュ機能 ――レクリエーション施設，スポーツ施設、
  芸術文化施設，教育・研修施設，体験・交流施設
  健康・福祉施設
- 生産機能 ――第1次産業，知識集約型産業，研究開発型産業

(6) リゾート空間機能の構成要素（地域振興整備公団，1987）

- (1) 定住ゾーン―― ハビティーション・ゾーン
  - (a) ペンション，ホテル
  - (b) 別荘
  - (c) 住宅
- (2) 産業ゾーン―― クリエィテブ・ゾーン
  - (a) 生産・研究施設
  - (b) 学園
- (3) リフレッシュゾーン―― リフレッシュ・ゾーン
  - (a) 遊戯・遊園・運動施設
  - (b) 公園
  - (c) 芸術・文化施設
  - (d) 健康・福祉施設
  - (e) 教育・研修施設
  - (f) 体験・交流施設
- (4) 保全ゾーン―― ネィチャー・ワイルド・ゾーン
  - (a) 大規模緑地
  - (b) 緑道
- (5) 中心ゾーン―― センター・ゾーン
  - (a) 商業等のサービス施設
  - (b) 医療施設
  - (c) 交流施設
- (6) 基盤施設 ―― ファシリティ
  - (a) 上下水
  - (b) 電力・ガス
  - (c) 道路・交通・駐車場
  - (d) 情報
  - (e) 処理施設

VI. 2　海洋性レクリエーション活動の立地条件

(1) 海洋性レクリエーションの種類と関係する自然条件（染谷ほか，1988）

海洋性レクリエーションの種類		気象条件						海象条件								地形・地質条件						その他
		気温	日照	降水	風		視程	海流	潮流	沿岸流	潮汐	波浪	漂砂	水温	水質	水深	砂浜	砂浜石海岸	岩海石岸	海洋	景観	漁場
					風速	風向																
海水浴		◎	◎	○	○		○	△	○	◎	△	◎		◎	◎	◎	◎	○			○	
釣り		△	△	△				△	○	○	○	○		○	○	○	○	○	◎	○		○
セールボート	一般レース	○		○	◎	△	○		◎			◎		△	○					○		
	長距離外洋レース				◎		○	○	○			◎								◎		
	セーリング	○	○	○	◎	○	○	○	◎	△	△	◎		○	△	△				○	○	
	クルージング	○		△	◎		○	○	△	△	△	◎		△	△					◎	○	△
モーターボート	ボーティング	○		○	○		○		△			◎		△	△					○	○	
	水上スキー	○		○	○		○		△			◎		△	○	△	○	○		○		
	クルージング	○		△	○		○	○	△			◎		△						◎	○	△
	トローリング	△		△	○		○	○	○			◎		○	○					◎		◎
ローボート				○	○		○		○	◎	○	◎		○	△		○	○				
サーフィン		○					△		○	◎		◎		○	△	○	○	○				
ダイビング		△		△			△	△	○	○	○	◎		○	◎	○		○	○		○	△
潮干狩				○	△						◎	○	○	○	○		◎	○				○
海中公園				○	○		○	○	○		○	○	○	○	◎	○			○		◎	◎

(注)　◎ 非常に重要な影響がある。　○ 比較的重要な影響がある。　△ 間接的にまたは場合により影響がある。

(出典)　堀川清司・佐々木民雄・五十嵐元「海洋性レクリエーションとその環境」第19回海洋工学講演会論文集，土木学会(1972)

(2) 海洋性レクリエーション活動における自然条件の影響度（リゾート研究会，1987）

自然条件		マリーナ		セールボート				モーターボート				その他			備考
		建設の難易	施設の管理	一般レース	外洋長距離レース	セーリング	クルージング	ボーティング	水上スキー	クルージング	トローリング	釣り	ダイビング	海水浴	
気象条件	気温			○		○	○	○	○	○	○	△	△	○	
	日照					○						○		○	
	降水			○		○	△	○	○	△	○	○	△	○	降水量のみでなく視程とも関係する。
	風向	△		△		△									風向が安定していることが望ましい。
	風速	△		○	○	○	○	○	○	○	○			○	セールボートにとって無風日数の多いところはよくない。また，突風の多いところは危険である。
	視程			○	○	○	○	○	○	○	○			○	
	台風	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				保管艇の破損の危険 常襲地帯では活動日数が減少する。
海象条件	海流				△		△			○	○				海流が問題となる海域はクルーザー以外進出しない。
	潮流	○	△	○	○	○	△	△	△		○	○	○	○	一定時間ごとに反転するからボーティングに利用することもできる。
	沿岸流	○	△			△	△					○	○	○	
	潮汐	○	△			△	△					○	○	△	潮差が大きいとボートのけい留に問題を生じる。
	高潮	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				艇の被害の危険
	波浪	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	ボーティングにとってうねりはあまり問題にならず，沿岸の三角波がよくない。
	漂砂	○	○												
	水温			△		○	△	△	△	△	○	○	○	○	
	水質			○		△	△	△	○		○	○	○	○	小型のボートでは汚染がひどいと活動できない。
地形条件	海岸線の形状	○		△					△			○		○	潮流の乱れをひきおこすような形状はよくない。
	背後地の状況	○		△		△				△				○	セールボートの場合，風向，風速に乱れをおこすような場合は問題となる。
	景観					○	○	○		○			○	○	
	底質	○	○				△			△		○	○	○	岩ではボートの錨かきが悪く仮泊できない。

○：非常に重要な影響あり。○：比較的重要な影響あり。△：場合により影響する。／：考察外

注：この表は上段に挙げた活動を行おうとする人にとって関心がもたれる。あるいは選択の基準になる条件という意味で影響度をとらえた。したがって，個人差はある。

（出典）：(財)日本港湾協会港湾計画総覧）

自然条件＼活動		マリーナ		ヨット				モーターボート				備考
		施設の難易	施設の管理	一般レース	外洋長距離レース	セーリング	クルージング	ボーティング	水上スキー	クルージング	トローリング	
気象条件	気温			○		○	○	○	○	○	○	一般的には10℃以上。20℃以上がベスト
	日照					○						晴天が望ましいが、曇天や少々の雨でも可能
	降水			○		○	△	○	○	△	○	
	風向	△		△		△						ディンギーヨットは2m/sec～12m/sec、快適な風は5m/sec クルーザー型ヨットは5m/sec～15m/sec、快適な風は10m/sec
	風速	△		◎	◎	◎	◎	○	○	○	○	
	視程			○	○	○	○	○	○	○	○	
	台風	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	常襲地帯では活動日数が減少したり、保管艇が破損する危険あり
海象条件	海流				△		△			○	◎	静穏なボーティング、ヨッティングエリアが得られることが必要で、 小型ヨットで1m/sec(2ノット)以下 クルーザー型ヨットで2.5m/sec(5ノット)以下が望ましい
	潮流	○	△	◎	○	◎	△	△	△		○	
	沿岸流	○	△			△	△					
	潮汐	○	△			△	△					潮差が少ない方が係留時に安全である
	高潮	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	台風と同様、活動者と保管艇の安全確保上障害となる
	波浪	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	ディンギー等小型艇を考慮して1m以下が望ましい
	漂砂	◎	◎									漂砂の多いところでは浚渫等管理に費用がかかる
	水温			△		○	△	△	△	△	○	
	水質			○		△	△	△	◎		○	小型のボートでは汚染がひどいと活動できない
地形条件	海岸線の形状	◎		△					△			自然の入江のようになっていれば外部施設への投資が少ない
	背後地の状況	○		△		△				△		マリーナを中心に観光レクリエーション拠点を形成し得るような余裕があった方が良い。
	景観					○	○	○		○		周辺の自然環境・景観が良いこと
	底質	◎	○				△			△		関連性が少ないが暗礁は問題となる

◎ 非常に重要な影響あり、○ 比較的重要な影響あり、△ 場合により影響する、／ 考案外

出典：港湾計画総覧

(4) マリーナの適地条件とその重み（リゾート研究会，1987）

適地条件			カテゴリー	重み	レンジ
自然条件	海象	海岸線の型	湾型	−0.187	0.461
			直線型	0.274	
		漁港*1	有	−0.005	0.035
			無	0.030	
	気象地形環境	気温15℃以上の月	6か月以上	−0.011	0.051
			6か月未満	0.040	
		陸域地形	平坦地	−0.057	0.438
			傾斜地	0.381	
		公園指定	指定地	−0.057	0.115
			無指定地	0.058	
社会条件	利便性	幹線道路までの距離	1 km未満	−0.085	0.266
			1 km以上	0.181	
		最寄駅までの距離	10 km未満	−0.010	0.143
			10 km以上	0.133	
	人口集積度	日帰圏内に存在する都市の人口規模	100万人以上	−0.293	0.608
			30万人以上 100万人未満	−0.017	
			30万人未満	0.315	
	宿泊収容力	宿泊収容力	5千人以上	−0.130	0.173
			5千人未満	0.043	
	付帯施設	他のレクリエーション施設	有	−0.033	0.112
			無	0.080	
				相関比	0.481

*海岸線の型と共に海岸条件の代替指標とした。

（出典：(社)日本観光協会観光レクリエーション地区及び観光施設の基準に関する調査研究）

マリーナについて自然条件と社会条件とを総合して，立地条件としてどのような要因が効くかを，既存マリーナの実態から統計的手法によって示す。

人口集積度（日帰圏内に大都市が存在するか否か）や海岸線の型，陸域地型によってマリーナの有無が左右されていることが分かる。

(5) ヨットの活動に対する自然条件の限界（染谷ほか，1988）

	一般レース	長距離外洋レース	セーリング	クルージング	備　　考
気温	10°C 以上	—	10°C 以上	—	キャビンのある艇は低い気温にも耐えられる。
降水	—	—	—	—	豪雨でない限りよいが，視程が問題となる。一般レースは強い雨で中止されることもある。
風速	15 m/sec 以下	20 m/sec 以下	10 m/sec 以下	15 m/sec 以下	艇の種類，技量によって大幅に異なる。
視程	1.8 km 以上（1マイル以上）	1.8 km 以上（1マイル以上）	1.8 km 以上（1マイル以上）	0.9 km 以上（0.5マイル以上）	目標が見えなくなるとレースが困難，他船の航行水域では重要。
海流	—	—	—	—	日本近海で海流の強いところは限られている。
潮流	1 m/sec 以下（2ノット以下）	—	1 m/sec 以下（2ノット以下）	2.5m /sec 以下（5ノット以下）	風速，流向により大きく影響される。
波浪	※1.5 m 以下	—	1.5 m 以下	—	うねりは除く。 ※風波は波そのものよりマークが見えなくなることが問題となる。また，転覆時の救助活動困難。
水温	10°C 以上	—	10°C 以上	—	小型艇は転覆を考えると低温では危険。

(注)　上記にあげた数値は一般的に活動が困難になると思われる目安にすぎず，これらの条件が重なる場合には限界も上下するので，この限界値は相当な幅をもたせて考える必要がある。

(出典)　運輸省港湾局臨海工業地帯課「レクリエーション港湾調査報告書」(1973.3)

(6) 自然条件からみた海洋性レクリエーション活動の適地（リゾート研究会，1987）

活動 / 自然条件	海水浴	浜遊び(潮干狩り)	ヨッティング	
			ディンギー	クルーザー
波浪	波高50cm以内が望ましい 1m以上あると遊泳に危険	波高が小さいほうが危険が少ないが，波があること自体は問題ではない	1.5mが限界で，50cm以下が好ましい	とくに制約はない
潮流	遊泳限界流速 50cm/sec 遊泳注意流速 20～30cm/sec	関連性は少ない	1m/sec(2ノット)以下が好ましい	2.5m/sec（5ノット）以下が好ましい
水温	遊泳限界水温20℃ 24℃以上が好ましい	とくに冷たい水温(10℃以下)でなければ適	10℃以上が好ましい	とくに制約はない
水質	COD 2mg/ℓ以下 透明度は1m以上が好ましい	海水浴ほど厳しい制約はないが，水質がよいほど適性は高くなる	水質が良好なほうが好ましい	同左
底質，海底勾配	粒径2mm以内の砂であることが望ましい。勾配1／10以下の遠浅の状態がよい	砂浜，礫浜等の自然海岸の適性が高い	関連性は少ない。ただし暗礁は問題となる	同左
海洋生物	クラゲ等の人に危害を与える生物が少ないこと	多様な生物相を観測できることが好ましい	関連性なし	クルーザーでの遊びのひとつとして魚釣りが一般化しているため魚が豊富なほうが好まれる
海岸形状	50m程度のゆったりとした海浜が適している	広々として開放的な海岸は適性が高い	海浜から自由に発着できることは大きな利点となる	関連性が少ない
背後の地形・自然	直接関係しないため，特定の条件はないが，豊かな自然はプラス条件となる	同左	周辺の自然環境がよいこと	同左
気温	24℃以上あることが必要	寒さを感じさせるような気温（10℃以下）でなければ適性あり。20℃以上が好ましい	10℃以上が必要。20℃以上が一般には好ましい	とくに制約はないが，10℃以上が一般には好ましい
晴天	晴天であることが好ましい	晴天であることが好ましい	晴天が望ましいが，曇天や少々の雨はあまり問題とならない	晴天が好まれるが，雨でも十分活動できる
風	5m/sec以下の風が好ましい	強風(10m/sec以上)は適さない	10m/sec以下，レースでは15m/sec。ただし，2m/sec以下の微風は問題となる	15m/sec以下，ただしレースでは20m/sec程度まで可。5m/sec以上あることが望まれる

（出典：綜合ユニコム刊「月刊レジャー産業資料」№218）

(7) 海水浴等の成立条件（㈱日本観光協会，1987）

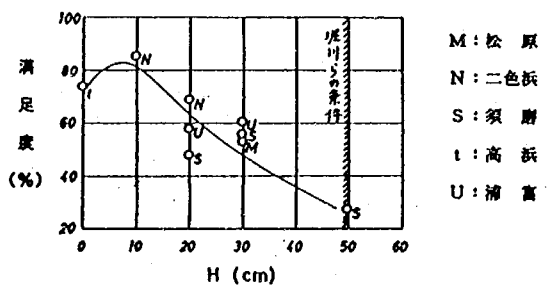
活動 / 自然条件	海水浴	浜遊び（潮干狩り）
波浪	波高：50cm以内が望ましい 1m以上あるとき遊泳に危険	波高が小さいほうが危険が少ないが、波があること自体は問題ではない
潮流	遊泳限界流速：50cm／sec 遊泳注意流速：20～30cm／sec	関連性は少ない
水温	遊泳限界水温：20℃ 24℃以上が好ましい	とくに冷たい水温（10℃以下）でなければ適
水質	大腸菌群：1,000MPN／100ml以下 COD：2PPM以下 常時油膜が認められない 透視度：30cm以上 pH7.8～8.3 海藻やゴミ等の浮遊物が少ない	海水浴ほど厳しい制約はないが、水質がよいほど適性は高くなる
底質	底質：泥土・岩石がなく、貝殻も少ない。 粒径：2mm以内の砂であることが望ましい 勾配：2～10%で遠浅 遊泳水域の水深：1.5mまでの幅1.5m以上	砂浜、磯浜等の自然海岸の適性が高い
浜部	汀線長：できれば500m以上が望ましい 砂浜幅：満潮時の水際より30m以上が望ましい	広々として開放的な海岸は適性が高い
海洋生物	クラゲ等の人に危害を与える生物が少ないこと	多様な生物相を観測できることが好ましい
後背部	背後に樹林地や丘陵地があること 陽当りが良いこと 付近に流入河川がないこと	同左
気温	24℃以上あることが必要	寒さを感じさせるような気温（10℃以下）でなければ適性あり。20℃以上が好ましい
天候	晴天多く、真夏日2週間以上	晴天であることが好ましい
風	風力5m／sec以下の風が好ましい	強風（10m／sec以上）は適さない

(8) 水浴水域の水質基準（運輸省港湾局，1979）

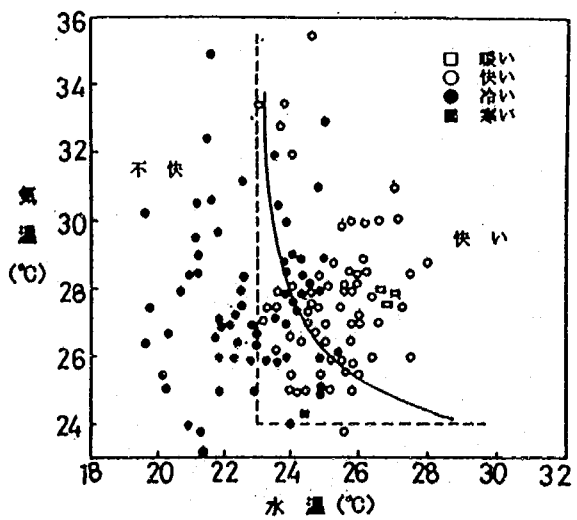
項目 / 類型	基準値					
	水素イオン濃度（pH）	生物化学的酸素要求量（BOD）	浮遊物質量（SS）	溶存酸素量（DO）	大腸菌群数	n-ヘキサン抽出物質（油分等）
河川	6．5以上 8．5以下	2ppm以下	25ppm 以下	7．5ppm 以下	1,000MPN／100mℓ 以下	—
湖沼	6．5以上 8．5以下	3ppm以下	5ppm以下	7．5ppm 以下	1,000MPN／100mℓ 以下	—
海域	7．8以上 8．3以下	2ppm以下	—	7．5ppm 以下	1,000MPN／100mℓ 以下	検出されないこと

(注) 「水質汚濁に係わる環境基準について」昭和45年4月21日閣議決定による。

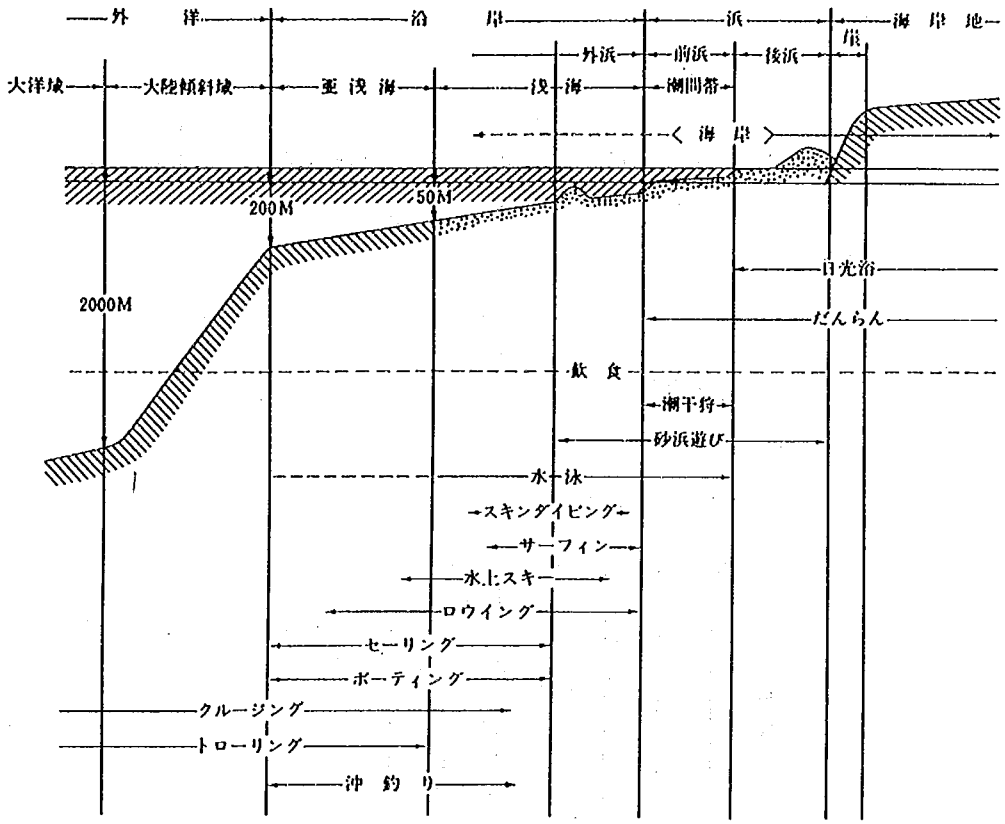
(9) 波高と満足度との関係（運輸省港湾局，1979）



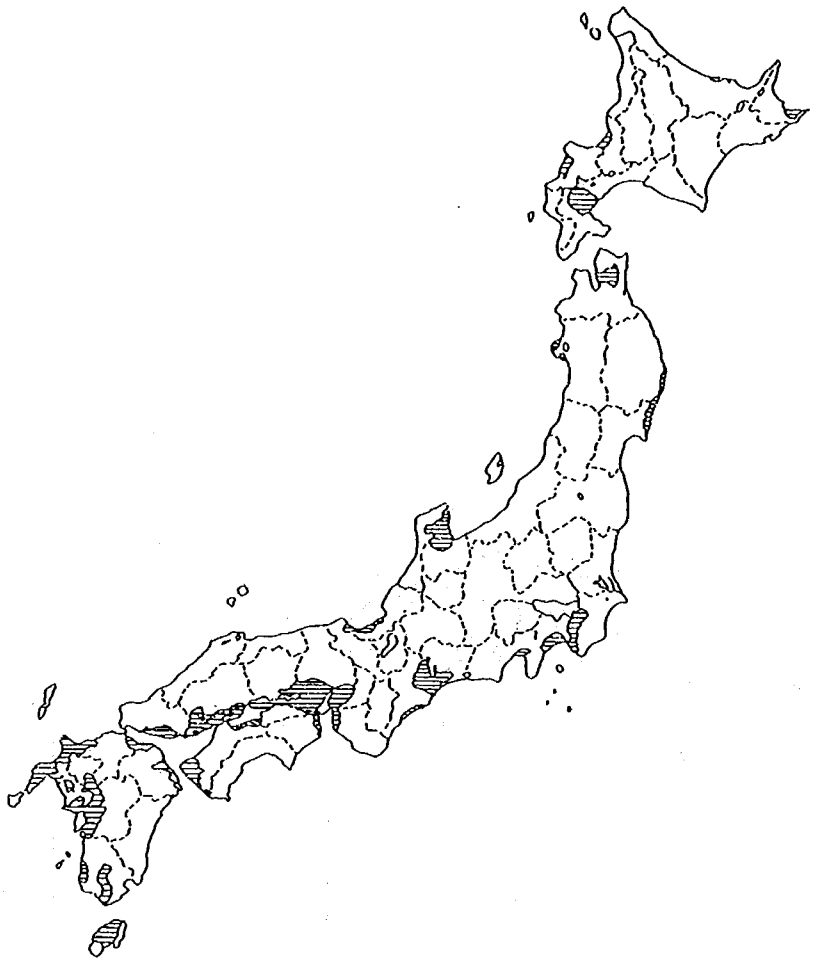
(10) 気温と水温に対する水浴者の感じ（運輸省港湾局，1979）



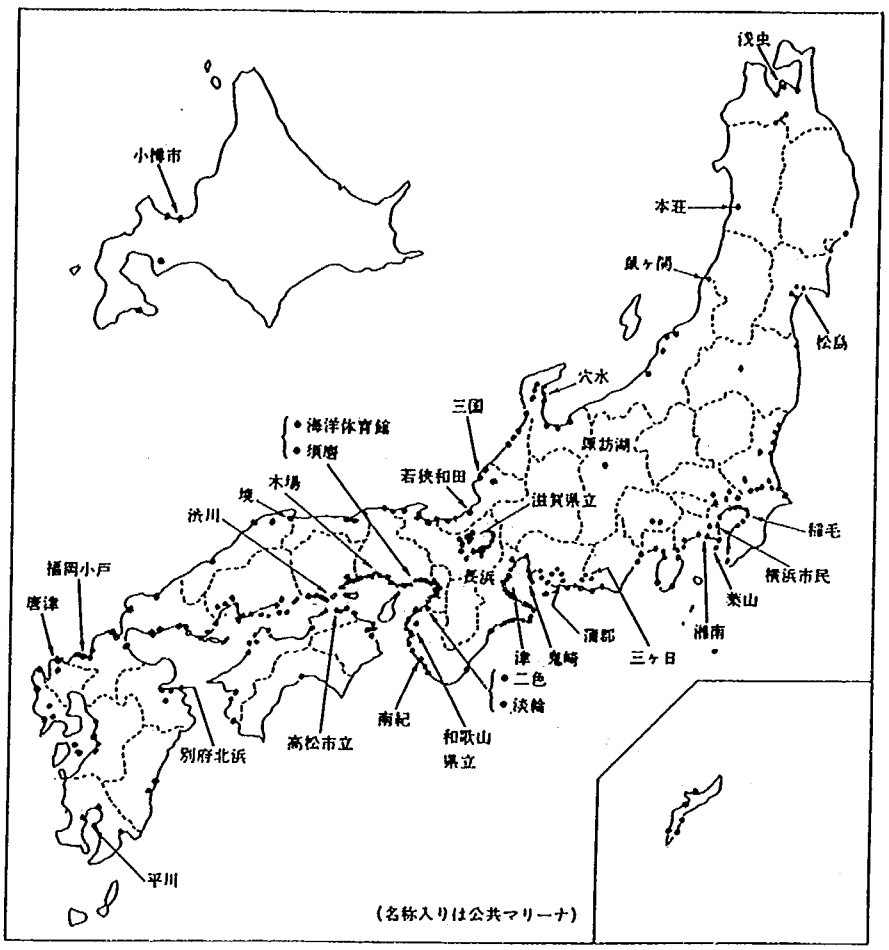
(11) 海岸の断面から見た海岸利用（リゾート研究会，1987）



(12) 自然条件からみたヨッティングの適地（リゾート研究会，1987）



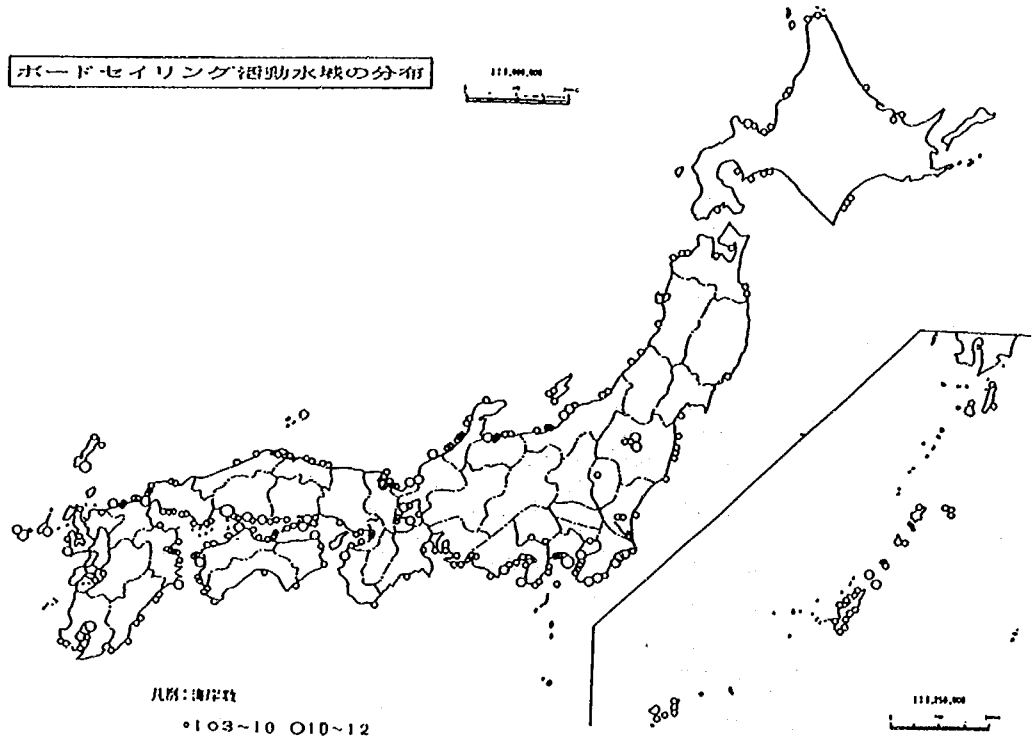
(13) 全国マリーナ分布図（リゾート研究会，1987）



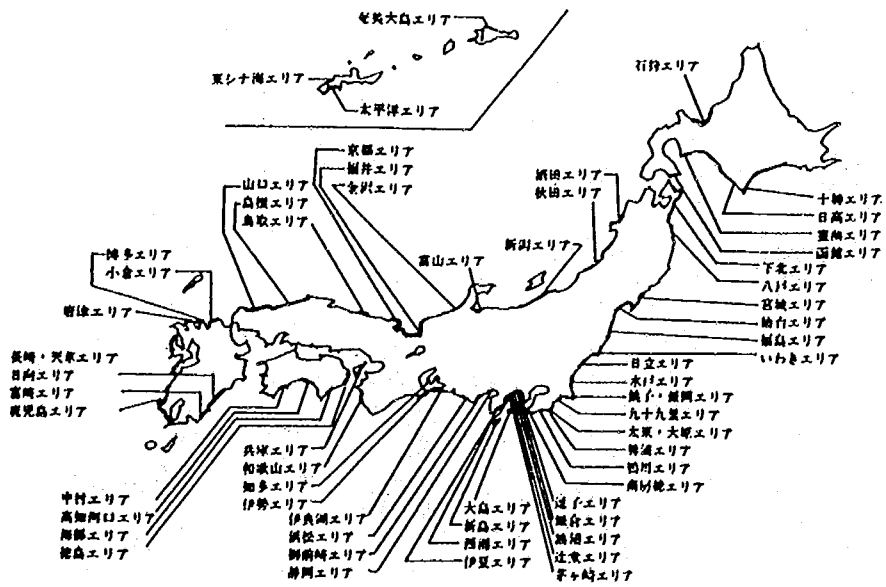
（出典：港湾局資料）

(14) ボードセイリングの活動水域（運輸省港湾局，1987）

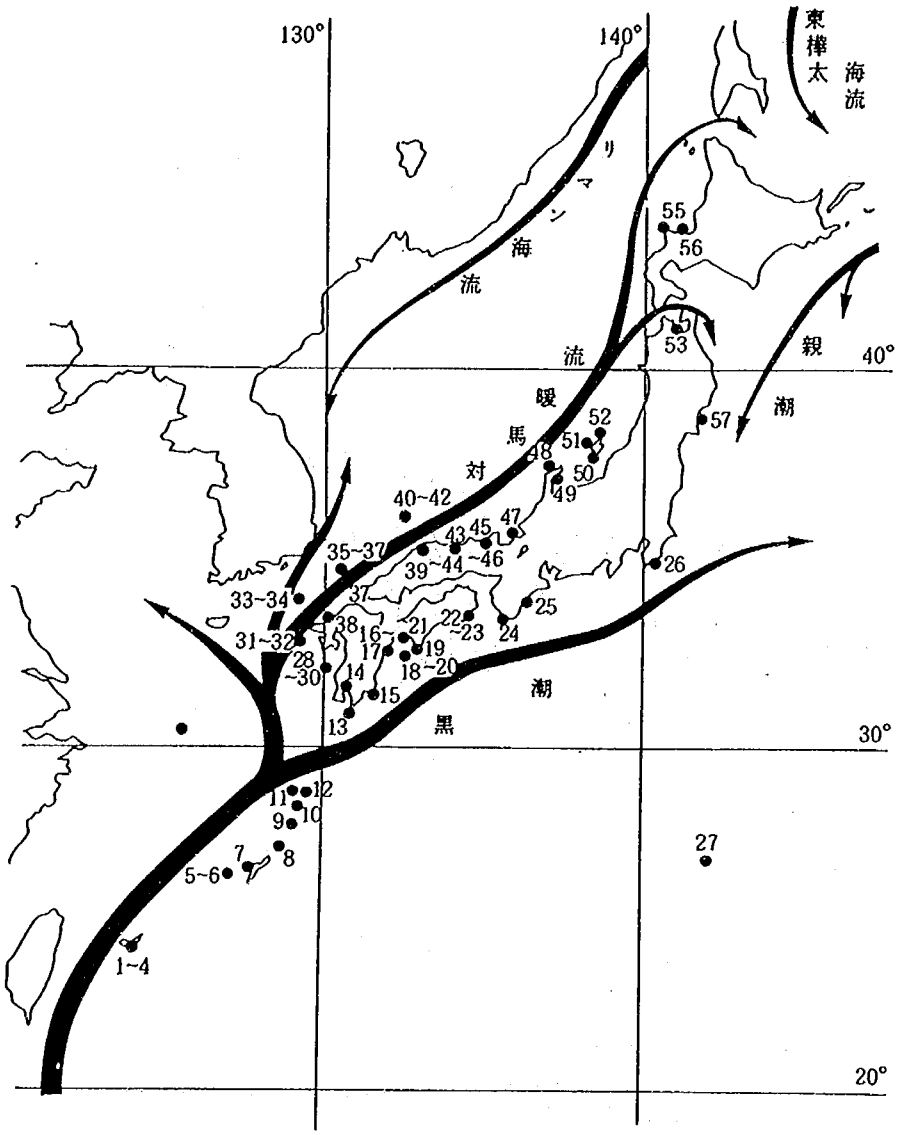
※全国のボードセイリング活動水域としては，昭和59年時点で420箇所が確認されている（運輸省港湾局調べ）



(15) 全国サーフエリア分布図（リゾート研究会，1987）



(16) 海中公園の分布（昭和62年6月末現在）（財)日本海事広報協会，1988）



（注） 図中の番号は表1－9に同じ。
資料：（財）海中公園センター「海中公園一覧表」

(17) レクリエーションから見た海域の種類，その特性および適当な人工的施策（リゾート研究会，1987）

海域の種類	長所	短所	適切なレクリエーション	適当な人工的施策	例
(1) 内湾（再開発型）	波が穏やか 都市に近い	水質汚濁が著しい 埋立地（工場）が多い 船舶の航行が激しい 景観がやや単調	ヨット，モーターボート，水上スキー，釣，海水浴，潮干狩	工場などの用途変換水域の締切りと浄水底層水取水 人工干潟・人工養浜 マリーナ	東京湾，大阪湾，伊勢湾，瀬戸内海，博多湾，洞海湾，松島湾など
(2) 外洋性の平坦な海岸（開発型）	広い砂浜 工場が少ない 後背地に広い空間がある		サーフィン（岬の近く） 海水浴	離岸堤 大規模プラットフォーム 人工岬，人工島 マリーナ（特に日本海） フィッシング・ピヤ	九十九里浜，鹿島灘沿岸，遠州灘沿岸，鳥取海岸，高知海岸，新潟海岸，秋田海岸など
(3) 小湾入域とその周辺（保全型）	波が穏やか 景観が変化に富む 工場が少ない	浜が少なくかつ狭い 養殖（水産）に利用されている水面が多い 水質が悪化し易い 都市から遠い 後背地が狭い	ヨット，モーターボート，水上スキー，ダイビング，釣，海水浴，サーフィン（局所的），海中公園	人工養浜 マリーナ フィッシング・ピヤ	三陸，伊豆半島，紀伊半島，豊後水道沿岸などの小湾入域

（出典：（財）日本地域開発センター「大規模観光レクリエーション基地整備の現状と課題」）

(18) 施設別誘致圏と支持人口（リゾート研究会，1987）

施設	誘致圏(分)	支持人口(万人)	備考
ケーブル・カー ロープウエー	90～360	50～60	幹線交通量 3～5000人/日
展望塔	60～360	100	東京タワー 誘致圏580km
博物館	30～360	20～40	
ゴルフ場	55	20～30	
スキー場	90～420	50～80	
スケート場	40	10～30	
マリーナ	90～120	20～30	
海水浴場	40～120	15～50	
遊園地	60～90	30～50	
キャンプ場	60～120	10～30	
別荘	180～210	—	

マリーナの立地条件として，車で90分～100分以内で行ける場所に，支持人口が20万はいる場所でなくてはならない。

（出典：(社)日本観光協会観光レクリエーション地区及び観光施設の基準に関する調査研究）

(19) マリーナと他のレクリエーション施設との相関表の例（運輸省港湾局臨海工業地課，1973）

主施設＼従施設	水浴場	セールボート場	モーターボート場	名勝・展望池	オートキャンプ場	別荘地	温泉地	ピクニックエリア	ふるさと村	遊園地	各種公園	ヘルスセンター	ドライブインシアター	魚釣場	ゴルフ場	乗馬クラブ	ボート池	プール	総合運動場	ボーリング場	動植物園	川原等オープンスペース	ショッピングセンター	その他
水浴場		◇	◇	◎	○	○	○	◎	○	◎	○	△			○	○	○	○	◎	◎	○	○	△	
セールボート場	◇		◇	◎	○	○				○	○		○	△			○	○	○	○		○	○	
モーターボート場	◇	◇		○	○	○				○	○		○	△			◎	◎	◎	◎		○	○	

◎：近接することによって補完・充実がはかれるもの
◇：ある条件を満たせば非常に補完・充実がはかれるもの
○：積極的補完関係はないが、近接することが好ましいもの
△：ある条件を満たせば近接してかまわないもの
無：どちらともいえないもの，直接関係のないもの
注1：高速道路関連サービス施設計画論，1971 参照
2：この表は開発者、経営者の立場から作成されたものであり、利用者の立場からの判断では必ずしもこの相関表のとおりとはならない

VI. 3　施設原単位

(1)　マリーナの配置の考え方

a）　地域の需要に対応するためのマリーナ配置

①　特に需要の強い大都市圏周辺や観光レクリェーションのポテンシャルの高い地域において、地域需要の一括的吸収併せて地域開発のコアとして、宿泊滞在型の大規模リゾート型マリーナを整備する。
…… (2,000～3,000隻規模)

②　需要の大きい都市周辺地域において拠点的なマリーナを整備することとし、都市近接地には日常型、観光・レクの適地にはリゾート型マリーナを整備する。…… (1,000～1,500隻規模)

③　需要のさほど大きくない地域や拠点的な整備の困難な地域においては、補完的なマリーナを整備することとし、都市近接地には日常型、観光・レクの適地にはリゾート型マリーナを整備する。
…… (500隻規模)

b）　クルージング、ネットワーキング化に対応するための配置

地域需要への対応を図りながら、長距離クルージングの安全性・快適性を確保するため、クルージング距離50kmを目安にマリーナのネットワーク化を図る。
…… (単純に日本本土部をネットワークで囲むと約160ヶ所のマリーナが必要)

(2)　マリーナの種別による配置の要件

a）　リゾート型マリーナの配置の要件（運輸省港湾局，1987）

(共通項目)

①　気象・海象条件が適すること

②　水質をはじめとする周辺環境のアメニティが良好であること

③　景観等観光資源に恵まれていること及び既存の観光施設等の関連施設の集積があり、宿泊滞在に適すること

④　発地からのアクセスが2～3時間圏内であり、かつ快適なアクセスができること

⑤　マリーナの立地およびプレジャーボートの活動のための空間（土地、海域）が確保されること

⑥　他港とのクルージングネットワークが構成されること

⑦　他のリゾート施設、交通施設等の関連諸計画との整合がとれること

(独立項目)

①　大規模（2,000～3,000隻クラス）
大都市圏もしくはこれに準ずる規模の誘致圏内人口を有すること

②　拠点型（1,000～1,500隻クラス）
30～10万人規模の地方中核都市を背後に有すること

③　小規模（500隻クラス）
需要に応じて適地に配する

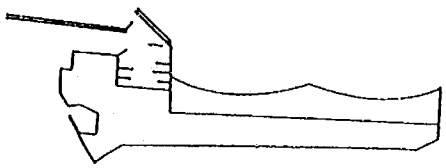
b） 国内主要マリーナの同尺度での比較（リゾート研究会，1987）



湘南港（神奈川県）
陸域　2ha
水域　3ha
収容隻数　1,000隻



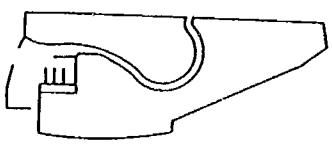
シーボニア（神奈川県）
陸域　6ha
水域　1ha
収容隻数　400隻



須磨ヨットハーバー（兵庫県）
陸域　3.1ha
水域　4ha
収容隻数　500隻



佐島マリーナ（神奈川県）
陸域　0.8ha
水域　0.7ha
収容隻数　220隻



サントピアマリーナ（兵庫県）
陸域　21ha
水域　2ha
収容隻数　220隻

c） 1人（単位）当たり空間原単位（リゾート研究会，1987）

施設		最大日集中率	同時滞在率	平均滞在時間	1人（単位）当たり空間原単位	備考
マナリー	ヨット	3.5	90	4.0	2.5～3 ha／隻	
	モーターボート	3.5	90	4.2	8 ha／隻	
海水浴場		5	100	6.0	20m²／人	
		(%)	(%)	(時間)		

（出典：(社)日本観光協会「観光レクリエーション地区及び観光施設の基準に関する調査研究」）

d） ボーディング活動水域（綜合ユニコム㈱, 1987）

1．セールヨット		
●活動水域面積	下限値	300～400ha
●平均的活動範囲	海岸線から5キロ以内に集中 沖合10キロ以上出る艇はわずか	
●ボーディング原単位	快適	2.5～3.0ha/隻
	安全最小	0.11ha/隻
2．モーターボート	8.0ha/隻	

出典：「港湾計画概論」全日本建設技術協会編・「海洋性レクリエーション振興方策調査報告書」昭和61年3月、日本海事協会

e） わが国マリーナの施設原単位（㈱日本観光協会, 1975）

	単位	原単位	備考
i）1隻当りの各種施設の面積等			
水域面積／水域収容隻数	m²／隻	90	水域にはボートが出入りする通路を含む※
陸域面積／陸域収容隻数	〃	43	陸域にはボートが出入りする通路を含む。
陸上ヨット置場／陸上ヨット置場収容隻数	〃	21	ヨットは2,3段に積まれることがある。ヨット置場、艇庫の面積は総床面積である。また2段以上につまれている場合は台車当りの面積を算出した。
艇庫／艇庫収容隻数	〃	23	
ii）関連施設および建設費			
収容隻数／荷役機械	隻／基	138	荷役機械は主にクレーンである。
駐車場／収容隻数	m²／隻	14	
ロッカー／収容隻数	個／隻	0.8	
宿泊施設／収容隻数	m²／隻	2.5	ヨットハウス内およびヨットハウス外にある附属の宿泊施設を合せたものである。なお宿泊施設を全く有しないものは除外してある。
総建設費／収容隻数	千円／隻	601	

注）単に〈収容隻数〉とは、ヨットハーバーに収容可能な総隻数をいう。
※代表的なヨットハーバーの水域面積／水域収容の隻数
シーボニヤ150m²/隻、
大津ヨットハーバー150m²/隻
高松ヨットハーバー71m²/隻
浦郡ヨットハーバー70m²/隻
江ノ島ヨットハーバー66m²/隻
葉山ヨットハーバー32m²/隻

（運輸省港湾局臨海工業地帯課〈港湾投資の地域開発に及ぼす効果に関する調査--ヨットハーバーの現況に関する調査〉45年3月より）

f） 人工海浜の比較（リゾート研究会，1987）

項　　目	神戸港須磨海岸	沖縄海洋博覧会 エクスポビーチ	千葉市稲毛海岸	
海岸位置	古くから白砂青松の土地 阪神間の残された唯一の 砂浜海岸	沖縄本部半島北端のリー フの内側	古くは遠浅の海浜観光地東 京湾最奥部，京葉臨海開発 地域の中	
人工海浜延長(m)	1000m（55年まで）	約600m	1200m	
海浜面積	50,000m² (現在は25,000m²)	42,200m²	満潮時60,000m²，干潮時 156,000m² ※現在は余盛の ため満潮時96,000m²	
波の条件	$H_{1/3}$=4.75m	最大波で2m程度	最大波2.8m， 10年確率波1.9m	
養浜砂　粒径	D_{50}=1.0～1.7mm	D_{50}=0.5～0.6mm， γ=2.7	0.42～ 0.074mm	深砂防止表面 細石径3～8cm
産地	瀬戸内海	沖縄慶伊瀬，伊是名（30 km），明淡褐色の良質	沖合で土 取	
量	700,000m³ (55年までの計画)	70,000m³	750,000 m³	46,800m² (30cm厚)
海浜勾配　海中	1/20～1/30	1/15	1/100	
陸上	1/10	1/15	1/50～1/20	
年間利用人口(計画)	130万人		400万人	
日最大利用人口	16.5万人		15万人	

（出典）都市計画研究所　ランドスケープVo. 17　No. 1

g） 主要施設の必要原単位（運輸省港湾局，1979）

	施設名	必要原単位	利用率	回転率	備　　考
基本施設	ビーチ	4～14m²／人 新全総目標7m²／人	100%	1.0～1.5回／日	ビーチ幅100m未満 50m程度がよい
	遊泳水域	3～15m²／人	同時入場者の 20～50%	1.0～1.5回／日	可歩行水域とは水深－1.0m 程度以浅の水域
	更衣室	0.7～2.5m²／人	90%	21回／日	ほぼ500m程度の間隔
	ロッカー	0.2m²／人	60%	1.0～1.5回／日	
	シャワー	1.5m²／人	90%	4.0～6.0回／日	
	便所	男子(大)・女子3～4m²／穴　男子100～150人当り　200回／日 男子(小)　2～3m²／穴　女子30～50人当り　40～60回／日			用便のスペースは大0.8m²， 小0.5m²
サービス施設	飲食施設	15m²／人	40%	7回／日	
	駐車場	バス50～55m²／台 乗用車　25m²／台 付帯部分を含む	20～85%	1.0～1.5回／日 砂浜回転率より 多少低い	
供給処理原単位	給水量	50～150ℓ／人			
	ゴミ排出量	170g／人・日			
	排水量	給水量の125%			

＊　日本観光協会：“観光計画の手法”

h） 空間の原単位（ラック計画研究所，1975）

施設の原単位

施設	最大日集中率 (%)	同時滞在率 (%)	平均滞在時間 (h)	1人(単位)当り空間原単位	備考
動物園	2.0	40	2.5	25㎡／人	上野動物園
植物園	3.5	40	2.5	300㎡／人	神代植物公園
ゴルフ場	1.5	100	5.0	0.2～0.3ha／人	9～18ホール 日利用者223人（18ホール）
スキー場	5	100	6.0	200㎡／人	滑降斜面の最大日ピーク率は75～80%
スケート場*	1.5	10	1.6	5㎡／人	*都市型の屋内リンクの場合
マリーナ (小型)ヨット	3.5	90	4.0	2.5～3ha／隻*	*水面 ボートヤード 25㎡／隻 係留水域 100㎡／隻
マリーナ モーターボート	3.5	90	4.2	8ha／隻*	
海水浴場	5	100	6.0	20㎡／人*	*砂浜
ボート池	—	—	1.5	250㎡／隻	上野公園ボート場 2ha，80隻
野外ゲーム場	—	—	2.0	25㎡／人	
アーチェリー場	5*	40	2.5	230㎡／人	*富士自然休養林
サイクリングコース	—	—	2.0	30m／人	
釣場	—	—	5.3	80㎡／人	各府県ごとに禁漁期間あり
狩猟区	—	—	6.0	3.2ha／人	猟期は11/1～2/15 北海道では10/1から
観光農園 レジャー農園	—	—	2.0	15～30㎡／区画	
農園 観光牧場・果樹園	3.7～10*	50	3.0	100㎡／人	*ブドウ園の例
ハイキングコース	—	—	3.5	400m／ﾊﾟｰﾃｨ	
ピクニックランド	4.5*1	90*2	4.0	40～50㎡／人	*1こどもの国 *2相模湖ピクニックランド
遊園地	3.5	70	3.2	10㎡／人	
キャンプ場 普通キャンプ	3.5	100	—	150㎡／人	250～500人収容
キャンプ場 オートキャンプ	3.5	100	—	650㎡／台	50～100台収容
別荘	4.0	100	—	700～1,000㎡/戸	
ヘルスセンター	1.5	60	3.2	—	

（『観光レクリエーション地区及び観光施設の基準に関する調査研究，II観光施設の基準』，日本観光協会，1974より）

i） 海水浴場・プールの原単位（㈱日本造園学会，1979）

	算定式	算定規準	
		海水浴場	プール
最大日集中率		5～10%	5～7%
計画日集中率		3～3.5%	3～3.5%
滞留時間		6～7時間	3時間
同時滞留率	a	80%	60～70%
退出時最大同時滞在率	b	20～30%	30～40%
更衣ロッカー室（0.15～0.22 m²/人）	$P_n \times a \times r \times m$	$r=1/2$	$r=1/2$
シャワー室（0.64 m²/人）	$S_n \times b \times r \times t \times m$	$r=1/250$ $t=1/30$	$r=1/5$～$1/4$ $t=1/30$
便所（3～4 m²/穴）	$S_n \times a \times r \times t \times m$	$r=1/80$ $t=1/60$	$r=1/40$～$1/60$ $t=1/60$
食堂（3 m²/人）	$S_n \times a \times r \times t \times m$	$r=1/5$～$1/20$ $t=1/2.5$～3.5	$r=1/5$～$1/20$ $t=1/2.5$～3.5

P_n：最大日利用者数，r：利用率，t：回転率，m：1人当りの面積，S_n：計画日利用者数．

VI. 4 利用者推計手法

リゾートの開発規模（空間量または収容力）を決定するためには、活動別需要量（利用者数）と活動別適地容量（資源容量）とを把握する必要がある。本項では、需要量（利用者数）の推計手法について解説する。

リゾートでは生活行為全般が利用者推計の対象となり、個々の活動は多彩であることから、特定のレクリエーション活動を限定して活動量を把握することは難しい。また、既往の観光レクリエーション関連の統計データを用いた推計にも限界がある。しかしながら、土地利用計画や施設計画に当っては、ある程度の利用者推計を行う必要があるため、従来の観光レクリエーション利用者の推計手法のうち代表的なものとその特徴を以下に示す。

(1) 時系列モデル

$$Y = a\,t + b \qquad (VI.1)$$

$$Y = a\,t^2 + b \cdot t + c \qquad (VI.2)$$

$$Y = A\,(1+r)^t \qquad (VI.3)$$

ここに、Y：年間需要量、t：基準年次からの経過年数、A：基準年次の年間需要量、a、b、c、r：定数（過去の時系列データから決定するが、簡便法としては式（VI. 1）のaおよび式（VI. 3）のrは過去5～10年の年平均増加率を使用）である。

この方法は予測年次（基準年次からの経過年数）が短期間の場合や、環境条件の変化が少なくて現在までのすう勢が将来も続くと考えられる場合においては有効な方法である。それ以外のケースや新規開発地、時系列データが得られない場合等には利用できないが、その場合には類似した地域のデータを利用することも方法の一つである。

(2) 空間相互作用モデル

① グラビティモデル（重力モデル）

$$V_{ij} = \alpha D_{ij}^{-\beta} P_i \qquad (VI.4)$$

$$V_{ij} = \alpha D_{ij}^{-\beta} V_i \qquad (VI.5)$$

ここに，V_{ij}：発地 i から観光地 j への年間需要量、D_{ij}：発地 i と観光地 j との距離、P_i：発地 i の人口、V_i:発地 i の年間総観光発生量、α、β：定数（過去のデータから決定）である。

この方法は、将来のD_{ij}とP_iまたはV_iが分かればV_{ij}を予測することができる、発地データのない観光地には適用できないが、大きなブロックへの入込量を、短期的に予測するのに適している。

② ハフのモデル

$$E_{ij} = P_{ij} C_i \qquad (VI.6)$$

$$P_{ij} = (S_j / D_{ij}^{\lambda}) \Big/ \sum_{j=1}^{n} (S_i / D_{ij}^{\lambda}) \qquad (VI.7)$$

ここに，E_{ij}：発地 i から観光地 j への年間需要量の期待値、P_{ij}：発地 i における利用者が観光地 j に行く確率、C_i：発地 i の人口または年間総観光発生量、S_j：観光地 j の魅力度（一般には規模、施設量）、D_{ij}：発地 i と観光地 j との距離または時間距離、λ：定数（過去のデータまたは類似した地域のデータから決定）である。

この方法は、グラビティモデルを確率操作したものといえ、グラビティモデルと同様の特徴をもつが、他の観光地との相互作用をとり込んでいる点が異なっている。またP_{ij}は式（VI.7）から算定するが、データの入手が困難な場合は、簡便法として類似した地域のデータ等から外生的に与えることもできる。

(3) 要因分析モデル

○ $Y = a_0 + a_1 X_1 + \cdots\cdots + a_n X_n \qquad (VI.8)$

ここに、Y：年間需要量、X_i：要因 i 、a_0、a_1……、a_n：定数である。

○
$$\begin{cases} Y = c_1 + a_1 X_1 + U & (VI.9) \\ X_i = a_\beta Y + b_1 Z_i & (VI.10) \end{cases}$$

ここに、Y：年間需要量、X_i：Y以外の内生変数（要因）、Z_i：外生変数、U：数かく乱項、a_0、a_1、b_1、c_1：定数である。

これらの方法は、年間需要量に影響を与えると考えられる事項（例えば観光地規模、観光資源の魅力、観光施設の量等）を要因としてとり込むもので、式（VI.8）は要因間の相互関係が少ない場合、式（VI.9)、(VI.10）は相互関係が複雑な場合の方法である。いずれの方法もデータの収集が困難であり、また要因そのものの予測が必要であるなどの難点があるが、方法としては優れている。

以上の方法によって算定された需要量は、年間需要量すなわち年間入込観光者数（人／年）であるから、資源容量との比較や施設の収容力の設定には、最大日集中率、回転率または同時滞在率等を用いて、日当りの入込観光者数（人／日）や時間当りの入込観光者数（人／h）に変換することが必要になる。

需要量の算定は、いくつかの予測方法を組合わせて行うことが望ましい。また計画地が立地する地域の入込観光者客数のみでなく、その計画地と競合関係にある地域、さらにわが国の代表的観光地域の入込数も調査し、計画が属する地域の相対的位置付けを把握することも必要である。さらに、その地域内において需要に対して不足しているリゾート施設、観光施設の把握、今後リゾートニーズがどのように変化していくかという中・長期的な需要の動向の把握を十分に行う必要がある。

参考文献

運輸省港湾局臨海工業地課（1973）：レクリエーション港湾調査報告書，69p.

運輸省港湾局（1979）：人工海浜の建設技術マニュアル，110p.

運輸省港湾局（1987）：これからのマリーナのあり方について―マリーナ懇談会報告書，㈳日本マリーナ協会，95p.

㈳全国海岸協会（1986）：明日への海洋開発―豊かな国土づくり目指して，185p.

綜合ユニコム㈱（1987）：リゾート開発事業計画資料集，304p.

染谷昭夫・藤森泰明・森繁泉（1988）：マリーナの計画，鹿島出版会，222p.

地域振興整備公団・㈶日本システム開発研究所（1987）：国民ニーズの多用化に対応した効果的な地方都市開発整備方策に関する調査―リゾート編，264p.

㈶日本海事広報協会（1989）：海洋性レクリエーションの現状と課題，178p.

㈳日本観光協会（1975）：観光レクリエーション施設の計画，No.1，300p.

㈳日本観光協会（1976）：観光計画の手法，399p.

㈳日本観光協会（1987）：海洋性観光地計画の手びき，166p.

㈳日本造園学会（1979）：造園ハンドブック，技法堂出版，1，350p.

丸田頼一編（1989）：リゾート開発計画論，ソフトサイエンス社，427p.

㈶余暇開発センター（1990）：レジャー白書'90，101p.

ラック計画研究所（1975）：観光・レクリエーション計画論，技法堂，204p.

リゾート研究会編（1987）：観光リゾート開発戦略データファイル，第一法規，1，965p.

Ⅶ　緑化事例調査（三浦半島を事例として）

Ⅶ. 1　緑の存在状況と役割の検討

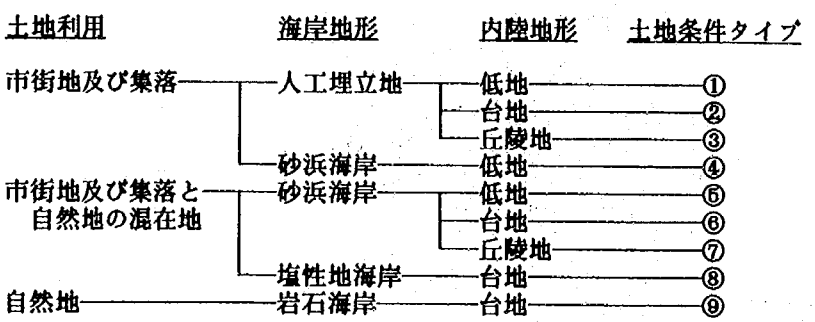
(1)　土地条件の整理

海岸地域の緑の存在状況に係わる基盤の条件として、三浦半島の内陸や海岸の地形および土地利用などの土地条件について整理した。各々の条件については、下記のように区分した。区分は、地形分類図（土地条件図）・土地利用図・空中写真をもとに行った。各々の条件の区分結果については、図Ⅶ－1に示す通りである。

- 内陸地形
  - 低地
  - 台地（段丘も含む）
  - 丘陵地
- 海岸地形
  - 砂浜海岸
  - 岩石海岸（海崖）
  - 塩性地海岸
  - 人工埋立地
- 土地利用
  - 市街地及び集落
  - 市街地及集落と自然地の混合地
  - 自然地

図Ⅶ－1　土地区分の条件

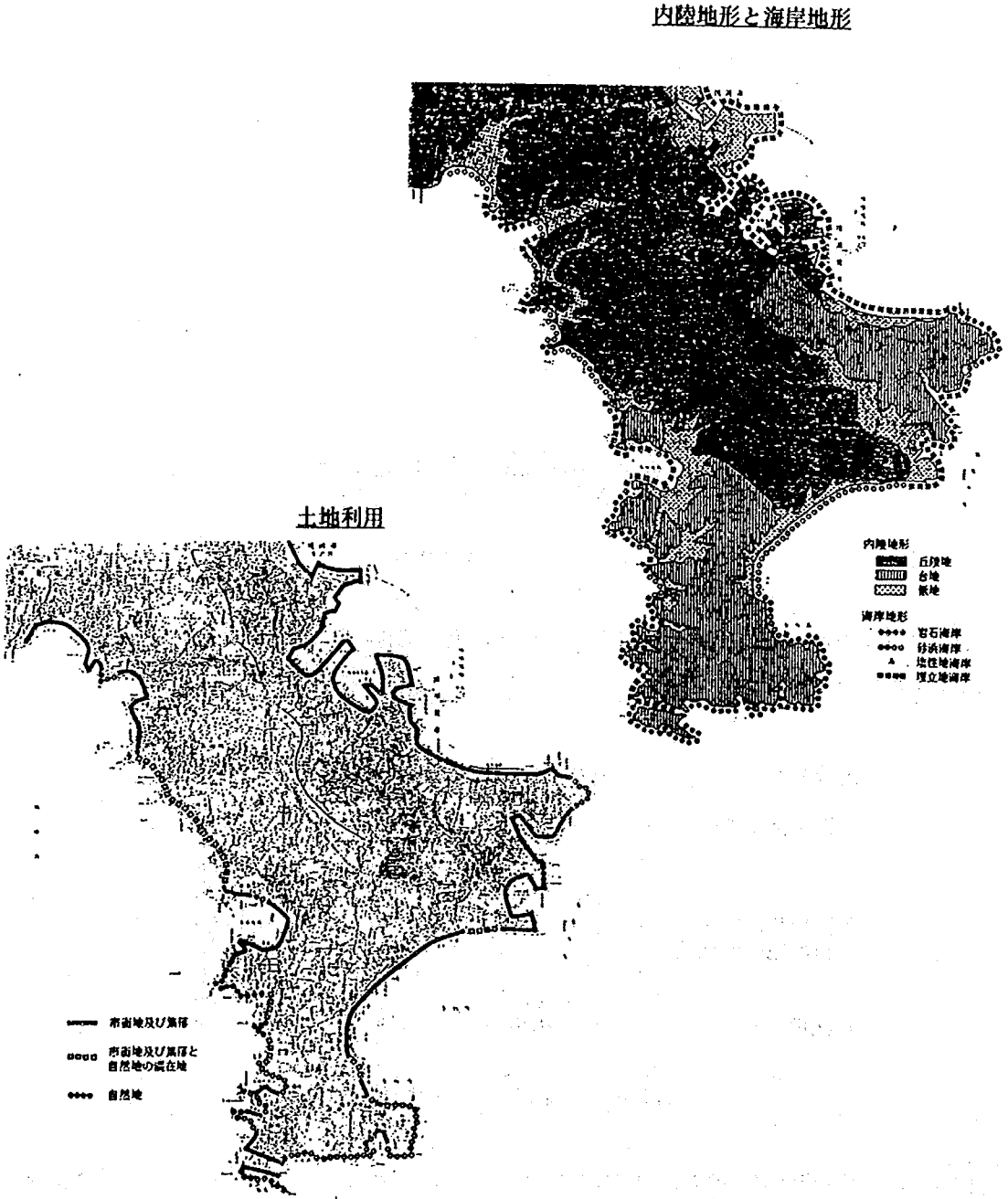
三浦半島の海岸地域における緑の存在基盤は、3つの条件の組合わせにより、主に次の9タイプに区分することができる（図Ⅶ－2）。



図Ⅶ－2　三浦半島の土地条件タイプ

土地利用条件と地形条件との対応関係（図Ⅶ－3）を見ると、市街地および集落は、人工埋立地や砂浜海岸に立地している。市街地および集落と自然地の混在地は、主に砂浜海岸に立地している。自然地は、岩石海岸に立地している。これらのことはもちろん土地利用の容易さと関連しているわけであるが、三浦半島では都心に近いため比較的土地利用が進んでおり、内陸側が利用のしにくい丘陵地であっても、海岸側を埋め

立てることにより土地利用がなされるので、自然地がまとまって海岸に接している場所は岩石海岸にしか残っていない。



図Ⅶ－３　内陸地形・海岸地形・土地利用の区分

(2) 緑の存在状況

(1)で整理した様々な土地条件のもとに存在している緑について、その位置・質・地形との対応について断面模式図で示し、これと海岸からの見え方や植物の生育状況を緑の存在状況シートに整理した。12ヶ所の調査地点の土地条件を表Ⅶ－1に、調査地点の位置を図Ⅶ－4に示す。

表Ⅶ－1　三浦半島の緑の存在状況調査地点の土地条件

番号	調査地点	内陸地形			海岸地形				土地利用			土地緑被のタイプ
		a	b	c	a	b	c	d	a	b	c	
1	野島公園	●						●	●			①
2	馬堀海岸	●						●	●			①
3	三崎港		●					●	●			②
4	横須賀駅前			●				●	●			③
5	逗子マリーナ			●				●	●			③
6	三浦海岸	●				●			●			④
7	三戸海岸	●				●				●		⑤
8	金田海岸		●			●				●		⑥
9	久留和海岸			●		●				●		⑦
10	江奈湾		●				●			●		⑧
11	城ヶ島公園		●		●						●	⑨
12	観音崎		●		●						●	⑨

内陸地形：a－低地　b－台地（段丘）　c－丘陵地
海岸地形：a－岩石海岸　b－砂浜海岸　c－塩性地海岸　d－埋立地海岸
土地利用：a－市街地及び集落　b－市街地及び集落と自然地の混在地
　　c－自然地

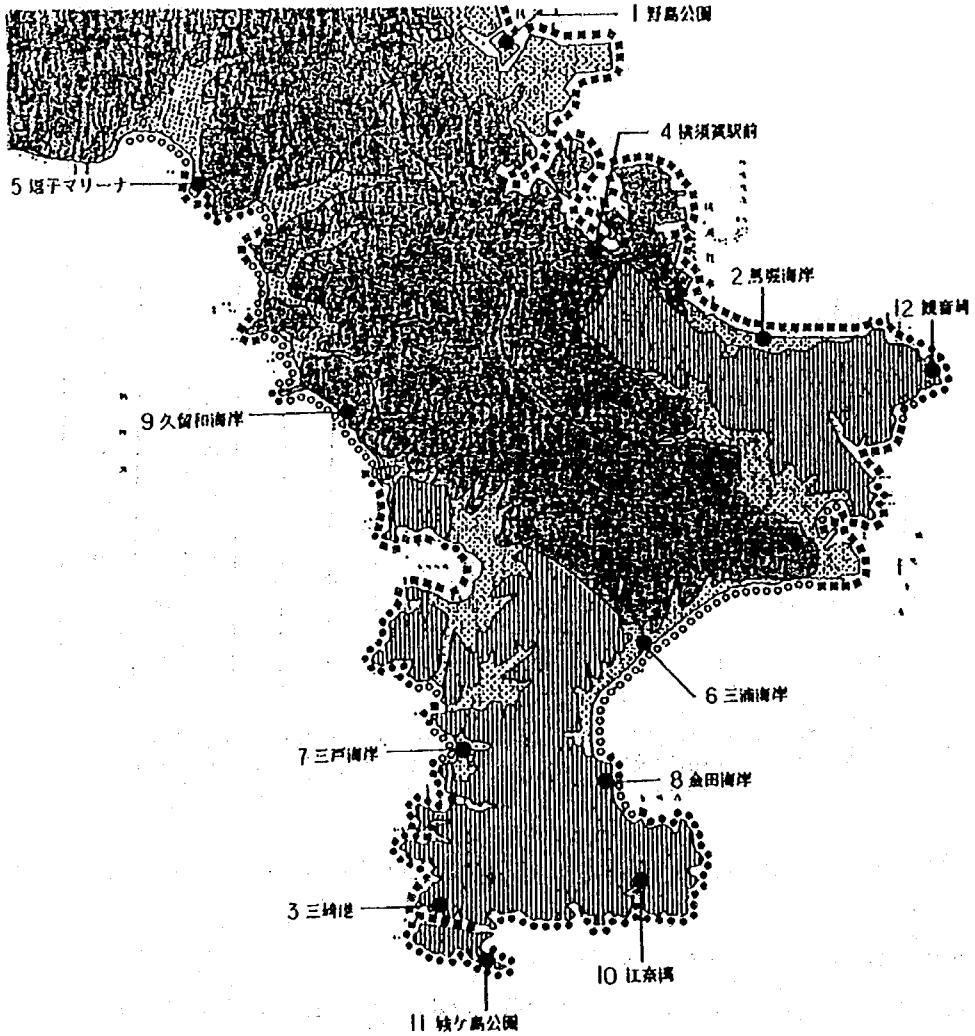
海岸地域における自然や半自然の緑の量は、土地利用のされ方と関係が深い。そこで、土地利用と緑の量の関係を調べる。

三浦海岸では、海岸の土地利用が市街地および集落となっている場所は、商業地や住宅地として高密度に利用されており、緑地は少ない。緑は、公園や街路樹としてややまとまって見られる程度である。ただし、三浦半島では台地や丘陵地が海に迫っているので、海岸際の市街に接して台地や丘陵地の急斜面に自然や半自然の緑が残されており、それを海岸からよく望むことができる。

海岸の土地利用が市街地および集落と自然地の混在地となっている場所は住宅地として利用されているが、住宅の密度は低く、民家の間に自然や半自然の緑が存在している。また、海岸際には、土地利用が市街地および集落の場所でほとんど見られない自然や半自然の草本群落、低木群落が部分的に存在し、海岸全体が緑豊かに見える。

海岸の土地利用が自然地の場所は、台地が海岸に迫った岩石海岸となっており自然や半自然の緑が残され、ほとんど人に利用されていない場所である。そこではわずかに公園として散策路等に利用されているだけである。三浦半島では、海岸際にこのような緑があっても、台地上は畑地等に利用されている場所が多い。その中でも観音崎周辺は、台地上も自然や半自然の緑が続いており、緑が豊かな場所である。

各調査地点の調査票を以下に示す。



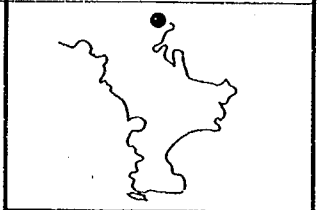
図Ⅶ－4　緑の存在状況調査地点の位置

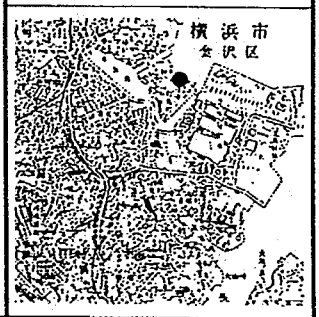
番号	調査地点	土地条件		
		内陸地形	海岸地形	土地利用
1	野島公園	低地	埋立地海岸	市街地及び集落

緑の存在状況

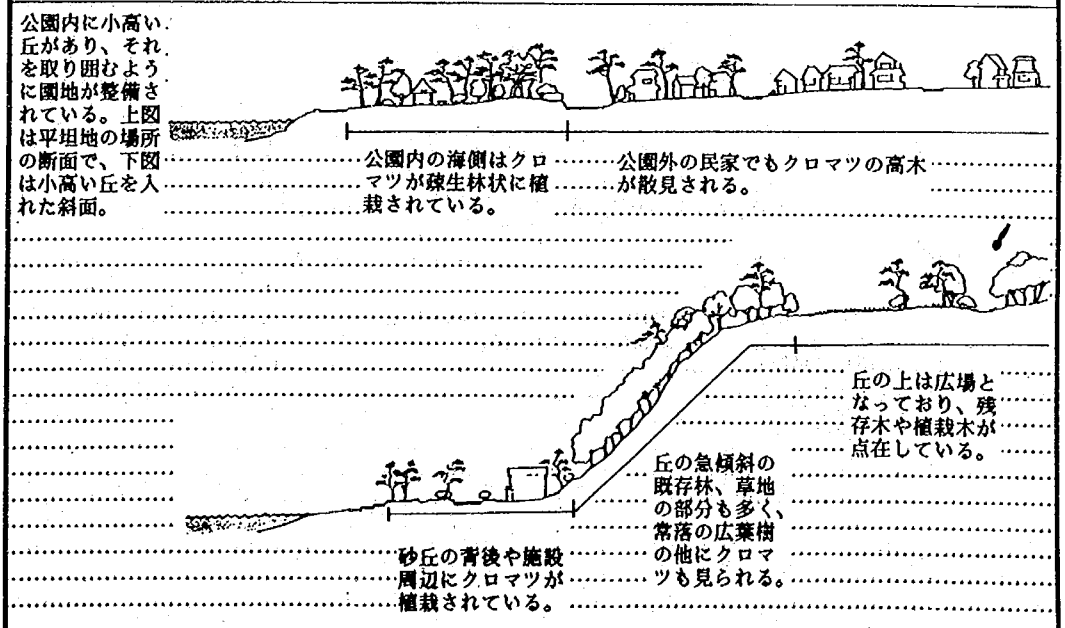


写真撮影地点





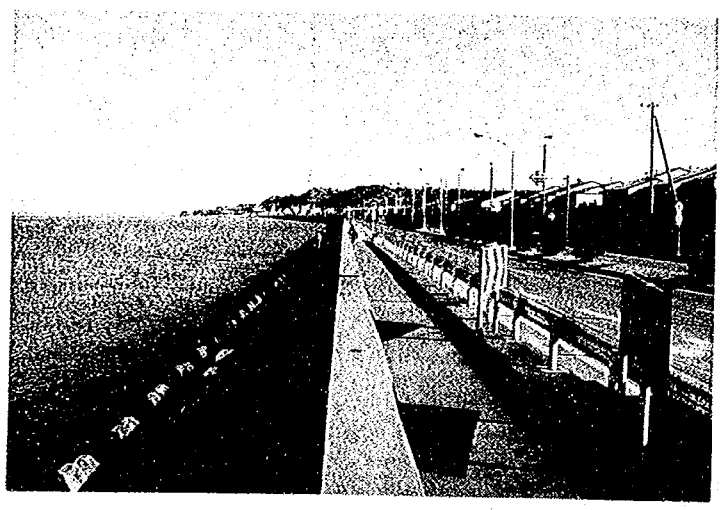
緑の存在状況の断面模式



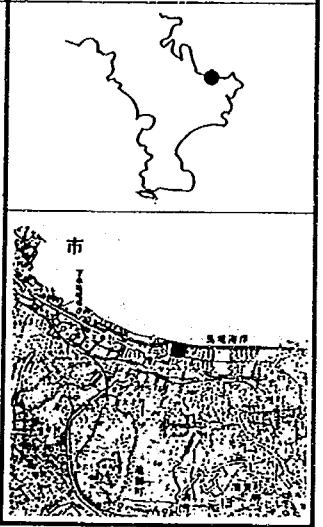
海岸からの見え方	植物の生育状況
海岸からは、公園内のクロマツがベルト状につながって見え、丘の斜面林と一体となって緑量が多く感じられるが、周囲は工場地帯で緑がほとんどなく孤立した感じがする。	クロマツの生育は極めて良好で、他の樹種も海岸に強い種類が多いため生育は良好である。

番号	調査地点	土地条件		
		内陸地形	海岸地形	土地利用
2	馬堀海岸	低地	埋立地海岸	市街地及び集落

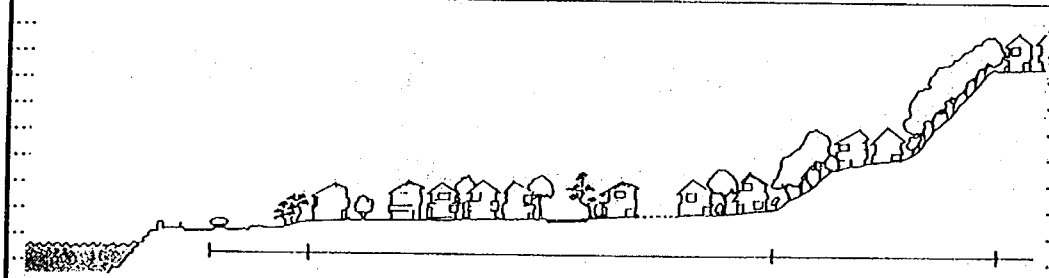
緑の存在状況



写真撮影地点



緑の存在状況の断面模式



海岸の道路や住宅地との境界に常緑低木やクロマツのベルト状の植栽帯がある。

住宅地内は常緑樹を主体とした植栽が行われている。

台地の斜面は既存林が残されているが、開発されて宅地となっている所も見られる。

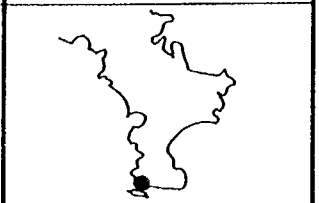
海岸からの見え方	植物の生育状況
道路と住宅地との間にベルト状にクロマツが植栽されており、それが後背の斜面林と一体となって見える。	クロマツの生育は非常に良好である。

番号	調査地点	土地条件		
		内陸地形	海岸地形	土地利用
3	三崎港	台地	埋立地海岸	市街地及び集落

緑の存在状況

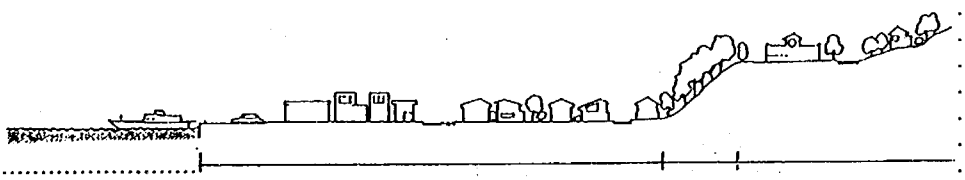


写真撮影地点





緑の存在状況の断面模式



ほとんどが埋立てにより作られた港で港湾施設や民家が密集しており、緑は極端に少ない。

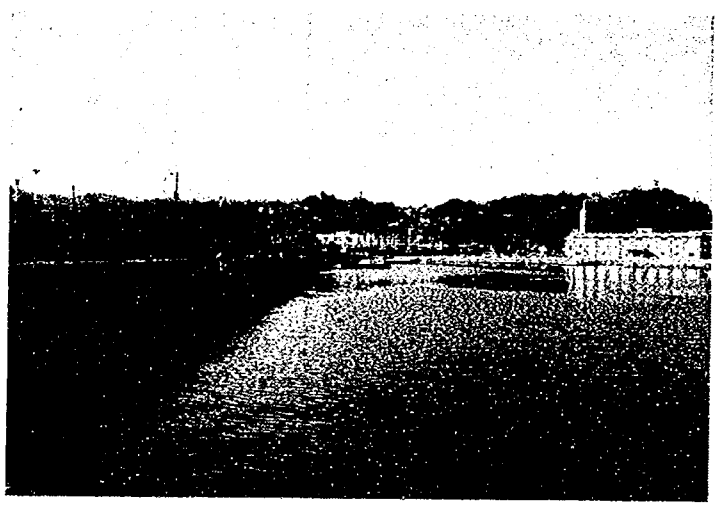
台地の斜面はベルト状に緑が残されている。

台地上も民家等が密集しているが台地の下よりは緑が多い。

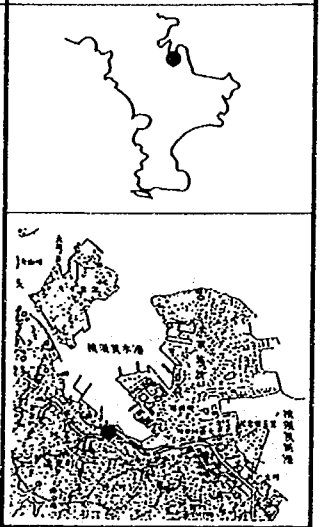
海岸からの見え方	植物の生育状況
海岸際の港と台地の間にある急斜面にベルト状に樹林が残されており、港のあちこちから背景として望める。	自然林や二次林が斜面に良好に生育している。

番号	調査地点	土地条件		
		内陸地形	海岸地形	土地利用
4	横須賀駅前	丘陵地	埋立地海岸	市街地及び集落

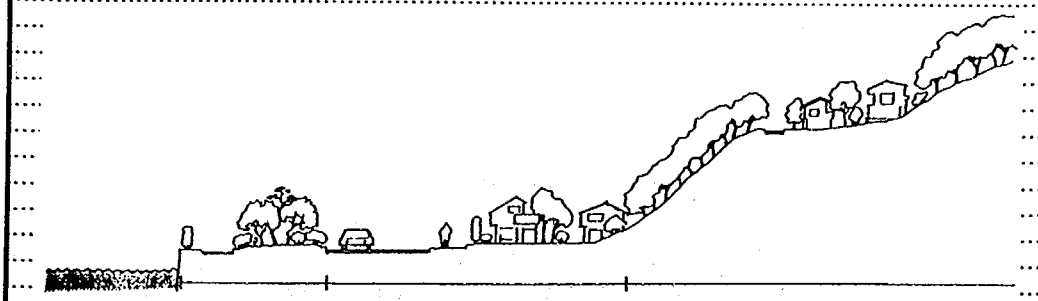
緑の存在状況



写真撮影地点



緑の存在状況の断面模式



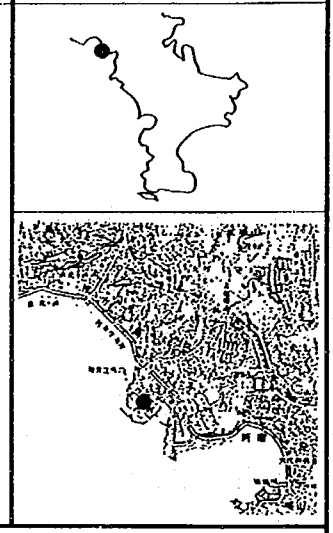
海岸からの見え方	植物の生育状況
駅前の広場に隣接しており、その広場との間には高木の植栽帯が設けられて遮蔽されており、公園内からは内陸部の斜面林と連続しているように見える。	岸壁上のシャリンバイやその内陸側のヤマモモ等の常緑樹は非常に良好に生育している。

番号	調査地点	土地条件		
		内陸地形	海岸地形	土地利用
5	逗子マリーナ	丘陵地	埋立地海岸	市街地及び集落

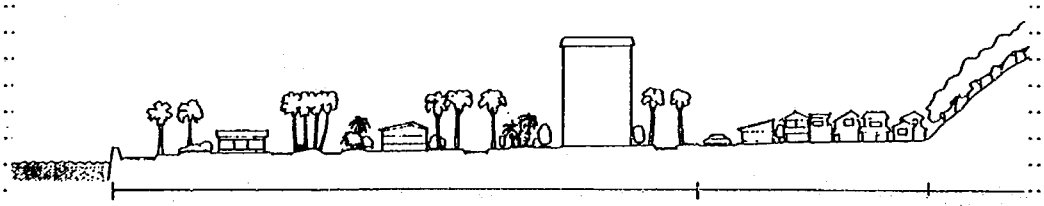
緑の存在状況



写真撮影地点



緑の存在状況の断面模式



マリーナ内のワシントンヤシを主体としたヤシ類がふんだんに使われており、または常緑樹も建物の遮蔽等に使われている。

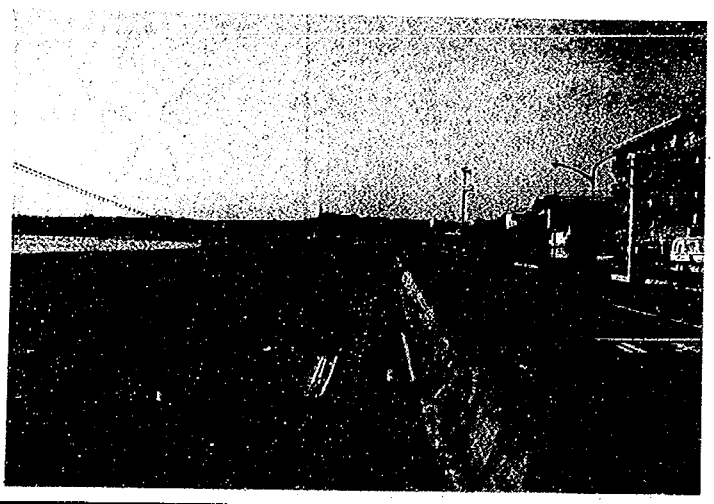
マリーナに接する集落内は、庭の緑を除いては緑がそれほど多くない。

丘陵地の斜面は樹林が残されている。

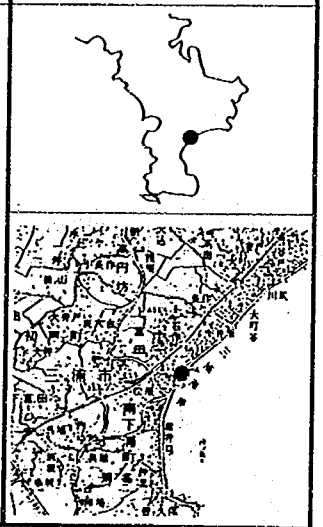
海岸からの見え方	植物の生育状況
ヤシ類が多く植栽されており、どこの場所からもヤシを主とした景色が見られる。	全域でヤシ類の葉先の枯れ込みが目立ち、海からの風が直接当る場所でのヤシ類の生育は不良となっている。

番号	調査地点	土地条件		
		内陸地形	海岸地形	土地利用
6	三浦海岸	低地	砂浜海岸	市街地及び集落

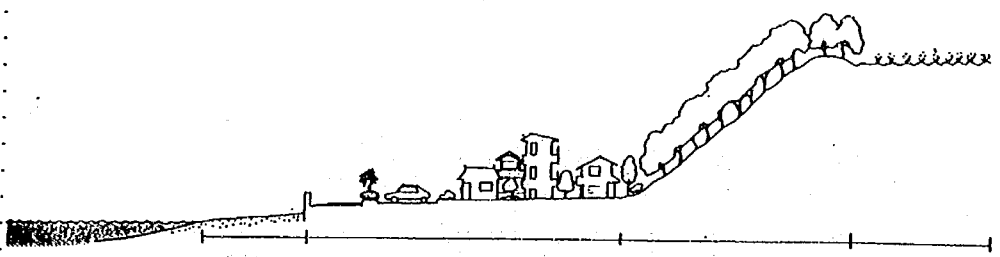
緑の存在状況



写真撮影地点



緑の存在状況の断面模式



砂丘にはほとんど植生がみられない。

低地部は商業地や住宅地として利用され、緑は少ない。

台地の斜面は樹林が残されている。

台地上は主に畑地として残されている。

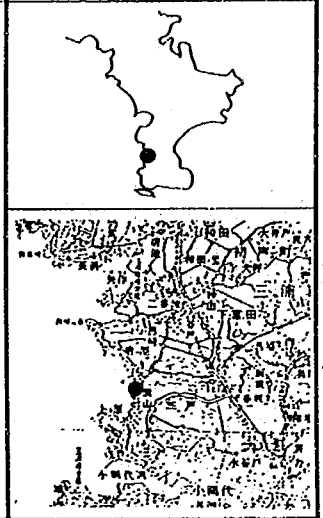
海岸からの見え方	植物の生育状況
海岸の緑は極端に少ないが、内陸の丘陵地の斜面林が建物のわきから所々見られる。	海岸際のドラセナや常緑の低木の生育はおおむね良好である。

番号	調査地点	土地条件		
		内陸地形	海岸地形	土地利用
7	三戸海岸	低地	砂浜海岸	市街地及び集落と自然地の混在

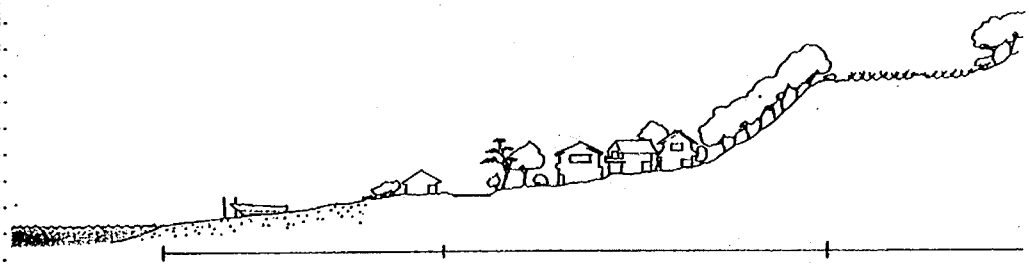
緑の存在状況



写真撮影地点



緑の存在状況の断面模式



砂浜は部分的に草本植生や低木植生が見られる。

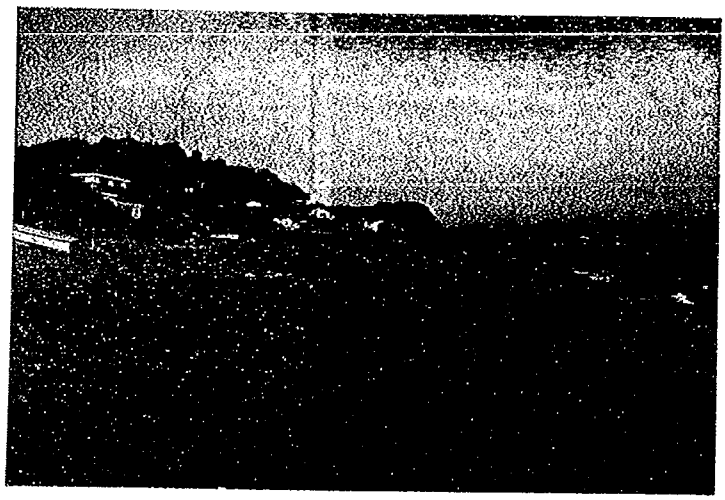
砂浜から緩やかに続く低地や台地の斜面には民家と樹林が混在している。

台地上は主に畑地としても利用されている。

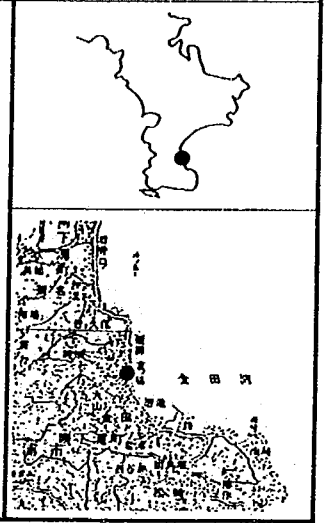
海岸からの見え方	植物の生育状況
砂浜から低地や台地斜面にかけて、自然の緑や半自然の緑が比較的多く残されており、海からそれらの緑を良く望むことができる。	自然の緑や半自然の緑は良好に生育している。

番号	調査地点	土地条件		
		内陸地形	海岸地形	土地利用
8	金田海岸	台地	砂浜海岸	市街地及び集落と自然地の混在

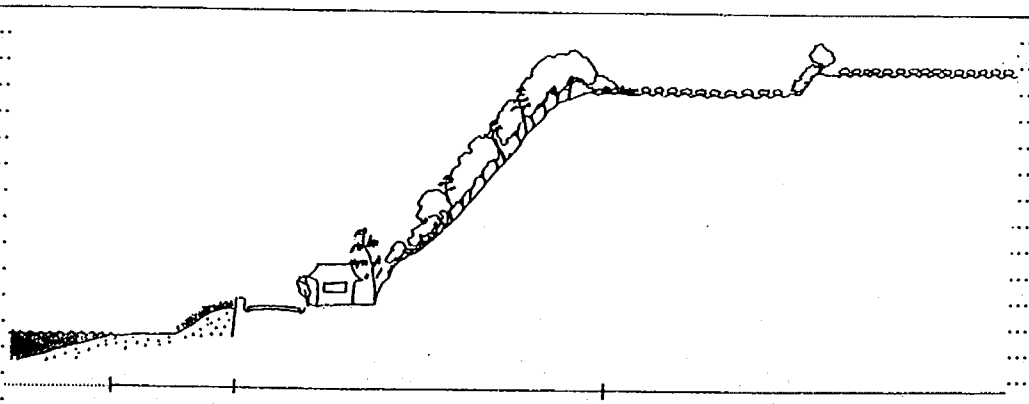
緑の存在状況



写真撮影地点



緑の存在状況の断面模式



砂浜は部分的に草本植生が見られる。

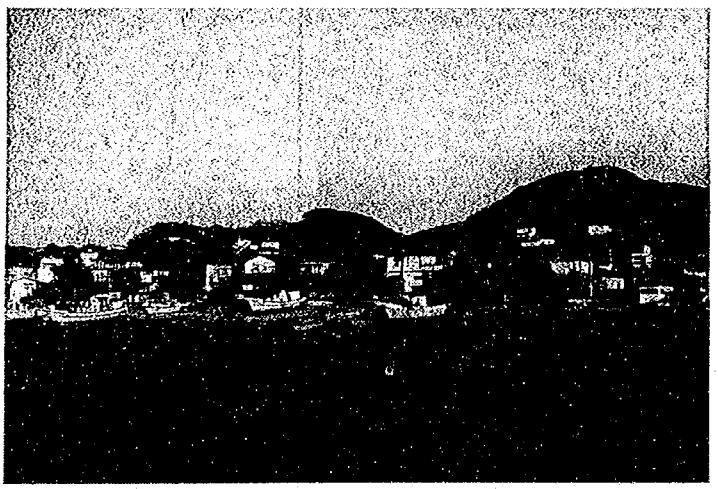
台地の斜面下部に民家があり、斜面上部は樹林となっている。

台地上は畑地として利用されている。

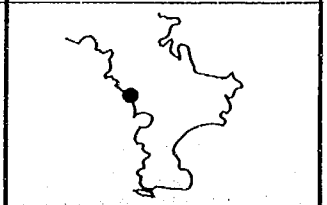
海岸からの見え方	植物の生育状況
砂浜と道路の間に二次草地があり、それから台地へと続く斜面にも自然の緑や半自然の緑が多く残されており、海からそれらの緑を良く望むことができる。	自然の緑や半自然の緑は良好に生育している。

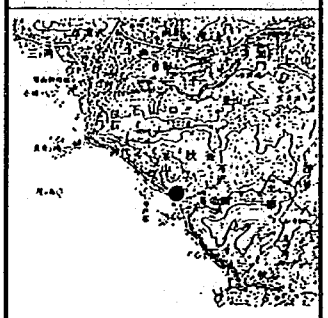
番号	調査地点	土地条件		
		内陸地形	海岸地形	土地利用
9	久留和海岸	丘陵地	砂浜海岸	市街地及び集落と自然地の混在

緑の存在状況

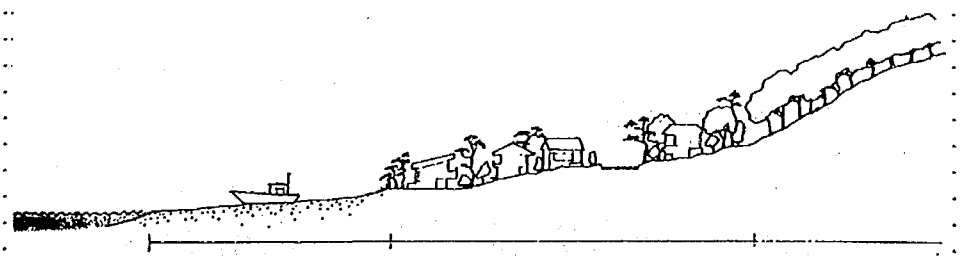


写真撮影地点





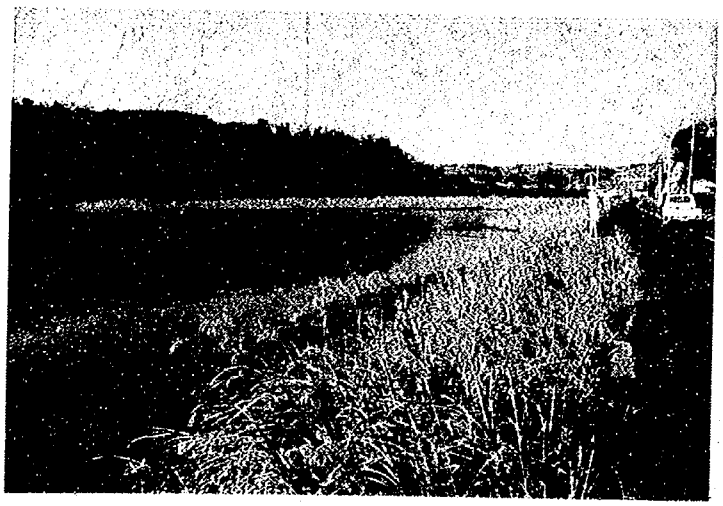
緑の存在状況の断面模式



海岸からの見え方	植物の生育状況
斜面上部の常緑樹林を背景として、緑の多い民家が海岸沿いにあり、自然豊かな景色となっている。	クロマツやマサキなど民家の緑は非常に良好に生育し、自然の緑や半自然の緑も良好に生育している。

番号	調査地点	土地条件		
		内陸地形	海岸地形	土地利用
10	江奈湾	台地	塩性地海岸	市街地及び集落と自然地の混在

緑の存在状況

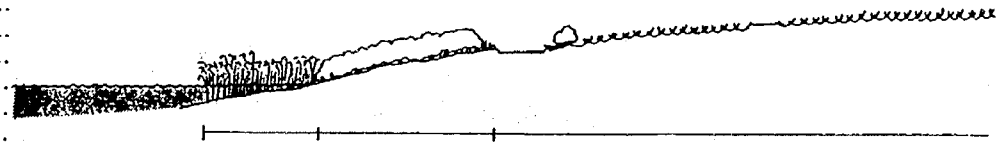


写真撮影地点





緑の存在状況の断面模式



内湾の奥で波が静かで潮の干満の影響を受ける場所にヨシが生育している。

ヨシに続く斜面は低木林となっている。

台地の斜面や台地上は主に畑地として利用されている。

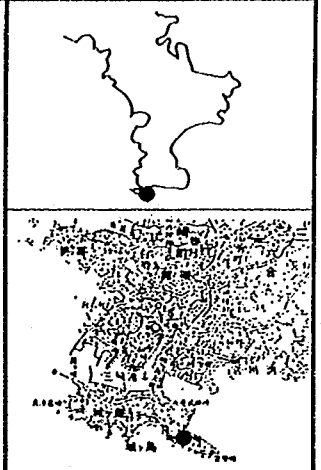
海岸からの見え方	植物の生育状況
海岸に続く斜面林の足もとにヨシが生え、変化のある景色となっている。	湾内で波や風がおだやかで、自然の緑や半自然の緑は良好に生育している。

番号	調査地点	土地条件		
		内陸地形	海岸地形	土地利用
11	城ケ島公園	台地	岩石海岸	自然地

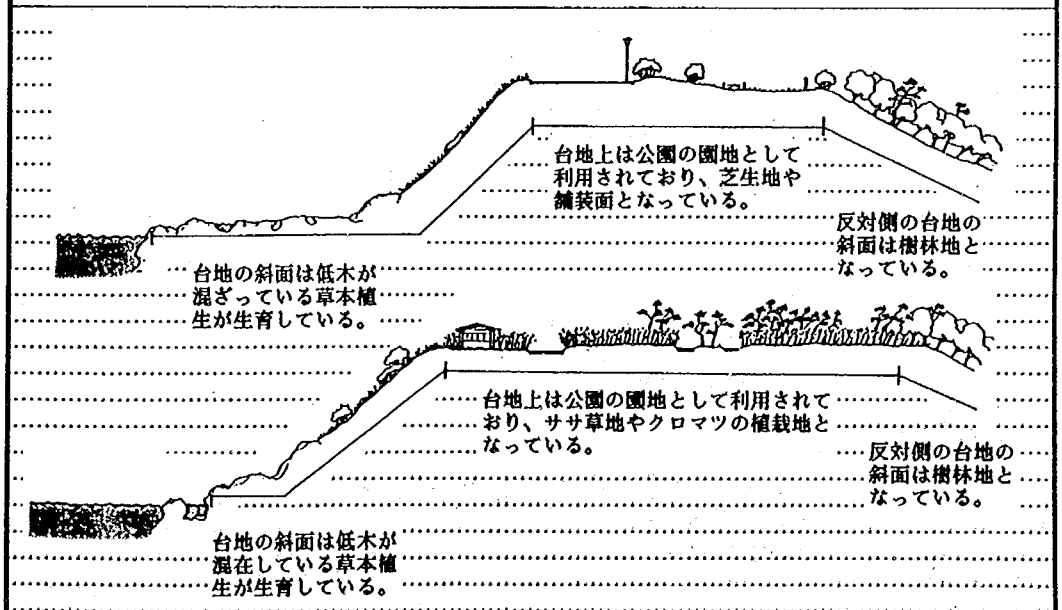
緑の存在状況



写真撮影地点



緑の存在状況の断面模式



海岸からの見え方	植物の生育状況
台地の斜面が潮風の強い影響を受けている二次草原となっている様子が見られる。	自然の緑や半自然の緑は良好に生育している。

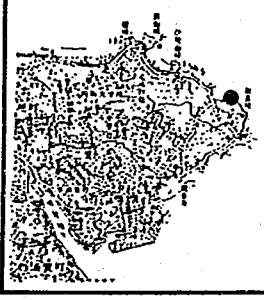
番号	調査地点	土地条件		
		内陸地形	海岸地形	土地利用
12	観音崎	台地	岩石海岸	自然地

緑の存在状況

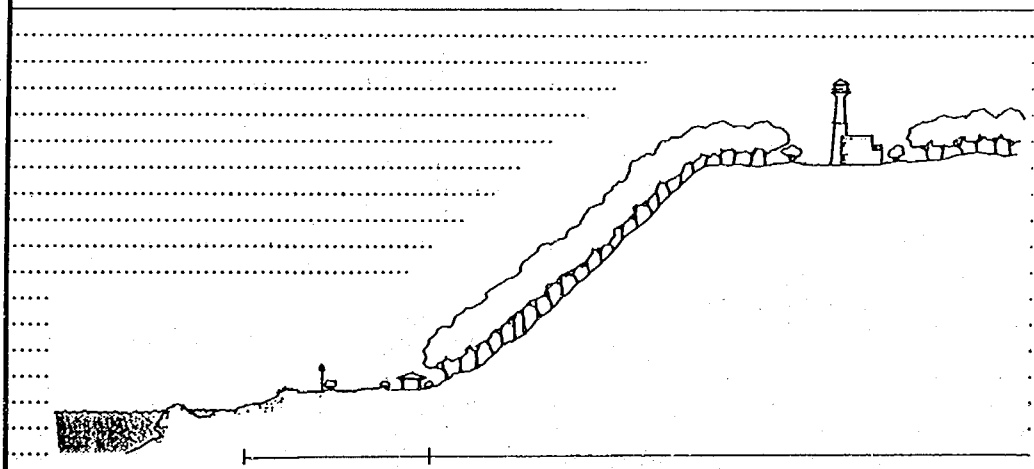


写真撮影地点





緑の存在状況の断面模式



海岸からの見え方	植物の生育状況
海岸際から台地斜面及び台地上にかけて自然の緑がこんもりと繁っているのが見られる。	自然の緑は良好に生育している。

(3) 海岸の緑の種類とイメージ形成に果たしている役割

三浦半島の海岸の様々な緑について、その環境条件・管理条件・イメージ形成等に果たす役割を以下に示すシートに整理した。ここでは、表Ⅶ－2に示すように様々な緑を人為の加わり方の程度により、自然・半自然の緑と人工の緑に大きく分け、人工の緑はさらに緑化対象地別に整理した。海岸の緑の調査を行った地点の位置は図Ⅶ－3に示すとおりである。

表Ⅶ－2　緑の種類と海岸の緑の調査地点

緑の種類		調査地点番号
自然・半自然の緑		1、2、3、4
人工の緑	公園の緑	5、6、7、8、9
	街路の緑	10
	リゾート施設の緑	11、12、13、14、15
	屋敷の生垣や庭の緑	16、17、18、19

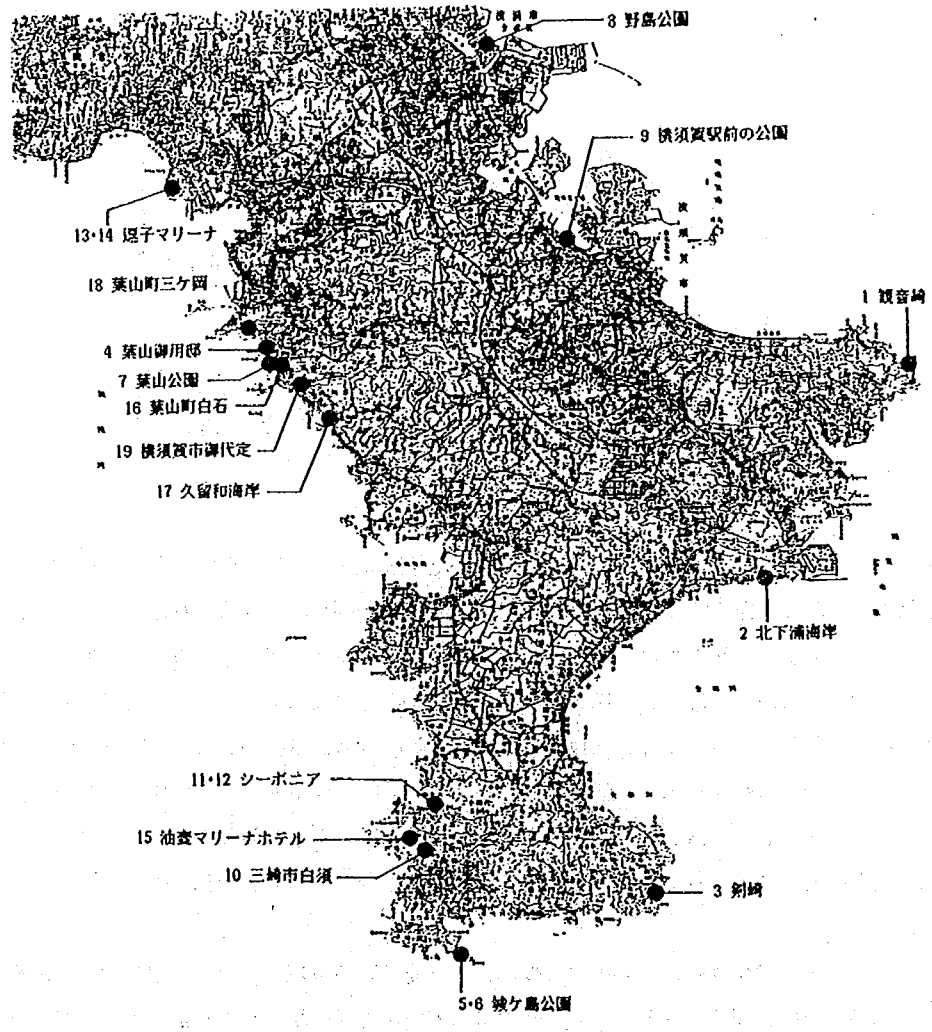
自然の緑・半自然の緑・人工の緑については、自然の緑は自然の力が強く作用する場所に成立している緑、人工の緑は人の力が強く作用する場所に成立している緑、半自然の緑は自然の力と人の力が拮抗する場所に成立している緑である。自然と半自然または半自然と人工の区分は厳密には決めがたいが、半自然の緑は二次林や二次草地とほぼ同義に使われ、伐採や刈取りなど人の力が概ね1年ないしは数年から数十年に一度加わることで成立しており、自然の緑と外観では判断がつかない場合も多い。人工の緑は、自然・半自然の緑に対して人の力の加わる頻度が高く、通常は植栽され、様々な管理や人の活動に伴う種々の影響（例えば踏圧など）のもとに成立している。人工の緑の中でも、その目的に応じて管理の密度は異なる。一般的には、公園や街路などの公的な緑よりもリゾート施設や屋敷の生垣や庭の緑などの私的な緑の方が管理密度は高いといえる。

これらの緑がイメージ発揮に果たしている役割は、三浦半島の事例を検討した限りでは、①その場所の環境を象徴するあるいは強調する役割と、②人々が求めている生活の場や様々な活動の場の雰囲気を高める役割の2つに大きく分けられる。

①では、調査地点の1、3、4、5、16、17、18などのように、臨海部らしさ・砂浜らしさ・暖かさなどの海らしい環境の雰囲気がイメージされている。このイメージを表す緑は、海岸際から内陸へと配列している自然・半自然の緑や風衝形となっている植栽木や海岸特有の植物の植栽などであり、これらはいずれも、潮風等の海の影響が何らかの形で植栽木や植生に表れたものである。

②では、調査地点の4、5、11、12、13、14、15、16、19などのように、心やすまる空間・心地良さ、安心感・親近感・トロピカルな雰囲気・南国の雰囲気・別天地の雰囲気など、人々が気持ち良く生活や活動が

できる場の雰囲気がイメージされている。このイメージを表す緑は、目的に合わせてその場の状況や雰囲気を出すように人工的に作られた緑であることが多い。これらは、人が生活する上での安心感や気持ち良さを与えたり、活動の雰囲気を盛り上げる役目を果たしていると思われる。



図Ⅶ－5　三浦半島の海岸地域の緑の調査地点位置

番号	調査地点	緑の種類		
		自然・半自然の緑	人工の緑	緑化対象地
1	観音崎	○		自然地

海岸地域の緑



緑の役割

海岸にたくましく育っているシイやエノキなどの高木類から林縁・磯浜に続く一連の自然の植生が、臨海部の厳しさと三浦半島の暖かさを同時に表現している。また、建物と道路と人工的な芝生の緑が、いかにもそこへ行ってみたいような親しみを感じさせる。地形になじませた適度な人工への改変が自然の美しさをかえって際立たせている。

環境条件	東京湾の出口付近で、湾内側であるためそれほど潮風圧は強くない。	管理条件	芝刈り・道路周辺の雑草の刈取り

番号	調査地点	緑の種類		
		自然・半自然の緑	人工の緑	緑化対象地
2	北下浦海岸	○		自然地

海岸地域の緑



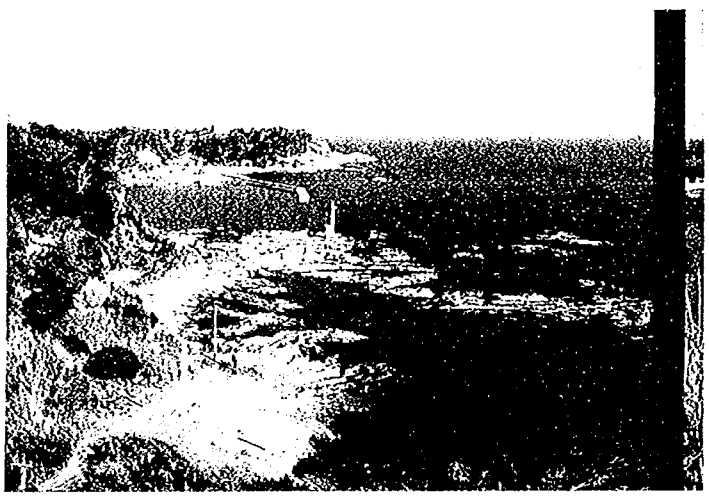
緑の役割

遠い山並みの緑と近景の海岸の植生が一体的につながり、入り込んだ水面がおだやかに感じられる。自然の海岸にはめ込まれた道路や建物はデザイン、ボリューム素材の面でも一考を要するが、汀線から松林へとつづく砂浜植生の特徴を残し冬枯れの三浦半島の情景がよく表現されている。

環境条件	僅かに風衝形が見られるため潮風圧はやや強い。	管理条件	草刈り

番号	調査地点	緑の種類		
		自然・半自然の緑	人工の緑	緑化対象地
3	剣崎	○		自然地

海岸地域の緑



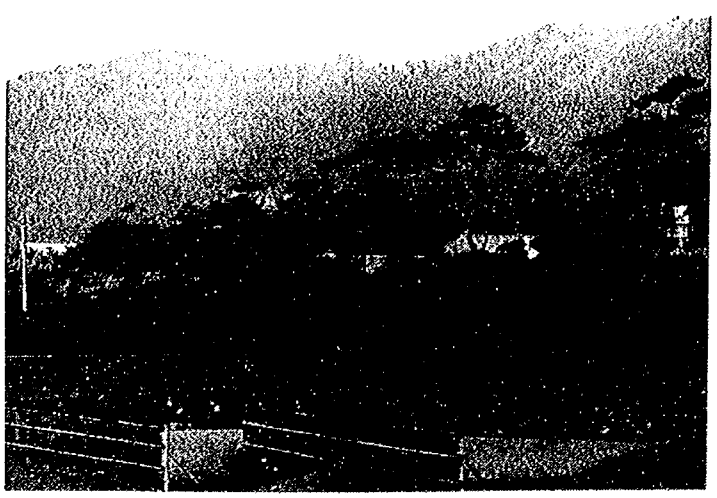
緑の役割

外海に突き出した半島と近景の緑の台地に囲まれた海浜がおだやかな雰囲気をかもしている。表土の少い岩場の緑が自然の草地を作り厳しい臨海地の気象が樹木生長を抑制して庭園の樹木のようにコンパクトにまとめ、他で真似の出来ない自然の名園の雰囲気を演出している。

環境条件	太平洋に突き出た場所で、波や潮風の影響はかなり強い。	管理条件	特になし

番号	調査地点	緑の種類		
		自然・半自然の緑	人工の緑	緑化対象地
4	葉山御用邸	○	○	自然地・屋敷の庭

海岸地域の緑



緑の役割

厳しい海からの潮風や強風それに伴う飛砂を守るため施設が玉石や竹などの自然の素材を用いて海岸の特徴ある風景を表わしている。背景の松林と低木群は海浜植生を代表する樹種で構成されており、背景の山並みとの間にスッポリとはまり込んだ家屋は心やすまる環境を想像させる。

環境条件	樹冠が放物線状となり、風衝形も見られることから潮風の影響がかなり強い。	管理条件	林内の下刈り（部分的）

番号	調査地点	緑の種類		
		自然・半自然の緑	人工の緑	緑化対象地
5	城ヶ島公園		○	公園

海岸地域の緑



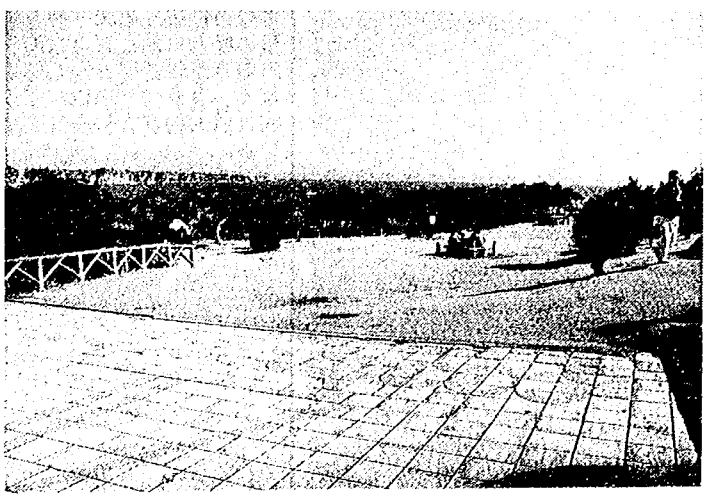
緑の役割

クロマツの人工林が海からの強風を防ぎ、強い日射しをさえぎり、公園に欠かせない安息の空間をつくっている。林縁のマサキとハマユウの組合わせが暖地の海岸を想わせ、玉刈込みと短く刈込まれた芝生が整然とした公園の印象を与えている。

環境条件	海崖の台地にあり、海からの強い潮風が吹き上がってくる。	管理条件	芝刈り・除草・林内の下刈りなど

番号	調査地点	緑の種類		
		自然・半自然の緑	人工の緑	緑化対象地
6	城ヶ島公園		○	公園

海岸地域の緑



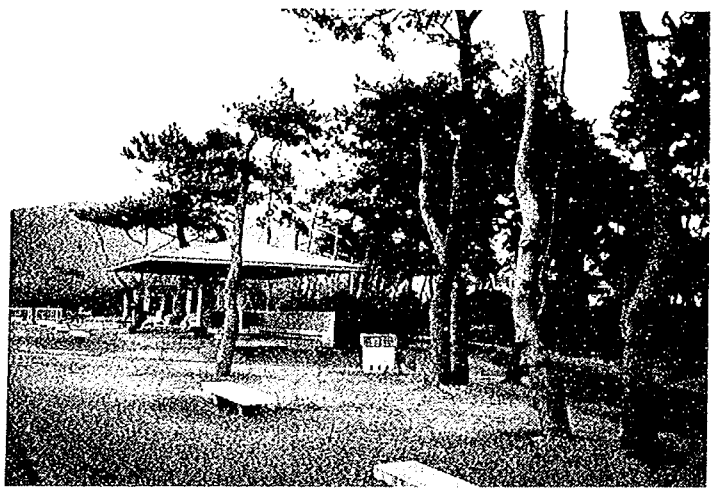
緑の役割

直線的な平板敷が人工的な感じを与えているが、遠景の山並み、中景の半島、近景の芝生と丈の低い縁の関係が一体感を表し、海崖上の雰囲気を高めている。

環境条件	海崖の台地にあり、海からの強い潮風が吹き上ってくる。	管理条件	芝刈り・林縁部の草刈り

番号	調査地点	緑の種類		
		自然・半自然の緑	人工の緑	緑化対象地
7	葉山公園		○	公園

海岸地域の緑



緑の役割

傾斜し曲がったクロマツの幹の重なり合いが面白く、スッキリとした芝生の林床と共に表土の少ない海岸の雰囲気を高めている。中景の松林と遠景の山並みとの連なりがスケールの大きな自然の景観を創り出している。

環境条件	樹木に風衡形が見られることから、潮風の影響がかなり強い。	管理条件	芝刈り・除草など

番号	調査地点	緑の種類		
		自然・半自然の緑	人工の緑	緑化対象地
8	野島公園		○	公園

海岸地域の緑



緑の役割

中景の丘陵地の緑の塊と近景の緑とに囲まれた水面と町並みが親近感と安心感を与え、クロマツの樹冠が景観に魅力的な表情を与えている。

環境条件	樹木に風衡形が見られないことから潮風の影響はそれほど強くない。	管理条件	芝刈り・除草・剪定・刈込など

番号	調査地点	緑の種類		
		自然・半自然の緑	人工の緑	緑化対象地
9	横須賀駅前の公園		○	公園

海岸地域の緑	緑の役割
	近景の植栽地と海際の生垣が良く手入れされて親しみやすく、正面の自然の樹林と類似した樹種構成が緑の一体感を感じさせる。

環境条件	内湾にあるため潮風の影響は弱く、波も静かである。	管理条件	芝刈り・除草・剪定・刈込など

番号	調査地点	緑の種類		
		自然・半自然の緑	人工の緑	緑化対象地
10	三崎市白須		○	街路の緑

海岸地域の緑	緑の役割
	列植されたワシントンヤシは潮風によるダメージを受けていないのでトロピカルな雰囲気を高める狙いが果たされている。それは同時に正面の常緑性の樹林があることによって強調されている。

環境条件	海岸よりやや内陸部にあるため潮風の影響は弱い。	管理条件	除草・枯葉の除去など

番号	調査地点	緑の種類		
		自然・半自然の緑	人工の緑	緑化対象地
11	シーボニア		○	リゾート施設の緑

海岸地域の緑



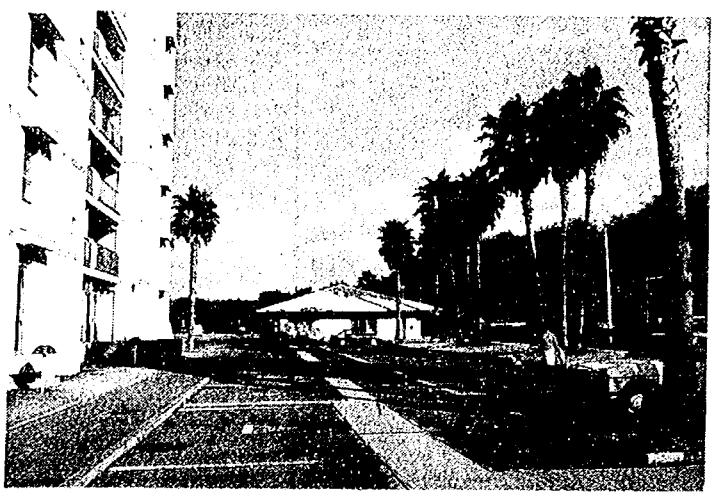
緑の役割

ワシントンヤシとカナリーヤシと明るい常緑のカイズカイブキの生垣の組合せが南国の雰囲気をあらわしているが、コウライシバの茶色が冬であることを示している。カイズカイブキと芝生はきれいに刈込まれており手入れのゆきとどいた様子がうかがえる。

環境条件	内湾でさらに建物の背後に位置しているため潮風の影響は弱い。	管理条件	芝刈り・除草・刈込など

番号	調査地点	緑の種類		
		自然・半自然の緑	人工の緑	緑化対象地
12	シーボニア		○	リゾート施設の緑

海岸地域の緑



緑の役割

丈の高いワシントンヤシの葉が後背の樹林の梢から抜け出して空を背景として際立ち、トロピカルなイメージを表している。

環境条件	内湾でさらに建物の背後に位置しているため潮風の影響は弱い。	管理条件	芝刈り・除草・刈込など

番号	調査地点	緑の種類		
		自然・半自然の緑	人工の緑	緑化対象地
13	逗子マリーナ		○	リゾート施設の緑

海岸地域の緑



緑の役割

テーマ性を持つ建物群で囲まれた空間に調和させたヤシとソテツが一体的に収まり、別天地の雰囲気をかもしだしている。

環境条件	西海岸に直接面しており潮風の影響は強い。	管理条件	芝刈り・除草・剪定・刈込など

番号	調査地点	緑の種類		
		自然・半自然の緑	人工の緑	緑化対象地
14	逗子マリーナ		○	リゾート施設の緑

海岸地域の緑



緑の役割

丈の低い常緑の低木と空に抜け出たヤシの組み合わせはトロピカルなイメージを表すのに格好であるが、ヤシの葉先が潮風・寒風に痛めつけられて褐変しているので、その効果は低下している。

環境条件	西海岸に直接面しており潮風の影響は強い。	管理条件	芝刈り・除草・剪定・刈込など

番号	調査地点	緑の種類		
		自然・半自然の緑	人工の緑	緑化対象地
15	油壺マリーナホテル		○	リゾート施設の緑

海岸地域の緑



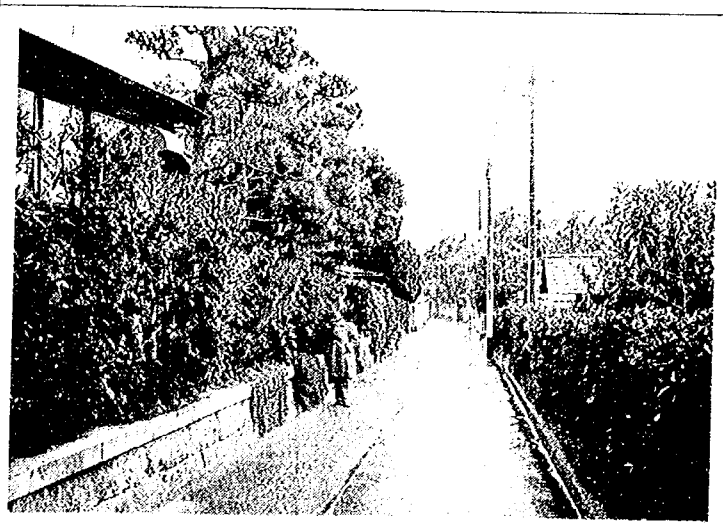
緑の役割

クロマツとカナリーヤシの組合わせは、単にハワイ的なイメージでなく、この土地で消化された独特の雰囲気を持つトロピカルイメージを形成している。マツとヤシの大きさ・緑量のバランスも適当である。後背の樹林の背景としても見逃せない。

環境条件	西海岸であるが内湾にあるため潮風は弱い。	管理条件	芝刈り・除草・剪定・刈込など

番号	調査地点	緑の種類		
		自然・半自然の緑	人工の緑	緑化対象地
16	葉山町白石		○	屋敷の生垣や庭の緑

海岸地域の緑



緑の役割

背景のクロマツの様子と、手入れのゆきとどいたクロマツと石垣より下垂した多肉植物の組合せが海岸近くの住宅地の庭らしさを良く表現している。

環境条件	海岸にクロマツが植栽され、狭い路地内なので潮風の影響は弱い。	管理条件	刈込み・剪定・除草など

番号	調査地点	緑の種類		
		自然・半自然の緑	人工の緑	緑化対象地
17	久留和海岸		○	屋敷の生垣や庭の緑

海岸地域の緑	緑の役割
	スダジイの樹冠をスカイラインに持つ後背の樹林と住宅を取り囲むクロマツの低木群が一体的につながり、臨海地の厳しさと気候の暖かさを同時に表現して、特徴のある海岸線の景観を形成している。

環境条件	西海岸に直接面しており潮風の影響は強い。	管理条件	刈込み・除草など

番号	調査地点	緑の種類		
		自然・半自然の	人工の緑	緑化対象地
18	葉山町三ケ岡		○	屋敷の生垣や庭の緑

海岸地域の緑	緑の役割
	海岸際に建てられた建物をしっかりと取り囲んだクロマツの単一樹林が海岸線に特徴的な風景を表し、良く手入れされた個々の樹木が住む人に心地良さを与えている。

環境条件	西海岸に直接面しており潮風の影響は強い。	管理条件	剪定・除草など

番号	調査地点	緑の種類		
		自然・半自然の緑	人工の緑	緑化対象地
19	横須賀市御代定		○	屋敷の生垣や庭の緑

海岸地域の緑	緑の役割
	斜面に広く散在するカナリーヤシの樹群が南国の保養地を想わせるが、冬枯れのススキの斜面との組合わせが単にハワイ的でない独特の風景としていて興味を抱かせる。

環境条件	西海岸に面した斜面にあり、吹き上ってくる潮風の影響はやや強い。	管理条件	草刈りなど

(4) 緑の存在状況に与える海岸の環境圧の現況

同種類の植物や植生が生育している海岸で潮風圧が異なると考えられる場所を選び、緑の存在状況の違いから潮風圧の違いを読み取り、三浦半島において緑に影響をあたえる潮風圧の現況について若干の検討を加えた。ここでは、①岩石海岸の自然・半自然植生、②砂浜海岸および埋立地海岸のクロマツ林、③ヤシ類の植栽地を対象とした。①から③の緑の存在状況の写真とその調査地点の位置および緑の存在状況の違いから読み取れる潮風圧の違いについては以下に示すシートに整理した。

三浦半島では、植物の生育に与える潮風等の海の影響は、東側の東京湾に面した海岸は弱く、西側の相模湾や南側の太平洋に面した海岸は強いようである。東京湾に面した海岸では、冬季に季節風が北から吹くが、それほど強い風ではないようである。また、春や夏に吹く南方向からの強い風に対しては南側が丘陵地に守られているため、潮風等の海の影響はそれほど受けないようである。したがって、海岸際でもクロマツがほとんど風衝形にならず、自然植生も常緑高木が水際近くまで生育している。

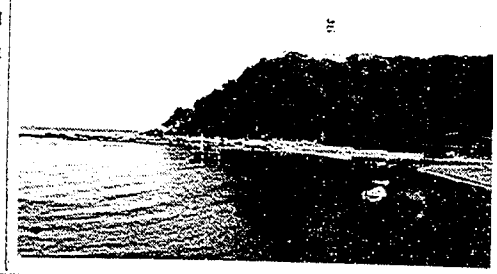
西側の相模湾や南側の太平洋に面した海岸では、冬季に強い季節風が南西方向から吹き、また春や夏も南からの強い風が当ることから、潮風等の海の影響をかなり強く受けるものと思われる。このため、海岸際ではクロマツが風衝形となり、自然植生も高木群落が後退し、潮風に強いとされているワシントンヤシも葉先の枯れが目立つなど決して生育が良好ではない。

しかし、西海岸や南海岸でも諸磯湾のように深く入り込んだ湾内では、自然植生も水際近くまで生育し、ワシントンヤシの生育も良好なことから、外洋に直接面した場所に較べて潮風等の海の影響がかなり弱められていると思われる。

① 岩石海岸の自然・半自然の植生

a　観音崎

三浦半島の南東部にある観音崎の東京湾側に位置している。ここは、内陸部から続いている常緑樹林が海岸際まで生育しており、海岸際に生育する草本植生は短い幅でしか見られず、波の影響や潮風の影響がそれほど強くない場所と思われる。



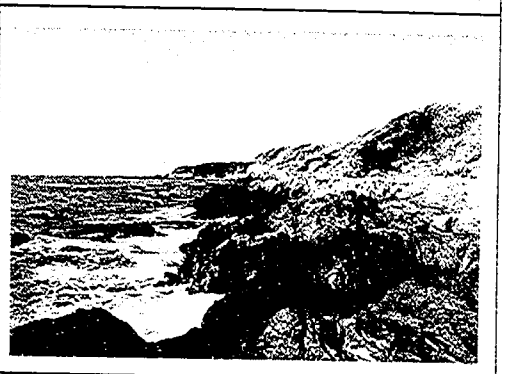
b　諸磯湾

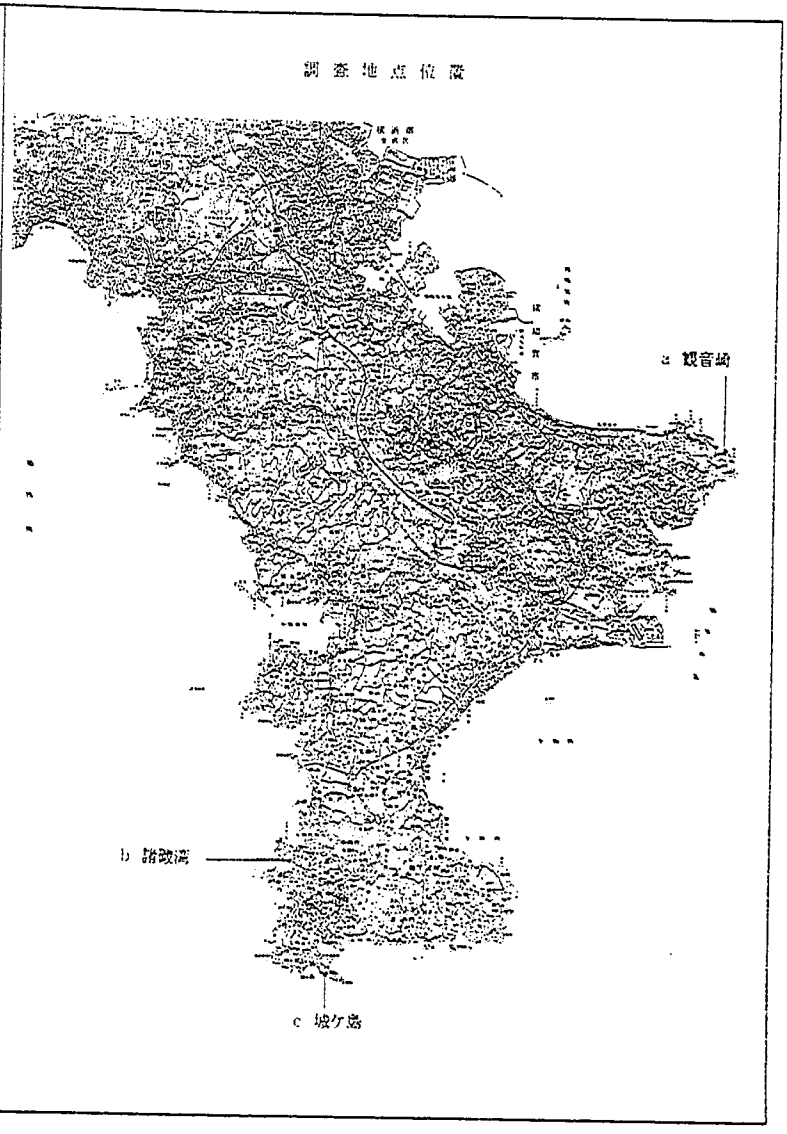
三浦半島の南部の西海岸に細く入り込んでいる諸磯湾の北側の斜面に位置している。ここは、観音崎と同様に、内陸部に生育する常緑樹林が波打ち際まで迫っており、波の影響や潮風の影響がそれほど強くない場所と思われる。



c　城ケ島

三浦半島の南端部の太平洋に直接面している場所である。ここは，かつては自然の海岸植生が生育していたことも考えられるが、現在海岸際の斜面は低木類が混在する二次草原であり高木群落は見られず、aやbの場所と較べて波の影響や潮風の影響が強い場所と思われる。

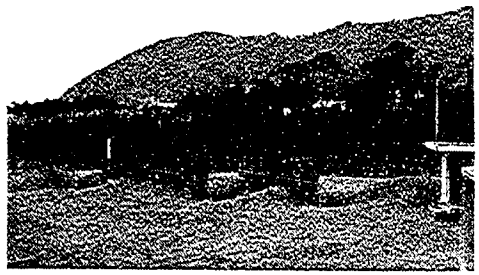




② 砂浜海岸及び埋立地海岸のクロマツ林

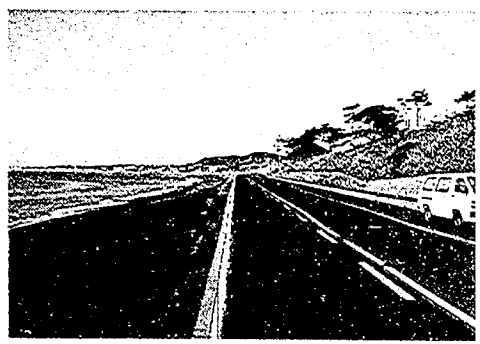
a　葉山御用邸

三浦半島北部の西海岸に位置している。ここは、高さの低いクロマツ林は海岸側から放物線状に林冠を形成しており、その林冠の上に出ている高さの高いクロマツにはそれほど極端ではないが風衝形が見られることから、風の影響が強い場所と思われる。



b　北下浦海岸

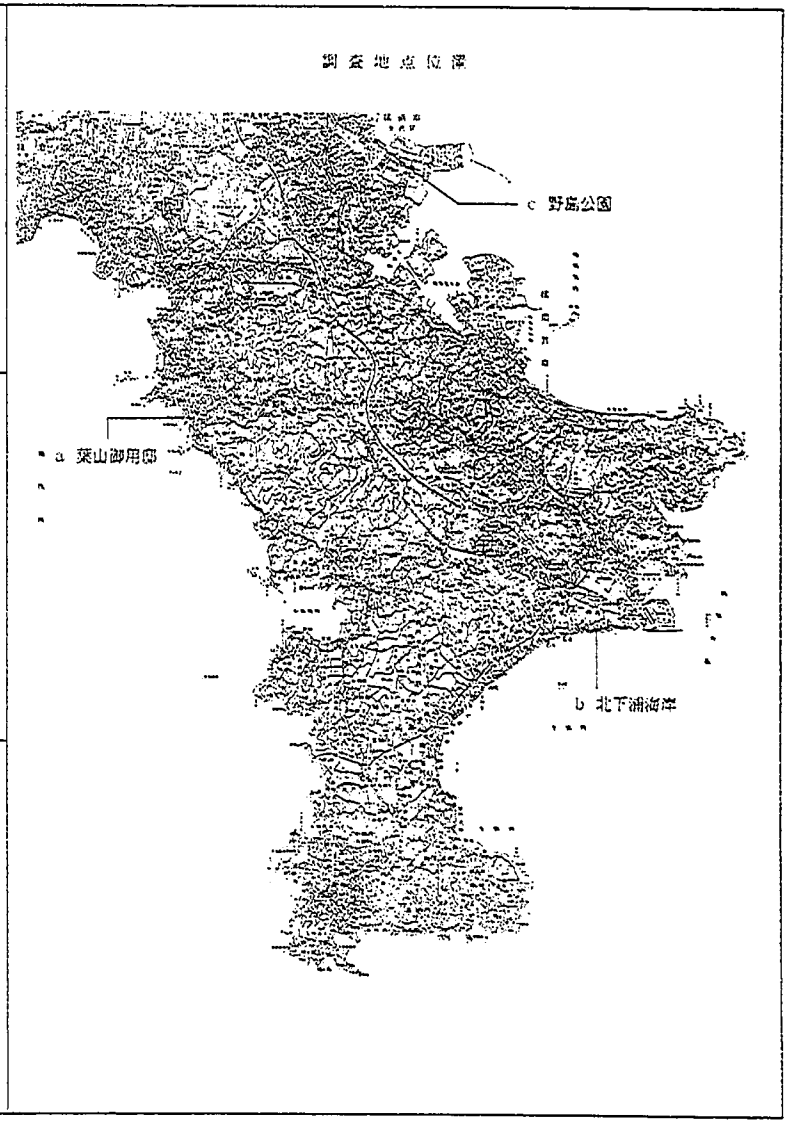
三浦半島南部の三浦海岸の東に位置する太平洋に面した場所である。ここでは、海岸の砂浜と道路に続く斜面に部分的にクロマツの散生林が生育しており、そのクロマツにそれほど極端ではないが風衝形が見られることから、潮風の影響はかなり強い場所と思われる。



c　野島公園

三浦半島北部の東海岸の東京湾内のさらに小さな湾内に位置している。ここは、植栽されたクロマツに風衝形は見られず、むしろ高さの高いクロマツは海側に傾いていることからａやｂに較べて潮風の影響が弱い場所と思われる。

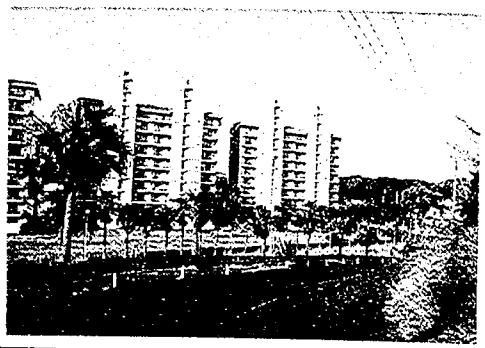




◎ ヤシ類の植栽地

a　シーボニア

三浦半島の南部の西海岸に細く入り込んでいる小網代湾の南側に位置している。ここは、ワシントンヤシ・カナリーヤシ・ビロウが植栽されており、いずれも生育が良く葉先もそれほど枯れていないため、潮風の影響がそれほど強くない場所と思われる。



b　横須賀市御代定

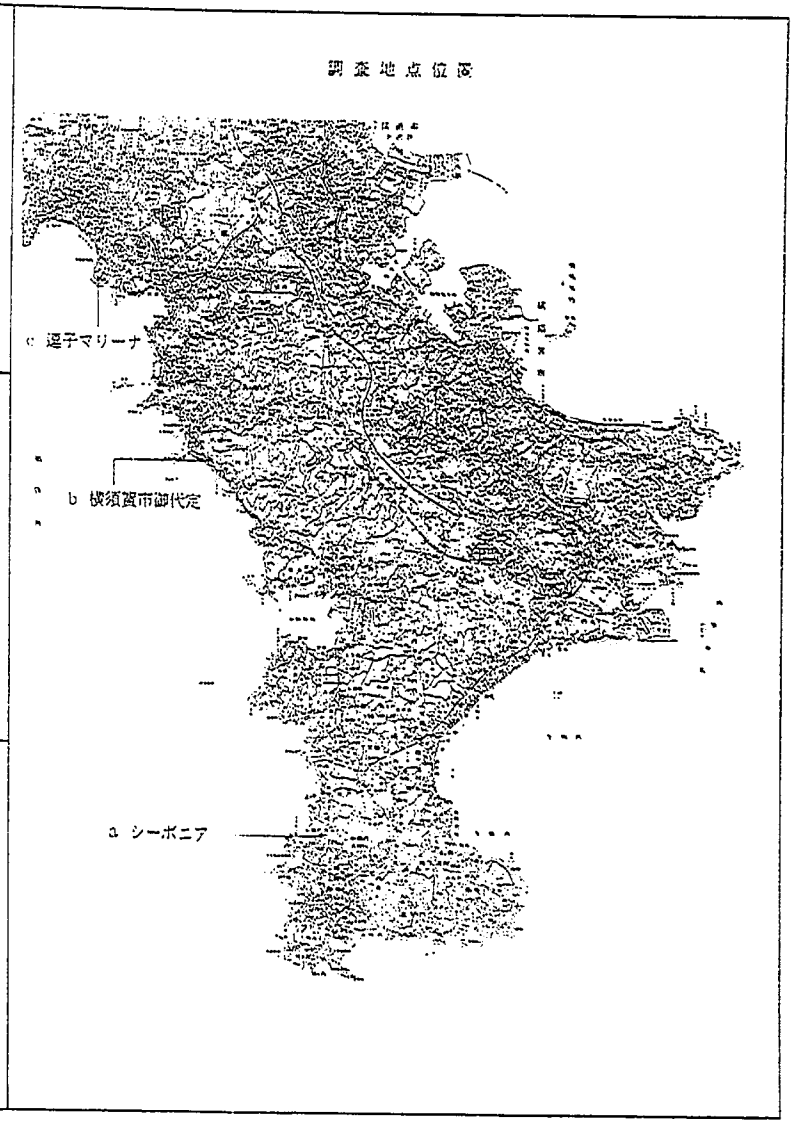
三浦半島中部の西海岸に面する斜面の中程に位置している。ここはカナリーヤシが植栽されており、生育は良好だが葉先の枯れが少し目立つ。ここは、海岸から少し離れた斜面上にあり、海岸からの風が吹き上がってくる場所で、潮風の影響がやや強い場所であると思われる。



c　逗子マリーナ

三浦半島北部の西海岸に面して位置している。ここは、主としてワシントンヤシ・カナリーヤシ・ビロウが植栽されており、全般的に葉先の枯れが目立ち、場所によっては生育状態が不良な個体が見られるため、aやbに較べて潮風の影響が強い場所と思われる。





Ⅶ. 2　リゾート地における緑化計画上の問題・課題の整理

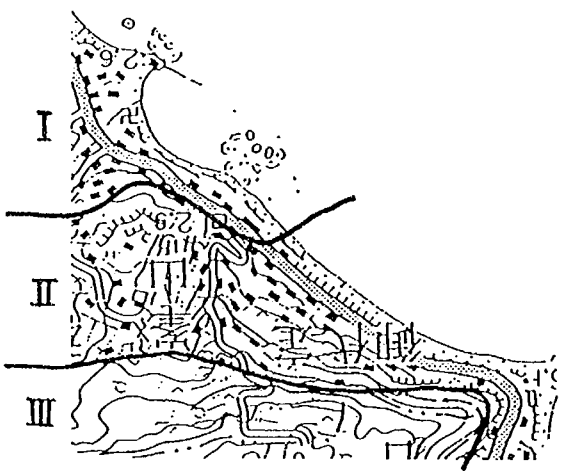
(1) 対象地の検討

久留和海岸、シーボニア、逗子マリーナ、三浦海岸の４ヶ所を対象地として、植物景観について、土地条件・観光地やリゾート地としての利用状況・植物景観などの現況をもとに、周辺地域との調和・植物資源の活用・身近な緑や異郷の緑の創造などの観点より評価した。

ａ）久留和海岸

久留和海岸周辺の現況は次頁のシート１に示す通りであり、葉山の海岸に隣接しているわりには地形が急傾斜で開発が進んでおらず、山側に自然の緑が比較的多く残されている。また、良好な民家の緑や花畑などの生産の緑も見られるが、畑が放棄されて草地になっている所も見られる。

この地域は、図Ⅶ－4に示すように、海岸際が漁港を中心とした密集した集落(Ⅰ)で、海に面した斜面の中程は、自然の緑や農耕地の間に民家が散財し(Ⅱ)、その背後は常緑樹林となっている(Ⅲ)。自然の緑の絶対量が比較的多く、山側に多く残されている自然・半自然の緑が背景として存在し、民家の緑もクロマツやマサキなどの海岸性の樹種が用いられているため自然と調和した海岸の雰囲気が強く感じられる。また、海岸を見下ろす斜面の中程では手入れの行き届いた庭の緑が多く、ヤシ類の植栽や花畑が点々と見られ、この地域特有の植物の四季の変化と人々の生活の様子などから気候温暖な海岸の保養地の雰囲気が感じられる。



図Ⅶ－４　久留和海岸周辺地域の自然・半自然の緑の量からみたゾーン

ｂ）　シーボニア

シーボニアは小網代湾の南に埋め立てにより作られた施設であり、その現況はシート２に示した通り、陸側は台地に続く急斜面となり、常緑樹や落葉樹で覆われ、内陸部の地域からは遮断された状態となっている。湾内に立地するため潮風圧は比較的弱く、ヤシ類の生育は比較的良い。

この地域は、シート２の空中写真や緑の存在状況に示すように、台地斜面やそこに残る樹林で陸側とは遮断され、海側はヨットハーバとなって開けている。敷地内はワシントンヤシなどのヤシ類を中心に植栽

が行われている。植栽量はシート2の写真でわかるようにそれほど多くないが、陸側の視界の遮断と効果的なヤシの配植により、トロピカルな雰囲気がうまく演出されている。ただし、湾内の他の場所から見た場合に周囲の景観に対する違和感が感じられ、これに対しては敷地と周辺との接点部分の植栽に配慮が必要であると思われる。

c） 逗子マリーナ

逗子マリーナは相模湾に突き出た形状をなし三方を海で囲まれている。その現況はシート3に示す通り、北東側は丘陵地が続き、丘陵部の麓には集落が発達している。ここは強い西風が吹くため潮風圧が強く、ヤシ類は葉先の枯れ込みが目立ち、海岸際の部分では生育不良の個体も見られる。

この地域は、シート3の空中写真や緑の存在状況に示すように、丘陵地斜面には比較的自然や半自然の緑が残されているが、谷沿いに集落が発達しているので、それらがマリーナ内から良く見え、ヤシによるトロピカルな雰囲気とそぐわないものとなっている。これに対しては、集落が見えないように集落との接点部に緑地を設けて視野を遮断する、集落内にヤシを積極的に植栽しマリーナ内のイメージに近づける、あるいは両方を組み合わせる方法により、ヤシによるトロピカルな演出効果を増すことができると考えられる。また、植栽されているワシントンヤシを主としたヤシ類の生育は、場所により違いが見られるものの、全般に葉先の枯れが目立ち、トロピカルな雰囲気に対してマイナス要因となっている。これに対しては、建物の背後など潮風の弱い部分に効果的にヤシを配置して健全な状況を見せるほうがトロピカルな雰囲気を演出する上では効果的であると考えられる。

d） 三浦海岸

三浦海岸は太平洋に面して大きな弧を描く比較的規模の大きな砂浜海岸であり、その現況はシート4に示す通りである。海岸近くの低地部は狭く、後背部は海岸の北東側では丘陵地、南西側では台地となっている。低地部は、民家が密集している場所が多く、後背部の丘陵地や台地の斜面部は自然や半自然の緑が残されており、台地の上は主に畑地として利用されている。

この地域は、シート4の空中写真や緑の存在状況に示すように、海岸から、砂浜海岸・防波堤・道路・民家・台地や丘陵地の斜面林といった配列となっている。海岸の砂浜には一部で草本植生が見られるが、海水浴場として利用頻度の高い場所ではほとんど無植生となっており、防波堤を挟んで道路や民家の海側の部分にも植栽植物がほとんど見られず、どちらかというと都会的な賑やかさは得られるが、やや無機的な感じが与えられる。一方、後背部の自然や半自然の緑が中景や遠景として海岸のあちこちから望めるため、風がそれほど強くない晴天日などには、安らぎを感じさせる落ち着いた雰囲気が得られる。さらに安らぎや落ち着きを感じさせる場所や期間を効果的に拡大するためには、現存する後背部の自然や半自然の緑と連続させて海岸際の道路や民家の区域にボリュウムのある緑を配置し、砂浜にも部分的に草本類や低木の緑を置くことがよいと思われる。

(2) 緑化計画上の問題・課題の整理

リゾート地の緑の役割は様々考えられるが、ここでは、リゾート地のイメージ形成に果たす緑の役割を意図した緑化計画を行う上で問題や課題となる点について整理した。

イメージ形成に果たす緑の役割は、三浦半島の事例では、環境に調和させた緑を置くことによりその場の

海らしい雰囲気をイメージさせる役割（同調型の役割）と、目的に合わせた緑を人工的に創造することによりリゾート地での生活や活動の場の雰囲気を高める役割（演出型の役割）の2つに分けられる。前述の「(1)対象地の検討」で取り上げた4ヶ所では、対象地全体の緑によるイメージ形成の役割としては、久留和海岸周辺と三浦海岸周辺では同調型の役割の方がより強く意識され、シーボニアと逗子マリーナでは演出型の役割の方がより強く意識される。また、後者の演出型の対象地は計画的に緑化が行われているのに対して、前者の同調型の対象地は計画的に緑化が行われたのではなく、環境にあわせて植栽なり管理なりを長い間行ってきた結果として海らしいその場の雰囲気を持つようになってきたと考えられる。

同調型の役割を意図した緑化計画では、目指すイメージが、潮風などの海からの環境圧に適応した植栽木や植生の姿となる。その意味で潮風などの環境圧の状況を十分に把握し、それにあった緑の種類の選定や配置を行うことが重要となる。このため、緑化計画を行う上では、長い時間と多くの経験により創り上げられた現実にある海岸地域の緑をモデルとして、それらの緑の種類や配置と環境圧に対する耐性について整理しておくことは有効である。また、緑による海らしさのイメージは、樹木の風衝形のように、そこの環境に長い間適応して生育することにより現れるものであり、その意味では環境圧に耐えて生育している既存の緑の活用は重要となる。

演出型の役割を意図した緑化計画では、緑化計画において目指すイメージが計画する場の自然と異質な場合が多い。このため、目指すイメージにあった緑化を行うために、場合によっては大規模な環境の改造を行うことも含めて、潮風などの環境圧の状況を把握しておくことは重要である。さらに、目指すイメージを効果的に演出するためには、視覚的に影響を及ぼし合う他の空間との繋ぎ方を考慮することが重要となると考えられる。

例えば、図Ⅶ－5のように、整備しようとする空間の外部に魅力が見い出せず、目標とする内部空間のイメージと外部空間の現況イメージが極端に掛け離れていて、外部空間を見せることにより内部空間のイメージが壊されてしまうような場合には、内部と外部を遮断して内部空間だけでリゾート地のイメージを完結させる方法を取ることが有効であると考えられる。

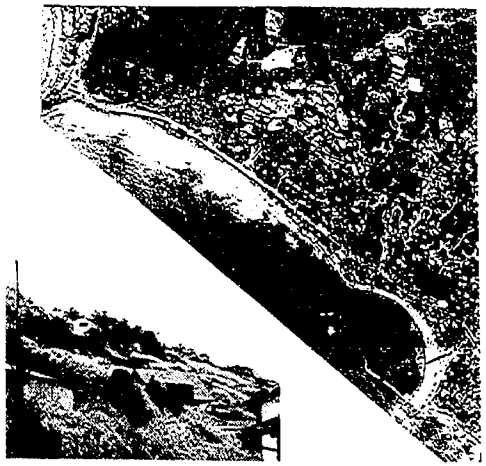
これに対して、図Ⅶ－6のように、外部空間に魅力があり、整備しようとする空間のイメージとは多少異なるが、利用が内部空間だけに留まらず、外部空間にも利用が拡大される場合には、そのつながりを重視し、外部空間の要素を内部空間に取り入れたり、内部空間の要素を外部空間に広げるなど内外の空間を協調させながらリゾート地のイメージを創り上げていく方法を取ることが有効であると考えられる。

なお、上記の点に共通していえることは、潮風などの海からの環境圧を的確に把握しそれに対処することであり、これが海岸地域におけるリゾート地の植栽を行う上で基本となることである。しかし、現実には環境圧を十分に把握せずに植栽し、その結果マイナスイメージを与えている事例が少なくないのが実情である。

① 久留和海岸周辺

土地条件　丘陵地　砂浜海岸　市街地及び集落と自然地の混合地

現況写真

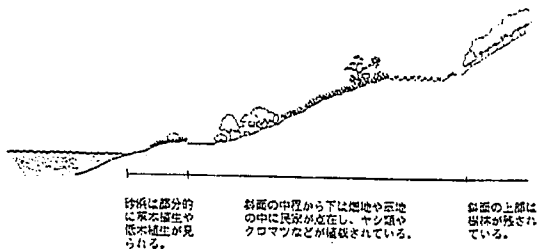


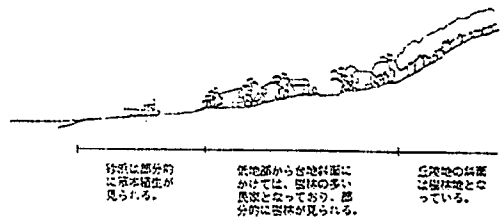


利用状況

利用密度はそれほど高くなく、夏の海水浴を中心として船釣りの基地として若干の利用がなされている。また、別荘地もわずかであるが見られる。

緑の存在状況



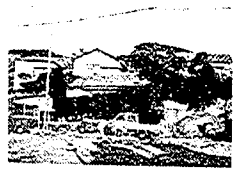


植物景観の現況

自然の海岸線から内陸に向って集落・耕作地・丘陵地の樹林へと続く構成が自然の土地の形状に調和して特徴ある景観となっている。そこに生活する人々は環境に応じて土地利用を行っており、この地域特有の植物の四季の変化とそこでの人々の生活の様子が感じられる。



強い海風を受ける斜面上の住宅地を飾る植物は、常緑で耐潮性の高い樹種により構成され、シンプルな組合せが海の風景によく調和している。



海風圧に耐え、強風をさえぎりつつ庭園に潤いを与えてくれるクロマツを主体とした緑が臨海地特有の生活風景を表している。



温暖な臨海地の特徴を生かした切花用の菊花の畑の緑が目に新しく暖かさのイメージが増幅される。



後背の風衝形のシイノキの斜面林にはめ込まれた住宅地がきびしい臨海地での生活の様子を物語っており興味深い。

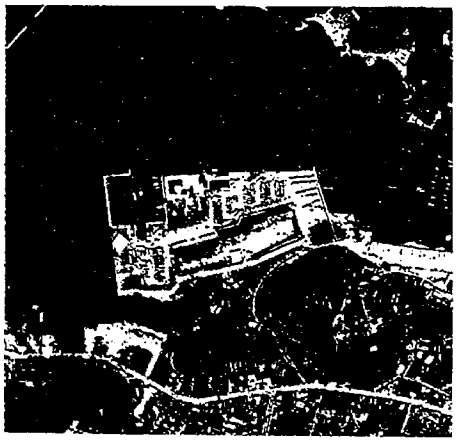


早春に咲き誇る菜の花と中景のカナリーヤシが暖かさのイメージを高め、クロマツの樹群との組合わせが日本特有の個性的な景観を表している。

② シーポニア

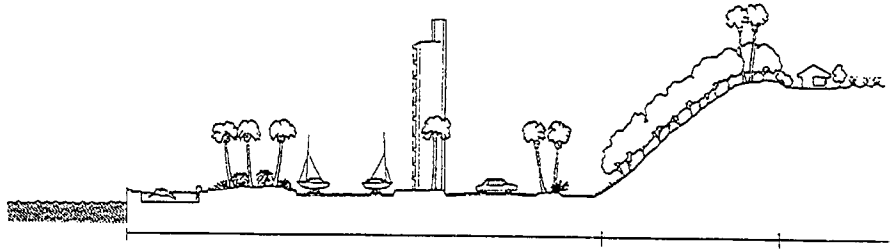
土地条件　台地　埋立地海岸　市街地及び集落

現況写真



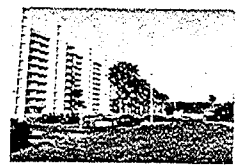


緑の存在状況



植物景観の現況

ヤシの単一な樹群は、対岸から見ると異質の景観であり、それだけに際立って見える。後背の山並みと近景のマツ・シイは同質であるので対比にうつる。



一列植のヤシは、建物と舗装面の広がりに対してややボリュウム感に欠ける。しかし、後背のスカイラインを抜いた２本のヤシは右手の樹林とをつなぎ、山側に広がりのある風景を創り出している。



建物と水面に囲まれたヤシの樹群は大きな建物のボリュウムにバランスしている。



近景のヤシと後背樹林の上に見られるヤシが連続していてトロピカルの雰囲気を良く表している。



一列に植えられたヤシはボリュウム感に乏しく装飾的な感じを与える。

利用状況

会員制のヨットハーバーを持つ海洋レジャー施設で、ヨットやボート及び保養基地としての利用がなされている。その他、プールやレストランがあり、その利用もある。

③ 逗子マリーナ

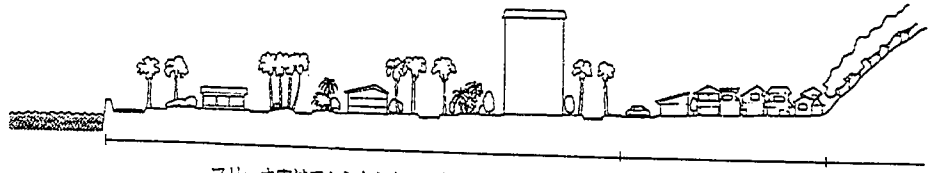
土地条件　丘陵地　埋立地海岸　市街地及び集落

現況写真





緑の存在状況



マリーナ内はワシントンヤシを主体としたヤシ類がふんだんに使われており、また常緑樹も建物の目隠し等に使われている。

マリーナに接する集落内は、庭の緑を除いては緑がそれほど多くない。

丘陵地の斜面は樹林が残されている。

植物景観の現況

三方が海に囲まれ、陸側は丘陵地となっている。高い建物と道や広場空間で構成されており、そこにトロピカルなイメージを持つ植物計画的に導入している。敷地外の景観は常緑樹を主とした自然の斜面だけであり特徴的な風景を際立たせている。



樹木群に囲まれた空間に調和させたヤシとソテツが一体的におさまり、別天地の雰囲気をかもしだしている。



足元をスッキリとさせたヤシの樹群が背景の斜面林に映えて奥行のあるトロピカルな風景を創りだしている。



常緑のつる植物とヤシの組合わせがトロピカルな雰囲気を高めて感じおおり、長く伸びたつるは年代を感じさせる。



大中小のヤシの組合わせが熱帯の街並みの風景を感じさせ、ヤシの大木がさらに年代を感じさせる。

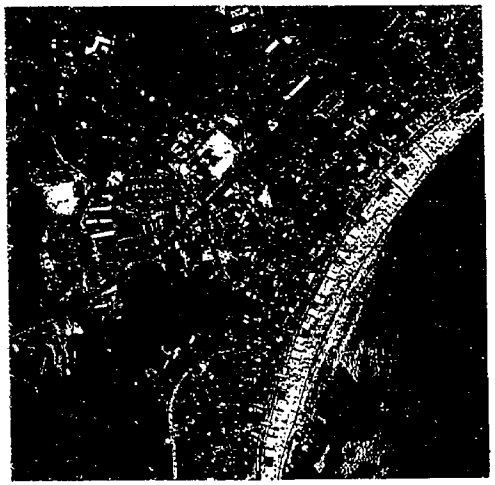
利用状況

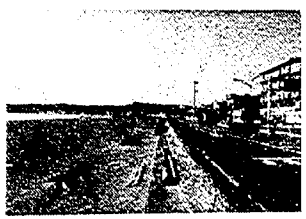
ヨットハーバーとリゾートマンションを中心としたレジャー施設であり各種のマリンスポーツの場や保養基地として利用されている他、プール・ボウリング場・テニスコート・レストランがあり、その利用もある。

④ 三浦海岸

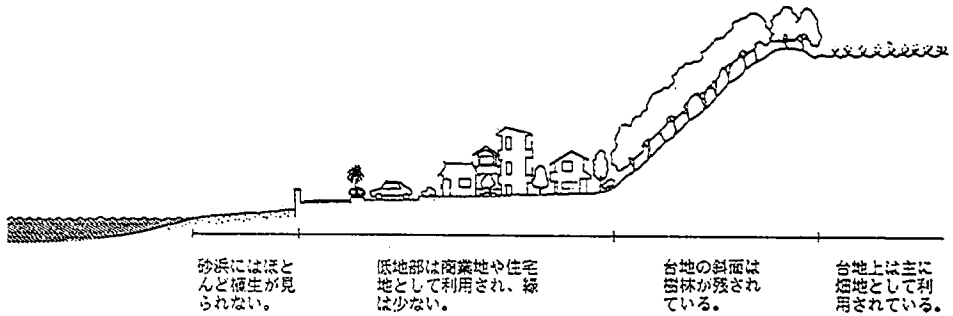
土地条件　低地　砂浜海岸　市街地及び集落

現況写真





緑の存在状況



植物景観の現況

海岸から砂浜・堤防・道路・市街地の配列となっており、ほとんど緑がないためやや無機的な感じを与える。しかし、市街地の後背部には台地や丘陵地の斜面林があり、それが海岸から中景や遠景として望めるために無機的な感じが和らげられ、やや落ち着いた雰囲気となっている。



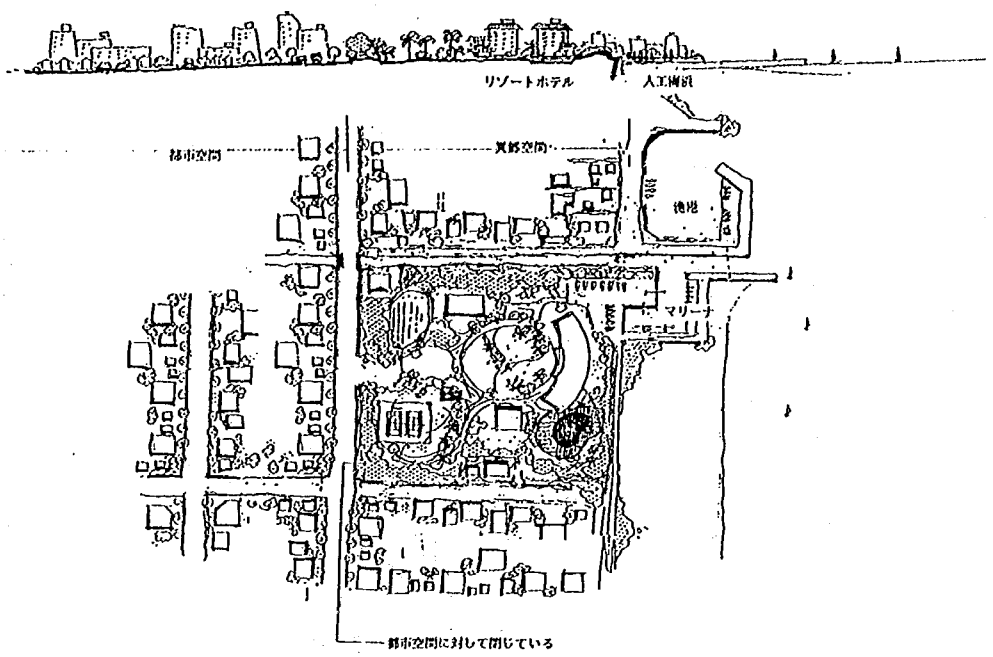
海岸の利用の中心地から外れた所では砂浜に草本植生やクロマツが生育し、自然の砂浜海岸の雰囲気が感じられる。



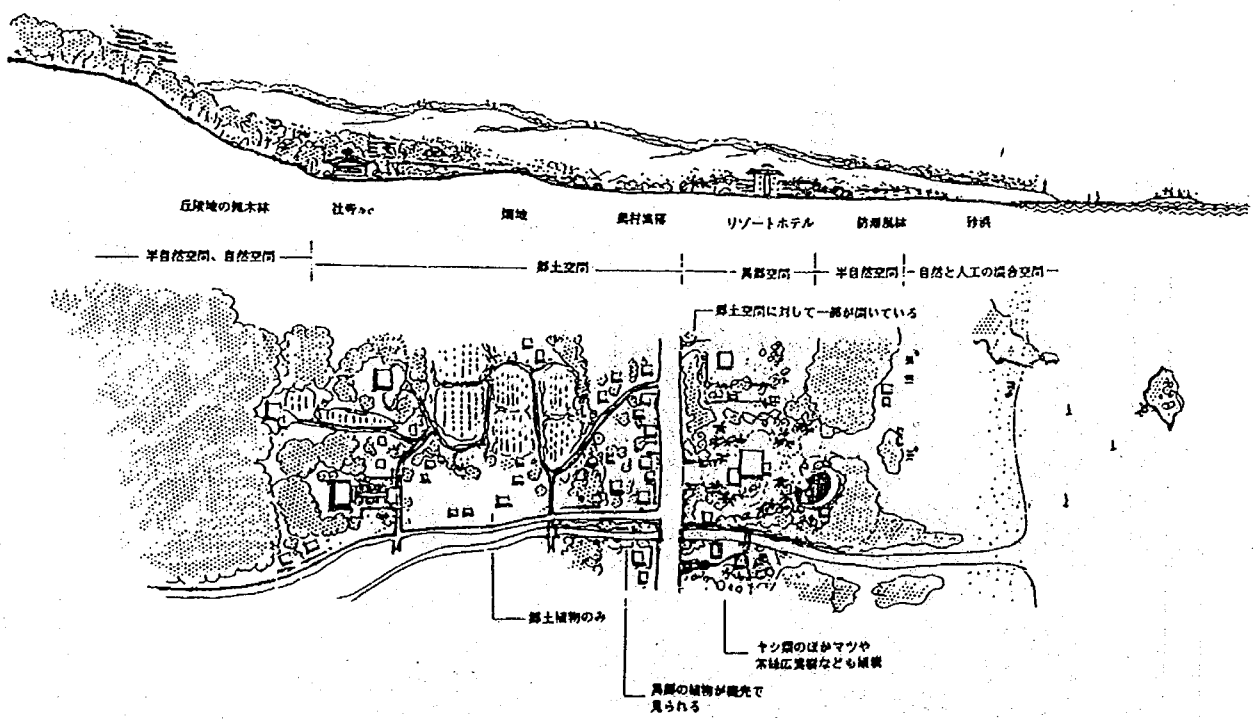
海岸からは市街地の後背部にある丘陵地や台地の斜面林が中景や遠景として望め、落ち着いた雰囲気を作り出している。

利用状況

海水浴場として有名で、マリンスポーツの場として夏季に利用が集中する。



図Ⅶ－5　外部空間を遮断して内部に魅力を創出した配植例



図Ⅶ－6　外部空間の魅力を取り込んだ配植例

ＭＭＺ計画策定の手引き(案)

計画編　別冊

「海底地形・地質の面的調査手法」

MMZ計画策定の手引き（案）

第1章　総説

1. 1　目的および概説

1. 1. 1　一般

MMZ計画策定の手引き（案）計画編別冊「海底地形・地質の面的調査手法」は、MMZ計画策定に当って必要となる海域の自然条件のうち、海底地形・地質およびその変化に関する基礎的な情報を面的に得るために行う調査に関し、その作業方法等をとりまとめたものである。これらの調査には、サイドスキャンソナーおよび空中写真による調査、並びに関連するその他の調査が含まれる。特に、近年手法が確立されつつある、サイドスキャンソナーと空中写真による浅海域の海底地形・地質の面的な調査手法について詳しく解説することにした。

海底は海水に覆われているので、陸上のようには目視による確認を伴いながら調査を進めることはできない。また、海上は陸上に比較して風、波浪、潮流などの影響を受けるので厳しい自然条件下にあることが多い。さらに観測・測定には船を使用することから動揺の影響を除外することが難しく、観測・測定精度の低下を招き易い。海洋調査には以上のような短所がある一方で、空間的な余裕を持つという船の利点を活かして調査機器の大重量化・大型化に対応することができる。また、広範囲の調査を一様な精度で、しかも比較的短時間のうちに行うことも可能である。

1. 1. 2　従来の調査手法

海底地形・地質調査における主要な調査機器は音響測深機と音波探査機である。海水中における伝播特性が良好なことから、これらの水中音響機器には超音波が用いられている。これらの機器は一般に次のように利用される。

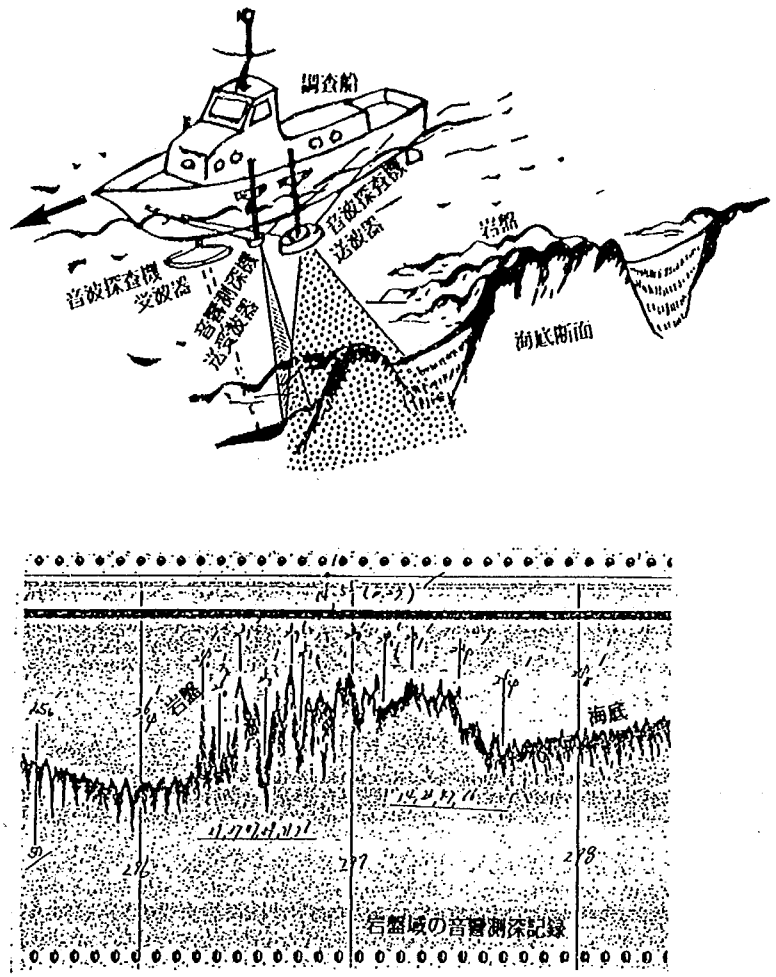
①海底地形調査では、音響測深機により深さが測定されて数多くの水深データが獲得され、海底地形図等が作成される。

②海底地質調査では、音波探査機により海底下の地質構造（層序、層厚、背斜、向斜、断層等の構造）が調査されるほか、採取された底質試料の分析により、地質の構造および底質の分布状況を表現した海底地質図等が作成される。

以下には、従来の調査手法の概略を解説する。

(1)　音響測深

音響測深とは、音響を用いて海の深さを測定することをいう。音響源には超音波を用い、送波器から超音波を海底に向けて送信し、海底で反射された超音波（反射波）を受波器で受信する。海の深さは、送波から受波までに要した時間に超音波の海中伝播速度（約1500m／s）を乗じて求められる。音響測深機は送受波器の直下の測深値を連続して測定することができるので、音響測深機を装備した船を一定した速度で進行させることによって、航走線直下の海底の連続した断面記録が得られる。音響測深機と音波探査機による調査状況と音響測深記録の例を図－1. 1. 1に示す。



図－1.1.1　音響測深と音波探査の調査状況および音響測深記録の例

(2)　底質調査

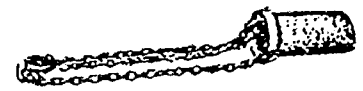
底質調査とは、海底面から底質試料を採取してそれを観察および分析することにより、海底面を構成する物質の組成、分布状況等を明らかにすることをいう。

試料の採取には採泥器が使用される。採泥器にはさまざまな機種が考案され使用されている。表層採泥、柱状採泥等採取形態の違いに応じて採泥器の形が異なっているため、使用に当っては、調査の目的に応じた機種を選択することが必要である。採泥器の例を図－1.1.2に示す。

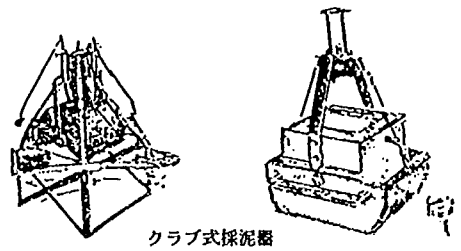
(3)　音波探査

音波探査とは、音波を用いて海底下の地質構造を調査することをいう。

浅海用音波探査機には、一般に磁歪式音波探査機が多く用いられている。磁歪式音波探査機は、音響測深機と同様に超音波を海底面に向けて発信し、海底面および海底面下からの反射信号を受信記録する機器



円筒型採泥器（I.S 浅海用採泥器）



クラブ式採泥器

スミスーマッキンタイヤ　　パージーエクマン

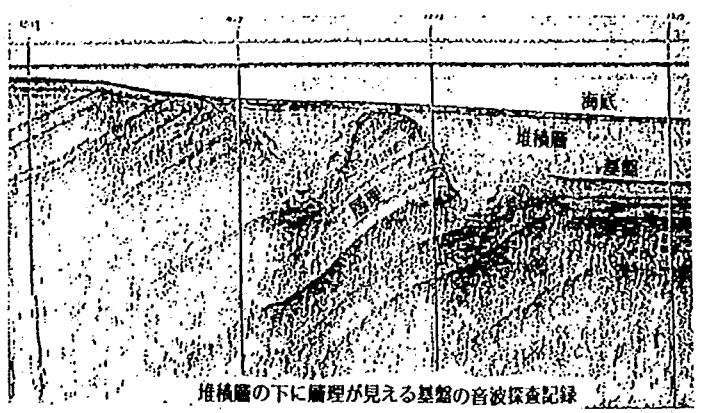


RGSピストン式柱状採泥器

図－1.1.2　種々の採泥器

である。音響測深機が海底面の断面線情報を取得するのに対し、海底面下の情報の取得を目的としていることが音波探査機の特徴である。

音波はその周波数が低いほど、より海底面下深く到達できる特性を持っており、音波探査機では、大出力の低周波超音波を送受信して海底下の情報を得ている。音波探査記録の例を図－1.1.3に示す。



図－1.1.3　音波探査記録の例

(4) その他

音響測深、底質調査、音波探査による調査は、いずれも調査に要する機器を船に搭載して行うことから、これらの調査ができる区域は船が航行できる範囲に限られることになる。岩礁域、砕波帯、汀線付近は、吃水水深の不足、波浪の影響等から、船の航行が通常困難な海域であって、船舶に搭載する機器を用いた調査は不可能である。したがってこうした海域では、海底地形断面の作成上必要とされる比高を、水準測量等により調査線延長上において測定する。この作業では水準標尺を持って海中に立つ必要があるので、水深1m程度が限界となる。こうしたことから、水深の浅い海域の測量は難しく、新たな調査手法の開発が課題となっていた。

1. 1. 3 海底地形・地質の面的調査手法

(1) 概説

従来の海底地形・地質調査では、音響測深機、音波探査機を用い、調査線に沿ったそれぞれの断面情報から調査線の間を内挿によって補完し、海底地形図あるいは海底地質図を作成する方法がとられていた。この方法では、調査線の間隔が広くなれば、それだけ補完量が増加し成果の精度が低下することになる。精度を上げるためには、調査線間隔を狭めて情報量の増大を図ることが必要となる。これは、作業量の増加となって経済的な面から調査作業を圧迫する。

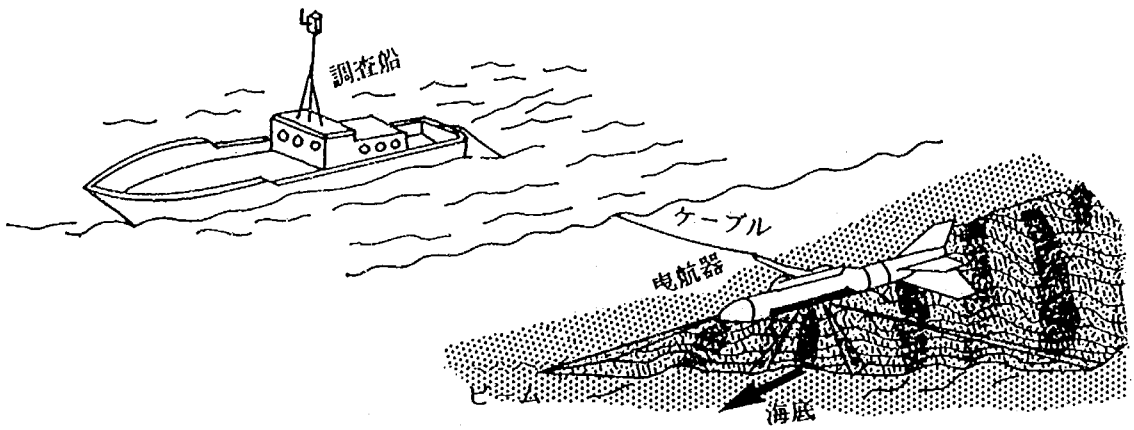
近年、こうした従来の線的な調査に代わり、面的な調査を可能とするサイドスキャンソナーと空中写真による調査手法が開発されてきた。これにより、従来の手法で必要とされた調査線間の補完を行うことなしに、直接面的な情報を取得できるようになり、成果の精度が格段に向上する。以下にはサイドスキャンソナーと空中写真による面的な調査の特徴について述べる。

(2) サイドスキャンソナーによる調査

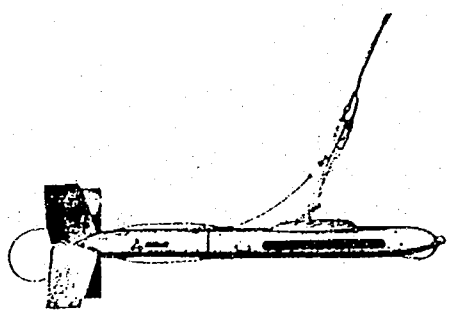
a) 概要

サイドスキャンソナーは、音響測深機と同じ水中音響機器の一種である。音響測深機が海底に向けて超音波を送信し、海底からの反射波を受信するまでの時間と音波の海中伝播速度から海底までの深さを測定するのに対して、サイドスキャンソナーは、水平方向の指向角が尖鋭な超音波（図－1.1.4参照）を、進行方向に対して直角方向に、あたかも扇を広げたような形で送信し、海底で反射された散乱波を次々に受信することにより、船の進行方向に対して直角方向に幅の広い帯状の海底映像断面線を記録する機器である。この幅広い帯状の海底映像断面線を進行方向に連続して得れば、広汎な海底における面的で詳細な情報が映像として得られることになり、海底面の状況が効率的に把握される。

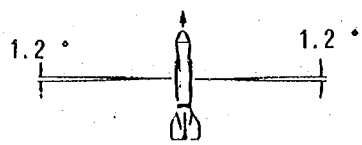
サイドスキャンソナーの送受波器は、左右二方向に分かれており、舷側あるいは船底に固定装備する方式と曳航器（トウフィッシュ）に格納し曳航する方式がある。一般には曳航する方式が多く用いられている。曳航器による調査状況を図－1.1.4に、曳航器とビームの指向角を図－1.1.5に示した。



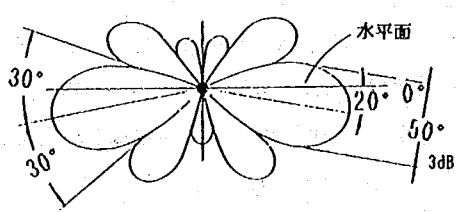
図－1.1.4　海底面の調査状況



a)曳航器



b)水平ビーム角(3dB点)　[平面図]



c)垂直ビーム角(3dB点)　[断面図]

図－1.1.5　曳航器とビームの指向角

b)　サイドスキャンソナーの音響映像

送受波器から直角方向に送信された超音波の扇形ビームは、海底（音響反射物体を含む）に当って反射散乱波となる。反射散乱波は送受波器に近い反射波から順次受信され距離に応じて記録される。送受波器を前進させ連続した送受信による記録を得れば、超音波ビームの幅と進行距離に応じた面積の海底状況が音響映像として記録される。

音響映像記録は、反射散乱波の信号強度により受信信号の強さが変化する。したがって、反射強度が大きい場合には濃く、弱い場合は淡く受信信号が記録紙上に出力され、出力図の濃淡から海底の微地形、堆積物の性質（泥、砂、礫）などを判読することができる。音響映像記録の例を図－1.1.6に示した。



小規模な岩盤上の方向性を持った起伏地形

図－1.1.6　音響映像記録の例

例えば、海底上に構築された構造物や海底の高まりは、反射散乱波の信号強度が強く、記録上では黒く濃く記録され、超音波の当らない部分は、影として白く抜けた記録となる。また、底質の物理的特性の違いが信号強度の違いとして記録に表れるので、底質の分布状況の判読も可能である。これは、航空写真が光波を介しての陽画映像であるのに対して、サイドスキャンソナーの映像記録は音波を介しての陰画映像記録ともいえ、海中の航空写真に例えられる。

音響映像記録の解析では、航跡図上に映像記録をモザイクすることにより海底面音響映像図を作成し、広い海域の状況を映像として捉えて岩盤、人工構造物のほか微地形、底質の分布状況等を判読する。

現在のサイドスキャンソナーでは船速補正、斜距離補正が自動的に行われ、縦横方向の歪みを修正した記録が得られるようになっているが、音響測探機のように水深を測定することはできない。そこで、海底地形図の作成のためには常に音響測深を併用する必要がある。

(3)　空中写真による調査

a)　写真測量の概念

写真測量とは、被写体と写真上の被写体の像との間に成立する投影関係を基礎にして、この写真から間接的に被写体の位置、形、大きさなどを測定する技術である。写真測量は、主に平板測量では作業が困難

な地域や広範囲にわたる地域の地形図作りに重点をおいて発達してきた技術である。したがって、使用する写真は主として空中写真である。

さらに最近では、写真測量は単に数量的な測定だけでなく、空中写真の内容の判読、分析などを通して質的調査にも使用されるようになった。空中写真から地形図を作るためには、地形図に表現する各事項を読み取る技術が必要であり、これらの技術が基礎となって、森林、土壌、地形、地質、土地利用などの各調査に空中写真が利用されるようになった。このように空中写真から質的調査をする技術を写真判読という。最近では、測定技術としての写真測量とこの写真判読とを総括したものを写真測量といっている。

b） 写真測量の特長

① 写真の忠実性、同時性

写真はある瞬間時の状態を忠実に写し出し、目視による測量と比べて測量の質が落ちない。また、広範囲の地域の写真撮影は短時間ですむため、写真測量による測量結果には同時性が期待できる。

② 測定の遠隔性

地上測量は現地作業が中心であるため、急峻な山岳地、交通量の激しい大都会、政治的な理由から立入り測量の不可能な地区などの測量に適していない。写真測量はこれらの制限を受けずに測量できる。

③ 精度の均一性

地上測量では点の測定はできるが、線の測定はできない。線は点の集合として測量するから、点の密度によって精度が異なる。また、骨組測量から細部測量に至るまでの測量の回数を増すごとに誤差が累積し、精度が低下する。写真測量は線の測量を行うことができ、測量の回数は常に1回であるから、精度は均一である。

④ 能率のよさ

写真測量は、その作業の大部分が室内で行なわれるとともに、写真撮影は上空から行われ障害物は比較的少ない。また、作業がいくつかの工程に分けられ、分業化が可能であり、技術者の養成も容易である。

⑤ 縮小の容易さ

写真測量は、最初から縮小された物体を観察しながら測量でき、縮小は機械的に行われる。

⑥ 動いている対象の測定

測量の対象が動いている場合でも、瞬間における状態を写真に撮影できる。

c） 写真測量の欠点

① 巨額の設備投資が必要である。

写真測量方式は、飛行機、航空カメラ、解析図化機などいずれも高価な機械を必要とする。

② 小地域の測量には不適である。

空中写真撮影のための飛行にはかなりの経費がかかるが、その飛行で何百枚も撮影すれば空中写真1枚あたりの単価は低くなる。狭い地域では平板測量のほうが経済的な場合がある。

③ 写真に写らないものは測定できない。

まったく異なった被写体でも同じ色調に写るもの、陰になっているもの、地下の部分などは、写真に写らないか、写っても判読できないので測定できない。

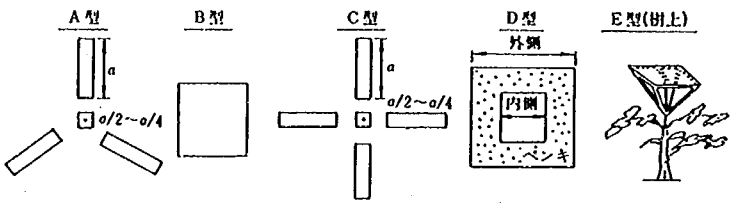
d） 主な写真測量の工程

① 標定点の設置

1枚の空中写真について、縮尺を決定し、方位を求め、地理的位置と高さをきめるためには、2点以上の平面位置と高さの分かっている基準点（三角点等）と数点の標高の標準となる点が必要である。これらを総称して標定点という。

② 対空標識の設置

標定点を、撮影する空中写真に明瞭な写真点として求める必要があり、対空標識を設置する。陸域の場合には図－1.1.7および表－1.1.1に示すように、対空標識の形状と規格が建設省公共測量作業規程(1986)に定められている。海域については設置の位置、形状、大きさ等について、本別冊「第5章 空中写真による海底地形・地質調査」に記述されている。



図－1.1.7 対空標識の形状

表－1.1.1 対空標識の規格

空中写真縮尺	A・C型	B・E型	D型	厚さ
1/4,000	20 cm×10 cm	20 cm×20 cm	内側 30 cm・外側 70 cm	4 mm ～ 5 mm
1/6,000	30 cm×10 cm	25 cm×25 cm		
1/10,000	45 cm×15 cm	45 cm×45 cm	内側 50 cm・外側 100 cm	
1/20,000	90 cm×30 cm	90 cm×90 cm	内側 100 cm・外側 200 cm	

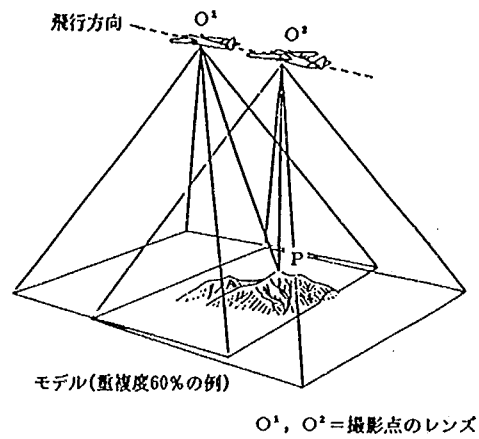
〈注〉 1. 基本型は，A型又はB型とする。
2. 地上に適当な設置場所がない場合には，櫓上等に設置することができ，その型はE型とする。
3. 建物の屋上等に設置する場合，組板ペンキで描くことができ，その型はD型又はA型とする。
4. その他設置点の状況によってはC型，D型とすることができる。

③ 空中写真撮影

写真測量のための空中写真は、航空カメラを用いて高空から適度に撮影範囲を重複させて、すべての地域が2枚以上の写真に写るように撮影される。すなわち、一つの撮影コースは重複度60～80％で連続して撮影される（図－1.1.8）。一対（2枚）のこの重なりをモデルという。

④ 空中三角測量

空中三角測量とは、基準点測量により設置した標定点（既設の三角点を含む）に基づいて、写真上に明らかな任意の写真点（空中写真図化のために必要なモデルごとのパスポイントおよびタイポイント）の平面位置や高さを求める作業である。



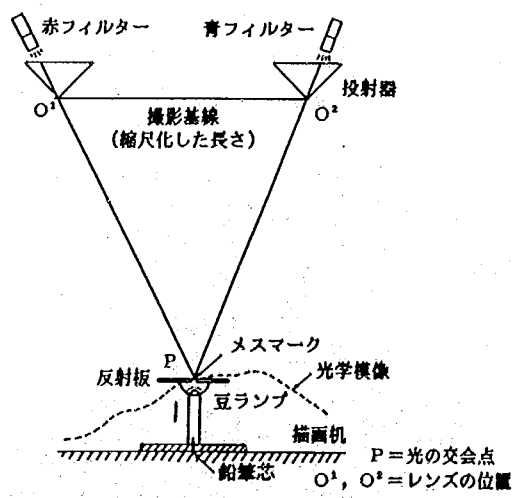
図－1.1.8　空中写真撮影の概念図

⑤　空中写真の図化

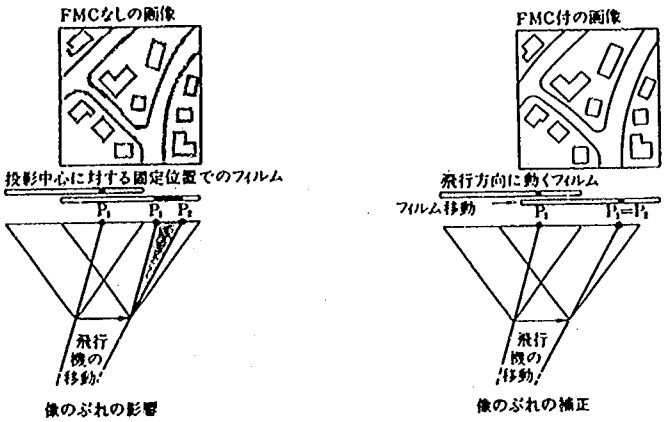
図化とは空中三角測量で決定した標定点（パスポイント）に基づき、モデルを標定し、地形地物の細部を室内で図化機により描示することである。具体的には、図化機のメスマーク（測標）を実体模像に一致させて観測（測定）し、地形地物を描示する（図－1.1.9参照）。

e）　海底地形・地質調査への応用

空中写真による調査は、海底地形・海岸地形等の測定・図化や海底地形・地質の判読等に効率的な方法として利用できる。このように海底地形・地質調査へ応用される技術的背景には、いままで述べた空中写真測量の特質があげられるが、特に、最近のこの分野での技術開発を無視することはできない。すなわち、①カラー撮影用航空カメラの普及、②解析図化機の開発、③写真判読へのカラー空中写真の利用等に代表される種々の技術革新があって海底調査への実利用が進んだものである。



図－1.1.9　簡単な図化の投影原理
（光学的投影法余色の例）



図－1.1.10　写真のぶれと補正

①　カラー撮影用航空カメラ

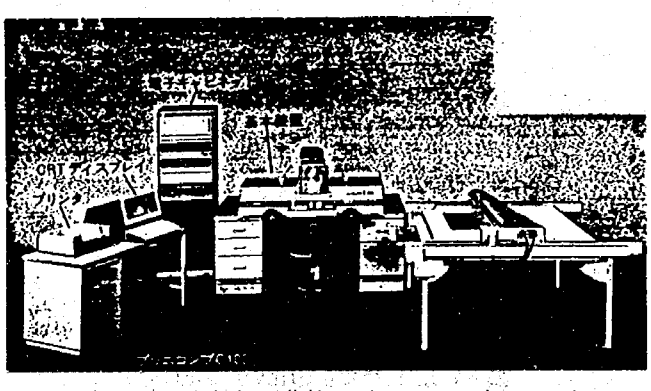
カラー撮影フィルムの伸縮に対する安定性が増したことから、最近では「広角カラー航空カメラ」が、普通一般にいう航空カメラとして用いられている。

高解像力を持つ比較的低感度の撮影フィルムを使用するなどの特殊な場合に、最近開発されたＦＭＣ装置（像のぶれ補正装置、図－1.1.10参照）付き航空カメラを用いると更に効果的である。

②　解析図化機による空中三角測量および空中写真図化

対象とする被写体が海域にあるため、標定点不足から生じる不完全モデル（空中写真の標定に必要なパスポイントの数が不足するモデル）の問題や、使用する空中写真が二層写真（一つの空中写真の中に陸地と海底が写されている写真）による光の屈折の問題等、技術的に解決すべき問題があったが、これらは解析図化機の開発により解決された。

解析図化機は、コンピュータが主要な役割を持ち、それにステレオコンパレータ等の観測機能と自動製図機などが付属した図化機である（写真－1.1.1）。このようにコンピュータ中心のためすべての測定諸元をコンピュータで解き、モデルを観測するだけで空中三角測量および空中写真の図化ができる。



写真－1.1.1　解析図化機（プラニコンプＣ－100）

③ 写真判読への空中写真の利用

写真判読とは、空中写真に写されている事象を観察して、写されたものが何であるかを判断する作業である。海底地形・地質の判読も写真像の色調（階調）、きめの差、あや模様の差で判読するが、写真上でこれらがある程度変化していれば、ごく少量の変化量であっても識別することが可能である。

モノクローム写真は、すべての判読要素が白から黒までの灰色の階調で表されているのに対し、カラー写真では色相と明度、彩度によって表現され、自然の色そのままに写しだされているので事物の識別がモノクロームの写真に比べるとはるかに容易になる。

④ その他の手法による調査

サイドスキャンソナーおよび空中写真による調査が困難な場合、データの空白が生じないようその他の手法による調査で充足させる必要がある。関連するその他の調査手法としては、音響測深、音波探査などがある。

1. 2 適用範囲

この手引きは、MMZ計画における浅海域の海底地形・地質の面的調査に適用される。この手引きに記述のない手順およびこの手引きによらない事項については、建設省、各都道府県等の公共測量作業規程を参照されたい。

1. 3 位置表示

この手引きを適用して行う調査において、位置は、特別の事情がある場合を除き、昭和43年建設省告示第3059号に規定する平面直角座標系の平面直角座標および測量法施行令（昭和24年政令第322号）第2条第2項に規定する日本水準原点を基準とする高さ（以下、標高という）により表示することが望ましい。

標高は、測量法によって日本水準原点を基準とすることが定められている。水準原点は、東京霊岸島で明治6年～12年の6年間の量水標観測の結果から求めた平均海面上24.4140mとされ、水準測量の高さの基準を与える点である。一方、水路測量における測深基準面は、船舶航行の安全面から水路業務法により“水深は、基本水準面からの深さで表示する”こととされ、略最低低潮面とするよう定められている。

以上のように、標高および水深の基準面は測量法および水路業務法において相違しているが、本調査においては、陸上地形と海底地形とを連続した地形表示とする必要性から、高さおよび水深を同一基準面によって示すこととし、日本水準原点を高さの基準とする。

1. 4 関係法令等の遵守

調査の実施に当っては、関係法令を確実に遵守する。調査の実施に関連して、次のような法律がある。

(1)土地の調査関係法令

測量法

(2)水域の調査関係法令

水路業務法

(3)環境関連法規

海岸法

自然公園法

自然環境保全法

港湾法

漁港法

鉱業法

(4)海上作業実施に伴う関連法規

港則法

海上交通安全法

海上衝突予防法

電波法

航路標識法

船舶安全法

調査の実施に当っては、測量法（以下、法という）第39条において準用する法第14条第1項および第2項（実施の公示）、法第26条（測量標の使用）、法第30条第1項（測量成果の使用）、法第36条（計画書についての助言）、法第40条第1項（測量成果の提出）等の規定による手続きを適切な時期に行う必要がある。

1. 5 配慮事項

調査の実施に当っては、常に安全管理に留意して、事故および災害の防止に努める必要がある。事故等が発生した場合は関係官公庁に報告するなど適切に対処する。また、環境の保全にも十分留意することが必要である。

1. 6 調査の成果

本調査の最終成果は次のようになる。

(1)海底地形図

(2)海底面状況図

(3)報告書

第2章　事前調査および調査計画立案

2. 1　事前調査および資料収集

調査の開始に先立ち、十分な事前調査、資料収集を行った上、調査地域、調査精度、調査方法、調査時期および期間等の基本的かつ重要な項目について、適切な計画を策定することが必要である。

具体的には、調査対象地域と海域を含む周辺の地形、地質、海象、その他の自然条件の概要を調査し、適切な調査が実施できるように努めることが必要である。また、調査に必要な手続き等について調べ、効率よく調査が実施できるようにする。このほか、既存調査事例その他の資料を収集し、適切かつ効率的な調査が実施できるよう努める。その際、当該地域において、国土地理院および他の機関が基本測量および公共測量を既に実施しているか否かを十分調査し、利用できる成果は活用することが望ましい。

収集する資料の種別はおおよそ次のとおりである。

・地形、地質
・海底地形、底質、地質
・海象（潮汐、潮流、波浪等）
・気象（風向、風速、降水量、日照時間、霧等）
・産業（漁業、鉱工業、海底ケーブル・パイプライン等）
・港湾状況
・基準点関係資料
・既存調査資料（音波探査記録等）

収集資料の種別および収集先は、表－2.1.1に示すとおりである。

表－2.1.1　資料の収集先

収集先	収集資料
国土地理院	〔地形〕国土基本図、地形図、地勢図、沿岸海域地形図 空中写真 〔地質〕沿岸海域土地条件図、土地条件図 〔基準点関係〕三角点成果表、点の記、水準点成果表
海上保安庁水路部	〔地形〕沿岸の海の基本図（地形図）、海図 〔地質〕沿岸の海の基本図（海底地質構造図） 〔海底ケーブル・パイプライン〕海図 〔その他〕音波探査記録、水路通報、管区航行警報（週報）、海流速報図、水路誌、潮汐表、基準測定成果、水路測量標成果
地質調査所	〔地質〕地質図、海洋地質図
気象庁	〔気象〕気象月報、気象年報、気象要覧、潮位表
地方通商産業局・都道府県	〔鉱工業〕鉱区図
都道府県	〔漁業〕区画漁業図、定置漁網一覧図 〔港湾〕港湾区域図、港湾計画図 〔自然公園〕自然公園区域図等
市町村	〔産業等〕市町村要覧等

2. 2　調査計画立案

2. 2. 1　調査地域および調査精度の決定

計画立案に当っては、調査対象の海域と密接な関係のある周辺地域を調査区域として設定する。また、必要な調査成果の縮尺及び等深線間隔等を決定し、これに応じた調査機器の選択、測線密度・撮影高度等の決定を行う必要がある。

調査成果である海底地形図、海底面状況図等の縮尺は、1／5,000～1／10,000が標準となろう。等深線の主曲線間隔は原則として1mとし、必要に応じて0.5m、0.25mの補助曲線を用いるのが適当である。調査成果の精度は、建設省、各都道府県等の公共測量作業規程に基づくもののほか、海域部については表－2.

2.1を目安とする。

表－2.2.1　海域部における調査成果（海底地形図、海底面状況図）の精度

項　　目	精　　度
海上構造物	図上0.7mm以内
水中構造物	図上2.0mm以内
等　深　線	等深線間隔の1/1以内

2. 2. 2　調査時期

調査の目的、調査手法および調査地域の気象・海象条件を十分検討して調査時期、期間を設定し、適切な調査ができるように努める必要がある。特に空中写真による方法を用いる場合には、撮影・撮像時の気象・海象、太陽高度等が調査成果に大きな影響を与えるため、それらを十分検討した上で計画を立案する。また海上作業については、海象条件等に十分注意して計画することが重要である。

本調査では海上作業が主体となるので、気象・海象条件の良否が作業の進捗に大きく影響する。このため作業の実施時期としては、気象・海象状態が良好で作業障害日数の少ない時期を選定する。

表－2.2.2に海上作業に影響する天候障害日数について、主要地の月別気象表から算定した各地の天候障害日数表を掲載した。また、空中写真撮影作業では、撮影に最適な太陽高度があり、撮影時間帯の選択が必要であるので、図－2.2.1に地方別の太陽高度を基準とする撮影時間帯を示した。

2. 2. 3　調査手法の選択

調査計画の立案に際しては、自然条件等を考慮して、次に掲げる調査手法の中から適切な調査手法を選択する。

・サイドスキャンソナーによる調査
・空中写真による調査
・その他の手法による調査（音響測深等、直接水準測量等、音波探査）

海底地形・地質の面的調査は、サイドスキャンソナーおよび空中写真による調査を基本に計画し、これらの手法の適用が困難な海域においてはその他の手法を用いる。ただし、サイドスキャンソナーによる方法では、調査船の進入が難かしい極浅海域などでデータの空白域を生じ、空中写真による方法では、透明度等の条件により、図化・判読の範囲に制約があるなど、測定条件と取得情報に限界がある。また、これらの手法で補えない海域の状況や海底地質・地盤状況を知るためには、音響測深、直接水準測量および目視観測、音波探査による方法も必要となる。各手法から得られる情報とその適用範囲等については、表－2.2.3、2.2.4

表－2.2.2 (1) 各地の天候障害日数

地名＼月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
名瀬	12	10	8	10	11	10	6	5	5	8	9	9
宮崎	11	10	10	9	10	11		6	7	6	6	7
鹿児島	9	10	12	10	9	11	10	7	7	7	7	8
長崎	11	10	12	10	9	11	10	4	6	5	5	8
厳原	16	13	13	10	10	12	12	7	10	6	8	12
富江	9	11	12	12	9	11	9	7	9	9	9	9
福岡	14	12	13	12	9	10	8	7	9	8	9	11
足摺	10	11	13	12	12	12	8	6	9	6	6	7
大分	9	5	8	6	7	10	8	5	5	5	4	6
高知	6	7	8	7	8	9	8	5	5	5	4	4
室戸	24	24	27	22	24	25	23	16	19	20	20	22
高松	12	9	8	7	6	7	6	4	6	6	6	9
徳島	14	13	14	15	12	9	9	6	7	7	7	9
松山	7	6	6	6	6	8	6	3	5	5	5	5
下関	22	18	17	17	18	17	14	11	11	9	11	17
広島	11	12	12	10	7	8	7	3	9	7	7	10
岡山	6	7	6	6	5	6	4	3	6	5	4	3
浜田	21	15	14	10	9	10	9	5	9	9	9	16
西郷	21	20	17	11	12	11	10	10	12	13	13	17
鳥取	19	16	14	12	8	7	5	3	8	4	11	18
境	15	14	12	7	6	7	6	3	8	8	8	15
神戸	17	15	15	13	14	11	10	10	11	12	10	14
大阪	14	12	11	8	7	8	7	3	7	9	13	17
和歌山	10	7	11	10	9	9	9	5	6	6	5	7
潮岬	17	15	19	17	16	16	10	9	11	12	10	13
尾鷲	7	7	8	7	8	10	7	7	8	9	5	7
津	15	12	14	11	9	10	8	6	8	8	7	11
名古屋	12	13	17	14	10	9	6	6	8	9	9	12
浜松	17	15	16	14	10	10	6	4	7	6	8	11
静岡	10	10	11	9	8	8	6	5	5	7	7	7
横浜	18	18	20	20	18	14	11	10	12	17	15	16
東京	9	11	13	16	13	9	8	8	7	10	9	10

表－2.2.2 (2)　各地の天候障害日数

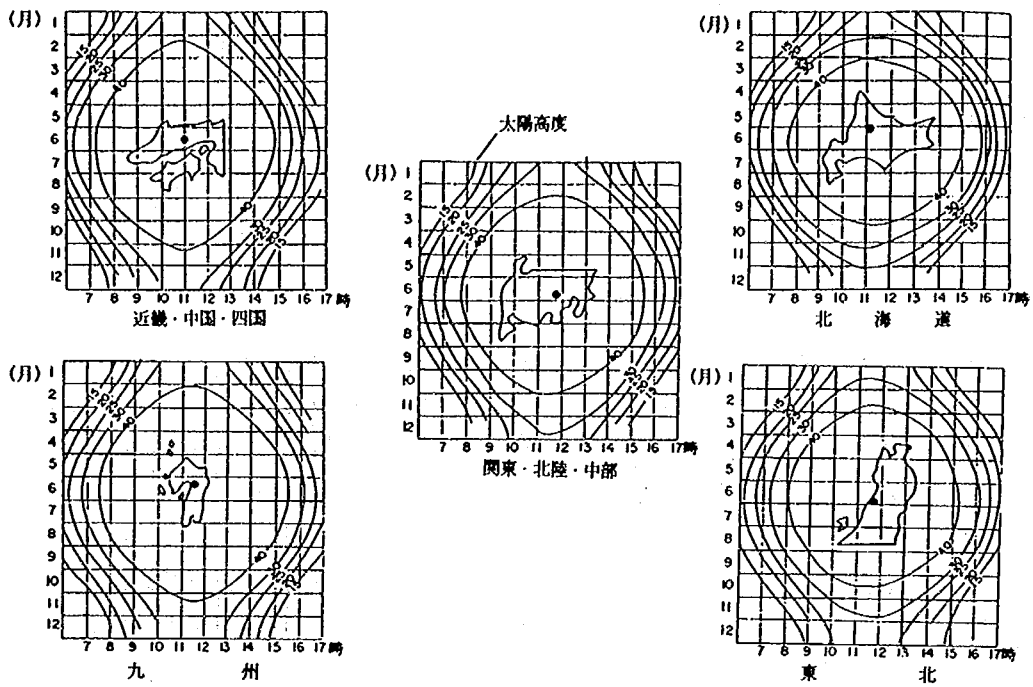
地名＼月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
大　島	28	28	31	30	31	30	31	25	25	30	27	26
酒　田	31	26	25	20	16	13	9	8	11	17	21	31
秋　田	29	22	20	17	14	9	7	6	10	12	15	25
青　森	26	22	19	18	15	12	9	8	11	12	15	7
浦　河	21	22	22	20	20	19	22	16	15	18	22	27
函　館	21	20	21	18	17	12	9	5	9	13	14	19
寿　都	21	28	30	26	29	26	24	19	21	22	27	31
釧　路	13	12	16	16	19	22	22	23	18	16	14	17
羽　幌	17	15	13	13	15	9	8	4	7	9	12	17
網　走	7	13	16	17	17	10	12	7	9	11	16	18
稚　内	23	17	19	17	20	13	14	10	12	12	17	26
根　室	22	14	18	22	24	26	27	24	16	17	21	21
富　崎	22	19	20	18	15	16	11	8	11	14	15	18
八丈島	31	27	28	25	24	25	15	13	17	26	26	28
銚　子	18	21	23	22	20	17	18	13	14	22	20	16
敦　賀	23	20	19	17	14	9	8	5	9	10	14	20
金　沢	20	15	14	12	9	7	6	3	8	8	11	19
輪　島	20	22	13	12	11	9	6	4	7	9	10	18
富　山	16	15	14	14	12	9	8	5	10	10	11	16
相　川	31	28	24	17	12	9	6	6	12	17	22	31
新　潟	28	21	19	13	9	7	6	5	9	11	15	27
小名浜	12	12	15	15	12	11	13	8	8	8	8	11
宮　古	6	6	7	6	6	12	12	6	7	7	5	6

(注)　本表の障害日数は昭和38年理科年表中、月別天気日数(14時現在)月別日数(視界1,000m以内)最大風速の階級別日数(10m/s以上)から、雨・雪・霧・風の各月日数のうち最も大なるものに、他の障害日数の1/2を加えたものである。

にまとめて記載した。これらを参考に各調査手法の選択を行う。

(1) サイドスキャンソナーによる調査

サイドスキャンソナーによる調査とは、サイドスキャンソナーによる海底面の音響映像の撮像作業および底質調査を組合せた方法を用いて、海底面の地形・地質・底質の状況を面的に把握する作業である。ま



※図は標準地点（●印）における月（縦軸）、時間（横軸）における太陽高度を示す。

図－2.2.1　地方別の太陽高度を基準とする撮影時間帯

た、サイドスキャンソナーでは、深さ（水深）を測定することができないため、常に音響測深を併用することが必要である。

サイドスキャンソナーは、調査船に曳航されて水中を移動する送受波器より、左右方向に扇状に広がる超音波を発振し、その超音波が海底で反射してくるのを同じ送受波器で受信することにより、一定幅の海底面の状況を音波により探査し、面的な音響映像記録として出力する装置である。この音響映像記録に現れる濃淡の画像は、海底の微細な起伏や底質の分布を反映している。しかし、音響映像の色調は、撮像（サイドスキャンソナーの音響記録を撮ることを音響映像の撮像という）諸元（主として感度）の相違に大きく左右されるので、音響映像のみで底質を決定することは困難であり、底質調査の観察・分析結果と音響映像パターンを比較して底質を決定する必要がある。

サイドスキャンソナーの曳航測線が曲線になると、海底面の形状が歪んで撮像される。また、送受波器の高さにより超音波の到達範囲が変化する。このように、撮像条件や測線の設定に制約があり、これらの点を考慮した適切な調査計画を立案する必要がある。撮像条件と測線計画の内容については、本別冊「4.3 撮像条件および測線の設定」に詳しく記載されている。

また、サイドスキャンソナーによる調査には、調査船の位置を決定するための船位測定、船位測定に必要な基準点測量および音響測深記録の水深補正に必要な潮位観測が付帯作業として必要となる。これらの作業方法については、本別冊「第4章　サイドスキャンソナーによる海底地形・地質調査」に、細部につ

表－2.2.3　調査手法と取得情報

項目 / 調査手法	調査で得られる値・情報								
	海底地形				地質・底質			精度	成果から判断できる情報
	水深値		地形判読						
	面的な値	線・点の値	面的情報	線・点の値	底質区分	底質分布	地質構造		
サイドスキャンソナー	×	×	○	○	△ *2	○	△	分解能：調査レンジの1/400	1．海底地形・底質の平面的分布 2．海底の微地形 3．海底構造物の実態
音響測深	×	○	×	△	×	×	×	±(10+水深/1,000)cm	水深
底質調査	×	×	×	×	○	×	×	分析値	底質の分類、粒度組成
空中写真測量	○ *1	○	○	○	△ *2	○	△	2.2.1に示すとおり	1．サイドスキャンソナー調査とほぼ同様 2．水深
直接水準測量	×	△	×	△	×	×	×	±(20+深さ/100)cm	水深
音波探査	×	×	×	△	△	×	○	分解能：0.3～1.5m	海底地質構造：層相変化や断層等

（凡例）　○：適
△：やや適
×：不適

*1：ただし、写真の濃度が均一となる岩礁及び砂地帯は不適。
*2：底質調査と組み合わせることにより可能。

表－2.2.4　調査手法の選択指針

調査手法	取得情報	適用水深 (陸側) 0 -1 -2 -3 -4 -5m	海浜の型 急斜海岸	緩斜海岸	バー海岸	底質 泥	砂	岩(礫)	陸上地形 海浜部	潮間帯
サイドスキャンソナー	面的地形起伏 底質性状、分布	×(0)–△(-2)–○(-5)	○	△	×	○	○	○	×	×
（底質採取）	底質分類 粒度組成	○(-2)	○	○	○	○	○	×	○	○
* 空中写真測量	面的地形 底質分布	○(0)–△(-3)–×(-5)	○	○	○	△	△	○	○	○
音響測深	線的地形断面	×(0)–△(-1)–○(-2)	○	○	△	○	○	○	×	△
直接水準測量	点的水深	○(0)–△(-1)–×(-2)	△	○	△	○	○	○	○	○
音波探査	底質 地質構造	×(0)–△(-3)–○(-5)	○	△	×	○	○	○	×	×

(注)　*：海域の透明度は良を条件とする
(凡例) ○：適　△：やや適　×：不適

〔表の説明〕

・適用水深は、調査船の吃水、空中写真の撮影時の海面状況及び直接水準測量の限界について考慮し、それぞれの手法の適用水深値を示した。
・海浜の型は、静穏時の波浪状況（砕波を含む）を推定して３つの型に分類した。
　急斜海岸（礫・岩）とは、海底の傾斜が大きく砕波の小さい海岸
　緩斜海岸（砂）とは、海底の傾斜が緩やかで砕波は中程度とみられる海岸
　バー海岸（砂）とは、緩斜海岸のうちで沖合にいくつかのバーを形成し、砕波帯が広い海岸
・底質は、代表的な泥、砂、岩（礫）の３種類に区分し、各手法の適否について示した。

いて記載されている。

(2) 空中写真による調査

空中写真による調査とは、カラー空中写真撮影を行い、海底地形・海岸地形、地物等の測定・図化及び海底の微地形、底質等の自然条件、人工構造物の面的判読のための資料を得る作業である。

海水の透明度等の撮影条件が良く、海底が撮影されていれば、空中写真により海底地形・底質等の面的調査ができ、岩礁、微地形（砂漣等）の位置は音響測深より高精度で決めることができる。ただし、海底地形の図化には、海水による光の屈折を補正する必要から、解析図化機を使用する。

空中写真による調査は、調査船の安全運航上の制約が多く十分なデータが得られない浅海域に適した方法である。しかし、海水の透明度が低い場合、海面に細かい風波がある場合、あるいは太陽高度の関係から海面でハレーションが起る場合には、図化・判読が不可能となる。また、砂地や岩礁内で、空中写真の色調が単調（濃度差が僅少）な場合には、実体視が困難で図化ができないことがある（砂地ではほとんど図化ができない）。さらに、空中三角測量のための標定点が空中写真に写されていることも必要となる。以上のように空中写真による調査は、撮影や図化・判読条件および作業方法についての制約があり、これらを考慮した適切な調査計画が必要となる。撮影条件および作業方法の細部は、本別冊「第５章　空中写真による海底地形・地質調査」に記載されている。

(3) その他の手法による調査

a）　音響測深等

音響測深等とは、音響測深機およびレッド、ロッドにより水深と海底の微地形の状況を記録整理し、海底地形図を作成するための資料を得る作業である。音響測深は、サイドスキャンソナーによる調査と同時に実施するほか、サイドスキャンソナーによる調査が不可能な極浅海域について行う。

極浅海域の調査では、可能な限り岸に接近できるように吃水の浅い小型船を使用し、音響測深機によることができない場合には、レッド、ロッドによる測深が必要となる。

音響測深の測定条件と得られる情報は、表－2.2.3、2.2.4に示される通りである。これらの作業方法は、本別冊「4.8　音響測深」、「6.1　音響測深等による方法」に記載されている。

b）　直接水準測量等

直接水準測量等とは、既設の水準点等に基づいて、直接測量により海底地形図作成のための標高と水深を求めるための作業のほか、目視観測として海底および汀線付近の底質分布状況等を直接目視により観察する作業である。直接水準測量は、船による音響測深や空中写真による調査が困難な極浅海域について行う。また、目視観測は、サイドスキャンソナーによる調査および空中写真による調査において、底質と微地形等の判読ができない極浅海域について実施する。これらの方法を適用する海域は砕波帯が中心となるため、実施に際しては十分安全性を考慮する必要がある。測定条件等は、表－2.2.3、2.2.4に示される通りであり、作業方法と精度については本別冊「6.2　直接水準測量等による方法」に記載されている。

c）　音波探査

音波探査とは、音波探査装置等により海底の地層の層厚、地盤の状況を探査し、記録を解析・整理して地質条件の概要を把握する作業である。音波探査記録を解析した結果は、原則として陸上地質・ボーリン

グ資料等に対比させることが必要である。また、施工に際しての設計条件を決めるには、これとは別にボーリングによる土質調査を実施し、地盤条件および土質条件を求める必要がある。音波探査に使用する機器は、探査精度と探査深度を考慮して、原則として表－2.2.5に示す種類の中から選択する。また、測線の設定と作業方法は、本別冊「6. 3 音波探査による方法」に記載されている。調査船の大きさは、サイドスキャンソナーによる調査に使用する調査船と同程度となるため、測定条件は表－2.2.3、2.2.4に示すようになる。

表－2.2.5 各種音波探査機の諸元

諸元＼方式		磁歪式	電磁誘導式	水中放電式
発信周波数		3～8kHz	0.4～14kHz	0.1～1kHz
分解能		30cm	15～20cm	1～2m
探査深度	砂	10m	10～30m	30～50m
	泥	50m	100m	200m

2. 2. 4 調査計画書の作成

十分な事前調査、収集資料の検討に基づき、作業地域、作業量、作業期間等について適切な計画を策定し、調査計画書を作成する。

調査計画書は、次に掲げるような調査の基本事項について記載するとよい。

(1)調査区域

調査の範囲を示す地点の位置を地理的経緯度で示すほか、付図等に明示する。

(2)調査精度

調査成果の縮尺および等深線間隔を示す。

(3)調査班の構成

使用機器の操作に関する法定責任者を含め、操作技量の練度等を考慮し、調査が円滑に進捗するよう適切な技術者、人員数で構成した調査班について、構成員の技術水準と人員数を記載する。

(4)調査期間

現地作業および整理作業について算定した作業日数を記載する。

(5)調査方法および数量

選択された各種調査手法について、各々の調査手法による作業区分、調査数量の算定を行い、調査方法と調査距離数等の算定数量を記載する。

(6)使用機器

主要機器について、名称、型式、数量、性能等の諸元を記載する。

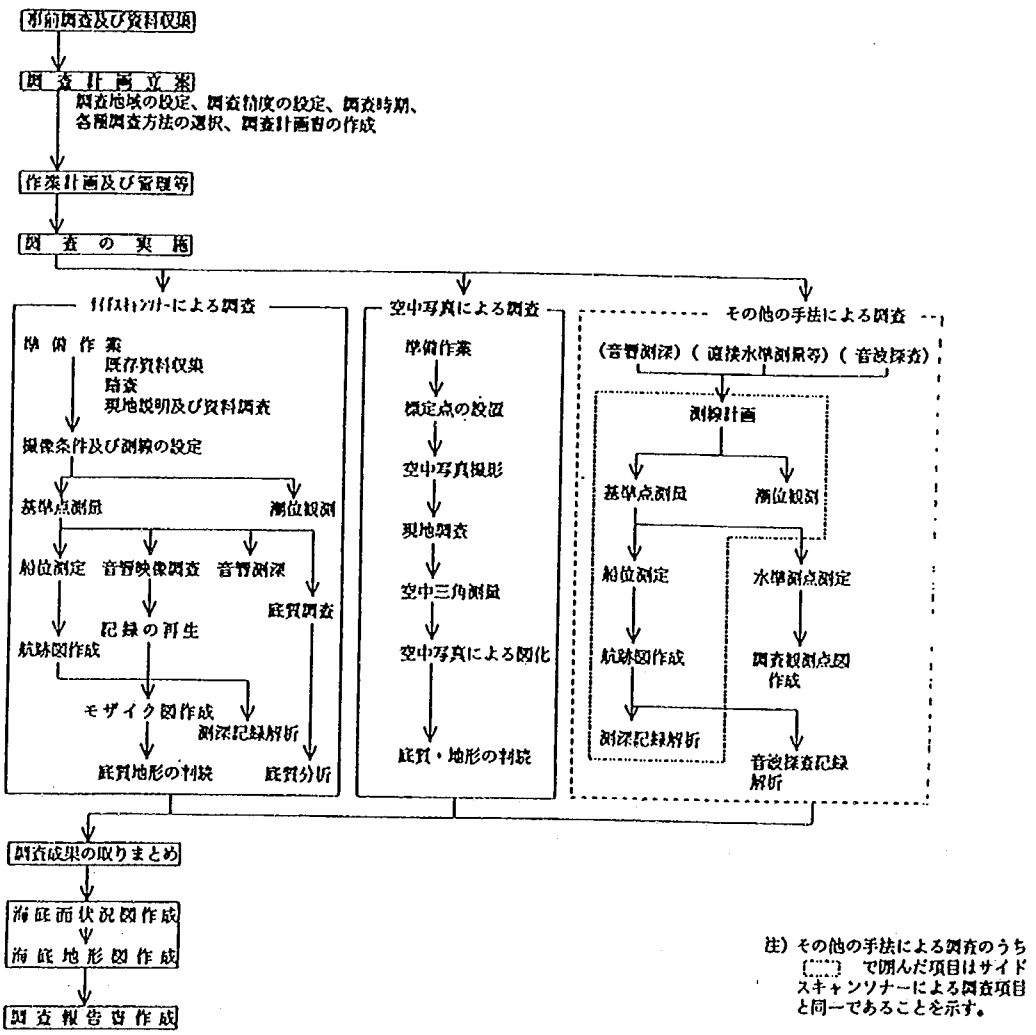
(7)成果及び資料

調査の成果について、成果品、資料品目および数量を記載する。

第3章　作業工程および管理等

3.1　工程別作業区分および順序

調査は、原則として図－3.1.1に示す作業工程区分および順序に従って実施する。作業方法とその内容は、本別冊の第4章～第7章に詳しく記載されている。この工程区分およびその順序は、作業能率を向上し、精度を保持し得る場合、一部を省略または変更することができる。



図－3.1.1　作業工程

3.2　精度の管理等

調査の正確さを確保するため、適切な精度の管理を行う必要がある。また、各工程別作業の終了時その他適切な時期に所要の点検を行う必要がある。使用する主要な機器については、作業中適宜点検を行い、必要な調整をする必要がある。このうち特定の機器については、所要の検定を受けたものを使用する。

第4章　サイドスキャンソナーによる海底地形・地質調査

4.1　要旨

サイドスキャンソナーによる海底地形・地質調査(以下、サイドスキャンソナーによる調査という）とは、サイドスキャンソナーによる海底面の音響映像の撮像作業、音響測深および底質調査を組み合わせた方法を用いて、海底面の微地形、底質、地質構造および水中構造物の状況を面的に把握する作業である。

サイドスキャンソナーにより得られる海底面の音響映像は、海底の面的な情報を表現している。海底の面的情報とは、海底の微地形（砂漣等)、底質分布、地質構造および水中構造物等をいい、サイドスキャンソナーによる調査では、これらの位置と分布を高い精度で測定することができる。ただし、音響測深機が測線直下の断面地形（水深）しか測定できないのに対して、サイドスキャンソナーでは深さ（水深）を測定することができない。このため、海底地形図の作成は音響測深を併用した調査を行う必要がある。また、音響映像記録から底質を決定する場合には底質調査を行い、その観察・分析結果と音響映像記録を比較する必要がある。

サイドスキャンソナーによる調査には、付帯作業として基準点測量、潮位観測、船位測定、音響測深、底質調査を含む。調査の作業区分および順序は、次のとおりである。

①準備作業
②撮像条件および測線の設定
③基準点測量
④潮位観測
⑤船位測定
⑥海底面音響映像調査
⑦音響測深
⑧底質調査
⑨分析・解析・図化

4.2　準備作業

サイドスキャンソナーによる調査の開始に先立ち、既存資料収集、踏査および現地打合せ等、適切かつ効率的な調査を実施するために必要な準備作業を行う。収集する資料には最新かつ信頼度の高いものを選ぶべきである。収集する資料は次のとおりである。

①三角点、多角点、水準点成果表及び配点図
②空中写真および参考図
③海図、深浅測量図、音波探査記録
④地形、地質、地盤等に関する記録、文献、報告書類
⑤海象・気象に関する資料
⑥その他必要な資料

また、あらかじめ調査対象区域周辺の現地踏査を行い、海岸地形、海岸構造物、基準点および水準点の状況を調査し、基準点測量等の計画のための資料とする。

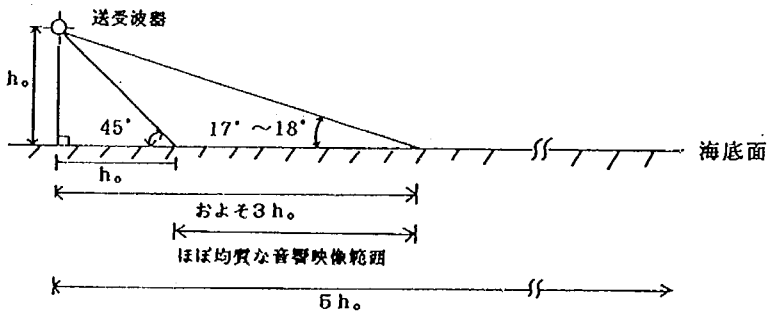
このほか、調査の開始に先立ち、港湾管理者、漁業協同組合等の現地関係機関に対し、調査内容、調査時期、調査方法等に関する説明を行うとともに、調査区域の漁業、海象等の情報を入手しておくことも重要である。海上保安部署への関係法令に基づく許可申請に際して、漁業協同組合の同意書の添付を求められる場合がある。

4.3 撮像条件および測線の設定

撮像条件の設定とは、探査範囲（レンジ）、送受波器高（送受波器の海底からの高さ）、調査船の性能、船速を検討し、適切な探査条件を定めることをいい、測線の設定とは、地形・地質の特徴を十分把握できるよう検討し、効果的な測線密度、測線形状、測線方向を定めることである。

4.3.1 撮像条件の設定

探査範囲は、原則として片側50～150mのなかから、調査成果の精度に必要な分解能が得られるよう適切に選択する必要がある。音響映像の分解能は、片側探査範囲の1／400である。例えば、片側探査範囲50mを使用した場合の分解能は、12.5cmになる。



図－4.3.1 ほぼ均質な音響映像の得られる探査範囲

送受波器は、最も安定した音響映像が撮像できる高さで曳航する必要がある。安定した映像が得られる範囲は、海底面が水平な場合の入射補角が17° ～18° から45° までの範囲、すなわち図－4.3.1に示すように送受波器直下からの横方向の距離が送受波器高h_0の1倍から3倍程度の範囲である。この範囲を有効に利用しようとする場合、送受波器高は片側探査範囲の20％程度とすることが望ましい。すなわち、片側探査範囲RはR≒5h_0となる。ただし、比高の小さな微地形や小物体について、その影を利用して形状の判読、高さの計測を行う場合には、影を大きくするために送受波器高を低くすると有効である。なお、水深10m以浅のような浅海域の探査では理想的な送受波器高を得ることができなくなるので、測線の間隔が狭くなり撮像効率が低下する。

使用する調査船は、次に示すような性能を備えている必要がある。

①調査器材と人員を乗せるスペースがある。

②完全に整備され、作業の保安上支障がない。

③信頼性の高い機関をもち、定速を保持できる。

④吃水が浅く、浅海部を航行できる。

⑤安定性に優れている。

調査船の船速は、音波が海底面を十分カバーし、かつ一定の速度で最も鮮明な映像が得られるよう設定する。横方向の音波のビーム幅（水平）を1.2°、送受波器高をh_0としたとき、一回の発振における進行方向のビーム照射幅は$2h_0\tan 0.6°$となる。したがって、海底面を十分カバーしかつ最も鮮明な映像が得られるのは、一回の発振から次の発振までの間に送受波器が$2h_0\tan 0.6°$進む場合である。発振間隔は片側探査範囲Rに比例し、R＝100mにおいて150msecに設定されている。したがって、片側探査範囲R(m)の記録に必要な時間は、0.0015R（sec）となる。ここで$2h_0\tan 0.6° = 0.0209h_0$の距離を進める場合の船速は、

$$V\ (\text{knot}) = \frac{0.0209}{1.5\times10^{-3}} \cdot \frac{h_0}{R} \cdot \frac{3600}{1.85\times10^{3}} = 27\frac{h_0}{R} \qquad (4.3.1)$$

となる。理想的な撮像条件として、$\frac{h_0}{R}=\frac{1}{5}$に保つとすれば、船速V＝5.4 knotとなる（表－4.3.1）。

表－4.3.1　理想的な場合の探査範囲・送受波器高・船速の関係

片側探査範囲　R(m)	50	100	150
送受波器高　h_0(m)	10	20	30
船　速　V(knot)	5.4		

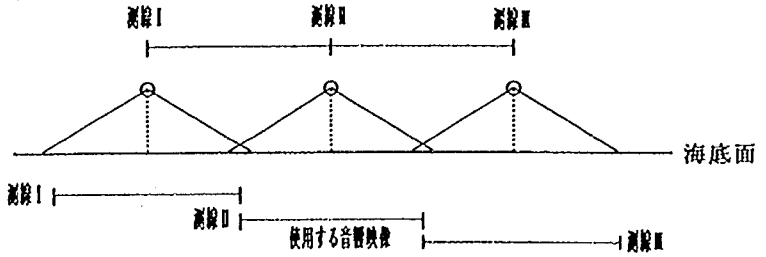
4.3.2　測線の設定

測線密度は、海底の撮像に空白部を生じないように、調査成果の精度を考慮して設定する必要がある。音響映像記録は、送受波器の主ビーム幅（垂直）の範囲外となる海底面では解像度が悪く、送受波器直下付近では判読が困難となる。したがって、測線密度は映像記録の利用範囲を考慮して決める必要があり、その設定方法としては図－4.3.2に示す3つのタイプが考えられる。

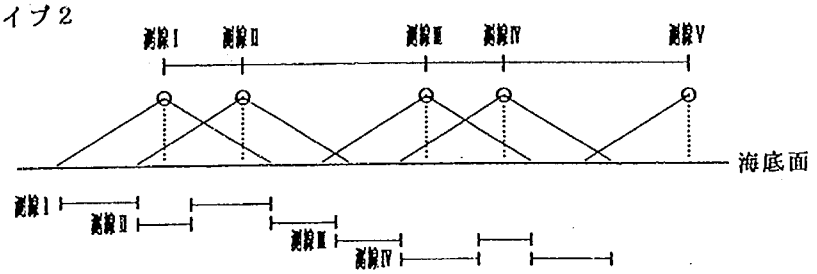
①タイプ1

測線密度を最も粗くすることができ経済的であるが、送受波器直下付近や入射補角が17°以下となる映像も使用することになるため、均質な映像に基づく判断がかなり難しくなる。測線の間隔は、片側探査範囲の2倍から送受波器の蛇行量の2倍を差し引いた値以下に設定する。

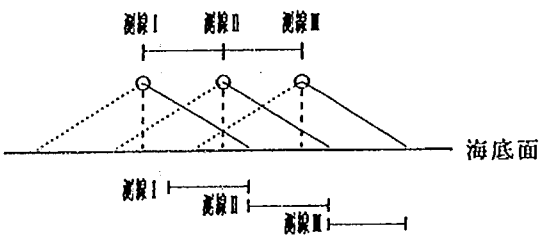
タイプ1



タイプ2



タイプ3



○ 送受波器

図－4.3.2　測線密度の基本タイプ

②タイプ2

送受波器直下付近の映像を使用しないで、ほぼ均質な映像を得るタイプである。測線の間隔は長い方を送受波器高の6倍程度、短い方を2倍程度とすることが望ましい。

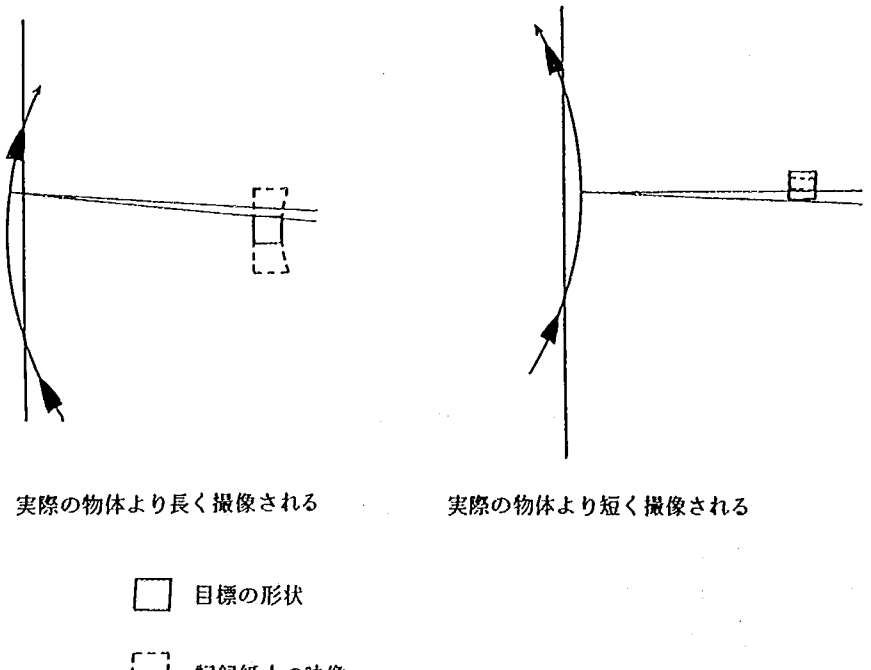
③タイプ3

影の方向も揃えようとするタイプであり、経費はかかるが、均質で判読しやすいモザイク映像図を作ることができる。測線の間隔は送受波器高の2倍程度とすることが望ましい。

サイドスキャンソナーの音波が到達可能な距離は、送受波器高の約20倍までであるが、その範囲内でかならずしも良好な映像が撮像されるとは限らない。したがって測線密度は①調査海域の水深、②サイドスキャ

ンソナーがカバーできる範囲、③測線密度の基本タイプによって設定することになる。

測線の形状は原則として直線とし、測線群は平行させることが望ましい。海岸線の形状または構造物等のために直線とすることができない場合には、調査海域状況に適した形状とする。探査測線を原則直線とするのは、測線が曲線の場合海底の形状が歪んで記録されるからである。測線の形と音響映像記録上の物体の歪みの関係を図－4.3.3に示す。



図－4.3.3　測線の形と物体の歪み

横方向の地形の傾斜に起因する位置のずれと、左右の映像の不均質を防ぐため、測線の方向は原則として平均的な等深線の方向に直交させることが望ましい。直交方向に設定できない場合は、調査海域状況に適した方向とする。測線を、送受波器の進行方向が平均的な等深線の方向に直交する方向（最大傾斜方向）となるように設定するのは、送受波器の進行方向と直交する方向に傾斜があると、斜距離補正が完全に行われないうえ、入射補角や音波の伝播距離が左右で異なるため、均質な映像が得られなくなるからである。

調査の対象物（微地形・表層地質構造）が判読しやすい測線方向を選ぶことも重要である。細長いものは塊状のものより判読しやすい傾向があるので、露岩地帯の節理・断層等の線状構造、サンドウェーブ等の帯状の地形を判読するためには、その延長方向に測線を設定し、それらを側面から連続的に撮像するようにする。

このほか、離岸堤等の施設基部の状況を把握するためには、対象物の側面から撮像できるように測線を設定する必要がある。また、調査船が進入できない海岸線付近では海岸線に平行する測線を設定することが望ましい。

4.4 基準点測量

基準点測量とは、調査船等の位置を決定するために必要な基準点を設ける作業をいう。基準点測量の方式・精度は、建設省公共測量作業規程「基準点測量」1～3級基準点測量の規定を準用する。基準点測量は、原則として海上作業前に実施する。

基準点測量を実施する前に準備すべき資料、器材等は、次のとおりである。

①三角点、多角点成果表、配点図および点の記等

②観測機器および必要な各種器材等

③観測手簿類

設置すべき基準点のうち、電波測位機の従局点は、辺長の交会角（30°～150°の範囲）、電波到達距離および電波障害等を考慮し、最も適切な場所に選点する。また、光学的測位に必要な基準点は、見通しの良好な場所に選点する。

電波の到達距離は、次式により求めることができる。

$$D=4.12\sqrt{h} \qquad (4.4.1)$$

ここに、D：電波到着距離（km）、h：従局アンテナの高さ（m）である。新設された基準点には木杭または、金属鋲を打ち、ペンキ等により識別が容易となるようにする。

基準点の成果は、成果表と点の記に分けて整理する。基準点配点図は、5万分の1地形図上に記入し整理する。測量結果については、計算および整理が定められた通り正しく行われ、かつ測量もれがないか厳密な点検を行う。基準点測量による成果および関連する資料は次のようになる。

①三角点、多角点の成果表および配点図

②基準点観測手簿および計算簿

③基準点成果表および点の記

④基準点配点図

4.5 潮位観測

潮位観測とは、測深基準面の決定および水深の潮位補正のために必要な験潮作業をいう。潮位観測は、験潮所、量水標もしくは潮位観測所、仮量水標による観測または直接測定により行う。験潮儀は、原則として記録の縮率が1／20以上の水圧式、またはフロート式の自記式のものを使用する。測深基準面は、原則として東京湾の平均海面T.P.±0.0000mとする。潮位観測所等は、海底面音響映像調査の前に設置しなければならない。

潮位観測を実施する前に準備すべき資料、器材等は、次のとおりである。

①水準点の成果表、配点図および点の記等

②レベル、標尺、験潮儀および必要な各種器材等

③自記験潮記録紙

験潮儀等は、次の点を満たす場所を選定して設置する。

①海域を代表する場所

②風、波浪の影響が少ない場所

③河川の影響のない場所

④最低低潮位時に干出しない場所

⑤設置、管理が容易である場所

潮位観測所等のベンチマークの取り付けは、3等または3級以上の水準点から行い、水準測量は建設省公共測量作業規程「基準点測量」3級水準測量の規定に準じて実施する。その際、験潮儀の側傍に標尺（副標）を鉛直に設置し、ベンチマークとの水準差をあらかじめ測定しておく。また、験潮記録の縮率を求めるために、副標との潮位直視観測を実施する必要がある。潮位直視観測は、大潮時の高潮位の1時間前から低潮位の1時間後まで、または低潮位の1時間前から高潮位の1時間後まで、10分間隔で実施する。

験潮儀による潮位観測は、調査の全期間にわたり連続して行う。験潮儀の点検は1日1回以上行い、験潮儀の作動および記録の確認を行うとともに、副標の潮位直視観測位置を記録紙にマークし、日付け・読取値および正確な時刻の記入を行う。

潮位直視観測の結果は、調査海域所在地、潮位観測所名、測深基準面と験潮儀との関係、点の記等を付して整理する。験潮記録は、調査海域、験潮所等名、記録月日、験潮時間等を明記して整理し、潮位補正表を作成する。潮位観測の成果および関連する資料は次のようになる。

①水準点成果表および配点図

②水準測量観測手簿

③潮位直視観測記録簿

④験潮記録紙

⑤潮位補正表

4.6　船位測定

船位測定とは、調査船等の位置を決定する作業をいう。船位測定は、原則として電波測位機を使用した辺長交会法によるが、調査区域が海岸に近接し、陸上の基準点の視認が容易な場合は、次の方法を用いることができる。

①トランシットまたは六分儀および測距儀による直線誘導法（一距離一角法）

②トランシットまたは六分儀による交会法

③トータルステーションによる方法

電波測位機は、自動印字方法で、測距精度：±（1m＋3×10^{-6}D）以内（D：距離、単位：m）のものを用いる。トランシットを使用する場合は、10秒読（最小目盛10秒）以上の精度をもつものとし、距離4km以上の測定には使用しない。トータルステーションは、トラッキング機能を有するものでなければならない。

船位測定の結果位置が決定された点（測線標定点）の誤差は±5m以内を目安とする。船位測定作業を実施する前に準備すべき資料、器材等は、次のとおりである。

①電波測位機、六分儀、トランシット

②観測手簿、記録紙等

③図紙等

電波測位機の従局は、基準点測量で求めた位置の直上に設置する。船位測定の時間間隔は、原則として1分とし、さらに測定間隔が200m以上にならないように実施する。電波測位機による辺長の交会角は30°～150°を原則とする。測位機主局のアンテナは音響測深機の送受波器の近傍に設置し、相互の位置関係を測定しておく。また、作業開始前に既知点において測位機の点検を行う。

航跡図は測線番号、測線標定点番号、日付け、その他参考となる事項を記入して整理する。また、電波測位記録紙には、日付け、時刻、従局点の名称と座標値、測線番号、測線標定点番号、その他参考となる事項を記入して整理する。トランシットまたは六分儀による交会法を用いた場合には、測位観測手簿に測定値を記入して整理する。船位測定による成果は次のようになる。

①電波測位記録紙

②測位観測手簿（電波測位方式を除く）

4.7　海底面音響映像調査

海底面音響調査とは、サイドスキャンソナーにより海底面の音響映像記録を得る作業をいう。サイドスキャンソナーは、次に示す規格・性能を有するものを使用する。

①発振周波数：100kHz～500kHz

②分解能：片側探査範囲の1／400

③記録縮尺：縦・横1／5000以上

④MT等にデータを収録できる機種

海底面音響映像調査を実施する前に準備すべき器材等は、次のとおりである。

①サイドスキャンソナー

②記録紙類

③収録用MT

サイドスキャンソナーの調整では、発振、受信、記録の総合動作が正常で安定していることを確認するとともに、調査海域において調査前に十分テスト航行を行い、最も良好な音響映像が得られる撮像諸元（感度等）を設定しておく必要がある。送受波器は船尾のほか、船首または舷側から曳航することを原則とする。その際、本別冊「4.6　船位測定」に述べたように、電波測位機主局のアンテナと送受波器との位置関係を明らかにしておく必要がある。

調査の実施に当っては、次に示す事項に留意する必要がある。

①記録は、テスト航行で設定した撮像諸元に基づき、海底面の状況が鮮明で解析が容易となるよう同一濃度にする。

②船速はできる限り一定速度を保持する。

③調査船の予定測線からの偏位を修正する場合には、舵角を小さくとり徐々に測線に戻るように操船する。

④音響映像記録に異常が認められるときは再測を行う。

現地で取得するデータは、すべてMT等に収録する。記録紙には、日付け、探査範囲、曳航ケーブル長、

時刻、測線番号、測線標定点番号、その他参考となる事項を記入して整理する。海底面音響映像調査の成果は、次のようになる。

①記録紙

②収録MT

4.8　音響測深

音響測深とは、音響測深機により海底地形の状況を記録整理し、海底地形図を作成するための資料を得る作業をいう。音響測深機には、次に示す規格、精度を有するものを使用する。

①音波の指向角：3°以内（半減半角）

②測深の精度：±（10＋D／1000）cm 以内　（D：水深、単位：cm）

③発振周波数：200kHz程度

音響測深は、海底面音響映像調査と同時に実施する必要がある。測線は、海底面音響映像調査と同じ測線で、検測線を測線に交差するように設定する。音響測深を実施する前に準備すべき器材等は、次のとおりである。

①音響測深機

②記録紙類

音響測深機の送受波器は舷側の動揺の少ない場所に設置し、取り付け直後と取り外し直前に送受波器の深さ（吃水量）を測定する。音響測深機の感度は可能な限り低くし、濃度を一定に保ち、良好な記録が得られるように調整する。音響測深機は常に正常に作動していることを確認する。

音響測深機の調整および作業中の点検に関する留意事項は次のとおりである。

①送受波器の支持棒は、船を水平に保った状態において鉛直になるように取り付ける。

②作動時の負荷電圧が規定値内にあることを確認する。

③同期表示装置が正常であることを確認する。

④発振線、固定線等が十分な濃度を保持していることを確認したのち、海底地形および海草等との記録の識別が容易となるよう感度を調整する。

バーチェック（海中の所定の深度ごとにつりさげた音響反射板の反射信号を記録することにより海中音速度の補正量を求める作業）は毎日1回以上、原則として全深度にわたって実施する。バーチェック用の索は、ワイヤー等を使用し、目盛の誤差は±1cm以内を目安とする。目盛の間隔は次のものを標準とする。

0～10m	1m間隔
10～30m	2m 〃
30～50m	5m 〃

バーチェックは、原則として作業開始前にチェック地点で測定可能な最大深度まで行う。測定はバーの下げ、上げの記録の他に、吃水量点検のための記録を記録紙上に記録させる。また、音響測深機のペン、ベルト等を交換した場合は、その都度バーチェックを実施する。バーチェックの結果は、バーチェック補正表として整理する。

音響測深記録紙には、日付け、送受波器の深さ、時刻、測線の番号、測線標定点の番号、その他参考となる記事を記入し整理する。音響測深記録に異常が認められる場合には、再測を行わなければならない。また、各測線と検測線の交点深度を比較した交点チェック表を作成し検討する必要がある。音響測深の成果および関連する資料は次のようになる。

①バーチェック補正表

②交点チェック表

③音響測深記録紙

4. 9　底質調査

底質調査とは、採泥器等により海底の構成物質を採取し、底質特性を調べるのに必要な試料を得る作業をいう。底質の採取は、原則としてグラブ式採泥器を使用して行う。グラブ式採泥器の種類は、スミスマッキン・タイヤー型、エクマンバージ型採泥器等があり、調査海域の底質に適合するものを使用する。底質調査は海底面音響映像調査の後に行う。

底質調査を実施する前に準備すべき器材等は、次のとおりである。

①採泥器

②底質簿・観測手簿類

③標準土色帳

底質採取地点の選定に際しては、音響映像パターンと底質調査結果を比較するために、海底地形状況を考慮して音響映像の階調の異なる地点を選定する。底質の採取量は500ｇ以上必要である。底質の観察は、底質採取時に試料の色（標準土色帳を使用して判定する）、臭気、粒径（指触法による）、貝殻片の量、形状等について行い、底質簿に記入する。採取した試料は、アクリル製円筒形容器に収納し、地区名、日付け、地点番号、採取深度、底質名を記入したラベルを添付し整理する。

底質調査の成果は、次のようになる。

①底質簿・観測手簿

②採取地点図

③底質試料

4. 10　分析・解析・図化作業

分析・解析・図化作業とは、以上に記した現地作業で得られた各種の資料を用い、海底地形図および海底面状況図等の作成に必要な資料を作成する作業をいう。図化の縮尺は、1／5,000～1／10,000を標準とする。図化素図にはポリエステルベース（#300以上の厚さのもの）を使用する。

(1)　航跡図作成

航跡図は、船位測定結果に基づき船位（測線標定点）を展開し、モザイク図用と水深読取図用の2種類を作成する。その際、電波測位による斜距離補正が図上0.2㎜以上となる場合には補正を行う。測線標定点の許容誤差は、図上0.2㎜を目安とする。モザイク図用航跡図では、あらかじめサイドスキャンソナー

の送受波器の位置を展開しておく必要がある。

(2) 測深記録の整理・解析

音響測深記録紙から水深を読み取る前に、機械的誤差、水中音波速度の変化による誤差、送受波器の吃水量および基準面（T.P.）からの潮位補正量を求め、これらの補正を行わなくてはならない。

音響測深機の機械的誤差および水中音波速度の変化による誤差は、バーチェック記録の下げと上げの2回の測定値の平均と、チェックバーの深さとの差をもとにして補正する。この作業により、水深読取り用のパーセントスケール（0.5%ごと）を決定し、記録紙上の基準線（発振線）をもとにバーチェック結果から得られた実効発振補正量、送受波器の吃水量および潮位補正量を補正した水深読取り基準線を決定する。

水深は、記録紙上に記入した水深読取り基準線から、パーセントスケールにより読み取る。水深の読み取りを行うべき箇所は、測線標定点、凸部、凹部、傾斜変換点、水深1mごとの地点(必要な場合には0.5mごとの地点)およびその他地形図作成に必要な地点である。水深読取図は、航跡図に記録紙上で読み取った水深位置をプロットし、ポリエステルベースに水深位置を転写し水深を記入する。

(3) 底質分析

採取したすべての試料について、JIS A 1202、1204の試験方法により分析を行う。その際、ふるいの間隔は1/4φスケールが適当である。底質区分は、ウェントワースの粒径区分をもとに行う。分析結果から粒径加積曲線を作成して中央粒径値(Mdφ)を決定するとともに、必要に応じて平均値（$\overline{X}$）、淘汰度（$\delta\phi$）を求める。

JIS A 1204「土の粒度試験方法」では、粒径区分を片対数方眼紙の対数目盛の横軸に、ふるい通過重量百分率を縦軸に取り、粒径加積曲線を描いて表示する。ウェントワース式の粒径区分に基づき、底質を礫、砂、泥のいずれかに大区分し、単一物質が含有率75%以上の場合はさらに小区分する。礫（G）はbG，cG，pG，gGに、砂（S）はcS，mS，fSに、泥（M）はSi，Cyのいずれかに小区分する。ただし、含有率50%以上の物質が無い場合は、単にG、S等と区分する。混合底質は、図－4.10.1に示す。

底質の分類に従って区分するとよい。

中央粒径値（Mdφ）は、粒径加積曲線上で百分率50%の点の粒径を中央粒径値として求める。一般に浅海域では波による攪乱の激しい場所で中央粒径値が大きく、攪乱の小さい場所で中央粒径値が小さい。

平均値（$\overline{X}$）は、重量百分率84%、50%、16%の粒径を、φ84、φ50、φ16で表すとき次の式で求めることができる。

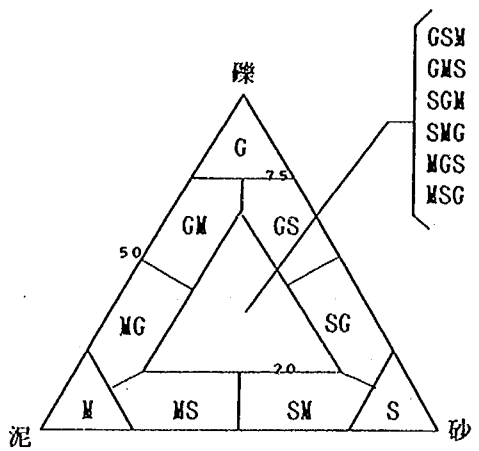
$$\overline{X} = (\phi 84 + \phi 50 + \phi 16) / 3 \qquad (4.10.1)$$

また、淘汰度（$\delta\phi$）は次式で求められる。

$$\delta\phi = (\phi 84 - \phi 16) / 4 + (\phi 95 - \phi 5) / 6.6 \qquad (4.10.2)$$

淘汰度の値が小さいということは粒径加積曲線の勾配が大きく、粒径が一様であることを示す。また、淘汰度の値が大きい場所では粒径加積曲線の勾配が小さく、粒径が不均質であることを示す。

混合底質の分類基準



粒度の基準

ウェントワース式			
直径		名称	
mm	* φ	小区分	大区分
1024	-10	巨礫(bG)	礫(G)
512	-9		
256	-8	大礫(cG)	
128	-7		
64	-6	中礫(pG)	
32	-5		
16	-4		
8	-3		
4	-2	細礫(gG)	
2	-1	粗粒砂(cS)	砂(S)
1	0		
1/2	1	中粒砂(mS)	
1/4	2	細粒砂(fS)	
1/8	3		
1/16	4	沈泥(Si)	泥(M)
1/32	5		
1/64	6		
1/128	7		
1/256	8	粘土(Cy)	
1/512	9		
1/1024	10		

* $d = 1/2^{\phi}$　但し、dはmm単位の直径

図－4.10.1　底質の分類

(4)　音響映像記録による底質・地形の判読

船位測定により得られた位置データをもとに、縦横比が1：1の音響映像記録を作成する。これら音響映像記録を図化の縮尺に合わせて写真処理を行い、モザイク用航跡図上に張り合わせてモザイク図を作成する。作成されたモザイク図より底質の分布、地形の骨格を判読し、音響映像判読図を作成する。

岩盤および各種堆積物の判読は、音響映像の色調・模様等から底質の判読基準に基づいて行う。一般に、底質判読基準および底質の粒径と音響映像の色調との関係は、表－4.10.1、4.10.2、図－4.10.2のように

なる。しかし、音響映像の色調は撮像諸元により大きく異なるので、音響映像のみで底質を決定することは困難であり、底質調査結果と音響映像パターンを比較して底質を決定する必要がある。底質の違いによる音響映像の色調の変化は①徐々に漸移する、②斑状に漸移する、③明瞭に変化するの3つの場合がある。②と③、特に③は底質の違いに加え地形の違いをも反映している可能性が高い。

海底地形および構造物等の判読は、海底地形を制約している自然条件（地質構造、海象条件等）と人為的要因（海域の利用形態等）を考慮し、表－4.10.3に示すような判読基準に基づいて行う。水中物体の高さは、音響映像から計測することもできるが、その物体上を通過した音響測深記録から測定した方がよい。特定の水中物体については、あらかじめ設計図等を入手し、これと照合して判読する必要がある。自然地形の配列は、地質構造（成層構造→ケスタ状地形等）や海象条件（流れ→サンドウェーブ）等に支配されるので、これら自然条件を考慮して判読する必要がある。また、音響映像記録には類似する映像があるので、その識別にも留意する必要がある。表－4.10.4に類似映像の識別例を示した。

分析・解析・図化作業の成果は、次のようになる。

①水深読取図

②モザイク図

③音響映像判読図

④航跡図

⑤底質分析結果表

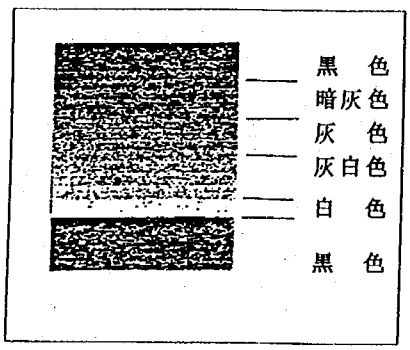
表－4.10.1　底質判読基準

底質		音響映像パターン
岩盤	起伏のある岩	突起部の黒色部分とその影となる白色部分が交互に断続的にあらわれる。岩質によっては層理・節理などがみられる場合がある。
	平滑な岩	均質な暗灰色 層理・節理などがみられる場合がある。
礫・礫砂 砂礫・貝殻		均質な濃い黒色 灰色の斑状模様を伴う場合もある。
粗砂 中砂		暗灰～灰白色の基調で、灰色の斑状模様を伴う。 礫混りの場合は、均質な暗灰色となる。
細砂・砂泥 シルト・ 泥砂・粘土		白～灰白色の基調で、灰色の帯状の斑状模様を伴う場合もある。 均質な細砂・粘土は、均質な白～灰白色。

表－4.10.2　粒径と色調の関係

粒径(mm) (φ)	2 －1		0.5 1	0.25 2	0.063 4		0.004 8
底質区分	礫	粗　砂		中砂	細　砂	シ　ル　ト	粘土
色　　調	―黒色―						
		―暗灰色―					
			―灰色―				
						灰白色	
						白　色	

（注）色調名は図－4.10.2を参照のこと。ただし、サイドスキャンソナーの感度を上げると音響映像は黒くなり、感度を下げると白くなる。



図－4.10.2　色調名

表－4.10.3　海底地形等の判読基準

各種地形等		音響映像パターン
自然地形	露岩地形	岩質・表面形状により異なる。 互層がケスタ状に侵食された場合は、黒白の縞模様が連続して見られる。
	砂・泥質堆積地形	映像パターンの区分は底質判読基準に準ずる。
	段差	断層地形などで段差となる壁の部分が黒～暗灰色の細長い帯状の模様で描かれる。
	サンドウェーブ等	黒白の縞模様が連続して見られる。白と黒の色調は凹部と凸部だけでなく、底質の違いも反映している。
	みおすじ	河口部のみおすじは周辺よりやや濃い暗灰色の色調で描かれる。
人為的地形改変	アンカー曳きずり跡	均質な色調の背景のところに、黒色の筋状模様で描かれる。
	海底配管埋設跡浚渫跡	周囲は自然地形で平滑なため均質な色調。埋没溝部分は一定の幅で斑状模様。溝壁は黒又は白で周囲と溝とを明瞭に分けている。
浮遊物等	魚群	黒く小さな点が多数描かれる場合と、黒い帯状に描かれる場合とがある。
	気泡のアワ	黒～暗灰色の細長い帯状模様で描かれる。
	海草	音波が遮断されるため、航跡に直交方向に白く抜ける。
人工構造物・物体	人工礁等	輪郭は礁の形状により異なるが、黒～暗灰色の角形、又は円形で描かれる場合が多い。大型礁になると後側に白色部の影を伴う。 コンクリートブロックや捨石の場合は、明瞭に記録される。中空のポリエチレン等の漁礁や素焼きのタコツボなど、材質が薄く、また反射強度の小さい物体は記録されにくい。定置網の残がい（土ノウ）は、黒～暗灰色の点状に記録される。
	ロープ	均質な色調の背景に黒っぽい筋状に記録される。
	防波堤等	護岸壁等は黒い線状に描かれ、背後は白く抜ける。 捨石等は黒白の斑状又は縞模様で描かれる。

表－4.10.4　類似映像の識別

類似映像	識別基準
段差地形と航跡底質	段差地形は　①交差する測深記録には必ず段差があらわれる。 航跡のアワは　①しばらくして再測すれば記録されない。 ②交差した場合、直下記録の海水中部分にも黒い記録があらわれる。 粗粒堆積物からなる細長い微凹地の可能性もある。
ｻﾝﾄﾞｳｪｰﾌﾞとケスタ状地形	ｻﾝﾄﾞｳｪｰﾌﾞは　①縞模様が連様に波うつ場合がある。 ②縞模様の黒い部分がやや淡く、白色部との境界もやわらかい。 ケスタ状地形は　①縞模様の黒い部分がはっきりとし、白色部との境界も鋭い。 ②断層・節理等の線状構造で切られることが多い。 採泥資料・測深記録や音波探査記録があれば、これと照合させて判断する。
岩礁地形と人工礁基礎捨石	岩礁地形は　①地質構造(断層・節理)や堆積岩の堆積面をあらわす層理面を反映している場合が多いので、大局的分布方向・形状等を判断する。 人工礁は　①堆積物中に設置されたものは、配置計画と照合させて判断する。 ②岩礁上に置かれたものは、測深記録との照合で判断する。 基礎捨石は　①構造物周辺に規則的（計画に近い形状で）に分布することにより判断する。
海草による音波遮断記録の類似例	送受波器が海面に浮いた場合 ――― 送受波器の状態を現地で見れば判る。 接触不良 ――― 機器の点検が必要 水深が浅く透明度が良い場合は、現地で確認できる。

第5章　空中写真による海底地形・地質調査

5.1　要旨

空中写真による海底地形・地質調査（以下、空中写真による調査という）とは、調査海域の空中写真撮影を行い、海底地形・海岸地形・地物等の測定・図化、および海底微地形・底質等の自然条件、人工構造物の状況を面的に把握する作業をいう。この章に記述されない事項については、建設省、各都道府県等の公共測量作業規程「空中写真測量」を準用する。

空中写真による調査で作成する海底地形図等の縮尺は、1／5,000～1／10,000を標準とする。

調査の作業区分および順序は、次のとおりである。

①作業計画
②標定点の設置
③対空標識の設置
④空中写真撮影
⑤現地調査
⑥空中三角測量
⑦空中写真による図化
⑧空中写真による底質・地形の判読

5.2　標定点の設置

標定点の設置とは、既設点のほかに空中三角測量および図化において、空中写真の標定に必要な基準点と水準点（以下、標定点という）を設置する作業をいう。海域の撮影では、標定点を陸域に設置するため、空中写真に写される範囲が狭くなり、空中三角測量に必要な標定点の数が不十分な場合が多くなる。したがって、配点計画について十分検討しなければならない。また、海上に標定点を設置する場合には、設置場所、配点計画についても十分検討しなければならない。

陸域の標定点の設置については、基準点は建設省公共測量作業規程「基準点測量」4級基準点測量に、水準点は同簡易水準測量にそれぞれ準じて実施する。

海域の標定点のうち基準点は建設省公共測量作業規程に規定する1～4級基準点からの三角方式または三辺測量あるいはこれらの組み合わせにより設置する。水準点は直接水準測量により設置し、それが困難な場合には標定点の水深と海面高の同時測定により設置する。

成果および関連する資料は次のようになる。

①標定点成果表
②標定点配置図および水準路線図
③標定点測量簿および同明細簿
④標定点表示空中写真
⑤精度管理表

5.3 対空標識の設置

対空標識の設置とは、基準点、水準点、標定点等（以下、この章において基準点等という）に標識を設置する作業をいう。対空標識は、設置場所を十分に検討し、引き伸ばし空中写真上で確認できるような大きさ、形状、色調のものを設置する。海上および海底に設置する対空標識は、波浪や潮流等による移動が最小となる方法で固定する必要がある。

海域部に設置する対空標識の大きさは、撮影縮尺を考慮して決定するものとし、海上の場合は短辺50cm以上、長辺2m以上、海底の場合は短辺、長辺とも90cm以上とすることが望ましい。また、海底に設置する対空標識は、底質と区別できるような色調のものを使用する。海上に設置する対空標識は、4点アンカー等、変位量が最小となる方法で固定する。

成果および関連する資料は次のようになる。

①対空標識点明細簿および偏心要素測定簿

②偏心計算簿

③対空標識点表示密着空中写真

④対空標識点一覧表

⑤精度管理表

5.4 空中写真撮影

空中写真撮影とは、海底地形・地質の面的調査に用いるカラー空中写真を撮影する作業をいい、後続作業に必要な写真処理工程を含む。空中写真の撮影縮尺と図化縮尺との比は、次に挙げるものを標準とする。

図化縮尺	撮影縮尺	図化倍率
1／5,000	1／10,000～1／20,000	1：2～1：4
1／10,000	1／20,000～1／30,000	1：2～1：3

ここでは撮影写真からの図化倍率を大きくしないよう配慮し、一般の陸域部の図化に比して図化倍率を½程度としている。また、航空機及び航空カメラ等は所要の性能を有するものを使用する。

撮影計画は、撮影区域ごとに次の条件を考慮して作成する。

①基本コースは、原則として海岸線と平行に陸域部分が50%以上入るように設定する。

②基本コースで調査地域がカバーできない場合には、基本コースからからタイポイントが取れるような海上コースを設定する。

③海上写真はハレーションの影響のないように留意し、必要により隣接空中写真の重複度（オーバーラップ）は80%、コース間の重複度（サイドラップ）は30～60%とする。

④同一コース内の撮影は、直線かつ等高度とする。

海岸線の撮影に際して、写真中心点が陸域内にあるように計画することは、写真測量の原則的な問題であった。しかし、最近の写真測量器材の進歩により、解析図化機を図化に用いる場合には、写真中心点が陸域部になくとも計算により写真の画枠の指標を写真中心点に置き換えて、空中三角測量が行えるようになっている。

ハレーションの影響がある場合には、80%のオーバーラップを持たせ撮影を行う。60%撮影では必ず空中写真上の同一場所にハレーションが入るので、80%撮影写真を20%づつずらして、1枚置きの写真で60%オーバーラップのモデルを形成し、前の撮影写真のハレーション部分を次の撮影写真により補うことができる。

撮影は、原則として気象・海象状態が良好で、かつ撮影に適した時期に行う必要がある。海域の撮影では、波浪・太陽光線等の状態により全く情報の得られない写真となってしまう可能性があり、撮影時期・時間には特に注意が必要である。調査地域の気象条件等を考慮し、陸から沖への風向が卓越する季節に、撮影時期を設定することが望ましい。撮影時間帯は、太陽高度との関係を考慮し、ハレーション等の影響が少ないときを選ぶ必要がある。したがって、高曇りの日または太陽高度40°前後の時間帯を選んで撮影を実施する。

空中写真撮影の成果および関連する資料は次のようになる。

①ネガフイルム
②密着印画
③標定図
④撮影記録
⑤精度管理表

5.5 現地調査

現地調査とは、海底地形図、海底面状況図等を作成するために必要な細部事項、固有名称等を考慮して現地において調査確認し、その結果を空中写真および参考資料に記入して、図化および編集に必要な資料を作成する作業をいう。現地調査は、予察（現地調査の前に、空中写真によって必要な事項を判読しておくこと）の結果に基づいて空中写真および各種資料を活用して行う。実施する項目は次のとおりである。

①予察結果の確認
②空中写真上で判読困難または判読不能な事項
③空中写真撮影後の変化状況
④注記に必要な事項
⑤その他特に必要な事項

現地調査の成果および関連する資料は次のようになる。

①現地調査結果を整理した空中写真
②精度管理表

5.6 空中三角測量

空中三角測量とは、コンパレータ等によりパスポイント、タイポイントおよび基準点等の座標を測定し、調整計算を行った上、パスポイント、タイポイント等の水平位置と標高を定める作業をいう。空中三角測量の調整はコース単位またはブロック単位に行う。コース単位の調整には多項式法、ブロック単位の調整には多項式法、独立モデル法またはバンドル法を用いる。モデル内での海域の占める割合が多くなるほど不完全モデルとなりやすいので、そのような場合には図化時に所要の図化精度を維持するよう解析図化機を用いて

標定を行う必要がある。

空中三角測量の成果および関連する資料は次のようになる。

①空中三角測量成果表

②空中三角測量実施一覧表

③パスポイント・タイポイントの表示ポジフィルム

④パスポイント・タイポイントの表示密着空中写真

⑤基準点残差表

⑥座標測定簿

⑦計算簿

⑧精度管理表

5.7 空中写真による図化

空中写真による図化とは、空中三角測量および現地調査等の結果に基づき、各種表現事項を図化機により測定描画し、図化素図を作成する作業をいう。図化機には原則として解析図化機を用い、所定の精度を保持できる性能を有し、かつ検定を受けたものを使用する。

海域の標高（水深）を求める際には、海水による屈折補正を行う。具体的は、機械単点の座標値、空中三角測量により算出した各写真の投影中心の座標、および撮影時の海面高より、各単点の水深の屈折補正を行う。

空中写真測量で海底地形を撮影した状況を図－5.7.1に、撮影状況の断面図を図－5.7.2に示す。ここで、O_1、O_2はそれぞれ左写真及び右写真の撮影点（レンズ中心点）を、H_1、H_2は、O_1、O_2からそれぞれ垂線を下ろして海面と交わる点を示す。海底の点D_2は左写真上でA_1、右写真上でA_2の点に撮影され、それぞれを通る光線は海水面とR_1、R_2で交わり屈折の法則を満たす。それぞれの光線を含む2つの断面についての幾何光学的条件は図－5.7.3に示す通りである。

2つの光線がR_1、R_2で屈折せずに直進したとすると、2つの光線はD_1で交わる。写真測量では幾何学的な位置関係で高さが示されるため、D_1点の深さとして得られる。これは、通常人間が水中の物体を観測した場合に、実際の深さより浅く見える現象と一致している。ここで、補正因子Fcを導入すると、

$$h = h' Fc \qquad (5.7.1)$$

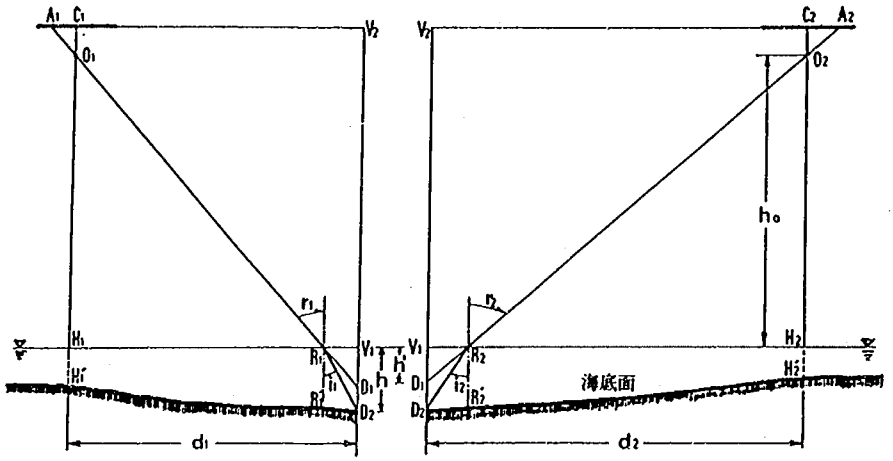
h：真の深さ V_1D_2

h'：みかけの深さ V_1D_1

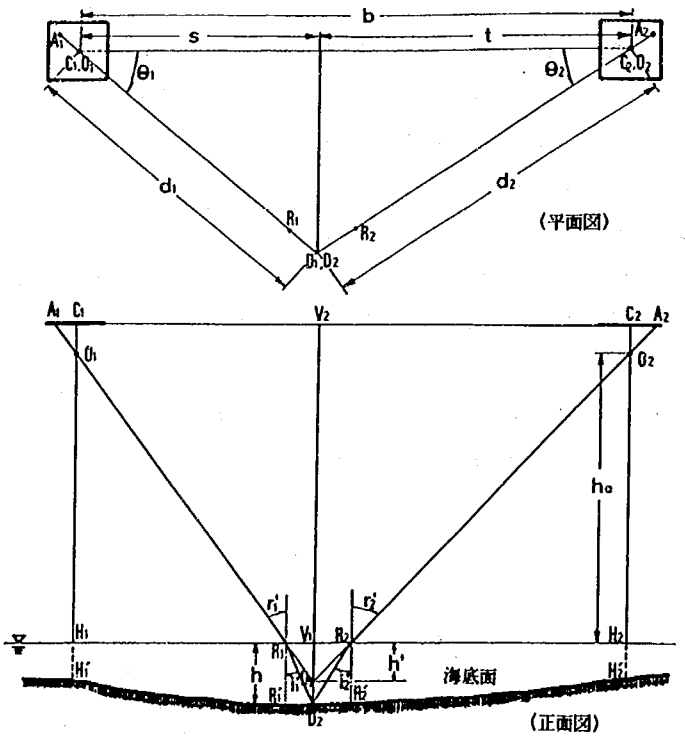
となる。R_1、R_2の点で屈折の法則を適用すると式（5.7.1）は、

$$Fc = \frac{\tan r_1 \cdot \cos\theta_1 + \tan r_2 \cdot \cos\theta_2}{\tan i_1 \cdot \cos\theta_1 + \tan i_2 \cdot \cos\theta_2} \qquad (5.7.2)$$

となる。式（5.7.2）のように角度を用いた表現では実際の計算を行う上で複雑であるため、位置の関数として表すとFcは次のように表される。



図－5.7.2　海底地形の撮影状況（断面図）と幾何光学条件



図－5.7.3　海底地形の撮影状況（平面図および正面図）と幾何光学条件

$$Fc=\frac{\dfrac{b}{h_a+h'}}{\dfrac{s}{\sqrt{(n^2-1)d_1^2+(h_a+h')^2n^2}}+\dfrac{t}{\sqrt{(n^2-1)d_2^2+(h_a+h')^2n^2}}} \qquad (5.7.3)$$

ここで、b、h_1、s、t、d_1、d_2は図−5.7.2および図−5.7.3に示される長さで、nは海水の屈折率である。Fcを式（5.7.3）に基づいて各点ごとに計算し補正を行えば、見かけの深さから真の深さを求めることができる。ここで、海水の屈折率$n(\theta)$は

$$n(\theta) = n_0(\theta) + \kappa(\theta)\,Cl \qquad (5.7.4)$$

で表される。θは海水の温度（℃）、$n_0(\theta)$は純粋の温度θのときの屈折率、$K(\theta)$は係数、Clは塩素量（パーミル）である。ナトリウムD線（波長589.3nm）に対する海水の屈折率の値が上式で求められる。日本近海での海水の温度を5°～25°とし、日本近海の塩分（PSAL）から塩素量Clを平均22とした場合（国立天文台編　理科年表1991による）の計算では、1.3415～1.3397と求められ、一般にはn=1.34が用いられている。

図−5.7.1でA_1、O_1、R_1、D_2、V_2を通る平面と、A_2、O_2、R_2、D_2、V_2を通る平面は、鉛直線V_2D_2で交わる。直線$A_1R_1D_1$が平面$A_1O_1R_1D_2V_2$に、直線$A_2R_2D_2$が平面$A_2O_2R_2D_2V_2$にそれぞれ含まれるため、D_1は鉛直線V_2D_2上にあることが分かる。これより、写真測量で得られる見かけの深さを示す位置と真の位置との関係で、水平位置は光線の屈折の影響を受けないことになる。よって、海水面での光線の屈折は図化機で測定するときにも、空中写真に縦視差を与えることがないため、写真測量を海底地形の図化に応用できる大きな利点となる。

次に、写真が傾いて撮影された場合を想定してみる。図−5.7.1に右写真だけ傾けた場合の状況を破線で示す。図より分かるようにC_2はC_2'へ、A_2はA_2'へ移動する。しかし、標定が正しくなされて、$C_2'O_2$の方向が決まれば、光の屈折に対しては垂直写真の場合と同じ幾何学的条件となる。したがって、写真の傾きは全く影響を与えない。

対地標定は、全てのパスポイントおよび基準点等を使用して行う。

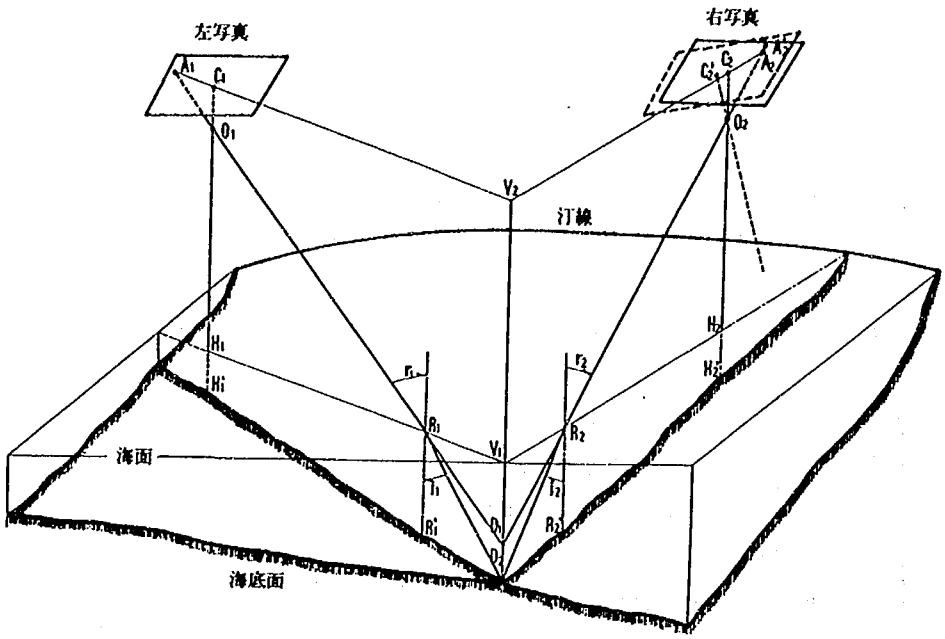
空中写真による図化の成果および関連する資料は次のようになる。

①図化素図

②基準点資料図

③標定記録簿

④精度管理表



D_2：海底の点
D_1：見かけの水深を示す点
V_1：D_2の鉛直線と海面の交わる点
A_1：D_2の左写真上の点
A_2：D_2の右写真上の点
O_1，O_2：レンズの中心点
R_1，R_2：海底の点D_2からの光線が海面上で屈折する点
C_1，C_2：O_1，O_2からそれぞれ垂線を下ろして海底と交わる点であるH_1'，H_2'の写真上の点

図－5.7.1　海底地形の撮影状況概念図

5.8　空中写真による底質・地形の判読

空中写真による底質・地形の判読とは、空中写真撮影および現地調査等の結果に基づき、底質、地形の状況を判読し、底質・地形判読図を作成する作業をいう。底質の判読では、次の項目について分布状況を底質判読図に描画する。底質の判読基準を表－5.8.1に示す。

①砂地
②礫地
③岩礁
④その他

表－5.8.1　底質の判読基準

底　質	空中写真上での像
砂　地	透明度や砂の種類にもよるが、一般的には比較的明るい色彩のきめのない不明瞭な像として写る。
礫　地	礫質にもよるが、砂地よりも黒っぽい色となる。粒径が細かくなるほど砂地の像に類似する。
岩　礁	黒っぽい色となり、濃淡のある像として写る。砂地との境は比較的容易に判別できる。
その他	構造物等は特殊な形状を示し、自然海底との差異が明瞭である。

第6章　その他の手法による調査

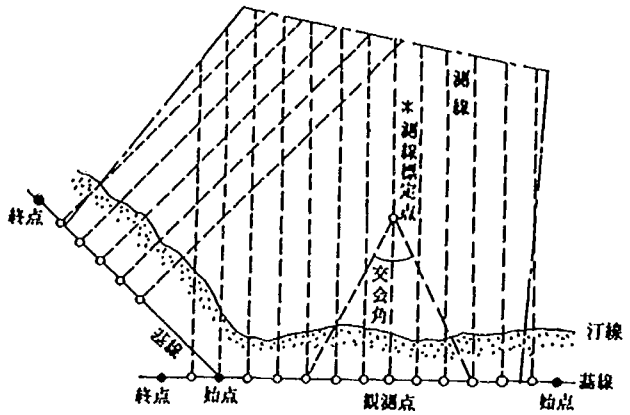
6.1　音響測深等による方法

音響測深等による調査とは、小型船により音響測深およびレッド、ロッドによる測深を行い、海底地形の状況を記録整理し、海底地形図を作成するための資料を得る作業をいう。汀線付近の調査は波浪による測深機器の損失の危険性が大きいため、ボート等によりレッド（測深錘）あるいはロッド（測深棒）を用いて測深を行う必要がある。

音響測深等による調査の運用は、本別冊「4.4　基準点測量」「4.5　潮位観測」「4.6　船位測定」「4.8　音響測深」「4.10　分析・解析・図化作業」および「第7章　調査結果のとりまとめ」の記載に準ずる。調査の作業区分および順序は次のとおりである。

①準備作業
②基準点測量
③潮位観測
④船位観測
⑤音響測深
⑥整理作業
⑦資料の提出
⑧調査結果のとりまとめ

本調査は、海底の地形及び地質について面的な調査を行い、詳細な資料を取得することを目的としており、音響測深等による方法で面的調査の目的を充足させるためには、極浅海域においても海底面音響映像調査と同等以上の細密な測線が必要となる。したがって、レッド、ロッドによる測線標定点の間隔は、10m～50mを標準とする。また、測線は、海岸線と直交する方向に設定することを基本とする。まず、海岸線にできるだけ平行で測深方向に対して直角となるような基線を陸上に設け、その基線上に観測点を測線の間隔ごとに設定する。始点と終点の観測点の位置は、基準点からその座標を求め、その間の観測点の位置は始点と終点の観測点から求める。図－6.1.1に基線、観測点および測線標定点の配置例を示す。



図－6.1.1　基線、観測点、側線標定点の配置例

6.2　直接水準測量等による方法

直接水準測量等とは、既設の水準点に基づいてレベルおよび水準標尺（スタッフ）等を用いて海底地形図作成に必要な水深を求めるほか、海底および汀線付近の底質分布状況等を目視で観察する作業をいう。直接水準測量等は、音響測深による調査および空中写真の図化が困難な極浅海域について行う。その手法には、レベルを使用する水準測量またはトータルステーションを用いる高低差の測定があるほか、観測点と測定点（直接水準測量等により高低差を測定した点）付近の底質について、岩、礫、砂、泥の判別および微地形の分布状況を目視観測する作業も含まれる。これらの作業は砕波帯が対象となるため、実施計画の作成に当って安全性を十分考慮することが必要である。

直接水準測量等における観測点の平面位置は、本別冊「4.4　基準点測量」の記述による方法に準じて決定された基準点に基づき放射法等により決定し、標高は建設省公共測量作業規程「基準点測量」簡易水準測量により求める。

測定点の平面位置は、トランシットまたは六分儀および測距儀による直線誘導法(一距離一角法）または、交会法により決定する。高さの測定は、原則として直接水準量により行う。レベルを使用する水準測量に代わり、トータルステーションによりプリズム付きポールを用いて間接測定で位置および高さを測定することもできる。このほか、観測点と測定点において目視による観測を行う。

測定点の間隔は、調整図面の縮尺に準じて、10m～50mを標準とする。直接水準測量等における基線、観測点および測定点の配置例を図－6.1.1に示す。使用する機器の規格は表－6.2.1に示すものを標準とする。直接水準測量の精度は、±（20＋h／100）cmとする。ここでhはcm単位の深さである。直接水準測量等作業を実施する前に準備すべき器材等は、次のとおりである。

①観測器材および必要な各種器材等

②観測手簿類

観測結果は、次のように整理する。

①観測手簿に測定点の高さ、距離および方向（角度）を記入する。

②観測手簿をもとに水深読取図を作成する。

成果および関連する資料は次のようになる。

①水準点成果表および配点図

②水深読取図

③観測手簿類

表－6.2.1　直接水準測量等に使用する機器の規格

区　分	性　能（公称）	備　　考
レ　ベ　ル	水準器感度 40″/2mm	簡易水準測量
ス　タ　ッ　フ	標尺の目盛 5mm	ＦＲＰ製
巻　　尺	最小目盛 1cm	ガラス繊維製
ﾄｰﾀﾙｽﾃｰｼｮﾝ	水平角10″　鉛直角10″	
ﾌﾟﾘｽﾞﾑ付ｷﾎﾟｰﾙ	—	プラスチック製

6.3　音波探査による方法

音波探査とは、音波探査装置等により地層の層厚・地盤の状況を探査し、記録を整理・解析して、海域制御構造物設置のために必要な地質条件の概要を把握する作業をいう。音波探査に使用する機器は、原則として磁歪式、電磁誘導式、水中放電式の中から選択する。使用機器の規格・性能は、表－6.3.1の通りである。

音波探査は、この章に特に記載する事項を除き、本別冊「第4章　サイドスキャンソナーによる海底地形・地質調査」の記述に準じる。音波探査を実施する前に準備すべき器材等は次のとおりである。

①音波探査機、電波測位機、六分儀、トランシット等

②記録紙類

③図紙等

測線の間隔は50～100mを標準とする。測線の方向は、地質構造の把握が容易な方向とし、かつ測線に直交する交差測線を設ける。交差測線は音響的反射面の連続性を確認するものであり、1本以上設定する。ボーリング地点間の地層特性の把握のための調査では、ボーリング地点と構造物設置予定箇所の周辺に測線を設定する。音波探査による調査では音響測深を併用する。

音波探査機の調整では次に示す事項に留意する。

①音波探査機の調整はそれぞれの音波探査機のマニュアルに基づいて行う。

表－6.3.1　各種音波探査機の諸元

方式 / 諸元	磁歪式	電磁誘導式	水中放電式
発信周波数	3～8kHz	0.4～14kHz	0.1～1kHz
分解能	30cm	15～20cm	1～2m
探査深度　砂	10m	10～30m	30～50m
探査深度　泥	50m	100m	200m

②テストランによって海域の概略を把握して調査の指針とするとともに、機器の点検・調整を行う。

③発信、受信、記録の総合的動作が正常で安定していることを確認する。

④音波探査機は、高電圧部を有しており、安全の確保に最大限の注意を払い操作する。

⑤記録の濃度が一定に保たれ海底地形・地質・地盤状況が明瞭になるよう可能な限り感度を調整する。なお、音波探査記録に異状が認められるときは、再測を行う。

音波探査記録の解析に当っては、既存のボーリング資料(陸域部・海域部)、底質資料、音響映像判読図、空中写真による底質判読図および地形判読図を参考にして地質を明らかにする必要がある。次に、海底から基盤層上面までの深度を読み取りそれに水深を加えて基盤等深線図を、堆積層の層厚を読み取り堆積層等層厚線図をそれぞれ複写記録紙上に作成する。また、測線ごとに水平1／5,000～1／10,000、垂直1／2,500の地層断面図を作成する。

記録紙には、調査海域、調査年月日、機器の型式、測線番号、測線標定点番号、時刻およびその他の参考となる事項を記入して整理する。成果等は次のようになる。

①航跡図

②音波探査記録紙

③地層断面図

④基盤等深線図

⑤堆積層等層厚線図

⑥その他関係資料

第7章　調査成果の取りまとめ

調査成果の取りまとめとして、海底面状況図と海底地形図等の図化・編集を行い、海底面状況図、海底地形図および調査報告書を作成する。

7.1　図化編集作業

図化編集作業とは、海底地形・地質の面的調査等の各種資料を用い、建設省、各都道府県等の公共測量作業規程を準用して海底面状況図と海底地形図を図化・編集する作業をいう。海底面状況図と海底地形図の図化編集の縮尺は1：5,000～1：10,000を標準とする。海底面状況図と海底地形図の図紙は、伸縮比0.05%以下のポリエステルベース等を使用する。図化編集作業の区分および順序は次のとおりである。

①準備

②図化素図の作成

③成果図の編集

④成果および資料の提出

図化編集作業を実施する前に準備すべき資料は次のとおりである。

①サイドスキャンソナーによる音響映像判読図

②水深読取図

③空中写真による底質判読図

④空中写真による地形判読図

⑤空中写真による図化素図

⑥収集資料

海底面状況図の図化編集作業では、音響映像判読図、水深読取図、空中写真による底質判読図、地形判読図および図化素図等を用い、海底面状況図図化素図を作成する。その際以下の事項に留意する。

①音響映像判読図、空中写真による底質判読図および地形判読図に示された底質分布、海底の微地形およびサンドウェーブ等の表現に十分配慮する。

②音響映像判読図、空中写真による底質判読図および地形判読図を比較検討し、整合に努める。

海底地形図図化素図の図化編集作業は、音響映像判読図、水深読取図、空中写真による底質判読図、地形判読図および図化素図等を用い、海底地形図図化素図を作成する。その際以下の事項に留意する。

①音響映像判読図、空中写真による底質判読図および地形判読図に示された海底地形・地質構造の発達方向を十分考慮する。

②等深線の描画に当っては、各測線上の凸部、凹部、傾斜変換点などに相当する地点に、それぞれ地形表示記号を付して海底地形の骨格を明らかにする。

③前号の骨格を基礎として、各測線上の等深点を相互に連ねて等深線を描く。

④各等深線の描画は、地理学的な類推を十分行って信頼のおける海底地形の表現に努める。

⑤空中写真の解析・図化による結果と音響測深による測深値の比較検討を行う。

海底面状況図と海底地形図は、海底面状況図図化素図と海底地形図図化素図から編集する。図化編集作業による成果および関連する資料は次のようになる。

①海底面状況図

②海底地形図

③海底面状況図図化素図類

④海底地形図図化素図類

⑤その他使用した資料等

7.2 調査報告書作成

調査報告書の作成とは海底地形・地質調査の結果および各種の資料を用いて報告書を作成する作業である。調査報告書には、次に挙げる事項について記載するとよい。

（1） 調査概要： 調査の目的、調査海域、調査期間等について記載する。

（2） 調査方法： 各調査方法ごとに詳細に記載する。取得資料の整理、解析および採取試料の分析手法等も記載する。

（3） 調査結果： 次に挙げる事項について記載する。

- 調査海域および周辺陸部の地形、地質の概要
- 陸域部地形の状況
- 海底地形の状況
- 底質の状況

音波探査による方法を適用した場合には、海底地質の状況および調査結果に基づく考察を補足記載する。

（4） まとめ

（5） 参考文献

（6） その他の資料

ＭＭＺ計画策定の手引き(案)

計画編　別冊

「海底地形・地質の面的調査手法」

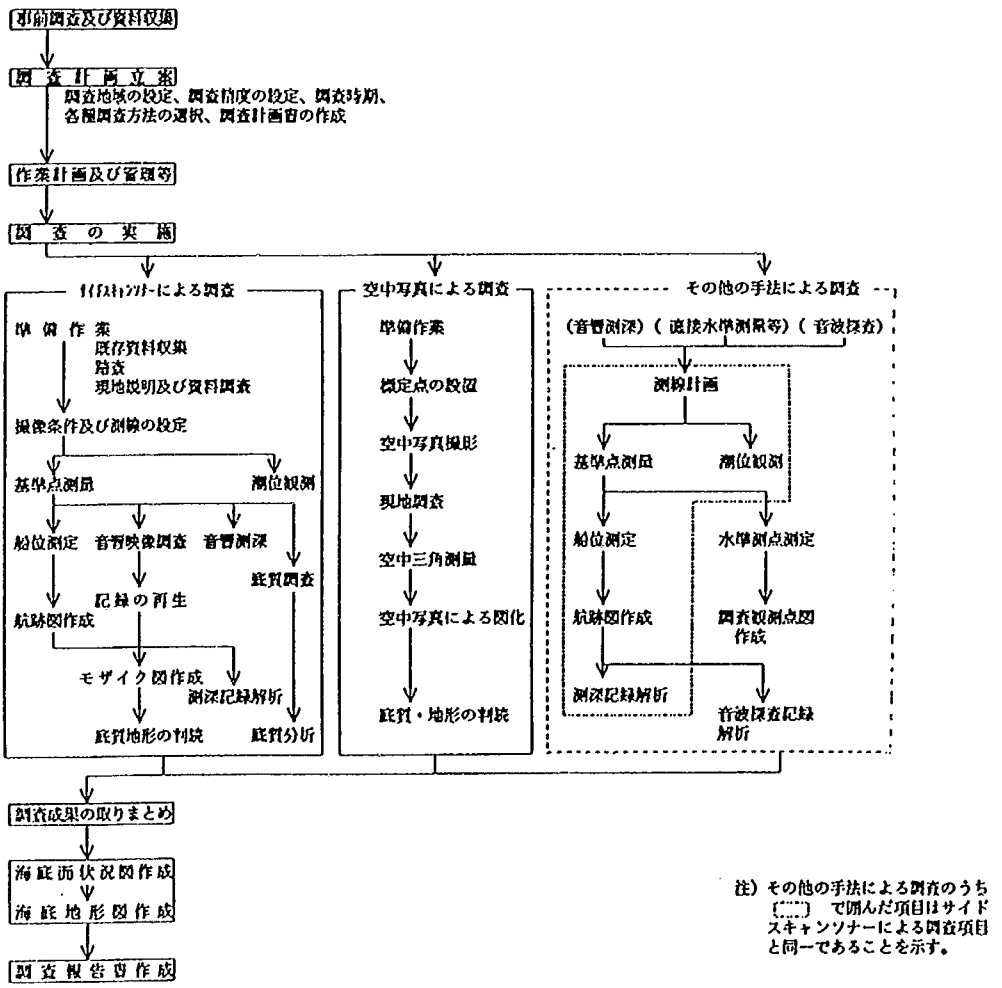
資　料　集

(海底地形・地質の面的調査の事例等)

MMZ計画策定の手引き（案）

Ⅰ　はじめに

建設省国土地理院が実施した海底地形・地質の面的調査の事例を、本別冊に示す作業区分と順序にしたがって記載する。ここで示す調査事例は、サイドスキャンソナーによる海底地形・地質調査および空中写真による海底地形・地質調査結果に基づくもので、図Ⅰ－1に示す作業フロー中で実線で囲んだ部分の内容である。



図Ⅰ－1　海底地形・地質の面的調査フロー

Ⅱ　調査概要

1　調査地域

調査は、次に示す地域で実施した。

①鹿児島県阿久根市の沿岸部

②静岡県榛原郡相良町の相良港と片浜海岸の区域

③静岡県志太郡大井川町の大井川港北東部沿岸の区域

2　調査期間

現地調査は、次に示す期間に実施した。

①阿久根地区（昭和62年度）

・サイドスキャンソナーによる調査（昭和62年10月22日）

・空中写真撮影（昭和62年10月22日、11月10日）

②相良地区（昭和63年度）

・サイドスキャンソナーによる調査（昭和63年11月17，18日）

・空中写真撮影（昭和63年11月19日）

③大井川地区（平成元年度）

・サイドスキャンソナーによる調査（平成元年10月16～18日）

・空中写真撮影（平成元年10月20日）

Ⅲ　サイドスキャンソナーによる調査

1　準備作業

準備作業として調査に必要な資料の収集、関係機関への説明および関係法令に基づく許可申請の手続きを行った。

2　撮像条件および測線の設定

サイドスキャンソナーの探査範囲は、阿久根地区で300m（片側）、相良地区及び大井川地区で150m（片側）を使用した。測線密度は、阿久根地区で250m、相良地区および大井川地区で150m間隔を基本として、相良地区片浜海岸地区の岩礁分布範囲については、50m間隔の測線密度を設定した。

3　基準点測量

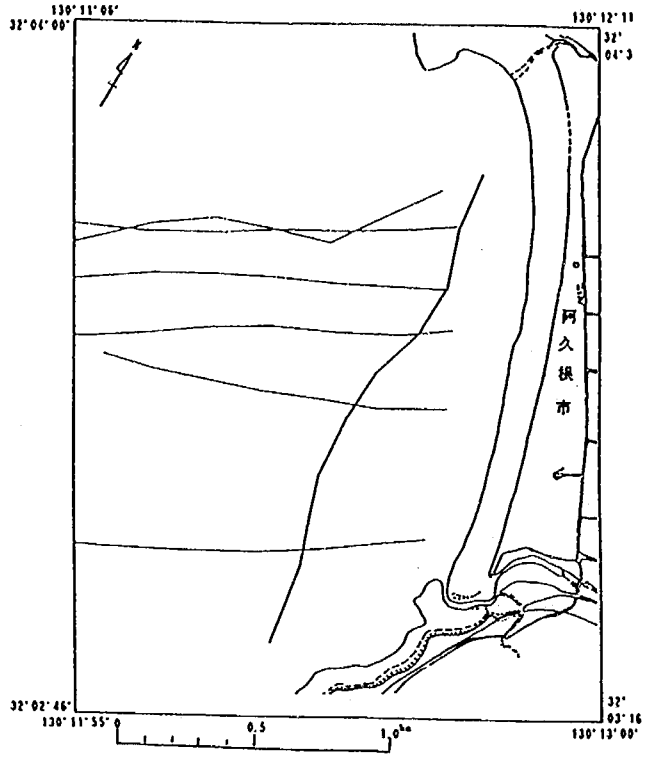
基準点測量は、各地区とも国家三角点を基に多角測量方式により行った。新設基準点は、船位測定のために必要な基準点と、後述する空中写真撮影に必要な対空標識を設置する標定点をかねて、阿久根地区5点（三角点2点、新設点3点）、相良地区では海岸沿いに新設点を4地点および大井川地区5点（三角点2点、新設点3点）を設けた。

4　潮位観測

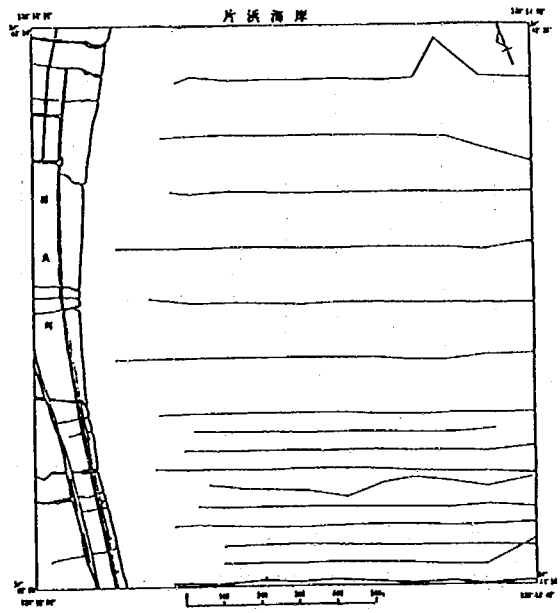
阿久根地区では潮位観測所を設置して潮位観測を実施した。相良地区では建設省国土地理院所管の御前崎験潮所の記録を使用し、大井川地区では仮量水標を現地に設けて潮位観測を実施した。

5　船位測定

船位測定は、電波測位機を使用した辺長交会法で実施し、大井川地区の一部の海域についてはトランシットと測距儀による直線誘導法(一距離一角法)により行った。船位測定結果を図Ⅲ－1に航跡図として示す。また、主な船位測定方法の概要を図Ⅲ－2～Ⅲ－5に示す。

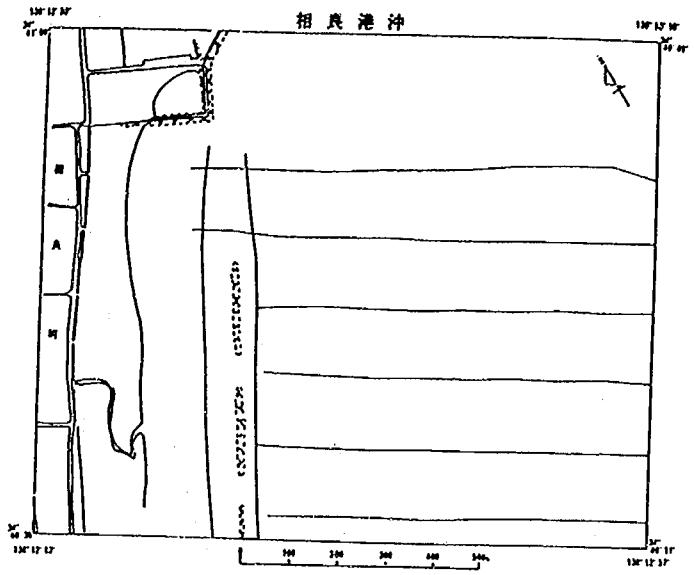


図Ⅲ－１ａ）　航跡図（阿久根地区）



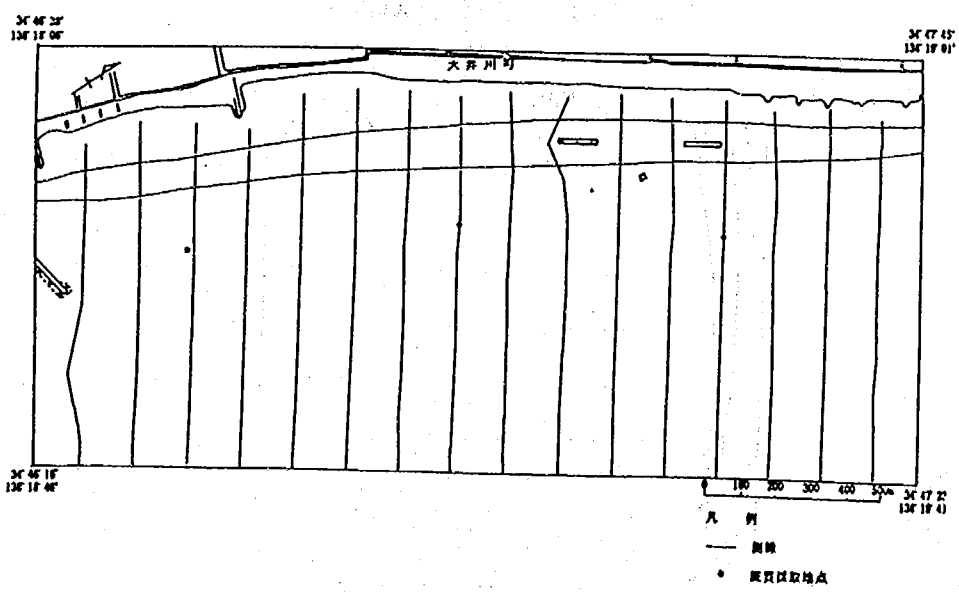
※岩礁分布範囲では、密な測線を設定した。

図Ⅲ－１ｂ）　航跡図（相良地区）



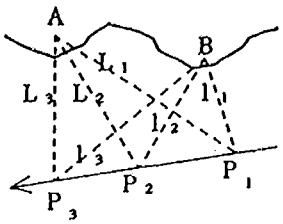
※構造物周辺と海岸線付近の音響影像を得るために、
これらと平行する測線を設定した。

図Ⅲ－１ｃ）相良地区



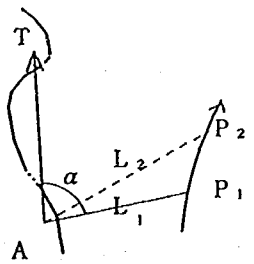
※構造物と海岸線に平行する測線を設定した。

図Ⅲ－１ｄ）　航跡図（大井川地区）



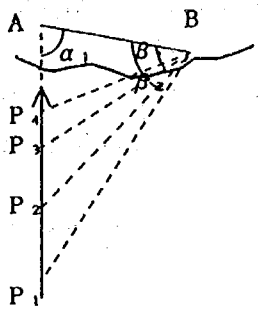
船Pに搭載した電波測位儀の主局と、位置の確定している陸上の2点A，Bに設置した従局の間で電波を送受波し、その位相差から距離L及びlを求める。

図Ⅲ－2　辺長交会図



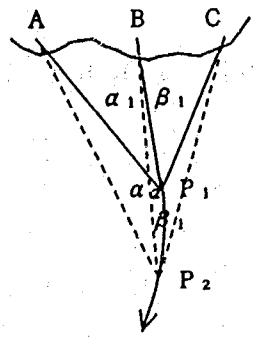
位置の確定しているA，T点の内、A点に光波測距儀の本体又は電波測位機の従局を、船Pにミラー又は電波測位機の従局を設置し、トランシット又は六分儀によりTとPの角度α、測距儀により距離Lを同時に測定する。

図Ⅲ－3　直線誘導法（一距離一角法）



陸上のA点に据えたトランシットを予定測線の方向に固定し、船Pを予定測線上に誘導。一方、誘導点以外の陸上の定点Bから六分儀又は、トランシットにより∠βを一定の時間間隔又は角度間隔で測定する。

図Ⅲ－4　交会法（直線誘導一角法）



船Pから、位置の分っている陸上の3つの物標A，B，Cの間の2つの狭角α，βを六分儀により測定する。

図Ⅲ－5　交会法（三点両角法）

6　海底面音響映像調査

海底面音響映像調査は、発振周波数105±10kHzのサイドスキャンソナーを使用して海底面の音響映像を撮像した。送受波器は、できる限り浅海域まで調査船が進入できるように船首より曳航した。このため、調査船（約6トン）の適用水深は、阿久根地区及び相良地区で水深約3mまで、大井川地区で水深約4mまでであった。現地で取得されたデータは、すべてMTに収録された。

7　音響測深

音響測深には、音波の指向角3°、発振周波数200kHz、測深の精度±(10+水深／1000) cm（ただし水深はcm単位）の諸元をもつ音響測深機を使用した。音響測深は海底面音響映像調査と同時に実施した。

8　底質調査

底質調査は、スミスマッキン・タイヤー型採泥器を使用して阿久根地区1点、相良地区3点、大井川地区3点で実施した。なお、底質採取の時期は、海底面音響映像調査の後である。

9　分析・解析・図化作業

（1）　航跡図作成

航跡図の図化は、船位(測線標定点のX・Y座標値)を展開する方法で行い、縮尺は阿久根地区が1／2,500、相良地区と大井川地区が1／5,000で調製した。

（2）　測深記録の整理・解析

水深の読み取りは、バーチェック結果と送受波器の吃水量および潮位補正量を補正した水深読取り基準線を測深記録紙に記入してパーセントスケールを使用して行った。

水深の読み取りは、測線標定点、凸部、凹部、傾斜変換点および図上約1cmの地点で行い、その結果として、阿久根地区で縮尺1／2,500、相良地区と大井川地区で縮尺1／5,000の水深読取図を作成した。

（3）　底質分析

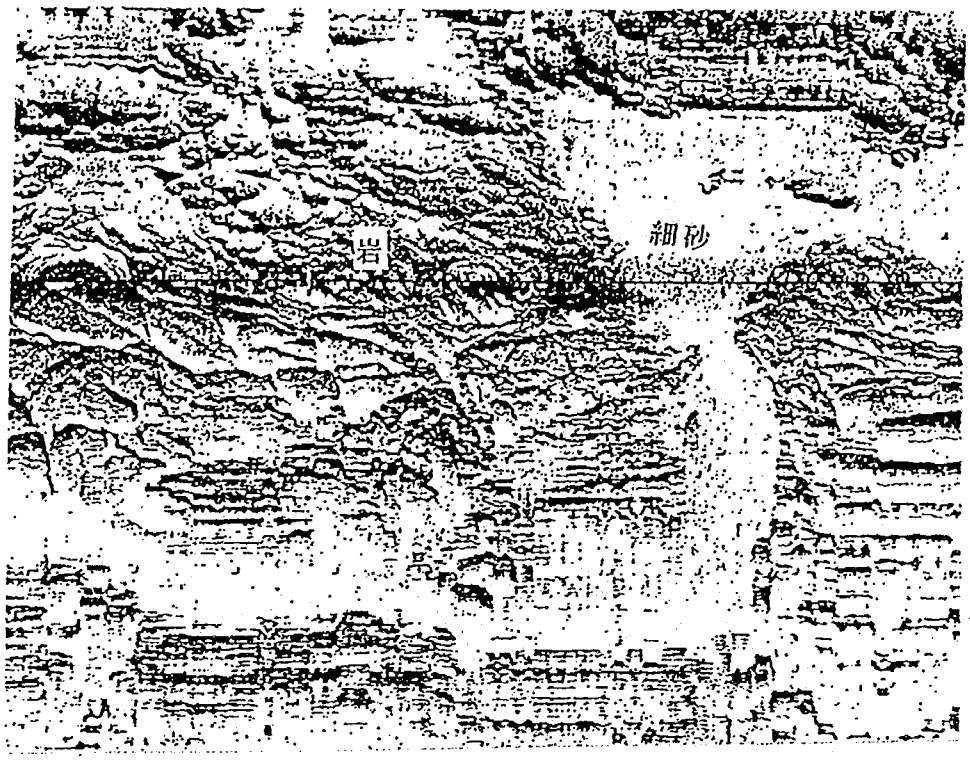
得られた底質試料については、土粒子比重試験(JIS A 1202) と土の粒度試験 (JIS A 1204) を行った。

（4）　音響映像記録による底質・地形の判読

代表的な音響映像の記録例を図Ⅲ－6 a）～h）に示す。底質・地形の判読は、縦横比1：1の音響映像記録をモザイク図用航跡図の上で張り合わせて作成したモザイク図により行った（図Ⅲ－7 a）～c））。

岩盤及び底質の判読は、音響映像記録と底質分析結果を比較しながら底質の種類を岩、礫、粗砂、中砂および細砂に区分した（図Ⅲ－8 a）～d））。

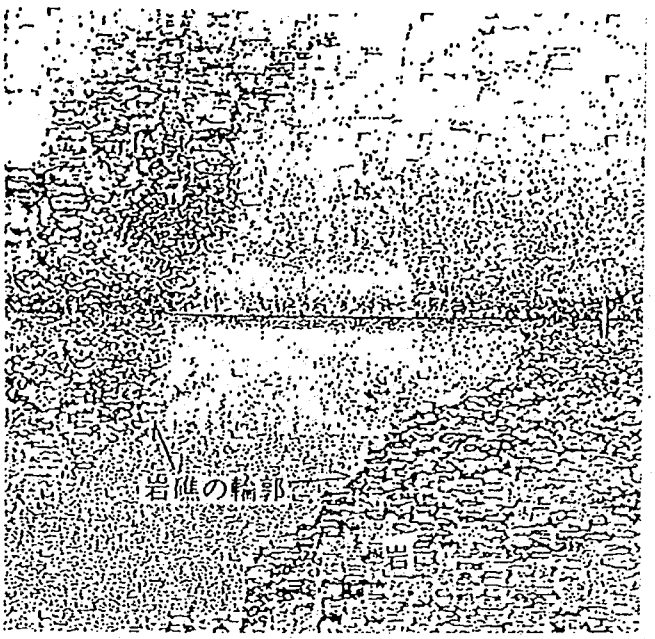
特徴的な判読例としては、消波構造物周辺に見られるサンドウェーブ（図Ⅲ－6 g)、h)）や岩盤上に発達するケスタ状の微地形（図Ⅲ－6 a））が判読された。



※白と黒のコントラストが強く現われている。

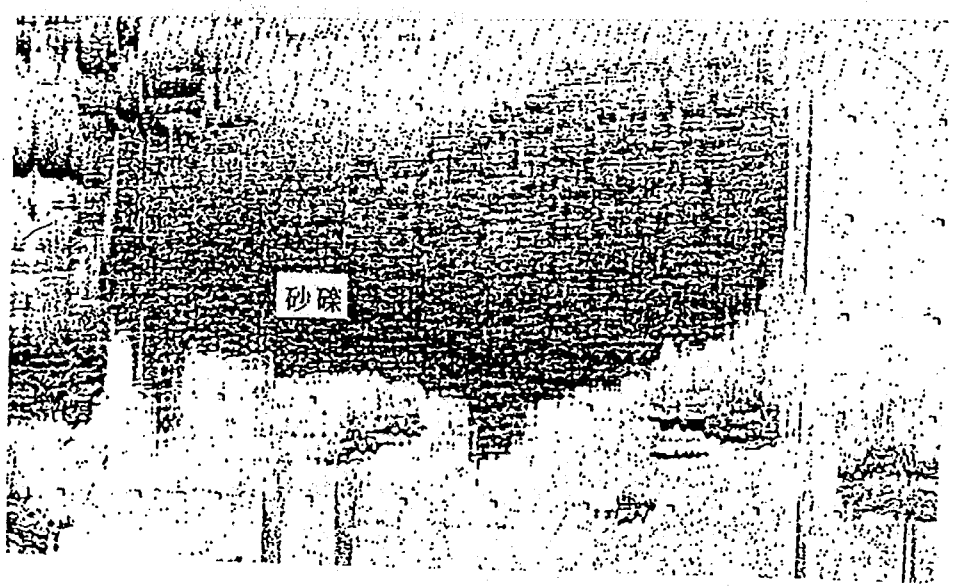
岩礁の輪郭は、明瞭に区別される。

図Ⅲ－6 a）　音響映像記録の例（相良地区）



※全体に黒く、白と黒のコントラストが強い部分が岩礁。岩礁の輪郭は、明瞭に区別される。

図Ⅲ－６ｂ）　音響映像記録の例（阿久根地区）



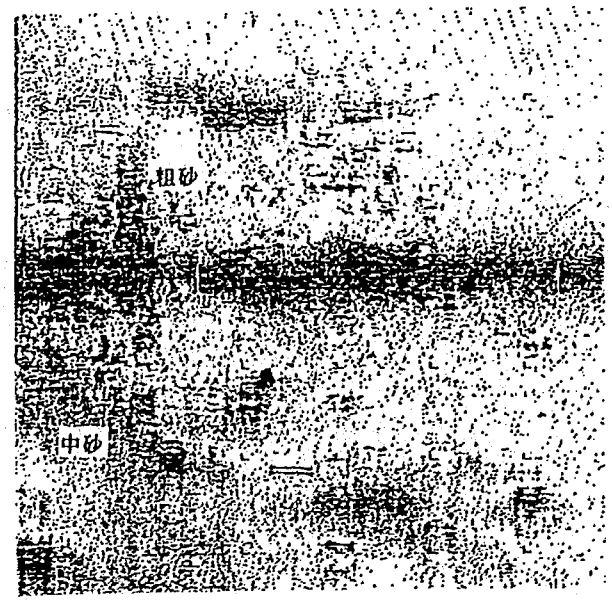
※礫は濃い黒色で現れる。周辺に分布している細砂は、白色で描かれている。

図Ⅲ－６ｃ）　音響映像記録の例（相良地区）



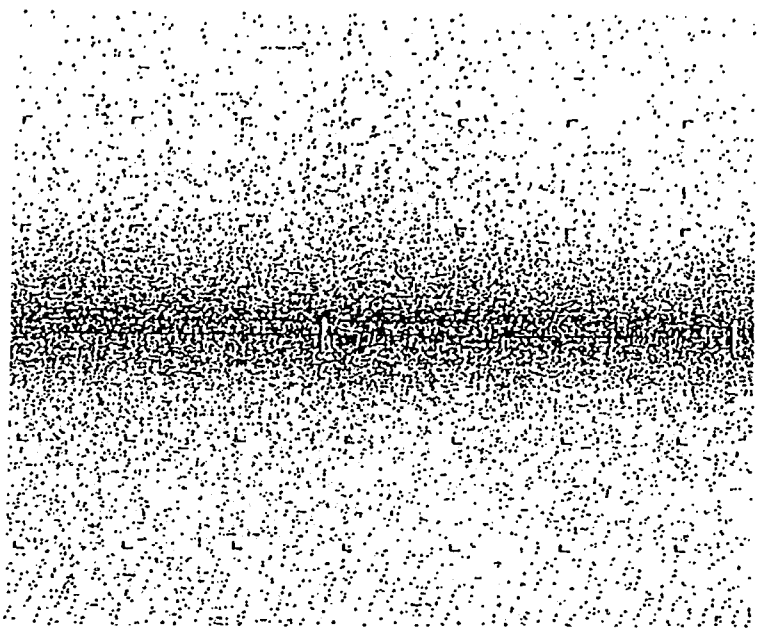
※粗砂は均一な濃い黒色～灰色で現れている。

図Ⅲ－６ｄ）　音響映像記録の例（相良地区）



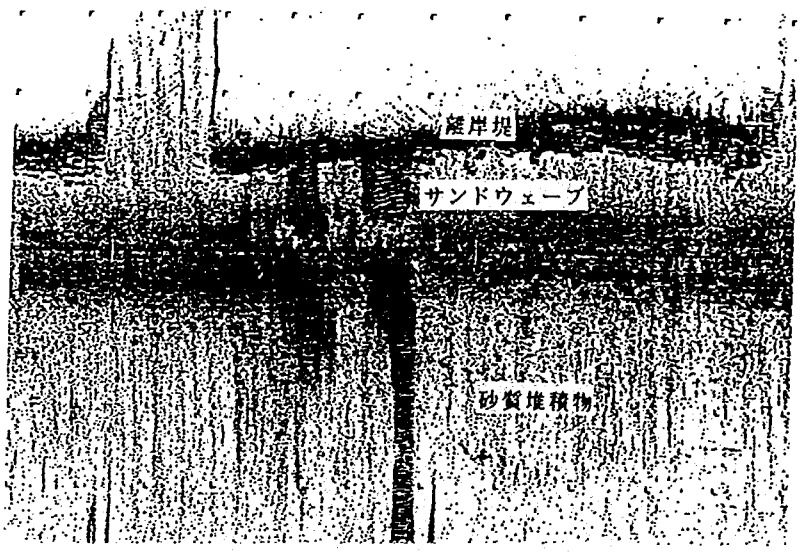
※濃い黒色～暗灰色で現れている部分が粗砂、
その周辺で暗灰～灰色を示す部分が中砂。

図Ⅲ－６ｅ）　音響映像記録の例（大井川地区）



※細砂は白色～淡い灰色で描かれる。

図Ⅲ－６ｆ）　音響映像記録の例（大井川地区）



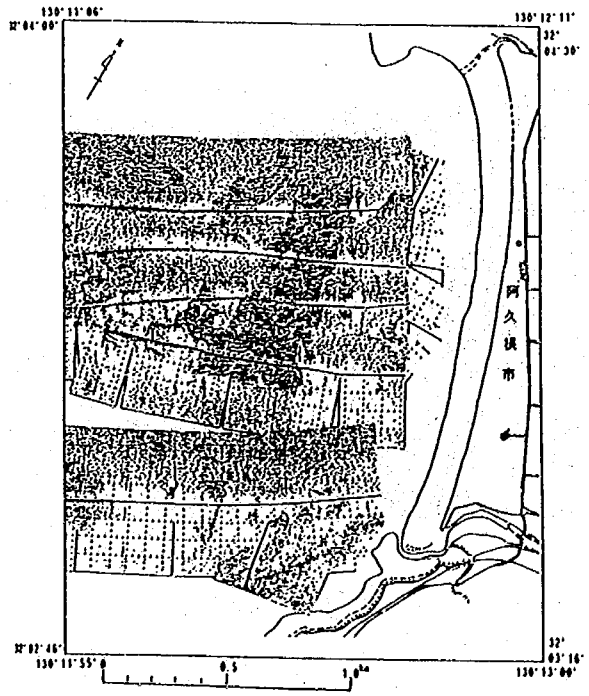
※離岸堤の背後に現れたサンドウェーブ
（水深５～６ｍ）。

図Ⅲ－６ｇ）音響映像記録の例（相良地区）

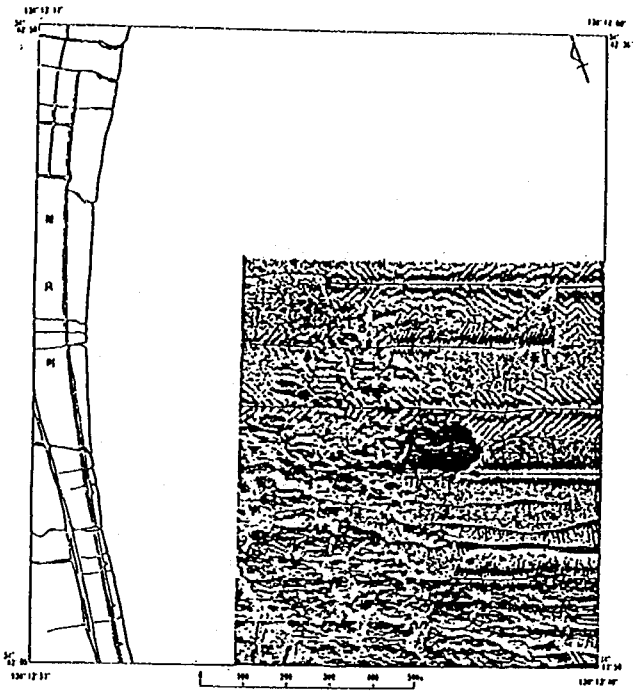


※離岸堤の背後に現れたサンドウェーブ
（水深６～７ｍ）。

図Ⅲ－６ｈ）　音響映像記録の例（大井川地区）

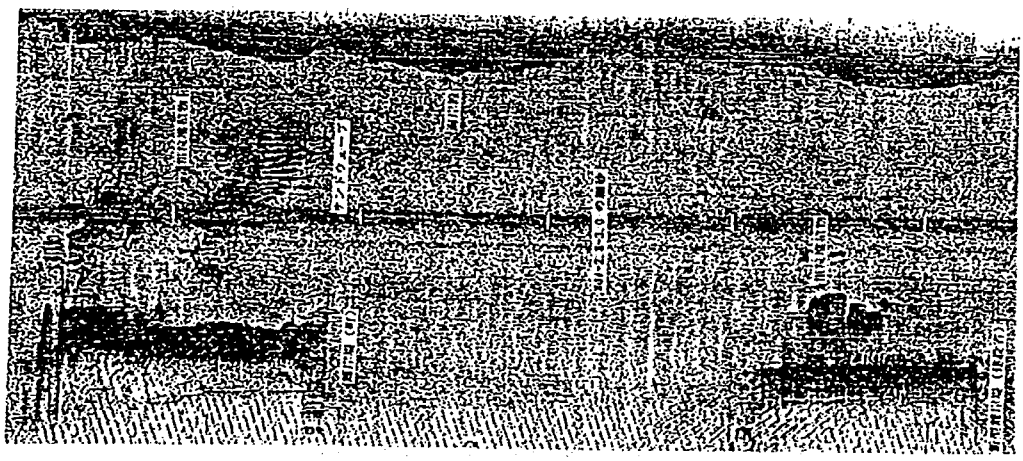


図Ⅲ－７ａ）　モザイク図（阿久根地区）



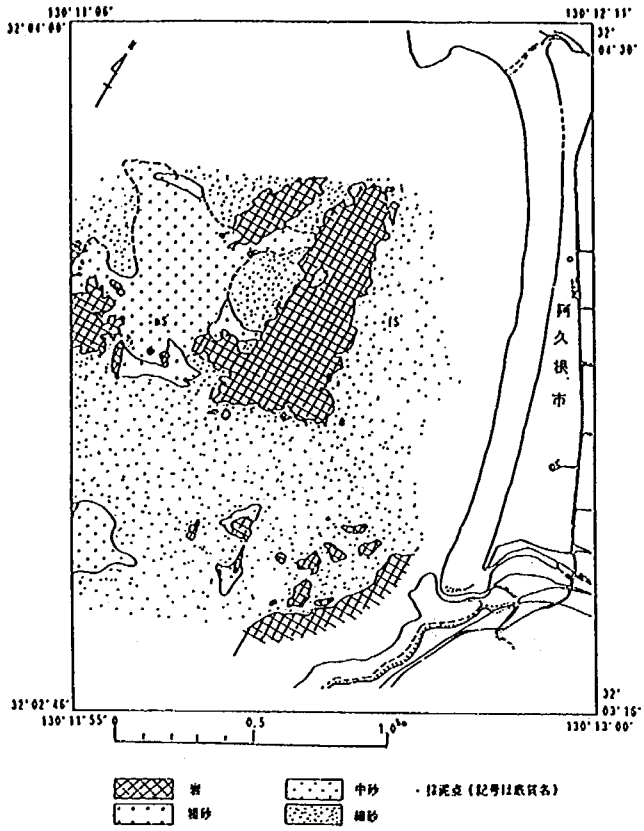
※岩礁分布範囲についてモザイク図を作成した。

図Ⅲ－７ｂ）　モザイク図（相良地区）

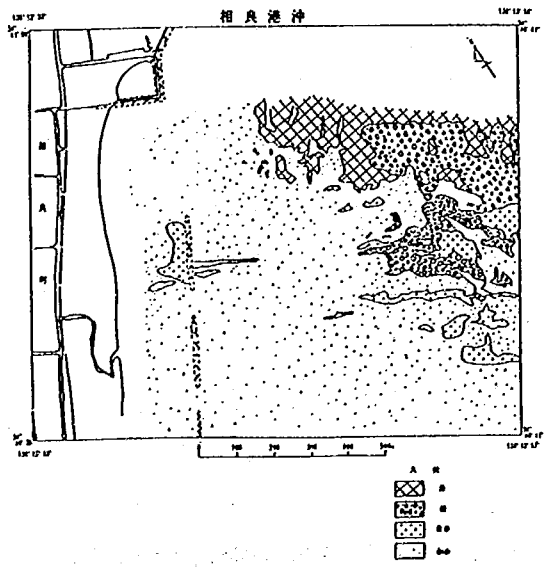


※離岸堤周辺部のモザイク図。

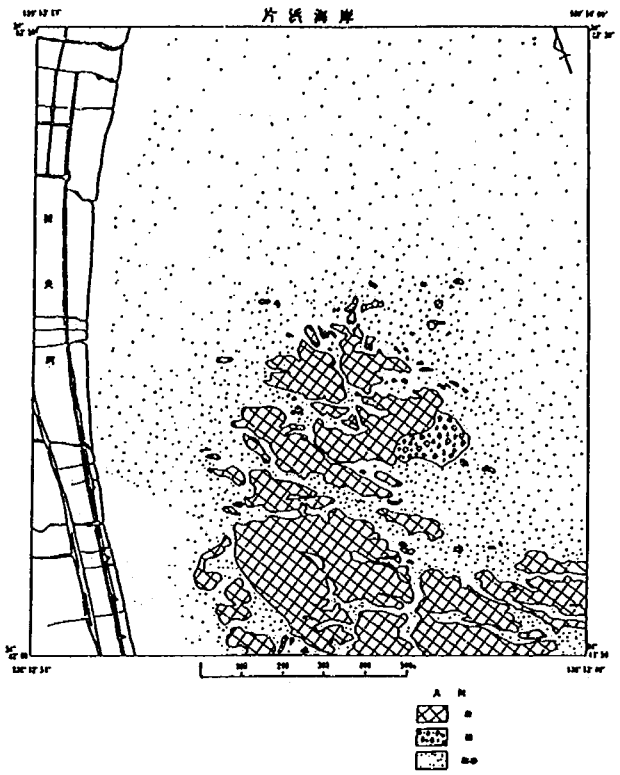
図Ⅲ－７ｃ）　モザイク図（大井川地区）



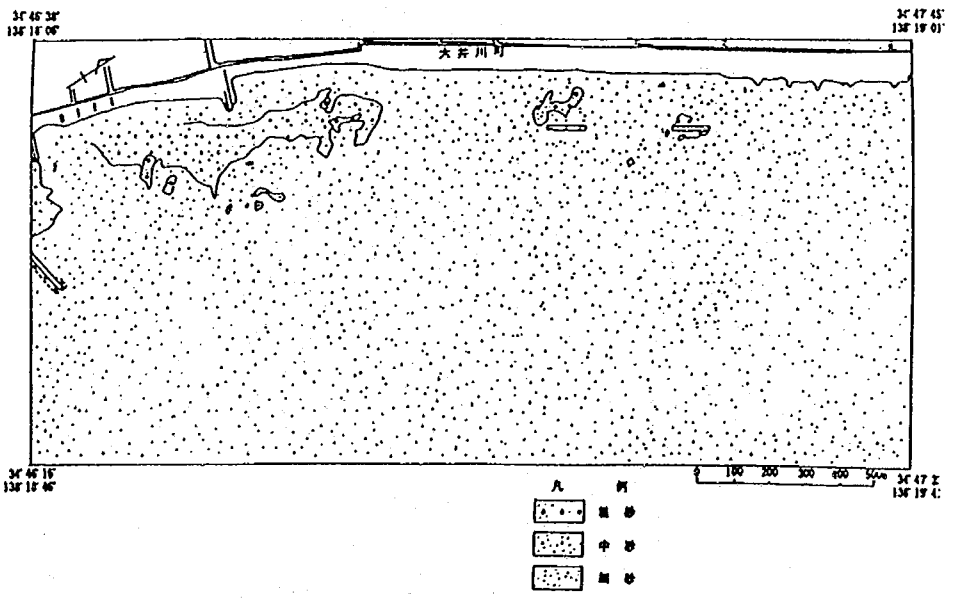
図Ⅲ－８ａ）　音響映像判読図（阿久根地区）



図Ⅲ－８ｂ）　音響映像判読図（相良地区）



図Ⅲ－8ｃ）　音響映像判読図（相良地区）



図Ⅲ－8ｄ）　音響映像判読図（大井川地区）

Ⅳ 空中写真による調査

1 標定点の設置

標定点は、阿久根地区で陸上に5地点、海上に9地点、相良地区で陸上に5地点、海上に2地点、大井川地区で陸上に5地点、海上に2地点設けた。陸上の標定点の位置は、前述の基準点測量で求め、高さは簡易水準測量で決定し、海上の標定点の位置は電波測位機による辺長交会法により求めた。

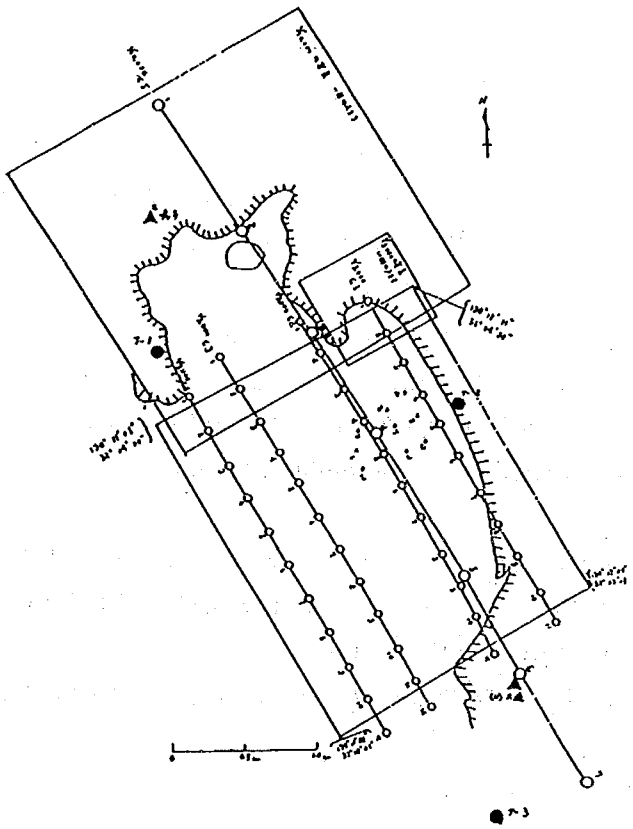
2 対空標識の設置

陸上部の対空標識はA型の標識を設置し、海上にも標定可能な標識を設けた。海上の標識として、阿久根地区でブイ（30～100cm）を1点アンカーで浮かべ、相良地区で黄色と黒色のペンキで塗り分けたベニヤ板（約1m四方）、大井川地区では黄色と白色に塗り分けたベニヤ板（1～2m四方）を海上に4点アンカーで固定した。さらに単点の水深を読み取るため標識を海底に沈めた。

3 空中写真撮影

写真撮影は、ハレーション等を考慮してオーバーラップ80%、サイドラップ30%で計画し、阿久根地区は縮尺1／3,000の4コースおよび1／10,000の1コース、相良地区は縮尺1／10,000の4コース、大井川地区は縮尺1／10,000の1コースで行った（図Ⅳ－1a）～c））。

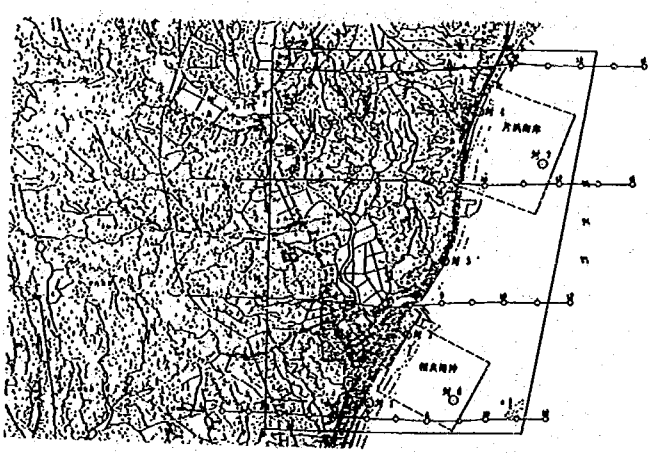
撮影時期の気象・海象条件は、いずれの海域も快晴で、1m以下のうねりはあるもののさざ波は観測されなかった。



※縮尺の異なる撮影コースを設定した例

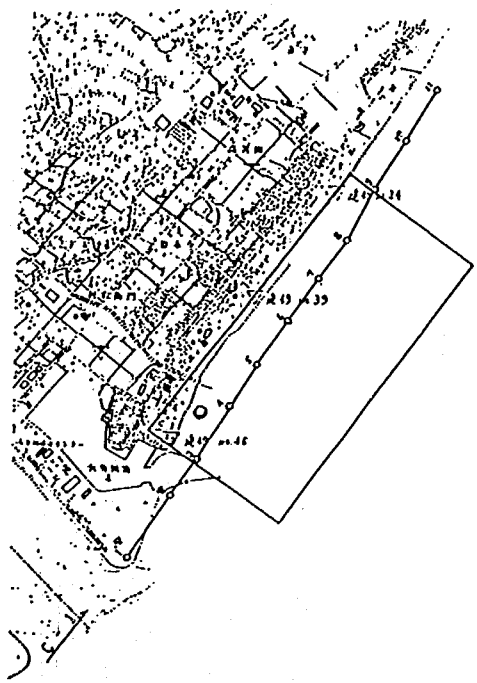
（標定は縮尺１／10,000の方が有利であった）

図Ⅳ－１ａ）　空中写真標定図（阿久根地区）



※撮影コースを海岸線に直角方向に設定した例

図Ⅳ－１ｂ）　空中写真標定図（相良地区）



※撮影コースを海岸線に平行に設定した例
（海岸線と平行な撮影コースは、陸域部が連続して写真の50%前後入るように撮影できれば、空中三角測量、図化の標定において、最も適した方法である）

図Ⅳ－１ｃ）　空中写真標定図（大井川地区）

4　現地調査

現地調査は、サイドスキャンソナーによる調査の際に行い、空中写真撮影後には実施しなかった。

5　空中三角測量

空中三角測量におけるモデルの接続は、パスポイントを極力陸上に取るよう行い、やむを得ず海上にパスポイントを取る場合は、海上に設置した対空標識や漁網のブイを利用し、一部海底の地形も使用して行った。空中三角測量に使用した写真は、陸上でオーバーラップが60%、海上で80%となるよう選んだ。なお、調整法は阿久根地区と相良地区で独立モデル法、大井川地区では多項式法で行った。

6　空中写真による図化

図化では空中三角測量で求めた陸上のモデルで最初の標定を行い、海上のモデルは陸上部のモデルからの接続標定を原則とし、海上に設置した対空標識や漁網のブイ等を用いて、相互標定及びモデルの傾きの補正を行った。モデルの傾きの補正は、海岸における水面および海上の対空標識やブイ等が水平になるよう行った。

なお、海上に設置した対空標識のうち、１点アンカー方式のものは波による変位のため相互標定が困難な

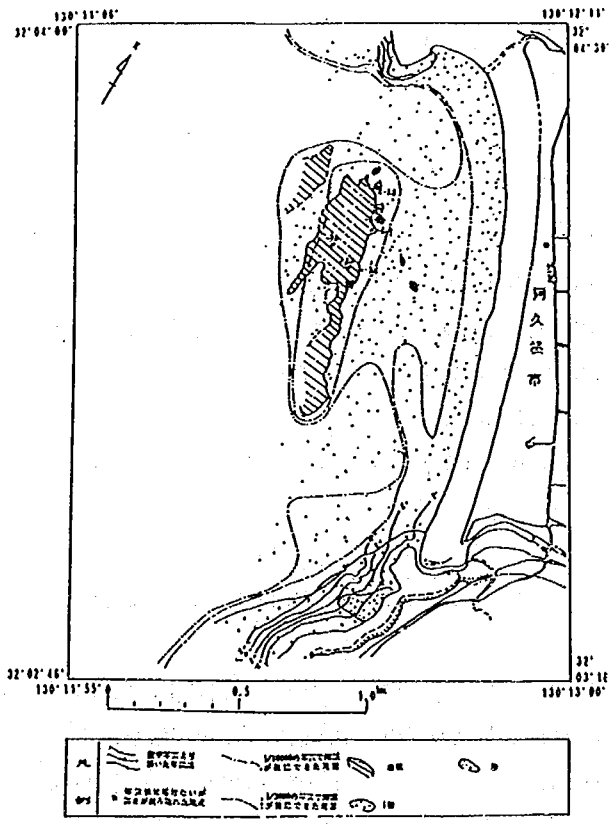
場合が多く、4点アンカー方式は標定に十分使用できることが分かった。

潮位の補正は、空中三角測量で測定した海面高に対して、撮影時における潮位を補正した。光の屈折補正は、海底を連続して実体視できる範囲が少ないため、各単点の水深の真値を計算で求め、素図上にプロットした。

海底地形が実体視できた範囲は、水深3～4mまでの露岩部とその周辺、砂礫の分布する海域および砂地の一部の海域である。砂地は写真上で色調に変化がないため、大部分の海域で実体視が困難であった。したがって、図化可能な範囲は底質の種類により異なることが分かった。

7　空中写真による底質・地形の判読

海底が判読できた水深は、阿久根地区で約10mまで、相良地区と大井川地区で5～6mまででであった。海

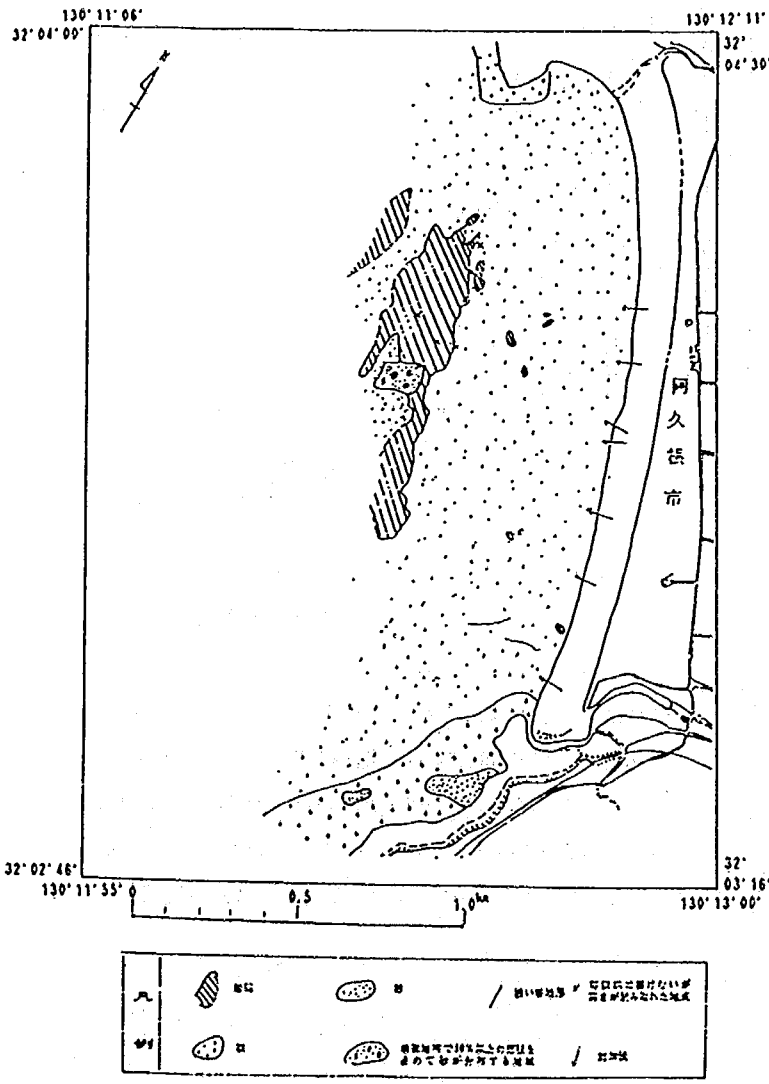


※この図は主に地形を判読したもので、空中写真で等深線を描画できた範囲は、礫が分布する海域であった。また、岩礁の内部の水深は、機械単点でのみ読み取ることができた（水深が深いため、色調が黒く単調となっているため、実体視することができない）。砂地と砕波帯は、実体視が困難で水深を読み取ることができない。

図Ⅳ－2 a）　空中写真による判読図（阿久根地区）

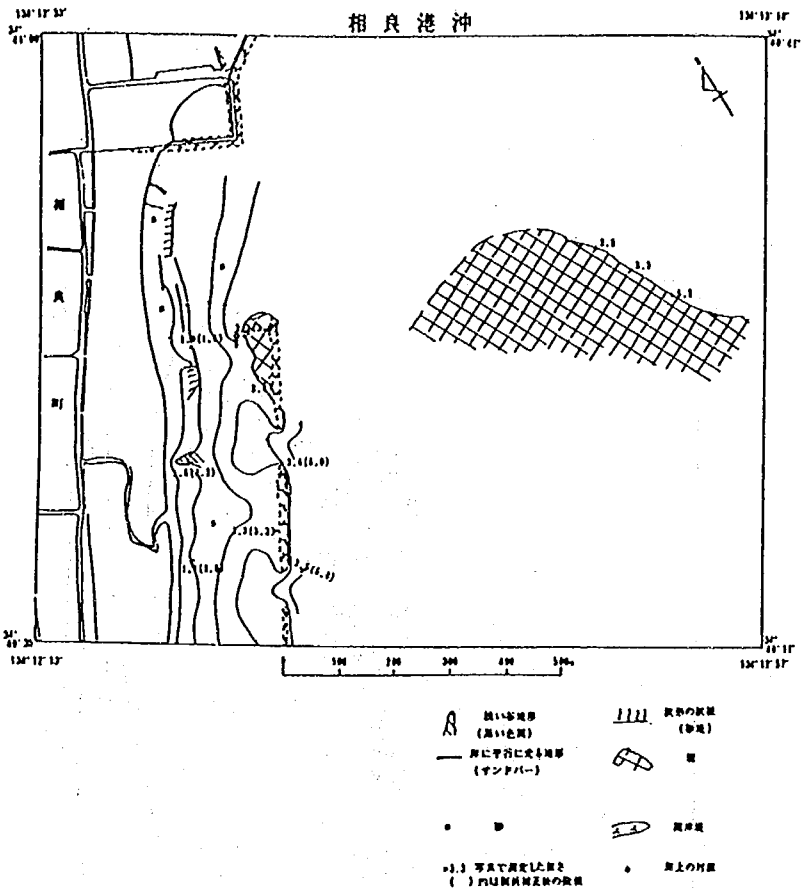
底の微地形としては、浅い海底谷、サンドバー等が判読され、その他海象に関する情報として離岸流が判読された。底質については、岩礁、礫地および砂地が判読され、これらの混合域についても区分できた（図Ⅳ－２ａ）～ｅ））。なお、砂質堆積物は写真上色調変化がないため、細区分することは困難であった。

代表的空中写真の例を写真Ⅳ－１～６に示す。



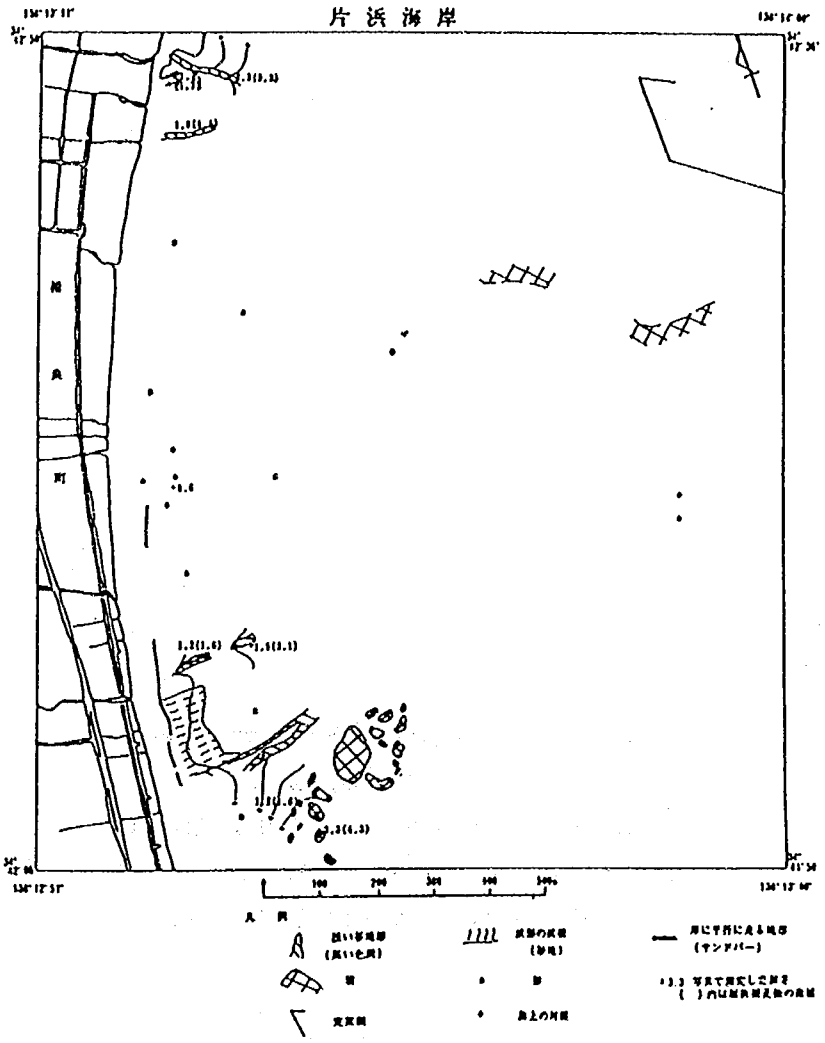
※この図は主に底質を判読したもので、岩礁・礫・砂等が判読されている。岩礁の確認は、水深が深いため輪郭が見える程度であった。微妙な水深の差を反映した色調の違いから離岸流の発生場所を推定している。

図Ⅳ－２ｂ）　空中写真による判読図（阿久根地区）



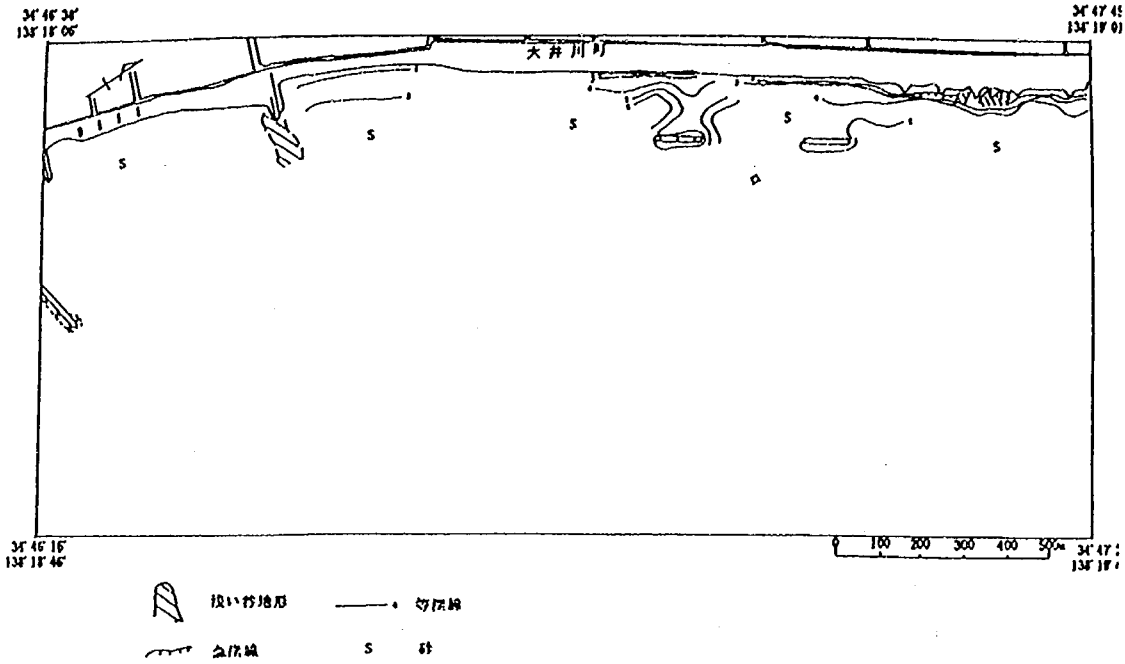
※実体視は、離岸堤基部と岸から離岸堤までの範囲が可能で、この海域については、等深線が描画されている。微地形の判読は、離岸堤と離岸堤の間の海底のわずかの窪み、海岸に平行するサンドバー、サンドウェーブについて行われている。

図Ⅳ－２ｃ）　空中写真による判読図（相良地区）



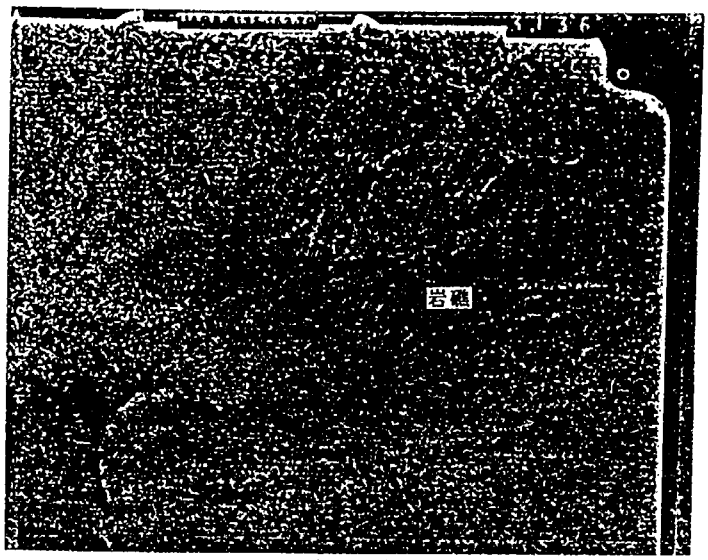
※砂質堆積物が広く分布しているため、実体視できた範囲は、南部の岩礁に隣接する海域及び北部と中間部の一部の海域であった。微地形として、陸上河川に続く浅い谷地形及びサンドバーやサンドウェーブが判読されている。

図Ⅳ－２ｄ）　空中写真による判読図（相良地区）



※海底が確認されたのは、海岸線付近が急深となっているため、
海岸から20～50m沖（一部150m）の範囲であった。
沿岸部には砂質堆積物が広く分布している。砂質堆積物は写真上で色調変化が読み取れないため、細区分することができなかった。

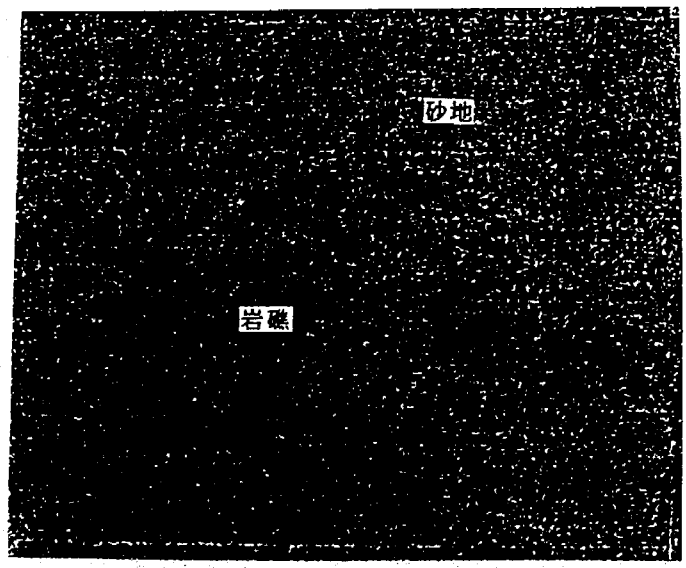
図Ⅳ－２ｅ）　空中写真による判読図（大井川地区）



※岩礁は、全体に黒く、網目状の模様が撮影されている。

（縮尺１／10,000）

写真Ⅳ－１　空中写真の例（相良地区）



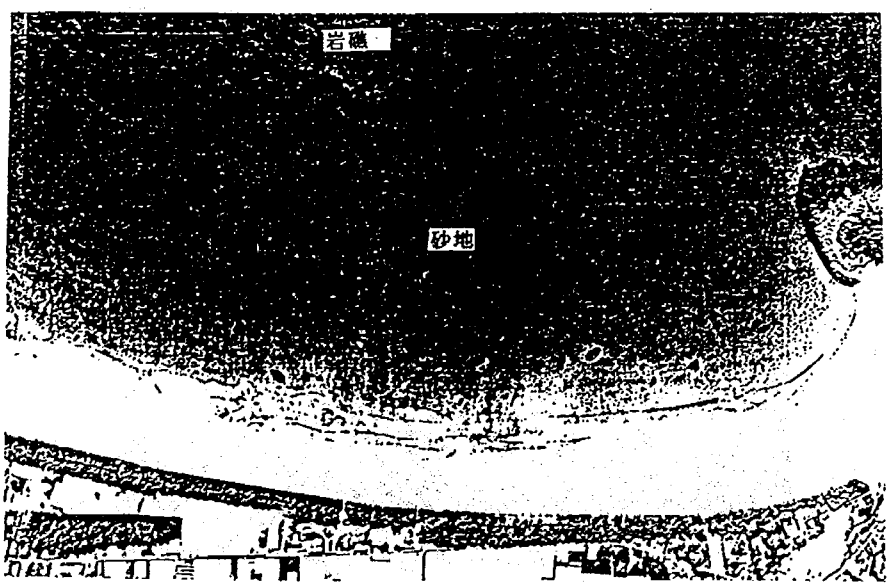
※水深が深くなると（この地区の場合約６m）、岩礁と砂の色は類似してくる。（縮尺１／3,000）

写真Ⅳ－２　空中写真の例（阿久根地区）



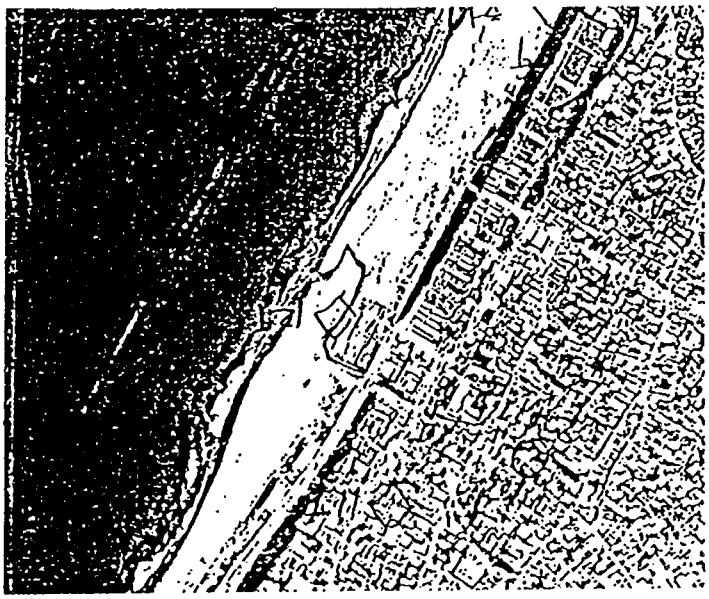
※砂地と礫の境界は明瞭に判読される。砂地は明るい色で写っている。礫地は全体にやや暗い色調となるが、暗い色と明るい色が紋状模様となっている。（縮尺１／3,000）

写真Ⅳ－３　空中写真の例（阿久根地区）



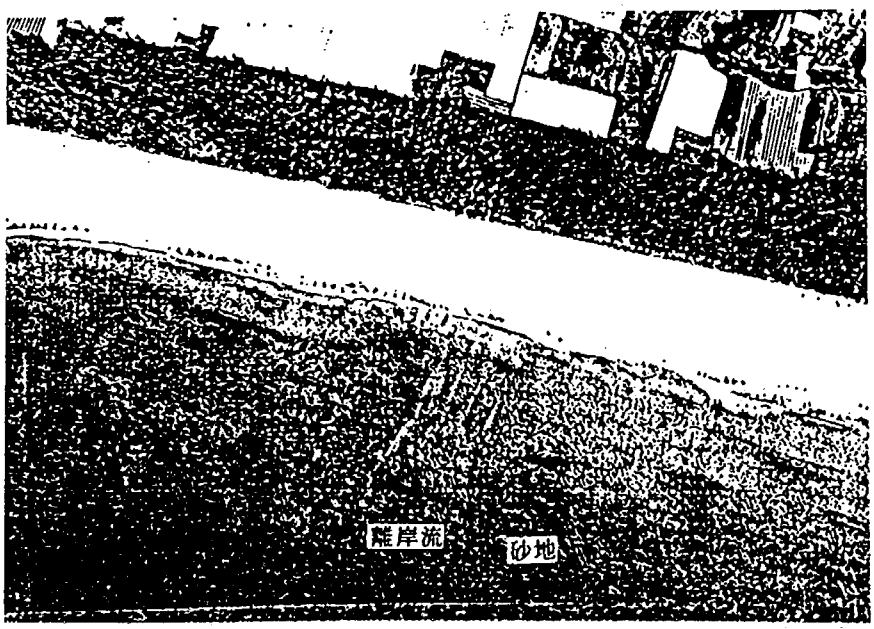
※砂地は、水深が浅いと明るい色となり、水深が深くなるに従って暗い色に変化する。沖合で濃く写っているのは、岩礁である。
（縮尺１／10,000）

写真Ⅳ－４　空中写真の例（阿久根地区）



※離岸堤周辺の写真。周辺は砂地である。（縮尺１／10,000）

写真Ⅳ－５　空中写真の例（相良地区）



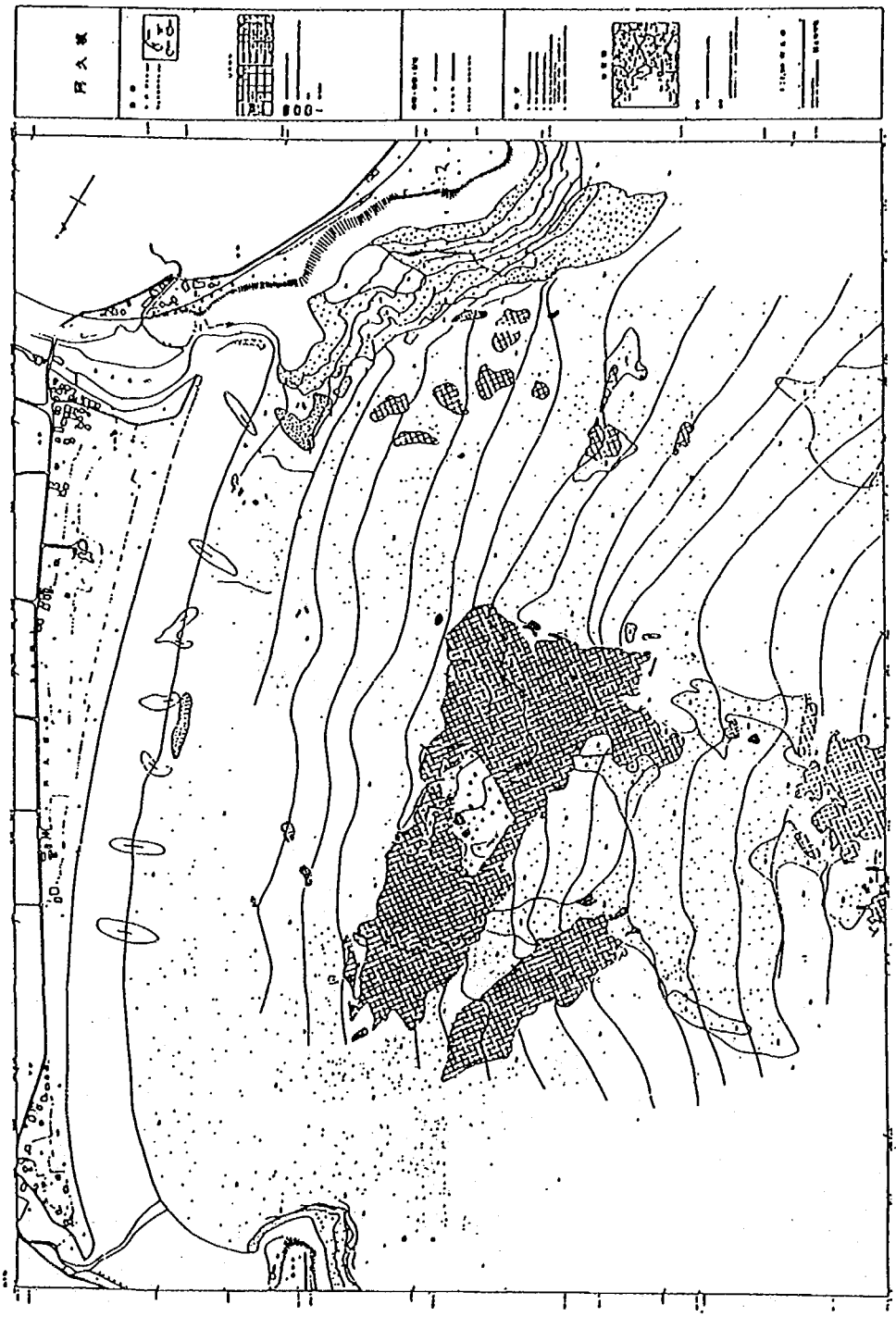
※離岸流の発生場所。（縮尺／3,000）

写真Ⅳ－６　空中写真の例（阿久根地区）

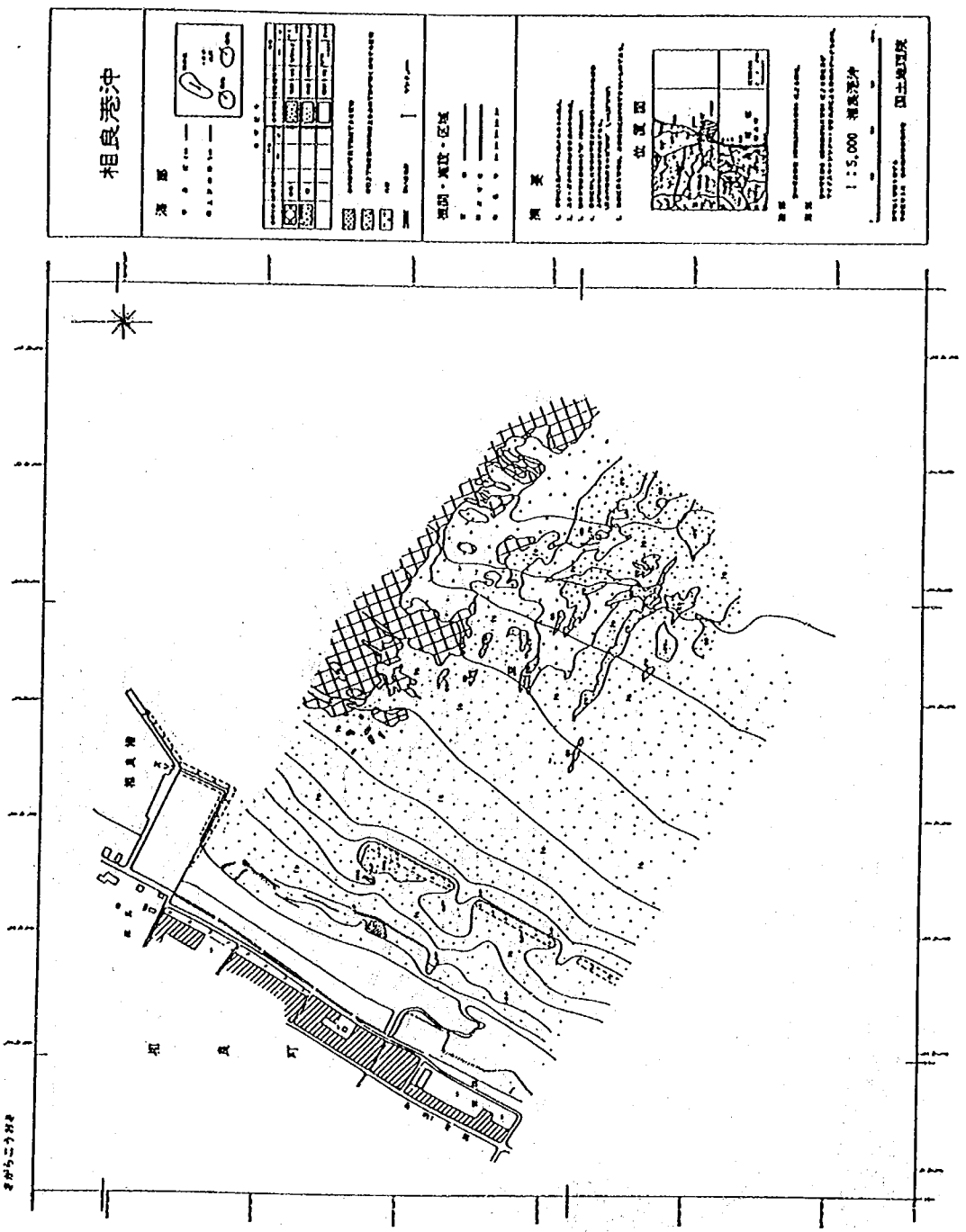
Ⅴ　調査成果の取りまとめ

調査結果の取りまとめとして、サイドスキャンソナーによる音響映像判読図と空中写真による底質・地形判読図を基に図Ⅴ－１ａ）～ｄ）に示す海底面状況図が作成された。また、水深読取図と海底面状況図および空中写真による図化素図を基に海底地形図が作成された。ここでは、海底地形図は図Ⅴ－１の海底面状況図のなかに盛り込まれている。なお、参考のため、水深読取図と海底面状況図を基に作成した海底地形図を図Ⅴ－２ａ）～ｄ）に示した。

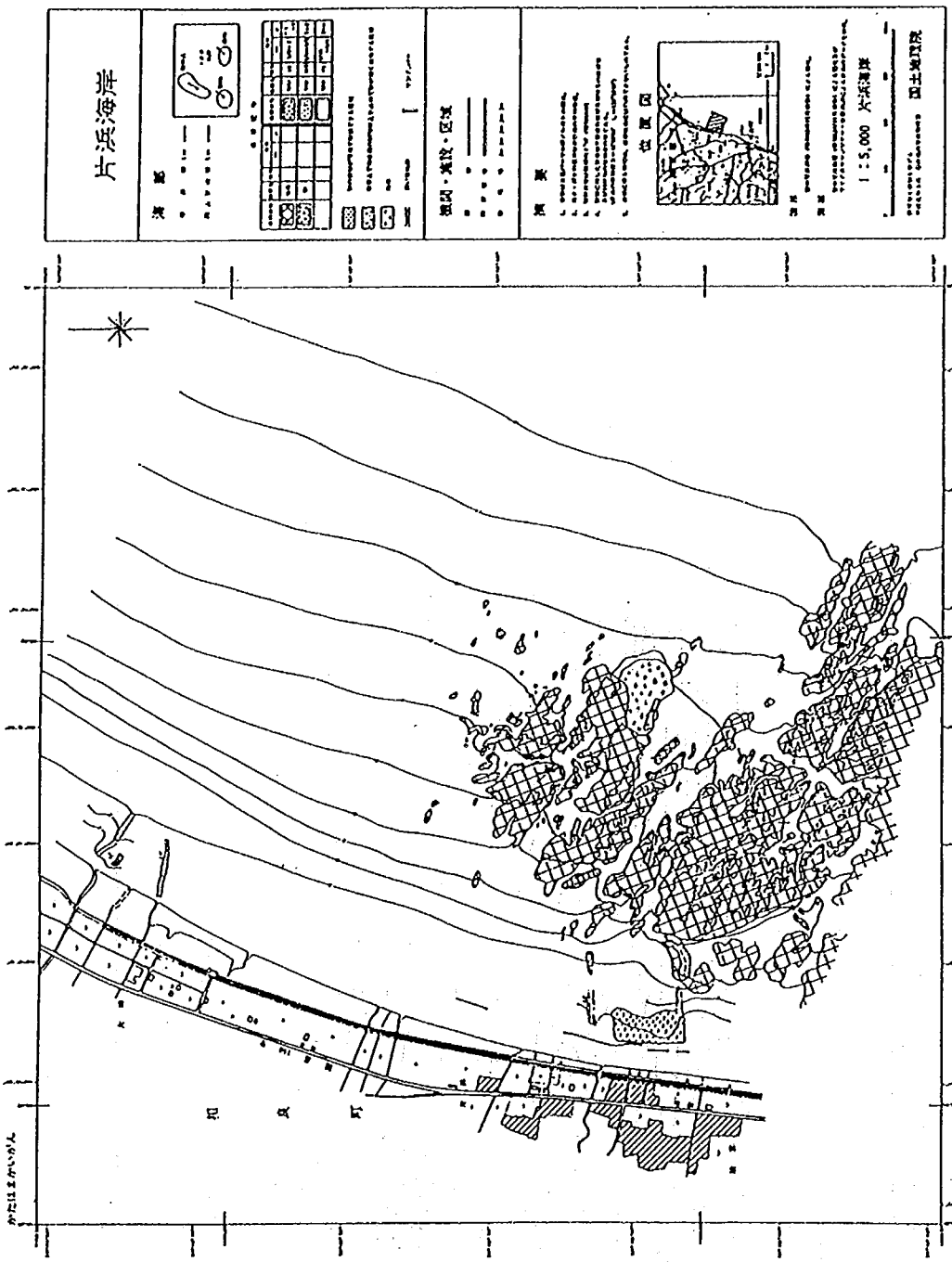
これらの図には、岩礁の延長方向と分布範囲、岩礁の間に発達する細長い谷等の海底地形と岩礁や礫と砂質堆積物の境界および消波構造物周辺に形成された微地形や底質の変化を示す海底面状況が表現されている。



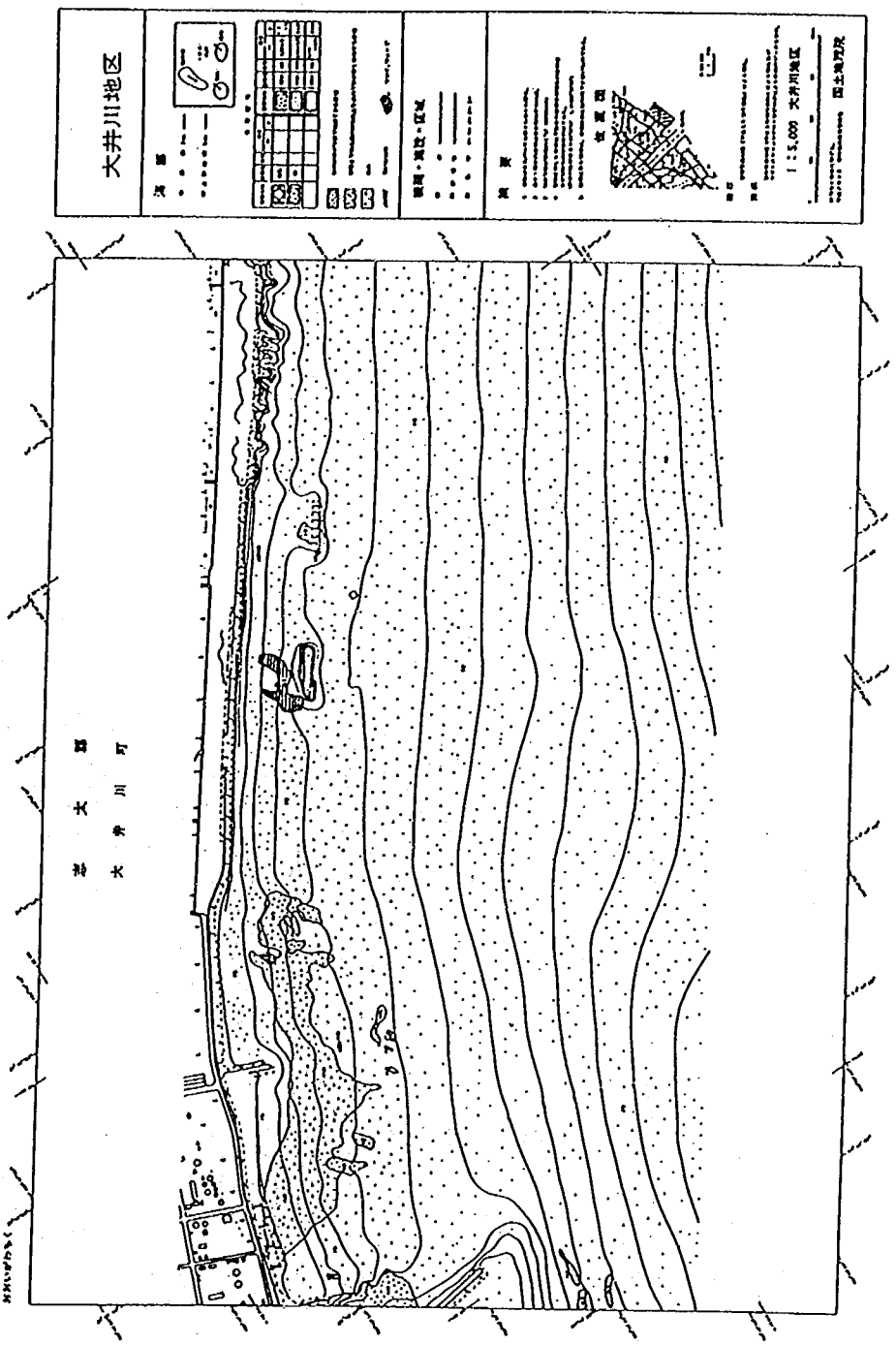
図Ⅴ－１ａ）１：2,500　海底面状況図（阿久根）　縮小率0.15倍



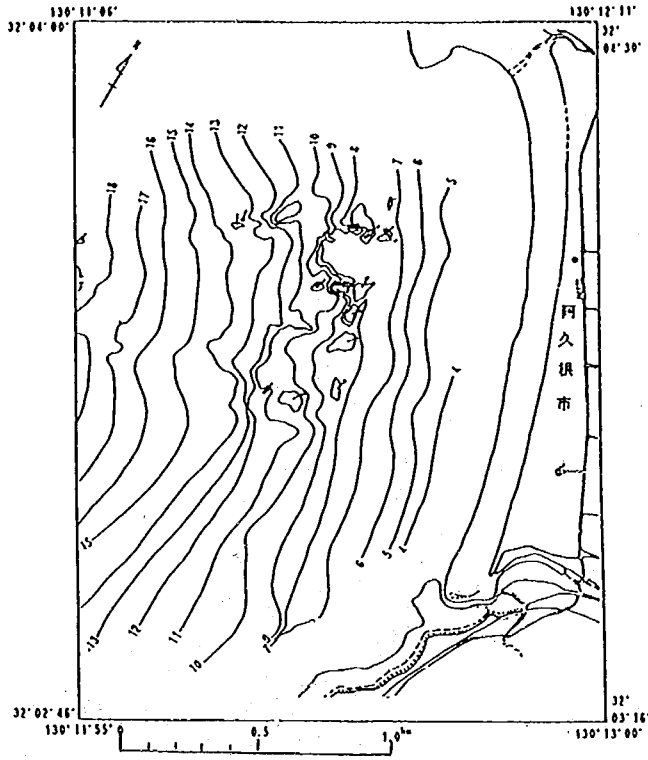
図Ⅴ－１ｂ）１：5,000海底面状況図（相良地区）　縮小率0.35倍



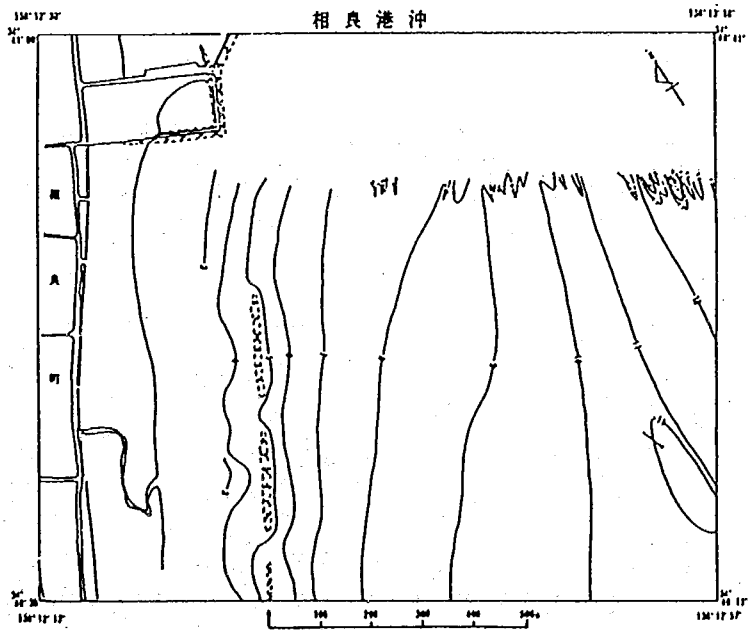
図Ⅴ－１ｃ）１：5,000海底面状況図（相良地区）　縮小率0.35倍



図Ⅴ－1 d） 1：5,000海底面状況図（大井川地区）　縮小率0.3倍



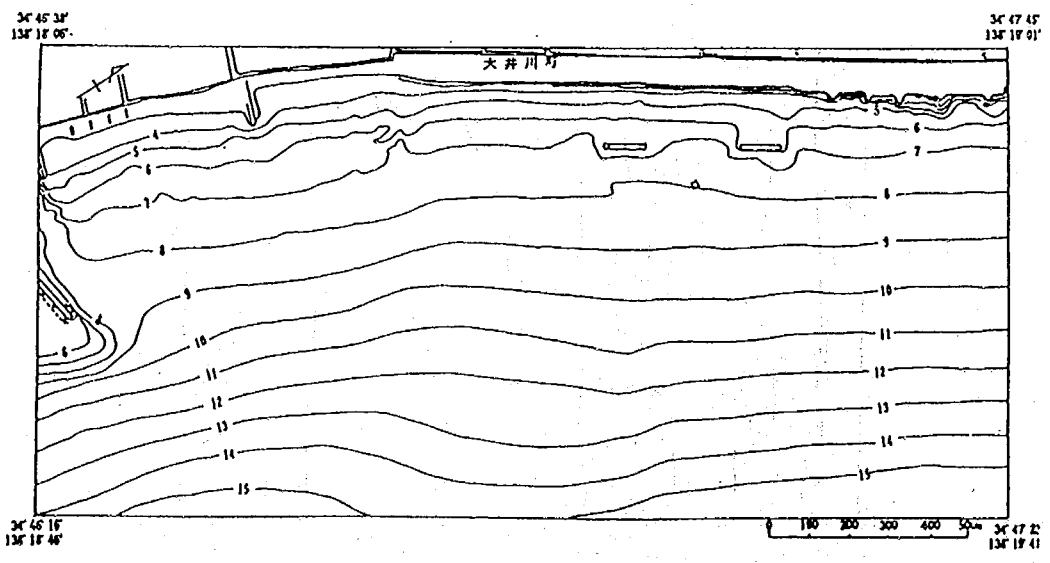
図Ⅴ－２ａ）　海底地形図（阿久根地区）



図Ⅴ－２ｂ）　海底地形図（相良地区）



図Ⅴ－２ｃ）　海底地形図（相良地区）



図Ⅴ－２ｄ）　海底地形図（大井川地区）

Ⅵ 参考文献

本別冊に解説された各手法については、以下の文献を参照するとよい。

井内美郎（1981）：霞ヶ浦の湖底をさぐる，地質ニュース，Vol.320，pp.38－46.

植木俊明（1990）：サイドスキャンソナーによる海底の把握，写真測量とリモートセンシング，Vol.29，No.2，pp.84－93.

植木俊明・村井俊治・橋本俊昭（1984）：サイドスキャン画像による立体視の可能性，シンジポウム「最近の海底調査その4」資料，日本水路協会，pp. 27－31.

宇根　寛・茂木公一・菅原　貢(1990)：音響映像・空中写真による海底地形・地質の面的調査手法の検討，地理調査部研究報告，Vol. 6，pp.136－140.

宇根　寛・谷田部好徳・福島康博・関崎賢一・山岸　登（1990）：底質不安定沿岸域漁場開発調査作業，地理調査部研究報告，Vol. 6，pp.111－119.

太田純一・高津芳郎（1987）：沖縄海域における海底図化作業について，（財）日本測量調査技術協会ＡＰＡ，No.36－2，pp.21－25.

大塚　清（1990）：海底地形地質調査，写真測量とリモートセンシング，Vol.29,No.2，pp.67－75.

大森昌衛・茂木昭夫・星野通平（1971）：　浅海地質学（海洋科学基礎講座7），東海大学出版会，445ｐ.

海上保安庁水路部（1984）：水路用語集，312ｐ.

亀井順一・宮野正実・熊本洋太（1988）：サイドスキャンソナーによる海底面音響映像の効果的利用法，シンポジウム「最近の海底調査その8」資料，日本水路協会，pp.107－118.

菊地真一・浜崎広海（1984）：富山湾大泊鼻沖の海底音響写真地図，地図，Vol.22，No.2，pp.14－17.

北原敏雄・山口和美（1977）：沿岸海域での写真利用について－海底地形・底質・藻場を主に－，写真測量調査技術協会ＡＰＡ，No.3，pp. 1 －15.

木本氏寿（1983）：新版写真測量の実際，山海堂，267ｐ.

熊木洋太（1983）：沿岸域の広域基礎情報の取得とその表示法，第12回国土地理院技術研究発表会資料，pp.101－116.

熊木洋太（1988）：サイドスキャンソナーを用いた海底調査方法について，海岸，Vol.28，pp.86－94.

熊木洋太（1989）：サイドスキャンソナーによる海底地形－底質分布の調査法，新しい地盤調査法Ⅱ，日本応用地質学会九州支部，pp.106－116.

熊木洋太・鈴木義宣・田崎昭男（1985）：空中写真による浅海底調査の試み，地理調査部研究報告，Vol.1，pp.107－113.

熊木洋太・田崎昭男・原口和政・鈴木義宣・佐藤宗一郎（1985）：海・湖底面音響映像の効果的利用に関する研究，地理調査部研究報告，Vol. 1，pp.99－106.

熊木洋太・橋本圭三郎・宮野正実（1987）：海・湖底面音響映像の効果的利用に関する研究，地理調査部研究報告，Vol. 3，pp.85－90.

熊本洋太・原口和政（1984）：沿岸漁場開発のための自然条件の調査と地図表示，地図，Vol.22，No.3，pp. 12－18.

熊本洋太・原口和政(1986)：海・湖底面音響映像の効果的利用に関する研究，地理調査部研究報告，Vol. 2，pp. 62－66.

建設省国土地理院（1978）：沿岸海域基礎調査作業規程，28p.

建設省国土地理院（1982）：沿岸海域基礎調査作業実施要領（案），国土地理院技術資料，D・1－No.222，93p.

建設省国土地理院・海上保安庁水路部（1982）：沿岸域利用事業調査報告書，112p.

国立天文台編（1991）：理科年表，丸善，1048p.

佐藤一彦・内野孝雄（1977）：海洋測量ハンドブック，東海大学出版会，656p.

島村秀樹・安田嘉純・江森康文・Sar Sardy（1987）：サイドスキャンソナー画像のデジタル画像解析，シンポジウム「最近の海底調査その7」資料，日本水路協会，pp. 43－55.

（社）海洋調査協会（1986）：海洋調査技術マニュアル－水深測量編－，225p.

（社）海洋調査協会（1987）：海洋調査技術マニュアル－海洋地質調査編－，320p.

（社）日本港湾協会（1983）：港湾工事共通仕様書，運輸省港湾局，163p.

（社）日本写真測量学会（1981）：空中写真の判読と利用，鹿島出版会，357p.

（社）日本水路協会（1981）：水路測量上・下，618p.

（社）日本測量協会（1974）：測量用語解説，323p.

（社）日本測量協会（1984）：写真測量①（現代測量学第6巻），497p.

（社）日本測量協会（1987）：建設省公共測量作業規程，355p.

（社）日本測量協会（1987）：建設省公共測量作業規程解説と運用，487p.

鈴木惣一（1987）：測量設計と計画管理，鹿島出版会，284p.

田中邦一・佐伯　悟（1978）：航空写真による海の調査，（財）日本測量調査技術協会ＡＰＡ，No.6－5，pp.25－36.

谷岡誠一（1990）：湖底地形調査の現状と課題－国土地理院の湖沼調査を例に－，地質学論集，Vol.36，pp.243－262.

谷岡誠一・宇根　寛・高沢信司・茂木公一・菅原　貢（1991）：海底地形・地質の面的調査手法に関する技術資料，国土地理院技術資料，D・1－No.303，125p.

谷岡誠一・高沢信司・茂木公一・菅原　貢（1991）：音響映像・空中写真による海底地形・地質の面的観測技術に関する研究（最終年），地理調査部研究報告，Vol.7.

谷岡誠一・高沢信司・茂木公一(1992)：浅海域の海底地形・地質の面的調査手法，土木技術資料，Vol.34，No.2，pp.67－73.

地学団体研究会地学事典編集委員会（1981）：増補改訂地学事典，平凡社，1612p.

津沢正晴・小原　昇・大塚　力（1989）：航空機画像等による潮間帯調査－沖縄県名護南部－，地理調査部研究報告，Vol.5，pp.171－179.

津沢正晴・小原　昇・野口高弘(1989)：音響映像・空中写真による海底地形・地質の面的調査手法の検討，地理調査部研究報告，Vol. 5，pp. 166－170.

徳山英一・山本富士夫・芦寿一郎・植木俊明・清川昌一・月岡　哲・徐　垣・平　朝彦（1990）：ＩＺＡＮＡＧＩ海底画像ソナーシステムの原理とその実例，写真測量とリモートセンシング，Vol. 29，No. 2，pp. 76－83.

中村正治（1982）：空中写真による海底地形の直接図化，（財）日本測量調査技術協会ＡＰＡ，No. 19－2，pp. 12－17.

長岡正利・熊木洋太・橋本圭三郎・佐藤宗一郎・宮野正実（1987）：サイドスキャンソナーによる撮像・映像判読のための技術資料，国土地理院技術資料，Ｄ・1－No. 272，111ｐ.

中西　昭（1985）：海洋調査と音響機器（1），サイドスキャンソナー，水路，Vol. 14，No. 2，pp. 29－33.

西村蹊二（1975）：図説写真測量，朝倉書店，107ｐ.

日本鉱業会編（1975）：海底サンプリングハンドブック，ラティス，310ｐ.

日本リモートセンシング研究会編（1989）：リモートセンシング用語辞典，共立出版，321ｐ.

橋本圭三郎・小原　昇・熊木洋太（1988）：音響映像・空中写真による海底地形・地質の面的調査手法の検討，地理調査部研究報告，Vol. 4，pp. 140－145.

橋本　宏(1987)：海洋利用空間の創成・保全技術の開発－マリン・マルチ・ゾーン（ＭＭＺ）構想，海岸，Vol. 27，pp. 46－53.

町田　貞ほか編（1981）：地形学辞典，二宮書店，767ｐ.

水尾藤久（1985）：教程写真測量，山海堂，245ｐ.

実吉純一・菊地喜充・熊木乙彦監修（1968）：超音波技術便覧，日刊工業聞社，1803ｐ.

村井俊治(1985)：空中三角測量のブロック調整，(財)日本測量調査技術協会ＡＰＡ，No. 30－1，pp. 1－8.

村上文敏・木下泰正（1983）：音波を使って海底を視る，地質ニュース，Vol. 348，pp. 34－43.

柳瀬　訓（1982）：沿岸域利用事業調査－沿岸域の基礎情報図のあり方－，海岸，Vol. 22，pp. 10－26.

和達清夫監修（1960）：海洋の辞典，東京堂出版，671ｐ.

Une, H. and S. Tanioka (1990) : Planimetric observation methods for extremely shallow sea bottom, Proceedings of a Seminar Held by the Marine Cartography Commission of ICA.

Une, H. and S. Tanioka (1992) : Planimetric observation methods for extremely shallow sea bottom —Establishment of the guide for large - scale topographic wapping in coastal zone—, Bulletin of the Geographical Survey Institute, Vol. 37.

ＭＭＺ計画策定の手引き(案)

計画編　別冊

「波浪・流れ・水質・地形変化の予測手法」

MMZ計画策定の手引き（案）

第1章　総　説

MMZ計画策定の手引き（案）計画編別冊「波浪・流れ・水質・地形変化の予測手法」は、MMZ計画の策定に際し、海域制御構造物設置の効果および影響を把握するために必要となる波浪、流れ、水質、および地形変化を予測するための手法をとりまとめたものである。ここではMMZ計画の立案段階における予測に用いることを勘案して、現場技術者にとって実用的でありかつ取扱いの容易さに優れた手法を対象とした。したがって、

①主に規則波を対象とした波浪場の予測手法を示す。また、波浪の変化には構造物による反射を考慮しない。

②流れの場の予測では海浜流を対象とする。

③水質変化の予測手法の概要を示す。

④主に沿岸漂砂により生ずる地形変化を予測する。

等の条件を前提として本手引きを作成した。なお、本書では現場技術者の理解を助けるため，参考文献の記載に当っては英文より和文、論文より書籍というように心がけた。

第2章　波浪場の予測

2.1　予測計算手法

(1)　概説

波浪は沖合から浅海に近づくと水深変化による浅水変形、屈折、回折等により波高、波長を変え、さらに岸に近づくと砕波して海浜にうちあがる。このような波浪の変形は、複雑な海底地形の条件や構造物の影響下では水理模型実験、あるいは数値計算により予測する必要がある。

波浪場の予測に関して、水理模型実験（固定床平面実験）は非常に有力な手法である。海底地形の模型と沿岸方向の境界を適切に設定できれば、かなりの精度で平面的な波浪場を予測することができる。ただし、設置する海域制御構造物模型、既設の防波堤、あるいは海崖等の模型からの反射波の影響が大きく、造波装置あるいは水路の側壁との間で多重反射を生じるような場合には予測精度が低下する。また、海浜流場の予測を同時に必要とする場合には、造波境界と測方境界が流れの場に与える影響を十分に検討しておく必要がある。造波境界と測方境界の海浜流へ及ぼす影響が大きいと考えられる場合には、海浜流場を数値計算により予測することになるが、この場合には波浪場も数値計算により予測しておく方が効率的である。

数値計算により波浪場を予測する方法にはいくつかあり、計算の目的、境界条件等により各種方法が選択される。数値計算の有利な点は、波浪条件（波高、周期、波向）や構造物の配置等を比較的容易に変更できるので、数多くのケースの検討が可能なことである。また、海浜流場の予測に必要な格子点上の波高データに、波浪場の計算結果をそのまま利用できる。

平面的な波浪場を解く数値計算手法を一覧にして表—2.1に示す。本手引きは海域制御構造物背後に形成される静穏域および流れの状況、その結果生じる海浜変形を対象とする。この場合、構造物から沖合に反射する波を予測する必要は特にない。また、海浜からの反射は小さく無視できることから、本手引きでは入射

表－2.1　沿岸域における波浪場計算手法の概説

計算法の種類	特徴	参考例
波向線法	（1）他の方法に比べて計算が容易で計算時間も短く浅水変形、屈折の計算ができる。 （2）波の反射と回折を直接には扱えない。 （3）焦線（caustic）が形成されると、波高が無限大となり、実現象と合わない。	
エネルギー平衡方程式	（1）運動量方程式による方法と比べ計算容量が少なくてすみ、計算時間も短い。 （2）複雑な海底地形や流れの存在する場合の対応が比較的容易である。 （3）波の反射と回折を直接には扱えない（各点で単一の波向が定義できるような進行波の場を前提としている。） （4）焦線（caustic）が形成されると、波高が無限大となり、実現象と合わない。	Noda（1974） 酒井ほか（1981） 西村（1987） 山口・川原・戸塚（1988）
数値波動解析法	（1）屈折・回析・反射を同時に扱える。 （2）境界条件の扱いが容易である。 （3）波の浅水変形を正しく評価できない。	伊藤・谷本（1971, 1972） 谷本・小舟（1975） 酒井ほか（1978）
緩勾配方程式法	（1）屈折・回析・反射を同時に扱える。 （2）通常の条件に対して実用上十分な精度で屈折・回析・反射及び浅水変形の効果を表現できる。 （3）実際の計算に際しては、部分反射境界や沖側の入射境界の取扱いに困難を生じがちである。 （4）計算領域全体にわたって繰り返し計算を行うので、計算時間が長い。	Berkhoff（1972） Mei（1989） 大中・渡辺・磯部（1987） 渡辺・丸山（1984）
緩勾配方程式の放物型近似	（1）屈折・回析を同時に扱える。 （2）珪面浅瀬のように地形が複雑な場合にもエネルギー保存則による方法に比べ精度の良い結果が得られる。 （3）防波堤背後の波の回折変形についても妥当な結果をあたえる。 （4）波の進行方向に逆行する反射は表現できない。 （5）入射波の波向に対して、各地点の波向角度の差が大きくなると、精度が悪くなる。	Radder（1979） 橋本（1982） Dalrympleら（1984） 磯部（1985） 平口・丸山（1986）

波の浅水変形、屈折、回折を同時に扱うことができ、比較的計算の容易な緩勾配方程式の放物型近似（以下放物型方程式と略す）を用いる方法を採用し、以下に記述する。

放物型方程式は、緩勾配方程式を変形して進行波のみを考慮する計算法であり、緩勾配方程式を用いる場合よりも計算時間をかなり短かくできる。また、構造物背後の波の回折変形については、波向の変化が大きな構造物直背後では計算精度がやや劣るものの、構造物から少し離れた地点では妥当な計算結果を与える。

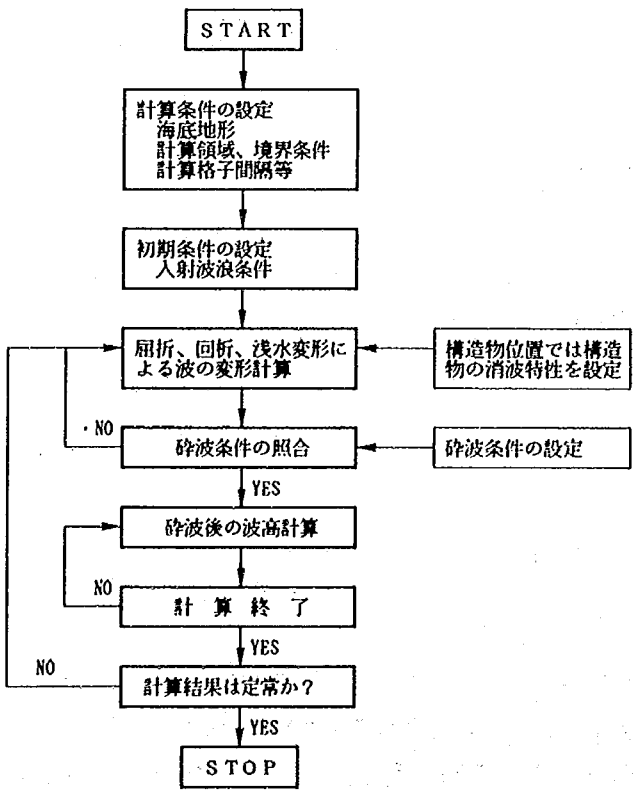
波浪場の予測の計算フローを図－2.1に示す。まず計算の対象領域の範囲と海底地形を決め、さらにそれらに応じた境界条件、計算格子等を定める。次に、入射波浪条件を設定して波の変形計算を開始する。計算に当っては、予め設定した構造物の消波特性、砕波条件を用いて計算を進める。波が砕波点に達した後には、砕波変形をモデル化した計算を行う。

(2) 基本式

単一周期を有する微小振幅波の運動は、海底地形の変化が小さいとすれば次の緩勾配方程式で表わすことができる。

$$\nabla(CC_g\nabla\Phi)+\omega^2\Phi C_g/C=0 \qquad (2.1)$$

ここに，Φ（x，y）は複素2次元のポテンシャル関数、x，y：平面2次元座標、ω：波の角周波数、C：波速、Cg：群速度であり、$\nabla\equiv(\partial/\partial_x,\ \partial/\partial_y)$である。このとき、$\phi=\Phi(CC_g)^{1/2}$とおくと、式（2.1）は次のようなヘルムホルツの式に変換される。



図－2.1 波浪場の計算フロー

$$\nabla^2\phi+k_c^2\phi=0 \tag{2.2}$$

ここに、

$$k_c^2=k^2-\frac{\nabla^2(CC_g)^{1/2}}{(CC_0)^{1/2}} \tag{2.3}$$

である。また、波数kとωは次の分散関係式を満たす。

$$\omega^2=gk\tanh kh \tag{2.4}$$

ここでg：重力の加速度、h：水深である。

式（2.2）のヘルムホルツの式は楕円型であり、この方程式を放物型に近似するためには、波の場を進行波と逆行波に分離する必要がある。Radder（1979）は進行波をϕ^+、逆行波をϕ^-と表して、

$$\phi=\phi^++\phi^- \tag{2.5}$$

とした。波の進行方向をx軸にとり、$\phi^+\simeq e^{+ikx}$、$\phi^-\simeq e^{-ikx}$とすると、式（2.2）は次のようになる。

$$\frac{\partial\phi^+}{\partial x}=\left(ik_c-\frac{1}{2k_c}\frac{\partial k_c}{\partial x}+\frac{i}{2k_c}\frac{\partial^2}{\partial y^2}\right)\phi^++\left(\frac{1}{2k_c}\frac{\partial k_c}{\partial x}+\frac{i}{2k_c}\frac{\partial^2}{\partial y^2}\right)\phi^- \tag{2.6}$$

$$\frac{\partial\phi^-}{\partial x}=\left(\frac{1}{2k_c}\frac{\partial k_c}{\partial x}-\frac{i}{2k_c}\frac{\partial^2}{\partial y^2}\right)\phi^++\left(-ik_c-\frac{1}{2k_c}\frac{\partial k_c}{\partial x}-\frac{i}{2k_c}\frac{\partial^2}{\partial y^2}\right)\phi^- \tag{2.7}$$

進行波に比べて逆行波が小さいと仮定すれば、式（2.6）の右辺第二項を省略することができ、次の放物型の方程式が得られる。

$$\frac{\partial\phi^+}{\partial x}=\left(ik_c-\frac{1}{2k_c}\frac{\partial k_c}{\partial x}+\frac{i}{2k_c}\frac{\partial^2}{\partial y^2}\right)\phi^+ \tag{2.8}$$

k_0を代表波数とし、進行波を$\phi^+=\psi\exp(ik_0x)$とおく。ここに$\psi(x, y)$は複素ポテンシャル関数である。このとき式（2.8）は次のようになる。

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial y^2}+2ik_0n\frac{\partial\psi}{\partial x}+f\psi=0 \tag{2.9}$$

ここに、

$$n=k/k_0$$

$$f=k_0^2n\left[2(n-1)+\frac{i}{k_0}\frac{\partial\ln(n)}{\partial x}\right] \tag{2.10}$$

このように、放物型方程式は波の進行方向を仮定して導かれている。したがって、精度のよい数値解を求めるためには、主要な波の進行方向と計算軸を一致させる必要がある。波向が変化する場合、Snellの法則等により近似的に波向線を与えて計算を行う方法もある（平口・丸山，1986）。また、近似的な波向線が別な方向で求められれば、座標軸をそれに合わせて解析する方法も提案されている（磯部，1985）。

2. 2 砕波条件と砕波変形

放物型方程式を用いた計算では砕波帯外の波の変形のみが計算される。したがって、砕波位置の決定および砕波後の波の変形に関しては、別のモデルを用いて計算しなければならない。

(1) 砕波条件

入射波が砕波する条件に関しては、これまで種々の研究がなされている。代表的な研究成果を表2.2に示す。以下には、本計算に利用し易い合田（1970）による砕波条件について説明する。

合田（1970）は、沖波の条件、すなわち周期Tと換算沖波高Ho'、および海底勾配tanθを与えて、砕波水深hbと砕波波高Hbの関係を求める砕波指標を提案した。この砕波指標は、多くの研究者によって得られた実験データを系統的に整理して求められたものであり、次式で表現される。

$$\frac{H_b}{L_0}=A\left[1-\exp\left\{-1.5\pi\frac{h_b}{L_0}(1+15\tan^{4/3}\theta)\right\}\right] \qquad (2.11)$$

ここに、Loは沖波波長、Aは定数であり規則波の場合にはA＝0.17を用いればよいとされている。

(2) 砕波後の波の変形

砕波後の流体運動は複雑であり、特に砕波に起因する乱れの性質が明確でないため、砕波変形を定式化することは難しい。現状では、種々の仮定と実験的な検討によりいくつかのモデル化がなされている。最も簡単な手法は、砕波帯すべての点における波高が、それぞれの地点の水深に対応する砕波限界波高に等しいとするものである。一方、水口ら（1978）、泉宮・堀川（1983）はエネルギー平衡方程式のなかに砕波後の乱れによるエネルギー逸散項を追加することにより、波の減衰過程をモデル化している。このようなモデルは、複雑な海底地形でも砕波後の波高変化を計算できるが、エネルギー逸散の評価に問題が残されている。

ここでは、緩勾配方程式の放物型近似を用いて砕波帯外の波の計算を行うことにしているので、砕波帯内についても類似の方程式系を用いることが適当である。そこで、取扱いの容易さ、計算の簡略さ等を考慮し、以下のような方法を示す。

表－2.2 破波条件に関する主な研究成果の概要

提案者	算定式	備考
Miche(1951) Hamada(1951)	$H_B/L_B=0.142\tanh(2\pi h_B/L_B)$ H_B：砕波波高、L_B：砕波波長、h_B：砕波水深	・海底勾配の影響はない。
合田(1973)	$\frac{H_B}{L_0}=A\left[1-\exp\left\{-1.5\frac{\pi h_B}{L_0}(1+15(\tan\beta)^{4/3})\right\}\right]$ L_0：沖波波長、$\tan\beta$：海底勾配、A：係数（=0.17）	・海底勾配の影響を考慮する。 ・実験データの近似式
Ostendorf and Madsen(1979)	$\frac{H_B}{L_B}=0.14\tanh\left\{(0.8+5\tan\beta)\frac{2\pi h_B}{L_B}\right\}$ $(\tan\beta<0.1)$ $\frac{H_B}{L_B}=0.14\tanh\left\{(1.3)\frac{2\pi h_B}{L_B}\right\}$ $(\tan\beta\geq0.1)$	・MicheおよびHamadaの式を海底勾配の影響を考慮して修正した。
渡辺ほか(1983)	$\frac{u_{B0}}{C_b}=\pi\frac{H_0'}{L_0}\frac{H_B}{H_0'}\frac{\cosh^2k_Bh_B}{\sinh^2k_Bh_B}$ $\frac{u_{Bc}}{C_b}=\pi\frac{H_0'}{L_0}\frac{H_B}{H_0'}\frac{\cosh^2k_Bh_B}{\sinh^2k_Bh_B}\times\cosh k_B\left(h_B+\frac{H_B}{2}\right)$ u_{B0}：波峰下静水位での水平流速、C_b：砕波点での波速、 u_{Bc}：波頂での水平流速、k_B：砕波点での波数、H_0'：換算沖波波高	・波が重合した場にも適用できるよう、流速振幅で指標を整理した。

砕波条件として合田（1970）の方法を用い、計算地点の水深を用いて砕波限界波高を求める。その波高と砕波帯外と同じ方法で計算される波高を比較し、両者の小さい方をその地点の波高とする。すなわち、

$$H_s=\min\{H_p,\ H_b\} \tag{2.12}$$

となる。ここに、

H_s：砕波後の波高

H_p：非砕波として砕波帯外と同じく計算した波高

H_b：式（2.11）による計算地点の砕波限界波高

である。

2. 3 数値計算の手法

ここでは、放物型方程式を差分法により解く方法について述べる。

(1) 差分式（例えば、橋本，1982）

クランク・ニコルソン型の差分式を用い、式（2.9）を差分化する。x方向に進行する波を対象とし、x軸方向にΔx間隔、y軸方向にΔy間隔の計算格子を設ける。$\phi(i\Delta x,\ j\Delta y)=\phi_j^i$と表せば、式（2.5）は次式のように差分化される。

$$\phi_{j+1}^{i+1}+\phi_{j-1}^{i+1}+\phi_{j+1}^{i}+\phi_{j-1}^{i}+[-2+(\Delta y)^2 f_j^{i+1/2}](\phi_j^{i+1}+\phi_j^i)+4ik_0\frac{(\Delta y)^2}{\Delta x}n_j^{i+1/2}(\phi_j^{i+1}-\phi_j^i)=0 \tag{2.13}$$

ここに、

$$n_j^{i+1/2}=\frac{1}{2}(n_j^{i+1}+n_j^i) \tag{2.14}$$

$$f_j^{i+1/2}=k_0^2 n_j^{i+1/2}\left[2(n_j^{i+1/2}-1)+\frac{i}{k_0}\ln\left(\frac{n_j^{i+1}}{n_j^i}\right)/\Delta x\right] \tag{2.15}$$

上式に初期条件ϕ_{oj}を与えることにより各格子点上の諸量を計算することができる。

(2) 格子間隔

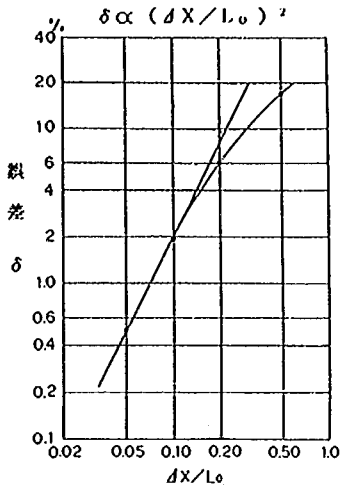
理論値と計算値の相対誤差を数パーセントの精度として計算を進めるためには、格子間隔Δx，Δyは、$\Delta x/L_0$、$\Delta y/L_0$が0.1より小さければよいとされている（図—2.2参照）。図中の縦軸は次式で表わされる相対誤差δである。

$$\delta=\frac{|H_{cal}-H_{real}|}{H_{real}}\times 100 \tag{2.16}$$

ここに、H_{cal}：計算値、H_{real}：真値である。

(3)軸方向と波向の関係

一般的には入射角と軸方向のなす角度が30°になると波高、波向とも5%以上の誤差を含むようになり、軸方向より30°以上傾いた入射角の条件では極端に精度が悪くなる（橋本，1982）。前述のように、精度のよい数値解を求めるためには、軸と主要波の進行方向を一致させることが望ましい。また、波向が変化する場合には精度良く近似された波向を用いることにより、波向と計算上の座標軸とのなす角度に関係なく精度



図－2.2　格子間隔と誤差の関係（橋本，1982）

の良い計算結果が得られる（平口・丸山，1986）。また、放物形方程式の関係の一部をminima 近似式に現われる係数で置き換えることにより、入射角の許容範囲を広げることができる（間瀬ほか，1989）。

(4)　境界条件

①不透過の境界

不透過の境界面では、法線方向の流速成分はない。例えば、y 軸上に直立堤防がある場合には、

$$\frac{\partial \psi}{\partial x}=0 \qquad (2.17)$$

となる。

②任意反射率の境界

任意反射境界には、流量条件を考慮した数値波動解析法（谷本・小舟，1975）に準じた方法が用いられる（渡辺・丸山，1984）。

③消波構造物の境界条件

波浪場の予測では、構造物岸側の静穏域の形成状況を把握することが重要な課題である。その一つの方法として、消波構造物の波高伝達率ＫＴを用い、構造物のすぐ沖側の入射波高を次式のように強制的に低減させる方法がある。

$$H_T=K_T \cdot H_I$$

ここに、H_T：透過波高、H_I：入射波高、K_T：透過率である。

種々の構造物に対して、この方法を適用したところ、ほぼ妥当な計算結果が得られている。また、砕波により主な消波効果を得るタイプの構造物では、構造物を海底地形の変化としてとらえる方法を適用することも可能である。

第3章　海浜流場の予測

3.1　予測計算手法

(1)　海岸近くの流れの分類

海岸近くの流れには、潮流、河口流、吹送流の流れがあるが、多くの場合に卓越するのは海浜流である。海浜流とは、波によって誘起される流れの総称であり、沿岸流、離岸流等を含む。波が斜め入射する場合には、砕波帯内では波高低下にともない発生する応力（ラディエーション応力）に沿岸方向の成分が生じ沿岸流が発生する。また、波の運動には質量輸送として平均的な流れが伴う。波による質量輸送の向きは一般的に波の進行方向と同じであり、向岸流として岸向に海水を輸送する。そのため、ある部分でそれに釣り合った沖方向に向かう流れが生じることになる。この流れが離岸流となる。

波浪場が沿岸方向に一様でない場合には波高分布に応じた海浜流が形成される。したがって、海浜流場を予測するためには波浪場を予測する必要がある。水理模型実験では、波浪場とともに海浜流場が形成される。しかし、実験では造波境界、側方境界などの現地には存在しない境界があるため、波浪場が精度よく再現されても、海浜流場の予測精度は必ずしも高くならない。したがって、予測を必要とする領域へ境界の影響が生じないように十分な検討を行うとともに、現地での流況観測データ等により実験結果を検証する必要がある。

数値計算による予測では、波浪場の情報（波高、波速の平面分布）が既知であればそれらのデータを入力することにより海浜流場の計算を行うことができる。一般には、現地データより波浪場の情報を得ることは難しいので、波浪場の計算を行い、次に海浜流場の計算が行われる。また、波浪場と海浜流場は互いに干渉するため、お互いの計算を安定した解が得られるまで繰返す方法もある。ここでは、両者の干渉効果の影響は小さい状況を想定して、波浪場と海浜流場の繰り返し計算には触れない。海浜流場の計算フローを図－3.1に示す。

(2)　海浜流の方程式

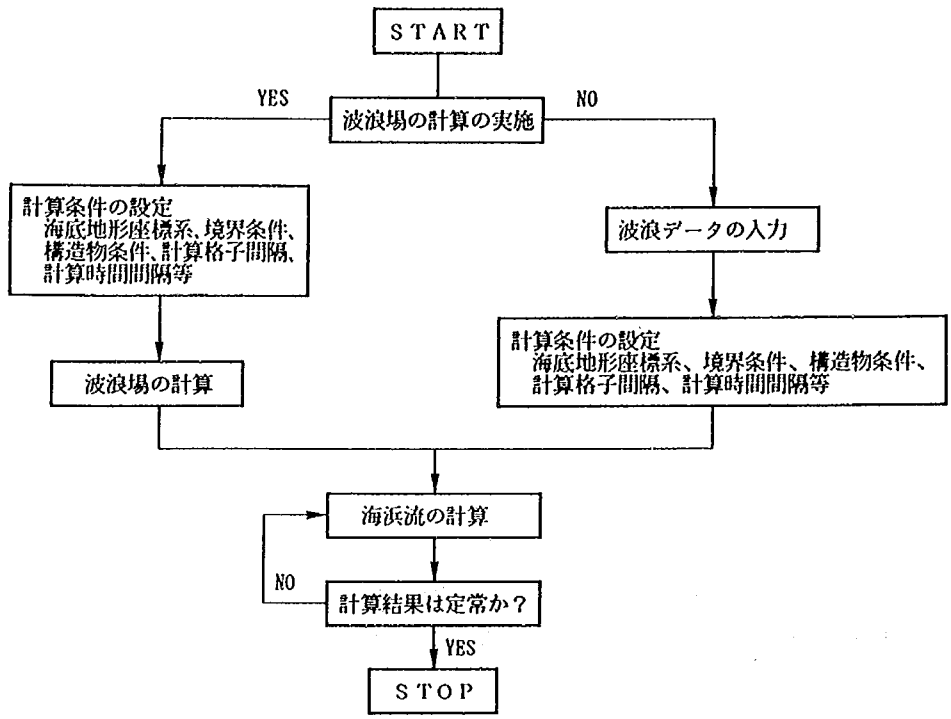
海浜流の方程式は、流体の連続式と運動方程式を波の周期のオーダーで時間平均し、底面から水表面まで鉛直方向に積分して求められる。連続式を式（3.1）に、運動方程式を式（3.2）、（3.3）に示す。

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t}+\frac{\partial U(h+\overline{\zeta})}{\partial x}+\frac{\partial V(h+\overline{\zeta})}{\partial y}=0 \tag{3.1}$$

$$\frac{\partial U}{\partial t}+U\frac{\partial U}{\partial x}+V\frac{\partial U}{\partial y}+F_x-M_x+R_x+g\frac{\partial \overline{\zeta}}{\partial x}=0 \tag{3.2}$$

$$\frac{\partial V}{\partial t}+U\frac{\partial V}{\partial x}+V\frac{\partial V}{\partial y}+F_y-M_y+R_y+g\frac{\partial \overline{\zeta}}{\partial y}=0 \tag{3.3}$$

ここに、U，V：x，y方向の流速、$\overline{\zeta}$：平均水位の変化量、h：静水深、t：時間である。また、F_x、F_yは摩擦項、M_x、M_yは水平拡散項である。R_x、R_yはラディエーション応力項であり、波による流れの発生を促す成分である。



図－3.1　海浜流場の計算フロー

3. 2　各項の算定式

流れの場の計算において問題となるのは、式(3.2)、(3.3)における底面摩擦、水平拡散、ラディエーション応力の各項の評価である。これらに関しては、多くの研究者によって定式化がなされている（本間・堀川, 1985)。以下に底面摩擦項、水平拡散項およびラディエーション応力項の評価式を示す。

$$\begin{cases} F_x=\dfrac{2}{\pi\cdot h}C_f\hat{u}_b U \\ F_y=\dfrac{2}{\pi\cdot h}C_f\hat{u}_b V \end{cases} \tag{3.4}$$

ここに、C_f：摩擦係数、$\hat{u}_b$：底面での波動流速である。摩擦係数については、一般的には$C_f=0.01$が用いられている（本間・堀川, 1985)。

$$\begin{cases} M_x=-\dfrac{\partial}{\partial x}\left(\varepsilon\dfrac{\partial U}{\partial x}\right)+\dfrac{\partial}{\partial y}\left(\varepsilon\dfrac{\partial U}{\partial y}\right) \\ M_y=\dfrac{\partial}{\partial x}\left(\varepsilon\dfrac{\partial V}{\partial x}\right)+\dfrac{\partial}{\partial y}\left(\varepsilon\dfrac{\partial V}{\partial y}\right) \end{cases} \tag{3.5}$$

水平拡散係数εの算定法はこれまでにいくつか提案されているが、多くの場合、Longuet－Higgins (1970) による。

$$\varepsilon=Ny_s\sqrt{g(h+\zeta)}$$

が多く用いられている。ここに、N：定数、y_s：汀線からの距離である。定数Nは試計算により決められ

ることが多い。

$$\begin{cases} R_x=\dfrac{1}{\rho(h+\zeta)}\left(\dfrac{\partial S_{xx}}{\partial x}+\dfrac{\partial S_{xy}}{\partial y}\right) \\ R_y=\dfrac{1}{\rho(h+\zeta)}\left(\dfrac{\partial S_{yx}}{\partial x}+\dfrac{\partial S_{yy}}{\partial y}\right) \end{cases} \tag{3.6}$$

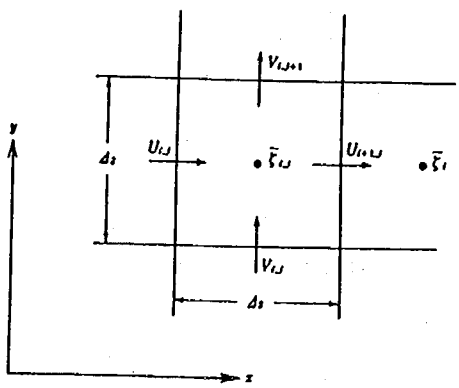
ここに、ρは海水の密度である。ラディエーション応力Sxx、Sxy、Syyは微小振幅波理論では、以下のように表される。

$$\begin{cases} S_{xx}=E\dfrac{C_g}{C}\cos^2\alpha+\dfrac{E}{2}\left(2\dfrac{C_g}{C}-1\right) \\ S_{xy}=S_{yx}=\dfrac{C_g}{C}\sin\alpha\cos\alpha \\ S_{yy}=E\dfrac{C_g}{C}\sin^2\alpha+E\left(2\dfrac{C_g}{C}-1\right) \end{cases} \tag{3.7}$$

3. 3 数値計算の手法

(1) 差分式（本間・堀川, 1985）

この種の計算においては、流速成分Ui,jおよびVi,jの定義位置をそれぞれx、y軸方向に半格子間隔だけずらし、正方格子の中央で平均水位$\zeta_{i,j}$が定義される（図－3.2）。水深、波の条件などの入力データは全て



図－3.2 計算格子

水位$\zeta_{i,j}$の計算点ごとに与える。また、差分方法としては、空間については中央差分が、時間については前方差分が用いられる。連続式（3.1）の差分式は次のようである。

$$(\overline{\zeta}^{+}_{i,j}-\overline{\zeta}_{i,j})/\Delta t+(D_{xi+1,j}U_{i+1,j}-D_{xi,j}U_{i,j})/\Delta s+(D_{yi,j+1}V_{i,j+1}-D_{yi,j}V_{i,j})/\Delta s \tag{3.8}$$

ここに、$\zeta^{+}_{i,j}$はΔt（時間間隔）だけ進んだ時刻の平均水位、Δsは格子間隔、Dx、Dyは水位変化量を含んだ全水深($D=h+\overline{\zeta}$）であり、次式で与えられる。

$$D_{xi,j}=(h_{i,j}+\overline{\zeta}_{i,j}+h_{i-1,j}+\overline{\zeta}_{i-1,j})/2$$
$$D_{yi,j}=(h_{i,j}+\overline{\zeta}_{i,j}+h_{i,j-1}+\overline{\zeta}_{i,j-1})/2$$

一方、x軸方向の運動方程式（3.2）の差分式は、

$$(U^{t}_{ij}-U_{ij})/\Delta t+U_{ij}(U_{i+1,j}-U_{i-1,j})/2\Delta s+V^{*}_{ij}(U_{ij+1}-U_{ij-1})/2\Delta s+F_{xij}-M_{xij}$$
$$+R_{xij}+g(\overline{\zeta}_{ij}-\overline{\zeta}_{ij-1})/\Delta s=0 \tag{3.9}$$

$$M_{xij}=\{\varepsilon_{ij}(U_{i+1,j}-U_{ij})-\varepsilon_{i-1,j}(U_{ij}-U_{i-1,j})+\varepsilon^{*}_{ij+1}(U_{ij+1}-U_{ij})-\varepsilon^{*}_{ij}(U_{ij}-U_{ij-1})\}/\Delta s^{2} \tag{3.10}$$

$$R_{xij}=\{S_{xxij}-S_{xxi-1,j}+(S_{xyij+1}+S_{xyi-1,j+1}-S_{xyij-1}-S_{xyi-1,j-1})/4\}/(\rho D_{xij}\Delta s) \tag{3.11}$$

となる。ここに、

$$V^{*}_{ij}=(V_{ij}+V_{i-1,j}+V_{ij-1}+V_{i-1,j-1})/4 \tag{3.12}$$

$$\varepsilon^{*}_{ij}=(\varepsilon_{ij}+\varepsilon_{i-1,j}+\varepsilon_{ij-1}+\varepsilon_{i-1,j-1})/4 \tag{3.13}$$

である。同様に式（3.3）は、

$$(V^{t}_{ij}-V_{ij})/\Delta t+U^{*}_{ij}(V_{i+1,j}-V_{i-1,j})/2\Delta s+V_{ij}(V_{ij+1}-V_{ij-1})/2\Delta s+F_{yij}-M_{yij}$$
$$+R_{yij}+g(\overline{\zeta}_{ij}-\overline{\zeta}_{ij-1})/\Delta s=0 \tag{3.14}$$

$$M_{yij}=\{\varepsilon_{ij}(V_{i+1,j}-V_{ij})-\varepsilon_{i-1,j}(V_{ij}-V_{i-1,j})+\varepsilon^{*}_{ij+1}(V_{ij+1}-V_{ij})-\varepsilon^{*}_{ij}(V_{ij}-V_{ij-1})\}/\Delta s \tag{3.15}$$

$$R_{yij}=\{S_{yxij}-S_{yxi-1,j}+(S_{yyij+1}+S_{yyi-1,j+1}-S_{yyij-1}-S_{yyi-1,j-1})/4\}/(\rho D_{yij}\Delta s) \tag{3.16}$$

ここに、

$$U^{*}_{ij}=(U_{ij}+U_{i-1,j}+U_{ij-1}+U_{i-1,j-1})/4 \tag{3.17}$$

$$\varepsilon^{*}_{ij}=(\varepsilon_{ij}+\varepsilon_{i-1,j}+\varepsilon_{ij-1}+\varepsilon_{i-1,j-1})/4 \tag{3.18}$$

である。

(2) 格子間隔

流れの空間変化のスケールは波浪の空間変化よりも大きいので、格子間隔の大きさは波浪場の計算格子間隔の数倍が妥当とされている（西村，1987）。ただし、海底地形の空間変化を十分に取り込める程度に細かい必要がある。

(3) 計算の安定条件

海浜流場の計算では、流れのない初期状態からラディエーション応力の効果より流れが発生し、次第に安定状態へと移行する。このような非定常の計算では、時間間隔が計算の安定上重要となる。計算時間が1ステップ進行する間に、ある点の現象が隣接格子点を越えた格子点に影響するようであれば計算が不安定になる。すなわち、計算しうる現象伝播速度$\Delta s/\Delta t$より、実現象の伝播速度が小さくなければならない。したがって、計算の安定条件は、

$$\Delta s/\Delta t>\{|U|+\sqrt{g(h+\overline{\zeta})}\}_{max} \tag{3.19}$$

となる。ここで$|U|$は定常流の流速値である。計算格子間隔Δsが定められれば、上式を満足するように時間間隔Δtを決めることができる。

汀線付近では水深が非常に浅いため、流れの計算が不安定となりやすい。このため、強制的に摩擦係数を大きくし、0.1程度の値とすると実用上有効となる場合が多い。

(4) 境界条件

境界条件には流速を用いることにする。平均水位を境界条件に用いる方法もあるが、この場合には平均水位の微細な差異が計算結果に影響することがある。

a）開境界

開境界では空間的に流速変化がないとして、

$$U=\text{const.} \quad \text{あるいは} \quad V=\text{const.} \tag{3.20}$$

とする。一般に沖側では水深が大きく流速変化の小さな領域にまで計算範囲を広げて、この境界条件を用いる。

b）閉境界

不透過壁のような閉境界では、境界面の法線方向の流速成分が0として、

$U=0$　あるいは　$V=0$

とする。

c）構造物位置の境界

①スリットタイプの型式

実験等により流れに対する構造物の抵抗を調べておき、式（3.4）に示す摩擦項のなかで構造物の境界条件を評価する方法がある。概略検討では構造物を不透過境界として設定する方法をとることもできる。

②波を流れに変えるタイプの型式

構造物を地形の陸起とみなし、強制的に砕波を生じさせることで流れを誘起する方法をとることができる。ただし、一般的な適用性は不明であり実験等による検証が必要とされる。

第4章　水質に関する予測

4. 1　概説

海域制御構造物は広域の波浪制御を目的とした延長の長い消波構造物であることから、波や流れ場が変化することにより周辺海域の水質にも影響を及ぼす場合がある。水質に与える影響としては、工事中に発生する濁りや陸域廃水等の拡散状況の変化、海域制御構造物の岸側と沖側での海水交換性の変化等を挙げることができる。本章ではこれらの水質変化を予測する手法の概要を述べることにする。なお、物質の拡散を支配する因子には、物質自体の化学的・生物学的挙動も含まれるが、これらの現象については未解明な点が多いので、ここでは対象としない。

4. 2　流れの計算方法

本章で対象とする水質の変化に最も強く影響するのは沿岸域の流れである。沿岸域の流れはその変動時間スケールにより表－4.1のように分類される。このうち、MMZ計画における水質予測に主に関連するのは吹送流、潮流、海浜流である。

吹送流は風により誘起され、海水表面付近に主に形成される流れである。したがって、浮遊しやすい濁質や油の移流拡散と関係が深い。潮流は潮汐に起因する流れであり、広域の海水交換や陸域排水の拡散等に関係する。陸域排水や海上工事により発生する濁りなど、浅海域での水質変化は主に海浜流に支配される。海浜流の予測手法は既に述べたので、以下には潮流の計算方法を概説する。

潮流の計算は、圧力を静水圧分布と仮定した基礎方程式により計算される。密度が水深方向に一様とした場合の潮流の基礎式を以下に示す。

$$\begin{cases} \dfrac{\partial U}{\partial t}+\alpha U\dfrac{\partial U}{\partial x}+\alpha V\dfrac{\partial U}{\partial y}+\dfrac{(\alpha-1)}{(h+\eta)}U\dfrac{\partial \eta}{\partial t}+g\dfrac{\partial \eta}{\partial x}=\dfrac{W_x}{\rho(h+\bar{\eta})}+A_h\left(\dfrac{\partial^2 U}{\partial x^2}+\dfrac{\partial^2 U}{\partial y^2}\right)+f_c V-\dfrac{gn^2U\sqrt{U^2+V^2}}{(h+\eta)^{7/3}} \\ \qquad\qquad (4.1) \\ \dfrac{\partial V}{\partial t}+\alpha U\dfrac{\partial V}{\partial x}+\alpha V\dfrac{\partial V}{\partial y}+\dfrac{(\alpha-1)}{(h+\eta)}V\dfrac{\partial \eta}{\partial t}+g\dfrac{\partial \eta}{\partial y}=\dfrac{W_y}{\rho(h+\eta)}+A_h\left(\dfrac{\partial^2 V}{\partial x^2}+\dfrac{\partial^2 V}{\partial y^2}\right)+f_c U-\dfrac{gn^2V\sqrt{U^2+V^2}}{(h+\eta)^{7/3}} \\ \qquad\qquad (4.2) \end{cases}$$

表－4.1　沿岸海域の流れの種類と時間スケール

流れの種類	時間スケール	領　域
海浜流	10分～1時間	沿岸、砕波帯近傍
潮流	1日	外洋、内湾、沿岸
密度流		河口部、内湾
吹送流	1日～1ヶ月	外洋、内湾、沿岸部
海洋循環流	数ヶ月～1年	外洋

$$\frac{\partial \eta}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}[(h+\eta)U]+\frac{\partial}{\partial y}[(h+\eta)V]=0 \qquad (4.3)$$

ここに、U，V：水平方向の平均流速、f_c：コリオリの係数（$2\Omega\sin\phi$ I、Ω：地球の自転角速度、ϕ I：緯度）、α：運動量補正係数、h：水深、η：平均水位、A_h：水平渦動粘性係数、n：マニングの粗度係数、である。W_x、W_yは風による表面応力であり、風速のx，y成分u，vを用いて

$$\begin{cases} W_x=\gamma^2\rho_a u^2 \\ W_y=\gamma^2\rho_a v^2 \end{cases}$$

と表わされる。ここにρ_a：空気の密度であり、γ^2は係数で0.01～0.03の値がとられる。またA_hは一般に、現地実験により求められる。

潮汐は太陽と月の影響により海面がほぼ規則正しく昇降を繰り返す現象である。潮汐はいくつかの決まった周期をもつ海面変動の和として表すことができる。このように潮汐を一定の周期と潮差をもつ分潮に分解することを調和分解という調和分解により得られる主な分潮を表—4.2に示す。このうち、沿岸海域では半日潮流が卓越していることが多い。潮流の計算では対象海域の各分潮成分の大きさを調べ、潮汐による海面変動を与えて計算を行う。

表－4．2　主要4分潮

略　称	名　　称	周期
M_2周期	太陰半日周潮	12時間25分
S_2周期	太陰半日周潮	12時間00分
O_1周期	太陰日周潮	25時間49分
K_1周期	日月合成日周潮	23時間56分

4．3　水質変化の計算手法

(1)　一般

水質の変化は、対象とする水質の濃度分布、海浜流および潮流に関する充分な現地資料を得た上で、数値モデルによるシミュレーション、類似事例の解析等により予測する。水質変化に関する数値モデルには、現象を支配する基礎方程式系（流れの基本方程式および物質の保存方程式）に基づいて将来の水質変化を予測をする方法、海域をいくつかのボックスに分割してボックス間の移流量を算出することにより、海水交換等の予測を行うボックスモデルを用いた方法等がある。いづれの予測モデルを用いるかは、現象把握の確実性、検証用データの有無とその精度、計算の労力などの点を考慮して決めればよい。以下には代表的な水質変化の計算手法を述べる。

(2)　海水交換率

海水交換率は現地の塩分濃度、潮流観測の結果から海水交換の程度を推定する方法である。海水交換率に関するモデルとしては、Parkerら（1972）および柏井（1977）のモデル等がある。ここでは、汚染された

湾内水と清浄な外海水の交換による湾内水の水質を扱う柏井（1977）の方法を示す。この方法は1潮汐周期の間に湾口付近の湾内水と湾外水がどれだけ交換するかを示すものであり、満潮時に潮汐の作用によって湾外水が湾内に流入する場合（上げ潮時）と、干潮時に湾内水が湾外に流出する場合（下げ潮時）を対象としている。上げ潮時に湾内に流入する海水の中に含まれる外海水の割合 r_G（海水交換率）は次式で与えられる。

$$r_G=\frac{c_F-c_E}{c_0-c_B}=\frac{r_E r_F}{r_E+r_F-r_E r_F} \tag{4.4}$$

ここに、c_0：外海水の塩分濃度、c_B：湾内水の濃度、r_E：上げ潮による流入量のうち湾内に流入する外海水の占める割合、r_F：下げ潮により流出量のうち湾外に流出する湾内水の占める割合、である。このうち、γ_Eとγ_Fは次式で求められる。

$$\begin{cases} r_E=\dfrac{\bar{c}_F-\bar{c}_E}{c_0-\bar{c}_E} & (4.5) \\ r_F=\dfrac{\bar{c}_F-\bar{c}_E}{\bar{c}_F-c_B} & (4.6) \end{cases}$$

このとき、

$$\begin{cases} \bar{c}_E=\dfrac{\sum_{j=1}^{m} Q_{Ej}c_{Ej}\Delta T}{\sum_{j=1}^{m} Q_{Ej}\Delta T} & (4.7) \\ \bar{c}_F=\dfrac{\sum_{j=1}^{m} Q_{Fj}c_{Fj}\Delta T}{\sum_{j=1}^{m} Q_{Fj}\Delta T} & (4.8) \end{cases}$$

である。ここに、Q_{Fj}、c_{Fj}：上げ潮時のj時間帯に湾内に流入する流量および塩分濃度、Q_{Ej}、c_{Ej}：下げ潮時のj時間帯に湾外に流出する流量および塩分濃度、$\bar{c}_E$、$\bar{c}_F$：上げ潮および下げ潮の平均濃度、ΔT：流量および塩分測定時間帯の間隔、m：測定データ数である。

海水交換率を求めることにより、湾内の海水が入れ替わるのに要する時間や陸からの汚染物質の負荷量と湾内の平均的な水質との関係などを比較的容易に把握することができる（例えば、中村・高橋，1980；木村ら，1987）。

(3) ボックスモデル

ボックスモデルは海域をいくつかの領域（ボックス）に分割し、各領域間の水質の交換をモデル化するものである。各々の領域では水質が一様に混合した状態が仮定される。各ボックス間の水質交換を予測するための基本式は次式となる（図－4.1参照）。

$$\frac{dV_0C_i}{dt}=\sum_k Q_kC_k-\sum_i Q_iC_i \tag{4.9}$$

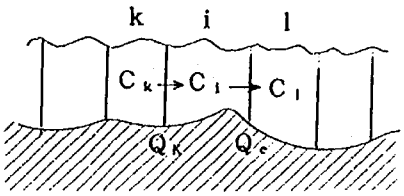
ここに、V_0：対象領域の体積、C_i：予測対象水質の濃度、Q_k：隣接領域kからの流入流量、C_k：隣接領域kの濃度、Q_i：対象領域からの流出流量である。式（4.9）の右辺は境界外からの流入とボックス間の交換流量による物質輸送を示している。ボックス間の交換流量は海域の流れの状況をもとにして濃度分布が実測値に合うように適宜決定される。

この方法は、時間スケールとして1潮汐周期を単位とし、ボックス間の移流量を算出することにより、塩

分、CODなどの有機物、窒素・リン系の栄養等の溶存物質の濃度変化を計算する場合等に適用される（例えば、木村，1984；宗景ら，1989)。

(4) 拡散方程式

海域への汚濁負荷に伴う水質変化を予測する場合、海域の流れの特性に適応した拡散モデルを作成して計算する方法が用いられる。拡散に関する数値モデルとしてはフィック型の拡散方程式を数値的に解く方法が多くの場合に用いられる。

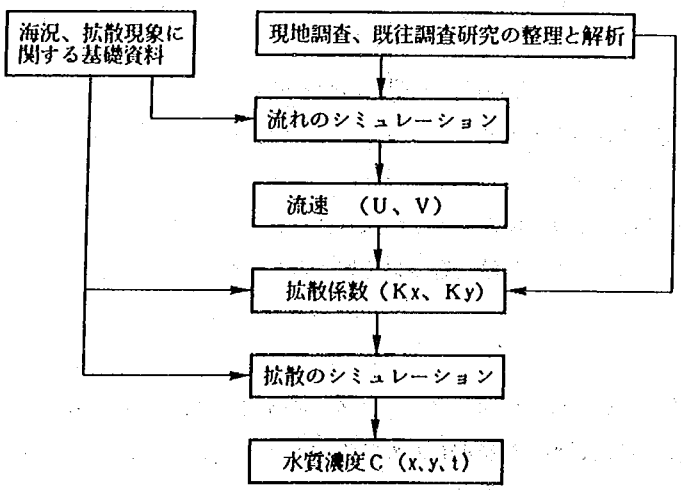


図－4.1 ボックスモデルの概念図

沿岸における水質予測の拡散予測における基本式は、（4. 10）に示される。

$$\frac{\partial C_i}{\partial t}+U\frac{\partial C_i}{\partial x}+V\frac{\partial C_i}{\partial y}+W\frac{\partial C_i}{\partial z}=\frac{\partial}{\partial x}\left(K_x\frac{\partial C_i}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_y\frac{\partial C_i}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_z\frac{\partial C_i}{\partial z}\right) \qquad (4.10)$$

ここに、C_i：物質ｉの濃度、U，V，W：ｘ，ｙ，ｚ方向の平均流速、K_x, K_y, K_z：ｘ，ｙ，ｚ方向の乱流拡散係数である。乱流拡散係数は、多くの場合現地観測により評価される。乱流拡散係数を現地観測より推定する方法としては、瞬間点源染料拡散実験、連続点源染料拡散実験、浮子拡散実験、流速観測値の統計解析による方法などがある（柳，1987)。このモデルを用いて水質を予測する場合のフローを図－4.2に示す。この方法により、沿岸域の濁りの変化や水質の変化が予測がされる（例えば、堀口ら，1980；1985、高梨・萩原，1987)。



図－４．２ 水質汚濁濃度の予測フロー

第5章　地形変化の予測

5. 1　予測計算手法

(1)　概説

MMZ計画において予測すべき地形変化としては、海域制御構造物の設置に伴う海浜地形の変化、構造物周辺の海底地形の変化等がある。前者は、海岸保全や海浜利用の計画上必要不可欠な項目であり、ここでは海域制御構造物の設置に伴う海浜地形変化の予測手法について述べることにする。海浜地形変化の予測には、水理模型実験（移動床平面実験）や数値計算が用いられる。水理模型実験は、沿岸漂砂により生じる長期的な地形変化を予測する際には有力な手法となる。しかし、一般に行われる1/30～1/100程度の縮尺の実験では、最大でも数km、平均的には1km前後の区間の海岸線しか対象範囲とできない。沿岸漂砂により地形変化が生ずる場合には、対象とする海岸線の区間の両側にある程度の余裕を持たせておかないと、水槽側壁の影響を無視できなくなる。海域制御構造物の設置に伴う地形変化は、主に波向の変化および沿岸方向の波高分布に伴い生じる沿岸漂砂によるものと考えることができるので、実験を行うには構造物の設置範囲より十分に広い幅を有する平面水槽を用いる必要がある。また、移動床平面実験は海浜模型の製作に多大の労力を要するため、多数のケースの検討を必要とする場合には、この点にも十分注意しなければならない。

数値計算は対象とする海浜地形変化によりいくつかの方法に分類される（表－5.1）。平面的な海浜地形変化の数値計算手法としては、岸沖漂砂も含む比較的短期の地形変化を予測する手法として3次元海浜変化モデルがある（表－5.1参照）。また、延長の長い海岸線が沿岸漂砂により長期的に変化する状況を再現するモデルに汀線変化モデルあるいは等深線変化モデルがある（表—5.1参照）。後者の2モデルは延長の長い汀線の変化を比較的容易に計算することができる。また、広域の汀線変化の予測に関しては数多くの実績を有する。海域制御構造物の設置に伴う地形変化は、主に沿岸漂砂により広域で生じるものと考えられることから、ここでは計画立案時に必要とされる地形変化の情報を得るための手法として、汀線変化モデルあるいは等深線変化モデルを説明する。汀線変化モデルは海浜変形を汀線位置の変化で代表させ、沿岸漂砂量の海岸線に

表－5.1　数値計算の方法比較

数値計算の方法	内　　容	長　　所	短　　所	参考文献
3次元海浜変形モデル	対象海岸全域にわたって波浪や海浜流場を計算し、それらより各点の漂砂量を求めることによって、3次元的な海浜地形の時間変化を予測する。	(1)海底地形変化の計算ができる。 (2)比較的短時間の局所的な地形変化の予測に適する。	(1)計算所要時間が汀線変化モデルに比べて、きわめて長い。 (2)長期間の海浜変形予測への適用に問題が残されている。 (3)使用実績が乏しい。	渡辺ら(1984)
汀線変化モデル	海浜変形を海岸線位置の時間的変化によって代表させ、その変化を沿岸漂砂量の海岸線に沿う分布から予測する。	(1)長時間・広領域の海浜変形を把握するのに有力な手法である。 (2)3次元海浜変形モデルに比べ、短い計算時間で結果を得ることができる。	(1)構造物の配置が複雑な場合に、信頼性の高い結果を得ることが一般に困難である。 (2)海浜縦断形状の変化や局地的な海浜変化までは計算できない。	Pelnard-Considere (1956) 松岡・越智(1979)
等深線変化モデル (n-lineモデル)	汀線変化モデルの考え方を拡張し、沿岸漂砂量の水深方向分布を考慮して、等深線の変化を予測する。	(1)構造物周辺の海底地形変化の計算ができる。 (2)比較的短時間の局所的な地形の予測に適する。	(1)堤防前面の洗掘や、海浜流の作用によって生じる地形変化は計算できない。 (2)空間的にも時間的にも現象のスケールが小さい場合には適用できない。	Perlin・Dean(1983) 宇多ら(1990)

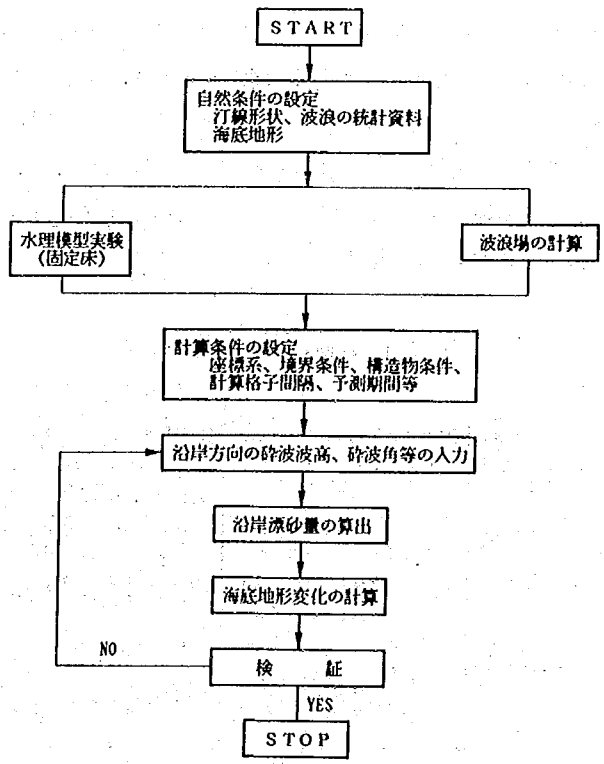
沿う分布から汀線位置の変化を予測する手法である。したがって、沿岸漂砂量算定のために必要となる、海岸線に沿う砕波波高や波向の分布を調べなければならない。また等深線変化モデルとは、汀線変化モデルの考え方を拡張し、沿岸漂砂量の水深方向分布を考慮して、汀線の変化に加えて等深線の変化を予測するモデルである。これら2種類のモデルはそれぞれ長所と短所を持っているので、予測の目的や入手できる資料に基づいて使い分ける必要がある。

いずれのモデルを用いる場合でも、計算結果を検証する必要がある。長期的な海浜変化の予測結果を検証するための資料としては、過去の航空写真、地形図を用いることができる。また、現状において汀線が安定している海岸で汀線変化を生じないことが計算上の必要条件になる。海浜地形変化の計算の流れをまとめて図—5.1に示す。

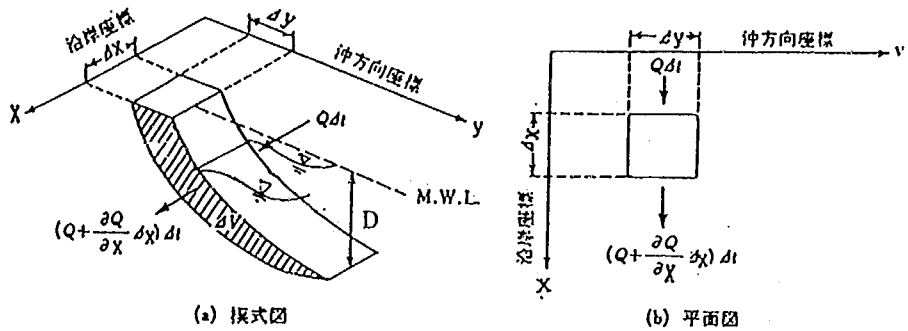
(2) 汀線変化モデル

汀線変化モデルは、図－5.2に示すように、沿岸漂砂量と汀線位置の時間的な変化を土砂量の保存則に基づき関係付けたとモデルである。このとき、海浜断面は一定の移動高さで平行移動すると仮定される（図－5.2参照）。これらの条件より基本式は次のようになる。

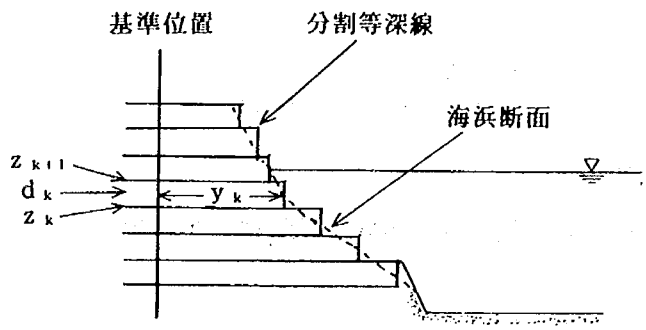
$$\frac{\partial Q}{\partial x}+D\frac{\partial y_s}{\partial t}=0 \qquad (5.1)$$



図－5.1 地形変化の計算フロー



図－5.2　海岸線変化量と砂移動量の関係



図－5.3　等深線の分割状況

ここに、x：沿岸距離、Q：沿岸漂砂量、ys：汀線位置、D：移動高である。沿岸方向のQの分布が得られれば、適切な境界条件を設定することにより、汀線の時間変化を遂時計算することができる。

(3) 等深線変化モデル

n本の等深線の変化を計算する方法にはBakker（1968）やPerlin・Dean（1978；1983）の研究がある。

ここでは、Perlin・Dean（1978；1983）の研究を参考とした沿岸漂砂量の水深方向分布を考慮した地形変化モデルについて示す（宇多ら，1990）。

鉛直方向の等深線の分割数をnとして、k番目（k＝1，2，……n）に対応する水深の漂砂量をq_kとする（図－5.3）。各等深線の位置をy_kとし、各等深線間で土砂量の保存則を適用すると、式（5.1）と同様に次式が得られる。

$$\frac{\partial q_k}{\partial x}+d_k\frac{\partial y_k}{\partial t}=0 \qquad (k=1,2,\cdots\cdots n) \tag{5.2}$$

ここに、d_kは分割された各等深線間の高さである（図－5．3参照）。沿岸方向のq_kの分布が求まれば、式（5.2）より各等線深線の変化を汀線変化モデルと同様に計算することができる。

5. 2 沿岸漂砂量式

(1) 基本式

沿岸漂砂は、主として砕波帯内に生じる沿岸流に起因する底質移動であることから、沿岸流と密接に関係する入射波のエネルギーフラックスの沿岸方向成分と関係付けられる。この考え方に基づく全沿岸漂砂量の算定式にCERC公式（1977）、小笹・ブランプトン式（1979）がある。

CERC公式は砕波点におけるエネルギーフラックスの沿岸方向成分と沿岸漂砂量とを結びつけたものであり、次式のように表される。

$$I = K\ (EC_g)_b\ \sin\alpha_{bs}\cos\alpha_{bs}$$

ここに、I：沿岸漂砂量の水中重量、$(EC_g)_b$：砕波点におけるエネルギーフラックス、α_{bs}：砕波時における入射角であり、Kは経験的に決定される係数である。また、

$$I = (\rho_s - \rho)\ g\ (1-\lambda_v)\ Q$$

の関係によりIは体積換算のQに変換される。ここに、ρ_s, ρ：それぞれ砂および海水の密度、g：重力加速度、λ_v：砂の空隙率である。また、$(EC_g)_b$は近似的に

$$(EC_g)_b = \frac{1}{8}\rho g H^2{}_b \cdot \sqrt{gh_b} \tag{5.5}$$

とすることができる。また、沿岸方向の座標方向に対する砕波角α_bが小さいと仮定すると、

$$\sin\alpha_{bs}\cos\alpha_{bs} \fallingdotseq \tan\alpha_b - \frac{\partial y_s}{\partial x} \tag{5.6}$$

とすることができるので

$$Q = K(EC_g)_b\left(\tan\alpha_b - \frac{\partial y_s}{\partial x}\right) \tag{5.7}$$

となる。

小笹・ブランプトンは、構造物の影響により沿岸方向に砕波波高が変化する場合、砕波波高の沿岸方向分布により沿岸漂砂が生じる効果を考慮した沿岸漂砂量式として次式を導いた。

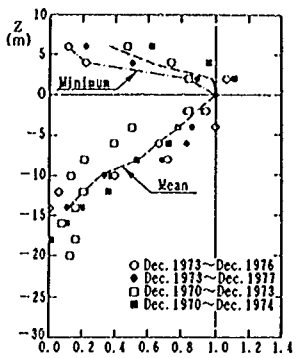
$$I = (EC_g)_b\left(K_1\sin\alpha_{bs}\cos\alpha_{bs} - \frac{K_2}{\tan\beta}\cos\alpha_{bs}\frac{\partial H_b}{\partial x}\right) \tag{5.8}$$

ここに、$\tan\beta$：海底勾配、H_b：砕波波高であり、K_1, K_2は無次元関数である。

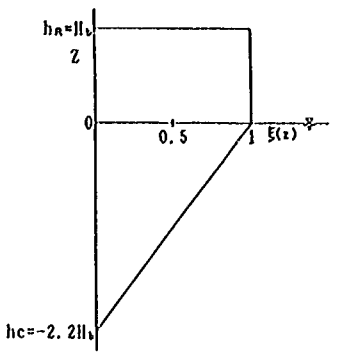
等深線変化モデルを用いる場合、沿岸漂砂量の水深方向分布が必要となる。沿岸漂砂量の水深方向分布は次のように設定する。地形変化が生ずる範囲は、計算に用いる代表波浪の波のうちあげ高（h_R）から移動限界水深（h_c）の間とする。沿岸漂砂量の水深方向分布については、種の現地資料により定められた分布形が報告されている。例えば河野ら（1986）は富士海岸での等深線の変化量の水深方向分布（図－5.4）を用いて、沿岸漂砂量の水深方向分布を求めている。

ここで、平均水位を基準とした鉛直上向き座標をzを用い、ピーク量q_pで規準化した沿岸漂砂量の水深方向分布$\xi(z)$を用いると、

$$Q = q_p\int_{-hc}^{h_R}\xi(z)dz$$



図－5.4　沿岸漂砂量の水深方向分布（富士海岸）



図－5.5　沿岸漂砂量の水深方向分布の例

表－5.2　漂砂量係数の例

調査研究例	K_1	K_2
田中則男・灘岡和夫（1982）	0.23	0.23
	0.23	0.37
Komar, P. D. and D. L. Inman (1970)(CERC式)	0.77	—
Kraus, N. C., H. Hanson and S. Harikai (1984)	0.1	0.1
Kraus, N. C. (1983)	0.4	0.2

となる。$\xi(z)$の分布形を等深線の分割に応じて次のように離散化する。

$$\mu_k = \int_{z_k}^{z_{k+1}} \xi(z)dz \Big/ \int_{-h_c}^{h_s} \xi(z)dz \tag{5.10}$$

以上より、各等深線間の沿岸漂砂量q_kは式（5.3）あるいは式（5.8）のエネルギーフラックスの項（EC_g）$_b$を変形することにより求められる。例えば、式（5.3）、（5.4）を用いると、

$$q_k = u_k \cdot F_b \cdot \sin\alpha_{bs} \cos\alpha_{bs}$$
$$F_b = K'(EC_g)_b \tag{5.11}$$

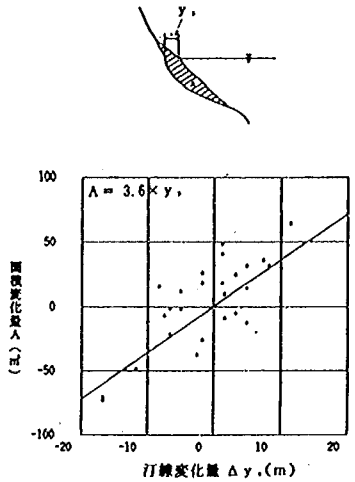
となる。$\xi(z)$は原則として現地資料で求める必要がある。一つの近似的な方法としては図—5.5に示すような分布形を仮定することもできる。

(2)　漂砂量係数

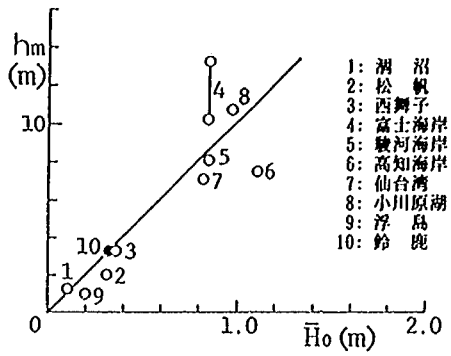
CREC公式（5.3）にはK、小笹・ブンランプトンの式（5.8）にはK_1，K_2の未定係数が含まれている。これらの値は種々の研究・調査によって求められているが（表－5.2参照）、現地の条件によりかなり異なり、一義的には決定できない。したがって、一般には検証計算に基づいて決定される。

(3)　漂砂の移動高D

沿岸漂砂による地形変化を計算する場合に用いる漂砂の移動高さは、現地の海浜断面が顕著に変化する範



図－5.6　汀線の変化量と海浜断面積の関係



図－5.7　沖波波高と漂砂移動高の関係
（宇多・山本，1989）

囲として求められる。したがって、陸側の境界は卓越波が遡上する高さとなり、沖側の境界は卓越波によって沿岸漂砂による地形変化を生じる深さまでとなる。

漂砂の移動高Dを算出する方法として、海浜断面積の変化量Aと汀線の変化量Δysの相関を用いることができる（図－5.6）。一方、宇多・山本（1989）は現地での漂砂の移動高を図－5.7のようにまとめている。また、宇多（1990）は移動高を求めるための代表波の選定法を求めている。

5.3　数値計算の手法

(1)　差分式

式（5.1）を陽解法の差分式で表わすと、

$$y_s'_t = y_{st} + \frac{\Delta t}{D\Delta x}(Q_t - Q_{t-1}) \tag{5.12}$$

となる。ここに、y'si は時刻ｔの海岸線位置、ｙsi は時刻ｔの海岸線位置、Δｔは時間間隔、Δｘは沿岸方向の格子間距離である。

(2)　計算の安定条件

格子間隔Δｘは予測される汀線形状が再現できる範囲で粗くとるとよい。一般には数10m程度にとられることが多い。このとき、計算時間間隔ΔｔとΔｘが次の関係を満足しなければ計算値は不安定となる。

①OERC公式を用いる場合

$$\frac{F}{D}\frac{\Delta t}{(\Delta x)^2} \leqq \frac{1}{2} \tag{5.13}$$

ここに、

$$F = \frac{K(EC_g)_b}{(\rho_s - \rho)g(1-\lambda_v)} \tag{5.14}$$

である。

②小笹・ブランプトン式を用いる場合

$$\frac{\Delta t(e)_{max}}{(\Delta x)^2} \leq \frac{1}{2} \tag{5.15}$$

ここに、

$e = e_1 + e_2$

$$\begin{cases} e_1 = 2(H^2 C_g)_b \dfrac{K_1}{16(\rho_s/\rho - 1)(1-\lambda_v)D} \\ e_2 = (H^2 C_g)_b \dfrac{K_2}{8(\rho_s/\rho - 1)(1-\lambda_v)D \tan\beta} \dfrac{\partial H_b}{\partial x} \sin\alpha_b \end{cases} \tag{5.16}$$

である。

(3) 境界条件

計算領域は沿岸漂砂量の分布が明瞭である位置に設定することが望ましい。たとえば岬等の漂砂を遮断する境界ではQ＝0、汀線の変化しない境界ではQ＝const.となる。以下には境界条件の設定法を示す。

a)自由境界

境界域での沿岸漂砂量が沿岸方向に一様に分布し、汀線が変化しない境界であれば、境界のQ_iを次式のように設定すればよい。

$$Q_i = Q_{i+1} \tag{5.17}$$

また、Qが沿岸方向に一様でない位置に境界を設定せざるを得ない場合には、次のような方法により近似的に境界のQ_iを設定するとよい。

$$Q_i = 2Q_{i+1} - Q_{i+2} \tag{5.18}$$

この条件は、境界の汀線が隣接する計算領域内の汀線と同傾向に変化することを意味している。

b)固定境界

岬や構造物により沿岸漂砂が完全に阻止される境界では、境界での漂砂の流出入がないとして、

$$Q_i = 0 \tag{5.19}$$

とすればよい。また、土砂の供給のある地点では該当格子のQ_iを供給量分だけ強制的に増す。

(4) 構造物の影響

実際の海岸では、護岸、消波工、あるいは突堤などの構造物が設置されている場合が多く、これらの構造物により沿岸漂砂量の分布が変化する。また、堤防や護岸は汀線の後退限界を決める境界となる。したがって、汀線の変化を計算するに当っては、これらの構造物による沿岸漂砂量の低減効果を該当格子において考慮する。

①突堤

突堤、導流堤あるいは防波堤などの構造物の先端水深をD_gとすると、構造物位置での沿岸漂砂量は近似的に次のように与えることができる。

$$Q_i = \begin{cases} Q_o(1-D_g/D_s) & D_g \leqq D_s \\ 0 & D_g > D_s \end{cases} \qquad (5.20)$$

ここに、Q_oは構造物が存在しないと仮定して計算される沿岸漂砂量で、D_sは沿岸漂砂の生ずる限界水深である。

等深線モデルの場合には、構造物の先端水深以深に分布する沿岸漂砂量より構造物を通過するQ_iを求めることができる。

②離岸堤

離岸堤が砕波帯より沖側にある場合には、離岸堤による波浪変形を計算することにより、離岸堤による沿岸漂砂量の低減の効果が評価される。離岸堤が砕波帯内にある場合には、離岸堤の効果を突堤同様に扱うことが多い。

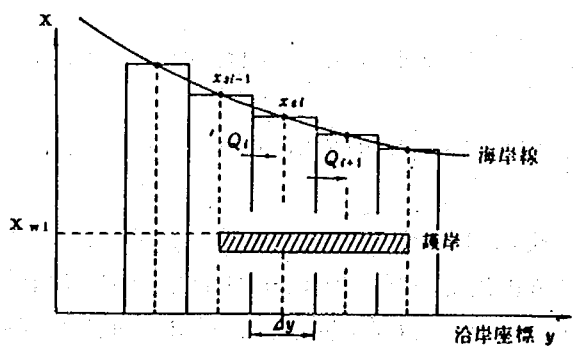
③護岸

海岸線沿いに護岸が設置されていると、汀線は後退しなくなる。この点を計算に取り込む方法はいくつか提案されている（本間・堀川, 1985)。ここではHanson ・ Kraus (1985) による方法について説明する。

図－5.8に示すように護岸が設置されている状況を想定する。計算の過程で海岸線x_{si}の位置が護岸位置x_{wi}より陸側に後退すると不合理になるので、$x_{si} = x_{wi}$と置き換える必要がある。こうした場合、土砂量の保存関係が破綻するので、漂砂量｛Q_i｝を補正する必要がある。式 (5.12) より補正量ΔQ_{fic}は

$$\Delta Q_{fic} = \frac{D_s \Delta y}{\Delta t}(x_{wi} - x_{si}) \qquad (5.21)$$

のように求められる。したがって、i番目の格子から流出する漂砂量Q_{i+1}からこの補正量だけ差し引いた値を新たにQ_{i+1}とすればよい。この補正法は必ずしも全ての条件に適用できるものではないため、計算条件に応じて修正する必要がある。



図－5.8 海岸線と護岸の関係

第6章　予測手法の適用例

6. 1　波浪、流れ、地形変化の予測

(1)　計算方法

本章では、波浪、海浜流、地形変化の予測計算の適用例として、スリット式構造物、および波を流れに変えるタイプの構造物を用いた水理模型実験結果と計算の比較例を示す(建設省土木研究所海岸研究室, 1988；1989)。計算の比較対象とした水理模型実験は、20m×10m×0.4mの平面水槽を用い想定縮尺を1／50として行われたものである。実験および計算条件を現地スケールに換算して表—6.1に示す。

スリット式構造物を設置した場合の波浪場の計算では、構造物の透過率K_tを2次元水理模型実験で得られている$K_t=0.5$とし、構造物位置で強制的に波高を低減させた。波を流れに変えるタイプの構造物の場合には、構造物を地形の凸部と設定し、入射波を砕波させることで構造物による波高変化を表現した。また、スリット式構造物の場合には構造物位置を閉境界として海浜流の計算を行った。

(2)　波浪場の計算結果

a)　スリット式構造物の場合

計算と実験の波高分布を図－6.1に示す。測線B－B'の位置する構造物の岸側では、中央付近で離岸流が発生した。そのために、実験値と計算値に差が見られるものの、測線A－A'、B－B'では全体として両者は良く一致する。岸沖方向の波高分布を示す測線C－C'、D－D'，E－E'でも、実験値と計算値はかなり良く一致している。

b)　波を流れに変えるタイプの構造物の場合

スリット式構造物と同様に計算と実験の波高分布を図－6.2に示す。汀線付近を除くと、計算値と実験値は良く一致しており、計算の再現性は良好である。

(3)　海浜流場の計算結果

a)スリット式構造物の場合

スリット式構造物周辺の海浜流場について、図－6.3に実験結果（上段の図）と計算結果（下段の図）を示す。模型実験では、構造物の岸側で一対の循環流が形成され、中央付近で離岸流が生じている。計算結果にも同様の循環流が発生しており、計算と実験とは良く対応している。ただし、海浜流の流速値は計算値の方が小さい。

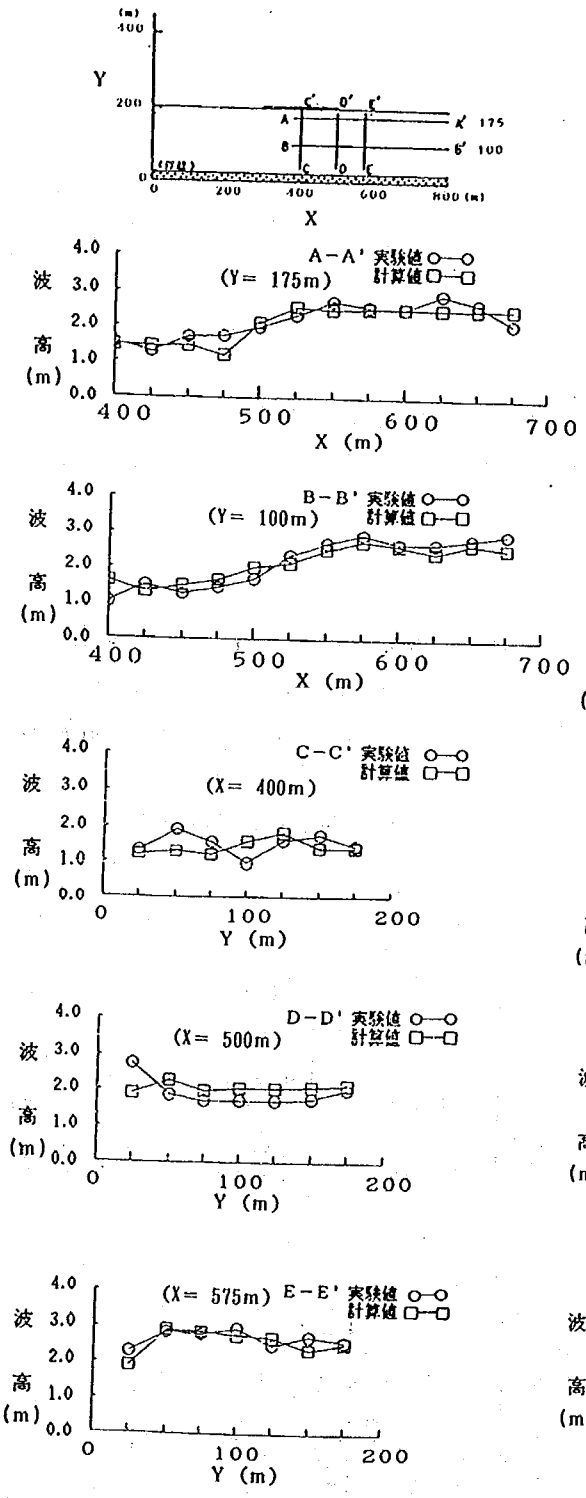
表－6.1　実験および計算条件

a）外力及び地形条件

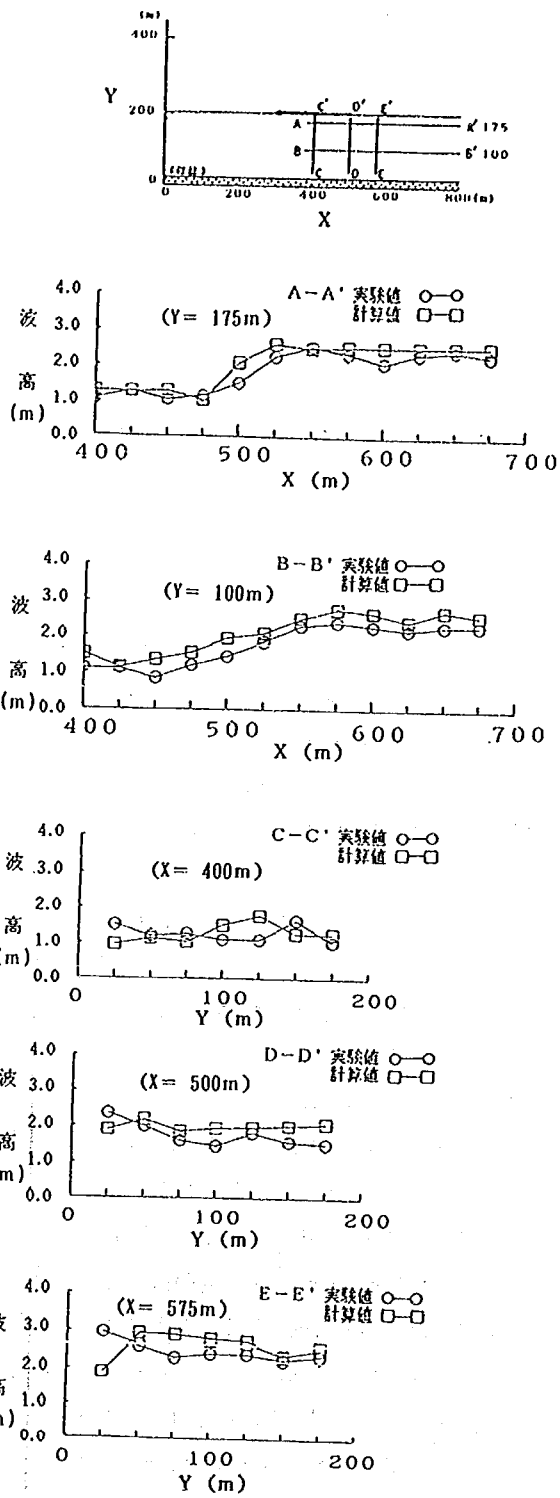
外力条件	入射波浪	波高	2.5m
		周期	9.0sec
		波向	汀線に直角
地形条件	海底形状		海底勾配　i＝1/100 （汀線付近のみ，i＝1/10）
	構造物		・堤　長　L_r＝200m ・離岸距離　Y＝200m

b）計算条件

格子間隔	波浪計算	$\Delta x=\Delta y=5$m
	海浜流計算	$\Delta x=\Delta y=12.5$m
	地形変化計算	$\Delta x=\Delta y=10$m
時間間隔		$\Delta t=0.15$ hr
漂砂量係数		$K_1=0.1$，$K_2=0.3$



図－6.1 波高分布（スリット式構造物）



図－6.2 波高分布（波を流れに変えるタイプの構造物）

b) 波を流れに変えるタイプの場合

波を流れに変えるタイプの構造物周辺の海浜流場について、図—6.4に模型実験結果（上段の図）と計算結果（下段の図）を示す。模型実験では構造物のすぐ岸側で速い岸向流れが生じ、この流れは汀線に近づくにつれて沿岸方向に広がる。また、構造物端部付近に循環流が生じている。構造物の岸側に見られる以上のような流況は計算にも認められる。しかし、構造物沖側の流況は、実験と計算ではかなり異なる。これは、実験では構造物が波を流れに交換しているのに対し、計算にはこの機構が取り込まれていないことに起因する。

(4) 汀線変化の計算結果

汀線変化の計算結果は、スリット式構造物のみについて示す。波の場の計算結果から砕波波高、砕波波向を求めるとき、計算値は沿岸方向にある程度の振動を有する。このため、一般にはこれらの諸量を沿岸方向に平滑化する作業が必要となる。ここでは、7点平均法により平滑化を行っている。

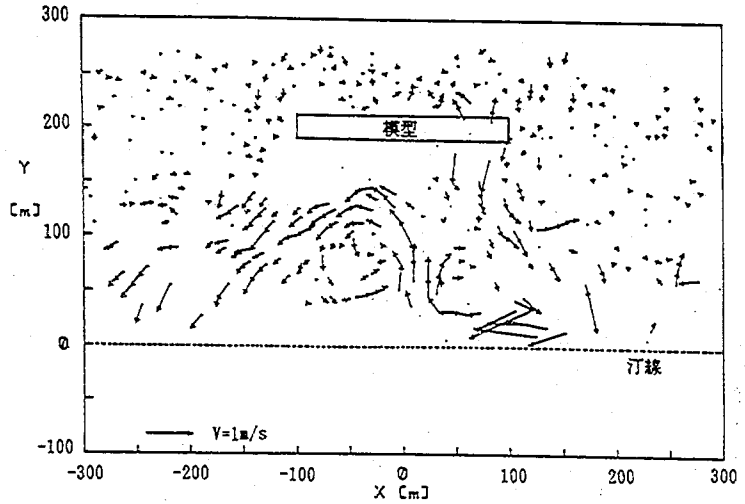
砕波波高と砕波波向の沿岸方向分布の計算結果、および汀線変化の実験と計算の比較を図—6.5に示す。構造物岸側の汀線の前進傾向、構造物端部付近の汀線の後退状況は両者とも良く一致している。6時間後の汀線変化では、計算よりも実験の汀線後退量が小さくなっているが、これは、岸沖漂砂によりうちあがった砂の堆積によると考えられる。

6. 2 水質変化の予測

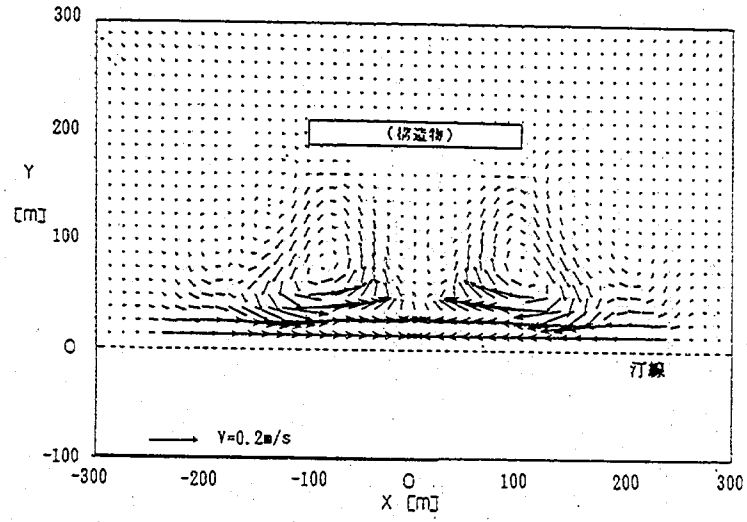
ここでは水質変化の計算例として、東京湾奥部の海域におけるCODの移流拡散に関する計算結果を示す。

水質変化に関連する流れは潮流を対象とし、沿岸方向2km、岸沖方向16kmの計算対象範囲（図—6.6参照）を500m×500mの格子に分割して、式(4.1)～(4.3)を用いて計算を行った。このとき、潮汐は半日周期のM_2潮を対象にした。潮流計算の結果を図—6.7に示す。潮流の計算結果をもとに、式（4. 10）に基づいてCODの変化を計算した。このとき、乱流拡散係数は試算の結果、最も再現性のよかった$K_x = K_y = 5.0 \times 10^5 cm^2/s$に設定した。河川からの計算領域への流入条件を表—6.2に、計算領域の境界における設定濃度を表—6.3に示す。

図—6.6に示す水質調査位置におけるCOD測定値と計算結果との比較を図—6.8に示す。この事例では、水質拡散モデルによる予測計算結果は現地データをかなりよく再現できていることが分かる。

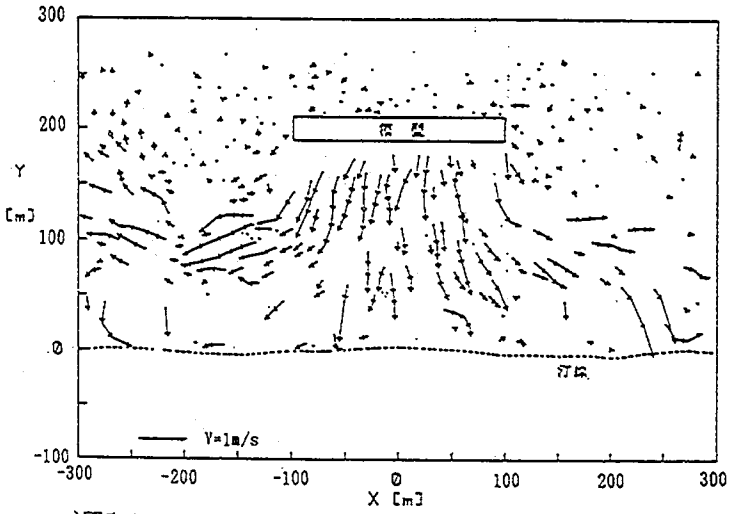


a)固定床実験

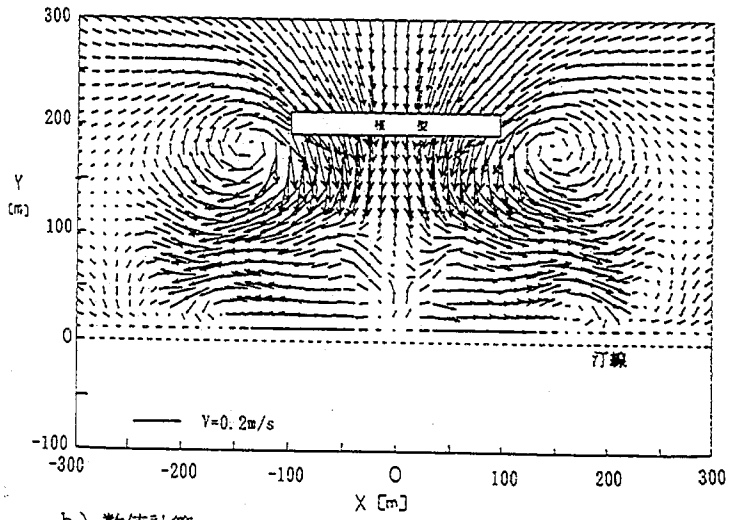


b）数値計算

図－6.3　流況図（スリット式構造物）

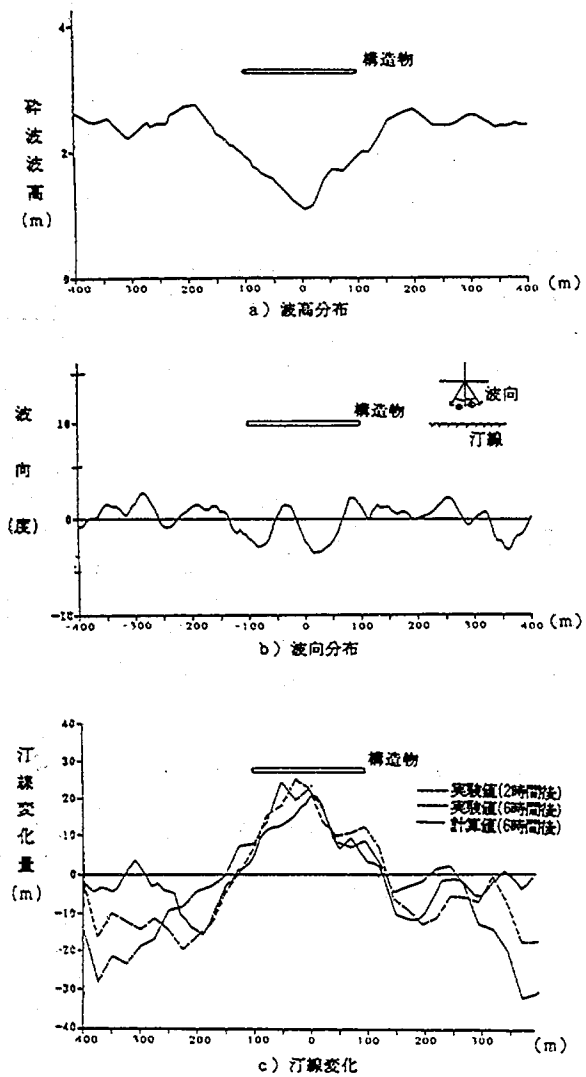


a)固定床実験

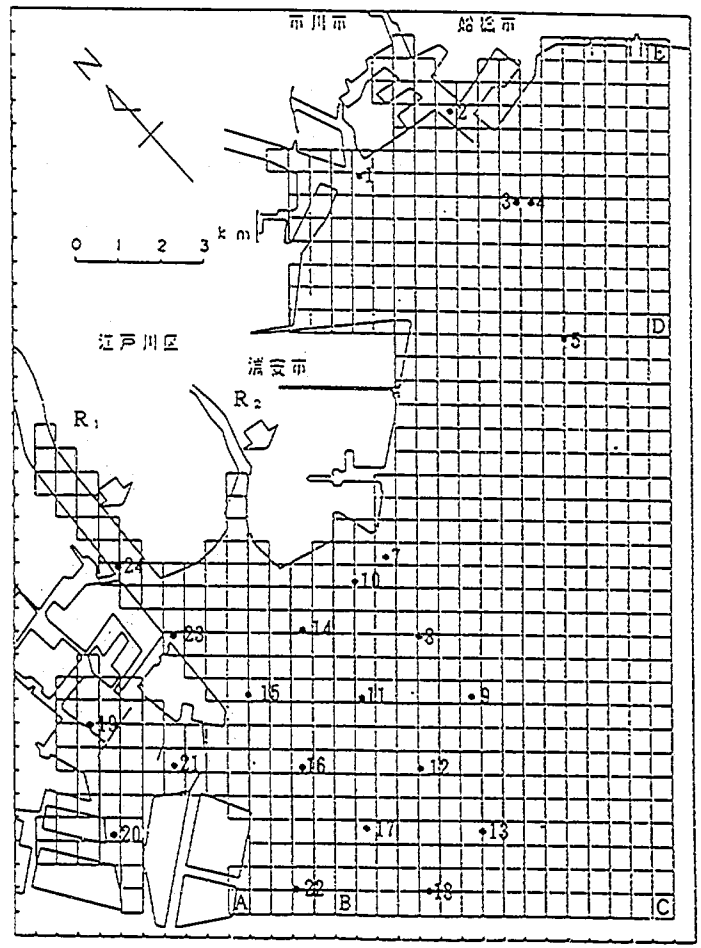


b）数値計算

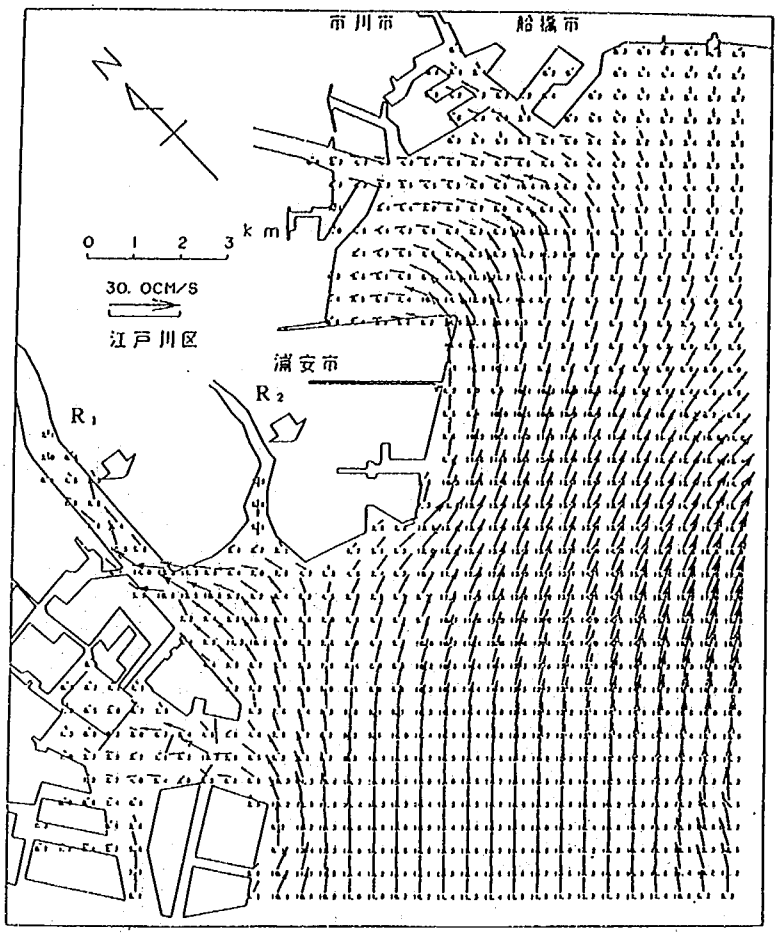
図－6.4　流況図（波を流れに変えるタイプの構造物）



図－6.5　汀線変化の計算



図－6.6　計算領域



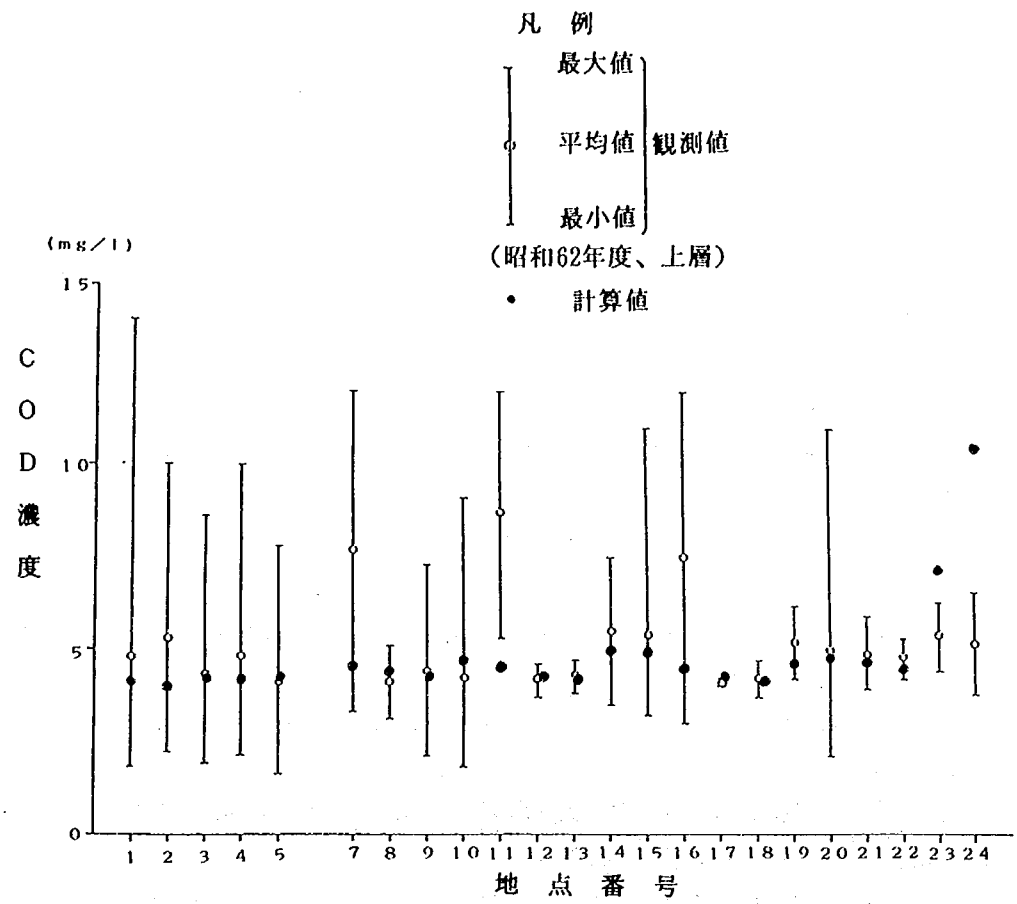
図－6.7　潮流計算の結果（上げ潮最強時）

表－6.2　河川からの流入条件

地点名	流量（m^3／sec）	COD負荷量（ton／日）
R_1	62	72
R_2	98	76

表－6.3　境界濃度

境界の位置	A	B	C	D	E
濃度（mg／ℓ）	4.80	4.20	4.00	4.20	4.10



図－6.8　COD実測値とシミュレーション値

参考文献

泉宮尊司・堀川清司（1983）：砕波帯における波のエネルギー方程式のモデリング，第30回海岸工学講演会論文集，pp.15－19.

磯部雅彦（1985）：波向線座標における放物型方程式を用いた屈折・回折の計算法，第33回海岸工学講演会論文集，pp.95－99.

伊藤善行・谷本勝利(1971)：数値波動解析法とその応用一構造物周辺の波，第18回海岸工学講演会論文集，pp，67－70.

伊藤善行・谷本勝利（1972）：波向線交差領域での屈折一数値波動解析法の応用(2)，第19回海岸工学講演会論文集，pp.325－329.

宇多高明・山本幸次（1989）：鈴鹿川河口周辺海岸における沿岸漂砂量と漂砂の移動高，地形，Vol.10，pp.113－119.

宇多高明・野口賢二（1990）：富山県東部宮崎・堺海岸における海浜変形の実態，地形，Vol.11，No.4，pp．337－348.

宇多高明・山本幸次・河野茂樹（1990）：沿岸漂砂量の水深方向分布を考慮した海浜変形モデル，海岸工学論文集，第37巻，pp.304－308.

宇野木早苗（1980）：海水交換とその素過程について，沿岸海洋研究ノート，第17巻，第２号，日本海洋学会，pp.89－98.

大中　晋・渡辺　晃・磯部雅彦（1987）：波・流れ共存場に拡張した非定常緩勾配方式による波動場の数値計算，第34回海岸工学講演会論文集，pp.91－95.

小笹博昭・Brumpton, A. H.（1979）：護岸のある海底のてい線変化数値計算，港湾研報告，第18巻，第４号，pp.77－104.

柏井　誠（1977）：潮汐による海水交換について－その１－海水交換の概念と海水交換率，1977年度日本海洋学会春季大会講演集，pp.96－67.

木村晴保（1984）：ボックスモデルに基づく海水交換量の推算法，第31回海岸工学講演会論文集，pp.680－684.

木村晴保・宗景志浩・渡辺久芳（1987）：浦の内湾の物質負荷量と負荷量変化に伴う物質濃度の予測，第34回海岸工学講演会論文集，pp.656－660.

建設省土木研究所海岸研究室（1988）：海域制御構造物の開発に関する研究(7)，土木研究所資料，第2661号，185p.

建設省土木研究所海岸研究室（1989）：海域制御構造物の開発に関する研究(9)，土木研究所資料，第2788号，209p.

河野　宏・宇多高明・薮崎義之・水野益宏（1986）：富士海岸の侵食実態と地形変化予測，第33回海岸工学講演会論文集，pp.287－291.

合田良實（1970）：砕波指標の整理について，土木学会論文報告集，No.180，pp.39－49.

合田良實（1973）：不規則波の砕波指標について，第20回海岸工学講演会論文集，pp.571－577.

酒井哲郎・佐藤孝夫・岩垣雄一（1978）：任意反射率・任意透過率の防波堤による平面的な波浪変形の計算，第25回海岸工学講演会論文集，pp.98－102.

酒井哲郎・小関仁彦・岩垣雄一(1981)：流れによる不規則波の屈折の数値計算，第28回海岸工学講演会論文集，pp.118－122.

高梨和光・萩原運弘（1987）：閉領海域における水質汚濁モデルに関する研究，第34回海岸工学講演会論文集，pp.670－674.

田中則夫・灘岡和夫（1982）：汀線変化予測モデルの開発と現地への適用，港湾技術研究資料，No.436，40p.

谷本勝利・小舟浩治（1975）：数値波動解析法による湾内波高分布の計算，第22回海岸工学講演会論文集，pp. 249－253.

中村武弘・宮樫宏由（1980）：海水交換率による大村湾の水質汚濁予測に関する研究，第27回海岸工学講演会論文集，pp.487－491.

西村仁嗣（1987）：海浜流の数値計算，土木学会水理委員会水工学シリーズ　87－B－5.

橋本　宏（1982）：放物型方程式による屈折・回折の数値計算，第29回海岸工学講演会論文集，pp．115－119.

平口博丸・丸山康樹（1986）：斜め入射波に対する放物型方程式の適用性の拡張，第33回海岸工学講演会論文集，pp.114－118.

堀口孝男・古土井光昭・堀江　毅（1985）：海上工事による濁りの分布特性と数値シミュレーション，第32回海岸工学講演会論文集，pp.268－272.

堀口孝男・曽我部隆久・堀江　毅（1980）：三次元モデルによる流れと拡散の数値解法について（その4）－MAC法による土砂投入直後の拡散解析－，第27回海岸工学講演会論文集，pp.458－462.

本間仁監修，堀川清司編（1985）：海岸環境工学，東京大学出版会，582p.

間瀬　肇・古田幸也・酒井哲郎・浅野俊幸・柳生忠彦（1989）：傾斜海浜に設置した人工海藻による波浪変形解析，海岸工学論文集，第36巻，pp.90－94.

松岡道男・越智　裕（1979）：汀線変化予測モデルの適用性の検討，第26回海岸工学講演会論文集，pp. 220－224.

松本輝寿・金子安雄・寺尾　健・川島　毅（1974）：海水交流に関する現地観測，第26回海岸工学講演会論文集，pp. 291－296.

水口　優・辻岡和男・堀川清司（1978）：砕波後の波高変化についての一考察，第25回海岸工学講演会論文集，pp.155－159.

宗景志浩・木村晴保・田島健司（1989）：浦の内湾のDO収支と貧酸素水塊の形成および消滅機構，海岸工学論文集，第36巻，pp.864－868.

柳　哲雄（1989）：沿岸海洋学，恒星社厚生閣，pp.101－107

山口正隆・川原博満・戸塚耕造（1988）：流れ及び水深変化による有限振幅波の屈折変形の数値モデル，第35回海岸工学講演会論文集，pp.113－117.

渡辺　晃・原　哲・堀川清司（1983）：重合した波浪場における砕波について，第30回海岸工学講演会論文集，pp.5－9.

渡辺　晃・丸山康樹（1984）：屈折・回折・砕波減衰を含む波浪場の数値解析法，第31回海岸工学講演会論文集，pp.103－107.

渡辺　晃・丸山康樹・清水隆夫・榊山　勉（1984）：構造物設置に伴う三次元海浜変形の数値予測モデル，第31回海岸工学講演会論文集，pp.406－410.

Bakker, W.T. (1968) : The dynamics of a coast with groyne system, Proc. 11th Coastal Eng. Conf., pp.492－517.

Berkhoff, J, C. W. (1972) : Computation of combined refraction－diffraction, Proc . 13th Coastal Eng. Conf., pp.471－490.

Coastal Engineering Resarch Center (1977) : Shore Protection Manual, U. S. Army Corps of Engrs., U. S. Govt. Printing Office .

Dalrymple, R. A., J. T. Kirby and P. A. Hwang (1984) :Wave diffraction due to areas of energy dissipation, Proc. ASCE, Vol. 110, №WW1, pp.67－79.

Hamada, T. (1951) : Breakers and beach erosion, Rep. Transportation Tech. Res. Inst., Ministy of Transportation , №1, 165p.

Hanson, H. and N. C. Kraus (1985) : Seawall Constraint in the shoreline numerical model, Jour. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng. Div., ASCE.

Kechum, B. H. (1951) : The Flushing of tidal estuaries, Sewage & Industrial Wastes, Vol. 23, №2.

Komar, P. D. and D. L. Inman (1970) :Longshore sand transport on beaches, Jour. Geophys. Res., Vol. 75, №30, pp.5914－5927.

Kraus, N. C. (1983) : Applications of a shoreline prediction model, Proc. Coastal Structures '83, pp. 632－645

Kraus, N, C., H. Hanson and S. Harikai (1984) : Shoreline change at Oarai Beach－Past, present and future, Proc. 19th Coastal Eng. Conf.

Longuet－Higgins, M. S. (1970) : Longshore currents generated by obliquely incident sea waves, 1&2, Jour. Geophys. Res., Vol. 75, pp.6778－6801.

Mei, C. C. (1983) : The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves, Johe Wiely & Sons, New York, 740p.

Miche, R (1951) : Le poavoir reflechissant des ouvrages manitime exposes a laction de la houle, Annales Polts et Chausees, 121 e Annee, pp. 285－319.

Noda, E. K. (1974) : Wave－induced nearshore circulation, Jour. Geophys. Res., Vol. 179, pp. 4097－4106.

Ostendorf, D. W. and O. S. Madsen (1979) :An analysis of longshore currents and associated sediment transport in the surf zone, MIT Rep., Sea Grant, pp. 79－103.

Parker, D. S., Norris, P. and Nelson, A. W. (1972) : Tidal exchange at Golden Gate, Proc. ASCE, Vol. 98, No. SA2, pp. 305－323.

Pelnald－Considere, R. (1956) : Essai de théorie de l'évolution des formes de vivage en plages de sable et de galets, IV éme Jounees de l'Hydraulipue, Les Energies dela Mer, Question III, Rapport No.1, pp.289－298.

Perlin, M. and R. G. Dean (1978) : Prediction of beach planforms with littoral controls, Proc. 16th Coastal Eng. Conf., pp.1818－1838.

Perlin, M. and R. G. Dean (1983) : A Numerical model to simulate sediment transport in the vicinity of coastal structures, U. S. Army Corp of Engrs., Coastal Eng. Res. Center Miscel. Rep., No.83－10, 119p.

Radder, A. C. (1979) : On the Parabolic equation method for waterwave propagation, Jour. Fluid Mech., Vol.95, pp.159－176.

Smith, R. and T. Sprinks (1975) : Scattering of surface waves by a conical island, Jour. Fluid Mech., Vol. 72, pp.373－384.

MMZ計画策定の手引き(案)

構　造　設　計　編

第1章　総　則

1.1　一般

MMZ計画における海域制御構造物の設計に当っては、使用条件、環境条件を十分に把握したうえで、構造物の目的、用途に適した設計を行わなければならない。

〔解　説〕

海域制御構造物の設計にあたっては、構造物に作用する種々の荷重を考慮して設計しなければならない。主たる荷重は波力、地震力などであるが、海水等による材料の腐食、亀裂による強度低下、ひびわれによる耐久性の低下、波力の繰り返し作用による疲労等も設計上無視できない。このため、使用条件、環境条件を十分に把握したうえで、構造物の目的、用途にそった設計を行わなければならない。

1.2　適用範囲

本編は、MMZ計画における海域制御構造物を設計する場合の構造設計に適用されるものである。

〔解　説〕

本編は、MMZ計画における海域制御構造物の設計に適用される。建設省総合技術開発プロジェクトにより開発された海域制御構造物には、有脚式、重力式、鋼板セル式、没水捨石式、膜構造式の5つの構造型式がある。本編は、これらの海域制御構造物の設計に関する一般的な基本事項を示すものである。

本編で示されていない事項については、次の基準、示方書等に準拠するものとする。

○海洋鋼構造物設計指針（案）	土木学会（1973）
○湾岸の施設の技術上の基準・同解説	日本港湾協会（1989）
○道路橋示方書・同解説	日本道路協会（1990）
○鋼構造物設計指針	土木学会（1987）
○コンクリート標準示方書「設計編」「施工編」	土木学会（1986）
○海洋建築物構造設計指針（固定式）・同解説	日本建築学会（1987）
○海岸保全施設築造基準解説	海岸保全施設築造基準連絡協議会（1987）
○Rule for the Design, Construction and Inspection of Offshore Stuctures	Det Norske Veritas（ノルウェー船級協会）（1977）（以下、「DnVの基準」という。）

1．3　用語の定義

本編における用語は、次のように定義する。

耐用期間――構造物または部材がその使用にあたり、目的とする機能を十分果たさなければならない計画上与えられる期間

終局限界状態――構造物全体または部材が破壊したり、転倒、座屈、大変形等を起こし、安定や機能を失う状態

使用限界状態――構造物全体または部材が過度の振動、変位、変形、ひび割れ等を起こし、正常な使用ができなくなったり、耐久性を損なったりする状態

疲労限界状態――構造物全体または部材が繰り返し荷重を受けて疲労破壊を生じる状態

荷重――構造物または部材に応力や変形の増減を起こさせるすべての作用

設計断面力（または設計反力）――設計荷重により生ずる断面力または反力

材料強度の特性値――定められた試験法による材料強度の試験値のばらつきを想定したうえで、試験値がそれを下回る確率がある一定の値となることが保証される値

設計材料強度――構造物あるいは構造物の一部の設計耐力を算定するのに用いる材料強度、すなわち材料強度の特性値を材料係数で除した値

設計耐力――設計材料強度を用いて求めた耐力の値

安全係数――構造解析および強度解析の不確実度、構造物の重要度、部材の重要度を限界状態の照査において考慮するための係数であり、全体安全係数、荷重係数、材料係数、抵抗修正係数の総称

全体安全係数――構造物の重要度、部材の重要度等を考慮した係数

荷重係数――荷重の特性値から望ましくない方向への変動、荷重の算定方法の不確実性、荷重特性が限界状態に及ぼす影響、環境作用の変動および同時に作用する荷重の生起確率等を考慮した係数

材料係数――構成部材の材料強度の特性値から望ましくない方向への変動、供試体と構造物中との材料特性の差異、材料特性が限界状態に及ぼす影響、材料特性の経時変化等を考慮した係数

固定荷重――海域制御構造物の自重および固定積載物の重量

環境荷重――自然環境条件による荷重であり、波力、地震力、風荷重、潮流力等の総称

地盤定数の特性値――原位置試験または室内試験によって得られる、対象とする地盤や地層の平均的な物性値

設計抵抗力（または支持力）――設計に用いる基礎の抵抗力（または支持力）

抵抗修正係数――地盤定数の特性値から望ましくない方向への変動、供試体と原地盤中との地盤特性

の差異、地盤特性が限界状態に及ぼす影響、地盤の抵抗力の計算上の不確実性、破壊性状および安定計算手法の不確実性等を考慮した係数

〔解　説〕

本編では、設計手法に限界状態設計法を採用しており（本編「第２章　設計の基本」参照）、ここではこの設計法に関連する主な用語について定義した。また、本編で用いる主な記号を以下に列挙する。ただし、一部の記号については、一般的な使われ方とは異なるものもある。

A，A'：面積
a　：杭の軸方向バネ定数の算出に関連した杭の種類ごとの係数
B　：基礎幅
B'　：偏心を考慮した基礎の有効幅
C　：圧縮指数
C_D　：抗力係数
CL　：グラウト接合長さと杭径との比に関する係数
C_L　：揚力係数
C_M　：質量力係数
C_S　：形状係数
c　：地盤の粘着力
c_B　：基礎底面と地盤との間の付着力
D　：主管の外径
D_f　：基礎の有効根入れ深さ
d_s　：鉄筋直径
E_C　：コンクリートのヤング係数
E_G　：グラウトのヤング係数
E_S　：鋼材のヤング係数
e　：荷重の偏心量
e_0　：初期間隙比
F　：部材に作用する単位長さ当たりの力
F_G　：グラウトの圧縮強度
F_D　：構造物または部材に作用する抗力
F_d　：設計荷重
F_{Hd}　：設計水平荷重
F_{Vd}　：設計鉛直荷重
F_L　：構造物または部材に作用する揚力

F_x ：水平全波力
F_z ：鉛直全波力（揚力）
f_i ：周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度
f_d ：設計強度
f_k ：材料強度特性値
f_{puk} ：PC鋼材の引張強度の特性値
f_{pyk} ：PC鋼材の降伏強度の特性値
f_{rd} ：設計疲労強度
f_{ud} ：鉄筋の設計引張強度
f_{srd} ：鉄筋の設計疲労強度
f'_{ck} ：設計基準強度
g ：重力加速度
g_L ：支管と支管とのギャップ
H_D ：設計計算に用いる波高
H_g ：圧密地盤層厚
H_I ：入射波高
H_{max} ：最高波の波高
H_S ：シュアキーの高さ（シュアキーのない場合は、$H_S=0$）
H_U ：基礎底面と地盤との間に働く極限せん断抵抗力
$H_{1/3}$ ：有義波高
h, h' ：水深
I ：断面二次モーメント
K ：コンクリートの設計疲労強度に関する係数
K_P ：地震時以外の受動土圧係数
K_{EP} ：地震時の受動土圧係数
k_h ：設計水平震度
K_V ：杭頭における杭の軸方向バネ定数
k_{HI} ：ひずみ依存性を考慮した水平方向地盤反力係数
k_H ：水平方向地盤反力で「道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編6，6地盤反力係数」（日本道路協会，1990）より算出する
k_V ：鉛直方向地盤反力係数
k_S ：水平方向せん断地盤反力係数、$k_S=(1/3\sim1/4)\cdot k_V$
L ：水深hにおける波長
L_d ：基礎の奥行き
l ：杭先端から設計地盤面までの杭長

ℓ_c　：かぶり

l_i　：周面摩擦力を考慮する層の層厚

M_d　：設計モーメント

N　：構造物の耐用期間

N_{eq}　：等価繰返し回数

N_c，N_q，N_γ：荷重の傾斜を考慮した支持力係数

N_i　：応力ブロックｉの応力変動幅$\Delta\sigma_i$に対する疲労寿命

n_i　：応力ブロックｉにおける応力頻度

P_y　：水面より深さｙのところの水圧

p_1　：静水面における波圧強度

p_2　：海底面における波圧強度

p_3　：直立壁前面における波圧強度

p_u　：直立壁底面に働く前趾での揚圧力

p_x　：水平波圧強度

p_z　：鉛直波圧強度

Q　：荷重の非超過確率

Q_u　：偏心傾斜を考慮した地盤の極限鉛直支持力

q　：上載荷重

q_c　：先行圧密荷重

q_d　：杭先端で支持する単位面積当たりの極限支持力度

q_0　：有効鉛直荷重

Δq　：有効鉛直荷重の増分

R，r：杭または鋼管の半径

R_d　：設計耐力または設計抵抗力

R_u　：地盤から決まる杭の極限押込み支持力

R_{fd}　：設計疲労耐力

S　：応用ブロックの数

S_d　：設計断面力または設計反力

S_s　：シェアキーの間隔

S_{fd}　：設計変動断面力

SCF　：応力集中係数

T　：ジャケット主柱の部材厚

T_i　：荷重の再現期間

t　：杭の部材厚

$\tan\theta$　：海底勾配

U ：杭の周長
U_a ：変位量の制限値
U_d ：設計変位量もしくは圧密沈下量
U_H ：水平変位
U_V ：鉛直変位
U_{VC} ：圧密沈下量
u ：波による水粒子速度
V ：体積または容積
V_B ：基礎底面に作用する鉛直荷重（ただし浮力、揚圧力を差し引いた値）
V_{cd} ：コンクリートが分担するせん断力（水中の場合$V_{cd}=0$とする）
V_{pd} ：固定荷重作用時における設計せん断力
V_{rd} ：設計変動せん断力
V_t ：潮流速
V_{ts} ：海表面における流速
V_{tz} ：海底面からZのところでの流速
V_W ：設計風速
W ：コンクリートの発生ひび割れ幅
W_a ：コンクリートの許容ひび割れ幅
w_0 ：海水の単位体積重量
x ：低面反力作用幅
y ：水面からの深さ
y_a ：動水圧の合力の作用位置の水面からの距離
y_h ：設計地盤面での杭の水平変位量
Z ：海底面からの高さ
z ：圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離
α_s ：せん断補強鉄筋が部材軸となす角度
β_a ：安全性指標
γ ：グラウトと鋼の摩擦係数
γ_1 ：支持地盤の土の水中単位重量
γ_2 ：根入れ地盤の土の水中単位重量
γ_a ：構造解析係数
γ_b ：部材係数
γ_f ：荷重係数
γ_i ：構造物係数
γ_m ：材料係数

γ_c ：コンクリートの材料係数

γ_s ：鋼の材料係数

γ_0 ：全体安全係数

γ_v ：抵抗修正係数

δ ：地震時以外の基礎前面と土の摩擦角

δ_E ：地震時の基礎前面と土の摩擦角

δ_p ：杭表面不陸高さ

η_d ：設計荷重とその頻度を用いて計算される累積疲労損傷率

η_r ：限界の累積疲労損傷率

η^* ：静水面上波圧が0となる高さ

λ ：波圧の低減率

ρ_a ：空気密度

σ_H ：ホットスポット応力

σ_N ：支管の公称応力

σ_P ：固定荷重によるコンクリートの応力度

σ_{pd} ：固定荷重による応力

σ_{rd} ：設計変動応力

σ_{rdi} ：応力ブロックｉにおける変動応力

σ_{sp} ：固定荷重による鉄筋の応力度

σ_{wpd} ：固定荷重によるせん断補強鉄筋の応力度

σ_{wrd} ：変動荷重によるせん断補強鉄筋の応力度

τ_{dyn} ：最大付着（せん断）変動応力

τ_{dynd} ：シェアキーを設ける場合の設計付着（せん断）疲労強度

τ_{ki} ：付着（せん断）強度の特性値

τ_{kid} ：グラウトコネクションにおける設計付着（せん断）強度

ϕ ：支持地盤のせん断抵抗角

ϕ_B ：基礎底面と地盤との間の摩擦角

第2章　設計の基本

2．1　設計の原則

(1)　設計方法は、限界状態設計法に基づくものとする。

(2)　構造物全体および各構造部材が、所要の安全性および機能性を満足しなくなる全ての限界状態について検討することを原則とする。

(3)　限界状態は、これを終局限界状態、使用限界状態および疲労限界状態に区分するものとする。

〔解　説〕

(1)　設計方法

本編では、設計手法に限界状態設計法を採用した。現在、海洋構造物ではDnVの基準が限界状態設計法を採用しており、日本においても「鋼構造物設計指針」および「コンクリート標準示方書」で限界状態設計法が採用されているのに加え、「道路橋示方書」でもその採用が検討されている。限界状態設計法を採用した理由は、以上のような近年の趨勢を踏まえ、波力、地震力など厳しい環境荷重下に置かれる構造物全体と部材の安全性のレベルを一定に保つことにより、経済的かつ信頼性の高い構造物の設計が可能とすることにある。ただし、全ての荷重、強度を確率的に評価することは、資料の不足や研究途上の項目もあることから現時点においては困難と考えられる。したがって、本編ではできるだけ確率論的な考え方を取り入れつつ、影響の小さい要因や十分な裏付けデータが乏しい要因については、従来の関連する設計基準を参考に各種係数等の数値を決定している。なお、十分な資料等により新たに荷重や強度の評価が可能となった場合は、本編に示す各種係数等の数値を変更しても良い。

(2)　限界状態の区分

構造物全体もしくはその一部の強度が失なわれると、安定性あるいは機能性の点から構造物が供与できなくなる。このように構造物が供与できなくなる状態が限界状態と呼ばれ、安定性あるいは機能性が損失される状態の各々に定義される。したがって、設計においては、当該構造物で考えられる全ての限界状態を検討する必要がある。

海域制御構造物の設計において、検討すべき限界状態には、終局限界状態、使用限界状態および疲労限界状態を考える（表－2．1．1）。

表－２．１．１　海域制御構造物の設計において検討すべき限界状態

限界状態	安定設計	部材設計
終局限界状態	構造物全体が安定を失う状態	構造部材断面が破壊を生じる状態
使用限界状態	変位・変形が構造物の機能を損なう状態	ひびわれにより耐久性を損なうかまたは、過度のたわみや振動により機能を損なう状態
疲労限界状態	―――	繰り返し荷重により疲労破壊を生じる状態

２．２　荷重の再現期間

各限界状態照査時における荷重の再現期間は、構造物の耐用期間、荷重の生起確率構造物の重要度等を考慮して決定するものとする。

〔解　説〕

(1)　終局限界状態における荷重の再現期間

終局限界状態照査時の荷重の再現期間は、構造物の耐用期間、荷重の非超過確率（耐用期間にその荷重を越えない確率）を考慮して定めるものとする。この場合、荷重の再現期間、構造物の耐用期間、荷重の非超過確率の間には、次のような関係があることを考慮する必要がある。

$$Q = \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^N \qquad (2.2.1)$$

ここに、Q　：荷重の非超過確率

T_r：荷重の再現期間　※　再現期間とは、その荷重が平均的に一度起こることが期待される期間をいい、例えば、平均的に50年に一度起こることが期待される荷重を50年再現期間の荷重という。

N　：構造物の耐用期間

荷重の再現期間は、波力、地震荷重、風荷重、潮流力とも同一とすることが望ましい。また、海域制御構造物を海岸保全施設に指定する場合と、指定しない場合とにより荷重の再現期間の考え方が異なる。荷重の再現期間および構造物の耐用期間については、本手引き（案）計画編「４．１　海域制御構造物の定義」を参考されたい。

(2)　使用限界状態および疲労限界状態における荷重の再現期間

使用限界状態および疲労限界状態における荷重の再現期間を定める一般的方法は、現在のところ確立されていない。ここでは、主たる作用荷重である波浪の生起状況を考慮し、使用限界状態における荷重の再現期間は1ヶ月とした（「3．2．2　使用限界状態照査用の荷重の組み合わせ」参照)。また、疲労限界状態に用いる荷重の再現期間は、構造物の耐用期間とした（「3．2．3　疲労限界状態照査用の荷重の組み合わせ」参照)。

2．3　安全係数

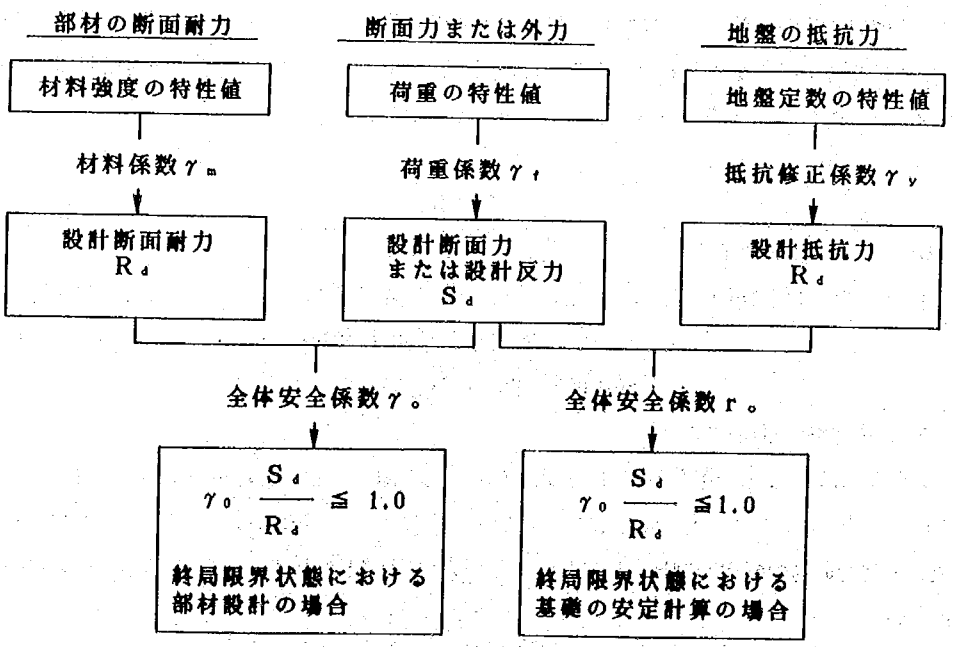
(1) 安全係数は、荷重、強度の設定や施工時に生じる部材品質のばらつき、構造解析上の不確定要因等を係数として表すものであり、全体安全係数γ_0、荷重係数γ_f、材料係数γ_m、および抵抗修正係数γ_yからなる。

(2) 安全係数は、構造物の重要度、荷重あるいは材料の特性等を考慮して、対象とする限界状態ごとに適切な値を用いなければならない。

〔解　説〕

(1) 安全係数の種類

安全係数には、全体安全係数γ_0、荷重係数γ_f、材料係数γ_m、および抵抗修正係数γ_yを採用した。各安全係数の位置づけを終局限界状態の場合を例にとって図－2．3．1に示す。



図－2.3.1　終局限界状態の安全性の検討

終局限界状態における部材断面の照査においては、材料強度から設計断面耐力を求める過程に材料係数を、荷重から設計断面力を求める過程に荷重係数を設定した。次に、地盤の抵抗力を求める過程に抵抗修正係数を設定した。さらに、設計断面力または設計反力と、設計断面耐力または設計抵抗力との比較を行う段階で全体安全係数を設定した。これらの安全係数の設定の考え方は他の限界状態についても同様である。なお、構造型式によって照査方法が異なるため抵抗修正係数および全体安全係数を必要としない場合もある。

安全係数は対象とする構造物や限界状態に応じて定まるものであり、必ずしも同一の値を取るものではない。さらに、種々の安全係数は考えられる不確実性を分割して割付けられるものであるが、これらをとりまとめて扱うことも可能である。

(2) 標準的な安全係数の値

海洋構造物に関する既往の基準や許容応力度法との比較設計の結果等よりとりまとめた標準的な安全係数の推奨値を表－２．４．１に示す。個々の係数の詳細は次章以降に示す。

表－２．４．１　標準的な安全係数の推奨値

安全係数 ＼ 限界状態	全体安全係数 γ_0			荷重係数 γ_f	材料係数 γ_m		
					コンクリート構造		鋼構造
	鋼部材	コンクリート部材*1	安定設計		コンクリート γ_c	鉄筋等 γ_s	鋼 γ_s
終局限界状態	1.0	1.0	1.0	1.0 又は 1.15*2	1.3	1.0	1.15
使用限界状態	－	－	－	1.0	1.0 又は 1.3 *3	1.0	－
疲労限界状態	－	1.0	－	1.0	1.3	1.0	－

注）＊１：鉄筋コンクリート部材、プレストレストコンクリート部材、鉄骨鉄筋コングリート部材含む。
＊２：暴風波浪時における波力、風荷重、流れによる荷重、並びに地震時における地震の影響について用いる場合のみ、1.15とする。
＊３：プレストレストコンクリートにおいて、引張応力度の調査を行う場合のみ1.3とする。

第3章　荷重および荷重の組合わせ

3．1　荷　重

3．1．1　荷重の種類

海域制御構造物の設計には原則として以下に示す荷重を考慮するものとする。

(1)　固定荷重

①死荷重

(2)　環境荷重

①波力

②静水圧および浮力

③地震の影響

④風荷重

⑤流れによる荷重

(3)　その他の荷重

①衝突荷重

②施工時荷重

③その他

〔解　説〕

海域制御構造物に作用する荷重は固定荷重、環境荷重、その他の荷重に分類される。固定荷重とは常に作用するものであり、構造物の自重（死荷重）が該当する。環境荷重とは、自然の環境要因により発生する荷重であり、波力、静水圧および浮力、地震の影響、風荷重、流れによる荷重からなる。その他の荷重とは、構造物周辺の海域利用の状況や施工方法などにより変わるもので、ここでは衝突荷重、施工時荷重、その他を取り上げた。(3)のうち、その他として必要に応じて考慮すべきものには、土圧、氷荷重、積雪、上載荷重などがある。

3．1．2　死荷重

死荷重は、適切な単位体積重量を用いて算出しなければならない。

〔解　説〕

材料の単位体積重量は、実測に基づいた値を用いることが望ましい。しかし、一般には実測することが難しい部材が多いので、死荷重の算出には表－3．1．1に示す単位体積重量を標準的な値として用いてもよい。

表－3．1．1　材料の単位体積重量

材　　料	単位体積重量(tf/m³)	材　　料	単位体積重量(tf/m³)
鋼・鋳鋼・鍛鋼	7.85	水	1.00
鋳　　鉄	7.25	海　　水	1.03
鉄筋コンクリート	2.45～2.50	砂および砂れき	1.8 ～ 2.0
プレストレストコンクリート	2.50	砂　質　土	1.7 ～ 1.9
無筋コンクリート	2.30～2.35	粘　性　土	1.4 ～ 1.8
セメントモルタル	2.15		

3．1．3　波力

(1) 構造物に作用する波力は、波浪条件、潮位、設置水深、海底地形、構造物の型式等を考慮して、原則として適切な水理模型実験あるいは算定式により算定する。その際、波の不規則性についても十分配慮するものとする。

(2) 終局、疲労、使用の各限界状態の照査に用いる波力は、波浪の生起確率を考慮して決定するものとする。

〔解　説〕

(1) 一般

海の波は波高、周期ともに1波1波不規則であり、さらに水深や海底地形の条件により非砕波あるいは砕波と波の状況が異なる。したがって、波力の算定に当っては、波の不規則性、海底地形、構造形式による波力特性の差違を十分に考慮する必要がある。また、設計には対象とする波群のうち最も厳しい波力を与える波の諸元を用いる必要があり、設計波の諸元には最高波の波高および周期を用いる。有義波高$H_{1/3}$と最高波の波高H_{max}の間には、一般に

$$H_{max}=(1.6\sim2.0)H_{1/3} \qquad (3.1.1)$$

という関係がある。また、防波堤の設計には、通常

$$H_{max}=1.8H_{1/3} \qquad (3.1.2)$$

が用いられている。海域制御構造物は防波堤と同様の水深域に位置されるため、防波堤で用いられる関係式（3．1．2）を用いることを標準とする。また、波の入射方向は直角入射を基本とするが、構造物や部材の種類によっては斜め方向から入射した方がより厳しい波浪条件となる場合がある。このような場合には斜め入射の条件で照査を行うものとし、その方向を設定する。

構造物に作用する波力は、構造部材の種別により以下のように分類できる。

①直立壁に作用する波力

②海中部材に作用する波力

③被覆石、被覆ブロックに作用する波力

これらの作用波力の算定方法は、適用条件が限られており、種々の構造物に一般的に適用できるものではない。したがって、波力は原則として水理模型実験により検討する。水理模型実験により波力の検討を行う場合には、対象とする構造物の破壊性状を十分考慮して、適切な方法を用いる必要がある。特に、規則波を用いた実験を行う場合には、最高波に対する検討を含む必要がある。また、各構造型式ごとの設計波力については、本編「第6章　構造設計（特定構造物）」を参照されたい。

(2) 各限界状態の照査に用いる波の諸元

各限界状態の照査に用いる波の諸元は、長期にわたる波浪観測に基づき、各限界状態ごとに定められる再現期間に対応する非超過確率を考慮して設定する。また、推算資料に基づく場合には、長期にわたる気象観測値あるいは仮想台風に基づく波浪推算値を実測値で補正し、適切な統計処理を施して求める必要がある。具体的な算出方法については本手引き（案）計画編「2．2．1 波浪」に詳しいのでこれを参考にするとよい。なお、設計計算に用いる波の諸元が沖波諸元で与えられた場合には、波浪が構造物の設置地点に進行する際に受ける回折、屈折、反射、浅水変形、砕波等の諸変形を考慮して設計波の諸元を算出する。

各限界状態の照査に用いる波の再現期間については、本編「2．2 荷重の再現期間」を参照されたい。また、疲労限界状態の照査に用いる波の諸元は、耐用期間内に考えられる波浪の頻度分布を用いて算定する。

(3) 生物付着による影響

構造物によっては、部材に生物が付着することにより断面が増加して、作用する波力が増大するものもある。このため、設計においては、耐用期間中の維持管理方法を踏まえた上で、生物付着による波力の影響を考慮しなければならない。生物付着については、本手引き（案）計画編「2．2．9 生物付着」を参照されたい。

(4) 波力算定法

構造物に作用する波力は、波浪条件、潮位、設置水深、海底地形、構造物の型式等により複雑に変化するので、原則として水理模型実験の結果に基づき求める。ただし、試設計等の際には以下に示すような波力算定法を参考にするとよい。

a）直立壁に作用する波力

①一般事項

直立壁に作用する波力の種類は、作用する波の形態によって、重複波力、砕波力に大別される。このため、波力の算定法は、設置水深と入射有義波高の比 $h/H_{1/3}$ によって以下のように大別される。

- $h/H_{1/3} \geqq 2$ ：重複波力…… サンフルー式（Sainflou，1928）
- $h/H_{1/3} < 2$ ：砕波力 ……
  - 広井式（Hiroi，1919）
  - 伊藤式（伊藤ら，1966）

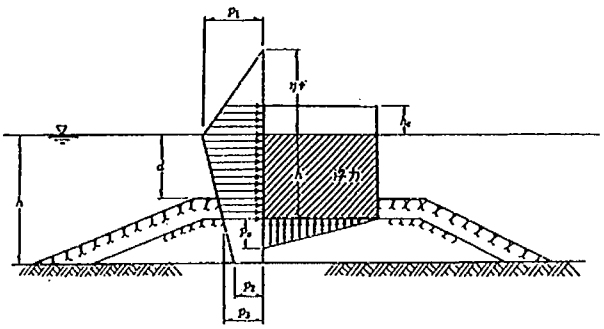
これらの算定式の詳細については、「海岸保全施設築造基準解説」（海岸保全施設築造基準連絡協議会，1987）等を参照されたい。

②合田（1973）による波力算定式

合田（1973）は、重複波から砕波に至る波力を連続的に評価できる算定式を求めた。以下には、この方法について説明する。

i）前面波圧

水平波圧強度P_xは静水面の高さで最大値p_1、静水面上η^*の高さで0、海底面でp_2となる分布をすると仮定し、直立壁底面から天端までの波圧が算出される（図－3．1．1参照）。図－3．1．1に示される各量は次式により計算される。



図－3．1．1　設計計算に用いる波圧分布

$$\eta^* = 0.75(1+\cos\beta)\lambda H_D \qquad (3.1.3)$$

$$p_1 = \frac{1}{2}(1+\cos\beta)\lambda(\alpha_1+\alpha_2\cos 2\beta)w_0 H_D \qquad (3.1.4)$$

$$p_2 = \frac{p_1}{\cosh(2\pi h/L)} \qquad (3.1.5)$$

$$p_3 = \alpha_3 p_1 \qquad (3.1.6)$$

ここに、

$$\alpha_1 = 0.6+\frac{1}{2}\left(\frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)}\right)^2 \qquad (3.1.7)$$

$$\alpha_2 = \min\left\{\frac{h_b-d}{3h_b}\left(\frac{H_D}{d}\right)^2,\ \frac{2d}{H_D}\right\} \qquad (3.1.8)$$

$$\alpha_3 = 1-\frac{h'}{h}\left(1-\frac{1}{\cosh(2\pi h/L)}\right) \qquad (3.1.9)$$

ここに、

β　：直立壁法線の垂線と波の主方向から±15°の範囲で最も危険な方向となす角度（度）

λ　：直立壁が透過である場合、あるいは消波ブロックの被覆による波力の低減が考慮できる場合の波圧の低減率（直立壁が不透過でかつ波覆工のない場合は$\lambda=1$）

η^*：静水面上波圧強度が0となる高さ（m）

p_1：静水面における波圧強度（tf／m²）

p_2：海底面における波圧強度（tf／m²）

p_3：直立壁底面における波圧強度（tf／m²）

h　：直立壁前面における水深（m）

h'：直立壁底面の水深（m）

d　：根固め工またはマウンド被覆工天端のいずれか小さい方の水深（m）

w_0：海水の単位体積重量（tf／m³）

H_D：設計計算に用いる波高（m）

L　：水深hにおける波長（m）

である。また、min {a, b} はaまたはbのいずれか小さい方の値をとることを意味する。

ii）揚圧力

直立壁が不透過の場合、直立壁底面に働く揚圧力は前趾で式（3．1．10）で与えられるp_u、後趾で0となる三角形分布とする（図－3．1．1参照）。

$$p_u=\frac{1}{2}(1+\cos\beta)\lambda\alpha_1\alpha_3 w_0 H_D \qquad (3.1.10)$$

iii）透過壁に作用する波力

透過壁に作用する波圧を算定する場合に、合田式より求まる波力に低減率λを乗じて算定する方法がある。この場合には、水理模型実験により低減率λを決定しておく必要がある。

iv）設計計算に用いる波高および波長

合田式は個々の波による波力を算定するものであり、設計の際には対象とする波群のうち最も厳しい波力を与える波を用いる必要がある。したがって、式（3．1．3）～（3．1．9）の計算に用いる波高H_Dおよび波長Lは、最高波の波高および波長とする。最高波の波高H_{max}は、有義波高$H_{1/3}$に対して次のように求められる。

○直立壁が砕波帯より沖側にある場合

$H_D=H_{max}=1.8\,H_{1/3}$

○直立壁が砕波帯内にある場合

H_D＝不規則波の砕波変形を考慮したH_{max}

ただし、この場合の最高波の波高は直立壁前面から$5\,H_{1/3}$沖側に離れた地点での水深h_bでの値を用いるものとする。

③衝撃砕波力

海底面が急勾配で直立壁のやや沖側で砕波が生じる場合には、強大な衝撃砕波力が作用することがある。一般には、強大な衝撃砕波力が生じるおそれがある断面形状や構造の採用はできるだけ避けることが望ましい。したがって、衝撃砕波力の発生が懸念される場合には、水理模型実験等により事前に衝撃砕波力の検討をしておく必要がある。

i）衝撃砕波力の特性（高橋ら，1966、宇多ら，1989）

衝撃砕波力が作用する場合の最大波圧は、条件によって波高相当の静水圧（w_0H）の数倍ないしは十数倍となることが模型実験等によって示されている。しかし、その作用時間は短く、条件のわずかな変化によって著しく変動する。また、衝撃性の外力であるため、構造物の力学的特性に応じて安定性や部材応力に及ぼす効果が異なってくる。

ii）衝撃砕波力の発生条件

衝撃砕波力の発生条件には個々の要因が関与し、一般的に規定することは難しいが、各種の実験結果から、法線の垂線と波向の交角が20°以内にあって、かつ次のような場合に衝撃砕波力が生じ易い。

ア）急勾配海底の場合

海底勾配が1／30程度より急で、構造物のやや沖側で砕波する波を含み、かつその換算沖波波形勾配が0.03程度以下のとき、衝撃砕波力が生じ易い。

イ）高マウンドの場合

海底勾配が緩やかであってもマウンドの形状によっては衝撃砕波力が生じる。この場合、波の条件のほかマウンドの天端高、前肩幅、のり勾配等が関係するので、その発生条件を規定することが難しい。一般に、マウンドが比較的高く、かつ前肩幅が適当に広いかあるいはのり勾配が緩やかで、マウンドのり面あるいはのり肩付近で前面がきり立った砕波が生ずるとき、衝撃砕波力が発生する（谷本ら，1981）。海底勾配が1／50程度より緩やかであって、設置水深に対するマウンド天端（被覆工を含む）上の水深の比が0.6より大きい場合には、強大な衝撃砕波力は発生しないと考えてよい。

iii）模型実験による衝撃砕波力の検討

衝撃砕波力が作用する場合の模型実験による波力の測定に際しては、衝撃力に対する構造物の応答特性について配慮することが必要である。具体的には、模型や測定系の固有振動数、測定限界振動数等を検討しておかなければならない。

b）水平板および斜板に作用する波力

進行波中におかれた水平板や斜板では水平波力より揚圧力が大きく、特に水面付近に設置される場合には、衝撃性の揚圧力が作用することがある。これらの部材に作用する揚圧力を理論的に算定することは難しく、水理模型実験により十分検討しなければならない。これらの検討に際しては、ドルフィン上部工のような水面付近の水平板に作用する波力に関する研究（谷本ら，1977；1978）や、横桟橋に作用する衝撃性の揚圧力に対する研究（合田，1967）等があるので、これらを参考にするとよい。

c）海中部材に作用する波力

海中部材に作用する波力を算定する場合、その部材の代表径（円形断面部材においてはその口径）の大きさによって適用される算定式が異なる。波の波長に対して十分小さい口径を有する海中部材に作用する波力は、水粒子の速度の2乗に比例する抗力と加速度に比例する慣性力の和として求めることができる。一方、波長に近いオーダーの径を有する大口径の構造物になると、作用する波力には慣性力が卓越するようになり、ポテンシャル理論を応用して求めることができる。

以下には、非砕波の波力を対象とした算定式を示す。これらの構造物に砕波が作用する場合には適切な

模型実験を行い、その適用性等を含めて総合的に検討する必要がある。特に、急勾配海底面上に構造物を設置する場合等に直立壁と類似した衝撃性の波力が作用する（合田ほか，1966、谷本ほか，1986）ことがある。こうした衝撃的な外力に対しては、構造物の応答特性が非常に大きく影響するため、波力による構造物全体、ならびに部材の挙動を含めた検討が必要である。

①小口径の海中部材に作用する波力（Morison et al，1950）

杭や支柱など小口径の海中部材に作用する波力は次式によって算定される。

$$F=C_D\frac{w_0}{2g}u|u|A+C_M\frac{w_0}{g}V\frac{\delta u}{\delta t} \qquad (3.1.11)$$

ここに、

F ；部材に作用する単位長さあたりの波力

g ；重力加速度

u ；波による水粒子速度

$\frac{\delta u}{\delta t}$ ；水粒子の加速度

A ；部材の単位長さあたりの流水方向の投影面積

V ；部材の単位長さあたりの体積

C_D ；抗力係数

C_M ；質量力係数

である。この式は、直立円柱に対してMorison et al.（1950）が提案した式を、任意方向部材の単位長さあたりに働く波力として一般的に示したもので、右辺の第1項が抗力、第2項が慣性力を表わす。本式の適用にあたっては、水粒子速度および加速度をできるだけ正確に与える必要がある。特に、水粒子速度成分はその2乗で寄与するため、波高が大きい場合には、微小振幅波理論による近似では不十分となることが多い。このような場合には、設計波の特性に合致した有限振幅波理論によることが望ましい。

抗力係数C_Dは、部材の形状、表面の粗度、流れのレイノルズ数、隣接部材との間隔等によって変化する。円柱部材については、$C_D=1.0$が標準値として用いられることが多い。

質量力係数C_Mは微小振幅波理論による値を用いてよいが、部材の形状等によって異なるので、条件に応じた適切な値を設定することが必要である。円柱部材の場合、直径が波長の1／10以下の時には、$C_M=2.0$が標準値として用いられることが多い。

また、海中部材には抗力・質量力のほかに、部材軸と水粒子運動方向の共通面に垂直な方向に揚力が発生する。この揚力の大きさは抗力と同様に水粒子速度の二乗に比例する形で表わされ、その係数は揚力係数C_Lと呼ばれる。一般にこの揚力は無視してよいが、海底付近にあるほぼ水平な部材では揚力が大きくなる場合（合田，1970）があるので注意しなければならない。

②大口径の構造物（大型孤立構造物）に作用する波力

構造物の口径が大きくなると慣性力が卓越するようになる。特に、波長に匹敵するような大口径の構造

物に働く非砕波の波力は、ポテンシャル理論を応用して求めることができる。例えば、井島ほか（1974）は任意断面形の柱状列を対象として、グリーン関数を用いて速度ポテンシャルの積分方程式を導き波の散乱と波力の計算を行っている。また、山口（1975）は、非線形回折波理論を用いた大口径円柱や大口径円柱群に作用する波力について解説している。

以上のように、大型孤立構造物に作用する波力の算定式については、様々なものがあるが、詳細については関係文献を参照されたい。

d）被覆石、被覆ブロックに作用する波力

消波工や離岸堤、水面上に露出した構造物等の構成ブロックの所要重量を求める際には、Hudson式（Hudson, 1959）が広く用いられている。また、防波堤マウンド被覆材のような水中の捨石に対する所要重量の算定式には、Brebner・Donnelly（1962）の式等がある。この式は、重複波作用下での捨石重量の算定を行うものである。

一方、構造物が完全に没水している場合等などにはHudson式や防波堤マウンドに適用される式をそのまま適用することはできない。例えば、Hudson式を用いて完全没水型の捨石構造物の構成材料の所要重量を求めた場合、構成材料は水中にあるのでかなり過大な重量を与える可能性がある。このような場合には、人工リーフ被覆材の所要重量算定法（宇多ら，1990）等を使用する必要がある。

3．1．4　静水圧および浮力

(1)　静水圧

構造物に作用する静水圧は次式により算定する。

$$p_r = w_0 \cdot y \qquad (3.1.12)$$

ここに、p_r：水面より深さy（m）のところの静水圧（tf／m³）

y　：水面からの深さ（m）

w_0：海水の単位重量（ft／m³）

(2)　浮力

構造物に作用する鉛直上向きの浮力は次式により算定する。

$$B = w_0 \cdot V \qquad (3.1.13)$$

ここに、B　：浮力（tf）

V　：排水容積

w_0：海水の単位重量（tf／m³）

〔解　説〕

静水圧、浮力の算定の際に必要な海水の単位体積重量は、塩分、水温等で変化するものの、一般的には$w_0 = 1.03$（tf／m³）としてよい。

3．1．5　地震の影響

(1)　設計方法

海域制御構造物の地震時の設計には震度法を用いる。また、特に重要な構造物や特殊な形式については、震度法と併せて動的解析により耐震性を検討することが望ましい。

(2)　地震時慣性力の算定

地震時慣性力は次式により算定する。

地震時慣性力＝重量×設計震度

(3)　設計震度の設定

設計震度は地域別、地盤種別、構造物の重要度を考慮して次式により定める。

設計震度＝地域別震度×地盤種別係数×重要度係数

ただし、設計震度は構造上、特に必要な場合を除き、水平震度のみを考慮する。

(4)　地震時動水圧

水中にある構造物および内部の空間の一部、または全体を流体が占める構造物については(2)の地震時慣性力のほか、地震時の動水圧を考慮する。

(5)　地盤の液状化

ゆるく詰まった飽和砂質土は地震により液状化し、構造物に被害を及ぼすことがあるので、構造物の設計、施工の際に必要に応じてこれを考慮する。

〔解　説〕

(1)　設計方法

海域制御構造物は、20m以浅の海底に設置される構造物であることから、従来の海岸構造物と同様に地震動の卓越周期に比較して構造物の固有振動周期が短く、かつ減衰性が大きい。したがって、地震時の海域制御構造物の設計は、震度法により耐震設計を行うものとした。なお、特に重要な構造物や特殊な形式の構造物については、震度法と併せて動的解析により耐震性を検討することが望ましい。

(2)　設計震度の求め方

設計震度は設計地点の地震の資料に基づき、再現期間などを考慮して定めるものとする。設計震度を求める方法は図－3．1．2に示す方法を基本とする。詳細は、岩崎ら（1981）を参照されたい。

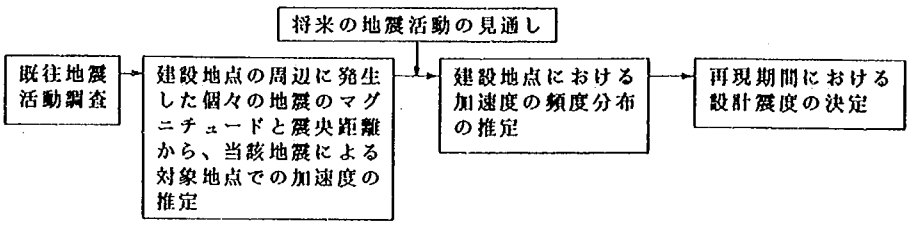
設置地点のデータが不十分な場合、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（日本港湾協会，1989）では再現期間75年の期待値として表－3．1．2～5のように地域別震度、地盤種別係数、地盤種別、および重要度係数を定めており、これらが参考になる。

地震の観測結果によると水平加速度の最大値と鉛直加速度の最大値がほぼ同時に生じることは少なく、また震央付近を除けば鉛直成分は水平成分に比べてあまり大きくないことが確認されている。さらに設計震度で求まる水平震度はこれまでの経験に基づき鉛直方向を含めた地震動の影響をも含めて水平振動として表し

ていると考えられるので、海域制御構造物に対しては、一般的な港湾構造物と同様に水平震度のみで設計しても特に問題はないと考えられる。

(3) 地震時慣性力、地震時動水圧、地盤の液状化

地震時慣性力、地震時動水圧のほか、必要に応じて地盤の液状化の影響を考慮するものとする。具体的な方法は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（日本港湾協会，1989）や「道路橋示方書　V耐震設計編」（日本道路協会，1990）に詳しいのでこれを参考にすると良い。



図－３．１．２　設計震度の求め方

表－３．１．２　地域別震度

地区名	該当区域	地域別震度
第一地区	北海道（根室、釧路、十勝、日高） 関東（千葉、東京、神奈川） 中部（静岡、愛知） 近畿	0.15
第二地区	北海道（石狩、胆振、後志、檜山、渡島、留萌） 東北 関東（茨城） 中部（新潟、富山、石川、福井） 四国 中国（鳥取、岡山、広島） 九州（大分、宮崎）	0.10
第三地区	北海道（宗谷、網走） 中国（島根、山口） 九州・沖縄（福岡、佐賀、長崎、熊本、鹿児島、沖縄）	0.05

表－３．１．３　地盤種別係数

地盤種別	第一種地盤	第二種地盤	第三種地盤
係数	0.8	1.0	1.2

表－３．１．４　地盤種別

第４紀層の厚さ	砂れき層	一般の砂、粘土地盤	軟弱地盤
５ｍ以下	第一種	第一種	第二種
５～２５ｍ	第一種	第二種	第三種
２５ｍ以上	第二種	第三種	第三種

表－3．1．5　重要度係数

構造物の種別	構造物の性格	重要度係数
特定	A級構造物の性格のうち①の程度が著しいもの	1.6
A級	① 構造物が震害を受けた場合、多くの人命・財産の損失を与えるおそれのあるもの。 ② 構造物が震害を受けた場合、関係地域の経済・社会活動に重大な影響を及ぼすもの ③ 構造物が震害を受けた場合、復旧にかなりの困難が予想されるもの	1.2
B級	特定、A級及びC級以外のもの	1.0
C級	特定及びA級以外の小規模な構造物で容易に復旧が可能なもの	0.5

3．1．6　風荷重

風荷重は次式により算出する。

$$F=\frac{1}{2}\rho_a V_w C_S A \qquad (3.1.14)$$

ここに、F　：風により構造物に作用する単位長さ当たりの力

ρ_a：空気密度

V_w：設計風速

C_S：形状係数

A　：風荷重の作用方向と直交する面に対する構造物または部材の単位長さ当たりの投影面積

〔解　説〕

風荷重は構造物が海面上に著しく突出する場合、あるいは天端上に通信塔や観測塔等を設ける場合に考慮する。一般には、構造物の天端高さは水深の2割以下であり、風荷重に比べると波力が卓越するものと考えられる。

空気密度ρ_aは、空気の温度、圧力等によって変化するものの、一般的には$\rho_a=0.125 kg\cdot sec^2/m^4$としてよい。また、形状係数$C_S$は風洞実験等で確認されない場合には、以下の数値を用いてよい。

・海洋構造物の投影面積全体：1.0
・円柱部材　：0.5
・角柱部材　：1.5
・居住区等建築物　：1.5

設計風速V_wは、設置海域の風の資料に基づき風速の出現分布を推定し、再現期間などを考慮して定める。設置海域のデータが不十分な場合、「海洋鋼構造物設計指針（案）」（土木学会，1973）では、再現期間50年の海面上10mにおける10分間平均風速を以下のように定めており、これが参考となる。

・北緯30°以南の海域　$V_{w10}=55m/s$

・紀伊・四国・九州の外海に面した南海岸およびその沖合　　$V_{W10}=50m/s$
・房総以西の関東・東海の海岸および沖合　　$V_{W10}=45m/s$
・その他の海岸および沖合　　$V_{W10}=40m/s$

3．1．7　流れおよび津波による荷重

(1)　設計に用いる流れによる荷重には、潮流力を考慮する。また、必要に応じて津波波力を考慮する。

(2)　潮流力

a）流れの諸元

設計に考慮する流れの諸元は、流向と流速である。

b）潮流力

潮流力は潮流方向の抗力とこれに直角方向の揚力とに分けられ、適切な模型実験あるいは次式により算出する。

$$F_D=C_D\frac{w_0}{2g}V_t^2A \qquad (3.1.15)$$

$$F_L=C_L\frac{w_0}{2g}V_t^2A \qquad (3.1.16)$$

ここに、F_D：構造物または部材に作用する抗力（tf）
F_L：構造物または部材に作用する揚力（tf）
C_D：抗力係数
C_L：揚力係数
w_0：海水の単位体積重量（tf/m^3）
A　：構造物または部材の潮流方向への鉛直投射面積（m^3）
V_t：潮流速（m／s）
g　：重力加速度

(3)　津波

a）津波の来襲による海域制御構造物の被災が予想される海岸においては、津波に関する安定性の照査を必要とする。

b）津波による荷重としては、津波波力（段波性津波の場合）および津波の流れによる荷重を考慮する。

〔解　説〕

(1)　一般

海の流れとしては、潮汐にともなう潮流、風による吹送流等があり、設計においては、これらの流れによる荷重を考慮しなければならない。

また、巨大な津波が来襲すると津波に伴う波力、流れにより構造物に多大な被害を及ぼす場合がある。しかし、津波の生起確率は不明確な部分が多く、さらに一つの津波であっても地域によって来襲波高は大きく異なる。このことから、必要に応じて津波を考慮するものとした。

(2) 潮流力

設計に用いる潮流速は、海流および潮流の資料に基づき再現期間などを考慮して求める。流れの水深方向の変化は実測によって求めることが望ましいが、十分な観測データがない場合は次式によって良い。

$$V_{tz}=V_{ts}(Z/h)^{1/7} \qquad (3.1.17)$$

ここに、Z　：海底面からの高さ（m）

V_{tz}：海底面からZmのところでの流速（m／sec）

V_{ts}：海表面における流速（m／sec）

h　：水深（m）

抗力係数については、適切な模型実験により求めることを原則とするが、実験によらない場合、円柱部材に対しては本編「3．1．3．(4)c）海中の柱部材に作用する波力」の解説に述べた値を用いて良い。

揚力係数については、適切な模型実験により求めることを原則とする。形状ごとのC_Lは、「海洋鋼構造物設計指針（案）」（土木学会，1973）等で定められているのでこれを参考にするとよい。

(3) 津波

設計に用いる津波は、長期間にわたる実測値、既往の津波記録をもとにその規模を設定し、当該海岸の位置、地形、設置水深等を考慮して、数値計算、水理模型実験により決定する。構造物の設置水深が比較的浅い場合には段波性の津波が来襲する可能性があり、この場合には大きな津波波力が発生する。また、津波来襲時にはかなりの高流速の流れが構造物に作用するので注意を要する。

3．1．8　衝突荷重

船舶の衝突の恐れがある場合には、船舶の衝突荷重を設計に考慮しなければならない。ただし、衝突荷重は船舶の規模や衝突時の速度、角度によって異なり一律の値を決めがたいので、設置地点の状況に応じた値を設定するものとする。

〔解　説〕

構造物には緩衝工を設けないことも多いので、船舶の衝突の恐れがある場合には、これを設計で考慮しなければならない。しかし、一般に船舶が衝突するのは、気象の悪条件から舵を誤った場合や船舶に故障を生じて漂流した場合などであり、巡航速度での衝突はほとんど考えられない。したがって船舶の規模、衝突時の速度等を十分調査して衝突荷重を定めなければならない。

3．1．9　施工時荷重

構造物の施工時には施工方法と施工中の構造を考慮して、自重、施工機材等の荷重、あるいは、波浪、地震、風などによる施工中の環境荷重について必要な検討を行わなければならない。

〔解　説〕

施工時荷重とは、構造物の施工時に作用する荷重である。海域制御構造物の施工方法は、陸上作業と海上作業との両作業となる場合が多い。施工時の各部材には施工後とは全く異質の荷重が作用し、施工方法によっては施工後に作用する波力等よりも大きな値を示すことがある。このため、構造物の設計時には施工方法と施工中の構造とを考慮して、自重、施工機材などに対して検討するように規定した。

また、最終的な安定断面となっていない状態の施工途中に、波浪や地震が作用することが考えられる。したがって、施工期間中に想定される自然現象を十分に検討し、構造物の施工時の安定性を確保する必要がある。

3．2　荷重の組合わせ

3．2．1　終局限界状態照査用の荷重の組合わせ

(1)　終局限界状態を照査する状況は、以下の通りとする。

①暴風波浪時

②地震時

③船舶衝突時

④施工時

(2)　(1)の各状況における荷重の組合わせは、表－3．2．1を基準とする。

表－3．2．1　終局限界状態照査時の荷重の組合わせ

状況	荷重							
	固定	環境				その他		
	死荷重	波力	地震の影響	風荷重	流れによる荷重	水圧及び浮力	衝突荷重	施工時荷重
①暴風波浪時	○	◎	－	○	○	○	－	－
②地震時	○	－	◎	－	○	○	－	－
③船舶衝突時	○	－	－	－	－	○	◎	－
④施工時	○	□	□	□	□	○	－	□

注：(i)◎は、各状態における主たる荷重
(ii)○は、各状態における従たる荷重
(iii)□では、施工方法および施工期間内に予想される気象条件を考慮して組合わせる。

(3)　暴風波浪時および地震時における主たる荷重である波力、地震は、所要の再現期間に相当する荷重を用いる。従たる荷重については、主たる荷重との同時生起を考慮して算出することが望ましい。

〔解　説〕

(1)　照査する状況

終局限界を照査する状況は、所要の再現期間に相当する波力が作用する暴風波浪時、所要の再現期間に相当する地震力が作用する地震時のほか、船舶衝突時および施工時について個別に照査することとした。

(2)　暴風波浪時の地震の影響

暴風波浪時においても、地震が発生する可能性があるものの、その同時生起の確率は極めて小さいため、暴風波浪時における地震の影響は考えないこととした。

(3)　終局限界状態照査時の荷重係数

現在のところ、終局限界状態照査時の荷重係数は、DnVの基準を参考にとりまとめた表－3．2．2に示す値を標準とする。

表－3．2．2　終局限界状態照査時の荷重の組合わせとその荷重係数（試案）

状　況	荷重							
	固定	環境				その他		
	死荷重	波力	地震の影響	風荷重	流れによる荷重	水圧及び浮力	衝突荷重	施工時荷重
①暴風波浪時	1.0	1.15*1	－	1.15*2	1.15*2	1.0	－	－
②地震時	1.0	－	1.15*1	－	1.0*2	1.0	－	－
③船舶衝突時	1.0	－	－	－	－	1.0	●	－
④施工時	1.0	□	□	□	□	1.0	－	1.3

注）＊1：対象となる荷重は、所要の再現期間に相当する荷重を用いる。

＊2：波浪または地震との同時生起を考慮して算出した荷重を用いることが望ましいが、統計処理的に充分な資料が得られない場合は、安全側を考慮して所要の再現期間に相当する荷重を用いてもよいこととする。

●：工学的判断に基づく値とする。

□：暴風波浪時および地震時の照査に用いた荷重の組合わせ、荷重係数および荷重の再現期間を参考として、施工方法並びに施工期間内に予想される気象条件を踏まえて適宜適切な値を用いる。

3．2．2　使用限界状態照査用の荷重の組合わせ

(1) 構造物の使用限界の照査は常時の波浪を主たる荷重として行い、荷重の組合わせは、表－3．2．3を標準とする。

表－3．2．3　使用限界状態照査時の荷重の組合わせ

状況	荷重							
	固定	環境				その他		
	死荷重	波力	地震の影響	風荷重	流れによる荷重	水圧及び浮力	衝突荷重	施工時荷重
波浪時	○	◎	－	○	○	○	－	－

注：(1) ◎は、主たる荷重
(2) ○は、従たる荷重

(2) 使用限界状態の照査における荷重の再現期間については、使用限界状態（構造物全体または部材が過度の振動、変位、変形、ひび割れ等を起こし、正常な使用ができなくなる状態、あるいは耐久性を損なう状態）が常時の使用または耐久性に関連した限界状態であることを考慮して、適切な期間を設定するものとする。

(3) 従たる荷重については、主たる荷重との同時生起を考慮して算出することが望ましい。

〔解　説〕

(1) 荷重の再現期間

荷重の再現期間については、使用限界状態が常時の使用または耐久性に関連した限界状態であることを考慮した期間を設定しなければならない。期間の設定については、FIP（国際プレストレストコンクリート協会）では1ヶ月を採用していることを踏まえて、本編においても使用限界状態に関する荷重の再現期間を1ヶ月とすることにした。なお、DnVの基準では、終局限界状態照査用荷重の50%としている。

(2) 使用限界状態照査時の荷重係数

現在のところ、使用限界状態照査時の荷重係数は、DnVの基準を参考にして、表－3．2．4に示す値を標準とする。

表－3．2．4　使用限界状態照査時の荷重の組合わせと荷重係数（試案）

状況	荷重							
	固定	環境				その他		
	死荷重	波力	地震の影響	風荷重	流れによる荷重	水圧及び浮力	衝突荷重	施工時荷重
波浪時	1.0	1.0*1	－	1.0*2	1.0*2	1.0	－	－

注）＊1：対象となる荷重は、再現期間内（1ヶ月）に起こりうる最大レベルの荷重を用いる。

＊2：波浪との同時生起を考慮して算出した荷重を用いることが望ましいが、統計処理的に充分な資料が得られない場合は、安全側を考慮して再現期間（1ヶ月）に相当する最大レベルの荷重を用いてもよいこととする。

3．2．3　疲労限界状態照査用の荷重の組合わせ

(1)　構造物の疲労限界状態の照査は波浪を主たる荷重として行い、照査に用いる荷重は、構造物に対して耐用期間中に作用する荷重の変動を考慮したものでなければならない。

(2)　荷重の組合わせは、表－3．2．5を標準とする。

表－3．2．5　疲労限界状態照査時の荷重の組合わせ

荷重							
固定	環境				その他		
死荷重	波力	地震の影響	風荷重	流れによる荷重	水圧及び浮力	衝突荷重	施工時荷重
○	◎	－	○	○	○	－	－

注：(1)　◎は、主たる荷重

(2)　○は、従たる荷重

〔解　説〕

現在のところ、疲労限界状態照査時の荷重係数は、DnVの基準を参考にしてとりまとめた表－3．2．6に示す値を標準とする。

表－3．2．6　疲労限界状態照査時の荷重の組合わせと荷重係数（試案）

荷重							
固定	環境				その他		
死荷重	波力	地震の影響	風荷重	流れによる荷重	水圧及び浮力	衝突荷重	施工時荷重
1.0	1.0*1	－	1.0*2	1.0*2	1.0	－	－

注）＊1：波力については、耐用期間内に考えられる波浪の頻度分布を用いるものとする。
＊2：風荷重および流れによる荷重については、波浪時の同時生起を考慮した上での頻度分布を用いることが望ましいが、統計処理的に十分な資料が得られない場合には、安全側を考慮して耐用期間内に起こりうる平均的な荷重を用いてもよいこととする。

参考文献

井島武士・周　宗任・吉田明徳・湯村やす（1974）：水底および水面付近の任意断面の固定柱状体による波の散乱と波力，土木学会論文報告集，第228号，pp.29～43.

伊藤喜行・藤島　睦・北谷高雄（1966）：防波堤の安定性に関する研究，港研報告，Vol.5，No.14，134p.

岩崎敏男・川島一彦・相沢　興・高橋和之（1981）：既往地震活動に基づく地震動強度の期待値推定法，土木研究所資料，第1696号.

宇多高明・村井禎美・舘　克彦（1989）：スリット式構造物に作用する波力の特性，土木研究所資料，第2788号，pp.53～63.

宇多高明・小俣　篤・齋藤友伸（1990）：人工リーフ被覆材の所要重量算定法，土木研究所資料，第2893号，31p.

海岸保全施設築造基準連絡協議会（1987）：海岸保全施設築造基準解説，269p.

合田良実・原中祐人・北畑正記（1966）：直柱に関する衝撃砕波力の研究，港研報告，Vol.5，No.6，pp.1～30.

合田良実（1967）：構造物に働く波力，水工学シリーズ67－B10，土木学会水理委員会

合田良実（1970）：海中構造物の設計―波力について―，土木学会誌，Vol.55，No.9，pp.2～7.

合田良実（1973）：防波堤の設計波圧に関する研究，港研報告，Vol.12，No.3，pp.31～69.

高橋重雄・谷本勝利・鈴村諭司（1966）：直立壁に作用する衝撃砕波力の発生機構に関する一考察，港研報告，Vol.22，No.4，pp.3～31.

谷本勝利・高橋重雄・轟　正彦・和泉田芳和（1977）：ドルフィン上部工に作用する水平波力，港研報告，Vol.16，No.3，pp.39～68.

谷本勝利・高橋重雄・和泉田芳和（1978）：水平版に働く揚圧力に関する研究，港研報告，Vol.17，No.2，pp.3～47.

谷本勝利・高橋重雄・北谷高雄（1981）：混成防波堤のマウンド形状による衝撃砕波力の発生と対策について，港研報告，Vol.20，No.2，pp.3～39.

谷本勝利・高橋重雄・金子忠男・塩田啓介・小蔵紘一郎（1986）：円柱に働く衝撃砕波力に関する実験的研究，港研報告，Vol. 25，№ 2，pp. 33～87.

山口正隆（1975）：柱状構造物に作用する波力，水工学シリーズ75－B－6，土木学会水理委員会.

Brebner, A and P. Donnelly (1962) : Laboratory study of rubble foundation for vertical break waters, Proc. 8th Conf. on Coastal Eng., pp. 141～164.

Coastal Engineering Reserch Center (1973) : US Army Corps of Engineers : Shore protection manual, Govt. Print Office, Vol Ⅱ.

Hiroi, I. (1919) : On a method of estimating the force of waves, 東京帝国大学工科紀要, Vol. 10, № 1, 19p.

Morison , J.R., M. P. O 'Brien, J. W. Johnson and S. A. Schaaf (1950) : The force exerted by surface waves on piles, Petroleum Trans., 189,TP 2846,pp.149～154 .

Hudson, R. Y. (1959) : Laboratory investigation of rubble－mound breakwater, Proc. ASCE., Vol. 85, WW3, pp. 93～121.

Sainflou, G. (1928) : Essai sur les diques maritimes verticales, Annales des Pontset Chaussées, Vol. 98, № 1, pp. 5～48.

第4章 材 料

4.1 一 般

使用する材料は、設計荷重、腐食環境、耐用期間、部材形状、施工性、景観、経済性、維持管理法等を考慮して選定する。また、必要に応じて適切な防食を施すものとする。

〔解 説〕

構造物に使用する材料は、構造物の種類、環境条件、部材断面形状によって異なるが、主として鋼材、コンクリート、石材、ゴム膜材の他、樹脂材料、木材等である。これらの材料については、用途に応じた十分な強度を有し、かつ腐食特性を考慮して十分な耐久性を有するものを用いなければならない。また、海底近くでの耐摩耗性や、海面近くでの生物付着についても考慮する必要がある。特に、特別な機能を求められる材料についてはその性能を確認して選定し、必要に応じて性能を補完する材料を付加する。例えばゴム膜材などは、強度、耐久性だけでなく水密性、気密性などの性能の高いものを選定し、引張強度を確保するため必要に応じて強化材料と複合化して用いる必要がある。

構造物として要求される耐用期間に比べて材料の持つ耐久性が不足する場合には、適切な防食工法を選定して防食を施すものとし、構造物に使用される材料の選定段階において、適用する防食法を含めた検討を行う必要がある。

また、MMZ計画には海洋性リゾートの開発を核とした場合もあるので、耐久性や強度ばかりでなく、色彩とその耐久性や周辺景観との調和といった観点からの構造材料または被覆材の選定が必要となるケースもある。

なお、構造物各部材の材料の組成・配合・肉厚・強度等の検査記録（初期値）は、防食施工の記録とともに、維持管理の際に必要となるため保管していく必要がある。

4.2 材料の強度

鋼材の材料強度の特性値には降伏点強度を、コンクリートの材料強度の特性値には設計基準強度を用いることを原則とする。部材の耐力算定に用いる設計材料強度は次式により求める。

設計材料強度＝材料強度の特性値／材料係数

〔解 説〕

鋼材の材料強度の特性値には降伏点強度を、コンクリートの材料強度の特性値には設計基準強度を用いることを基本とした。鋼材およびコンクリートの設計材料強度については、「コンクリート標準示方書 設計編」（土木学会，1986）および「鋼構造物設計指針」（土木学会，1987）を参考にするとよい。

コンクリート構造物を設計する場合のコンクリートの材料係数は、終局限界状態、疲労限界状態ともに1.3とし、使用限界状態では1.0とする。ただし、プレストレストコンクリートにおいて引張り応力度照査を行う場合に用いるコンクリートの材料係数は1.3とする。コンクリート構造物に用いる鋼材の材料係数は、終局限界状態、使用限界状態、使用限界状態いづれの場合も1.0としてよい。また、鋼構造で設計する場合の鋼材の材料係数は、1.15を標準とする。

その他の材料における設計材料強度は、既往の許容応力度や、適切な試験により求めた試験強度に基づき決定するものとする。

4.3　材料定数

(1)　設計計算に用いる鋼材の材料定数は、次に示す値を標準とする。

ヤング係数

・鉄筋および鋼構造用鋼材：2.1×10^{6}kgf／cm²

・ＰＣ鋼材　　：2.0×10^{6}kgf／cm²

ポアソン比　　：0.3

(2)　設計計算に用いるコンクリートの材料定数は、次に示す値を標準とする。

ヤング係数……表－4.3.1による。

ポアソン比……弾性範囲内では、一般に0.2としてよい。ただし、引張を受け、ひびわれを許容する場合には0とする。

表－4.3.1　コンクリートのヤング係数

コンクリートのヤング係数 E_c($\times10^{5}$ kgf/cm²)	設計基準強度 f'_{ck}(kgf/cm²)	180	240	300	400	500	600
	普通コンクリート	2.2	2.5	2.8	3.1	3.3	3.5
	軽量骨材コンクリート*	1.3	1.5	1.6	1.9	－	－

＊：骨材の全部を軽量骨材とした場合

〔解　説〕

材料定数については、「コンクリート標準示方書　設計編」（土木学会，1986）を参考に設定した。

4.4　防食

4.4.1　防食設計の基本

防食とは、構造部材がその供用期間中に腐食による重大な損傷を生じないような処置を行うことであり、腐食環境、施工条件を考慮して最も経済的な防食設計を行うものとする。

〔解　説〕

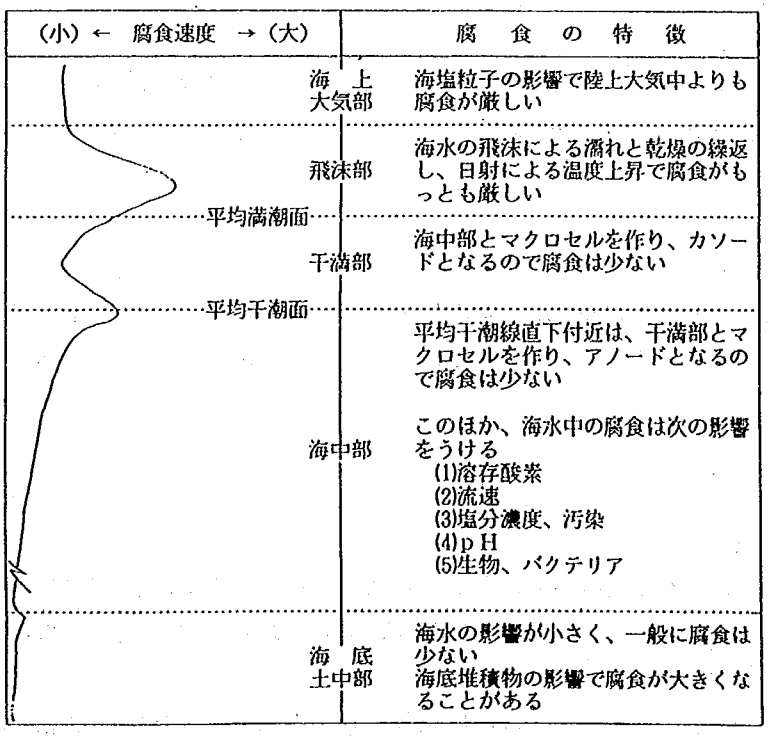
(1)　一般

構造部材は一般に酸素、紫外線、塩類等の様々な化学的作用を受けて劣化し、初期の機能および強度が低下する。このような腐食による部材厚さの減少や劣化による強度低下を見込んで設計すると、著しく不経済な構造物となることがある。したがって、材料自体の耐久性が部材の設計耐用年数から見て不足する場合には、必要に応じて適切な防食を施すものとする。

海洋性リゾート開発等において景観保持が必要な場合には、構造強度や防食性能にとどまらず、さらに景観との調和が構造物に求められる。MMZ計画では海洋性リゾートを核とした場合が多いため、発錆およびそれに伴う錆汁や、表面被覆の変色や剝がれのような、美観を損ねる状態は好ましくない場合が多い。このため、景観上重要である部位には、美観と耐久性に優れた構造材料および防食材料を適用する。

(2)　海洋環境の腐食性

海洋環境においては、構造物の部位によって材料の腐食性は大きく異なる。このため、構造物の材料選定や防食設計においては、部位ごとの腐食性を考慮してこれを行う必要がある。一般に海洋環境の腐食特性は、鉛直方向に見て次の５つ（①海上大気部、②飛沫部、③干満部、④海中部、⑤海底土中部）の区分により特徴づけられる。鋼材の場合において、腐食速度の段階形態を図－４．４．１に示し、各区分ごとの鋼材腐食特性を以下に述べる。



図－４．４．１　鋼材の腐食速度の一般的形態
（電気防食設計指針（案）・同解説（1983）による）

①海上大気部 ― 飛沫部より上方の海水飛沫のかからない部分

海上大気部は飛来塩分が多く、しかも海面からの蒸発水分による乾湿繰返しや、温度変化などの気象作用を受けて高湿度であるため、陸上大気部より鋼材は腐食し易い。紫外線やオゾン量が多く、塗膜等の有機材料の劣化を促進する部分でもある。

②飛沫部 ――― 海水中には没しないが波浪とその飛沫が直接かかる部分

飛沫部は海水の飛沫を直接浴びるため塩分・水・酸素ともに豊富であり、さらに乾湿交互作用の影響を受けるため、最も腐食性の高い部分である。しかも、波浪や飛沫のため点検補修が非常に困難な部分でもある。外海においては気象海象条件によって大きくなるが、かなり高い部分まで飛沫部であると考えられる。

③干満部 ――― 干満により水面上への露出と没水をして乾湿を繰返す部分

飛沫部よりも腐食性は小さいが、波浪による揺動のため飛沫部より施行条件が悪く、維持管理の困難な部分である。

④海中部 ――― 干満部より下方の海水中に常時没している部分

干潮線直下については溶存酸素量が多く強腐食性であるが、それより下方の海中部は比較的穏やかな腐食条件にある。しかし、点検が難しいので異常の発見は迅速にできない。海底近くでは、エロージョン（すりへり）を受ける場合がある。しかし、防食施工や維持管理作業が危険な水中作業になるほか、海中生物の付着による作業障害が起き易い部分もある。

⑤海底土中部 ― 海中部より下方の土中部分

海底土中部は腐食環境としては穏やかな部分である。ただし、洗掘によって海水中に露出してしまうような所では、砂礫等による大きなエロージョンを受けることがある。維持管理は通常不可能である。

4．4．2　鋼構造部材の防食法

鋼構造部材の防食法の選定に当っては、構造物の重要度、腐食環境、要求性能、使用期間、施工法、維持管理の難易などを考慮し、最も有効な方法を選定し、必要に応じてこれらを複合して用いるものとする。

〔解　説〕

(1)　一般

海洋鋼構造部材は海上大気～海底土中部まで、部材が置かれている腐食環境により腐食状況が異なるため、防食法の選定に当っては、腐食環境に適合した防食法を選定する必要がある。現在、鋼構造部材に多く用いられている主な防食法には、次のようなものがある。

①塗装 ―― 塗料によって鋼材表面を被覆して保護し、美観や機能性を付与する方法である。

②被覆 ―― 金属やFRPなど、厚さが塗装に比べて著しく大きい被覆を行って鋼材表面を被覆保護し、また美観や機能性を付与する方法である。

③電気防食ー海中部および海底土中部に用いられ、構造物を陰極として海水や海底底土を通して直流弱電流を流し、鋼材表面の電位を管理する電気化学的な防食法である。

④腐食しろー腐食減量をあらかじめ予測して肉厚付与を行う方法で、単純な構造や重要度の低い部材あるいは短期間の仮設構造などの場合に用いられる。

新設構造物の場合には、特殊な場合を除いてほとんどの防食法が適用可能であるので、要求性能にあわせて、高品質・低コストの防食法が選定できる。一般に、海上大気部は他の部位に比較して腐食環境が穏やかなこと、および補修施工が容易であることなどから、施工性、経済性に優れた塗装の手法が用いられる。飛沫～干満部は腐食環境が厳しく、補修の困難な部位であることから、防食性能と耐久性の優れた被覆あるいは厚膜型の塗装が採用される。海中・海底土中部に対しては、主として電気防食法、あるいは電気防食と塗覆装との併用による複合電気防食法が採用される。

防食法に対して要求される重要な性能は防食性能とその耐久性であり、これらを十分検討した上で構造物の重要度と耐用年数に応じて経済性を勘案し、最も有利な防食法を選定するべきである。しかしながら、腐食環境が厳しく施工の困難な飛沫・干満部については、防食性能を特に優先させることが望ましい。防食工の寿命が構造物の耐用期間よりも短い場合には、耐用期間中の再防食をあらかじめ見込むため、これらの維持管理法を含めた検討が必要となる。表－４．４．１に代表的な塗覆装防食工法について相対的評価の概略を示す。

(2) 塗装

ａ）一般

塗装は作業が簡単であり大型構造物や複雑な形状の部材にも適用でき、また比較的安価であるため、古くから利用されている防食法である。その防食機構は、樹脂膜による腐食性物質の遮蔽効果と下塗り塗膜中の防錆顔料による電気化学的作用の２つの効果による。

塗装は構造物製作時に実施されるが、塗膜の耐用年数により構造物の供用中に劣化したり、損傷によって素地の鋼材が発錆すると急激に耐久性が低下する。そのため、定期的に塗膜を点検し、必要に応じて塗替え塗装を行う必要がある。以上のように、塗装は構造物を製作したときに行う新設塗装と、塗膜更新のため現場で行う塗り替え塗装とに分類される。

ｂ）塗装仕様

防錆、美観などの機能を一層の塗膜で満足することは一般に困難であるため、通常は目的の異なる塗料の塗り重ねにより必要性能を確保する。この塗料の組み合わせを塗装系と呼び、素地調整、塗装間隔などを含めた仕様を塗装仕様と呼んでいる。

塗装仕様は適用環境・使用年数などを考慮し、電気防食など他の防食法との併用も含めて、次の事項を定めるものとする。

・塗装工程（素地調整方法・塗料の種類・塗装回数・膜厚・塗り重ね間隔）
・上塗りの色
・塗装施工方法
・管理および検査基準

塗装された鋼材の寿命や美粧性は、塗装仕様により決まるので、期待耐用年数と腐食環境に適応した塗装仕様を選択する必要がある。また、塗料は種類によって環境に対する適応性が異なるので、使用される条件に応じて塗装仕様を決める必要がある。飛沫干満部に塗装を適用する場合には、塗り替え時の施工性を十分考慮した上で、長期の防錆性能を有する塗装仕様を選択することが望ましい。海中部分に対しては適切な塗装系を選べば電気防食との併用も効果的である。

表－4．4．1　代表的塗覆装防食工法の相対的評価

防食法	被覆材料	標準的な被覆厚さ	防食寿命	適用範囲*1 大飛干海土気沫満中中	初期コスト	施工性 工場	施工性 現地	実績	形自由度	電防併用	補修*2 海上	補修*2 海中
塗装	無機ジンクリッチ＋エポキシ＋ポリウレタン樹脂塗料	255 μm	○	—……	◎	◎	－	◎	◎		同	－
塗装	無機ジンクリッチペイント＋クールエポキシ塗料	315 μm	△*3	…——	◎	◎	－	◎	◎	可	同	他
塗装	有機ジンクリッチペイント＋ガラスフレーク入樹脂塗料	1015 μm	○	…——	◎	◎	－	△	◎	可	同	他
塗装	有機ジンクリッチペイント＋超厚膜エポキシ樹脂塗料	2500 μm	○	…——	◎	◎	◎	◎	◎	可	同	同
有機系被覆	水中硬化型エポキシ樹脂	5 mm	○	…——	○	－	○	○	◎	可	同	同
有機系被覆	厚膜無溶剤型樹脂（ポリウレタン樹脂）	2.5mm	◎	——	◎	◎	○	◎	◎	可	同	他
有機系被覆	ポリエチレン	2.5mm	◎	——	◎	◎	－	◎	△	可	同	他
有機系被覆	レジンモルタル	5 mm	○	…——	△	○	△	△	◎	可	同	他
有機系被覆	FRPライニング	3 mm	○	…——	△	△	△	△	◎	可	同	同
有機系被覆	ゴムライニング	10 mm	○	…——	△	△	－	△	○	可	同	他
有機系被覆	ペトロラタム＋FRPカバー	2~3+3 mm	○	…——	△	－	◎	◎	○		同	同
無機系被覆	コンクリート	かぶり100mm	◎	…—……	○	－	○	◎	○	要	同	他
無機系被覆	セメントモルタル＋鋼製カバー	100+12mm	◎	…——	△	－	○	△	△		同	同
無機系被覆	セメントモルタル＋FRPカバー	50+3 mm	○	…——	△	－	○	○	△		同	同
金属系被覆	低合金系耐海水鋼	12 mm	○	…—……	○	○	－	△	○	要	同	同
金属系被覆	耐海水性ステンレス鋼	3 mm	◎	…—……	△	○	－	△	○	要	他	他
金属系被覆	キュプロニッケル	2 mm	◎	…—……	△	△	－	△	△	要	他	他
金属系被覆	モネル	2 mm	◎	…—……	△	△	－	△	△	要	他	他
金属系被覆	チタンクラッド	1 mm	◎	…—……	△	△	－	△	△	要	他	他

*）評価：優◎←—○—→△可　『－』対象としない
*1）環境による適用性で、—：適している、—：適用可能である、…：可能だが有利ではない
*2）海中とは湿面を意味する。表示は、同：同一の防食仕様で補修可能、他：他の仕様による
*3）電気防食併用の場合は◎

塗装の耐久性は施工の良否に依存するところが大きいので、施工方法や管理および検査基準に基づいて施工し検査することが大切である。また、海洋環境は塗装作業に適さないため、新設時の塗装は製作工場にて行うことを原則とする。

現在海洋構造物の塗装に適用されている代表的な塗装系の例を表－4．4．2に示す。

表－4．4．2　海洋構造物の代表的な塗装系の例

適用環境	塗装系	標準的な総合膜厚 μm
海洋大気部外面	厚膜型無機ジンクリッチペイント エポキシ樹脂塗料 ポリウレタン樹脂塗料	255
海洋大気部内面 （密閉空洞内）	厚膜型無機ジンクリッチペイント タールエポキシ樹脂塗料	315
飛沫部	厚膜型無機ジンクリッチペイント エポキシ樹脂塗料 ポリウレタン樹脂塗料	315
干満部	エポキシ樹脂ジンクリッチプライマー 超厚膜型エポキシ樹脂塗料	2500
海中部 （電気防食を併用）	エポキシ樹脂ジンクリッチプライマー タールエポキシ樹脂塗料	260

c）材料・施工

塗装に使用する塗料には日本工業規格等により品質が確認されたものを使用し、十分な施工管理のもとに塗装作業を行う。塗料の品質や施工の方法に問題があると、所定の性能が得られず構造物の寿命や安全性にも支障が生じるので、実績や試験で防食効果や耐久性が十分確認されている塗料を選択する。また、塗装に当っては塗料の品質を事前に確認するとともに、必要に応じてロットごとの品質検査を行う。防錆効果や耐久性は、施工の良否に負うところが大であるため十分な施工管理を必要とする。

塗装の作業手順はほぼ定まっており、一般に図－4．4．1に示されるような標準的な工程が用いられる。

(3) 被覆

海洋構造物に適用する被覆防食法は、有機系被覆、無機系被覆および金属系被覆に分類される。耐食性金属被覆は無機系被覆の範疇に入るが、その特性からここではそれぞれを個別に取扱うこととした。

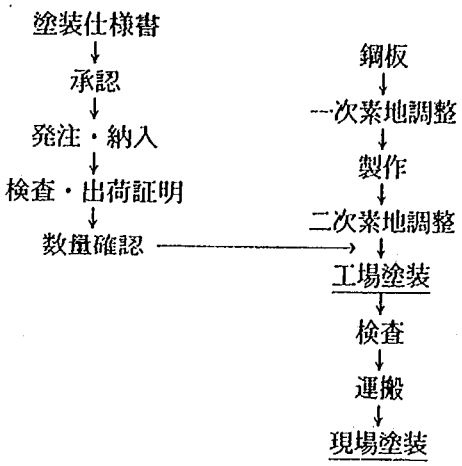
①有機系被覆

樹脂等の有機高分子材料を塗付や注入等により鋼材面に被覆する工法である。

②無機系被覆

セメントモルタルやコンクリートによる被覆などが主である。型枠を残す工法と取り外す工法がある。

表－4．4．1　塗装工程



③金属系被覆

一般の鋼材に比べて優れた耐食性を有する金属を被覆するものである。飛沫干満部に適用する場合には、異種金属接触腐食や隙間腐食による局部腐食を防止するため、電気防食を併用する。

a）有機系被覆

有機系被覆には次のようなものがある。

①ポリエチレンライニング

ポリエチレンライニングは工場加工型の防食工法で、鋼管などに厚さ2～3mmの膜厚にライニングされ用いられる。ポリエチレン樹脂は耐薬品性や耐海水性に優れており、カーボンブラックの配合により耐候性も向上している。鋼矢板などでは押出し法による自動被覆ができないので、ポリエチレンシートの張り付け工法により被覆する。

②厚膜無溶剤型樹脂ライニング

厚膜無溶剤型樹脂ライニングの代表的な材料がポリウレタンであり、機械化された2液エアレスで自動塗装され、塗装済みの鋼材がプレ重防食鋼矢板等として市販されている。エポキシやタールウレタンなどの無溶剤型樹脂ライニングも行われている。

③水中硬化型樹脂ライニング

水中硬化型樹脂ライニングにはパテ状のものとハケ塗りの可能な液状のものがあり、素地調整を行ったのち、次の3種類の方法により施工されている。

・塗料のみを塗布する方法
・塗料の補強材として金網などを使う方法
・型枠を用いて樹脂を注入する方法

これらの水中硬化型塗料は、現場における施工が可能であり、主として既設構造物の補修に適用されて

いる。

④レジンモルタルライニング

レジンモルタルライニングは、シリカサンドを含有したエポキシ樹脂ライニングである。海洋環境の中でも飛沫～干満部は、腐食のほかに波浪や漂流物などによる機械的な損傷を受け安い部位であり、物理的強度の高い被覆が要求される。レジンモルタルライニングはこのような必要性を満たす被覆法であり、関西国際空港の連絡橋などに用いられている。

⑤FRPライニング

FRPライニングは、エポキシやポリエステル樹脂にガラス繊維などを混合し被覆する現場施工型の工法であり、機械的強度に優れ形状の自由度が高い。しかし、ハンドレイアップ法による施工を行うので海洋構造物の防食法としてはあまり実績はない。

⑥ゴムライニング

ゴムライニングは海洋暴露試験で優れた評価を得ているが、加硫作業の問題とコスト面から国内での使用実績は少ない。

⑦ペトロラタムライニング

ペトロラタムは、インヒビター（防錆剤）を含む粘性の高い石油系の防錆材料であり、ガラスクロスや合成繊維不織布などのテープに含浸させ、構造物の表面に巻き付けあるいは貼つけた後、FRP製の保護カバーを用いて保護する。FRP製保護カバーとペトロラタムテープとの隙間にポリエチレンなどの発泡体を緩衝層として組入れることもある。FRPは成型が自由であるため、複雑形状の構造物にも施工が可能である。

ペトロラタムの防食原理は、そのはっ水性と添加されているインヒビターによる。ペトロラタムは石油系のワックスで水に溶解しないため、塗布された鋼材は水をはじき腐食しにくくなる。しかしながら、ペトロラタムを水中で塗布したり、テープ状のペトロラタムを巻き付ける場合には、水中硬化型塗料の場合と同様に水分が含まれる。これらの水分は腐食を促進することになるため、ペトロラタムの中にタンニンなどの水分および錆と反応する防錆剤を添加して、一種の防錆塗膜を形成させるような手段が講じられる。

各種有機ライニング法の特徴をまとめて表－４．４．３に示す。

b）無機系被覆

無機系被覆であるコンクリートライニング法には２種類の工法がある。一つは素地調整後、型枠を取りつけモルタルを注入し、型枠をそのまま残してモルタルと型枠による中性化速度の減少と防食体の強化を図る方法である（図－４．４．２参照）。他の一つは、メタルフォームなどの型枠を用いて、施工後取り外す工法である。

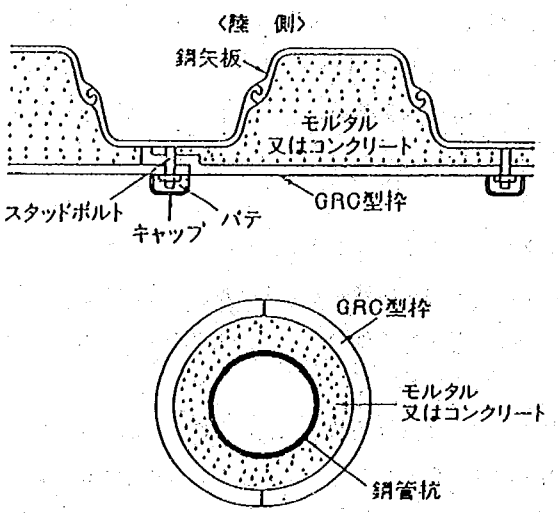
型枠を保護カバーとしてそのまま残す方法は、気密水密性の高く耐食性の優れた材料で作った型枠を使用し、モルタル打設後もそのまま残して衝撃によるひびわれや中性化から保護する方法である。型枠に使う材料にはFRP（繊維強化プラスチック）やFRC（繊維強化セメント）が使用されている。

表－4．4．3　有機系被覆工法の特徴

（港湾鋼構造物防食マニュアル（沿岸開発技術センター，1986）より修正加筆）

	標準膜厚 (mm)	標準施工法	施工場所	特　　徴
ポリエチレンライニング	2 ～3	溶融シート巻付け あるいはシート張付け	工場	工場生産で品質安定、大量生産可能で安価、複雑な形状には施工困難
厚膜無溶剤型樹脂ライニング	0.5 ～5	塗　布	工場 現場	特殊塗装機によるスプレーが可能 2液エアレスが必要
水中硬化型樹脂ライニング	1 ～10	ハンドワーク、注型法	現場	水中での施工が可能
	0.1 ～1	ハ　ケ		パテタイプは工数がかかる
レジンモルタルライニング	3 ～10	塗　布	工場 現場	耐衝撃性がよい、複雑な形状も可能 施工条件厳しく、均質塗膜形成困難
FRPライニング	2 ～5	ハンドレイアップ	工場 現場	耐摩耗性がよい、複雑な形状も可能 工数がかかる
ゴムライニング	3 ～15	シート張付け ＋加硫	工場	耐衝撃性，耐摩耗性がよい 実績が少なく高価
ペトロラタムライニング	5 ～10	ペトロラタムテープ張付 ＋FRP型枠取付	現場	現場における水中での施工が可能 多くの施工実績がある

コンクリートライニングの防食機構は、鋼材がアルカリ雰囲気で腐食速度が低くなることを利用するものである。すなわち、モルタル中の水酸化カルシウムによって鋼材をアルカリ雰囲気に保持し、防食するものである。この被覆防食法は歴史が古く、実績が多いので、港湾構造物をはじめ種々の分野に多用されている。



図－4．4．2　コンクリートライニングの例

c）金属系被覆

被覆に用いられる耐食性金属には、低合金耐海水鋼被覆と高耐食性金属被覆（例えば、SUS316L以上のステンレス、キュプロニッケル、モネル、チタンなど）がある。これらの金属は、シート溶接やクラッド等により被覆して用いる。また、参考として、表－4．4．4にこれらの耐食性金属材料の海水中における耐久性を示す。

表－4．4．4　各種金属材料の海水中の耐久性　(K. A. Chadler,1985)

金属 / 評価項目	チタン	ステンレス[2]	ニッケル	ニッケル合金	銅	黄銅	青銅	銅ニッケル合金	アルミ合金	鉄	鋼
静止海水浸漬	A	A	A	B	B	B	B	B	合金の種類による	C	C
耐孔食性	A	C	C	B	B	A	B	B	B	B	B
耐隙間腐食性	A	B／C	B／C	B	A	A	A	A／B	B	B	B
デアロイング De-alloying	A	A	A	鋭敏なものあり	A	鋭敏なものあり	A	鋭敏なものあり	鋭敏なものあり	鋭敏なものあり	A
耐生物付着性	C	C	B	B／C	A	B	B／C	A:90/10 B:70/30	C	C	C
耐キャビテーション損傷	A	A	B	B	C	C	C	C	C	C	C
流動海水浸漬 流速2m/s以下	A	C 孔食	—	C 孔食	A／B	A／B	A／B	A	—	C	C
流速 2~15m/s	A	A	A	A	A	B	B	B	—	C	C
耐粒界腐食	A	鋭敏	多分鋭敏である	多分鋭敏である	A	A	A	A	鋭敏なものあり	A	A
電位列[1]	1	3	3	1~5[3]	6	7	5	4	9	8	8

評価　A：良好　B：平均的　C：劣る
注1）海水中での電位列であり、2つの金属が接触すれば数の多いものが溶解する。
2）オーステナイト系ステンレス
3）合金の種類による。

①低合金系耐海水鋼

低合金系耐海水鋼は、海洋環境において腐食しない鋼材というわけではなく、普通鋼に比較して一般的に腐食速度が小さいという鋼材である。例えば、飛沫帯に暴露した耐海水鋼の腐食速度は普通鋼のおよそ半分である。耐海水鋼は、飛沫帯以外の海洋環境に暴露しても普通鋼より小さい腐食速度を示す傾向にあるものの、腐食速度に及ぼす成分系や使用条件の影響が大きいので、腐食速度の低下は一般に飛沫帯ほど大きくないことが多い。

低合金系耐海水鋼は、強度や溶接性の違う各種の成分系のものが市販されている。リンを添加している耐海水鋼は、溶接上の配慮から用途や板厚に制限があるが、その他の成分系では、溶接構造用の普通鋼とほぼ同等の溶接性を有している。溶接部近傍での異種金属接触による局部腐食防止のため、耐海水鋼の溶接の際は成分系に合わせた専用溶接棒を使用する必要がある。

低合金系耐海水鋼被覆は、2種類の方法により海洋鋼構造物の飛沫～干満部の防食に適用できる。2種類の方法とは、海洋構造物の構造用部材としてそのまま使用する方法と、板巻溶接などにより普通鋼構造物の被覆材料として使用する方法である。構造用部材としての方法は、構造物の形状、施工性、コストおよび異種金属接触腐食防止の点で、後者より有利なことが多い。また、重防食塗装と併用すると寿命の延長が期待できる。

②高耐食性金属被覆

耐海水性鋼などの低合金系耐食鋼材よりさらに優れた耐食性を有する材料は、耐海水性ステンレス鋼・モネル・チタンなどで、高価ではあるがメンテナンスフリーで使用できる可能性がある。そのため、イニシャルコストだけではなく、その長期耐久性を考慮に入れてコスト評価すれば、経済的に有利になる場合もある。

高耐食性金属の海水環境における腐食の特徴は、飛沫部と干満部で異なる。飛沫部にさらされたステンレス鋼などの高耐食性金属に生じる腐食形態は、普通鋼や低合金鋼とは異なり、浅い点食、発錆、割れなどが主なものである。ステンレス鋼の場合、点食や割れなどは溶接作業などの熱履歴により生じる鋭敏化を原因とすることが多い。したがって、低炭素化とモリブデンの添加により耐孔食性を向上させたSUS316Lグレードのステンレス鋼であれば、飛沫帯におけるこれらの腐食を抑制することが十分可能である。キュプロニッケルやモネルメタルは、独特の緑色を帯びてくるが耐食性には問題がない。チタンやチタン合金も、飛沫帯において十分な耐食性を示す。干満部に暴露された耐食性金属の腐食形態は、孔食、隙間腐食、インピンジメントアタックなどであり、とりわけ隙間腐食が問題である。隙間となる部分は、海洋生物の付着などにより自然に生ずるものと、構造物の形状や構造に由来する人為的なものとがある。一般に、高耐食性金属の腐食環境としては、生物付着箇所など自然に生じる隙間よりも、ボルトのワッシャー下部など構造による隙間のほうが苛酷であることが多い。

キュプロニッケル（10～30%Ni－Cu合金）は、停滞海水中よりむしろ流速の早い海水中で良好な耐食性を示し、耐孔食性にも優れている。また、優れた耐生物付着性を有しているため、生物付着対策としても有効である。

モネルメタル（70%Ni－Cu合金）は、停滞海水中では孔食を発生するが、流速の速い海水中では耐孔食性に優れ、アメリカのNational Association of Corrosion Engineersの規格である「Corosion of steel, Fixed Associated with Petoroleum Production」（NACE, 1983）の飛沫部用の防食仕様に採用されている。

チタンは、孔食、隙間腐食、応力腐食割れを生じにくく、海洋環境における理想的な耐食金属であり海水冷却用の熱交換器などに用いられてきた。最近では、石油掘削用プラットホーム部材、マリンライザー、東京湾横断道路などに採用されている。

これら耐食性金属の施工法としては、母材にシート溶接する方法とクラッド法がある。シート溶接の板厚はモネル1～2mm、ステンレス2～4mm、チタン1～3mm程度である。クラッド法は、熱間圧延法や爆発圧着法等により鋼材に耐食性金属を接合させる方法であり、密着性に優れそのまま構造用材料として使用できる。ただし、クラッド鋼の溶接では母材側とクラッド側をわけて溶接する必要がある。この

ため、モネルとステンレス材料では厚さ２～４mmが採用され、チタンは耐食性の観点から見ると0.5mmで十分であるが、クラッド材料の厚みとしてはクラッド比の関係より通常１～３mmが採用される。

これら耐食性金属を被覆した鋼材では、シート溶接法、クラッド法ともに、鋼構造との接合部は、異種金属接触腐食を防止するため電気防食や塗覆装を併用する必要がある。

(4) 電気防食法

a）電気防食の方法

電気防食法は、海洋環境に建設される鋼構造部材の海中部および海底土中部の防食に極めて有効であり、信頼性の高い防食法である。電気防食法は塗覆装と併用されて用いる場合もある。

海中部に電気防食を適用した場合、鋼材の電位を防食電位より卑（防食電位より低い電位）に維持すれば防食率97～99％が得られることが確認されている。すなわち、無防食の場合の鋼材の腐食速度を0.1mm／年とすると、電気防食を適用した場合の腐食速度は0.003mm／年以下となり、実用上には腐食は無いものとして取り扱える。

海洋環境における鋼材の防食電位を表－４．４．５に示す。ただし、実海域では様々な環境変化があり、また不測の事態も発生するので、これらに対応できるよう防食電位より若干卑（低い）な電位（清浄海域で－800mV（SCE）程度）を管理電位として設定し、構造物の電位を管理・運用している場合が多い。

電気防食法には、流電陽極方式・外部電源方式・複合電気防食方式の３種類がある。流電陽極方式は、鋼材より卑な電位を有する金属（Zn、Al、Mgなど）を陽極とし、構造物（鋼材）を陰極として、両者を接続したときに生ずる電位差を利用して構造物に防食電流を供給する方式である。外部電源方式は、直流電源装置を用いて海中部に設置した陽極（電極）から陰極とした構造物に強制的に防食電流を供給する方式である。複合電気防食方式は、防食塗装あるいは防食被覆が施されている部分に電気防食法を併用する方式である。

鋼構造部材に適用する電気防食は、技術的な配慮がなされていれば防食方式が異なっても同等の防食効果が得られるが、現在では電源を要しないこと、メンテナンスが容易であること、施工が簡単なこと、経済性が優れていることなどから、特殊な場合を除きアルミニウム合金陽極を用いた流電陽極方式が主体となっている。流電陽極方式による電気防食の工事における主な作業は、アルミニウム合金陽極の取り付け

表－４．４．５　防食電位（mV(ＳＣＥ)）
（電気防食設計指針（案）・同解説（1983)による）

環　境	電気防食の種類	
	電気防食法	複合電気防食法（塗装併用）
一般海域	－７７０	－７７０
汚染海域	－９００	ただし下限を
高潮流海域	－７７０	－１０５０

工事である。アルミニウム合金陽極の取り付けは、陽極の芯金を所定の位置に水中または陸上溶接することによって行う。外洋に設置される構造物の場合には、波浪に十分耐え得るような取り付けが必要である。

b）防食電流密度

電気防食を行う上で重要な点は、設計時に海域の環境に見合った適切な防食電流密度を設定することである。代表的な環境における防食電流密度を表－4．4．6に示す。

防食電流密度は環境によって変化する。たとえば、内湾性の波浪条件や潮流の遅い海域では100mA／m^2の防食電流密度で十分であるが、外洋性の波浪条件や潮流の速い海域では酸素の拡散速度が大きいため、内湾性の海域に比較して大きな防食電流密度を必要とする。また、汚染海域では水温の高くなる夏期に大きな防食電流密度を必要とする。

一般には表－4．4．6に示す防食電流密度を採用すればよいが、その海域に最も適切な防食電流密度を決定するためには仮通電試験を行って決定する必要がある。

c）電位測定のための設備

構造物の電位測定は、電気防食装置が計画通り作動しているかどうかを知るための定期的な維持管理作業として行う必要がある。測定は基準電極を移動することによりどの位置でも計測できるが、一般に深度方向では、表層・中層・低層の各1点、水平方向では20～30mに1点程度測定する。このため大規模な構造物の場合には、あらかじめ測定位置を選定してその位置に基準電極を設置しておき、その位置における電位を容易に測定できるような維持管理設備を設けておくことが望ましい。

表－4．4．6　防食電流密度（電気防食設計指針（案）・同解説(1983)による）

（単位：mA/m^2）

環境			電気防食		複合電気防食
			初期防食電流密度	定常防食電流密度	定常防食電流密度
一般海域	内湾性	海水中	100	50	左の値にPを乗じた値
		土中	20	10	
	外洋性	海水中	100×F	50×F	
		土中	20×F	50×F	
特殊海域	汚染	海水中	100×K	50×K	
		ヘドロ	150	100	
		土中	20×K	10×K	
	高潮流	1m/S	160	80	
		2m/S	230	115	
		3m/S	270	135	

備考　Fは、海域の波浪、潮流の程度に応じて1．0～1．5までの範囲とする。
Kは、汚染の程度に応じて1．2～1．5までの範囲とする。
Pは、塗膜の劣化損傷によって生じる鋼の露出度で、塗装系により0．1～0．25までの範囲とする。

d）コンクリート補強鉄筋の電気防食

電気防食法は鋼構造物のほかにも、鉄筋コンクリート構造物の塩害による鉄筋の腐食に対して有効であることが認められている。

米国では、凍結防止剤による塩害を受けている道路橋に電気防食が実用されており、アメリカ連邦道路局（FHWA）では塩害の防止対策として積極的にその技術開発を進めている。日本国内においても、港湾施設桟橋や道路橋に試用されている。電気防食は、装置の耐久性、経済性など検討する課題も多いが、コンクリート中に塩分が含まれている状態でも防食が可能であることから塩害の防止対策として有効である。

(5) 腐食しろによる防食法

腐食しろによる防食方法は、短期的には他の防食法に比べて施工性や経済性ともに有利となることが多い。ただし、腐食しろによる防食では全面腐食（ゼネラルコロージョン）を前提としているが、海洋環境における鋼構造部材の腐食として問題になるのは、主として局部腐食（ローカルコロージョン）である。特に、複雑な形状を有する部材における突起部や接合部、また異種金属接触部分などで局部的な腐食減を生じる。また、耐用期間が20年以上に長い場合には、肉厚付与が極端に大きくなる。したがって、腐食代による方法は、部材の形状が平滑で耐用期間の短い場合や、腐食速度の推定が確実にできる場合に限り適用するものとする。

肉厚付与の設計に当っては、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（日本港湾協会，1989）などの基準を参考としながら、当該海域の腐食環境、対象部位の腐食速度、部材の耐用期間に基づいて、施工性と経済性が最適となるように設定する。また、定期的な維持管理により局部腐食状況と腐食速度の確認を行う必要がある。

4．4．3　コンクリート構造部材の防食法

コンクリート構造部材には、所定の耐用期間中に機能を損なうことのないように、構造部材の重要度、腐食環境に応じて、必要かつ最も有効な防食を施さなければならない。

〔解　説〕

(1) 防食の区分

コンクリート構造物における防食とは、所定の耐用期間中に補強用鋼材の腐食等によりその機能を損なわないように施す処置であり、環境条件、施工条件等を考慮して、有効かつ経済的に行わなければならない。また、防食法の検討に当っては、構造物の重要度、耐用期間、構造、腐食環境、検査や補修の難易、施工性とともに経済性を考慮しなければならない。

最近の海洋コンクリート構造物では、各種条件に基づいて防食段階を区分している。MMZ計画における構造物の場合には部材ごとに表－4．4．7のように防食段階を区分して適用するものとする。

(2) 防食法の分類

鉄筋コンクリート構造においては、アルカリ性でしかも遮断性能をもつコンクリートの中に鉄筋が埋め込

まれることにより防食効果を得ている。このため、耐久性のある構造部材を製作するためには、コンクリートの品質が良好であり、過大なひびわれ等の劣化要因を生じないような設計を行う必要がある。ところが、腐食環境の非常に厳しい部位や部材形状などの種々の要因により防食効果が満足できない部位がある場合、また部材の重要度等により耐久性と信頼性をより必要とする場合には、コンクリート自体の品質改善、部材の表面被覆、補強鋼材の防食等による対策が必要となる。

表－4．4．7　防食段階の区分
（海洋コンクリート構造物の防食指針（案）（日本コンクリート工学協会，1990）をもとに作成）

区分	防　食　条　件
A種	飛沫～干満部またはそれと同等な非常に厳しい環境条件下にあって、補修が困難な重要構造部材に対し、長期的な耐用年数を保証するための防食方法
B種	海上大気中またはそれと同等な厳しい環境条件下にあって、補修が困難な重要構造部材に対し、長期的な耐用年数を保証するための防食方法
C種	海中、海底土中またはそれと同等な環境条件下にあって、補修が困難な重要構造部材に対し、長期的な耐用年数を保証するための防食方法

本手引においては「海洋コンクリート構造物の防食指針（案）」（日本コンクリート工学協会，1990）において定義されたように、防食法を第1種防食法および第2種防法に分類して適用するものとする。第1種防食法とは、蜜実なコンクリートを得るために配合等の規定により品質を確保し、劣化起因の抑制としてかぶりやひびわれ幅の許容限度を規定した方法である。また、その他の手法により防錆効果や遮断効果を積極的に増強させる方法を第2種防法と呼ぶ。

(3)　防食設計

実際の防食設計に当っては、各構造部材を環境条件等により上記の防食段階の区分によりランク付けし、そのランクに応じて第1種防食法および第2種防法に分類された具体的な防食工法を適用するものとする。防食工は基本的に第1種防食法を適用することとするが、防食性をより増大させる場合や、第1種防食法で必要な防食効果を得ることができない場合には、第2種防食法を用いる。この場合、鉄筋コンクリート構造部材の耐久性は基本的にはコンクリートのアルカリ性と遮断効果によっていることに留意し、第1種防食法における要件を可能な限り満足させた上で適用するものとする。

(4)　第1種防食法

防食の区分および施工条件に応じ、防食に必要なかぶり、許容ひびわれ幅、コンクリートの品質（水セメント比、単位セメント量等）および構造物の形状で対処する防食法である。第1種防食法は、鉄筋コンクリート構造の本来的な機能を発揮させるものであり、海洋環境においては最低限検討されなければならない。

コンクリートの品質は、「コンクリート標準示方書」（土木学会，1986）、「塩化物総量規制基準」（建設省，1986）、「道路橋の塩害対策指針（案）・同解説」（日本道路協会，1984）などのコンクリート関係各基

準に基づき、適正なセメント、水、骨材、混和材料を用いて、有害な物質を含まない良好なものとしなければならない。現在のところ、第1種防食法の適用における許容値は「コンクリート標準示方書」および「海洋コンクリート構造物の防食指針（案）」（日本コンクリート工学協会，1990）を参考にすると、表－4．4．8に示すような参考値が与えられる。

表－4．4．8　第1種防食法による防食上の参考値

防食の区分	最小かぶり (mm)	最大ひび割幅（mm）		最大水セメント比 (%)	最小単位セメント量（kg/m³）	
		RC部材	PC部材		g_{max} 25mm	g_{max} 40mm
A　種	100	0.05	応力0*)	45	375	350
B　種	100	0.1	応力0*)	50	350	325
C　種	75	0.1	0.1	50	325	300

*）decompression状態、部材引張縁応力度が0の状態

なお、MMZ計画における海域制御構造物には、陸上ヤードで製作されるプレキャスト部材が多く使用されるので、施工品質は比較的良好と考えられる。しかし、品質の低下が予想される場合にはさらに厳しい許容値が必要となる。また、コンクリートの打ち継目や目地などの不連続面、吊り金具やスペーサーなどの付帯材料は、劣化開始の部位となり易いため、その品質および配置について配慮する必要がある。なお、凍結融解作用を受ける可能性がある場合には、空気量調整によりコンクリートの耐久性を確保するものとする。

(5)　第2種防食法

第2種防食法は、防食性を高めようとする場合、あるいは第1種防食法の要件を構造・材料あるいは環境条件などによって全て満足させることができない場合に用いられるものである。具体的には、コンクリート自体の品質改善、コンクリート表面塗装、防食型枠、耐食鉄筋、電気防食等を用いた防食法であり、腐食環境の厳しい部分、構造上重要な部位、施工性に問題のある部分、景観を重視する場合に、必要に応じて用いられる。第2種防食法におけるコンクリートの耐海水性向上対策の防食法の例を表－4.4.9に示す。

電気防食法は、鋼構造物ばかりでなく鉄筋コンクリート構造物の塩害による鉄筋の腐食に対して有効であり、港湾構造物や道路橋において試用されている。電流調整装置等の耐久性や経済性など検討を要する課題があるが、コンクリート中に塩分が含まれている状態でも防食が可能であることから、塩害の防止対策として有効であるとされている。

なお、必要な防食性能を十分に発揮させるためには、使用する材料の品質検査を行い、品質基準などに適合していることを確かめなければならない。

表－4．4．9　第2種防食法によるコンクリートの耐海水性向上対策の分類（参考）

1．コンクリートの品質を改善し密実性を高める事により海水の侵入を抑制する方法 （分類上の都合により第1種防食法によるものを一部含む）
①水セメントの比の小さいコンクリート コンクリートの水セメント比を小さくすることでコンクリートの気密性、水密性を向上させて、海水のコンクリート中への侵入を抑制 ・混和剤→ＡＥ剤、減水剤、高性能減水剤、ＡＥ高性能減水剤、流動化剤等
②　混合セメントを用いたコンクリート ポゾラン活性あるいは潜在水硬性を有するコンクリート混和材を用いて、コンクリートの組織を緻密化させて、海水のコンクリートへの侵入を抑制 ・混和材→高炉スラグ、フライアッシュ、シリカフューム等
③　低発熱型セメント 水和時の発熱をおさえてひびわれの発生を抑制
④　ポリマーセメントコンクリート ポリマー混和剤を混入し、コンクリートの気密性、水密性を向上させて、海水のコンクリートへ侵入を抑制
⑤　繊維補強コンクリート コンクリートに不連続な短い繊維を混入させて、コンクリートの引張強度を増し、ひびわれを抑制することにより、海水のコンクリートへの侵入を抑制 ・繊維→炭素繊維、鋼繊維、ビニロン等
2．コンクリートの表面を処理し、海水の侵入を阻止または抑制する方法
①　表面塗装 コンクリートの表面に防護膜を形成して海水の侵入を抑制 ・塗料→主に樹脂塗料
②　含浸塗装 コンクリート表面に含浸剤を浸透させてコンクリート内の空隙部を充填したり、撥水性を付与し、海水の侵入を抑制 ・含浸剤→シリコン系、アクリル系等
③　モルタル被覆 コンクリート表面に厚さ数cm以上のモルタルを被覆する方法 ・モルタル→ポリマーセメントモルタル、レジンモルタル等
④　永久型枠 遮蔽性に優れたパネルを構造物の永久型枠として用いる方法 ・型枠材料→ポリマー含浸コンクリート（ＰＩＣ）、ガラス繊維補強コンクリート（ＧＲＣ）等
3．海水がコンクリート中に浸透してきても、鉄筋が腐食しないように鋼材自信に防食性をもたせる方法
①　被覆防食：鋼材を錆びないように被覆する方法 a．特殊鋼（表層部の材質が異なる）→ステンレス、クラッド鋼 b．非金属被覆→有機物被覆：エポキシ鉄筋
②　電気防食 a．外部電源方式：被防食体を直流電源装置の一側に、電解質中（海水）に設置した耐久性電極を電源装置の＋側に接続して、防食電流を連続して流す方法 b．流電陽極方式：電解質中の被防食体に対して卑な電位を有する合金陽極を電気的に接続し、両者の電位差による電池作用を利用し連続的に防食電流を流す方法
③　耐塩性鉄筋：化学成分を調整することで耐食性能を備えた鉄筋 通常の異形棒鋼にＣｕ－Ｗあるいは Ｎｉを添加して錆抑制効果を持たせたもの→Ｃｕ－Ｗ系高純度鋼鉄筋、3.5％Ｎｉ系高純度鋼鉄筋等
④　プラスチック補強材 a．ＦＲＰロッド：カーボン繊維系、ガラス繊維系、ガラス繊維／カーボン繊維系 b．メッシュ状成形ＦＲＰ、立体成形ＦＲＰ
⑤　ＰＣ材料（定着具の耐食性にも配慮する必要あり） a．鋼製シース b．プラスチックシース ・ポリエチレン、ビニール、硬質ポリプロピレン等のシース ・シースとコンクリートの付着離れが問題 c．エポキシコーティッドＰＣストランド（エポキシ粉体塗装ＰＣ鋼材） ・ストランド、ゲビンデ棒鋼（異形ネジ鋼棒）に用いられている d．シースとＰＣストランド（グリース等充填アンボンド工方法） ・ＰＣ鋼より線にグリースおよび高密度ポリエチレンを連続的に被覆した鋼線

参 考 文 献

運輸省港湾局監修（1989）：港湾の施設の技術上の基準・同解説改定版，㈳日本港湾協会．

㈶沿岸開発技術センター（1986）：港湾鋼構造物防食マニュアル

㈶沿岸開発技術センター（1987）：港湾構造物の劣化防止・補修に関する技術調査報告書
—劣化防止・補修マニュアル—

片脇　清・佐々木厳・根本正幸(1991)：海洋構造物材料・維持管理技術に関するフィージビリティスタディ報告書，土木研究所資料，第2929号，192p.

建設省（1986）：塩化物総量規制基準（通達）．

建設省（1988）：コンクリートの耐久性向上技術の開発報告書—沿岸土木構造物の設計・施工指針（案）

建設省（1989）：アルカリ骨材反応抑制対策について（通達）．

建設省土木研究所（1982）：海洋構造物の保守管理技術に関する報告書、科学技術振興調整費「海洋構造物による海洋空間等の有効利用に関するフィージビリティスタディ」，136p.

建設省土木研究所・㈳鋼材倶楽部・㈳プレスト・コンクリート建設業協会・㈶土木研究センター（1988）：海洋構造物の耐久性向上技術に関する共同研究報告書

建設省土木研究所・鋼管杭協会（1990）：海洋鋼構造物の防食指針・同解説（案）(飛沫帯・干満帯編)，60p.

建設省土木研究所・㈶土木研究センター（1983）：電気防食設計指針（案）・同解説，土木研究所資料，第1986号，47p.

建設省土木研究所・㈶土木研究センター（1984）：電気防食の設計法に関する研究最終報告書，土木研究所資料，第2121号，118p.

鋼管杭協会：防食鋼管杭の開発とその海洋暴露記録（その10，その11）

関　博・大即信明（1988）：コンクリート構造物の耐久性設計の考え方—港湾・海洋構造物の場合，コンクリート工学，Vol. 26，No.11

㈳土木学会（1986）：コンクリート標準示方書

㈳日本鋼構造協会編（1988）：重防食塗装の実際，山海堂，354p.

㈳日本コンクリート工学協会（1990）：海洋コンクリート構造物の防食指針（案）—改訂版—，165p.

㈳日本道路協会（1984）：道路橋の塩害対策指針（案）・同解説，99p.

㈳日本道路協会（1990）：鋼道路橋塗装便覧，197p.

K. A. Chandler（1985）：Marine Offshore Corrosion

NACE（1983）：Control of Corrosion on Steel, Fixed Offshore Platforms Associated with Petroleum Production.

第5章　設計一般（共通事項）

5．1　設計の方針

(1)　一般

構造物の設計においては適切な構造解析法を用い、安全かつ経済的な設計を行わなければならない。

(2)　施工、維持管理を考慮した設計

構造物の設計に当っては、施工性、点検、補修等の維持管理の容易さを考慮する必要がある。

〔解　説〕

(1)　一般

海域制御構造物が設計荷重に対して安全であることを構造解析により確認しなければならない。この場合、構造解析を行う上での基本を以下に示す。

①構造解析は、弾性解析によって行うことを原則とする。

②弾性解析以外の解析方法を適用することが合理的と考えられる場合は、適切な方法により安全性を照査する。

③静的荷重および静的荷重に換算可能な動的荷重に対しては、静的解析によって構造物各部の応力・変形を算定する。

④振動の影響が顕著であると予想される構造物については、動的荷重に対する動的解析によって、応力・変形を算定する。

(2)　設計条件

設計に用いる荷重には終局限界状態、使用限界状態、疲労限界状態の各限界状態に対して設定される適切な荷重を用いる。また、設計に必要な自然条件（潮位、海底地形、土質等）は、本手引き（案）計画編「2．2　海域制御構造物の設計に必要とされる調査」を参照し設定する。

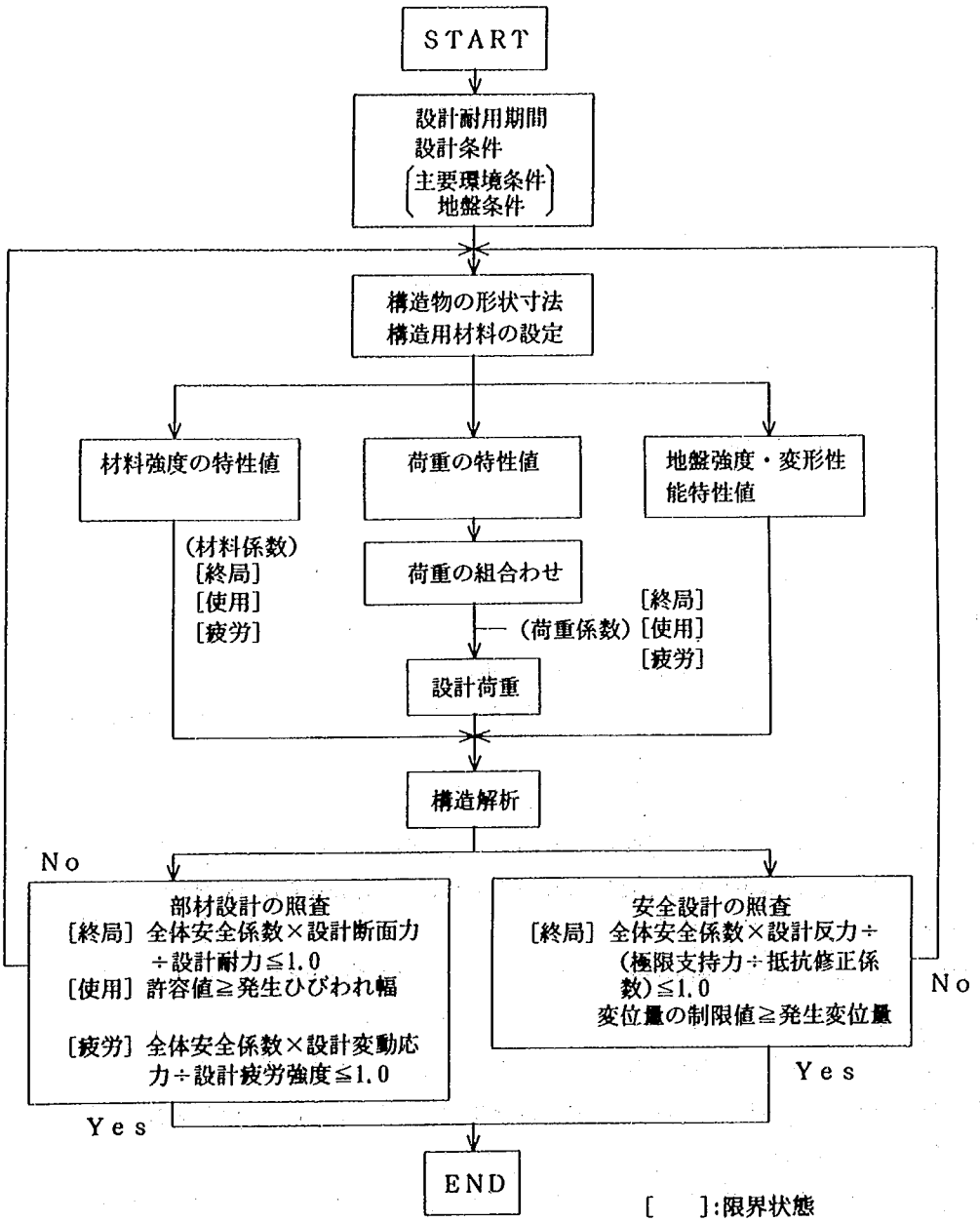
基本的な設計の手順を図－5．1．1に示す。

(3)　維持管理を考慮した設計

海域制御構造物は、環境の厳しい条件に設置されるため耐用期間において所要の機能を満たすためには、必要に応じて維持管理を行わなければならない。この場合、点検、補修あるいは交換等維持管理の容易さを考慮した形状や構造とすることが望ましい。

また、コンクリート部材においては、点検が困難または不可能な部位に鉄筋の腐食傾向、塩分の浸透あるいは歪み等を検地できるセンサーを設置しておくなどの配慮が必要である。鋼部材においては、新設時に代表的な箇所にモニタリング用電極を取り付けておけば、合理的な維持管理を行うことができる。

さらに、点検および維持管理のために、昇降用金具、手摺、足場架設用吊り金の他、腐食センサー、沈下量センサー等を設置しておくことが望ましい。なお、詳細に関して本手引き（案）維持管理編「第2章　維持管理の基本方針」および同「第8章　付帯設備」を参照されたい。



図－5. 5. 1 基本的な設計フロー

5．2　部材設計に関する一般事項

5．2．1　鋼部材

(1) 終局限界状態に対する設計

a）一般

鋼部材および鋼部材格点の設計では、本編「第3章　荷重および荷重の組合わせ」に示した荷重とその組合せにのもとで求められる設計断面力と設計耐力の比に全体安全係を乗じた値が1.0を下回るようにする。すなわち、

$$\gamma_0 \frac{S_d}{R_d} \leqq 1.0 \qquad (5.2.1)$$

γ_0：全体安全係数

S_d：設計断面力

R_d：設計耐力

に基づいて、照査を行う。

b）照査項目

鋼部材の設計では、部材に作用する軸力、曲げモーメント、せん断力、ねじりモーメント、あるいはこれらの組合わせに対して部材が安全であるように設計を行う。また、板厚の薄い部材を用いる場合には局部座屈に関する検討を行う。

(2) 使用限界状態に対する設計

a）部材は、波力により生じる過度の変形によってその機能が損なわれないように設計する。

b）構造物が入射波浪と共振して大きな変形を生じないように設計しなければならない。

(3) 疲労限界状態に対する設計

部材は波による繰返し荷重を受けるので、疲労破壊に関する照査を行う。

(4) 一般構造細目

a）鋼管の管径管厚比は、局部座屈が発生しないよう考慮して決定する。

b）杭の継手は、完成後に作用する荷重に対して安全であるとともに、施工時の打ち込みに対しても十分安全でなければならない。

〔解　説〕

(1) 終局限界状態

許容応力度設計法においては、許容応力度の割増係数は保証降伏点強度に対する安全率としての設定であり、この許容値は限界状態設計法においては、終局限界状態の荷重係数、材料係数に包含される。また、全体安全係数は、構造物の重要度を考慮して設定される値であり、通常では1.0とすることとした。

部材に作用する軸力、曲げモーメント、せん断力、ねじりモーメント、あるいはこれらの組合わせに対す

る照査式、耐力の値については「鋼構造物設計指針」（土木学会，1987）、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（日本港湾協会，1989）、「道路橋示方書」（日本道路協会，1990）などを参考に設定するとよい。

(2) 使用限界状態

変形によって構造物の機能性が損なわれる場合には、変形の照査が必要となる。MMZ計画では人が施設を直接利用することは通常考えないので、ここでは具体的な許容値は規定しない。また、消波機能の点からはよほど大きな異常変形をしない限り問題は生じない。ただし、構造物の固有周期と波浪の周期がほぼ一致する場合はする場合には、共振を生じて構造物が大きく変形することがある。このため可とう性の部材を持つ構造物を除いては、構造物の固有周期と入射波浪の周期の値が近くならないよう、構造物に適切な剛性を持たせる必要がある。

(3) 疲労限界状態

疲労設計法には種々の方法が提案されているが、照査方法としては「鋼構造物設計指針」（土木学会，1987）と同様にS－N曲線とマイナー則を用いて行うことを標準とする。S－N曲線を用いる疲労設計は一般に次の手順で行われる。

①設計期間中に生ずる応力変動幅とその頻度の計算

②適当なS－N曲線の選択

③マイナー則を用いた破壊の判定

マイナー則を用いた破壊の判定については、設計荷重とその頻度を用いて計算される蓄積疲労損傷率が限界状態の累積疲労損傷率を下回ることを確認する。すなわち、次式により判定を行う。

$$\eta_d=\sum_{i=1}^{s}\frac{n_i}{N_i}\leq\eta_r \qquad (5.2.2)$$

ここに、η_d：設計荷重とその頻度を用いて計算される累積疲労損傷率

S：応力ブロックの数

n_i：応力ブロックにおける応力頻度

N_i：応力ブロックiの応力変動幅$\Delta\delta_i$に対する疲労寿命（S－N曲線から求められる）

η_r：限界の累積疲労損傷率

である。この場合、海域制御構造物は補修が難しい点を考慮して、限界累積損傷率を設定する必要がある。

(4) 一般構造細目

降伏または塑性ヒンジの形成に先行して座屈が生じないようにするため、鋼管の管径管厚比が大きくなる場合には、局部座屈に関する検討を行う必要がある。

また、本体と同様に杭の継手も構造物の完成後の荷重による軸方向押込み力、軸方向引抜き力、軸方向直角力に対して安全であるように設計する。さらに、打ち込みによる施工時の荷重に対しても十分安全であるよう設計しなければならない。また、杭の継手位置は、継手箇所数、施工性、経済性などを総合的に検討して、一般に腐食の少ない箇所および曲げモーメントのなるべく少ない箇所とすることが望ましい。

5．2．2　鉄筋コンクリート部材

(1)　終局限界状態に対する設計

a）一般

鉄筋コンクリート部材の設計では、本編「第3章　荷重および荷重の組合わせ」に示した荷重とその組合わせのもとで求められる設計断面力と設計耐力の比に安全係数を乗じた値が1.0を下回るようにする。すなわち、

$$\gamma_0 \frac{S_d}{R_d} \leqq 1.0 \qquad (5.2.3)$$

γ_0：全体安全係数

S_d：設計断面力

R_d：設計耐力

に基づいて照査を行う。

b）照査項目

鉄筋コンクリート部材の設計では、部材に作用する軸力、曲げモーメント、せん断力、ねじりモーメントあるいはこれらの組合わせに対して部材が安全であるように設計を行う。

また、面部材を用いる場合には押抜きせん断耐力に対する検討を行う。

(2)　使用限界状態に対する設計

鋼部材に準ずる。また、ひびわれの発生による機能性、耐久性の低下も考慮する。

(3)　疲労限界状態に対する設計

鋼部材に準ずる。

(4)　一般構造細目

a）コンクリートの乾燥収縮や温度差等によりひびわれが生ずる可能性がある。ひびわれの大きさを有害でない程度に抑えるためには、一定値以上の鉄筋を配置しなければならない。

b）かぶりは、コンクリートの品質、腐食環境、構造物の重要度、施工誤差等を考慮して定めなければならない。

〔解　説〕

(1)　終局限界状態

a）一般

許容力度設計法においては、許容応力度の割増係数は部材の破壊強度に対する安全率として設定される。この許容値は、限界状態設計法においては、終局限界状態の荷重係数、材料係数に包含される。また、全体安全係数は、構造物の重要度を考慮して設定される値であり、通常では1.0とする。

b）照査項目および設計耐力

部材に作用する軸力、曲げモーメント、せん断力、ねじりモーメントあるいはこれらの組合わせに関する照査式、耐力の値については、「コンクリート標準示方書　設計編」(土木学会，1986）などを参考に設定するとよい。また、設計耐力R_dおよび設計断面力S_dの設定に際し、「コンクリート標準示方書　設計編」（土木学会，1986）を参考にする場合には、安全係数は表－5．2．1に示す方法を基本として設定する。

コンクリート標準示方書における係数		取扱い方針
材料係数	γ_m	表－2.4.1に示した値とする。
部材係数	γ_b	耐力評価式に含めることとし、全体安全係数には含めない 例）$V_{cd}=f_{vcd}\cdot b_w\cdot d/1.3$ [コンクリート標準示方書 式(6.3.3)]
構造解析係数	γ_a	1.0を標準とする。
荷重係数	γ_f	3.2　荷重の組み合わせによる荷重係数とする。
構造物係数	γ_i	表－2.4.1に示した値γ_oとする。

(2) 使用限界状態

a）ひびわれ

コンクリート構造物に発生するひびわれは、鋼材の腐食による耐久性の低下、過大な変形による機能の低下、あるいは美観の悪化等の原因となる。したがって、コンクリートに発生するひびわれが構造物の機能性、耐久性等の使用目的を損なわないように適切な方法により検討しなければならない。

ひびわれに関する照査は、「コンクリート標準示方書　設計編」（土木学会，1986）などを参考に、適切な方法で行う。この場合、使用限界状態照査の荷重の組合わせについて、コンクリート表面のひび割れ幅Wが許容ひびわれ幅W_a以下であることを確かめる。すなわち、

$W_a \geqq W$

なお、許容ひび割れ幅W_aについては、「コンクリート標準示方書　設計編」（土木学会，1986）に、以下のように定められているので、これに従うとよい。

○干満帯、飛沫帯および激しい潮風を受ける場合（特に厳しい腐食性環境）

$W_a=0.0035\ell_c$（ℓ_c：かぶり）

○海水中や特に厳しくない海洋環境にある場合（腐食性環境）

$W_a=0.004\ell_c$（ℓ_c：かぶり）

b）変形

鋼部材に準ずる。

(3) 疲労限界状態

部材は、波による繰り返し荷重を受けるので、疲労破壊に関する照査を行わなければならない。照査は次式により行うことを基本とする。

$$\gamma_0 \frac{\sigma_{rd}}{f_{rd}} \leqq 1.0 \quad \text{または} \quad \gamma_0 \frac{S_{rd}}{R_{rd}} \leqq 1.0 \qquad (5.2.4)$$

ここに、

γ_0：全体安全係数

f_{rd}：設計疲労強度

R_{rd}：設計疲労耐力

δ_{rd}：設計変動応力

S_{rd}：設計変動断面力

である。ここで、全体安全係数 γ_0 は、1.0を基準とする。また、設計疲労強度 f_{rd} または設計疲労耐力 R_{rd} は、「コンクリート標準示方書　設計編」（土木学会，1986）などを参考にして設定するとよい。

(4) 一般構造細目

a）最小鉄筋量

コンクリートの乾燥収縮や温度差等によりひびわれが生ずる可能性がある。ひびわれの大きさを有害でない程度に押えるためには、以下の部材について一定値以上の鉄筋を配置しなければならない。

①軸方向力の影響が支配的な鉄筋コンクリート部材には、計算上必要なコンクリート断面積の0.8％以上の軸方向鉄筋を配置しなければならない。

②曲げモーメントの影響が支配的な棒部材の引張鉄筋比は、0.2％以上を原則とする。

③せん断鉄筋が不要とされる場合でも、棒部材には0.15％以上のスターラップを全長にわたって配置する。

b）かぶり

本編「4.4.4コンクリート部材の防食法」による。

5.2.3　プレストレストコンクリート部材

プレストレストコンクリート部材の設計は、使用、疲労の各限界状態とも鉄筋コンクリート部材に準じて行うこととする。なお、使用限界状態の照査においては、特にＰＣ鋼材の腐食に配慮をした設計としなければならない。

〔解　説〕

(1) コンクリートの材料係数

プレストレストコンクリート部材の設計は、鉄筋コンクリート部材に準じて行う。この場合、使用限界状態で引張応力度の照査を行う際に用いる材料係数はコンクリート部材設計時と異なり $\gamma_c = 1.3$ とすることを基本とする。

(2) 照査方法

海域制御構造物は海中に設置されるため、ＰＣ鋼材の腐食には特に配慮を必要とする。このため、使用限界状態の照査においては、構造物の重要度、環境条件、機能性および経済性を考慮し、以下に示す限界状態

のいずれかを選定する必要がある。

①曲げモーメントおよび軸方向力によるコンクリートの応力度が引張応力等にならない限界状態

②曲げモーメント軸方向力によるコンクリートの応力等がコンクリートの設計引張強度を越えない限界状態。

③ひびわれ幅を許容するもの、特に環境の厳しい設置条件を考慮した許容ひびわれ幅を越えない限界状態

5．2．4　鉄骨鉄筋コンクリート部材

鉄骨鉄筋コンクリート部材の設計は、終局、使用、疲労の各限界状態とも鉄筋コンクリート部材に準じて行うこととする。

〔解　説〕

鉄骨鉄筋コンクリートは、鉄筋とともに鉄骨をコンクリート中に配して断面力に対する抵抗機構を形成する構造形式である。したがって、鉄筋コンクリート部材および鉄骨部材のそれぞれの耐力等を累加する設計とし、終局、使用、疲労の限界状態について安全性を照査する。

なお、鉄筋コンクリート部材の使用限界状態の照査では、ひびわれ幅による照査を行うこととしているが、鉄骨鉄筋コンクリート部材では鋼材の引張応力度に関する照査を行えばよい。ただし、海域制御構造物は海域に設置されるため、ひび割れが構造物の耐久性に特に有害な影響を与えることとなるので、鋼材の引張応力度の上限値を低減して、ひびわれ幅をできるだけ小さく保つことやかぶりを厚くすることが必要とされる。

5．3　基礎の安定計算に関する一般事項

5．3．1　基礎の安定計算に関する基本方針

(1)　基礎の安定計算の対象とする限界状態は、終局限界状態、使用限界状態とする。

(2)　基礎の安定に関する照査は、抵抗力については式（5．3．1）により、変位量については式（5．3．2）により行うものとする。

$$\gamma_0 \frac{S_d}{R_d} \leqq 1.0 \qquad (5.3.1)$$

$$U_d \leqq U_a \qquad (5.3.2)$$

ここに、

γ_0：全体安全係数

S_d：設計反力

R_d：設計抵抗力

U_d：設計変位量もしくは圧密沈下量

U_a：変位量の制限値

である。

〔解　説〕

(1)　一般

基礎の安定照査における終局限界状態の照査は、設計荷重によって基礎および地盤が破壊もしくは大変形しないことを検証するために行うものである。また、使用限界状態の照査は常にあるいはしばしば作用する荷重によって生じる構造物の変位量を対象として、変位量が構造物の使用性に影響を及ぼさないよう照査を行うものである。

海域制御構造物の疲労限界状態には、波浪等の繰返し荷重による間隙水圧の上昇に起因する地盤強度の低下を考慮した照査が必要と考えられる。このように繰返し荷重による地盤強度の低下は、終局限界状態の照査における地盤定数にも考慮する必要がある。したがって、終局限界状態の照査に繰返し荷重作用を考慮した地盤定数を用いることとし、これにより疲労限界状態は終局限界状態に含まれるものとした。

(2)　照査項目

基礎は構造物に作用する荷重を確実に地盤に伝達するものであり、力学的に安定しているとともに、有害な変位を生じてはならない。荷重に対する基礎の抵抗機構は、基礎の構造特性と地盤の相互作用により異なるため、安定計算においては抵抗機構を十分考慮した計算モデルおよび照査項目を設定する必要がある。

表－5．3．1に有脚式構造物と重力式構造物を対象とした照査項目を示す。ここで、有脚式構造物の終局限界状態における水平変位量照査とは、設計地盤面における杭の水平変位量をさす。

表－5．3．1　安定照査項目

照査項目		限界状態	
		終局限界状態	使用限界状態
有脚式構造物	鉛直支持力	○	－
	水平変位量	○	(○)
重力式構造物	鉛直支持力	○	－
	底面せん断抵抗力	○	－
	水平支持力	〔○〕	－
	変位量	－	(○)

注)〔　〕は基礎の根入れ部で荷重を分担する場合である。
(　)は必要に応じて照査する。

なお、構造物の形式ごとの構造特性により使用に影響を与える変位量が異なるので、使用限界状態においては必要に応じて変位量の制限値を定めて照査するものとする。

5．3．2　設計上の地盤面

設計上の地盤面は、次の事項を考慮して定めなければならない。

(1) 洗掘、漂砂等による地盤面の変化

(2) 施工による地盤面の乱れ

(3) 地震、波浪などの繰返し荷重による地盤強度の変化

〔解　説〕

設計上の地盤面を定めるには長期にわたり安定した海底面として存在し、支持力が期待できるか否かの判断が必要となる。その場合に考慮しなければならない事項を以下に示す。

①構造物周辺の地盤は波浪や潮流等により洗掘され、地盤面が低下することがある。したがって、その影響を考慮し、少なくとも将来の地盤面の低下を見込んだ位置を設計上の地盤面としなければならない。

②施工により地盤が乱され地盤強度が回復しない場合には、設計上の地盤面はこの土層以下としなければならない。

③海底地盤は常時海水で飽和され、また波浪による繰り返し荷重が作用するため、基礎の安定にとっては陸上より不利な状態にある。たとえば、緩い砂質土に対しては液状化の可能性、またごく軟弱な粘性土に対しては練り乱されることにより、せん断強度が低下する危険性がある。ごく軟弱な粘性土層やシルト質土層あるいは液状化すると判定された緩い砂質土層は、設計上その強度を期待することが難しいため、土質定数を低減させるか、または設計上の地盤面をこれらの土層以下としなければならない。

5．3．3　設計のための地盤定数

(1) 基礎の設計に用いる地盤の諸定数は、地盤調査および土質試験の結果を総合的に判断して決めなければならない。

(2) 地盤定数の特性値は、地盤調査および土質試験の結果より判断し、その地盤を代表する平均的な物性値とする。

〔解　説〕

(1) 一般

基礎の設計に用いる主な地盤定数は、次のように分類できる。

①土の物理的性質：粒度、間隙比、単位重量、コンシステンシー、相対密度

②土の力学的性質：粘着力、せん断抵抗角、変形係数、圧縮指数、圧密係数、圧密降伏応力

これらの諸定数には、単位体積重量や圧縮指数のように直接設計計算に用いられるものもあれば、変形係数のように地盤反力係数に一度変換されて間接的に用いられるものもある。これらの地盤の諸定数は、一般に地盤調査および土質試験から求められる。

標準貫入試験から得られるN値は、試験法が比較的簡便なことから広く行われている。このため上記諸定数や設計に用いる支持力などの数値との関連も、このN値と関係づけられることが多く、N値を知るこ

とにより必要な諸定数が推定される。しかし、N値そのものの精度からして必ずしも標準貫入試験がすべてを代表する試験法にはなり得ず、各種の試験を併用して総合的な判断より地盤定数を把握するのが望ましい。

(2) 地盤定数の特性値

地盤調査や土質試験で得られる地盤定数の特性値は、原則としてその地盤や地層を代表する平均値を採用してよい。ただし、土質試験により地盤定数を求める場合には、非排水の条件のもとで平均的な物性値を用いるものとする。また、N値から地盤定数の特性値を求める際には、波浪や地盤などの繰返し荷重による影響を十分考慮して定めるものとする。

5.3.4 設計抵抗力

5.3.4.1 一般

設計抵抗力は、適切な地盤調査および土質試験を行ったうえで、支持力推定式により得られた極限抵抗力、あるいは直接載荷試験を行って求められた極限抵抗力を抵抗修正係数で除して求めることとする。

〔解 説〕

設計抵抗力は次式のように、極限抵抗力を抵抗修正係数で除して求めるものとする。

設計抵抗力＝極限抵抗力／抵抗修正係数

極限抵抗力を推定する方法には、地盤調査および土質試験を行ったうえで支持力推定式により間接的に推定する方法と、現地において載荷試験を行って直接的に推定する方法とがある。抵抗修正係数はこれらの推定方法のもつ推定精度も考慮して定められるものである。

ここでいう極限抵抗力とは、有脚式構造物等の剛性の比較的低い基礎に関しては、杭の軸方向極限押込み支持力および軸方向極限引抜き力（本編「5.3.4.2～5.3.4.3」参照）のことであり、重力式、鋼板セル式構造物等の剛性の比較的高い基礎に関しては、基礎底面地盤の極限鉛直支持力、基礎底面における極限せん断抵抗力、基礎前面地盤の極限水平支持力度（本編「5.3.4.4～5.3.4.6」参照）を総称したものである。

5.3.4.2 杭の軸方向極限押込み支持力

杭の軸方向極限押込み支持力は、適切な地盤調査を行ったうえで支持力推定式により算定するか、あるいは直接鉛直載荷試験を行って求めるものとする。

〔解 説〕

杭の軸方向極限押込み支持力を計算によって推定する場合には、適切な地盤調査結果に基づき、次に示す方法を用いてよい。このとき、類似の地盤での載荷試験記録などを参考にして計算結果を検討し、支持力を推定することが望ましい。

$$R_u = q_d A + U \sum_i l_i f_i \qquad (5.3.3)$$

ここに、

R_u：地盤から決まる杭の極限押込み支持力（tf）

A　：杭先端面積（m^2）

q_d：杭先端で支持する単位面積当たりの極限支持力度（tf/m^2）

U　：杭の周長（m）

l_i：周面摩擦力を考慮する i 層の層厚（m）

f_i：周面摩擦力を考慮する i 層の最大周面摩擦力度（tf/m^2）

である。なお、q_d、f_iおよび杭の有効重量の取扱い方法は、杭の種類や施工法に応じて、「道路橋示方書・同解説　Ⅳ下部構造編」（日本道路協会，1990）に準じるものとする。なお、「道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編」（日本道路協会，1990）の諸数値の根拠としている杭には大口径杭は含まれていないため、支持力推定式の適用は杭径1200mm以下の杭を対象とする。

5．3．4．3　杭の軸方向極限引抜き力

杭の軸方向極限引抜き力は、地盤調査に基づいて推定した各層の最大周面摩擦力の和として計算するか、あるいは引抜き試験を行って求めるものとする。

〔解　説〕

地盤から決まる杭の極限引抜き力の算定は、杭の極限押込み支持力算定式（5．3．3）の第2項の最大周面摩擦力に準じた取扱いができる。ただし、杭の有効重量が無視できない場合には、杭の軸方向極限引抜き力として、地盤から決まる極限引抜き力と杭の有効重量の和として計算してよい。

5．3．4．4　基礎底面地盤の極限鉛直支持力

基礎底面地盤の極限鉛直支持力は、荷重の偏心傾斜を考慮し、式（5．3．4）により求めるものとする。

$$Q_u = A' \{\alpha c N_c + q N_q + 1/2 \gamma_1 \beta B' N_\gamma\} \qquad (5.3.4)$$

ここに、

Q_u　：偏心傾斜を考慮した地盤の極限鉛直支持力（tf）

A'　：有効載荷面積（m^2）

c　：地盤の粘着力（tf/m^2）

q　：上載荷重（tf/m^2），$q = \gamma_2 D_f$

γ_1，γ_2：支持地盤および根入れ地盤の土の単位重量（tf/m^3）

ただし、水中単位重量を用いる。

D_f　：基礎の有効根入れ深さ（m）

B'　：偏心を考慮した基礎の有効載荷幅（m），$B' = B - 2e$

B　：基礎幅（m）

e　：荷重の偏心量（m）

α，β　　：基礎の形状係数
N_c，N_q，N_γ：荷重の傾斜を考慮した支持力係数
である。

〔解　説〕

基礎底面地盤の極限鉛直支持力は、構造物の基礎底面の寸法のほか荷重の偏心と傾斜によって決まる値である。偏心と傾斜を考慮しないと、地盤の極限鉛直支持力を過大に評価してしまうことになる。したがって、本編では偏心傾斜荷重に対しての支持力計算を行うことを原則とした。

地盤の極限鉛直支持力は、地盤固有のばらつきはもとより、最近の研究によれば地盤のせん断強度の異方性やひずみ依存性および拘束圧依存性により大きく変化することが分ってきている。このため、極限鉛直支持力の算定に当ってはその点を考慮し、地盤定数の決定に十分な検討を必要とする。

なお、形状係数（α，β）、支持力係数（N_c，N_q，N_γ）および有効載荷面積については「道路橋示方書・同解説　Ⅳ下部構造編」（日本道路協会，1990）に準ずるものとする。

5．3．4．5　基礎底面における極限せん断抵抗力

基礎底面における極限せん断抵抗力は、地盤調査、土質試験の結果を十分に検討して、式（5．3．5）により求めるものとする。

$$H_u = c_B A' = V_B \tan\phi_B \qquad (5.3.5)$$

ここに、
H_u：基礎底面と地盤との間に働く極限せん断抵抗力（tf）
c_B：基礎底面と地盤との間の付着力（tf／m²）
A'：有効載荷面積（m²）
V_B：基礎底面に作用する鉛直荷重（tf）
　　ただし、浮力、揚圧力を差し引いた値とする
ϕ_B：基礎底面と地盤との間の摩擦角（度）
である。

〔解　説〕

極限せん断抵抗力は、基礎底面と地盤との間の付着力および摩擦角に支配されるため、これらの値は地盤条件などを十分に調査して決めることが望ましい。一般には基礎底面と地盤との間の付着力および摩擦角(摩擦係数）として表－5．3．2に示す値を採用してよい。

表－5．3．2　摩擦力と付着力

条　　件	摩擦角 ϕ_B（摩擦係数 $\tan\phi$）	付着力 c_B
土とコンクリート	$\phi_B = \frac{2}{3}\phi$	$c_B = 0$
土とコンクリートの間に栗石を敷く場合	$\tan\phi_B = 0.6$ と $\phi_B = \phi$ の小さい方	$c_B = 0$
岩とコンクリート	$\tan\phi_B = 0.6$	$c_B = 0$

ϕ：支持地盤のせん断抵抗角（度）

5．3．4．6　基礎前面地盤の極限水平支持力度

基礎前面で荷重を分担させる場合の極限水平支持力度は、地盤の受働土圧強度とする。

〔解　説〕

ここで規定した極限水平支持力度は、剛性の比較的高い基礎（重力式および鋼板セル式の基礎）の前面に適用するものである。ここで必要とされる受働土圧強度は、土質試験の結果に基づき定めた地盤定数を用いて、式（5．3．6）～式（5．3．7）により算出するものとする。

$$K_P = \frac{\cos^2\phi}{\cos\delta\left(1-\sqrt{\frac{\sin(\phi-\delta)\sin(\phi+\alpha)}{\cos\delta\cos\alpha}}\right)^2} \qquad (5.3.6)$$

$$K_{EP} = \frac{\cos^2\phi}{\cos\delta_E\left(1-\sqrt{\frac{\sin(\phi-\delta_E)\sin(\phi+\alpha)}{\cos\delta_E\cos\alpha}}\right)^2} \qquad (5.3.7)$$

ここに、

K_P　：地震時以外の受働土圧係数

K_{EP}：地震時の受働土圧係数

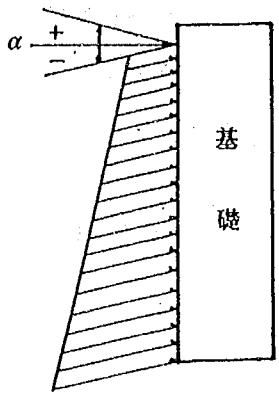
ϕ　：土のせん断抵抗角（度）

δ　：地震時以外の基礎前面と土の摩擦角（度）（$\delta = -\phi/3$）

δ_E：地震時の基礎前面と土の摩擦角（度）（$\delta_E = -\phi/6$）

α　：設計地盤面と水平面のなす角度（度）

であり、これらのうちαの符号は図－5．3．1に示すように決められる。



図－5．3．1　αの符号のとり方

5．3．5　設計反力および設計変位量

設計反力および設計変位量は、基礎の構造特性を考慮した適切な安定計算モデルにより求めるものとする。

〔解　説〕

荷重に対する基礎の抵抗機構は、基礎形式、基礎の施工法、基礎の深さそして基礎と地盤の相対剛性により異なる。したがって、基礎の設計反力および設計変位量を算出する際には、基礎構造物の支持特性や構造特性を十分考慮した安定計算モデル（基礎および地盤のモデル化）を用いる必要がある。

第6章　各型式の構造設計

6．1　有脚式構造物

6．1．1　設計の基本方針

(1) 一般

本項では、海底面上の消波構造体を杭基礎により支持する有脚式の構造型式を対象とする。なお、本項で示す部材設計に関する項目については、以下に示す4種類の構造物が対象となる。

・連結ブロック式構造物

・H型スリット板ジャケット式構造物

・スリットケーソン式構造物（有脚式）

・斜板ジャケット式構造物

有脚式構造物の基本的な設計手順を図－6.1.1.1に示す。

(2) 設計荷重

本編「3.1 荷重」に基づき算出する。

(3) 材料の設計強度

a）コンクリート

コンクリートの圧縮、引張り、曲げおよび支圧に対する設計強度は「コンクリート標準示方書設計編」（土木学会，1986)にしたがうものとする。また、設計疲労強度は「コンクリート標準示方書設計編」（土木学会，1986）に従い次式より求める。

$$f_{rd}=k_1\cdot f_d\left(1-\frac{\sigma_p}{f_d}\right)\left(1-\frac{\log N_{eq}}{K}\right) \qquad (6.1.1.1)$$

ただし、$N_{eq}\leqq 2\times10^6$とする。ここに、

f_{rd}：コンクリートの設計疲労強度

k_1：圧縮および曲げ圧縮のとき　$k_1=0.85$

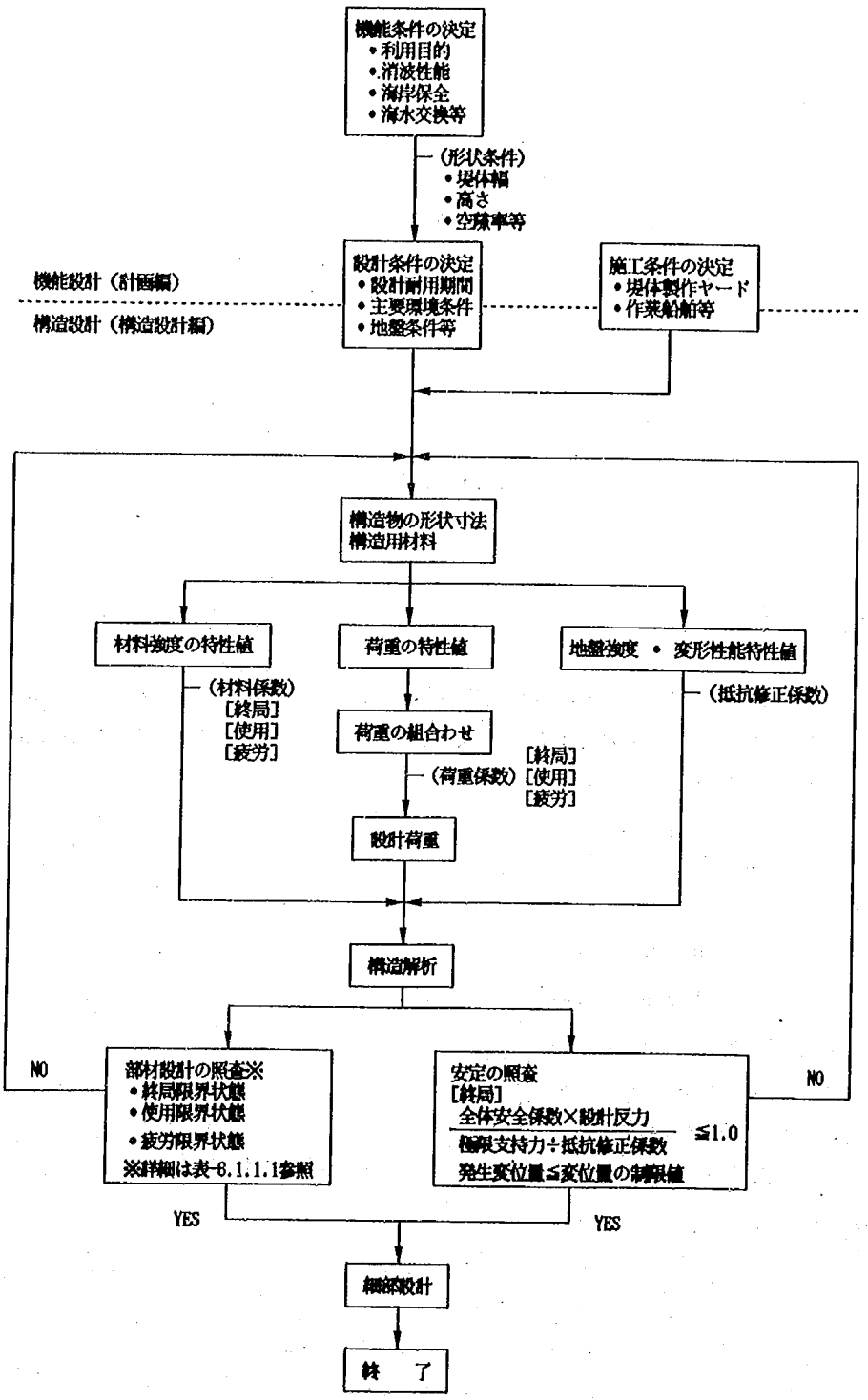
f_d：コンクリート設計強度

σ_p：固定荷重によるコンクリートの応力度

N_{eq}：等価繰返し回数

K　：水で飽和されている場合には　K＝10，その他一般的な場合には　K＝17

である。



図－6．1．1．1　有脚式構造物の設計手順

表－6．1．1．1　部材設計の照査内容

	終局限界状態	使用限界状態	疲労限界状態
鋼部材	全体安全係数×$\frac{\text{設計断面力}}{\text{設計耐力}}$ ≦ 1.0	過大な変形を生じないことの確認	限界の累積疲労損傷率 ≧累積疲労損傷率
コンクリート部材	全体安全係数×$\frac{\text{設計断面力}}{\text{設計耐力}}$ ≦ 1.0	・許容ひび割れ幅 ≧発生ひび割れ幅 ・過大な変形を生じないことの確認	全体安全係数 ×$\frac{\text{設計変動応力}}{\text{設計疲労強度}}$ ≦1.0
鉄筋鉄筋コンクリート部材	全体安全係数×$\frac{\text{設計断面力}}{\text{設計耐力}}$ ≦ 1.0	・鋼材の引張応力度の上限値≦鋼材の設計引張応力度 ・設計付着強度×20% ≧付着応力度 ・過大な変形を生じないことの確認	全体安全係数 ×$\frac{\text{設計変動応力}}{\text{設計疲労強度}}$ ≦1.0

b）鋼材

鋼材の圧縮、引張りおよびせん断に対する設計強度は、それぞれの強度の特性値を鋼材の材料係数γ_sで除したものとする。γ_sは本編「2.3 安全係数」に、強度の特性値は「道路橋示方書・同解説　I共通編」（日本道路協会，1990）に準じて定める。

異形鉄筋の設計疲労強度は「コンクリート標準示方書　設計編」（土木学会，1986）に従い次式より求める。

$$f_{srd}=1900\cdot\frac{10^{\alpha}}{N_{eq}{}^{k}}\left(1-\frac{\sigma_{sp}}{f_{ud}}\right)/\gamma_s \qquad (6.1.1.2)$$

ただし，$N_{eq}\leqq 2\times10^{6}$

f_{srd}：鉄筋の設計疲労強度

f_{ud}：鉄筋の設計引張強度

σ_{sp}：固定荷重による鉄筋の応力度

N_{eq}：等価繰返し回数

γ_s：材料係数

α，k：実験等で定まる係数

ここに、d_s：鉄筋直径（mm）k_0は一般に　$k_0=1.0$である。

またαとkは疲労寿命が2×10^{6}回以下の場合は、次式の値としてよい。

$$\alpha=k_0\,(0.82-0.003d_s),\quad k=0.12$$

ガス圧接部の設計疲強度は、一般に母材の場合の70%とする。また、溶接により組立を行う鉄筋および折曲鉄筋の設計疲労強度は、母材の50%とする。プレストレッシング中およびプレストレッシング直後のPC鋼材の引張応力度は、「コンクリート標準示方書　設計編」（土木学会，1986）に従い、それぞれ0.8 f_{puk}か0.9 f_{pyk}および0.7 f_{puk}か0.85 f_{pyk}以下の値に抑える。ここに、f_{puk}はPC鋼材の引張強度の特性値、f_{pyk}はPC鋼材の降伏強度の特性値である。

(4) 構造解析および部材の設計

a）構造解析

①モデル化と解析方法

ア）終局限界状態

構造解析は、原則として上部構造物、杭および地盤を一体としてモデル化した平面骨組弾性解析により行う。また、モデル化する際の杭先端の支持条件は、支持地盤への根入れや深さや剛結度に応じて、自由、ヒンジ、固定の中から選択するものとする。

イ）使用限界状態

終局限界状態に準ずる。

ウ）疲労限界状態

使用限界状態に準ずる。

②水平方向地盤反力係数

ア）終局限界状態

水平方向地盤反力係数は、次式により算出するものとする。

$$k_{HI}=k_H\cdot\left(\frac{y_h}{y_0}\right)^{-1/2} \qquad (6.1.1.3)$$

ここに、

k_{HI}：ひずみ依存性を考慮した水平方向地盤反力係数

k_H：水平方向地盤反力係数（「道路橋示方書・同解説　Ⅳ下部構造編」（日本道路協会，1990）より算出する。）

y_h：設計地盤面での杭の水平変位量

y_0：杭径の１％

である。

このとき、地震時に地盤が液状化する可能性がある場合や、ごく軟弱な粘性土層やシルト質土層がある場合には、「道路橋示方書・同解説　Ⅴ耐震設計編」（日本道路協会，1990）に従い、水平方向地盤反力係数を低減させる。また、暴風波浪時に繰返し地盤に伝わるせん断応力により地盤強度が低下する可能性がある場合には、その影響を考慮して土質定数を定める。

イ）使用限界状態

水平方向地盤反力係数は、「道路橋示方書・同解説　Ⅳ下部構造編」（日本道路協会，1990）により算出する。ただし、暴風波浪時に繰返し地盤に伝わるせん断応力により地盤強度が低下する可能性がある場合には、その影響を考慮して土質定数を定めることとする。

ウ）疲労限界状態

使用限界状態に準ずる。

③鉛直方向地盤反力係数

ア）終局限界状態

「道路橋示方書・同解説　Ⅳ下部構造編」（日本道路協会，1990）に示されるK$_v$相当のバネ値が設計地盤において得られるように構造モデルを設定する。例えば、構造解析において杭先端から設計地盤面までの杭要素の断面積を式（6．1．1．5）のように仮定する等の対処方法が考えられる。

$$K_v = a\frac{A_p E}{l} \qquad (6．1．1．4)$$

$$A' = \frac{K_v l}{E} \qquad (6．1．1．5)$$

ここに、

K$_v$：杭頭における杭の軸方向バネ定数（道路橋示方書・同解説　Ⅳ下部構造」(日本道路協会，1990）参照）

A'：構造解析に使用する杭の仮想断面積

A$_p$：杭の純断面積

a　：「道路橋示方書・同解説　Ⅳ下部構造編　」（日本道路協会，1990）の式（解9．6．2）より求まる係数

E　：杭体のヤング係数

l　：杭先端から設計地盤面までの杭長

である。

イ）使用限界状態

終局限界状態に準ずる。

ウ）疲労限界状態

終局限界状態に準ずる。

b）部材の設計

①鋼部材

ア）ジャケット部材および杭

軸方向力と曲げモーメントを同時に受ける鋼管部材として、各限界状態の照査を行う。

i）終局限界状態

「鋼構造物設計指針」（土木学会，1987）に基づき照査を行う。なお、設計耐力の算出に当っては、同指針に従い、材料係数γ_m=1.15とするとともに、破壊モード係数を1.0または0.9とする。

ii）使用限界状態

使用限界状態に関しては、変形によって構造物の機能性、使用性が損なわれる場合にのみ、変形の照査を行う。

iii）疲労限界状態

鋼構造物部材の疲労限界状態の照査に関しては、接合部に局所的な応力集中が生じやすいため、一般に接合に限定した照査が行われている。本編ではこれを踏まえて、接合部を対象に照査を行うものとする。

照査方法は、「鋼構造物設計指針」（土木学会，1987）に基づきS－N曲線とマイナー則を用いて行うことを標準とする。この場合、限界の累積疲労損傷率η_rは、計算の精度や構造物の重要性などを考慮して定めるが、API（アメリカ石油協会）の基準を参考に0.5を標準とする。

イ）ジャケット格点部

ジャケット部材の格点部の継手方法は、ガセット継手と分岐継手が考えられるが、分岐継手によることを原則とする。分岐継手の補強方法としては以下の方法が考えられる。

・板厚の増強

・ガセットプレートの取付け

・リングフレームの取付け

・支管のフレアー

補強方法としては、板厚の増強を原則とし、他の方法により補強を行う場合は、実験あるいは応力解析により、終局限界状態および疲労限界状態において十分安全であることを確認する。

以下に補強を行わない場合、あるいは板厚の増強により補強を行う場合の終局限界状態および疲労限界状態での照査方法を示す。

i）終局限界状態の照査

終局限界状態に対する照査は、「鋼構造物設計指針」（土木学会，1987）に基づき行う。また、K格点図－6．1．1．2において以下の条件が満たされる場合には、2つのY格点として設計する（DnVの基準を準用）。

$$0.9<\frac{P_1 \sin\theta_1}{P_2 \sin\theta_2}<1.1 \qquad (6.1.1.6)$$

でない場合　あるいは、

$$g_L / D > g_0 \qquad (6.1.1.7)$$

ここに、g_L：支管と支管のギャップ

D　：主管の外径

g_0：図－6.1.1.3で与えられる係数

β　：r／R（＝d／D）

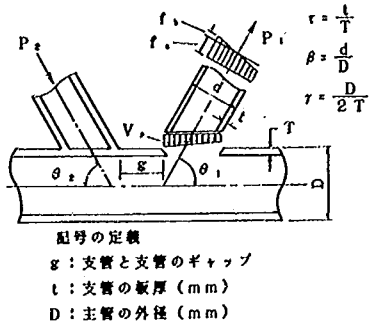
r　：支管の外半径

R　：主管の外半径

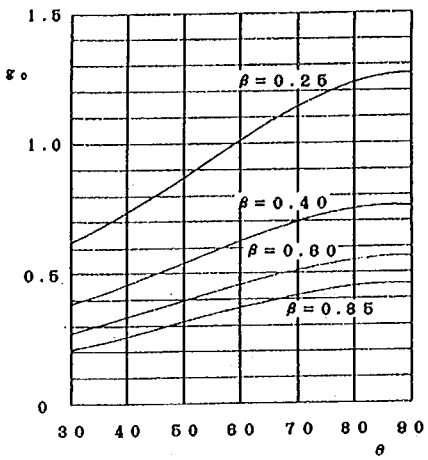
P　：支管の軸力

θ　：主管と支管のなす角度

である。



図－6．1．1．2　K格点



図－6．1．1．3　θとg_0の関係

ii）疲労限界状態の照査

疲労限界状態の照査は、ジャケット部材と同様に行う。ただし、対象とする応力は、原則としてホットスポット応力とし、次式より求める。

$$\sigma_H=(SCF)\sigma_N \qquad (6.1.1.8)$$

ここに、σ_H　：ホットスポット応力

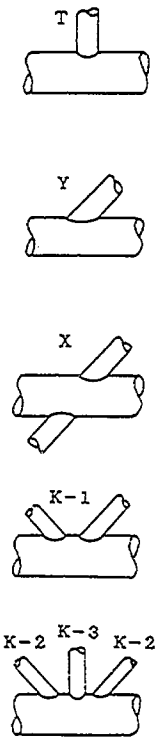
σ_N　：支管の公称応力

SCF：応力集中係数

である。シンプルジョイントにおける応力集中係数SCFは、DnVの基準のCLASSIFICATION NOTESにある表－6．1．1．2に示される応力集中係数に従ってよい。この場合、最大のホットスポット応力は、軸力、面内曲げ、面外曲げの各々に対する公称応力に各々の応力集中係数を乗じて累加することにより求める。シンプルジョイント以外のジョイントにおける応力集中係数SFCは、実験やFEM解析により求めるものとする。

表－6．1．1．2　接合部の応力集中係数（主柱のＳＣＦとブレースのＳＣＦ）

		軸力	面内曲げモーメント	面外曲げモーメント
主柱の応力集中係数	T&Y	$2.08\gamma^{0.81}e^{-1.2}\beta^{3}\tau^{1.33}\alpha^{0.057}\sin^{1.69}\theta$	$0.70\gamma^{0.60}\beta^{-0.04}\tau^{0.86}\sin^{0.57}\theta$	$1.02\gamma^{1.01}\beta^{0.79}\tau^{0.89}\sin^{1.56}\theta$,$0.3<\beta<0.55$ $0.46\gamma^{1.01}\beta^{-0.62}\tau^{0.89}\sin^{1.56}\theta$,$0.55<\beta<0.75$
	X	$1.35\gamma\tau\beta(2.42-2.28\beta^{2.2})\sin\beta^{2(15-14.4\beta)}\theta$	$0.595\gamma^{0.6}\tau^{0.8}(1.6\beta^{0.25}-0.7\beta^{2})\sin^{(1.5-1.5\beta)}\theta$	$0.794\gamma\tau\beta(1.56-1.48\beta^{5})\sin\beta^{2(15-14.4\beta)}\theta$
	K－1	$1.51\gamma^{0.67}\beta^{-0.59}\tau^{1.10}g^{0.057}\sin^{1.52}\theta$,$30<\theta<90$	$1.82\gamma^{0.38}\beta^{0.08}\tau^{0.94}\sin^{0.9}\theta$, $0<\theta<90$	$1.02\gamma^{1.01}\beta^{0.79}\tau^{0.89}\sin^{1.56}\theta$,$0.3<\beta<0.55$ $0.46\gamma^{1.01}\beta^{-0.62}\tau^{0.89}\sin^{1.56}\theta$,$0.55<\beta<0.75$
	K－2 K－3	$1.83\gamma^{0.54}\beta^{0.12}\tau^{1.07}\sin\theta$, $0<\theta<90$	$1.82\gamma^{0.38}\beta^{0.08}\tau^{0.94}\sin^{0.9}\theta$, $0<\theta<90$	$1.02\gamma^{1.01}\beta^{0.79}\tau^{0.89}\sin^{1.56}\theta$,$0.3<\beta<0.55$ $0.46\gamma^{1.01}\beta^{-0.62}\tau^{0.89}\sin^{1.56}\theta$,$0.55<\beta<0.75$
ブレースの応力集中係数	T&Y	$4.08\gamma^{0.55}e^{-1.25\beta^{2}}\tau\alpha^{0.12}\sin^{1.94}\theta$	$1.30\gamma^{0.23}\beta^{-0.38}\tau^{0.28}\sin^{0.21}\theta$	$1.52\gamma^{0.85}\beta^{0.80}\tau^{0.54}\sin^{2.03}\theta$,$0.3<\beta<0.55$ $0.80\gamma^{0.85}\beta^{-0.28}\tau^{0.54}\sin^{2.03}\theta$,$0.55<\beta<0.75$
	X	$0.794+0.63\ SCF_{(CHORD)}$	$0.794+0.63\ SCF_{(CHORD)}$	$0.794+0.63\ SCF_{(CHORD)}$
	K－1	$0.92\gamma^{0.16}\beta^{-0.44}\tau^{0.56}g^{0.058}e^{1.45\sin\theta}$,$30<\theta<90$	$2.83\beta^{-0.35}\tau^{0.35}\sin^{0.5}\theta$, $0<\theta<90$	$1.52\gamma^{0.85}\beta^{0.80}\tau^{0.54}\sin^{2.03}\theta$,$0.3<\beta<0.55$ $0.80\gamma^{0.85}\beta^{-0.28}\tau^{0.54}\sin^{2.03}\theta$,$0.55<\beta<0.75$
	K－2	$8.08\gamma^{0.10}\beta^{-0.36}\tau^{0.68}(g_1+g_2)^{0.13}\sin^{0.5}\theta$, $0<\theta<45$ $13.8\gamma^{0.10}\beta^{-0.36}\tau^{0.68}(g_1+g_2)^{0.13}\sin^{2.5}\theta$,$45<\theta<90$	$2.83\beta^{-0.35}\tau^{0.35}\sin^{0.5}\theta$, $0<\theta<90$	$1.52\gamma^{0.85}\beta^{0.80}\tau^{0.54}\sin^{2.03}\theta$,$0.3<\beta<0.55$ $0.80\gamma^{0.85}\beta^{-0.28}\tau^{0.54}\sin^{2.03}\theta$,$0.55<\beta<0.75$
	K－3	$4.89\gamma^{0.12}\beta^{-0.40}\tau^{0.68}(g_1+g_2)^{0.16}\sin^{2.27}\theta$	$2.83\beta^{-0.35}\tau^{0.35}\sin^{0.5}\theta$, $0<\theta<90$	$1.52\gamma^{0.85}\beta^{0.80}\tau^{0.54}\sin^{2.03}\theta$,$0.3<\beta<0.55$ $0.80\gamma^{0.85}\beta^{-0.28}\tau^{0.54}\sin^{2.03}\theta$,$0.55<\beta<0.75$



注）Ｘジョイントを除いて、ブレースの応力集中係数は、以下のように低減できる。

$$SCF_{(BRACE)RED.}=1.0+Q_R(SCF_{(BRACE)}-1)\geq 2.5$$

ここに、

$$Q_R=\exp\left(-\frac{0.5T+t}{rt}\right)\geq 0.7$$

適用範囲		
T&Y	X	K
$8.3<\gamma<33.3$ $0.3<\beta<0.88$ $0.2<\tau<0.8$ $7<\alpha<40$ $0<\theta<90$	$12<\gamma<32$ $0.13<\beta<1.0$ $0.25<\tau<1.0$ $30<\theta<90$	$8.3<\gamma<33.3$ $0.3<\beta<0.88$ $0.2<\tau<0.8$ $0.01<g<1.0$

γ、β、τ、g、θ は、図-6.1.1.2、図-6.1.1.3 に示す通り。

$\alpha=L/D$
L：主管の曲げスパン

ウ）杭とジャケット接合部

杭とジャケット接合は、杭とジャケットとの隙間に注入されるグラウト（以下、グラウトコネクションと呼ぶ）により行うことを原則とする。また、モルタルのみの付着（せん断）耐力で所要の耐力が満足されない場合は、杭外側およびジャケット主柱内側にシェアキーを設ける。

グラウトコネクションの照査方法については、API（アメリカ石油協会）の基準あるいはDnVの基準を準用し、終局限界状態および疲労限界状態を対象として以下のように行う。

i）終局限界状態の照査

グラウトコネクションにおける設計付着（せん断）強度τ_{kld}は式（6．1．1．9）および式（6．1．1．10）により求めてよい。

$$\tau_{kld}=\tau_{kl}/\gamma_m \qquad (6.1.1.19)$$

ただし、

$$\tau_{kl}=\gamma\cdot CL\frac{\left(\frac{\delta_P}{r}+\frac{H_s}{16s}\cdot\sqrt{\frac{r}{t}}\cdot F_G^{0.3}\right)E_S}{\left(\frac{r}{t}+\frac{E_G}{E_S}\frac{h}{r}+\frac{R}{T+(E_G/E_S)h}\right)} \qquad (6.1.1.10)$$

ここに、τ_{kl}：付着（せん断）強度の特性値

γ　：グラウトと鋼の摩擦係数（一般に0.7としてよい）

δ_P：表面不陸高さ（特別な粗度仕上げをしない限り$\delta_P/\gamma=0.00025$としてよい）

r　：杭の半径

R　：ジャケツト主柱の半径

t　：杭の部材厚

T　：ジャケット主柱の部材厚

h　：グラウトの厚さ

H_s：シェアキーの高さ（シェアキーのない場合は$H_s=0$）

S_s：シェアキーの間隔

E_s：鋼材のヤング係数

E_G：グラウトのヤング係数

F_G：グラウトの圧縮強度

CL：グラウト接合長さLと杭径dとの比に関する係数（表－6．1．1．3より求める）

γ_m：材料係数$\gamma_m=3.0$とする

表－6．1．1．3　L／dとCLの関係

L/d	CL
2	1.0
4	0.9
8	0.8
≧12	0.7

（L／dが数値の間にある場合は比例配分する）

である。ただし、適用範囲は以下の通りである。

$$5 \leqq \frac{r}{t} \leqq 30, \quad 9 \leqq \frac{R}{T} \leqq 70, \quad 0 \leqq \frac{Hs}{Ss} \leqq 0.04, \quad 4 \leqq \frac{L}{r}, \quad 1.4\sqrt{rt} \leqq Ss$$

ii）疲労限界状態の照査

○シェアキーを設けない場合

部材が圧縮－圧縮の繰返し荷重を受ける場合には、疲労強度設計付着（せん断）終局強度と同等とし、圧縮－引張の繰返し荷重を受ける場合は、引張力が次式に示す引張に対する設計付着（せん断）強度以下となることを確かめることとする。

$$\tau_{dynd} = 0.2\tau_{kld} \qquad (6.1.1.11)$$

○シェアキーを設ける場合

シェアキーを設ける場合の設計付着（せん断）疲労強度τ_{dynd}は次式により求めてよい。

$$\tau_{dynd} = \tau_{dyn}/\gamma_b \qquad (6.1.1.12)$$

ただし、

$$\tau_{dyn} = (K_1 - K_2 \log N) \cdot \tau_{kl} \qquad (6.1.1.13)$$

ここに、τ_{dyn}：最大付着（せん断）変動応力

N　：繰返し回数

$K_1 K_2$：係数（表－6．1．1．4による）

γ_b　：部材係数（$\gamma_b = 2.6$とする）

である。

表－6．1．1．4　K_1, K_2の値

	K_1	K_2
部材が圧縮－圧縮の繰返し荷重を受ける場合	0.8	0.02
部材が圧縮－引張の繰返し荷重を受ける場合	0.6	0.06

エ）一般構造細目

i）管径管厚比D／tが60以上の場合の鋼管を用いる場合には、局部座屈に対する検討を行う。

ii）鋼管の継手は原則として、全周全厚突合わせ溶接とする。

iii）杭については、「鋼構造物設計指針」（土木学会，1987）に準ずる。

iv）防食法は、本編「4．4．3　鋼部材防食法」に準ずる。この場合、環境条件の区分については、L.W.L－1.0m以下を腐食性環境、L.W.L－1.0m以上を特に厳しい腐食性環境としてよい。

②コンクリート部材

ア）終局限界状態

「コンクリート標準示方書設計編」（土木学会，1986）に準じて照査を行う。

イ）使用限界状態

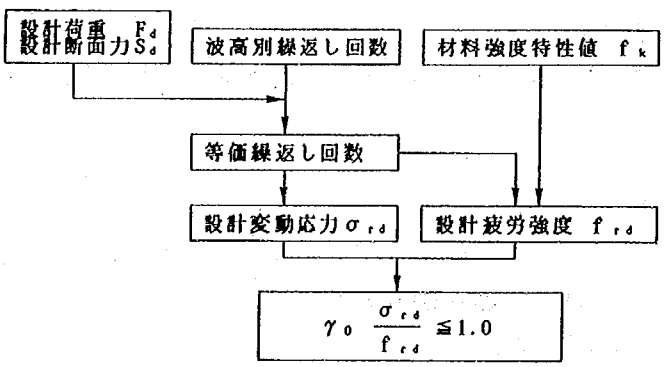
「コンクリート標準示方書設計編」（土木学会，1986）に準じて照査を行う。

ウ）疲労限界状態

「コンクリート標準示方書設計編」（土木学会，1986）により、十分な疲労抵抗力を有することを確かめる。

i）照査方法

疲労限界状態の照査は、持続応力と繰返し回数を固定し、疲労限界図よりそれに対応する応力振幅の限界値を求め、これと実際に作用する応力振幅とを比較することにより行う。この方法を海域制御構造物の設計に適用するためには、等価繰返し回数を求める必要がある。具体的には、次に示す方法により定めた等価繰返し回数N_{eq}と固定荷重による応力σ_{pd}より設計疲労強度f_{rd}を求め、$\gamma_0\sigma_{rd}/f_{rd}\leqq1.0$であることを確かめる（図－6．1．1．4参照）。なお、持続応力および変動応力は、線形断面解析より求める。



図－6．1．1．4　疲労限界状態の検討フロー

○コンクリートの場合

修正マイナー則を用いて、ある設計変動応力σ_{rd}作用時の等価繰返し回数N_{eq}を次式により求める。

$$N_{eq}=\sum_{i=1}^{m} n_i \cdot 10^{\beta}(\sigma_{rdi}-\sigma_{rd}) \qquad (6.1.1.14)$$

ここに、N_{eq}：設計変動応力σ_{rd}の等価繰返し回数（回）

n_i　：変動応力σ_{rdi}の繰返し回数（回）

σ_{rdi}：応力ブロックｉにおける変動応力（kgf／cm²）

σ_{rd}　：設計変動応力（kgf／cm²）

B　　：材料の疲労特性より定まる定数

である。ここでBはσ_{rdi}が単独で作用するときの疲労寿命をN_iとするとき、S－N曲線より$\log N_i = A - B\sigma_{rdi}$と求められる。

コンクリートの設計疲労強度の式（6．1．1．1）より、定数Bを逆算すると次式が得られる。

$$B=\frac{K}{k_1(f_d-\sigma_p)}$$

ここでk_1、kは$k_1=0.85$，$k=10$と与えられる。式（6．1．1.14）から求められるN_{eq}と式（6．1．1．1）より、設計変動応力σ_{rd}が作用したときのコンクリートの設計疲労強度を算出する。

○鉄筋の場合

修正マイナー則を用いて、ある設計変動応力σ_{rd}作用時の等価繰返し回数N_{eq}を次式により求める。

$$N_{eq}=\sum_{i=1}^{m} n_i\cdot(\sigma_{rdi}/\sigma_{rd})^{B'} \qquad (6．1．1.15)$$

ここに、B'：材料の疲労特性より定める定数である。ここでB'はσ_{rdi}が単独で作用するときの疲労寿命をN_iとすると、S－N曲線より

$$\log N_i = A' - B' \log \sigma_{rdi}$$

と求められる（A'は材料特性より定める定数）。一方、鉄筋の設計疲労強度の式（6．1．1．2）より定数 B' は次のように逆算される。

$$B'=\frac{1}{0.12}$$

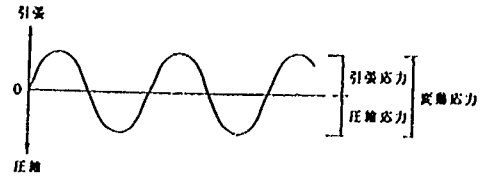
以上により、式（6．1．1.15）から求められるN_{eq}と式（6．1．1．2）より、設計変動応力σ_{rd}が作用したときの鉄筋の設計疲労強度を算出される。

ii）両振り繰返し載荷時の曲げ疲労照査

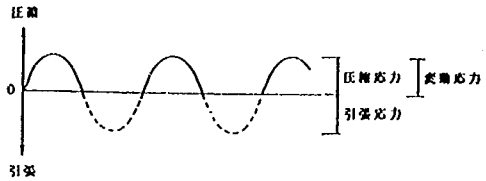
主要な構造部材は、波浪作用による両振り繰返し載荷を受ける。両振り繰返し載荷時の曲げ疲労照査における設計変動応力は、以下のように求める。

・鉄筋は両振幅（引張＋圧縮）を考慮する（図－6．1．1．5参照）。

・コンクリートは、片振幅、すなわち圧縮応力のみを考慮する（図－6．1．1．6参照）。



図－6．1．1．5　両振り繰返し載荷時の鉄筋の変動応力



図－6．1．1．6　両振り繰返し載荷時のコンクリートの変動応力

iii)両振り繰返し載荷時のせん断疲労照査

両振り繰返し載荷時のせん断疲労は、せん断補強鉄筋の応力度について式（6．1．1.16）と式（6．1．1.17）により照査する。この場合、水中におけるコンクリートの疲労強度は気中のコンクリートに比べて低下するので、コンクリートが分担するせん断力V_{cd}はDnVの基準に準じて無視することとする。

$$\sigma_{wrd}=\frac{(V_{pd}+V_{rd}-0.5V_{cd})s}{A_{wz}(\sin\alpha_s+\cos\alpha_s)}\cdot\frac{V_{rd}}{V_{pd}+V_{rd}+V_{cd}} \qquad (6.1.1.16)$$

$$\sigma_{wpd}=\frac{(V_{pd}+V_{rd}-0.5V_{cd})s}{A_{wz}(\sin\alpha_s+\cos\alpha_s)}\cdot\frac{V_{rd}}{V_{pd}+V_{rd}+V_{cd}} \qquad (6.1.1.17)$$

ここに、σ_{wrd}：固定荷重によるせん断補強鉄筋の応力度

σ_{wpd}：固定荷重によるせん断補強鉄筋の応力度

V_{rd}：設計変動せん断力

V_{pd}：固定荷重作用時における設計せん断力

V_{cd}：コンクリートが分担するせん断力（水中の場合$V_{cd}=0$とする）

A_w：1組のせん断補強鉄筋の断面積

z：圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までであり、一般にd／1.15としてよい。

d：有効高さ

α_s：せん断補強鉄筋が部材軸となす角度

である。

エ) 一般構造細目

i)最小鉄筋量

・軸方向の影響が支配的な鉄筋コンクリート部材には、計算上必要なコンクリート断面積の0.8%以上の軸方向鉄筋を配置する。

・曲げモーメントの影響が支配的な棒部材の引張鉄筋比は、0.2%以上を原則とする。

・棒部材にはせん断補強鉄筋が不要とされる場合でも、0.15%以上のスターラップを部材全長にわたって配置する。

ii)最大鉄筋量

・軸方向の影響が支配的な鉄筋コンクリート部材の軸方向鉄筋量は、原則としてコンクリート断面積の6%以下とする。

・曲げモーメントの影響が支配的な棒部材の軸方向引張鉄筋量は、原則として釣合鉄筋比の75%以下とする。

iii)かぶり

本編「4.4.4 コンクリート構造部材の防食法」に準ずる。

iv)その他の構造細目

その他の構造細目（鉄筋のあき、鉄筋の曲げ形状、鉄筋の定着、鉄筋の継ぎ手等）については、「コンクリート標準示方書設計編」（土木学会，1986）に準ずる。

v)防食法

防食法は、本編「4.4.4 コンクリート構造部材の防食法」に準ずる。この場合、環境条件の区分は、L.W.L.−1.0m以下を腐食性環境、L.W.L−1.0m以上を特に厳しい腐食性環境としてよい。

(5) 安定計算

a) 基本方針

本編では、基礎構造物の安定計算に関して限界状態設計法の考え方を採用している。しかしながら、基礎構造物の設計に限界状態設計法を導入している例は世界的にも少なく、わが国でも研究段階の状況にある。これらのことを考慮して、有脚式構造物基礎の安定計算に限界状態設計法を導入するにあたり、本編では以下の考え方を基本とした。

①安全係数の種類や数値については、現在得られる知見の範囲で設定する。安全係数のうち、杭基礎の設計支持力を推定する際に用いる抵抗修正係数は、過去の実杭の載荷試験データの解析結果を基本として提案する。

②照査項目、基礎の変位量に関する制限値、極限支持力推定式などは、現在までに得られている知見に基づく。

③本項で提案する設計法は、書式、安全係数の種類およびその数値も含めて現時点における試案として位置づける。

b）照査項目

①終局限界状態

終局限界状態に対する基礎の安定照査は、暴風波浪時および地震時について行うものとする。ここで、鉛直方向荷重に関しては、杭頭の軸方向設計支持力（押込み、引抜き）により照査を行うこととする。一方、水平方向荷重に関しては、杭の水平抵抗に関する照査と同等の意味を持つ水平変位量（ここでは、設計地盤面）で照査を行うこととする。現時点では、杭の水平方向の極限支持力の推定にばらつきが大きいこと、また、構造解析モデルとして地盤抵抗の非線形性を考慮した手法の信頼性が十分に確保されていないことから、水平方向の安定について比較的小さな水平変位置の制限下で照査することとした。

ア)支持力の照査

軸方向の支持力は、次式の条件を満足しなければならない。

$$\gamma_0 \frac{S_d}{R_d} \leqq 1.0 \qquad (6.1.1.18)$$

ここに、

γ_0：全体安全係数

S_d：設計反力

R_d：設計抵抗力（$=R_u/\gamma_y$）

R_u：極限支持力

γ_y：抵抗修正係数

である。なお、杭の軸方向設計支持力（押込み、引抜き）を推定する際、杭の有効重量を考慮する場合には、杭の有効重量に関する抵抗修正係数として1.0を用いる。

イ)水平変位置の照査

設計地盤面での水平方向変位置は、次式の条件を満足しなければならない。

$$U_d \leqq U_a \qquad (6.1.1.19)$$

ここに、

U_d：設計地盤面での水平変位置

U_a：設計地盤面での水平変位置の制限値であり、杭径の３％とする。

ウ)全体安全係数と抵抗修正係数

杭の支持力の照査には、表－６．１．１．５に示す全体安全係数と抵抗修正係数を用いる。

表－６．１．１．５　全体安全係数と抵抗修正係数（試案）

照査項目	全体安全係数（γ_0）	抵抗修正係数（γ_y）
	終局限界状態	終局限界状態
押込み力	1.0	1.50
引抜き力		2.00

抵抗修正係数は、杭の支持力推定値のばらつきを考慮して、安全性指標β,が1.5～1.8程度となるように設定した。ここで、支持力推定値のばらつきとして、押込み支持力で35%、引抜き支持力で45%の変動係数を有する対数正規分布を仮定し、支持力の特性値を平均値とした。なお、極限抵抗力を直接載荷試験から求めた場合の抵抗修正係数は、表－6．1．1．5に示す抵抗修正係数を1.2で除した値を用いるものとする。

②使用限界状態

構造物の構造特性から、使用性や機能性を保持するために変位量などに制限を設ける場合には、使用限界状態として安全照査を行う。

③疲労限界状態

原則として照査は行わない。

c)負の周面摩擦力

負の周面摩擦力の影響は、「道路橋示方書・同解説　Ⅳ下部構造編」（日本道路協会，1990）に従い検討する。

d)群杭の考慮

群杭の影響は、「道路橋示方書・同解説　Ⅳ下部構造編」（日本道路協会，1990）に従い検討する。ただし、杭の中心間隔が杭径の2.5倍以上ある場合には、群杭の影響は考えなくてもよい。

6．1．2　連結ブロック式構造物

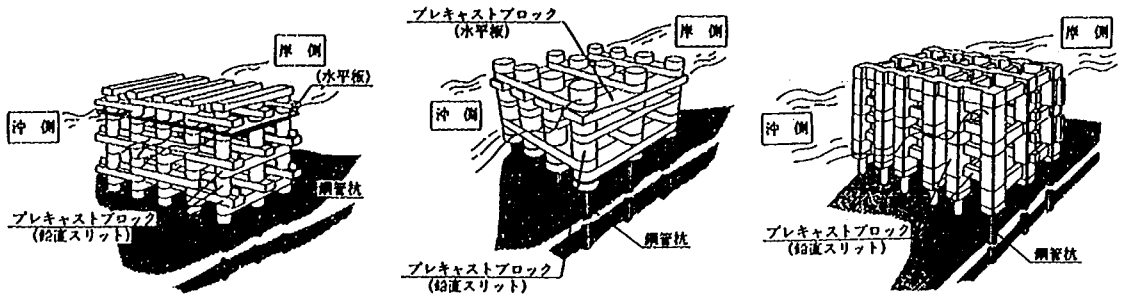
6．1．2．1　一般

連結ブロック式構造物には、水平板付スリット型構造物（水平板機能重視型、鉛直スリット機能重視型）と多重スリット型構造物がある（図－6．1．2．1 a）～c））。連結ブロック式は、杭群をプレキャストブロックで連結し、PC鋼材を杭軸方向に緊張し一体化させる構造物である。本構造物の地中部は通常の杭基礎として、海中および海上部は杭とプレキャストブロックを一体にしたラーメン構造として設計される。設計の際には、次のような配慮が必要である。

a）PC鋼材は高い応力状態で使用するため、一般の鋼材と比べて腐食しやすい。したがって、PC鋼材の防食に対する配慮を行わなければならない。

b）プレキャストブロックを一体構造にするために、プレストレス力や目地材料の材質を適切に定めなければならない。

c）プレキャストブロックと鋼管杭を連結するために、プレキャストブロックと鋼管杭の間に充填するコンクリートまたはモルタルの強度、およびコンクリートブロックと鋼管杭の形状を適切に定めなければならない。

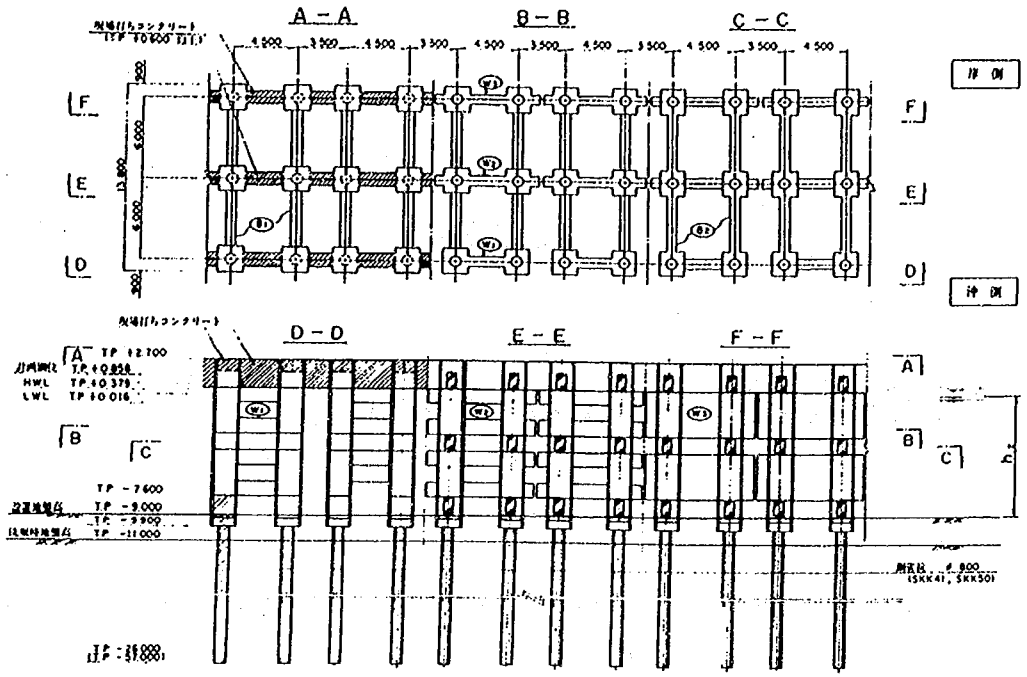


a）水平板付スリット型構造物（水平板機能重視型）　b）水平板付スリット型構造物（鉛直スリット機能重視型）　c）多重スリット型構造物

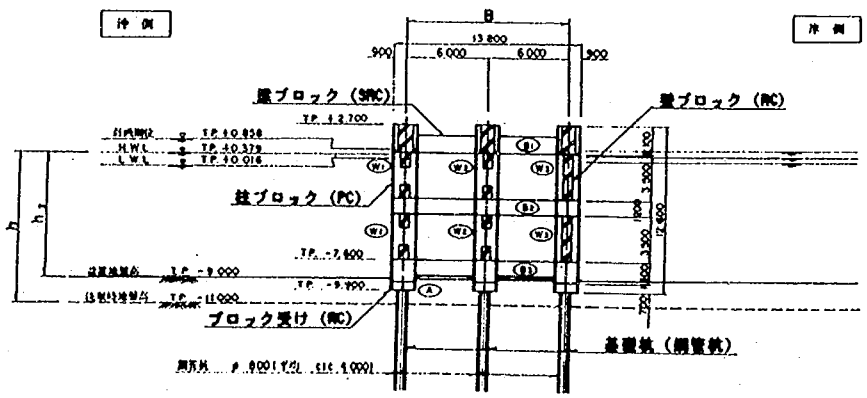
図－6．1．2．1　連結ブロック式構造物の概要図

6．1．2．2　構造および諸元

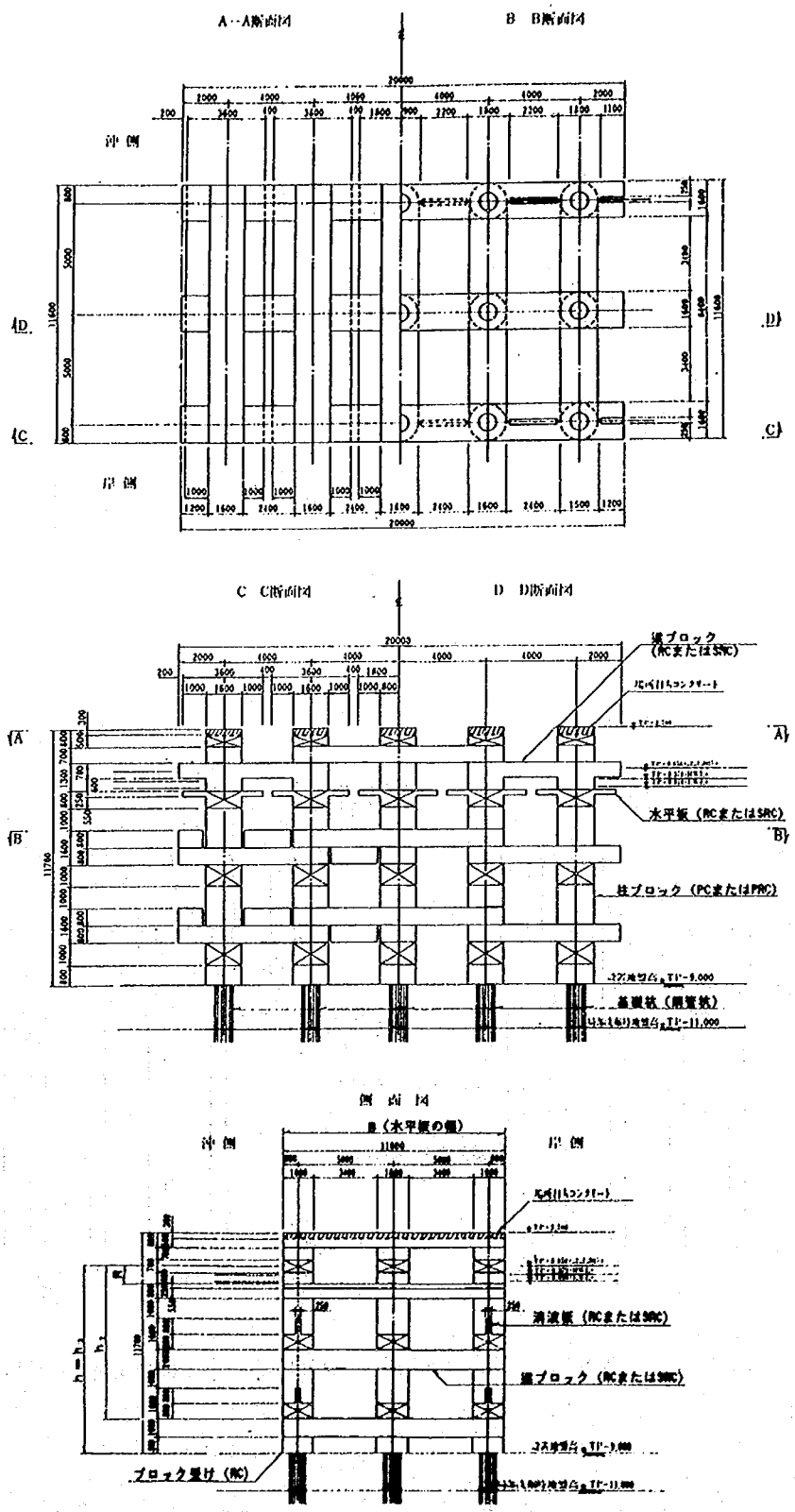
連結ブロック式構造物は、図－6．1．2．2～6．1．2．4に示すような部材で構成される。また、構造諸元の用語および記号を以下のように定義する。



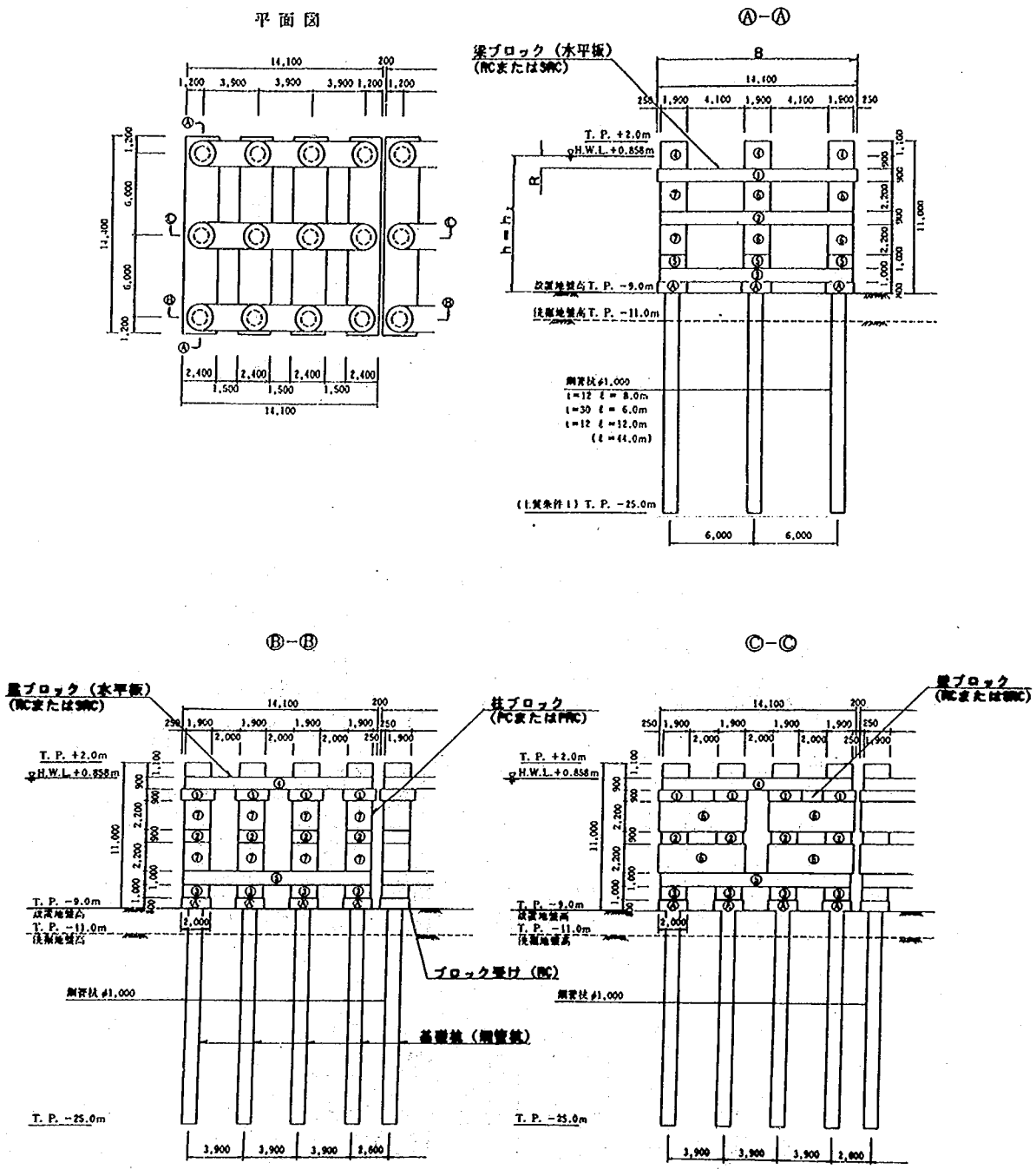
空隙率εは、全水中面積(h_2・L)当りのスリット開口面積の割合である。



図－6．1．2．2　多重スリット型構造物の適用例



図－6．1．2．3　水平板付スリット型構造物（水平板機能重視型）の適用例



図－6．1．2．4 ‘水平板付スリット型構造物（鉛直スリット機能重視型）’の適用例

・堤体幅（B）　　：所要の消波特性を満たすよう配置されたスリット壁の最外縁寸法
・吃水比（h_s/h）：鉛直スリットの吃水（h_s）の水深（h）に対する比
・没水深比（R／h）：水平スリットの設置水深（R）の水深（h）に対する比
・空隙率（ε）　　：単位面積当たりのスリット開口面積割合

参考として試設計（建設省土木研究所，1988ａ）により得られた構造寸法を図６．１．２．２～６．１．２．４に示す。このときの主な設計条件は表－６．１．２．１に示す通りである。

表－６．１．２．１　ＦＳ調査の主な設計条件

条件項目		条　件　値			
構造条件	設置地盤高	Ｔ．Ｐ．－９．０ｍ			
自然条件	計画波浪	H_{max}＝７．１ｍ，Ｔ＝１０sec			
	地震震度	K_h＝０．１２			
	土質条件	ケース	標　高	平均Ｎ値	土　質
		１	Ｔ.Ｐ. -9m～-18m	５	砂質土
			Ｔ.Ｐ.-18m～-29m	３０	砂質土
		２	Ｔ.Ｐ. -9m～-32m	５	砂質土
			Ｔ.Ｐ.-32m～-39m	１５	砂質土
			Ｔ.Ｐ.-39m～-52m	１０	粘性土
			Ｔ.Ｐ.-52m～-62m	２０	砂質土
消波性能		透過率$K_T \leq 0.6$，　反射率$K_R \leq 0.5$			

６．１．２．３　設計荷重

(1)　荷重の種類および組合わせ

設計荷重は、本編「３．１　荷重」に従い算出する。連結ブロック式構造物に作用する荷重の中で主に考慮しなければならない荷重は、死荷重、波力、静水圧および浮力、地震の影響、流れおよび津波による荷重、およびプレストレス力である。また、必要に応じて風荷重、衝突荷重、施工時荷重および土圧を考慮する。

荷重の組合わせについては、本編「３．２　荷重の組合せ」に従うものとする。なお、プレストレス力は、初期導入量からクリープ、乾燥収縮、リラクセーション等の減少量を考慮して有効プレストレス力P_eを求め、構造解析結果の軸力にP_eを加えるものとする。

(2)　死荷重

本編「３．１．２　死荷重」に準ずる。

(3) 波力

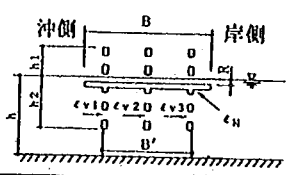
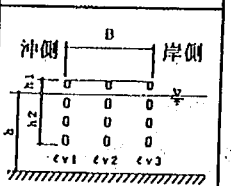
部材の設計および安定照査のためには、全波力と波圧分布を求める必要がある。全波力および波圧分布は、波浪の特性（周期、波長、波の性質）、設置水深、海底勾配および構造物の諸元により変化する。したがって、設計に用いる波力は水理模型実験により求めることを原則とする。

ここでは参考として、水理模型実験（建設省土木研究所，1988ｂ）により求められた作用波力特性を示す。水理模型実験の実験条件を表－６．１．２．２に、実験に用いた模型の構造諸元を表－６．１．２．３に示す。

表－６．１．２．２　水理模型実験の範囲

諸元	実験に用いた範囲
H_I/L	0.035～0.155
h/L	0.064～0.120
H_I/h	0.5～1.4
海底勾配	1/10

表－６．１．２．３　模型の構造諸元

構造型式	水平板付スリット型構造物		多重スリット型構造物
	水平板機能重視型	鉛直スリット機能重視型	
記号			
模型名称	PLS1	PLS3	SL1
構造物幅 B/h	1.5	1.5	1.5
天端幅 h_1/h	0.2	0	0.2
吃水比 h_2/h	1.0	0.8	0.8
鉛直スリット枚数 N	3	3	3
鉛直スリット空隙率 ε_{v1}	0.4	0.4	0.3
鉛直スリット空隙率 ε_{v2}	0.4	0.25	0.2
鉛直スリット空隙率 ε_{v3}	0.4	0.25	0.1
水平板空隙率 ε_H	0.1	0.2	—

a） 全波力

全波力は、水平全波力F_xと鉛直全波力F_zに分けられる。水平全波力は、堤体の主要部分である連結ブロック部に作用する波圧と海中部の鋼管杭に作用する波圧の合力と考えることができ（図－6．1．2．5参照）、F_xは次式で与えられる。

$$F_x=\int_{-h}^{h_c}p_x(z)dz+\int_{-(h+h_s)}^{-h}p_m(z)dz \qquad (6．1．2．1)$$

ここに、p_x：堤体の水平波圧強度

p_m：海中部鋼管杭の水平波圧強度

h_c：静水面上躯体頂部までの高さ

h　：水深

h_s：洗堀深

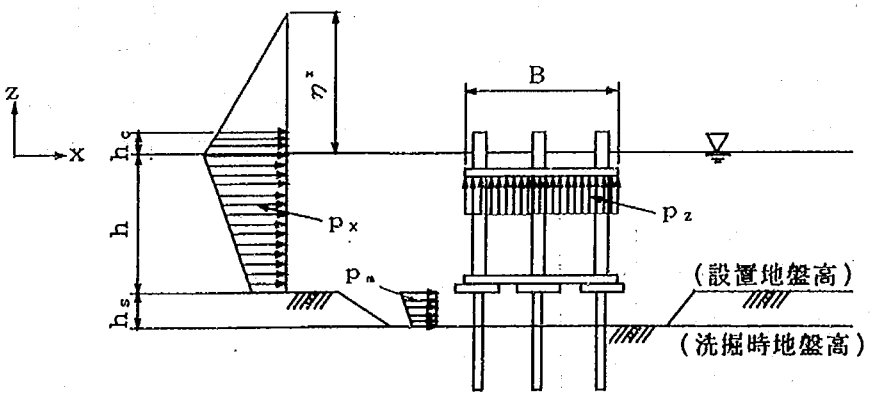
である。また図－6.1.2.5中のη^*は静水面上波圧強度が0となる高さである。一方、鉛直全波力は水平板に作用する波圧に支配されるので次式により求められる。

$$F_z=\int_0^B p_z(x)dx \qquad (6．1．2．2)$$

ここに、p_z：水平板の鉛直波圧強度

B：水平板の幅

である。



図－6．1．2．5　構造物全体の強度と安定性を照査するための全波力

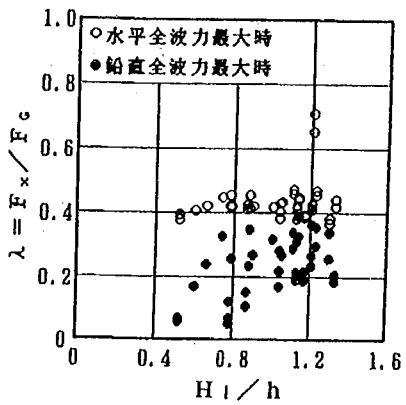
①水平波圧強度

水平波力強度p_xは、合田式による水平波圧強度p_G（本編「3．1．3　波力」参照）に低減率λを乗じ、次式のように求める。

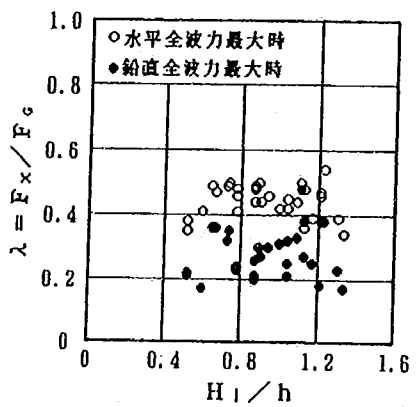
$$p_x=\lambda p_G \qquad (6．1．2．3)$$

三分力計により計測した水平全波力F_xと合田式による水平全波力F_Gより求めた低減率λを図－6．1．2．6に示す（建設小土木研究所，1988b）。同図は、波高、周期、水深の条件を変化させた実験で、水平

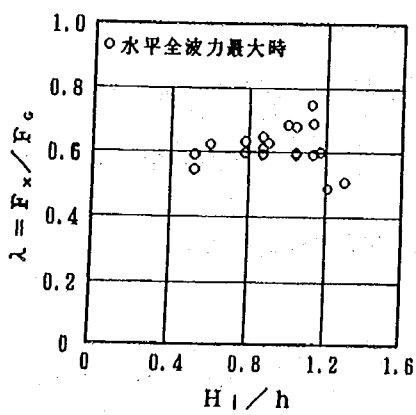
力最大時と鉛直力最大時のλを、波高H_1と水深hに比で整理したものである。3タイプの構造物に共通して、λは波高、周期、水深の差による変化が少なく、定数とみなすことができる。一方、水平波圧分布は、後述の部材波圧（表－6．1．2．5～6．1．2．7）に示すように静水面付近で大きく、合田式による形状と多少異なっている。したがって、式（6．1．2．3）のようにp_xを仮定すると、分布形状は必ずしも実験と一致しない。そこで、λを適切に設定することにより、p_xの積分で表される水平全波力F_xが実験の水平全波力を再現できるようにした。設計において波圧の分布形状が異なると断面力に差異を生ずるが、水平全波力が同じ場合にはその影響が小さいと考えられるので、ここではp_xの算定式に式（6．1．2．3）を用いる。なお、λは設計波浪、潮位に関係なく一定とし、水平全波力最大時および鉛直全波力最大時に求まった実験値の最大付近として、それぞれ表－6．1．2．4のように設定した。



a） 水平板付スリット型構造物
（水平板機能重視型；ＰＬＳ１）



b） 水平板付スリット型構造物
（鉛直スリット機能重視型；ＰＬＳ３）



c） 多重スリット型構造物（ＳＬ１）

図－6，1，2，6　水理模型実験による合田波圧の低減係数

表－6．1．2．4　合田波圧の低減係数λと鉛直波圧の係数α

構造型式	λ、α	水平全波力最大時	鉛直全波力最大時
水平板付スリット型構造物（水平板機能重視型）	低減率　λ	0.50	0.40
	係数　α	0.40	0.65
水平板付スリット型構造物（鉛直スリット機能重視型）	低減率　λ	0.60	0.40
	係数　α	0.20	0.30
多重スリット型構造物	低減率　λ	0.70	—
	係数　α	0.03	—

②鉛直波圧強度

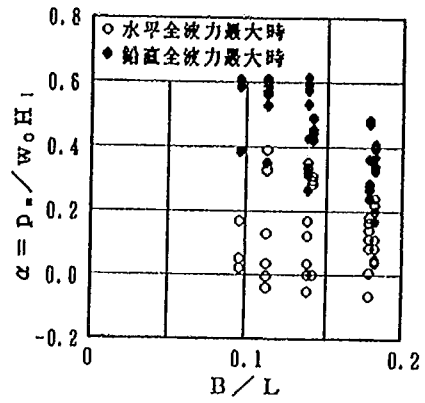
鉛直波圧は、次式で求めるものとする。

$$p_z = \alpha w_0 H_1 \qquad (6.1.2.4)$$

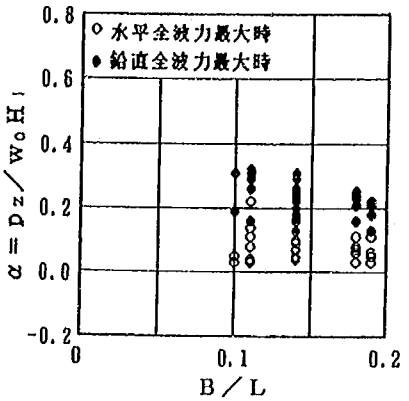
ここに、α　：波圧係数

w_0：海水の単位体積重量

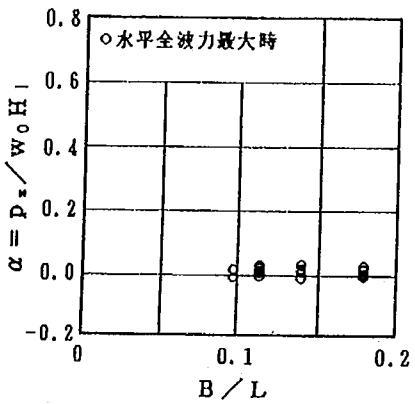
である。平均鉛直波圧p_zを三分力計により計測した水平全波力F_z、堤体幅B、奥行きDより$p_z = F_z/(BD)$として求め、w_0、H_1により無次元化した$\alpha = p_z/(w_0 H_1)$を図－6．1．2．7に示す（建設省土木研究所，1988b）。図－6．1．2．7では水平力最大時と鉛直力最大時におけるαを堤体幅Bと波長Lの比で整理してある。多重スリット型の場合には、水平面を形成する部材が少なく、鉛直全波力最大時においても鉛直力は水平力に比べ非常に小さいので、鉛直全波力最大時の検討を無視する。波圧分布は、後述の部材波圧（表－6．1．2．5～6．1．2．6）に示すように水平板に一様に作用しているとみなせる。また、鉛直波力は水平波力に比べかなり小さいので、B／Lによる変化は無視して、設計に用いるαは一定とする。λと同様に、水平全波力最大時および鉛直全波力最大時における実験値の最大付近として、αをそれぞれ表－6．1．2．4のように設定した。



a） 水平板付スリット型構造物
（水平板機能重視型；ＰＬＳ１）



b） 水平板付スリット型構造物
（鉛直スリット機能重視型；ＰＬＳ３）



c） 多重スリット型構造物（ＳＬ１）

図－６．１．２．７　水理模型実験による鉛直波圧の係数

③海中部鋼管杭の水平波圧強度

前述の水理模型実験で求めるられた波力（建設省土木研究所，1988ｂ）には、海中部の鋼管杭に作用する波力は含まれておらず、この部分についてはMorisonらが提案した円柱部材に対する既往の波力算定法を適用する。杭力係数C_Dおよび質量係数C_Mは、円柱部材に対する標準的なC_D＝1.0、C_M＝2.0を用いるものとする。

ｂ）部材波圧

各部材の照査に用いる波圧は、各部材ごとに一様な分布をすると仮定し、次式で求める。

$$p = \kappa w_0 H_1 \qquad (6.1.2.5)$$

ここに、ｐ：部材波圧強度

κ：波圧係数

である。水理模型実験より求まる波圧係数κを部材位置ごとに一覧表にして、表－６．１．２．５ａ）～ｃ）

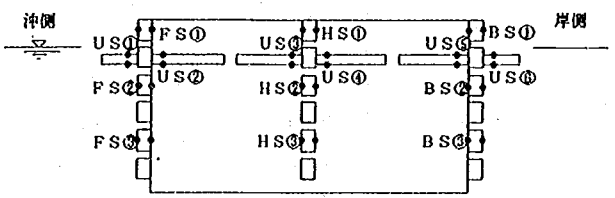
に示す（建設省土木研究所，1988ｂ）。同表は、波浪条件を変化させた実験のなかより、最大の差圧（鉛直部材では沖側波圧－岸側波圧、水平部材では下方波圧－上方波圧）が発生するときのκをまとめたものである。鉛直部材のκは、静水面付近で最大になり、水深の増加に伴い減少する。一方、水平部材のκは場所によりあまり変化していない。設計条件が水理模型実験の範囲（表－６．１．２．２）にある構造物に対しては、表－６．１．２．５ａ）～ｃ）に示すκを下回らない範囲の値を設計に用いる。

表－６．１．２．５　水理模型実験による部材波圧係数

ａ）　水平板付スリット型構造物（水平板機能重視型）

模型名称		部材波圧係数 $\kappa = p / w_0 H_1$			
		鉛直スリット			水平板
		FS	HS	BS	US
PLS－1	①	1.51	—	1.38	0.82
	②	1.33	0.49	0.20	0.63
	③	0.17	0.19	0.18	0.82
	④				0.70
	⑤				0.89
	⑥				0.62
	MAX	1.51	0.49	1.38	0.89

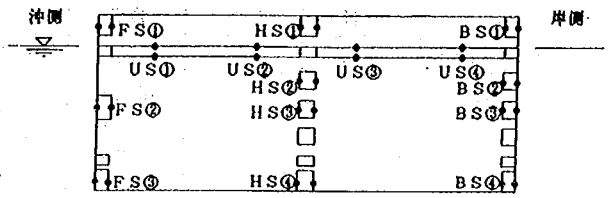
注）ＨＳ①のκにはＦＳ①の値を準用する。



表－6．1．2．5　水理模型実験による部材波圧係数

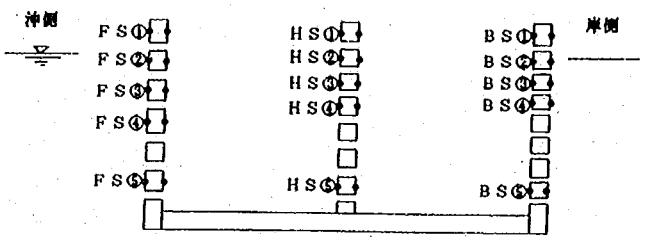
b）　水平板付スリット型構造物（鉛直スリット機能重視型）

模型名称		部材波圧係数 $\kappa = p / w_0 H_1$			
		鉛直スリット			水平板
		FS	HS	BS	US
PLS－3	①	1.09	1.55	1.39	0.55
	②	1.32	0.71	0.60	0.51
	③	0.14	0.21	0.23	0.33
	④		0.16	0.19	0.31
	MAX	1.32	1.55	1.39	0.55



c）　多重スリット型構造物

模型名称		部材波圧係数 $\kappa = p / w_0 H_1$		
		鉛直スリット		
		FS	HS	BS
SL－1	①	0.45	0.25	0.58
	②	1.30	1.02	0.63
	③	0.95	0.79	0.51
	④	0.60	0.44	0.40
	⑤	0.24	0.20	0.25
	MAX	1.30	1.02	0.63



(4) 静水圧および浮力

本編「3．1．4　静水圧および浮力」に準ずる。

(5) 地震の影響

連結ブロック式構造物の固有周期は、通常0.4sec程度と短いことにより、本編「3．1．5　地震の影響」に基づき震度法により設計を行うものとする。ただし、必要に応じて動的応答解析法により構造物の安全を照査する。

(6) 風荷重

連結ブロック式構造物は、全体の高さに占める静水面上の高さの比は0.2程度と小さく風荷重を受けにくい構造となっており、波力、地震の影響と比べて風荷重は非常に小さい。したがって、特別な場合を除き風荷重は考慮する必要はない。

(7) 流れおよび律波による荷重

本編「3．1．7　流れおよび津波による荷重」に準ずる。

(8) 衝突荷重

衝突荷重は必要に応じて考慮する。船舶などの衝突による構造物の損傷は、堤体の安定性や機能変化を生じない範囲で許容するように設計する。船舶の衝突荷重は本編「3．1．8　衝突荷重」に準ずる。

(9) 施工時荷重

施工時荷重は必要に応じて考慮する。施工時の荷重としては、コンクリートブロック吊り上げ時の死荷重、プレストレス導入によって生じる初期応力、杭打ち時および杭とプレキャストブロックの間の中詰めコンクリート打設前に作用する波力等がある。

(10) プレストレス力

連結ブロック式構造物では、杭とコンクリートブロックを一体化させるために柱部材にプレストレス力を導入する。プレストレスには、杭とプレキャストブロックの間に充填材を充填する前に導入する方法と、充填材の硬化後に導入する方法とがある。前者ではプレキャストブロックのみに初期緊張が与えられる。外縁部にプレストレスを与えるので比較的小さな緊張力で所要の応力状態を達成することができる。後者は、充填材の強度発現を待って、最初から有効断面を大きくした状態でプレストレスを与えるものである。

プレストレス力は次式により算出できる。

$$P_p(x) = P_{p1} - [\Delta P_{p1}(x) + \Delta P_{p1}(x)] \qquad (6.1.2.6)$$

ここに、$P_p(x)$：設計断面におけるプレストレス力

P_{p1}：緊張材端に与えた引張力によるプレストレッシング中のプレストレス力

$\Delta P_{p1}(x)$：プレストレッシング直後に生ずるプレストレス力の損失で、次の影響を考慮して求める。

①コンクリートの弾性変形

②緊張材とダクトの摩擦

③緊張材を定着する際のセット

④その他

$\Delta P_{pt}(x)$：プレストレス力の経時損失で、次の影響を考慮して求める。

⑤コンクリートのクリープ

⑥コンクリートの乾燥収縮

⑦ＰＣ鋼材のリラクセーション

x　：緊張材の引張端から設計断面までの長さ

ここで、コンクリートブロックと杭の間に構造部材の一部として充填材を施す場合には両者の材令差に起因する①コンクリートの弾性変形、⑤コンクリートのクリープおよび⑥コンクリートの乾燥収縮の相違を考慮しなくてはならない。上記の各種の値(①～⑦) は、「コンクリート標準示方書設計編」(土木学会，1986) に従い決定する。

(10) 土圧

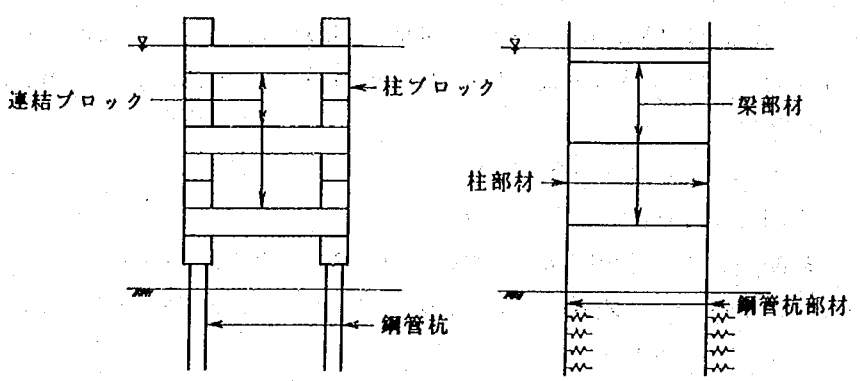
土圧は必要に応じて考慮する。土圧にはクーロン土圧理論を適用する。

6．1．2．4　構造解析および部材の設計

(1) 構造解析

a) 解析方法

連結ブロック式構造物は、地盤中に打ち込んだ杭群にプレキャストブロックを挿入し、プレストレスや中詰めコンクリートで一体とする構造物である。したがって、上部構造、杭および地盤を分離して解析することは難しく、これらを一体とした解析を行うことが望ましい。また、連結ブロック式構造物は、平面的に規則正しく配置されることが多いので、一般には、汀線方向と汀線直角方向に軸をもつ二次元モデルを用いることができる。本型式の解析モデルを図－6．1．2．8に示す。構造解析法は、本編「6．1．1 (4)ａ）構造解析」に準ずる。なお、ねじれ等の影響で三次元の検討が必要と判断される場合には、立体骨組弾性解析を行う。



(一般図)　　(解析モデル図)

図－6．1．2．8　連結ブロック式構造物の解析モデル

b) 部材の材料定数

上部構造および杭は線材にモデル化する。鋼管杭とプレキャストブロックの複合部材で形成される柱部材は、計算に用いる線材の材料定数（ヤング係数E、断面積A、断面2次モーメントI）をいずれか一方の材料定数に置き換える。また、剛性はプレストレス導入量に応じて、適切に評価するものとする。

(2) 材料

a) コンクリート

本編「6．1．1(3) 材料の設計強度」に準ずる。

b) 鋼材

本編「6．1．1(3) 材料の設計強度」に準ずる。

c) PC鋼材

本編「6．1．1(3) 材料の設計強度」に準ずる。

(3) 部材の設計

a) 柱部材

柱部材はPC鋼材の配置方式の違いにより、プレキャストブロックと杭の間にPC鋼材を配置する方式(充填材内配置方式）と、コンクリートブロックの中にダクトを設けてその中へ配置する方式（ブロック内配置方式）とに分けられる。

充填材内配置方式では図－6．1．2．9 a）のような柱断面が形成される。PC鋼材は施工時に自重を支持するための吊り材を兼ねている。充填材（中詰めコンクリートあるいはモルタル）を杭とプレキャストブロック間に打設し一体化される際にPC鋼材も被覆され、防食効果が期待できる。

ブロック内配置方式では図－6．1．2．9 b）に示すような柱断面が形成される。通常、PC鋼材の下部定着具はブロック受け（アンカーブロック）とは切り離して設ける。したがって、施工時に自重を支持するための吊り材、ブラケット等が別に必要となる。断面はプレキャストブロック工法によるPC橋梁と類似しており、緊張後ダクト内にグラウトを注入して一体化する。また、防食効果も期待される。このように柱部材は、プレキャストブロック、鋼管杭、充填材（中詰めコンクリートあるいはモルタル)、PC鋼材および鉄筋からなる複合部材である。

なお、柱部材にプレストレスを導入した後、充填材を打設することによりクリープ等の影響で構造系が変化する。設計では、プレストレスおよび有効断面の経時変化を考慮し、構造物の完成直後に設計荷重を受けた場合の検討と、耐用年数経過後の検討をそれぞれ行う。また、緊張により柱に発生する偏心応力や杭の不等沈下等で構造系に残留した二次応力の影響が重要と判断される場合には、これらの効果を検討しておく必要がある。



a） 充填材内配置方式　　b） ブロック内配置方式

図－6．1．2．9　ＰＣ鋼材の配置方式

① 終局限界状態

本編「6．1．1(4) b）② コンクリート部材」に準ずる。ただし、柱部材が鉄骨鉄筋コンクリート構造とみなせる場合には、本編「5．2．4 鉄骨鉄筋コンクリート部材」に準じて検討を行う。

② 使用限界状態

使用限界状態において柱部材は、プレストレストコンクリートとして設計することを原則とする。構造物の重要度、環境条件、機能性、および経済性等を考慮して、次の中から適切な限界状態を選定しなければならない。

ア） 引張応力発生に関する限界状態

曲げモーメントおよび軸方向力によるコンクリートの応力度が引張応力度にならないことを確認する。

イ） ひびわれ発生に関する限界状態

曲げモーメントおよび軸方向力によるコンクリートの応力度が「コンクリート標準示方書設計編」（土木学会，1986）に示される設計引張 f_{td} を越えないことを確認する。

$$f_{td}=0.5f'_{ck}/\gamma_c \qquad (6.1.2.7)$$

ここに、f'_{ck}：コンクリートの設計基準強度

γ_c ：材料係数（$\gamma_c=1.3$）

ウ） ひびわれ幅に関する限界状態

曲げモーメントおよび軸方向力によるコンクリートのひびわれ幅が、コンクリート、目地材およびPC鋼材と鉄筋の耐久性の確保の観点から考慮した許容ひびわれ幅を下回ることを確認する。許容ひびわれ幅は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（日本港湾協会，1989）を参考に0.3mmとする。

なお、イ）ひびわれ発生に関する限界状態、ウ）ひびわれ幅に関する限界状態の検討では、連結ブロックのブロック接合面におけるコンクリートの応力度やひびわれ幅は構造上の特性を考慮して算出する。

③ 疲労限界状態

本編「6．1．1(4)b）② コンクリート部材」に準ずる。

b） 梁部材

連結ブロック式構造物の梁部材には、鉄筋コンクリートあるいは鉄骨鉄筋コンクリートが採用される。鉄筋コンクリート部材の場合は、本編「6．1．1(4)b）② コンクリート部材」に準じ、鉄骨鉄筋コンク

リート部材の場合は、本編「5．2．4　鉄骨鉄筋コンクリート部材」に準じて、終局、使用、疲労限界状態の検討を行う。

c）鋼管杭部材

本編「6．1．1(4)b）① 鋼部材」に準じ、終局、使用、疲労限界状態の検査を行う。

d）柱と梁の接合部

連結ブロック式構造物の柱と梁の接合部においては、梁から柱への応力伝達が十分に確保され、柱がその曲げ耐力を発揮できることが必要である。接合においては、「鋼管コンクリート構造計算規準・同解説」（日本建築学会，1980）に準じて、柱のプレストレストコンクリート部分の曲げ耐力$M_{c,r}$と、梁の鉄筋コンクリート部分の曲げ耐力$M_{b,r}$との間に以下の式が成立するものとした。

$$\frac{M_{c,r}}{M_{b,r}} \geqq 0.5 \qquad (6．1．2．8)$$

ここに、$M_{c,r}$：柱のプレストレストコンクリート部分の曲げ耐力

$M_{b,r}$：梁の鉄筋コンクリート部分の曲げ耐力

6．1．2．5　安定照査

本編「6．1．1(5) 安定計算」に準ずる。

6．1．2．6　細部設計

a）鋼部材の構造細目は、本編「6．1．1(4)b）① エ）一般構造細目」による。

b）コンクリート部材の構造細目（最小鉄筋量、最大鉄筋量、かぶり等）は、本編「6．1．1(4)b）② エ）一般構造細目」による。

c）杭とプレキャストブロックからなる構造体では、使用限界状態においてフルプレストレス状態とすることが望ましい。このようにできない場合には、柱ブロックおよび鋼管杭の間にずれ止めを設ける等の処理を施し、柱ブロック、充填材、鋼管杭の3者が一体構造となるようにする必要がある。ずれ止めとしては、鋼管杭の外周に曲げ加工した平鋼を取り付けるのを標準とする。ずれ止めの設計は「杭基礎設計便覧」（日本道路協会，1986）に準じ、軸方向力に対して安全となることを確認する。

d）プレキャストブロックの接合部には、構造的に弱点とならないような目地材料を用いる。目地材料は均一な応力伝達に寄与するというプレキャストブロック工法の根本にかかわる重要な役割を担うものである。したがって、以下の条件を満足する目地材料を使用することが望ましい。

- プレキャストブロックと同等以上の強度を有する。
- プレキャストブロックと同程度の弾性係数である。
- プレキャストブロツクの製作誤差（平面精度）を吸収するに足る塗布厚さを確保でき、全有効断面を密着することができる。
- 耐用期間中に著しい劣化、収縮、クリープ変形を生じない。

なお、目地材料は耐久設計の観点から見て接着性に富むことが好ましい。

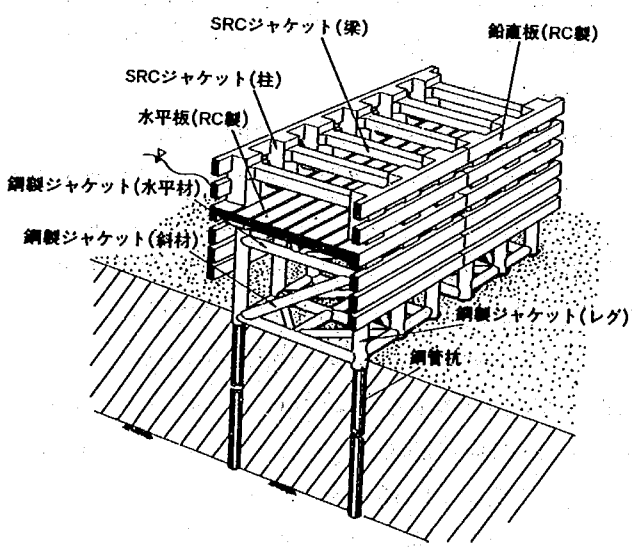
e） 柱部の構造（パネルゾーン）は、基本的には鋼管コンクリート構造として設計する。したがって、鋼材比、主鉄筋、帯鉄筋については、例えば「鋼構造物設計指針」（土木学会，1987）に準じて設計を行う。なお、杭とプレキャストブロックから成る構造体では肉厚の大きく異なる鋼管を継ぐ必要のある場合が多いので、応力集中の危険を回避するためにJIS A 5525等により適切な継手形状を採用しなければならない。

6．1．3　H型スリット板ジャケット式構造物

6．1．3．1　一般

H型スリット板ジャケット式構造物は、鉄筋コンクリート製（以下ではRC製と記述する）の透過性鉛直板と透過性水平板を有し、これらを鉄筋コンクリート製ジャケット構造（以下ではSRC製ジャケット構造と記述する）および鋼製ジャケット構造と一体化させ、杭により支持する構造物である（図－6．1．3．1）。したがって、海底面下は杭基礎として、海底面以上は杭とジャケット構造が一体化したラーメン構造として設計する。また、消波板は梁部材として設計する。

ジャケット部の構造は、天端から水平板までがSRC製ジャケット構造、これより以深が鋼製ジャケット構造である。海水面付近は厳しい腐食環境にあり、かつ作用する波力が大きいことから、上部にSRC製ジャケット構造を採用することで耐久性を向上させている。

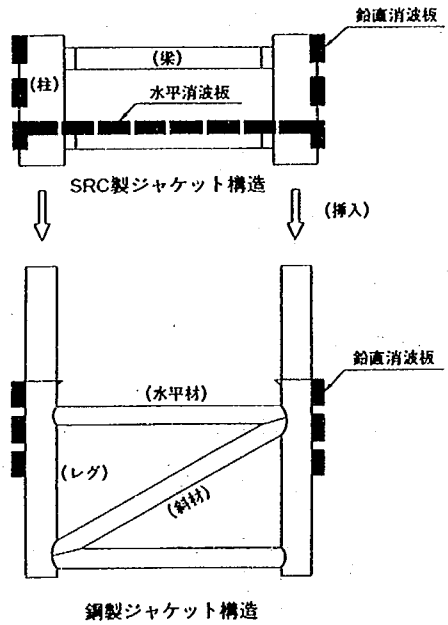


図－6．1．3．1　H型スリット板ジャケット式構造物の概要図

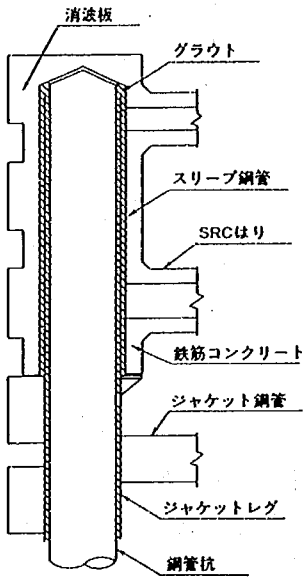
6．1．3．2　構造および諸元

SRC製ジャケット構造と鋼製ジャケット構造の接合部は、鋼製ジャケット構造のジャケットレグとSRC製ジャケット構造のスリーブ鋼管をグラウトで固定する構造である（図－6．1．3．2）。また、鋼管杭基礎と上部構造は、鋼製ジャケットのジャケットレグを貫通させた鋼管杭を、グラウトにより固定する（図－6．1．3．3）。ＳＲＣ製ジャケット構造には、柱部材に被覆型鋼管コンクリート、梁部材に鉄骨鉄筋コンクリートを用いている。柱部材の鋼管はスリーブ管として利用される。

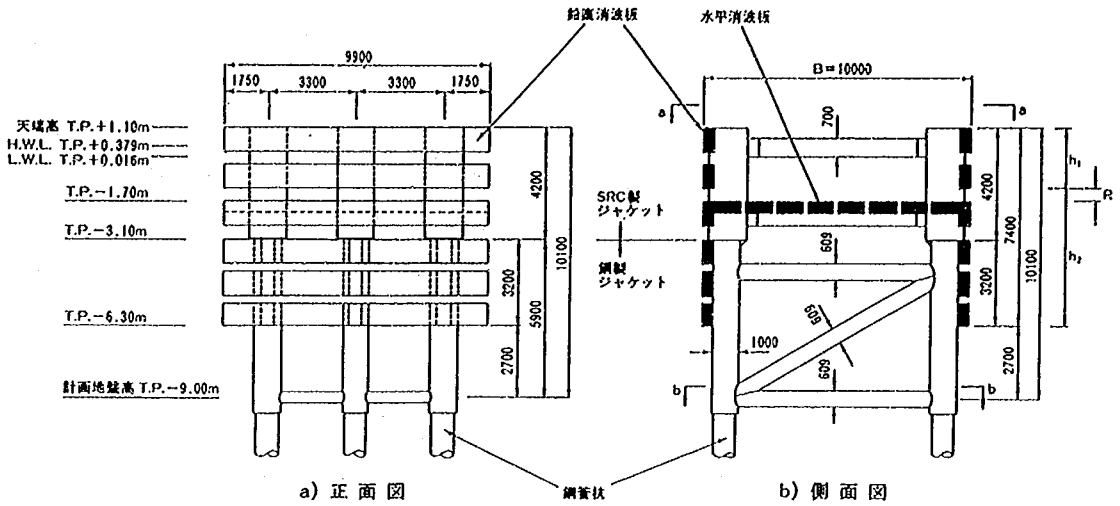
参考として試設計により得られた構造図を図－6．1．3．4に示す（建設省土木研究所，1988ａ）。このときの主な設計条件は表－6．1．3．1に示す通りである。



図－6．1．3．2　ジャケット構造



図－6．1．3．3　柱部材断面



消波構造諸元	記 号	値	備 考
鉛直板空隙率	ε_{v1}, ε_{v2}	0.2	
水平板空隙率	ε_p	0.1	
鉛直板きっ水比	h_2/h	0.7	
水平板設置水深比	R/h	0.2	
相対天端高	h_1/h	0.1	

図－6．1．3．4　構造諸元

表－6．1．3．1　試設計の設計条件

条件項目		条件値		
構造条件	設置地盤高	T.P.-9.0m		
自然条件	計画波浪	H_{max}=7.1m、T=10sec		
	地震震度	K_h=0.12		
	土質条件	標 高	平均N値	土質
		T.P.-9m～-32m	5	砂質土
		T.P.-32m～-39m	15	砂質土
		T.P.-39m～-52m	10	粘性土
		T.P.-52m～-62m	20	砂質土
消波性能		透過率$K_T \leqq 0.6$、反射率$K_R \leqq 0.5$		

6．1．3．3　設計荷重

(1)　荷重の種類および組合わせ

本編「3．1　荷重」に規定される設計荷重のうち主に考慮しなければならない荷重は、死荷重、波力、静水圧および浮力、地震の影響、流れおよび津波による荷重である。また、必要に応じて風荷重、衝突荷重、施工時荷重を考慮する。

(2)　死荷重

本編「3．1．2　死荷重」に準ずる。

(3)　波力

設計に用いる波力は、杭基礎およびジャケット構造の安定性の検討に用いる全波力と、消波板の設計に用いる部材波圧に分けられる。全波力および部材波圧は、入射波の特性、設置水深、海底勾配および構造物の諸元により変化する。したがって、設計に用いる波力は、原則として水理模型実験により求めるものとする。ここでは、参考として、水理模型実験（建設省土木研究所，1989ａ）より求められた波力特性を示す。水理模型実験の実験条件を表－6．1．3．2に示す。

表－6．1．3．2　実験条件

B/L	h/L	H/h	H/L	備考
0.064	0.064	0.480	0.031	重複波
		0.857～0.980	0.055～0.063	砕波
0.091	0.076	0.563	0.043	重複波
		0.930～1.016	0.070～0.077	砕波
0.110	0.092	0.477	0.044	重複波
		0.697～0.900	0.064～0.083	砕波
0.143	0.119	0.373	0.044	重複波
		0.630～0.757	0.075～0.090	砕波

※構造条件：ε_{v1}、ε_{v2}=0.2、ε_{p}=0.1、h_1/h =-0.1, 0.0, 0.1, 0.2, 1.1

h　：30cm

tanθ　：1/30

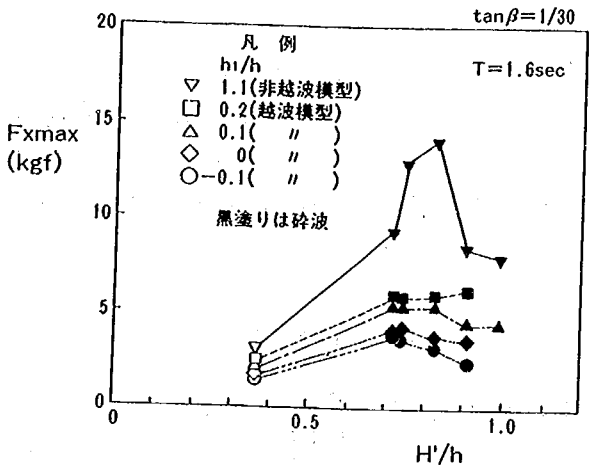
L　：水深30cmでの波長

H　：重複波の場合は模型前面位置での波高

砕波の場合は砕波波高

a） 全波力

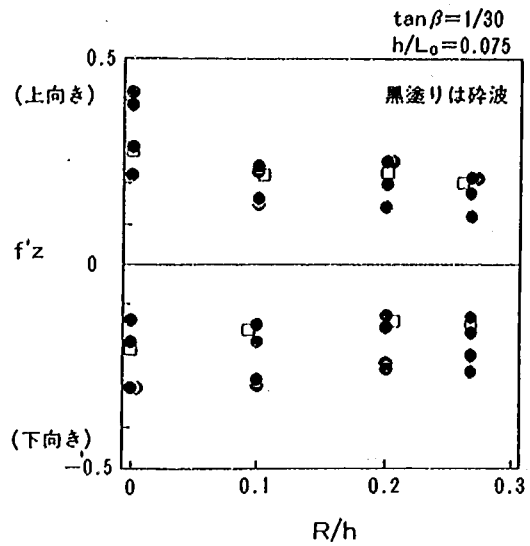
相対天端高h_1/hを変えた場合の水平全波力F_{xmax}と、仮想通過波高H'と水深の比H'／hの関係を図－6．1．3．5に示す。仮想通過波高の定義は谷本ら（1986）を参照されたい。非越波の場合、F_{xmax}はH'／h＝0.85で明瞭な最大値を示すのに対して、天端高が低く越波する場合のF_{xmax}はH'／hが変化してもあまり変化せず、波力の値も小さい。



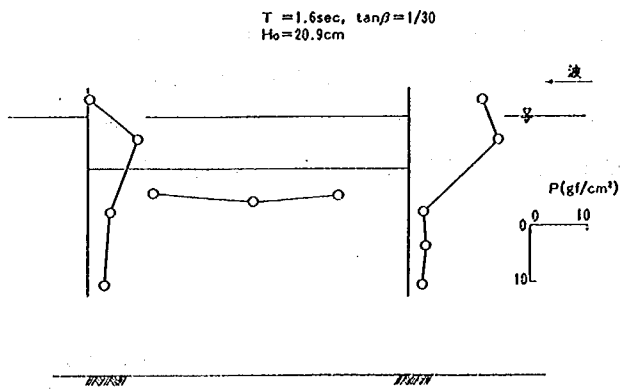
図－6．1．3．5 F_{xmax}とH'／hの関係
（R／h＝0.2，h／L＝0.064～0.119，H／L＝0.031～0.09）

次に、空隙を除いた水平板の面積A'と入射波高H_1で鉛直波力F_{zmax}を無次元化した無次元鉛直波力係数f'_z（$=F_{zmax}/(A'H_1)$）と、水平板きっ水深Rと水深hの比R／hとの関係を図－6．1．3．6に示す。f'_zは上向を正とし、上向と下向最大時の値を示した。上向最大時のf'_zは、水平板が静水面の高さに位置する条件で最大となり、R／h≦0.1ではほぼ同じ値となる。下向最大時のf'_zは、R／hにかかわらずほとんど一定である。

消波板に作用する波圧分布の代表例として、h_1/h＝0.1、R／h＝0.2の構造諸元について水平波力最大時の波圧分布を図－6．1．3．7に示す。これより鉛直スリットに作用する波圧は合田波圧（合田，1973）と類似した分布形となり、水平板に作用する波圧はほぼ一様に分布することがわかる。



図－6．1．3．6　f'zとR／hの関係
（h／h＝0.1，R／h＝0.2，h／L＝0.064～0.119，H／L＝0.031～0.09）



図－6．1．3．7　水平波力最大時の波圧分布（h₁／h＝0.1，R／h＝0.2）

次に、実験より求めた波力算定式を示す。ここでは、鉛直消波板に作用する波圧分布より合田波圧が準用できるものとみなし、合田波圧p_{GX}に低減係数λを乗じて波圧を求めることとした。合田波圧を積分して求めた水平全波力F_{GX}と測定水平波力との比$F_{xmax}／F_{GX}$を図－6．1．3．8に示す。低減係数λは$F_{xmax}／F_{GX}$の上限値としてλ＝0.85を与えればよいと考えられる。

岸沖の鉛直消波板について水平全波力の分担を調べるため、水平全波力最大時の沖側鉛直消波板の水平波力F_{xfmax}とF_{xmax}の比を図－6．1．3．9に示す。設計では作用荷重が大きくなる条件を採用するようにし、図より水平全波力は1／2が沖側に、残りの1／2が岸側に作用すると考える。

次に、入射波高H_Iの5倍沖側の地点における波高と水平板の面積によりF_{xmax}を無次元化して、無次

元鉛直波力係数 f_z を整理した。上向を正とし、上向と下向最大時の f_z と H'/h の関係を図－6.1.3.10に示す。図より、f_z は0.26とすればよいことがわかる。

以上より、全波力は、次式より求められる。

$$F_x = \lambda F_{GX} \qquad (6.1.3.1)$$

$$F_z = f_z \omega_0 H_D \qquad (6.1.3.2)$$

ここに、F_x ：水平波圧強度

F_z ：鉛直波圧強度

F_{GX}：合田波圧公式による波圧強度

H_D ：設計波高（構造物前面での波高 H_1 の5倍だけ沖側の地点における波高）

λ ：水平波圧の低減係数（＝0.85）

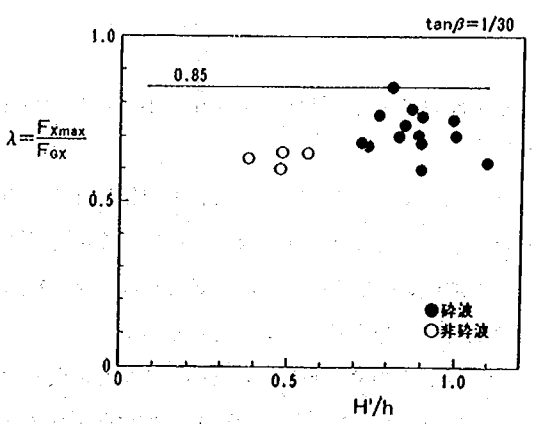
f_z ：鉛直波圧強度の係数（＝0.26）

ω_0 ：海水の単位体積重量

また、全体構造の設計に用いる水平全波力は、$F_x/2$ をそれぞれ沖側鉛直板と岸側鉛直板に作用させる。

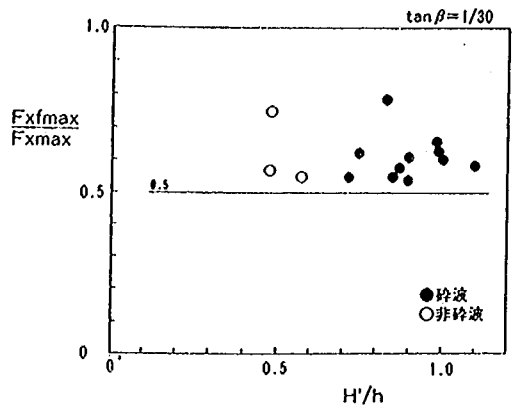
b） 部材波圧

部材波圧は合田波圧を λ で低減させた値とする。λ は水平全波力 F_{xmax} に対する沖側鉛直板の水平全波力 F_{x1max}、岸側鉛直板の水平全波力 F_{x2max} の比より求める。F_{x1max}/F_{xmax} と F_{x2max}/F_{xmax} を図－6.1.3.11に示す。部材設計ではそれぞれの最大値をとる方が望ましいので、沖側鉛直板では F_{xmax} の0.85倍、岸側鉛直板では F_{xmax} の0.60倍の波力が作用するものとする。これより、沖側鉛直板では λ ＝0.85、岸側鉛直板では λ ＝0.6として部材波圧を求める。また、水平板の設計には一様波圧分布を仮定して、F_z より鉛直波圧 p_z を算定する。



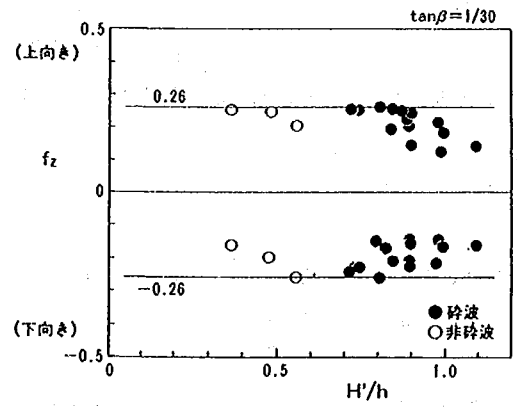
図－6.1.3.8 F_{xmax}/F_G と H'/h の関係

（h_1/h＝0.1, R/h＝0.2, h/L＝0.064～0.019, H/L＝0.031～0.09）



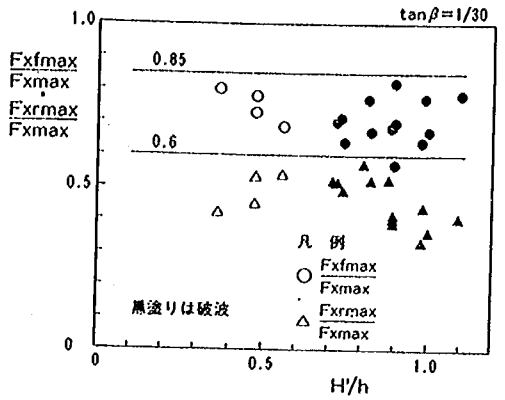
図－6．1．3．9　F_{xfmax}/F_{xmax}とH'／hの関係

（$h_1/h=0.1$，R／h＝0.2，h／L＝0.064～0.119，H／L＝0.031～0.09）



図－6．1．3．10　f_zとH'／hの関係

（$h_1/h=0.1$，R／h＝0.2，h／L＝0.064～0.119，H／L＝0.031～0.09）



図－6．1．3．11　F_{xfmax}/F_{xmax}，F_{xrmax}/F_{xmax}とH'/hの関係
（$h_1/h=0.1$，$R/h=0.2$，$h/L=0.064\sim0.119$，$H/L=0.031\sim0.09$）

c）海中のレグ部材に作用する波力

海中のレグ部材に作用する波力は、本編「3．1．3(4)c）海中部材に作用する波力」に準じて算出する。レグ部材の抗力係数C_D、質量係数C_Mは、それぞれ標準的な値として$C_D=1.0$、$C_M=2.0$を用いる。

(4) 静水圧および浮力

本編「3．1．4　静水圧および浮力」に準ずる。

(5) 地震の影響

本構造物の固有周期は0.2sec程度と短いことから、通常は本編「3．1．4　地震の影響」に準じて静的解析である震度法を用いて慣性力および動水圧を求める。

(6) 風荷重

天端が低いために通常は風荷重を考慮する必要はない。しかし、構造物上に通路，塔などの施設を設ける場合には本編「3．1．6　風荷重」に準じて風荷重を算出する。

(7) 流れおよび津波による荷重

本編「3．1．7　流れおよび津波による荷重」に準ずる。この場合、ジャケット部材の抗力係数C_Dは、標準的な値として1.0を用いる。消波板は長方形板と考えて、抗力係数C_Dには2.0を用いる。

(8) 衝突荷重

船舶の衝突の恐れがある場合には、本編「3．1．8　衝突荷重」に準じて衝突荷重を算出する。

(9) 施工時荷重

施工時荷重は、必要に応じて考慮する。施工時荷重としては、SRCジャケット吊り上げ時の死荷重、杭打ち時および杭と鋼製ジャケットの間の中詰めコンクリート打設前に作用する波力等がある。

6．1．3．4　構造解析および部材の設計

(1)　構造解析

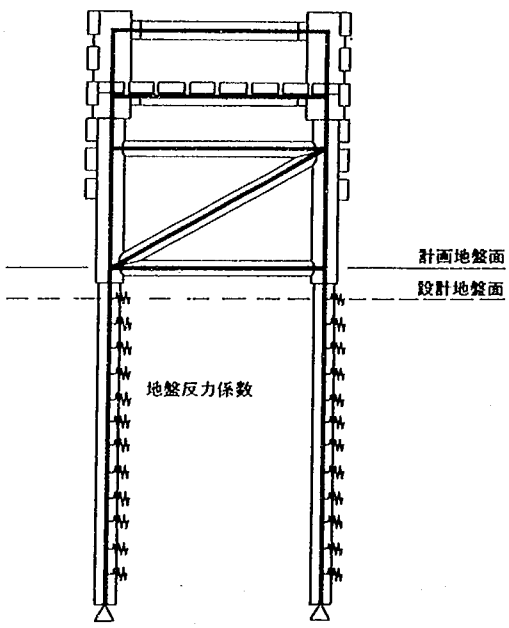
本構造物の構造解析は、ジャケット構造、杭および地盤を一体とした骨組解析により行い、本編「6．1．1(4)a）構造解析」に準ずる。このときの構造解析モデルを図－6．1．3．12に示す。解析上の仮定は次のとおりである。

①解析モデルの軸線は部材断面の図心を結ぶ線とし、ハンチの影響は考慮しない。

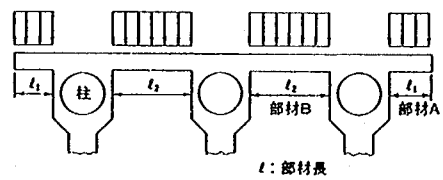
②SRC製ジャケット構造部材の断面２次モーメントは、鋼材の影響を考慮して部材のコンクリート全断面について計算する。

消波板の解析モデルを図－6．1．3．13に示す。部材設計荷重により消波板に生じる断面力は、ジャケット構造の梁・柱部材で固定された固定ばりとして算出する。なお、鉛直および水平消波板に円孔の空隙形状を採用する場合には、空隙間隔の最小幅をはり幅とする交差ばり部材として断面力を算出する。

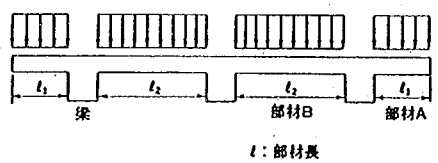
各部材について、構造解析法およびその時に主に支配的となる荷重を表－6．1．3．3にまとめて示す。



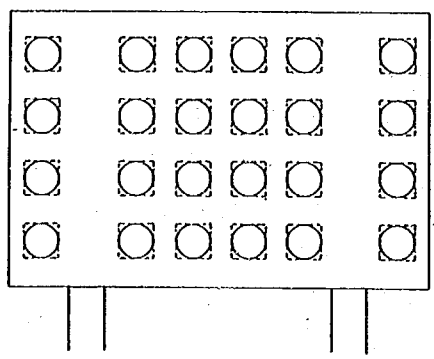
図－6．1．3．12　構造解析モデル



a)鉛直板（部材A：片持ち梁，部材B：両端固定梁）



b)水平板（部材A：片持ち梁，部材B：両端固定梁）



c)鉛直板（空隙形状が円孔の場合：交差ばり）

図－6．1．3．13　はり解析モデル

表－6．1．3．3　部材別構造解析法および主に支配的となる荷重

部　　材	解析法	主に支配的となる荷重
鋼製ジャケット	骨組解析	全波力
ＳＲＣ製ジャケット	骨組解析	同上
鉛直および水平消波板	はり解析	部材波圧
杭	骨組解析	全波力

(2)　部材の設計

部材の設計は、本編「6．1．1(4)b）部材の設計」に準ずる。

a）　鋼製ジャケット部材

本編「6．1．1(4)b）①ア）ジャケット部材および杭」に準ずる。

b）　鋼製ジャケット格点部

本編「6．1．1(4)b）①イ）ジャケット格点部」に準ずる。

c）　鉛直および水平消波板

本編「6．1．1(4)b）②　コンクリート部材」に準ずる。

d）　SRC製ジャケット

①終局限界状態

「コンクリート標準示方書設計編」（土木学会，1986）に従い照査を行う。

②使用限界状態

「コンクリート標準示方書設計編」（土木学会，1986）に従い照査を行う。

③疲労限界状態

「コンクリート標準示方書設計編」（土木学会，1986）に従い照査を行う。

e）　接合部

SRC製ジャケット構造と鋼製ジャケット構造の接合部は、鋼製ジャケット構造のジャケットレグとSRC製ジャケット構造のスリーブ鋼管をグラウトで固定する構造である。また、鋼管杭と上部構造との接合部は、鋼製ジャケット構造のジャケットレグと鋼管杭をグラウトで固定する構造である。これらのグラウトを用いた接合部に関する照査は本編「6．1．1(4)b）①ウ）杭とジャケット接合部」に準ずる。

6．1．3．5　安定照査

安定照査は、本編「6．1．1(5)　安定計算」に準ずる。

6．1．3．6　細部設計

(1)　鋼管部材の構造細目

本編「6．1．1(4)b）①エ）一般構造細目」による。

(2) 鉛直および水平消波板の構造細目

本編「6．1．1(4)b）②エ）一般構造細目」による。

(3) ＳＲＣ製ジャケットの構造細目

「コンクリート標準示方書設計編」（土木学会，1986）による。

6．1．4　スリットケーソン式構造物（有脚式）

6．1．4．1　一般

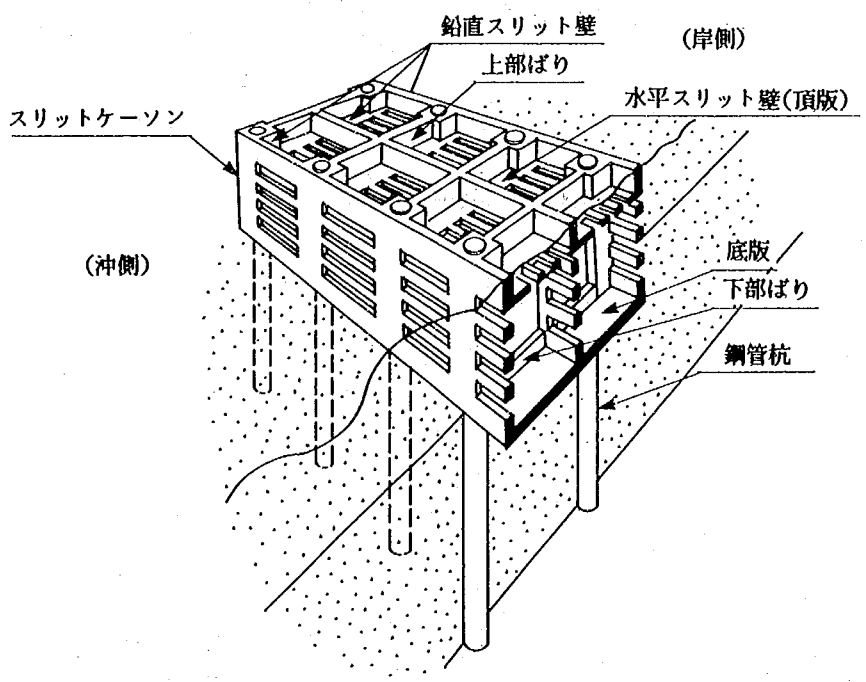
有脚式のスリットケーソン式構造物（有脚式の透過水平板付スリットケーソン式構造物）は、図－6．1．4．1に示すように前面、背面およびそれらの中間に鉛直スリット壁を有し、かつ水面付近に1枚の透過水平板を有するケーソン構造物である。本体ケーソンの固定方法には有脚式と重力式とがあるが、ここでは有脚式の構造設計を解説する。有脚式のスリットケーソン式構造物は以下の特徴を有する。

① 透過水平板付スリットケーソン型構造物は、鉄筋コンクリート構造の本体ケーソンと鋼管杭から成る。

② ケーソンの柱はガイド管のある鋼管コンクリート構造であり、本体ケーソンを支持する鋼管杭はケーソンの柱内部を貫通し地盤に打ち込まれる。したがって、柱は鋼管杭とガイド管による二重構造となっている。

③ 鋼管杭とケーソン本体は、その間隙に充填されるモルタルによって一体化される。

④ 本体ケーソンはその剛性が大きく剛体とみなせるため、構造解析においては上部剛体が杭により地盤に支持された構造（上部剛体杭式構造物）として取扱う。

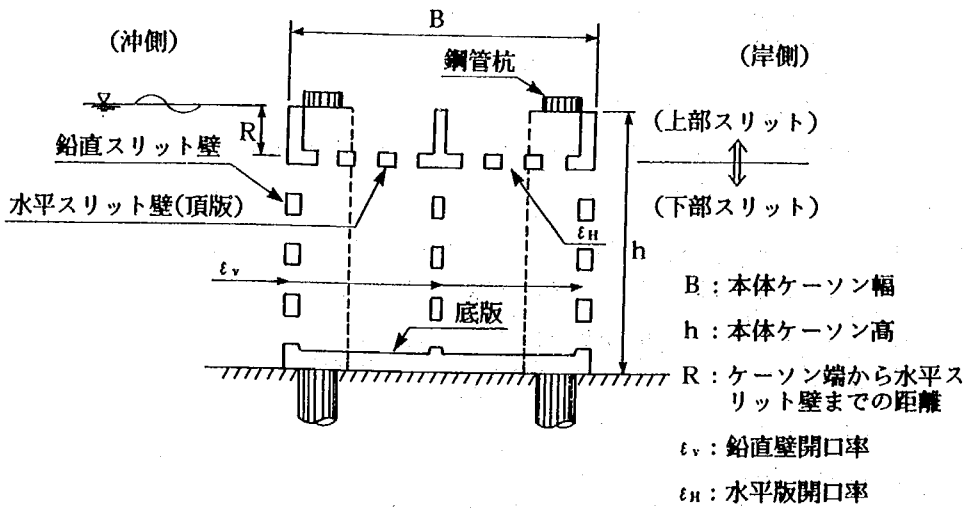


図－6．1．4．1　スリットケーソン式構造物（有脚式）の概要図

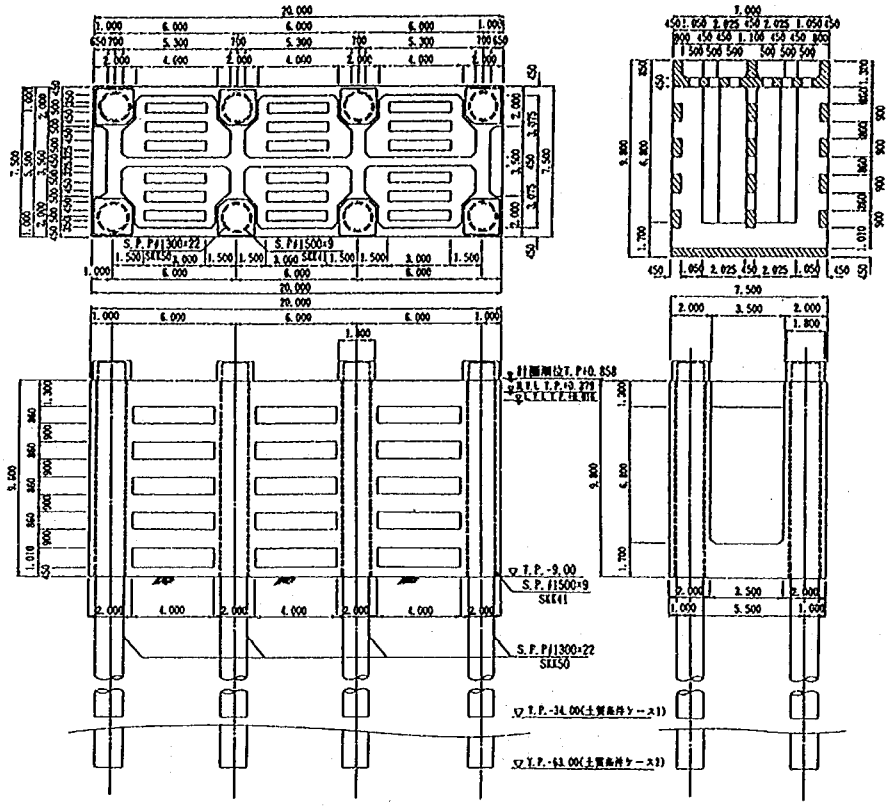
6．1．4．2　構造および諸元

本構造物は、鉄筋コンクリート構造の本体ケーソンと鋼管杭から成る。本体ケーソンは、底版と鉛直スリット壁、水平スリット壁（頂版）のほか、前列杭と後列杭を上部と下部とで連結し、全体の剛性を高める上部ばりおよび下部ばりから成る（図－6．1．4．1）。鉛直スリット壁は、前面、中間、後面スリット壁から成り、水平スリット壁を境としてスリット壁上部とスリット壁下部とに分けられる（図－6．1．4．2参照）。また、鋼管杭は本体ケーソンの柱内に設けられたガイド中に打ち込まれる。鋼管杭と本体ケーソンとの間隙にはモルタルグラウトが充填され、両者の一体化が図られる。

代表的な構造部材の名称を図－6．1．4．2に示す。参考として、試設計による構造図を図－6．4．1．3に示す。このときの主な設計条件を表－6．1．4．1に示す。



図－6．1．4．2　構造部材の名称



図－６．１．４．３　一般構造図

条件項目		条件値		
	設置地盤高	T.P.　-9.0m		
	天端高	T.P.　+0.858m		
自然条件	計画潮位	T.P.　+0.858m		
	計画波浪	Hmax=7.1m　T=10.0sec		
	地震震度	K_h=0.12		
	土質条件	標高	平均N値	土質
		T.P. -9～-32m	5	砂質土
		T.P. -32～-39m	15	砂質土
		T.P. -39～-52m	10	砂質土
		T.P. -52～-62m	20	砂質土
		T.P. -62～-69m	40	砂質土
消波性能		透過率　$K_T \leq 0.6$		

表－６．１．４．１　試設計での設計条件

6．1．4．3　設計荷重

(1)　荷重の種類

有脚式のスリットケーソン式構造物に作用する荷重には、本編「3．1荷重」に示される死荷重、波力、静水圧および浮力、地震の影響、流れおよび津波による荷重、施工時荷重を用いる。なお、必要に応じて風荷重、衝突荷重を考慮する。

(2)　死荷重

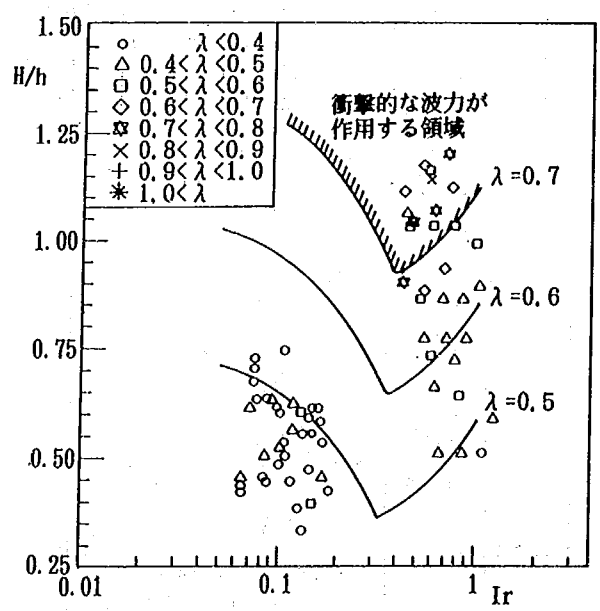
本編「3．1．2死荷重」に準ずる。

(3)　波力

波力は全波力と部材波圧とに分けて考える。

a）　全波力

全波力は安全照査に必要とされる。全波力は入射波の特性、設置水深、海底勾配および構造物の諸元により変化する。このため、設計に用いる波力は、水理模型実験等により求めることを原則とする。ここでは、以下に示すように、本構造物に作用する波圧を合田式により求まる波力強度に低減係数λを乗じて算定する方法を用いる。宇多ら（1989）は、水理模型実験の結果より図－6．1．4．4のようにλを示し、次の実験式を提案した。このときの水理模型実験の条件を表－6．1．4．2に示す。



図－6．1．4．4　λの算定図

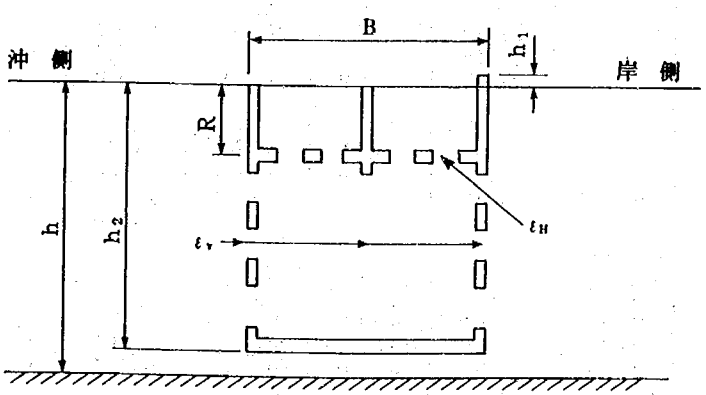
$$\lambda = \min\{\lambda_1,\ \lambda_2\} \qquad (6.1.4.1-1)$$

$$\lambda_1 = 0.25 + 0.32\,(H_1/h) + 0.40\,Ir \qquad (6.1.4.1-2)$$

$$\lambda_2 = 0.40 + 0.37\,(H_1/h) - 0.12\,Ir \qquad (6.1.4.1-3)$$

表－6．1．4．2　水理模型実験の範囲

			tanθ =1/10	tanθ =1/50
波浪条件	水深波長比	h/L	0.064～0.119	0.071～0.150
	波高水深比	H_I/h	0.520～1.093	0.409～0.950
	波形勾配	H_I/L	0.038～0.111	0.032～0.134
構造条件	天端高水深比	h_1/h	0.000～0.111	-0.091～0.111
	水平版没水深水深比	R/h	0.000～0.100	0.000～0.182
	堤体幅波長比	B/L	0.064～0.124	0.071～0.221
	水平版没水深波高比	R/H_I	0.000～0.192	0.000～0.444
	天端高波高比	h_1/H_I	0.000～0.192	-0.222～0.222
	鉛直壁開口率	ε_V	0.26	0.15,0.25,0.35
	水平版開口率	ε_H	0.16	0.10,0.15,0.30



ここに、

λ　：波力低減係数

H_I　：入射波高

I_R　：Surf similarity parameter　$I_r = \tan\theta / (H_0' / L_0)^{1/2}$

$\tan\theta$　：海底勾配

である。これより求められるλに合田式より求まる波力強度を乗じて、水平全波力および揚力を求める。また、本式で求まる揚力は水平全波力最大時における値である。

b） 部材波圧

部材波圧は、次式により算定する。

$$p = \alpha w_0 H \qquad (6.1.4.2)$$

ここに、

p ：部材波圧強度

α ：波圧係数

w_0 ：海水の単位体積重量

である。各部材の波圧係数αは水理模型実験等により求めることを原則とする。これまでに実施した水理模型実験（建設省土木研究所，1988b）により、最大波圧に関する波圧係数αは表－6.1.4.3のように求められている。なお、各部材の波圧分布は一様と仮定してよい。同表中におけるスリット上部とスリット下

表－6.1.4.3 部材波圧係数

a)正の波力方向に対する波圧係数（$\tan\theta = 1/50$）

水深＼部材	スリット上部（前面）	スリット上部（中間）	スリット上部（後面）	スリット下部（前面）	スリット下部（中間）	スリット下部（後面）	水平スリット	底版
h＝ 9m	0.95	0.84	0.93	0.40	0.28	0.36	0.28	0.28
h＝10m	0.78	0.63	0.67	0.33	0.22	0.32	0.31	0.31
h＝11m	0.42	0.30	0.42	0.28	0.22	0.37	0.32	0.32
設計用値	1.00	1.00	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

b)負の波力方向に対する波圧係数（$\tan\theta = 1/50$）

水深＼部材	スリット上部（前面）	スリット上部（中間）	スリット上部（後面）	スリット下部（前面）	スリット下部（中間）	スリット下部（後面）	水平スリット	底版
h＝ 9m	0.30	0.21	0.42	0.30	0.21	0.42	0.82	0.31
h＝10m	0.33	0.20	0.26	0.33	0.20	0.26	0.54	0.24
h＝11m	0.33	0.24	0.24	0.33	0.24	0.24	0.46	0.22
設計用値	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50

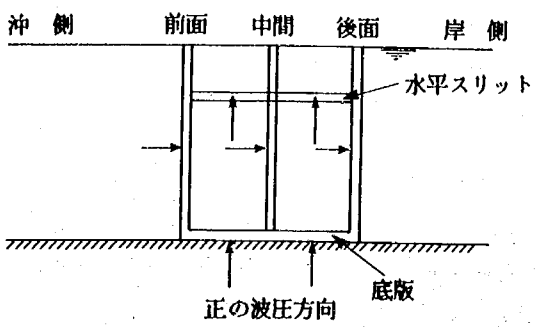
c)正の波力方向に対する波圧係数（$\tan\theta = 1/10$）

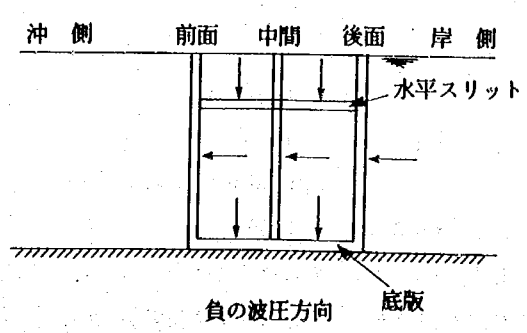
水深＼部材	スリット上部（前面）	スリット上部（中間）	スリット上部（後面）	スリット下部（前面）	スリット下部（中間）	スリット下部（後面）	水平スリット	底版
h＝ 9m	0.96	0.97	0.99	0.79	0.28	0.22	0.58	0.22
h＝10m	0.81	0.94	0.87	0.73	0.18	0.15	0.87	0.35
設計用値	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	0.50	1.00	0.50

d)負の波力方向に対する波圧係数（$\tan\theta = 1/10$）

水深＼部材	スリット上部（前面）	スリット上部（中間）	スリット上部（後面）	スリット下部（前面）	スリット下部（中間）	スリット下部（後面）	水平スリット	底版
h＝ 9m	0.17	0.13	0.09	0.16	0.13	0.09	0.33	0.41
h＝10m	0.11	0.13	0.07	0.22	0.14	0.11	0.21	0.39
設計用値	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

表中におけるスリット上部と下部は水平スリットを境界として区別する。





部とは、水平スリット位置を境界として区分している。

c） 海中部の杭に作用する波力

海中部の杭に作用する波力は本編「3．1．3(4)c）海中部材に作用する波力」に準じて算定する。なお、本構造物では、同式中における抗力係数C_Dは1.0、慣性力係数C_Mは2.0とすればよい。

(4) 静水圧および浮力

本編「3．1．4 静水圧および浮力」に準ずる。

(5) 地震の影響

本構造物の固有周期は、一般に1.0sec以下と考えられる。したがって、本編「3．1．5 地震の影響」に準じて震度法により設計する。

(6) 流れおよび津波による荷重

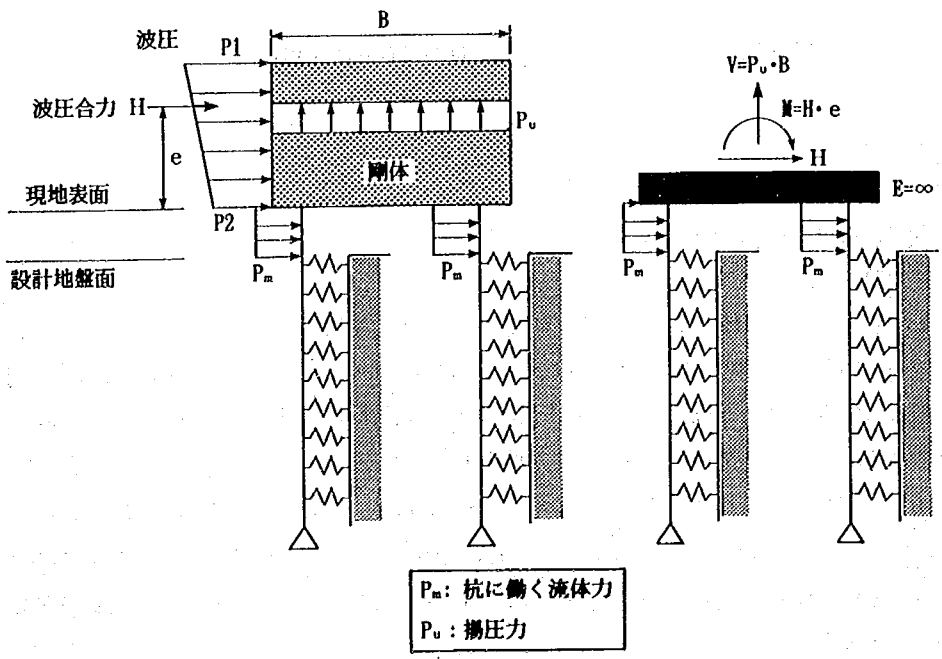
本編「3．1．6 流れおよび津波による荷重」に準ずる。

6．1．4．4 構造解析および部材の設計

(1) 構造解析

有脚式構造物の杭の横抵抗、曲げモーメントおよび軸力、せん断力などの算定は、上部構造と杭および地盤を一体とした弾性理論に基づく骨組構造解析により行う。なお、本構造物では上部構造である本体ケーソンの剛性が大きいことから、杭と上部構造との結合は剛結構造として解析する。

上部構造、杭および地盤を一体とした骨組解析モデルを図－6．1．4．5に示す。また、解析に当っては次の点に注意する必要がある。

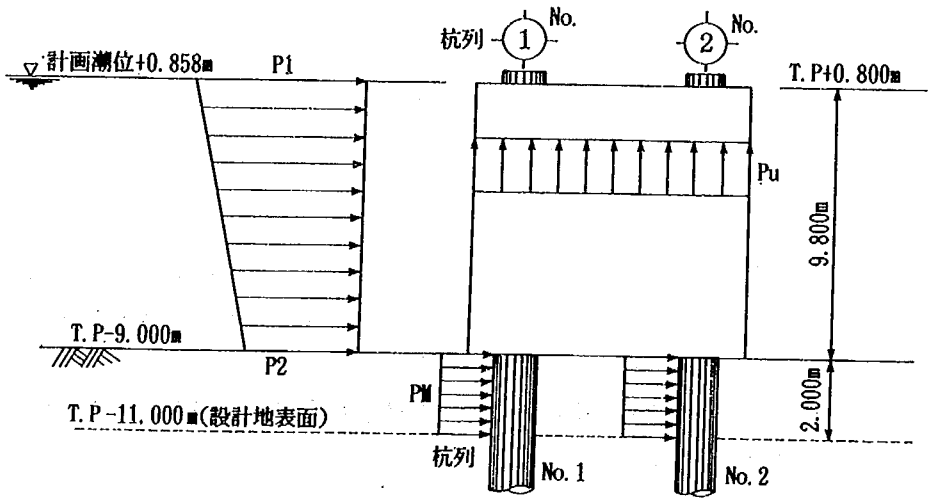


図－6．1．4．5 上部・杭・地盤を一体とした構造解析モデル

① 杭は棒部材にモデル化するが、計算に用いる定数（ヤング係数、断面積、断面２次モーメント等）は、仮定した材質や寸法等より適切に評価する。なお、杭の断面を決めるに際しては、腐食速度に基づいて腐食しろを考慮する必要がある。

② 杭のモデル化は、本編「６．１．１(4)ａ)構造解析」に準ずる。

③ 設置海底の洗堀が予想される場合には、現地盤面より洗掘深分だけ低下させた海底面を設計地盤面とする必要がある（図－６．１．４．６参照)。このとき、海中に露出した杭にも流体力を作用させる。洗掘深については本編「５．３．２　設計上の地盤面」を参照のこと。



図－６．１．４．６　仮想地表面（寸法は試設計時の例）

(2) 材料および材料の設計強度

コンクリートおよび鋼材の特性値は本編「第４章　材料」に準ずる。また、材料の設計強度は、本編「６．１．１(3) 材料の設計強度」に準ずる。

(3) 限界状態の照査方法

各限界状態で照査を行う部材とその時に主に支配的となる外力を表－６．１．４．４に示す。ここで、鉛直スリット壁の上部と下部は図－６．１．４．２に示すように水平スリット壁（頂版）を境として区分する。

各限界状態に対する検討は、鉄筋コンクリート部材である鉛直スリット壁、水平スリット壁、底版、上部ばりおよび下部ばりについては本編「６．１．１(4)ｂ）②コンクリート部材」に、杭については本編「６．１．１(4)ｂ）①鋼部材」に準じて行う。なお、表－６．１．４．３の部材波圧係数に示すように、各部材に対して波圧は波の進行方向（正の方向）だけでなくその逆方向（負の方向）からも作用するので、正負両方向からの繰り返し荷重作用に対する疲労限界状態に対して安全となるように設計する必要がある。

(4) 部材の設計モデル

ａ） 鉛直スリット壁下部

表－6．1．4．4　照査する部材と支配外力

検討部材名	材料の種類	検討する限界状態	支配外力
鉛直スリット壁下部	RC	終局／使用／疲労の各限界状態	部材波圧
鉛直スリット壁上部	RC	同　上	同　上
水平スリット壁（頂版）	RC	同　上	同　上
底版	RC	同　上	同　上
上部ばり	RC	同　上	同　上
下部ばり	RC	同　上	全波力
杭	鋼管	同　上	同　上
柱	鋼管コンクリート	使用／疲労	同　上

鉛直スリット壁下部の設計では、両側の柱部材で支持された両端固定ばりとして、一様に作用する波力による曲げモーメントおよびせん断力に関する検討を行う。計算に用いるスパンは杭の中心間隔とする。部材に作用する部材波圧強度pは式（6．1．4．2）より算出する。検討モデルを図－6．1．4．7に示す。

b）鉛直スリット壁上部

前面・後面および中間の鉛直スリット壁上部は三辺固定一辺自由な版とし、一様に作用する波力による曲げモーメントおよびせん断力に関する検討を行う。ただし、辺長比（L_x/L_y）が0.4以下の場合には一方向版とみなし、単位幅を有する片持ちばりとして解析する。検討モデルを図－6．1．4．8に示す。計算に用いるスパンは部材中心間隔を用いる。また、部材波圧強度pは式（6．1．4．2）より求める。

c）水平スリット壁（頂版）

水平スリット壁は両端固定ばりとし、一様に作用する波力による曲げモーメントおよびせん断力に関する検討を行う。計算に用いるスパンは図－6．1．4．9に示すように上部ばりの中心間隔とする。また、部材波圧強度pは式（6．1．4．2）より求める。

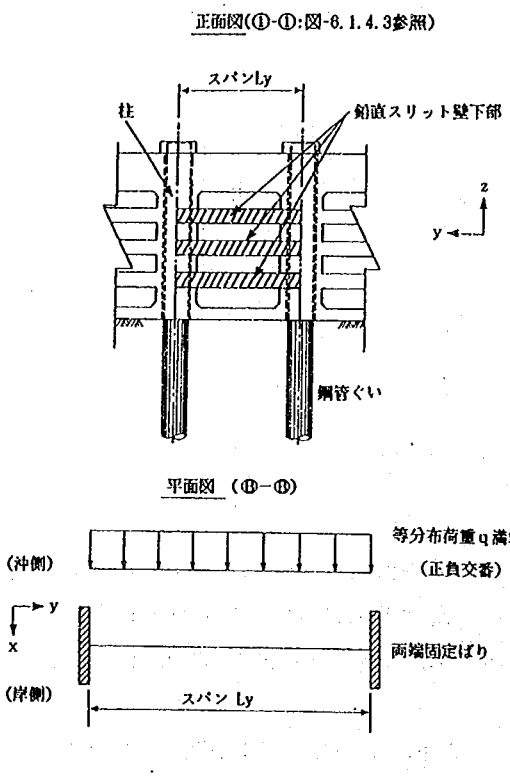
d）底版

底版は四辺固定版とし、一様に作用する波力による曲げモーメントおよびせん断力に関する検討を行う。計算に用いるスパンは図－6．1．4．10に示すように、底版を取り囲む壁部材の中心間隔とする。また、部材波圧強度pは式（6．1．4．2）より求める。

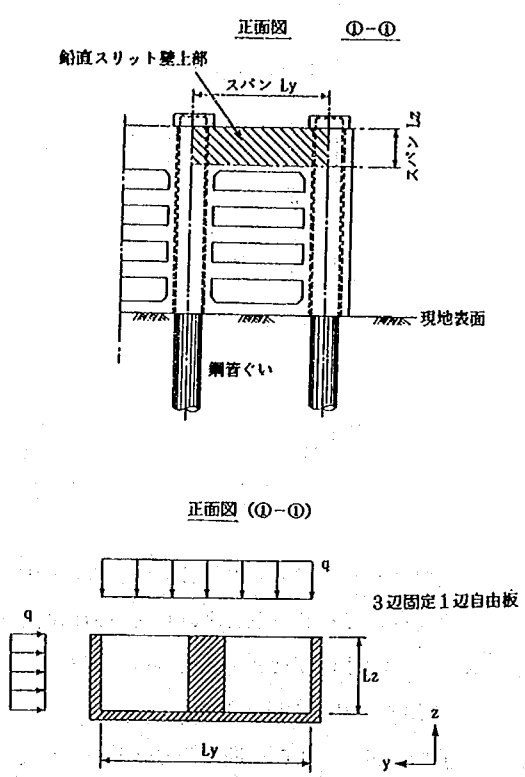
e）上部ばり

上部ばりに生じる断面力は、水平スリット壁（頂版）に作用する鉛直方向の波力を上部ばりが受け持つものとして求める。計算に用いるスパンは図－6．1．4．11に示すように、上部ばり両端の鉛直スリット

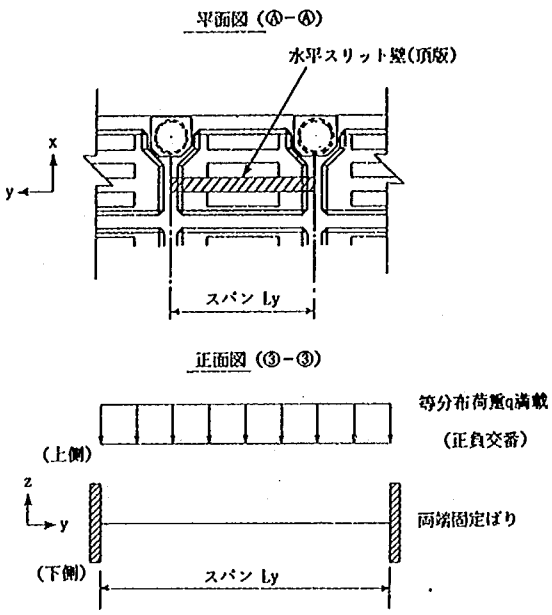
壁（上部）の部材中心間距離とする。なお、水平スリット壁から上部ばりに伝達される荷重面積は同図中の斜線部とする。また、上部ばりに伝達される鉛直荷重の算出においては、荷重分担面積内にある水平スリット壁の空隙は無視し、全面積分の荷重が作用すると考えてよい。



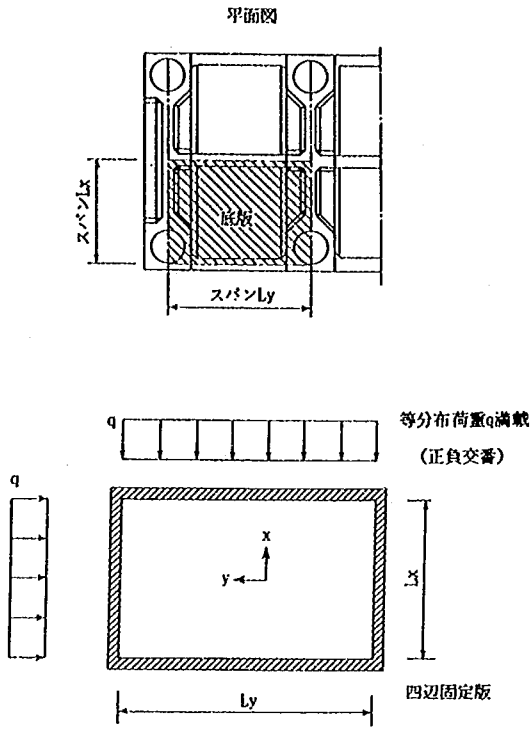
図－6．1．4．7　鉛直スリット壁下部の検討モデル



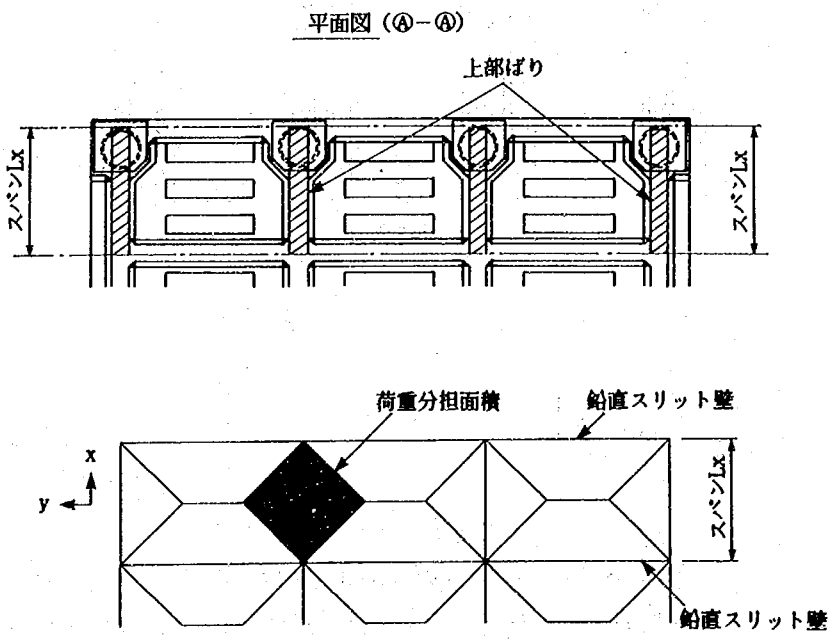
図－6．1．4．8　鉛直スリット壁上部検討モデル



図－6．1．4．9　水平スリット壁検討モデル



図－6．1．4．10　底版検討モデル



図－6．1．4．11　上部ばり検討モデル

f） 下部ばり

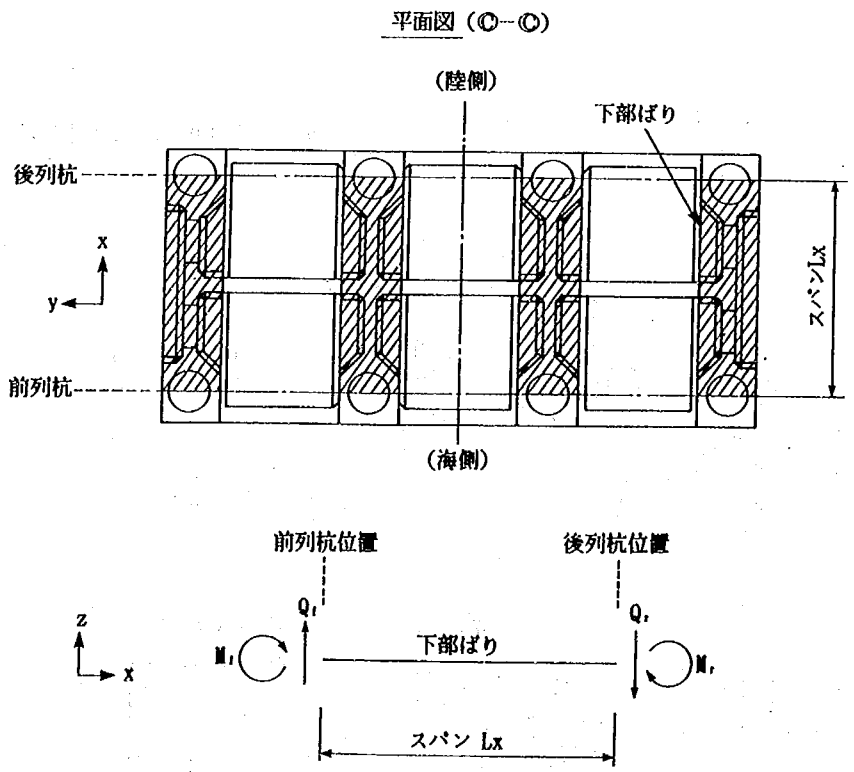
下部ばりに生じる断面力は、本体ケーソンを剛体とした骨組み構造解析により求める。下部ばりは杭から伝達される曲げモーメントおよびせん断力を受けるはりとして設計する。計算に用いるスパンは図－6．1．4．12に示すように、杭の中心間距離とする。

g） 杭

杭に生じる断面力は、全波力および地震力の作用時に本体ケーソンを剛体とした骨組み構造解析により求める。断面応力の検討は曲げモーメント、軸力およびせん断力に対して行う。この時、曲げモーメントと軸力とによる垂直応力は、両者を同時に受ける杭として計算する。

h） 柱

柱に生じる断面力には、本体ケーソンを剛体とした骨組構造解析によって得られた上部剛体（本体ケーソン）と杭との結合部における断面力を用いる。この場合、図－6．1．4．13に示すように柱は内部のガイド管（鋼管）および鋼管杭をコンクリートで覆った被覆型の鋼管コンクリート構造として取り扱うことができる。

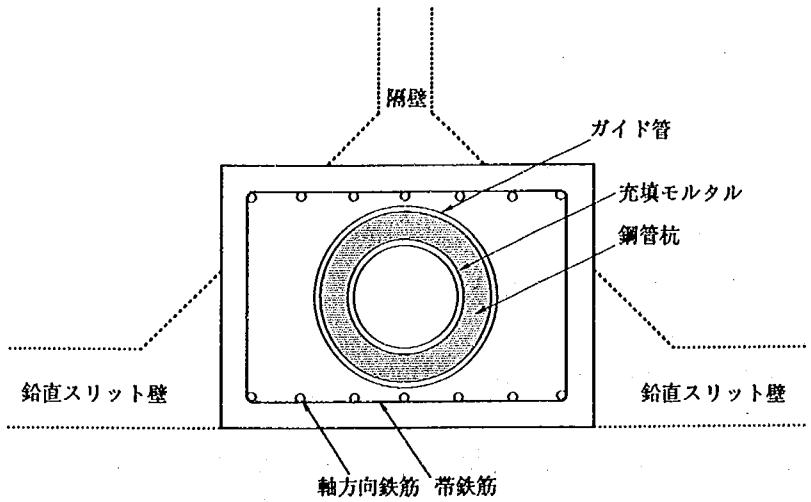


M_1, M_2：前列および後列杭より伝達される曲げモーメント

Q_1, Q_2：前列および後列杭より伝達されるせん断力

図－6．1．4．12 下部ばり検討モデル

柱は鋼管杭の周囲をコンクリートで被覆した構造であるため、その終局耐力は鋼管杭に比べて十分大きい。したがって、鋼管杭について終局限界状態に対する検討を実施すれば、柱についての終局限界状態に対する検討を実施する必要はない。そこで、杭については使用限界状態および疲労限界状態に対する検討を行う。



図－6．1．4．13　柱の構造

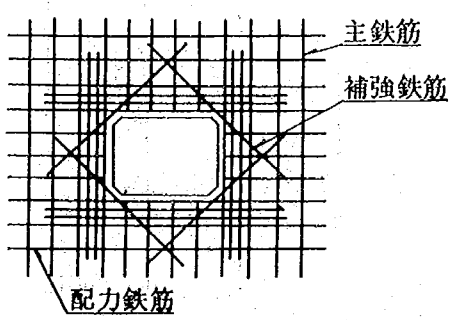
6．1．4．5　安定照査

本編「6．1．1(5)　安定計算」に準ずる。

6．1．4．6　細部設計

(1)　鉄筋コンクリート部材の構造細目

本編「6．1．1(4)b）　①エ）一般構造細目」に準ずる。なお、スリット壁の開口部の周辺には、応力集中その他によるひびわれに対して、補強のために、図－6．1．4．14のように鉄筋を配置しなければならない。



図－6．1．4．14　開口部付近の用心鉄筋の配置例

(2) 杭と上部本体との結合部

杭と上部本体との結合部は剛結構造と考えられるので、曲げモーメント、せん断力、軸力の全てに抵抗できるように設計しなければならない。剛結された杭と上部本体との結合部は、断面急変部であり応力集中が考えられるので、杭の破壊に対して十分補強しなければならない。

杭の上部本体への必要埋込み長 ℓ は次式で表すことができる（「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（日本港湾協会，1989）参照)。

$$\ell_b = \sqrt{\frac{6M}{B f'_{bd}}} \qquad (6.1.4.3)$$

ℓ_b ：必要埋込み長（cm）

M ：杭から伝達される曲げモーメント（kgf・cm）

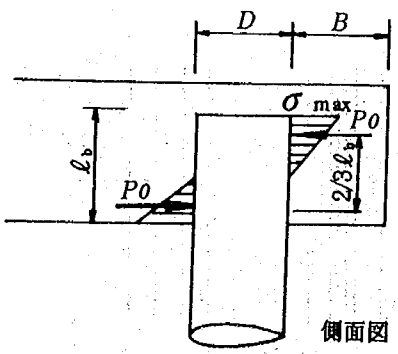
B ：杭幅または杭の直径（cm）

f'_{bd} ：本体コンクリートの支圧強度（kgf／cm²）

本体構造物では一般に杭上端が上部本体の上端まで埋込まれており、その埋込み長は上式で得られる必要埋込み長より十分大きい。しかし、ここでは安全を考慮して、杭は上式で得られる必要埋込み長だけ埋込まれているものとして支圧応力を検討する。この場合、杭の水平力による支圧応力と曲げモーメントによる支圧応力を合成して検討する必要がある。

また、図－6.1.4.15に示す杭の側面のコンクリート厚Bが十分でないとコンクリートがはげ落ちてしまい、支圧応力に耐えることができなくなる。したがって、十分なコンクリート厚を確保するとともに、杭の周囲を帯鉄筋あるいはらせん鉄筋で補強することが必要である。

また、杭S本体ケーソンとの間に充填されたモルタルとの付着に対する安全性の検討は、本編「6.1.1(5)b） ① ウ）杭とジャケット接合部」に準ずる。



図－6.1.4.15 杭頭の支圧の応力

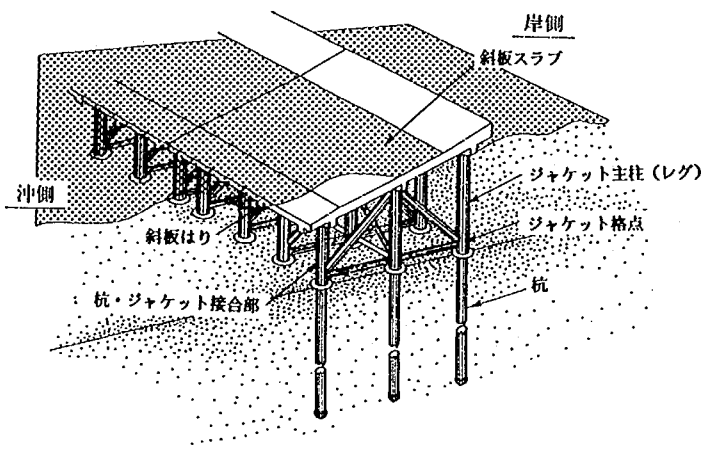
(3) 杭の構造細目

本編「6．1．1(4)b） ① エ）一般構造細目」に準ずる。

6．1．5 斜板ジャケット式構造物

6．1．5．1 一般

斜板ジャケット式構造物（斜板堤）は図－6．1．5．1に示すように、板・はりからなる斜板と鋼製ジャケットを組合わせた堤体を、ジャケット主柱（レグ）を通した杭により固定する有脚式構造物である。したがって、地中部は通常の杭基礎として、海中および海上部は杭とジャケットが一体化した骨組（ラーメン）構造物として設計する。また、斜板部材は板として設計する。



図－6．1．5．1 斜板ジャケット式構造物の概要図

6．1．5．2 構造および諸元

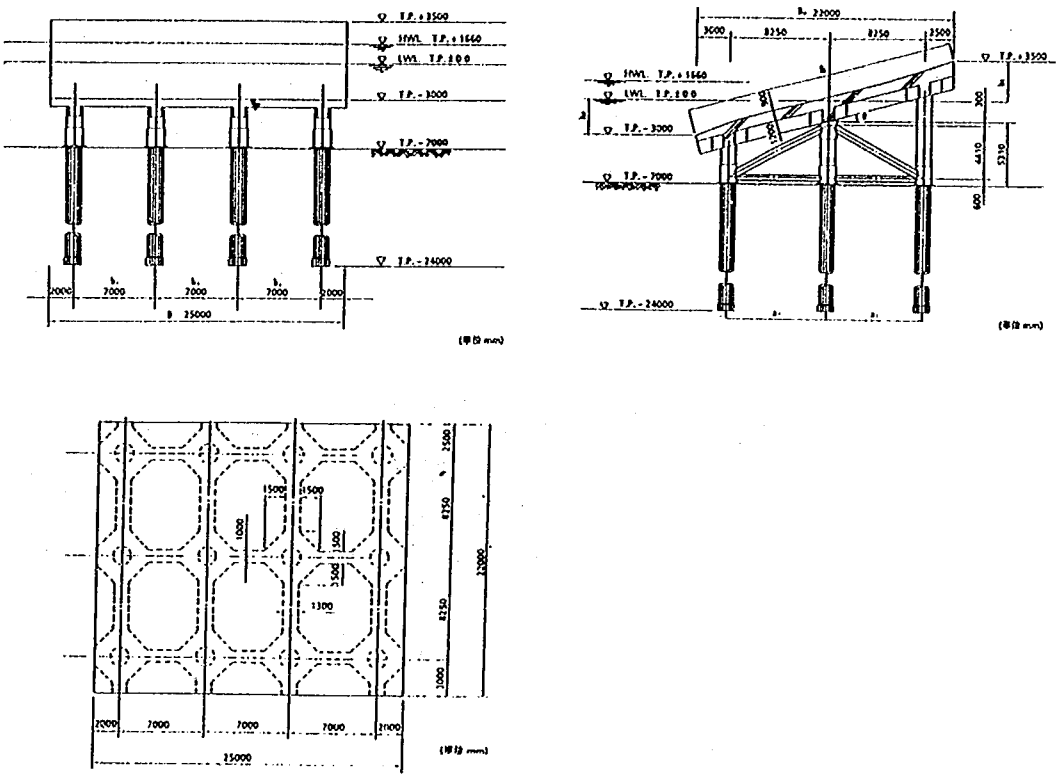
本構造物の諸元を以下に示す。また、斜板ジャケット式構造物の構造を図－6．1．5．2に示す。

- 堤体幅 （B_0）：斜板堤岸沖方向の最外縁の水平寸法
- 斜板長 （ℓ_s）：斜板の傾斜に沿った幅
- 斜板傾斜角（θ）：静水面と斜板との角度
- 堤体長 （D）：1ブロックの斜板長さ
- 天端高 （h_1）：静水面から斜板最上部までの高さ
- 没水深 （h_2）：静水面から斜板没水部最下部までの深さ
- 没水比 （h_2/h）：没水比（h_2）と水深（h）との比
- ジャケット主柱堤体幅方向間隔（a_1）：ジャケット主柱の堤体幅方向間隔
- ジャケット主柱堤体長方向間隔（b_1）：ジャケット主柱の堤体長方向間隔

これらのうち、堤体幅、斜板傾斜角、天端高、および没水深は機能面より、堤体長は主として施工性から

決定される。

参考として試設計（建設省土木研究所，1989ｂ）により得られた構造寸法を図－６．１．５．２に示す。このときの主な設計条件は表－６．１．５．１に示すとおりである。



図－６．１．５．２　構造一般図

表－６．１．５．１　試設計の主な設計条件

条件項目		条件値
構造条件	設置地盤高	T.P. － 7.0 m
自然条件	計画波浪	H_{max} = 7.56 m, T = 14 sec
	地震震度	―――
	土質条件	砂質土 T.P.-7.0m～-21.0mでN=25～45 T.P.-21.0m以深でN=50
消波性能		透過率≦ 0.6 、反射率≦ 0.5

6．1．5．3　設計荷重

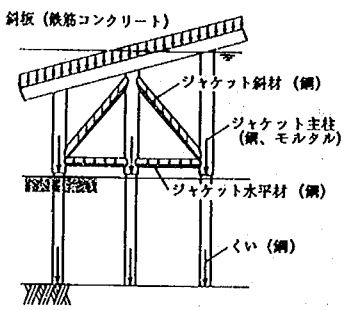
(1)　設計荷重の種類

設計荷重として本編「3．1　荷重」のうち主に考慮しなければならない荷重は、死荷重、波力、静水圧および浮力、地震の影響、流れおよび津波による荷重、施工時荷重である。また、必要に応じて風荷重、衝突荷重を考慮する。

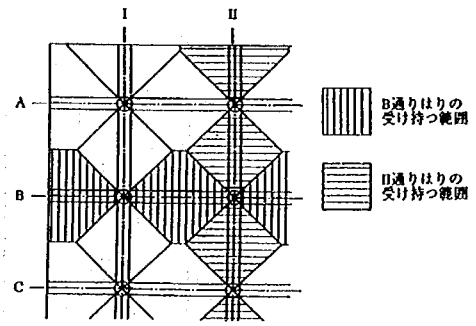
(2)　死荷重

斜板堤の死荷重は、鉄筋コンクリート製斜板、これを支える鋼製ジャケット（レグ、斜材、水平材）およびこれら全体を地盤に支持する鋼管杭、鋼管杭とジャケットとの間に充填されるセメントモルタルの自重からなる。死荷重の算定に用いる各材料の単位体積重量は本編「3．1．2　死荷重」に準ずる。

死荷重の作用状況図を図－6．1．5．3に示す。ジャケット、はりの安全性を検討するとき、はりの受け持つ斜板スラブの自重は斜板はりの交点から描いた2等分線およびはりに平行な直線から作られる台形または三角形の部分の荷重としてよい（図－6．1．5．4）。



図－6．1．5．3　死荷重の作用状況図



図－6．1．5．4　はり作用荷重の取り方

(3)　波力

斜板堤の設計に用いる波力は、斜板に作用する波力とジャケット部および杭に作用する波力とに分けられる。斜板、ジャケット部材の設計および安定計算に用いる波力は次のとおりである。

①斜板の設計

斜板に作用する波圧（p_1, p_2）　……図－6．1．5．5 a）参照

②ジャケット部材の設計および安定計算

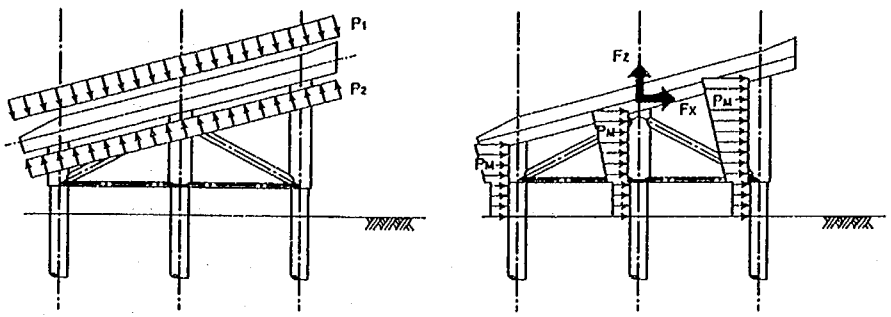
斜板に作用する全波力（F_x, F_z）とジャケットおよび杭に作用する波圧（p_M）

……図－6．1．5．5 b）参照

ア）　斜板に作用する部材波圧と全波力

斜板に作用する部材波圧と全波力は、波浪の特性、設置水深、海底勾配および構造物の諸元により変化する。したがって、設計に用いる波力は、原則として水理模型実験により求めるものとする。ここでは参考として水理模型実験（建設省土木研究所，1989 b ；1990 a）による波力特性を示す。実験条件を表－

6．1．5．2に示す。



a）　斜板波圧　　b）斜板波力とジャケット・杭波圧

図－6．1．5．5　波力の作用状況図

表－6．1．5．2　実験範囲

項　　目	範　　囲
H_1/h	0.050～1.693
H_1/L	0.011～0.116
B_0/L	0.133～0.654
$(h_1+h_2)/h$	0.325～1.057
h_1/h	0.055～0.657
h_2/h	0.200～0.618
$h_1/(h_1+h_2)$	0.081～0.622
h_1/H_1	0.051～3.500
h_2/H_1	0.350～6.000
$(h_1+h_2)/H_1$	0.624～8.500
斜板傾斜角	15°

i）斜板に作用する全波力（F_x，F_z）

次式により水平全波力F_xと鉛直全波力F_z

$$f_x=\frac{2F_x}{w_0h_0DH_1}\qquad f_z=\frac{2F_z}{w_0B_0DH_1}$$

のように無次元化し、無次元化波力とB_0/Lとの関係を整理した（図－6．1．5．6～6．1．5．9）。ここで、h_0：h_1+h_2（m）、w_0：水の単位体積重量（tf／m³）である。またf_xは岸向、f_zは上向を正とす

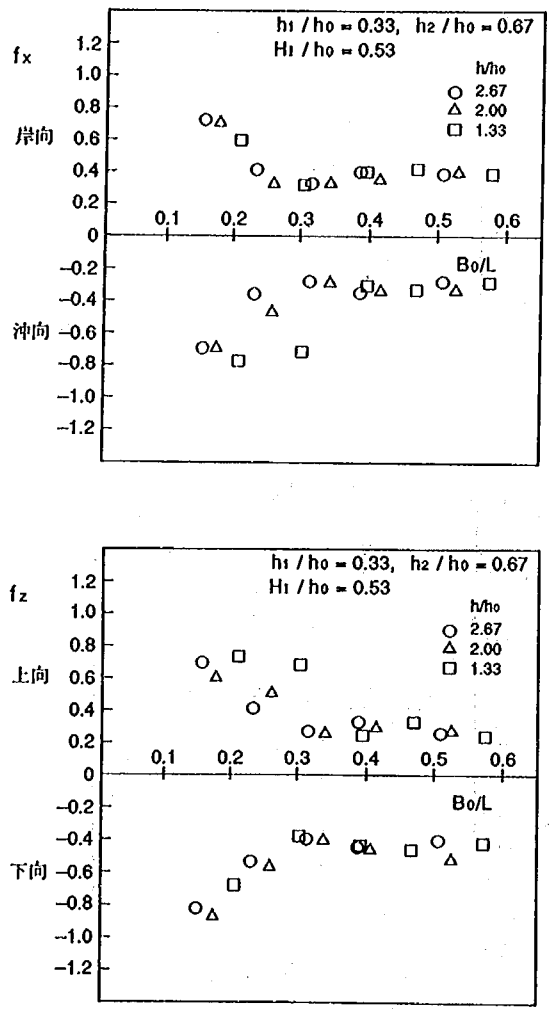
る。

非砕波の波が作用する条件では、f_X、f_zに及ぼす水深の影響は小さい（図－6．1．5．6）。次に、非砕波の波が作用する条件で、斜板寸法別にf_X、f_zとB_0/Lとの関係を図－6．1．5．7、図－6．1．5．8に示す。h_1/h_0が大きくなるに従いf_X、f_zともその絶対値が小さくなる傾向にある。また、斜板の寸法に関わりなくf_Xとf_zは$B_0/L=0.3$付近を境として$B_0/L>0.3$ではほぼ一定値をとり、$B_0/L<0.3$ではB_0/Lが小さくなるに従いその絶対値が大きくなる傾向にある。

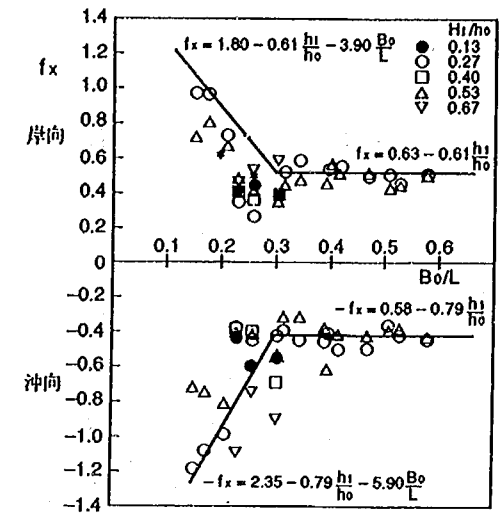
砕波した波が作用する条件で、f_Xとf_zとB_0/LとH_1/h_0により整理した結果を図－6．1．5．9に示す。岸向のf_Xと下向のf_zは、B_0/L、H_1/h_0とは無関係に一定となり、沖向のf_Xと上向のf_zはB_0/Lが大きくなるに従い、直線的に減少する傾向にある。

ii） 斜板の部材波圧

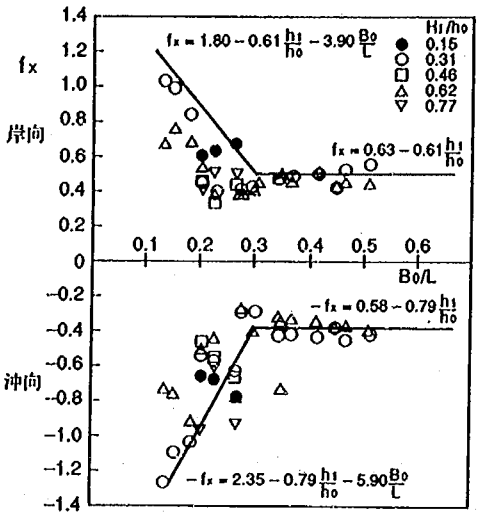
斜板に作用する最大波圧強度pをw_0H_1で無次元化して図－6．1．5．10に示す。図中斜板沖端から岸向距離をxとしている。斜板に作用する波圧は、天端高、没水深により大きな影響は受けず、水面付近で最大値をとる。次に、$2p/w_0H_1$とB_0/Lとの関係を図－6．1．5．11に示す。各測定点とも$B_0/L=0.25\sim0.35$で最大値をとり、その値は上面波圧で$2p/w_0H_1=2.9$、下面波圧で$2p/w_0H_1=1.9$となっている。設計波圧として上面波圧、下面波圧ともにこの最大波圧を等分布に作用させれば十分安全な構造とすることができる。



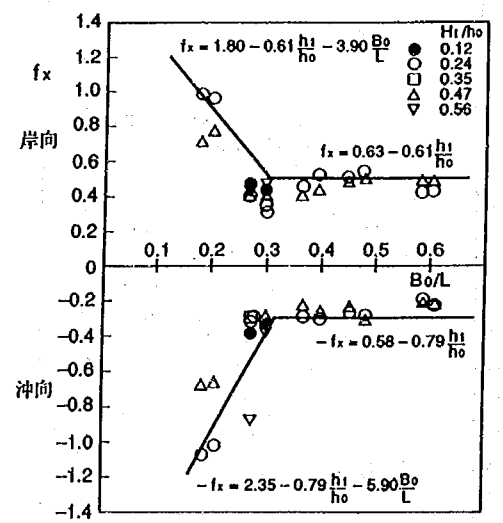
図－6．1．5．6　水深が無次元波力に及ぼす影響



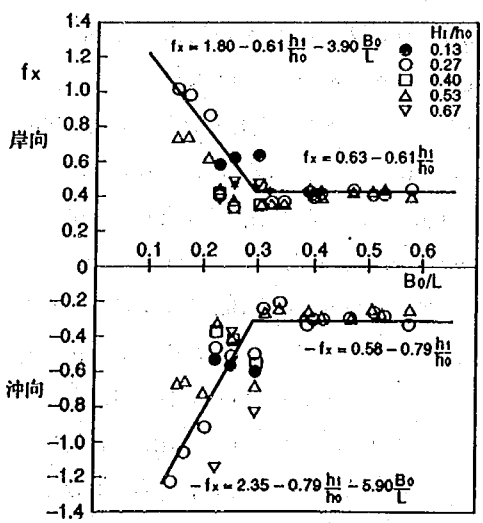
(a) $h_1/h_0 = 0.20$, $h_2/h_0 = 0.80$ (＊は$h_1/h_0 = 0.08$のデータ)



(b) $h_1/h_0 = 0.23$, $h_2/h_0 = 0.77$

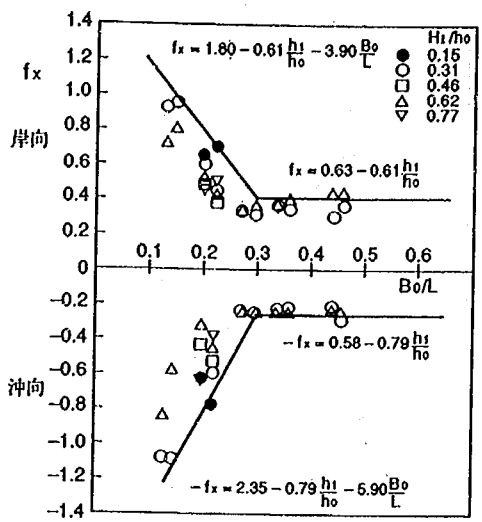


(c) $h_1/h_0 = 0.29$, $h_2/h_0 = 0.71$

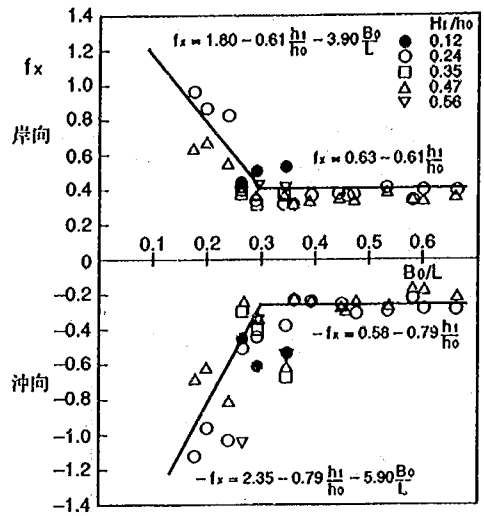


(d) $h_1/h_0 = 0.33$, $h_2/h_0 = 0.67$ (＊は$h_1/h_0 = 0.35$のデータ)

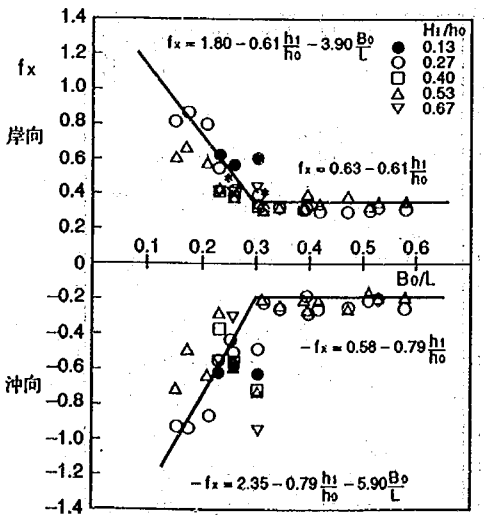
図－6．1．5．7　無次元水平波力に対する波高の影響（その1）



(e) $h_1 / h_0 = 0.38$, $h_2 / h_0 = 0.62$

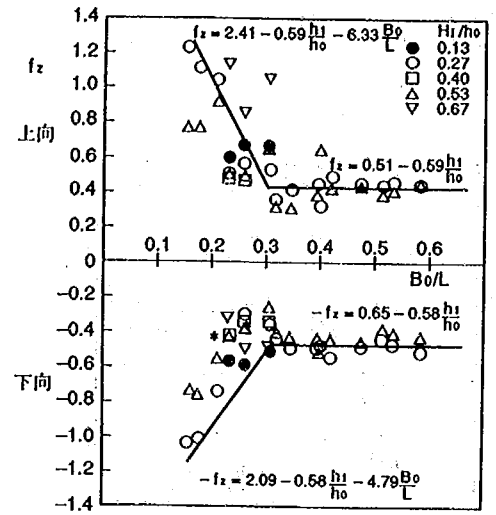


(f) $h_1 / h_0 = 0.41$, $h_2 / h_0 = 0.59$

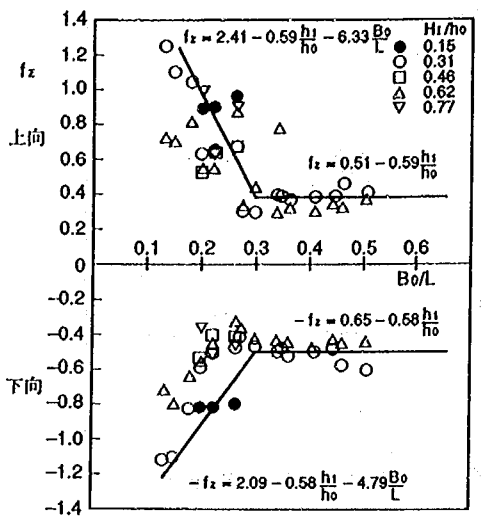


(g) $h_1 / h_0 = 0.47$, $h_2 / h_0 = 0.53$ （＊は $h_1 / h_0 = 0.62$ のデータ）

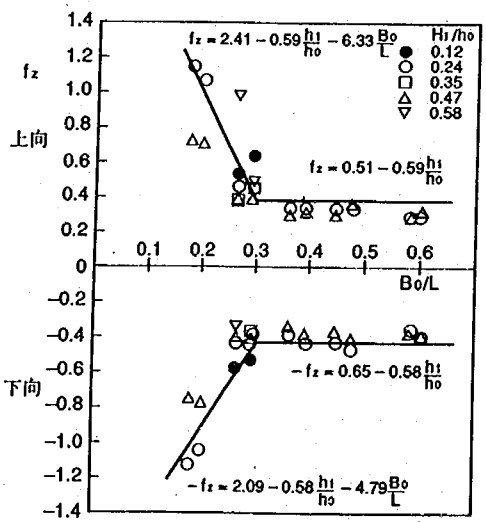
図－６．１．５．７　無次元水平波力に対する波高の影響（その２）



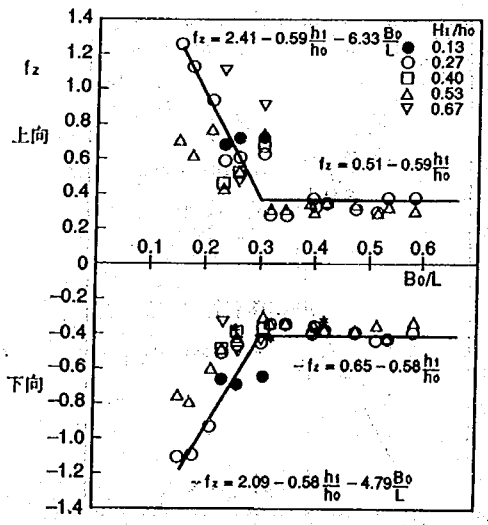
(a) $h_1/h_0 = 0.20$, $h_2/h_0 = 0.80$ (＊は$h_1/h_0 = 0.08$のデータ)



(b) $h_1/h_0 = 0.23$, $h_2/h_0 = 0.77$

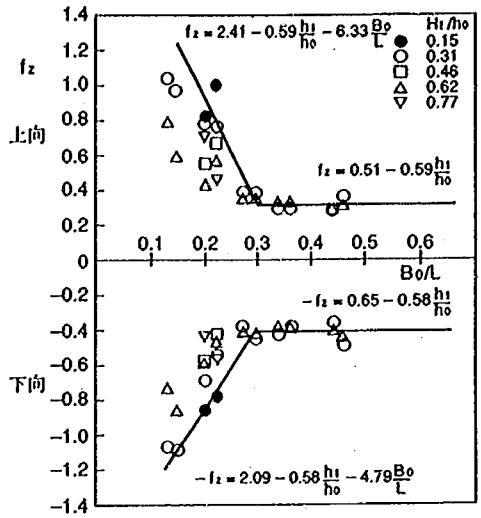


(c) $h_1/h_0 = 0.29$, $h_2/h_0 = 0.71$

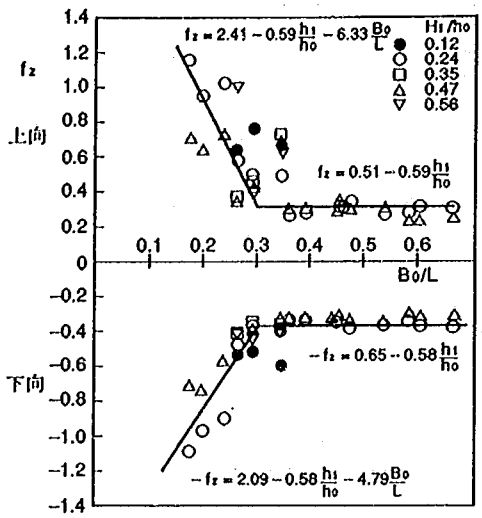


(d) $h_1/h_0 = 0.33$, $h_2/h_0 = 0.67$ (＊は$h_1/h_0 = 0.35$のデータ)

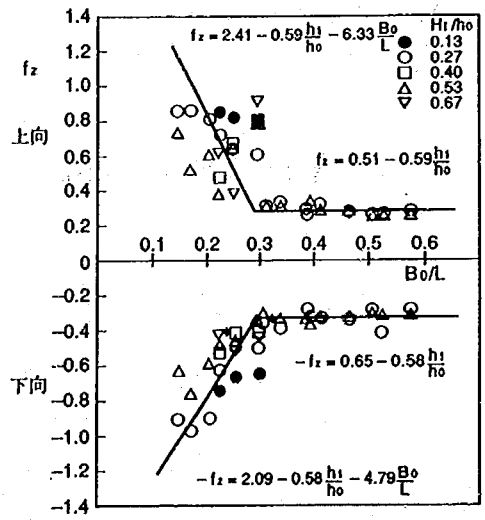
図－6．1．5．8　無次元鉛直波力に対する波高の影響（その1）



(e) h1 / ho = 0.38,　h2 / ho = 0.62

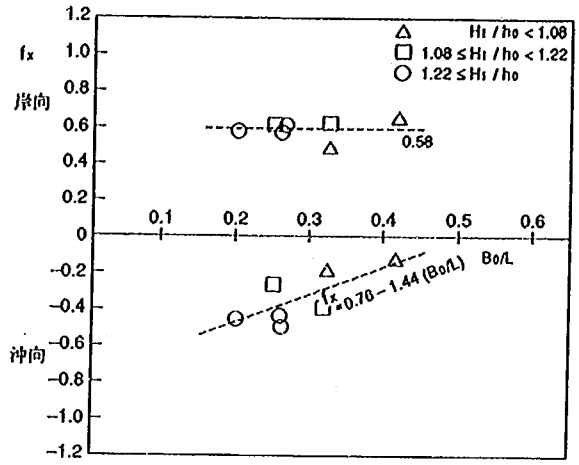


(f) h1 / ho = 0.41,　h2 / ho = 0.59

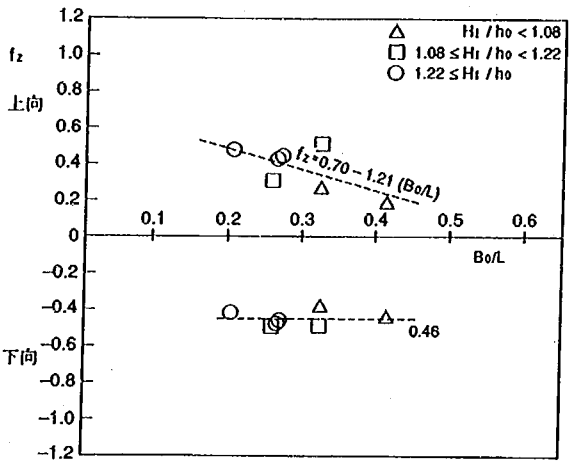


(g) h1 / ho = 0.47,　h2 / ho = 0.53　（＊は h1 / ho = 0.62のデータ）

図－6．1．5．8　無次元鉛直波力に対する波高の影響（その2）

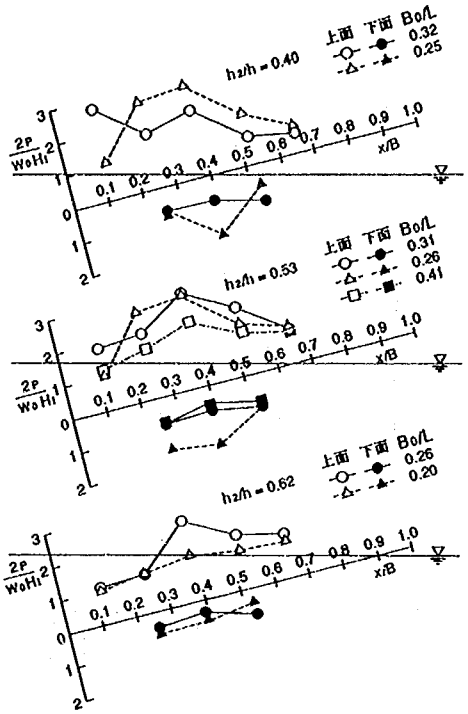


fxと Bo/L の関係

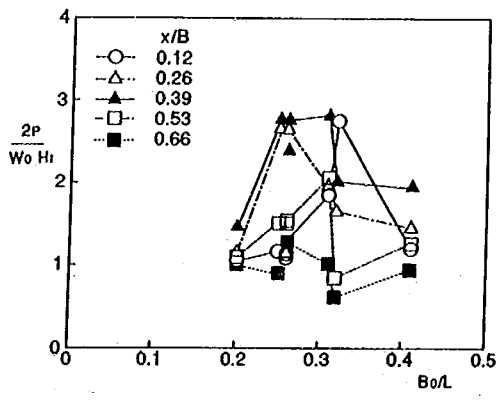


fzと Bo/L の関係

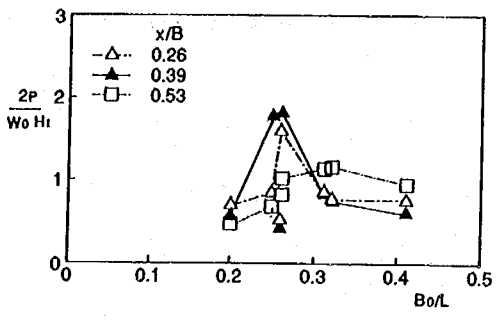
図－6．1．5．9　無次元砕波力



図－6．1．5．10　斜板上の波圧分布



(a) 斜板上面



(b) 斜板下面

図－6．1．5．11　斜板各点の無次元波圧

イ） ジャケット部および杭に作用する波力

ジャケット部および杭に作用する波力は本編「3．1．3(4)c）海中部材に作用する波力」に準じて求める。この場合、抵抗係数C_D、慣性力係数C_Mには、それぞれ$C_D=0.1$、$C_M=2.0$を標準として用いる。

(4) 静水圧および浮力

本編「3．1．4　静水圧および浮力」に準ずる。

(5) 地震の影響

水深11m、海底地盤の地盤反力係数3.0kgf／cm³とした場合、本構造物の固有周期は0.45sec程度と小さい。したがって、本編「3．1．5　地震の影響」に準じて震度法により設計を行う。

a） 斜板部に作用する地震時動水圧

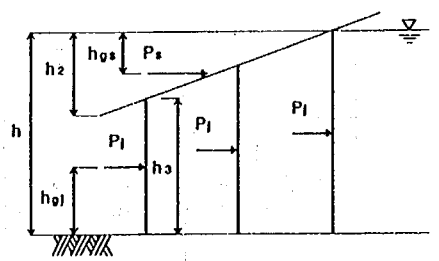
斜板部に作用する地震時動水圧p_sおよび合力の作用位置h_{gs}（図－6．1．5．12）は、原則として実験または数値解析により算出する。

b） ジャケット部材および杭に作用する動水圧

ジャケット部材および杭に作用する地震時動水圧は「道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編」（日本道路協会，1990）に準じて次式より算出する。このときの荷重の作用状況を図－6．1．5．12に示す。

$$Pj=\frac{3}{4}k_h w_0 b^2 h_3\left(1-\frac{b}{4h_3}\right)$$

$$h_{gj}=\frac{1}{2}h_3$$



図－6．1．5．12　斜板堤に作用する動水圧

ここに、Pj：ジャケット部材1本に作用する動水圧（tf）

k_h：設計震度

b：ジャケット部材径（m）

h_3：地盤面からジャケット上端までの距離（m）

h_{gj}：地盤面から動水圧の合力作用点までの距離

である。

(6) 流れおよび津波による荷重

流れによる荷重は本編「3．1．7　流れおよび津波による荷重」に準ずる。この場合、抗力係数C_Dは斜板部に$C_D=2.0$、ジャケット部材に$C_D=1.0$を標準として用いる。

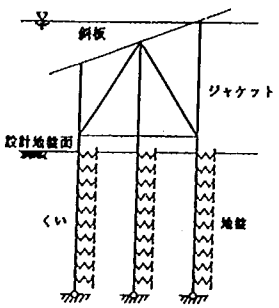
斜板部に用いる$C_D=2.0$は、流れに対して垂直に置かれた幅／高さ＝∞の板に与えられ標準値であるが、実際の斜板は流れに対して傾きを持っているため低減されると考えられる。したがって、実験などにより適切な値が得られた場合は実験値を用いる。

6．1．5．4　構造解析および部材の設計

(1)　構造解析

a）　全体構造解析

構造解析は、本編「6．1．1(4)a）構造解析」に準ずる。ラーメン軸線は、部材断面の図心を結ぶ線とする。解析モデルの一例を図－6．1．5．13に示す。



図－6．1．5．13　解析モデル

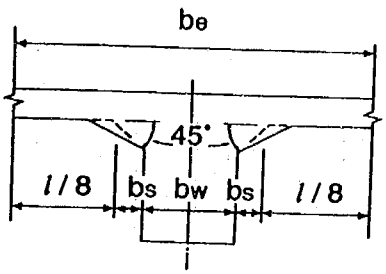
ラーメン解析における斜板T形はりの曲げモーメントによる圧縮突縁の有効幅は、「コンクリート標準示方書設計編」（土木学会，1986）に準じて、以下により算出してよい。

①　両側にスラブがある場合（図－6．1．5．14参照）

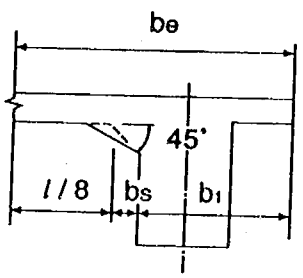
$$b_e = b_w + 2(b + \ell/8)$$

ただし、b_eは両側のスラブの中心線間の距離を越えてはならない。

②　片側にスラブがある場合（図－6．1．5．15参照）



図－6．1．5．14　両側にスラブがある場合の圧縮突縁有効幅



図－6．1．5．15　片側にスラブがある場合の圧縮突縁有効幅

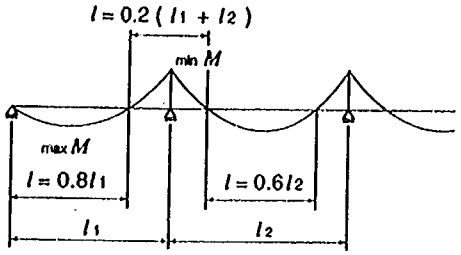
$$b_e = b_1 + b_s + \ell/8$$

ただし、b_eはスラブの純スパンの1／2にb_1を加えたものを越えてはならない。ここに、ℓは単純ばりではスパン、連続ばりでは反曲点間距離、片時ばりでは純スパンとする（図－6．1．5．16参照）。また、b_sはハンチの高さに等しい値よりも大きくとってはならない。

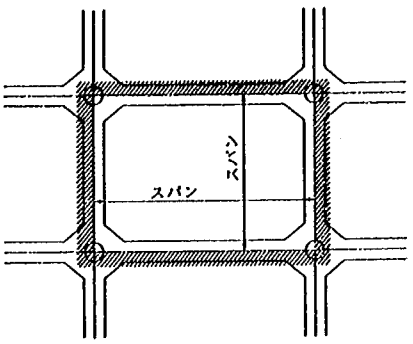
b）　斜板の解析

斜板スラブは周辺はりにより固定された板として解析を行う。一般には、周辺はりが十分剛でスラブの回転を拘束すると考えられる。ここでは、安全を考慮して、スラブの計算に用いるスパンは周辺はりの中心間距離とする（図－6．1．5．17）。

周辺はりの解析は、スラブおよび周辺はりの自重を荷重とした連続ばりとして行い、これより得られた断力面と、構造物全体をラーメン構造として解析して得られる断面力の大きい方を使用する。



図－6．1．5.16　連続ばりのℓの取り方



図－6．1．5.17　スラブ解析スパン

(2)　材料および材料の設計強度

各部材の構成材料は、原則として以下のとおりとする。

・斜板（スラブおよびはり）：鉄筋コンクリートあるいは鉄骨鉄筋コンクリート
・ジャケット主柱　　：鋼管（杭と外鋼管をグラウトにて一体化した２重管構造）
・ジャケット斜材・水平材　：鋼管
・杭　　：鋼管

また、コンクリートおよび鋼材の設計強度は本編「６．１．１(3)　材料の設計強度」に準ずる。

(3)　部材の設計

a）照査限界状態

照査すべき限界状態およびその時の主に支配的となる荷重を表－６．１．５．３に示す。

表－６．１．５．３　部材別照査限界状態および主に支配的となる荷重

部材種別	照査限界状態	主に支配的となる荷重
斜板スラブ	終局／使用／疲労	部材波圧
斜板はり	同　上	部材波圧あるいは地震力（終局）
ジャケット部材・杭	終局／疲労	同　上
杭・ジャケット接合部	同　上	同　上

b）斜板スラブ部材の設計

斜板スラブ部材断面力は、本編「６．１．５．４ｂ）斜板の解析」に示す方法により算出し、各限界状態の照査は幅の広いはりとして行ってよい。

①　終局限界状態の照査

本編「６．１．１(4)ｂ）①コンクリート部材」に準ずる。

②　使用限界状態の照査

本編「6．1，1(4)b） ①コンクリート部材」に準ずる。

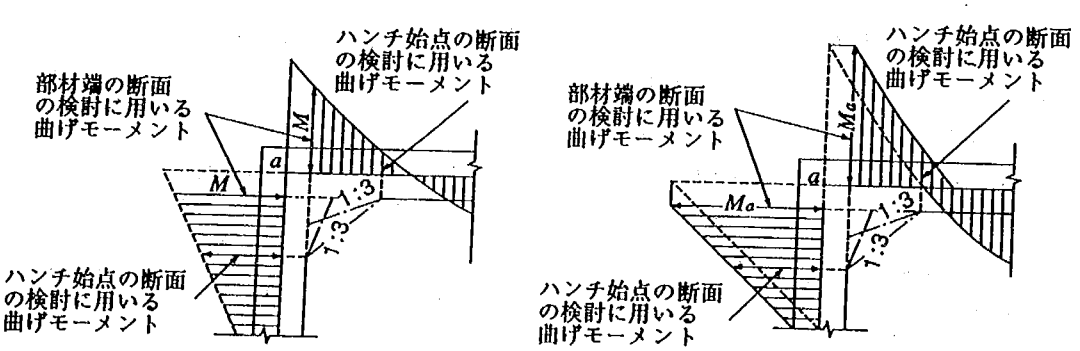
③ 疲労限界状態の照査

本編「6．1，1(4)b） ①コンクリート部材」に準ずる。

c） 斜板はり部材の設計

斜板はり部材は、ねじれの影響が少ないと考えられるため、曲げモーメントと軸力およびせん断力に対する検討を行う。

部材各断面力は、本編「6．1．5．4 b） 斜板の解析」に示す方法により算出する。曲げに対する検討において、スラブ側が圧縮となる場合にはT形ばりとして検討し、圧縮突縁の有効幅は本編「6.1.5.4(1) a） 全体構造解析」に示す方法により算出する。また、全体解析（ラーメン解析）によって得られた曲げモーメントにより断面を検討する場合には、「コンクリート標準示方書設計編」（土木学会，1986）に準ずる。すなわち、部材端の断面の検討に用いるモーメントの値は、はり部材接点部を剛域と考えて解析を行う場合には柱前面における曲げモーメント、剛域およびハンチを無視して解析を行う場合には節点曲げモーメントとする（図－6．1．5．18参照）。



図－6．1．5．18 部材端の断面の検討に用いる曲げモーメント

部材端の断面の検討に用いるせん断力の値は、柱前面の部材高さの1／2だけ離れた位置のせん断力を用いる。

各限界状態（終局限界状態、使用限界状態、疲労限界状態）の照査は、斜板スラブ部材の設計と同様とする。

d） 斜板を鉄骨鉄筋コンクリートとする場合

斜板を鉄骨鉄筋コンクリートとする場合には、「コンクリート標準示方書設計編」（土木学会，1986）に準じて終局限界状態、使用限界状態、疲労限界状態に対する照査を行う。

e） ジャケット部材および杭

本編「6．1，1(4)b）① ア） ジャケット部材および杭」に準ずる。

f） ジャケット格点部

本編「6．1．1(4)b)① イ) ジャケット格点部」に準ずる。

g） 杭・ジャケット接合部

本編「6．1．1(4)b)① ウ) 杭とジャケット接合部」に準ずる。

6．1．5．5 安定照査

安定照査は、本編「6．1．1(5) 安定計算」に準ずる。

6．1．5．6 細部設計

(1) 斜板とジャケット主柱（レグ）との接合

斜板とジャケットレグとの接合部は、斜板はりとジャケットレグとの応力伝達が円滑となる構造とする。ジャケットレグと斜板とをコンクリートによる付着接合とする場合には、本編「6．1．5．4(3)g） 杭・ジャケット接合部」に示す方法により各限界状態における安全性を検討する。また、ジャケットレグにアンカーを設け、斜板内に埋め込む構造とする場合には、以下のように各限界状態の照査を行う。

a） 終局限界状態の照査

① アンカーはレグ軸力により発生するせん断力がアンカー材の設計せん断力に対し、安全な構造とする。

② アンカーからコンクリートに作用する支圧力は、設計支圧強度以下でなければならない。設計支圧強度は「コンクリート標準示方書設計編」（土木学会，1986）により求める。

③ レグ軸力による押抜き、引抜き力に関する照査では、設計押抜きせん断耐力、設計引抜きせん断耐力に対し安全であることを確認する。ここで、設計押抜きせん断耐力は、「コンクリート標準示方書設計編」（土木学会，1986）に準じて求める。また、設計引抜きせん断耐力は、「コンクリート標準示方書設計編」（土木学会，1986）に準じて求める。

b） 疲労限界状態の照査

① レグの繰り返し軸力により発生するアンカーの作用せん断応力範囲が、疲労限界せん断応力範囲に対し、安全であることを照査する。照査方法は、本編「6．1．5．4(3)e） ジャケット部材および杭」と同様とする。

② レグ軸力による押抜き、引抜き力に関する照査では、設計疲労押抜きせん断耐力、設計疲労引抜きせん断耐力に対して安全であることを確認する。ここで、設計疲労押抜きせん断耐力は、「コンクリート標準示方書設計編」（土木学会，1986）に準して求める。

(2) ジャケット格点部

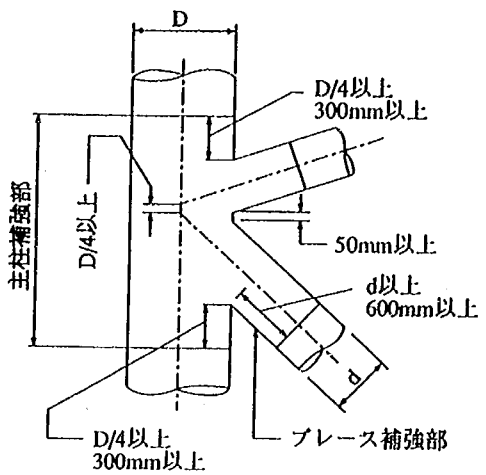
ジャケット格点部は、以下の条件を満たす構造とする（「DnVの基準」を準用）（図－6．1．5．19）。

a） 主管の板厚を増すこと、あるいは材料を変えることにより補強する場合、補強部は支管交点から、主管径／4以上あるいは300mm以上とする。

b） 支管の板厚を増すことあるいは材料を変えることにより補強する場合、補強部は主管交点から支管径以上あるいは600mm以上とする。

c） 両管の管軸に偏心がないことを原則とするが、やむを得ない場合は主管径／4の範囲で偏心してよい。また、シンプルジョイントとして設計する場合、各支管の間隔は50mm以上とする。

(3) 構造細目



図－6．1．5．19　シンプルジョイント

a）　鋼管部材の構造細目

本編「6．1．1(4)b)① エ）一般構造細目」による。

b）　鉄筋コンクリート部の構造細目（斜板部）

本編「6．1．1(4)b）②エ）一般構造細目」による。なお、斜板部を鉄骨鉄筋コンクリートとする場合の構造細目は、「コンクリート標準示方書設計編」（土木学会，1986）に準ずる。

6．2　重力式構造物

6．2．1　設計の基本方針

(1)　一般

本項では、上部の消波構造体を直接基礎により支持する重畳式の構造形式を対象とする。なお、本項で示す部材設計に関する項目については、以下に示す4種類の構造物が対象となる。

・斜板ケーソン式構造物

・中詰スリットセルラー式構造物

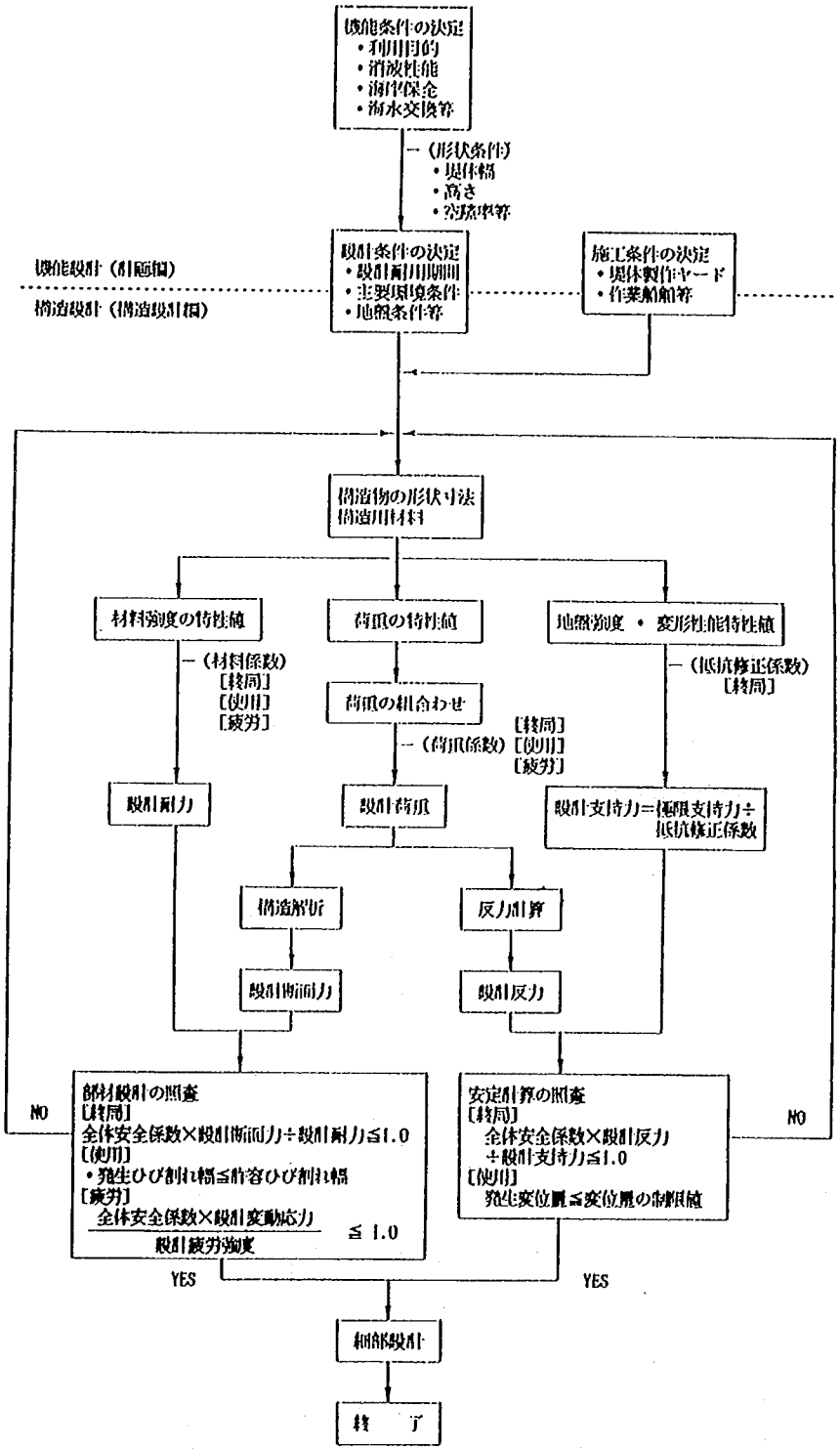
・複合消波式構造物

・スリットケーソン式（重力式）構造物

重力式構造物の基本的な設計手順を図－6．2．1．1に示す。

(2)　設計荷重

設計荷重は、本編「3．1　荷重」に基づき算出する。この場合、海域制御構造物のような複雑な形状を有する構造に関しては、地震時動水圧の算定方法が現在のところ確立されていない。そこで、以下には「本州四国連絡橋下部構造設計基準・同解説」第12条より地震時動水圧の算定法を示す。各構造型式については、各々に適切な動水圧算定式を用いても良い。



図－6．2．1．1　重力式構造物の設計手順

$$P_y = \alpha \beta K_h w_0 A \left(\frac{y}{h}\right)^{1/3} \qquad (6.2.1.1)$$

$$P = \frac{3}{4} \alpha \beta K_h w_0 A h \qquad (6.2.1.2)$$

$$y_s = \frac{4}{7} h \qquad (6.2.1.3)$$

ここに、P_y ：水面からy（m）における動水圧（t／m）（図－6.1.1.2参照）

P ：水面から海底までの動水圧の合力（t）

y_s ：動水圧の合力の作用位置の水面からの距離（m）

α ：運動様式による補正係数（1.0）

β ：構造物の形状による補正係数

$b/h <$ の時，$\beta = \frac{b}{a}(1 - b/4h)$

$2 \leqq b/h \leqq 4$ の時，$\beta = \frac{b}{a}(0.7 - b/10h)$

K_h ：設計水平震度

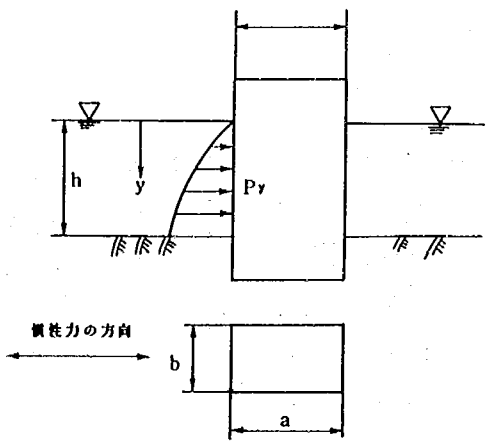
w_0 ：海水の単位重量（t／m³）

A ：構造物の水平断面積 a × b（m²）

y ：着目位置の水深（m）

h ：構造物の位置での水深（m）

である。



図－6.1.1.2　柱状構造物

(3) 材料の設計強度

本編「6．1．1(3)材料の設計強度」に準ずる。

(4) 部材設計

本編「6．1．1(4) b) 部材の設計」に準ずる。

(5) 安定計算

a） 基本方針

有脚式構造物で述べたように、基礎の安定計算に関しては限界状態設計法による照査式を採用している。本編では、重力式構造物基礎の安定計算に限界状態設計法を導入するにあたり、以下の考え方を基本とした。

①安全係数の種類やその数値は、現在までに得られている知見の範囲で設定する。また設計支持力の算出に用いる抵抗修正係数の設定においては、算出根拠が明かなる手法により提案する。

②重力式構造物の基礎は、直接基礎タイプを対象とした安定計算モデルを採用し、照査項目および極限支持力の推定式などは、現在までに得られている知見に基づく。

③本項で提案する設計法は、書式、安全係数の種類およびその数値、極限支持力の推定法を含めて現時点における試案として位置づける。

なお、ここで示す安定計算モデルは直接基礎タイプを前提としている。したがって、構造物と海底地盤面の間に高いマウンドを有する基礎形式を採用する場合などでは、基礎の支持条件や抵抗機構が以下に示す計算モデルとは異なる。このような場合には、基礎の支持条件や抵抗機構を十分考慮した上で別途安定照査を行う必要がある。

b） 照査項目

①終局限界状態

終局限界状態の波力もしくは地震の影響が作用した場合の構造物全体の安全性について検討を行う。照査項目は、基礎底面における鉛直支持力およびせん断抵抗力（滑動力）とする。

$$\gamma_0 \frac{S_d}{R_d} \leqq 1.0 \qquad (6.2.1.4)$$

ここに、

γ_0 ：全体安全係数

S_d ：設計反力

R_d ：設計抵抗力（$=R_u/\gamma_r$）

R_u ：極限支持力

γ_r ：抵抗修正係数

である。このとき、基礎の支持地盤は、洗堀・漂砂の影響を考慮した設計上の海底地盤面とする（表－6．2．1．1参照）。また、地盤の強度特性が変化している場合は地盤の不均一性についても必要に応じて考慮する。

②使用限界状態

本構造物に通常時の波力が作用した場合の変位および圧密沈下による変位について検討を行う。照査項目は、鉛直変位量、水平変位量および回転角もしくは圧密沈下量とする。

$$U_d \leqq U_a \qquad (6.2.1.5)$$

ここに、

U_d：通常時の波力による弾性変位量もしくは圧密沈下量

U_a：変位量の制限値

である。なお、使用限界状態における各照査項目の制限値は、対象とする構造物の使用性や機能性を阻害することがないようそれぞれの構造特性を考慮して定め、必要に応じて照査する。

③全体安全係数と抵抗修正係数

重力式構造物基礎の安定照査には、表－6.2.1.1に示す全体安全係数と抵抗修正係数を用いる。

表－6.2.1.1　全体安全係数と抵抗修正係数（試案）

照査項目	土質の種類	全体安全係数（γ_a）	抵抗修正係数（γ_y）
		終局限界状態	終局限界状態
支持力	砂質土	1.0	1.40
	粘性土		1.80
滑動力	砂質土		1.10
	粘性土		1.25

抵抗修正係数γ_yは、構造物の安定にとって不利となる地盤定数特性値の変動、地盤破壊性状、安定計算手法の不確実性を考慮した係数であり、ここでは文献調査および試算結果に基づき定めた。なお、γ_yは、以下の前提により定めた。

ア）現行の安全率とのキャリブレーションおよび構造物に求められる機能、さらには重要性を考慮して、安定に対する所要の安全性指標（β_a）は1.5程度を目標とした。このときの荷重係数は1.15を用いた。

イ）支持力に対しては、地盤強度のみならず支持力推定式の持つ不確定要因も考慮し、砂質土、粘性土の場合の支持力の変動係数を各々25%、35%に仮定した。

ウ）滑動力に対しては、抵抗力評価上の不確定要因として滑動抵抗力のばらつき（変動係数として砂質土15%、粘性土25%の正規分布を仮定し、滑動抵抗力の特性値を平均とした）を考慮した。

また、基礎に関する検討項目および該当する限界状態を表－6.2.1.2にとりまとめた。

c）安定計算上の解析モデル

①終局限界状態

ア）鉛直荷重に対する安定照査

鉛直荷重は、基礎底面の鉛直地盤反力のみで抵抗させるものとし、「道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編」（日本道路協会，1990）に基づき照査する。終局限界状態においては、地盤のせん断破壊近傍での応

表－6．2．1．2　安定計算に係わる検討項目および照査限界状態

検討項目	検討内容 ［地盤挙動］	照査限界状態	
		終局	使用
安定	最大波力・地震による影響に対する鉛直支持力照査，滑動力照査，水平支持力照査（根入れ部で荷重を分担する場合） ［地盤のせん断破壊］	○	－
［注］ 繰返し荷重作用	同上、および波浪、地震による繰返し荷重作用による間隙水圧の上昇・強度低下考慮 ［地盤のせん断破壊］	○	－
変位	しばしば生じる荷重作用による構造物の変位・変形による使用性・機能性照査 ［地盤の変位］	－	○
洗掘・漂砂	洗掘深度推定→設計海底地盤面 ［地形変化］	○	○

［注］波浪、地震による繰返し荷重作用の影響は、終局限界状態に考慮する荷重状態でも作用しているため、終局限界状態の安定照査に含まれるものとする。

力状態を照査対象とすることから、地盤は塑性域近傍にあると考えられる。したがって偏心が1方向の場合には、鉛直荷重は有効載荷面積A'に偏心・傾斜して一様に作用すると考える（図－6．2．1．2参照）。

イ）水平荷重に対する安定照査

水平荷重に対しては、底版下面のせん断地盤反力で抵抗するものとする。なお、せん断地盤反力の分布範囲は、図－6．2．1．2に示す有効載荷面積とする。

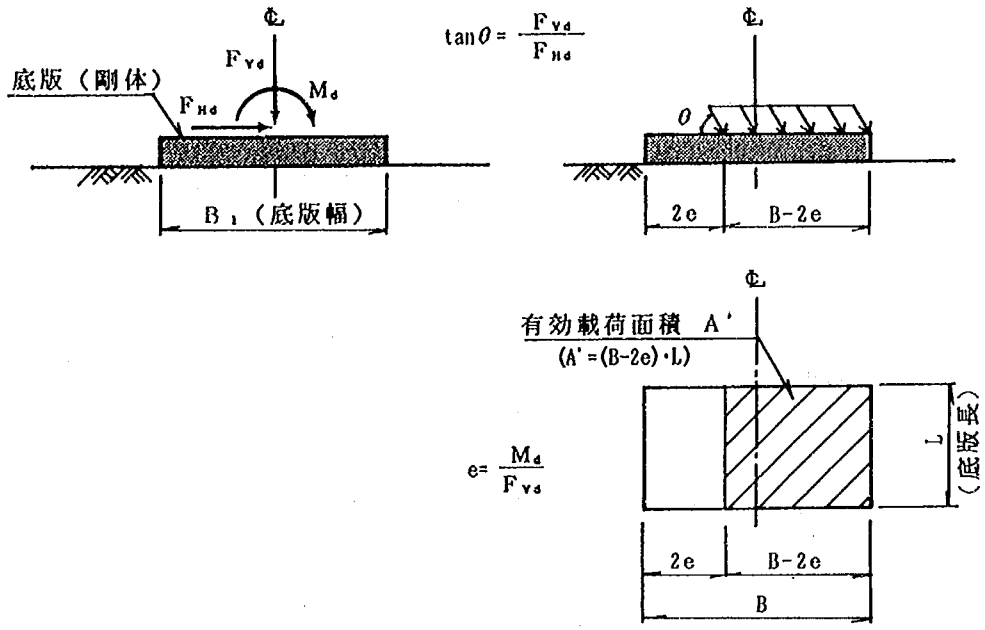
ウ）不均一地盤における安定照査

地盤の強度が深度・位置によって変化するなどの特性を持つ不均一地盤においては、適切な方法により終局限界状態における地盤の安定性（支持力）を照査する。照査は、地盤内にせん断崩壊面を仮定し、その面に沿った設計せん断強度（抵抗修正係数を考慮）と外力による設計せん断応力度（荷重係数を考慮）とを比較することにより行う。

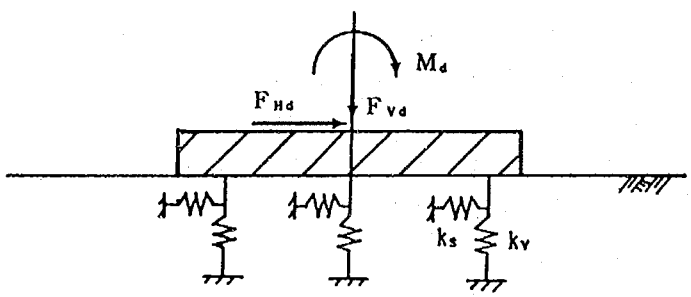
②使用限界状態

ア）弾性変位量

地盤が均一な弾性体であり、かつ、基礎本体が剛な場合、通常時の波力による基礎の変位量は、基礎底面に作用する荷重、地盤の反力係数および基礎底面形状を考慮して、「道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編」（日本道路協会，1990）により求める（図－6．2．1．3参照）。この方法は、基礎が連続フーチング等の2次元でモデル化できる場合に適用可能である。なお、鉛直方向地盤反力係数は各種の調査・試験結果に基づいて「道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編」（日本道路協会，1990）により求めてよい。



図－6．2．1．2　終局限界状態における載荷方法（有効載荷面積）



図－6．2．1．3　変位量算定モデル

鉛直変位：U_v

$$U_v = \frac{1}{k_v} \cdot \frac{F_{Vd}}{A} \qquad (6.2.1.6)$$

水平変位：U_H

$$U_H = \frac{1}{k_s} \cdot \frac{F_{Hd}}{x \cdot L_d} \qquad (6.2.1.7)$$

回転角：θ

$$\theta = \frac{M_d}{I \cdot k_v} \qquad (6.2.1.8)$$

ここに、

F_{vd}、F_{Hd}：設計鉛直・水平荷重（tf）

M_d　：設計モーメント（tf・m）

k_v　：鉛直方向地盤反力係数（tf／m³）

A　：基礎底面積（㎡）

x　：底面反力作用幅（m）

L_d　：基礎の奥行き（m）

I　：基礎底面の図心に関する断面２次モーメント（m⁴）

k_s　：水平方向せん断地盤反力係数（tf／㎡）、k_s＝（１／３～１／４）k_v

である。

イ）圧密沈下量

圧密を生じる粘性土層が存在するとき、長期にわたり継続して作用する荷重によって生じる圧密沈下量を次式より求める。

$$U_{vc}=\frac{H_g \cdot C}{1+e_0}\ \log_{10}\frac{q_0+\Delta q}{q_c} \qquad (6.2.1.9)$$

ここに、

U_{vc}：圧密沈下量（m）

H_g　：圧密地盤層厚（m）

C　：圧縮指数

q_0　：有効鉛直荷重（tf／㎡）

Δq　：有効鉛直荷重の増分（tf／㎡）

q_c　：先行圧密荷重（tf／㎡）

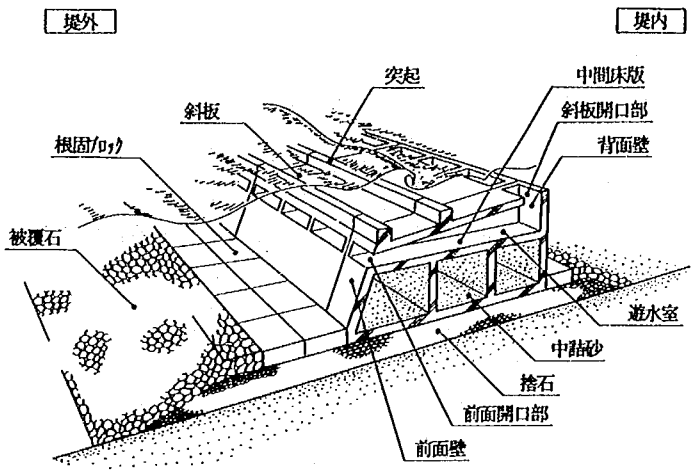
e_0　：初期間隙比

である。

6．2．2　斜板ケーソン式構造物

6．2．2．1　一般

斜板ケーソン式構造物（斜板消波潜堤）は没水式の重力式構造物型であり、捨石マウンドとコンクリート製ケーソン（堤体）で構成される。ケーソンは斜板、突起、遊水室を備え、捨石マウンド上に設置され、摩擦抵抗により波浪等の水平力に対して安定を保つ構造となっている。なお、ケーソン内には摩擦抵抗を増すために中詰め工として砂等が詰められている。斜板ケーソン式構造物の一般図を図－6.2.2.1に示す。

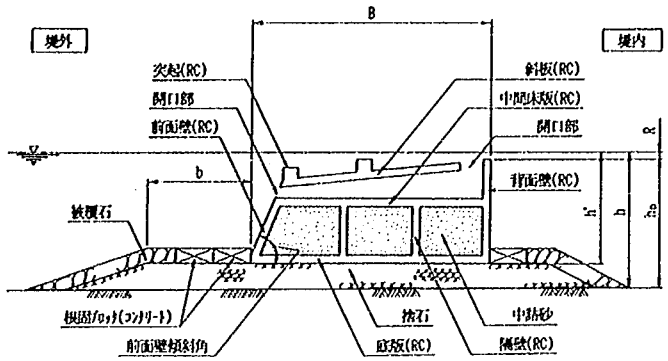


図－6.2.2.1　斜板ケーソン式構造物の概要図

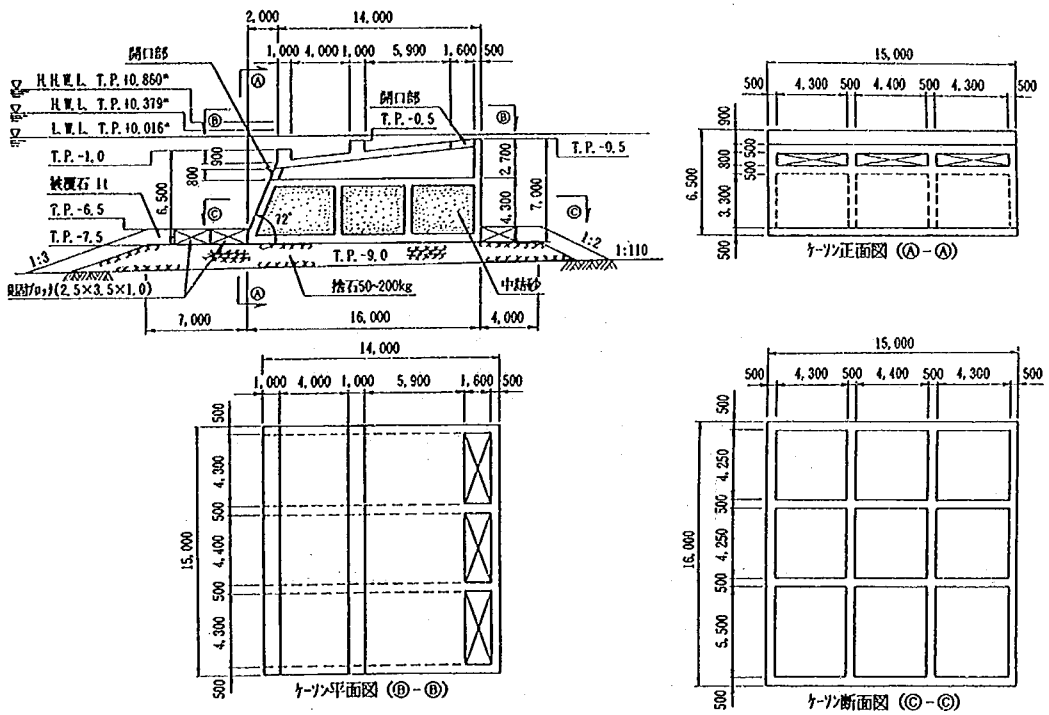
6．2．2．2　構造および諸元

本構造物の標準断面を図－6.2.2.2に示す。ケーソンは、突起、斜板、背面壁、中間床版、前面壁、底版、隔壁が一体に構成された鉄筋コンクリート製であり、中間床版と底版の空間には中詰め砂等を充填する。ケーソンの安定照査においてケーソンに作用する揚圧力を低減させる必要がある場合には底版と中間床版の間に圧抜孔を設けることができる。ただし、この場合には、圧抜孔が付着物等で閉塞しないように維持管理しなければならない。捨石マウンドは、捨石、被覆石、根固めブロックから成り、洗掘を防止し、ケーソンの滑動、転倒に対する安定を保つことを目的とする。

試設計（建設省土木研究所，1988a）により得られた構造寸法の一例を図－6.2.2.3に示す。このときに用いた設計条件を表－6.2.2.1に示す。



図－6.2.2.2　斜板ケーソン式構造物標準断面図



図－6.2.2.3　斜板ケーソン式構造物の例

表－6.2.2.1　試設計の主要条件

条件項目		条件値
構造条件	設置地盤高	T.P. -9.0 m
自然条件	計画波浪	H_{max}=7.1 m, T=10 sec
	地震震度	k_h=0.12
	土質条件	砂質土（平均N値＝5）
消波性能		透過率≦0.6，反射率≦0.5

6．2．2．3　設計荷重

(1)　荷重の種類および組合わせ

本構造物は没水式であるので、本編「3．1　荷重」のうち風荷重を考慮しなくてよい。したがって、設計には死荷重、波力、静水圧および浮力、地震の影響、流れおよび津波による荷重、施工時荷重を、また、必要に応じて衝突荷重を考慮する。荷重の組合わせは本編「3．2　荷重の組合わせ」による。

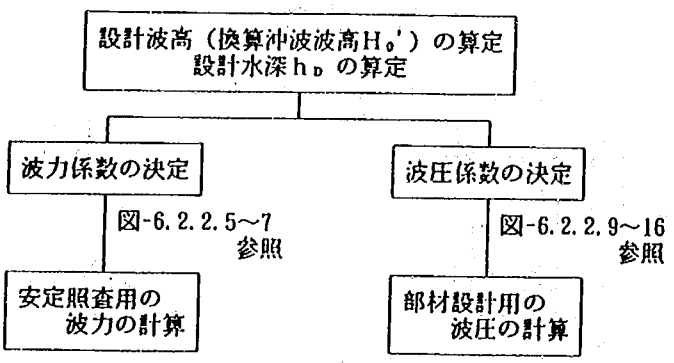
(2)　死荷重

本編「3．1．2　死荷重」に準ずる。

(3)　波力

a）波力の算定法

波力としては、安定照査に用いる波力と部材設計に用いる波圧をそれぞれ求める必要がある。波力の算定フローを図－6．2．2．4に示す。



図－6.2.2.4　波力の算定フロー

波力と波圧の算定に用いる波力係数と波圧係数は、入射波の特性、設置水深、海底勾配および構造物の諸元により変化するため、水理模型実験により求めることを原則とする。ここでは、表－6.2.2.2に示す条件で行った水理模型実験から求めた波力係数と波圧係数について述べる。

表－6.2.2.2　実験条件一覧

項　目	実験条件
R／h	0 , 0.18
$H_0'／h_D$	0.22 ～ 1.82
$h_D／L_0$	0.015 ～ 0.09
tan θ	1/10 , 1/30 , 1/80

R　：ケーソンの没水深
h　：ケーソン位置での水深
h_D ：設計水深（海底面からケーソン天端までの高さ）
H_0' ：換算沖波波高
L_0 ：換算沖波の波長
tan θ ：海底勾配

b）安定照査に用いる波力

安定照査ではケーソンに作用する水平波力および鉛直波力を求める必要がある。安定照査に用いる波力は次式で求める。

$$F_X=f_x\omega_0 H_0' A_X \qquad (6.2.2.1)$$

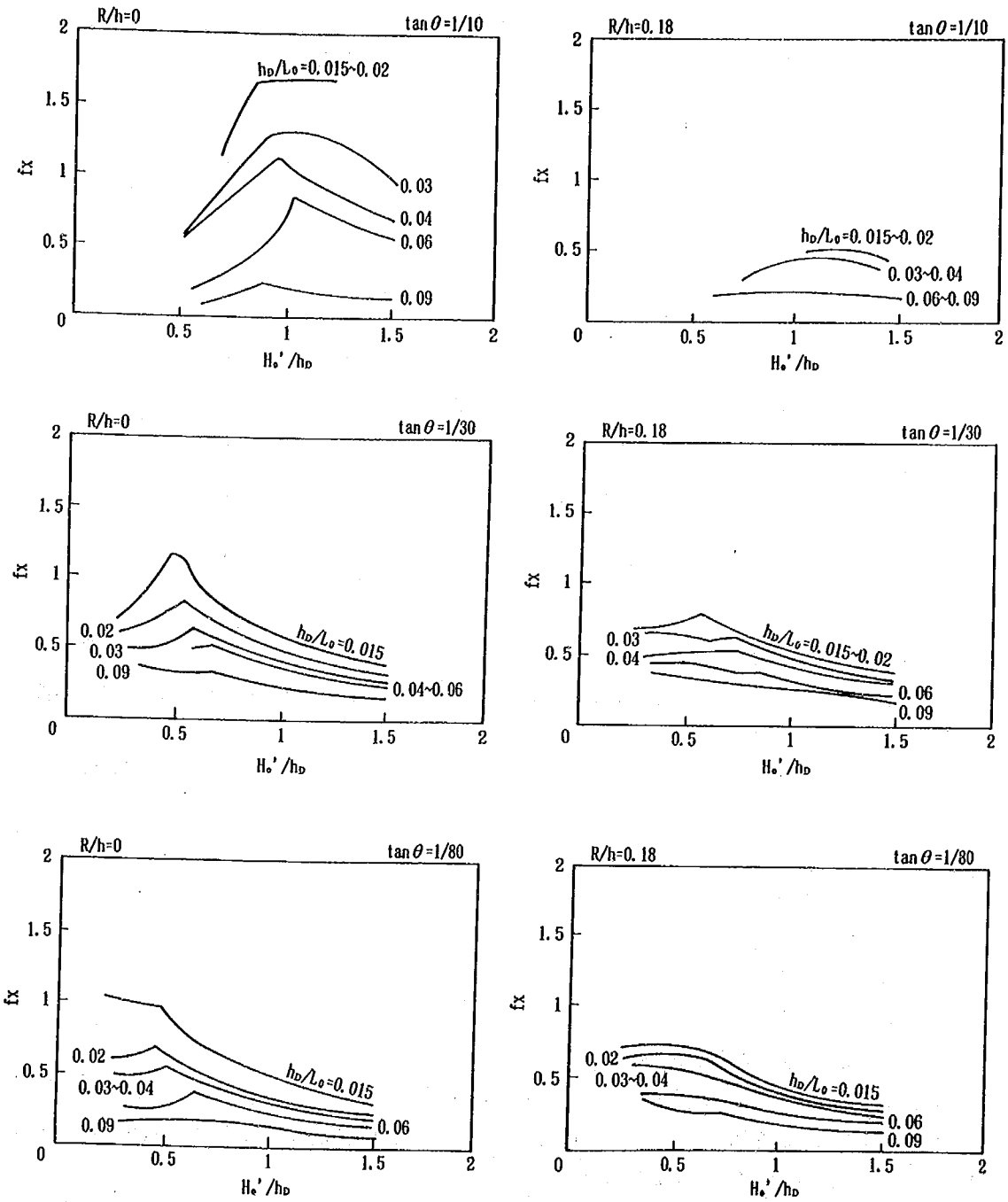
$$F_Z=f_z\omega_0 H_0' A_Z \qquad (6.2.2.2)$$

ここに、

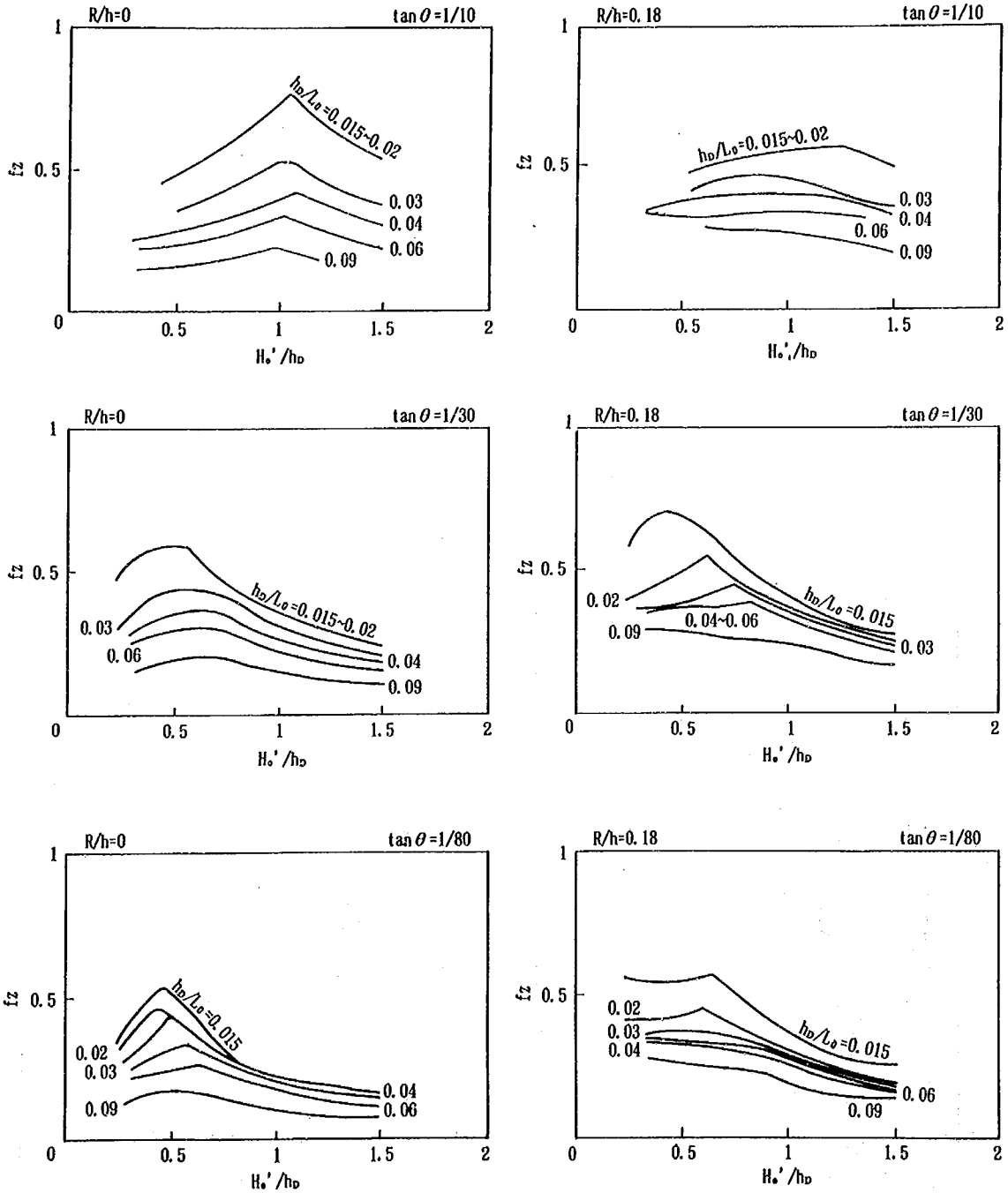
F_X：水平全波力
F_Z：鉛直全波力
ω_0：水の単位体積重量
f_x：水平波力の波力係数
f_z：鉛直波力の波力係数
A_X、A_Z：水平方向および鉛直方向のケーソンの投影面積

である。岸向水平全波力最大時のf_x、上向鉛直全波力最大時と下向鉛直全波力最大時のf_zを、海底勾配の条件ごとに図－6.2.2.5～図－6.2.2.7に示す。

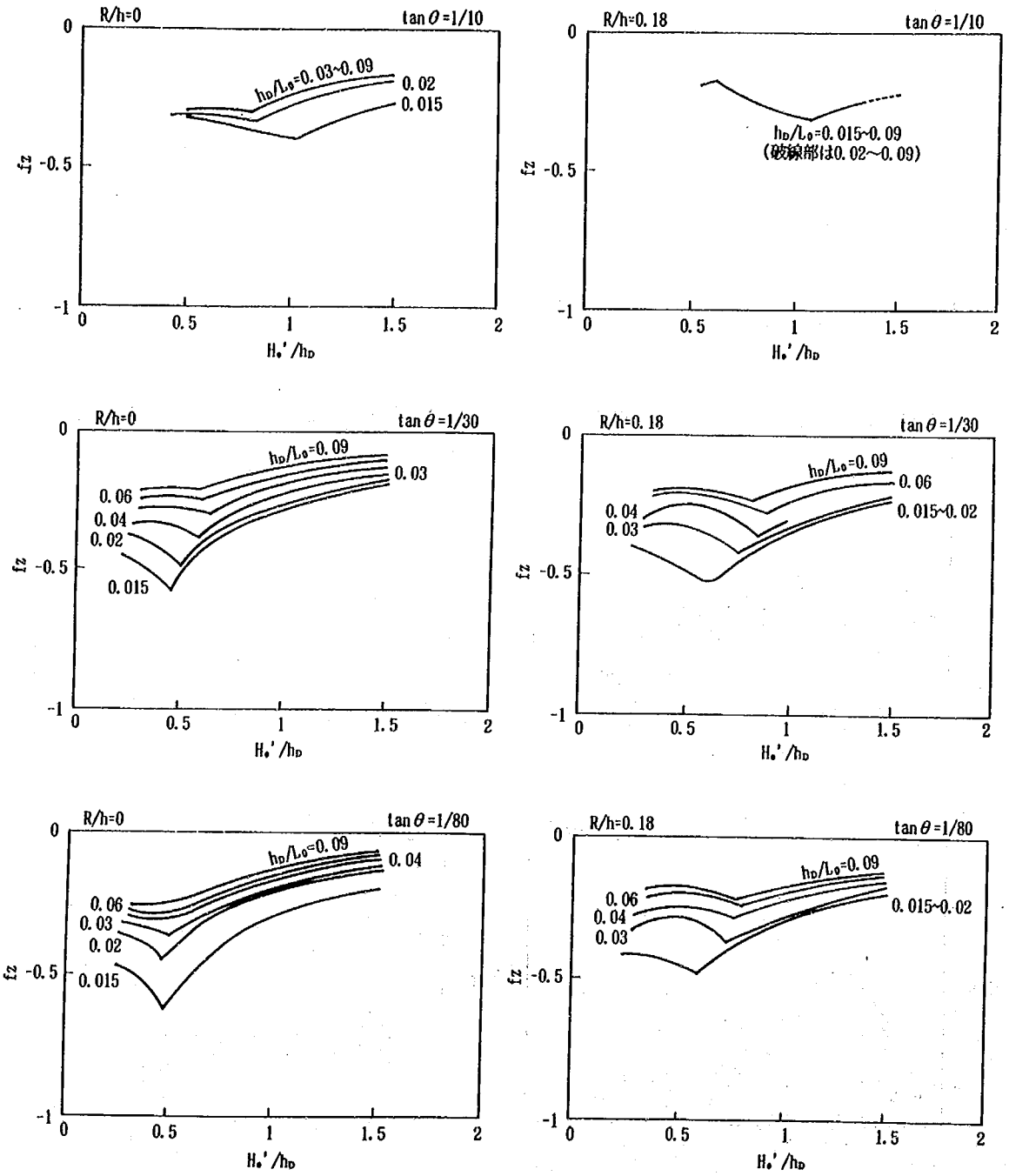
水理模型実験によると、海底勾配tan θ ＝ 1／10のときには衝撃的な砕波力が作用する。この場合、圧抜孔型（本手引き（案）「計画編」参照）のケーソンを用いることにより基本型のケーソンより上向の最大鉛直波力（揚圧力）を小さくし、滑動に対する安定性を増すことが可能である。表－6.2.2.3に示す条件で行った水理模型実験（水中滑動実験）より求めた圧抜孔型と基本型の必要水中重量の比を図－6.2.2.8に示す。圧抜孔型とすることにより重量を低減できることがわかる（建設省土木研究所，1991）。なお、



図－6.2.2.5　水平波力の波圧係数



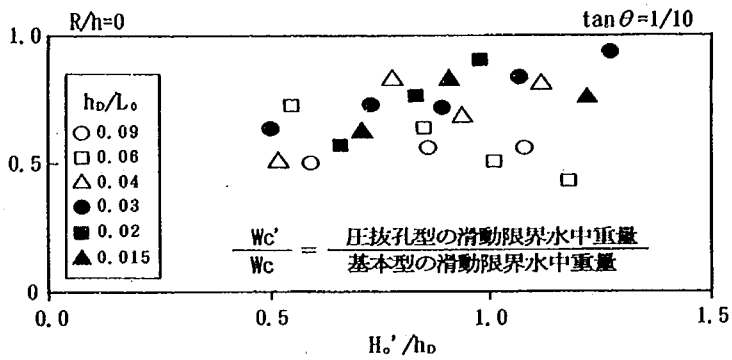
図－6.2.2.6　鉛直波力の波圧係数（上向最大時）



図－6.2.2.7　鉛直波力の波圧係数（下向最大時）

表－6.2.2.3　水中滑動実験条件一覧

項　目	実験条件
R／h	0
H_0'/h_0	0.50　～　1.27
h_0/L_0	0.015　～　0.09
tan θ	1／10



図－6.2.2.8　ケーソンの必要水中重量の比（圧抜孔型／基本型）

tan θ = 1／10の場合でも、没水深が大きくなると衝撃波力の影響が小さくなって揚圧力の減少効果がなくなる。また、tan θ = 1／30、1／80の場合には、強大な衝撃波力があまり発生しないので、圧抜孔型による揚圧力の減少効果がほとんどない。

c）部材設計に用いる波圧

各部材に作用する最大波圧強度は次式より求める。

$$p = \alpha w_0 H_0' \qquad (6.2.2.3)$$

ここに、

p　：各部材の最大波圧強度

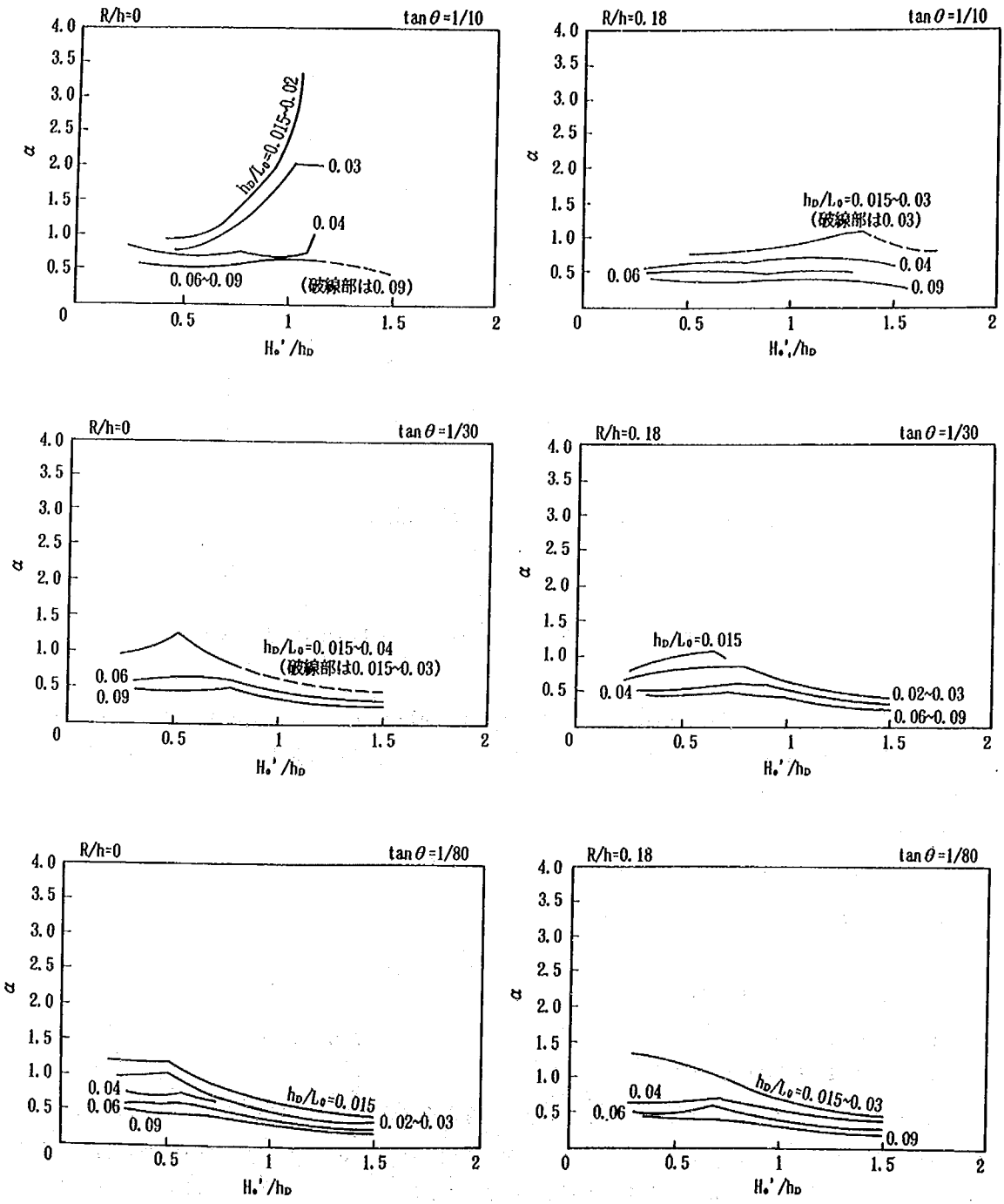
α　：各部材の波圧係数　（図－6.2.2.9～図－6.2.2.16による）

w_0：水の単位体積重量

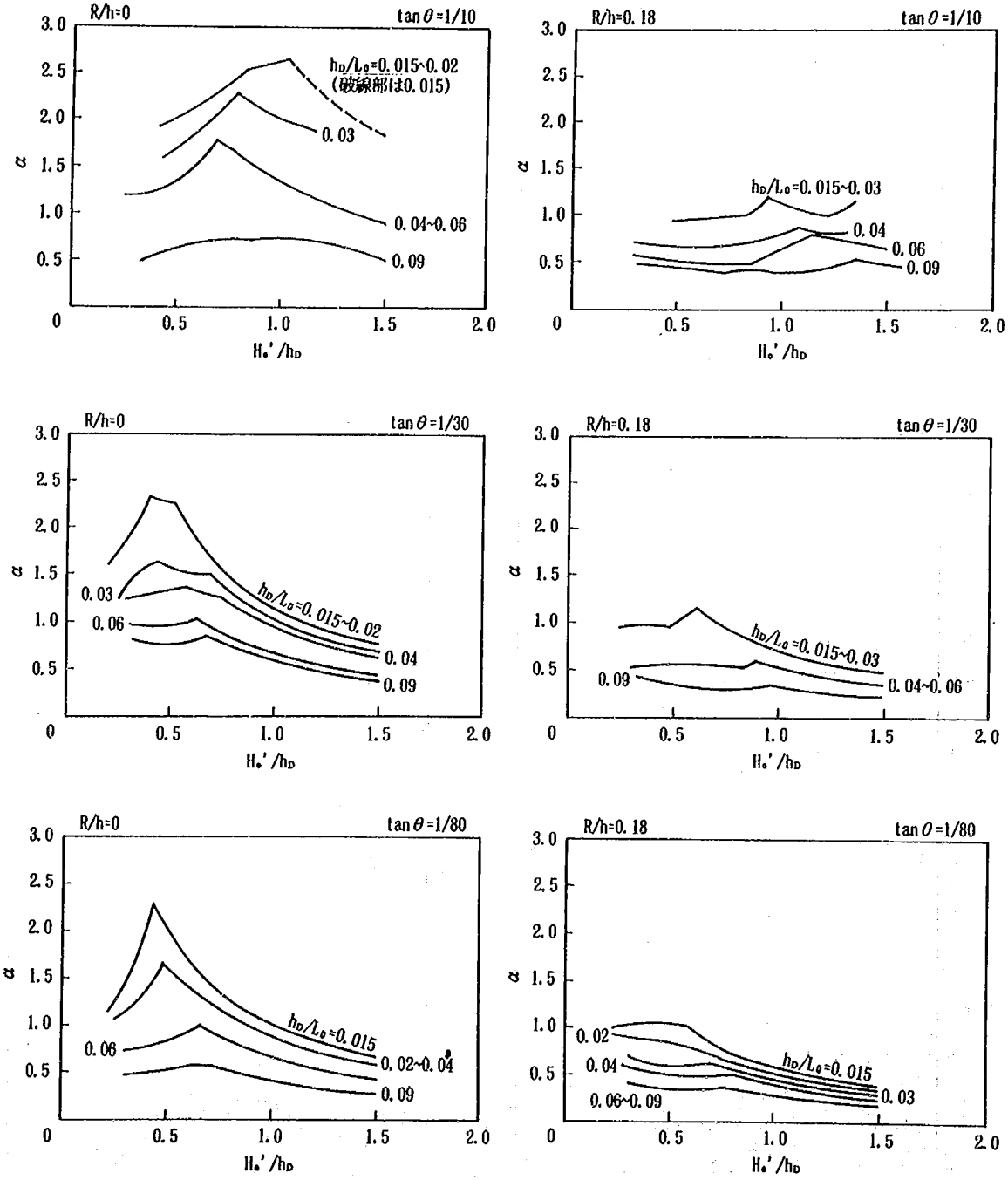
水理模型実験結果によると各部材の波圧分布はほぼ一様とみなせるので、各部材に作用する波圧の最大値が等分布に作用するとして設計する。基本型ケーソンについて水理模型実験結果から求めた各部材の波圧係数を、没水深別、海底勾配別に図－6.2.2.9～図－6.2.2.16に示す。なお、外壁については全面壁、背面壁、中間床版のうちの最大値を使用する。また、圧抜孔型のケーソンの場合には一部の部材については次のような割増が必要である。（建設省土木研究所，1991）。

・中間床版　　基本型の1.25倍

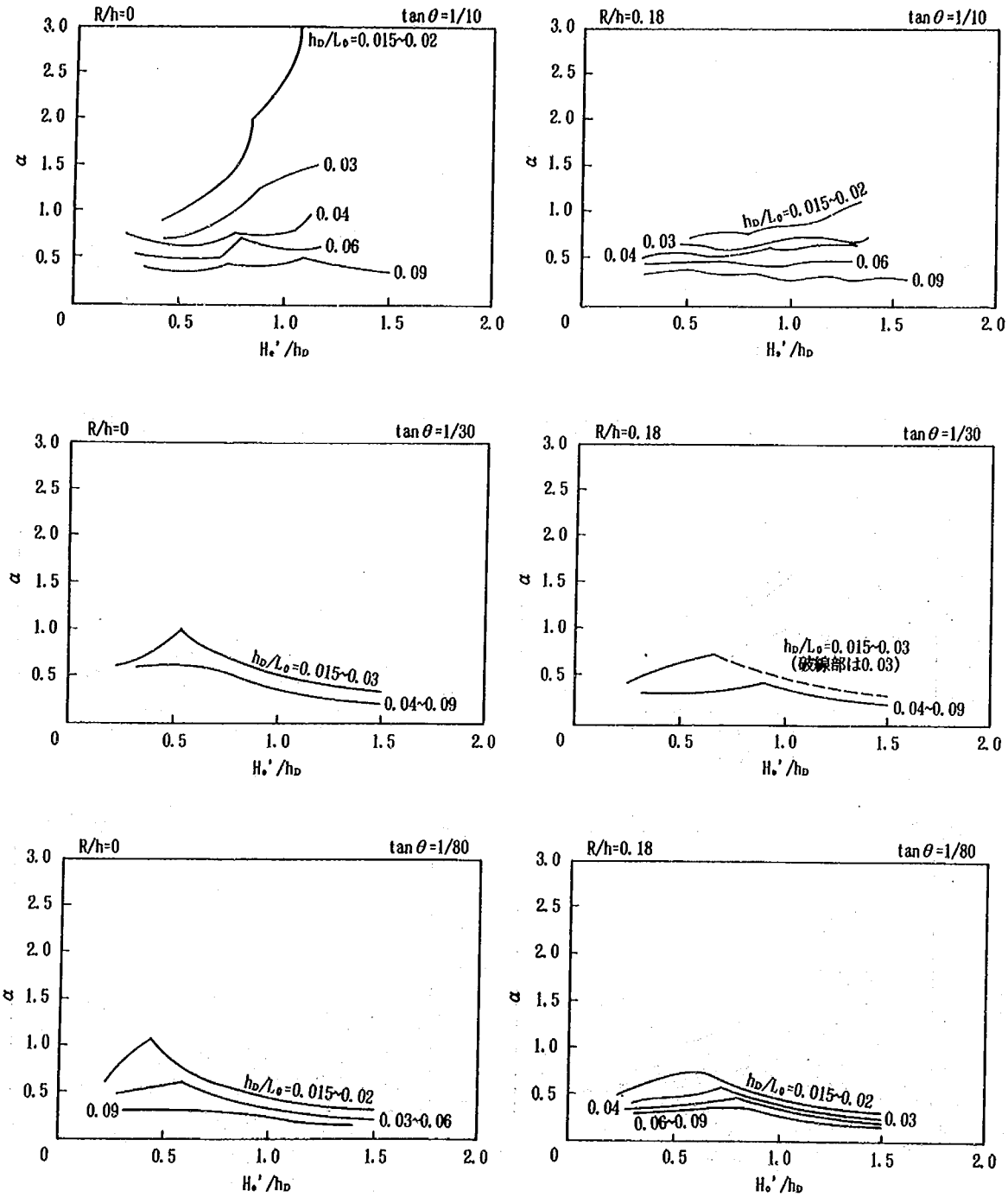
・底版　　基本型の1.23倍



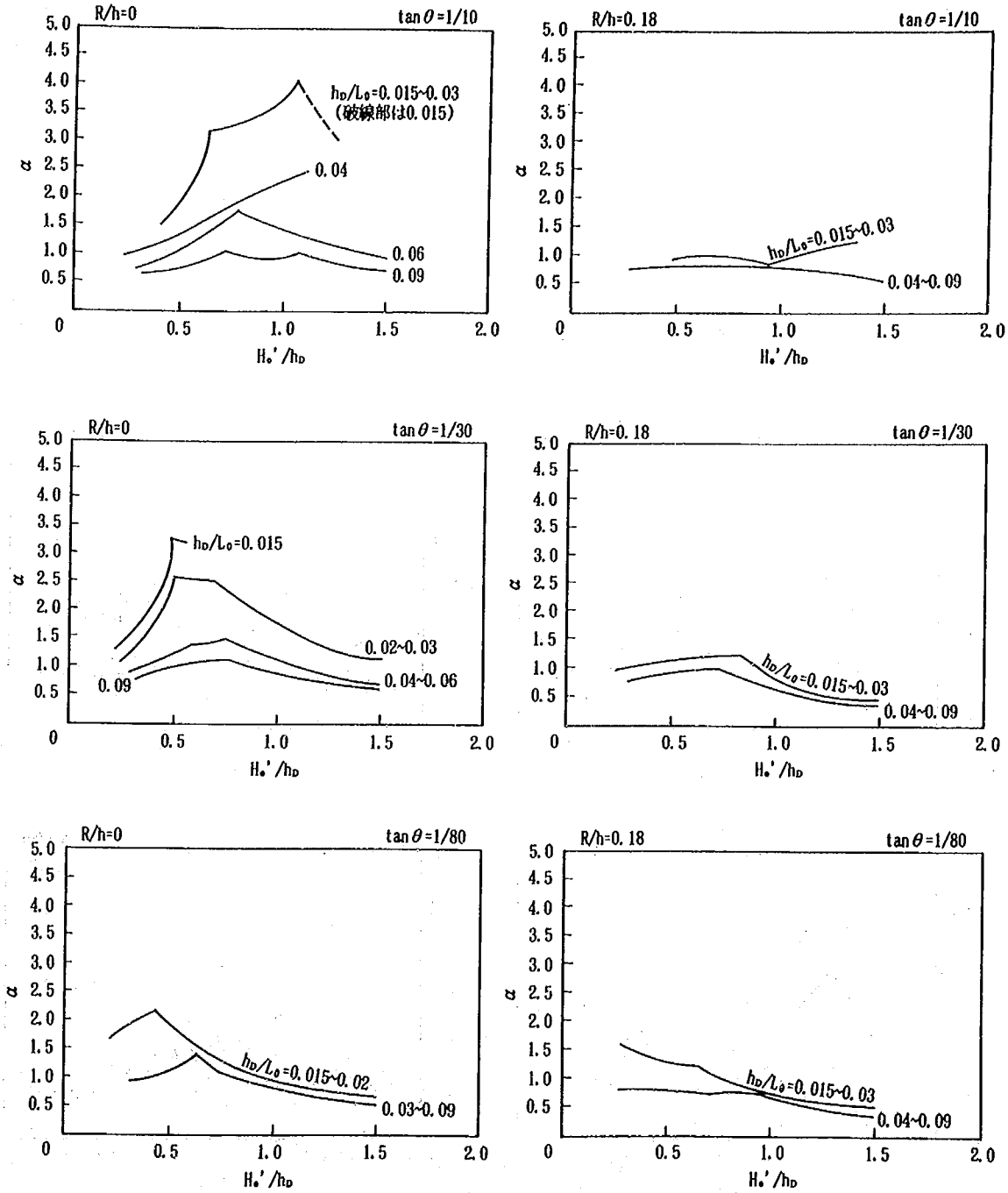
図－6.2.2.9　波圧係数（前面壁）



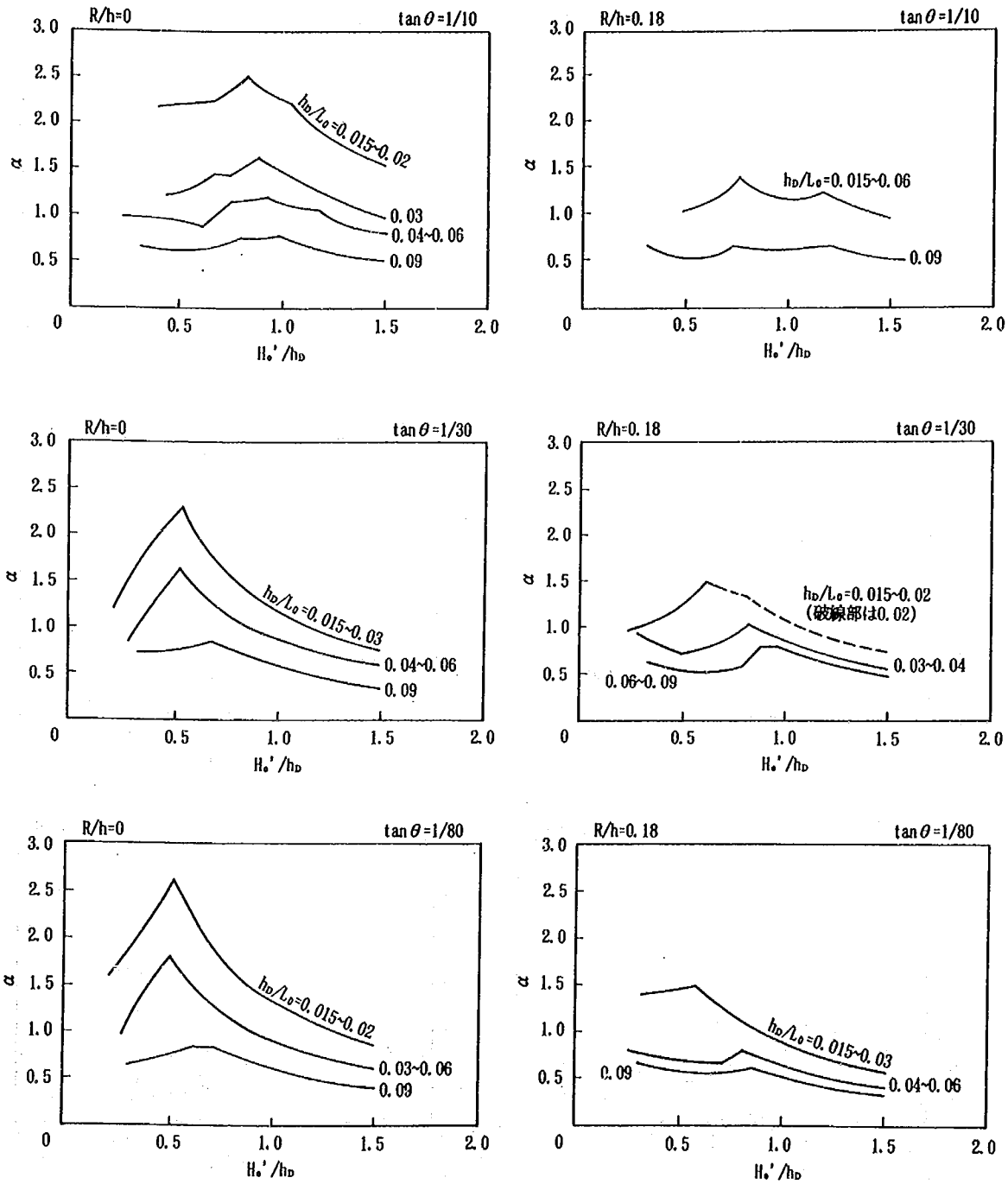
図－6.2.2.10　波圧係数（中間床版）



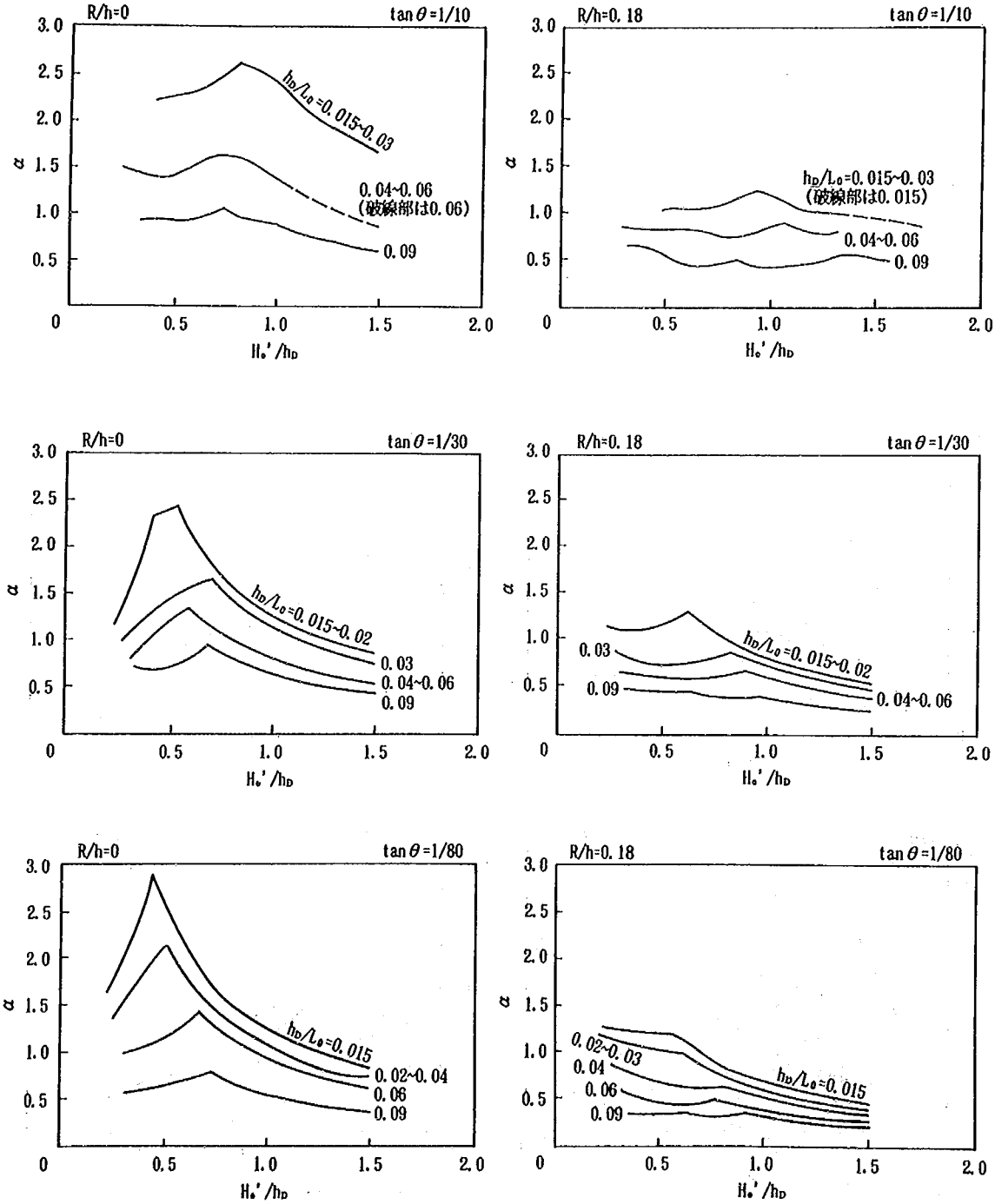
図－6.2.2.11　波圧係数（底版）



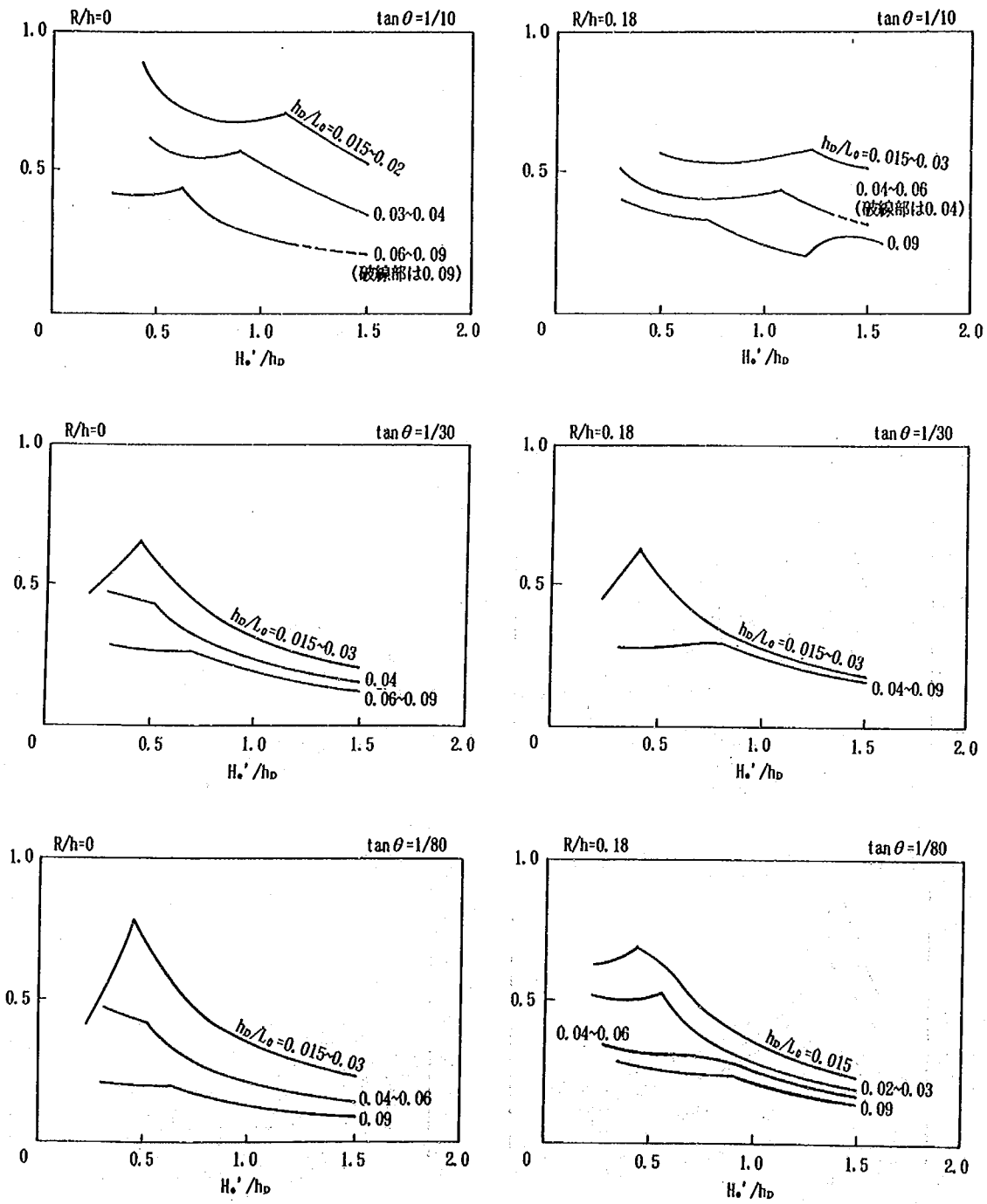
図－6.2.2.12　波圧係数（突起・水平方向）



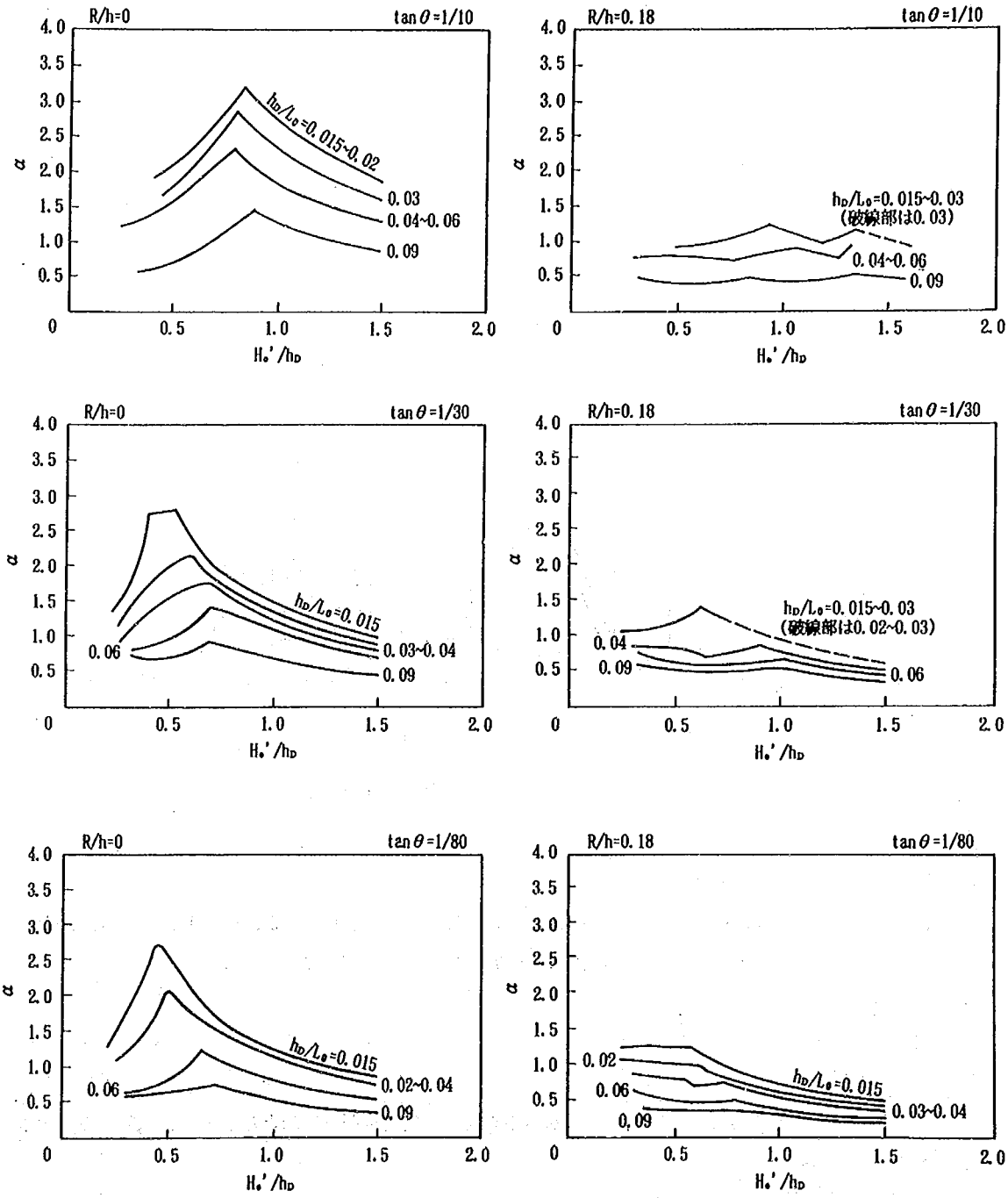
図－6.2.2.13　波圧係数（斜板・上側）



図－6.2.2.14　波圧係数（斜板・遊水室側）



図－6.2.2.15　波圧係数（背面壁・堤体外側）



図－6.2.2.16　波圧係数（背面壁・遊水室側）

(4) 静水圧および浮力

本編「3．1．4　静水圧および浮力」に準ずる。

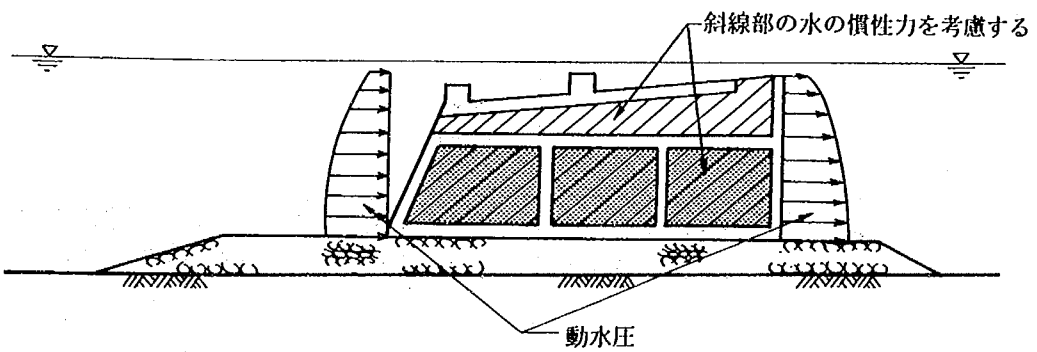
(5) 地震の影響

a）解析方法

本構造物の固有周期は0.5秒以下と短かいので（図－6.2.2.3に示す構造体の場合の固有周期は、約0.4秒）、本編「3．1．5　地震の影響」に準じて、静的解析である震度法を用いて慣性力および動水圧を求める。

b）動水圧

動水圧の計算は「港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会，1989）に準じて行う。ケーソンの安定照査には遊水部および中詰め砂内の水の慣性力を考慮する（図－6.2.2.17参照）。



図－6.2.2.17　ケーソンの地震時動水圧

(6) 流れおよび津波による荷重

本編「3．1．7　流れおよび津波による荷重」に準じ、揚力係数は$C_L = 0$としてよい。また、抗力係数については「鋼構造物設計指針」（土木学会，1987）に準じて$C_D = 2.0$とする。

(7) 衝突荷重

本編「3．1．8　衝突荷重」に準ずる。

(8) 施工時荷重

本編「3．1．9　施工時荷重」に準ずる。本構造物で施工時荷重が支配的となるのは、隔壁に作用する中詰土圧だけである。

6．2．2．4　安定計算

安定計算の照査は本編「6．2．1(5)　安定計算」に準ずる。

6．2．2．5　構造解析および部材の設計

(1) 構造解析モデル

ケーソンは鉄筋コンクリート製のラーメン構造であり、部材の設計では各部材を版として構造解析する。

このとき、計算に用いるスパン長は支持する壁の中心間距離とする。構造解析に用いるモデルを表－6．2．2．4に示す。

(2) 材料

ケーソンおよび捨石マウンドの材料の特性については、「港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会，1989）に準ずる。

(3) 照査項目

各部材別の照査すべき限界状態およびその時に支配的となる外力を表－6.2.2.5に示す。

(4) 終局限界状態の照査方法

本編「6．1．1(4)b）②ア）終局限界状態」に準ずる。

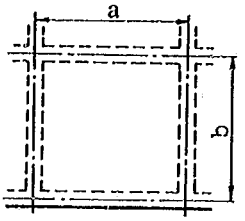
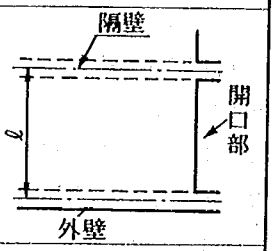
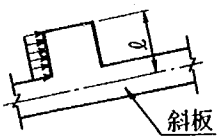
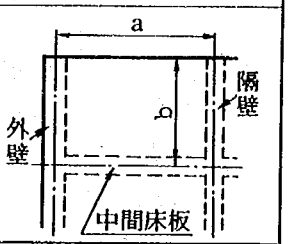
(5) 使用限界状態の照査方法

本編「6．1．1(4)b）②イ）使用限界状態」に準ずる。

(6) 疲労限界状態の照査方法

本編「6．1．1(4)b）②ウ）疲労限界状態」に準ずる。

表－6.2.2.4　構造解析モデル

部材名称	構造解析モデル	荷重分布	模式図
前面傾斜壁 底版 中間床版 隔壁 外壁	四辺固定版	等分布	
斜板	両端固定版	等分布	
突起	片持梁	等分布	
背面壁	三辺固定版	等分布	

表－6.2.2.5　照査すべき限界状態および支配外力

部材名称	照査すべき限界状態	支配外力
前面傾斜壁	終局	部材波圧
底版	終局	部材波圧／地盤反力
中間床版	終局	部材波圧
隔壁	終局	中詰土圧
斜板	終局／使用／疲労	部材波圧
突起	終局／使用／疲労	部材波圧
背面壁	終局／使用／疲労	部材波圧
外壁	終局	部材波圧

6．2．2．6　細部設計

(1)　コンクリート部材の構造細目

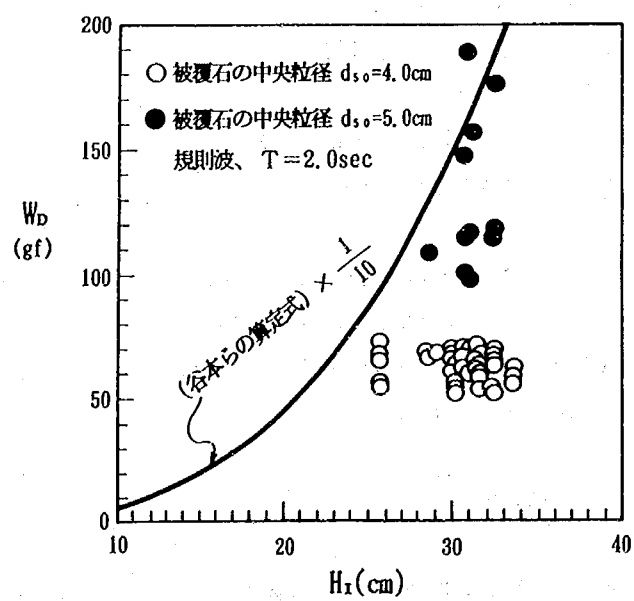
本編「6．1．1(4)b）②エ）一般構造細目」に準ずる。

(2)　被覆石の必要重量

本構造物の反射率K_Rは0.5程度であり、直立ケーソン式混成堤に比較して反射率が小さいので、従来の防波堤マウンドより小さい重量の被覆石を用いることができる。本構造物を対象として表－6.2.2.6に示す条件で行った実験（宇多ら，1989）より、被覆石の所要安定重量W_Dと入射波高H_Iの関係を図－6.2.2.18に示す。図中には谷本ら（1982）による次の算定式から求まるW_Dの１／10の値を示した。

表－6.2.2.6　被覆石の安定性実験の諸元

水路勾配 tan θ	水　深 h (cm)	周　期 T，$T_{1/3}$(sec)	換算沖波波高 H_0' (cm)	備考
1/10	40	2.0 ～ 2.4	12 ～ 40	規則波
		1.7 ～ 2.0	13.5 ～ 23.2	不規則波



図－6.2.2.18　既存の算定式による被覆石の所要安定重量と
実験において飛散した被覆石の重量
（規則波、T＝2.0sec）

$$W_D=\frac{\gamma_r\cdot H_1^3}{N_s^3\cdot(\gamma_r/w_0-1)^3} \qquad (6.2.2.4)$$

ここに、

W_D：被覆石の所要安定重量

γ_r：被覆石の単位体積重量

w_0：水の単位体積重量

H_1：堤体設置前の入射波高で、不規則波のときは有義波高H１／３

N_s：被覆石の安定数で、次式で計算される

$$N_s=\max\left\{1.8,\ 1.3\times\frac{1-\kappa}{\kappa^{1/3}}\times\frac{h'}{H_1}+1.8\exp\left(-1.5\times\frac{(1-\kappa)^2}{\kappa^{1/3}}\times\frac{h'}{H_1}\right)\right\}$$

κ　：安定数N_Sを決定するパラメーターで、$\kappa=\kappa_1\kappa_2$

$$\kappa_1=\frac{2\cdot k'\cdot h'}{\sinh(2\cdot k'\cdot h')}$$

$$\kappa_2=\max\{\sin^2\beta\cdot\cos^2(k'\cdot b\cdot\cos\beta)\ \ \cos^2\beta\cdot\sin^2(k'\cdot\cos\beta)\}$$

h'：基礎捨石マウンド天端上の水深（m）

k'：水深h'に対する波数（$=2\pi/L'$）

L'：水深h'における波長(m)

b　：基礎捨石マウンドの天端幅（肩幅）（m）

β　：波の入射方向と堤体法線直角方向のなす角（度）

である。図－6.2.2.18より、本構造物の被覆石の所要安定重量は谷本らの算定式によるW_Dの１／10より小さい値で十分であることがわかる。設計では堤体位置での有義波高$H_{1/3}$を使用して式(６.２.２.10）の１／10の値を所要安定重量とすればよい。また、堤内側の被覆石については、堤外側と同じ重量の被覆石を使用すれば被害を受けないことが実験から確認されている。

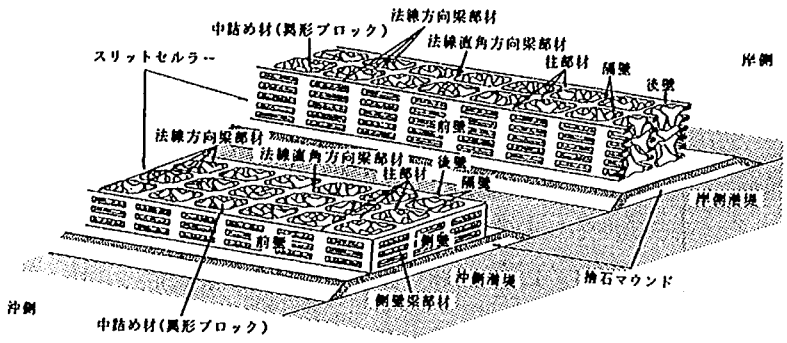
６.２.３　中詰スリットセルラー式構造物

６.２.３.１　一般

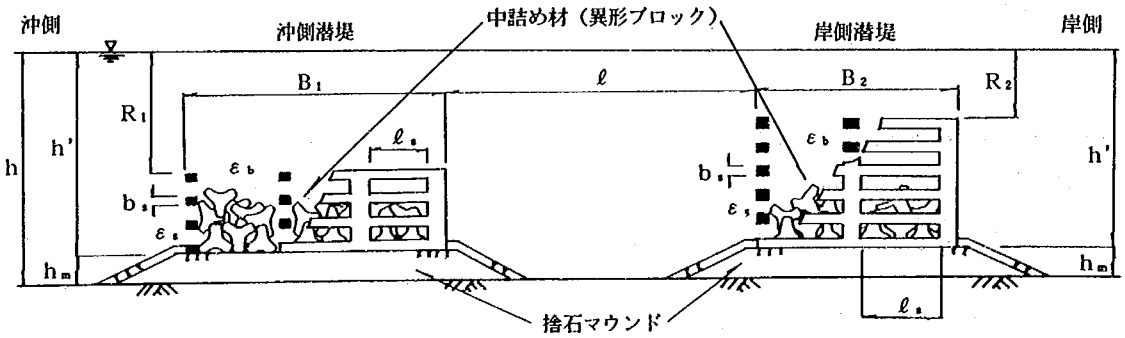
中詰スリットセルラー式構造物（複列透過性潜堤）は、鉄筋コンクリートで一体製作した無底スリット函体（以下、スリットセルラーと呼ぶ）を捨石マウンド上に設置し、異形ブロックを中詰め材として２列に配置した構造物である。また、スリットセルラーは梁と柱から成る壁面より構成される構造物である。本構造物の捨石マウンドは、通常の混成防波堤に用いられる捨石マウンドと同様の構造である。

６.２.３.２　構造および諸元

中詰スリットセルラー式構造物の各部の名称を図－6.2.3.1に示す。また、構造諸元を図－6.2.3.2に示す。



図－6.2.3.1　中詰スリットセルラー式構造物一般図



構造諸元	記号	構造諸元	記号
水深	h	捨石マウンドの厚さ	h_m
堤体底面の水深	h'	潜堤間隔	ℓ
沖側潜堤幅	B_1	スリットセルラーの開口率	ε_s
沖側潜堤天端水深	R_1	中詰め材の空隙率	ε_b
岸側潜堤幅	B_2	梁部材の純スパン	ℓ_s
岸側潜堤天端水深	R_2	梁部材の鉛直方向厚さ	b_s

図－6.2.3.2　中誌スリットセルラー式構造物の構造諸元

参考として、試設計（建設省土木研究所、1988ａ）による構造寸法を図－6.2.3.3に示す。このときの主な設計条件を表－6.2.3.1に示す。

表－6.2.3.1　試設計の主要条件

条件項目		条件値
構造条件	設置地盤高	T.P.－9.0 m
自然条件	計画波浪	Hmax=7.1m，T=10sec
	地震震度	K_h=0.12
	土質条件	砂質土（平均N値5）
消波性能		透過率≦0.6，反射率≦0.5

6.2.3.3　設計荷重

(1)　荷重の種類および組合せ

本構造物の構造設計に当っては、死荷重、波力、静水圧および浮力、地震の影響、流れおよび津波による荷重、施工時荷重を考慮する。また、本構造物では特に中詰め材水平力も考慮する必要がある。衝突荷重は必要に応じて考慮する。潜堤であるので風荷重は考慮しなくてよい。荷重の組合わせは、本編「3.2　荷重の組合せ」に準ずる。なお、中詰め材水平力は各限界状態において考慮する。

(2)　死荷重

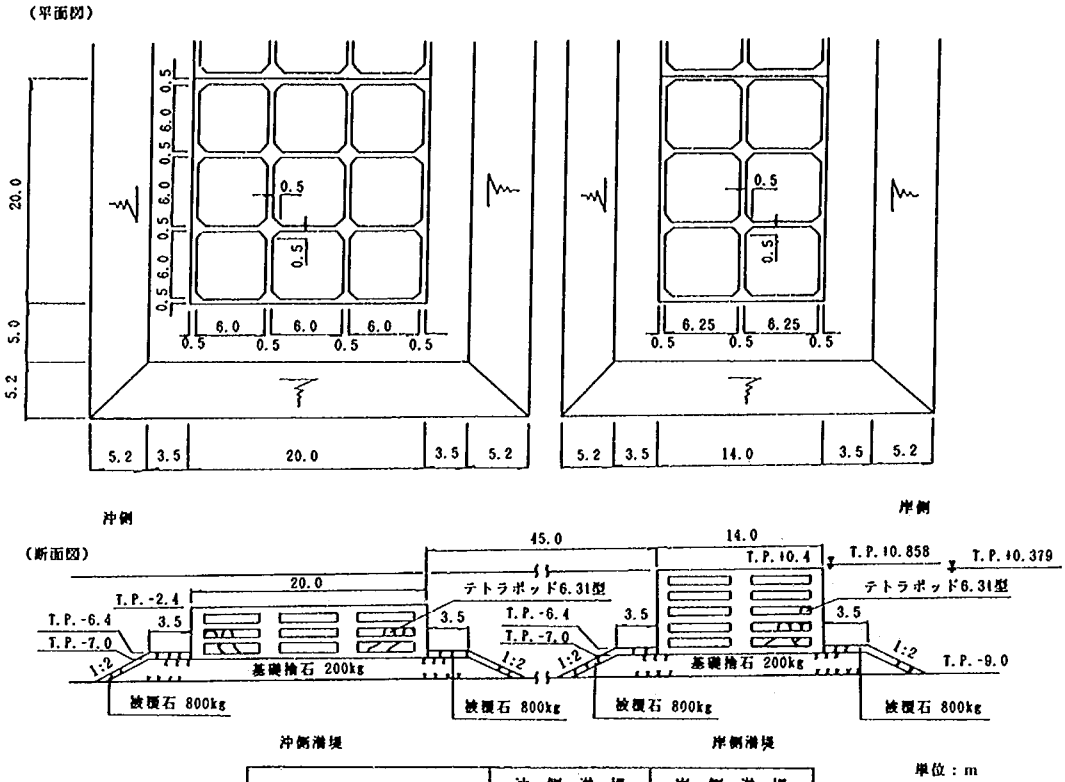
本編「3.1.2　死荷重」に準ずる。

(3)　中詰め材水平力

本構造物は、スリットセルラー内に異形ブロックを中詰めした構造であるため、スリットセルラーの梁部材には中詰材の自重に起因する水平力P_eと中詰材を伝達して作用する水平波力P_wが作用する。以下これらを総じて中詰め材水平力と呼ぶ。中詰め材水平力の大きさおよび作用点数は、中詰め材の種類およびスリットセルラーの諸元により異なるため、原則として模型実験により求めるものとする。ここでは参考のため、表－6.2.3.2に示す条件の堤体（図－6.2.3.3に示す設計例の岸側潜堤1／25模型）を用い、中詰め材水平力を測定した例（建設省土木研究所，1991）を示す。表中のhは水深、h'は堤体底面の水深、Bは堤体幅、Rは堤体天端水深である。

中詰め材水平力は、静水中では土圧的にP_eのみが作用する。中詰め材1個当りの集中荷重P_e（現地量換算）の深さ方向分布を図－6.2.3.4に示す。ここに、z'は静水面からの深さである。底面近くでP_eが小さくなるのは、底面での摩擦により中詰め材の水平方向への分散が抑えられるためである。

次に、波作用時には、中詰め材を伝達して水平力P_wが作用する。P_eと同一方向の力（沖側壁の梁では沖向、岸側壁の梁では岸向）を対象とし、沖側壁と岸側壁のP_wの最大値P_{wmax}を実験により求めた（建設省土木研究所，1991）。実験模型の諸元は表－6.2.3.2と同一であり、波浪条件は表－6.2.3.3に示す通りである。P_wの測定値を図－6.2.3.4に示す。この図よりP_wの包絡線としてP_{wmax}を求め、P_eとの比としてP_{wmax}／P_eの鉛直分布を図－6.2.3.5に示す。

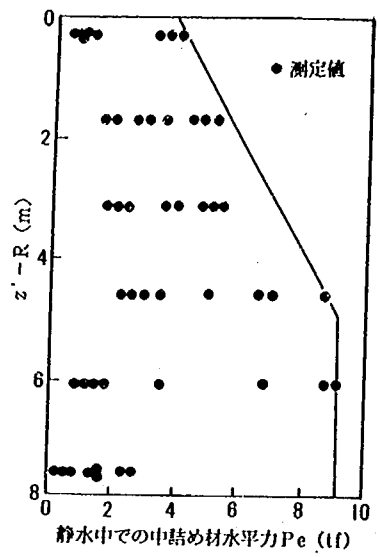


	沖側潜堤	岸側潜堤
中詰め材	6.3t型テトラポッド	6.3t型テトラポッド
中詰め材の空隙率 ε_1	50 %	50 %
スリットセルラーの開口率 ε_2	40 %	40 %
相対天端水深 R／h	0.3	0.0
堤体幅水深比 B／h	2.13	1.49
潜堤間隔 ℓ	45m	

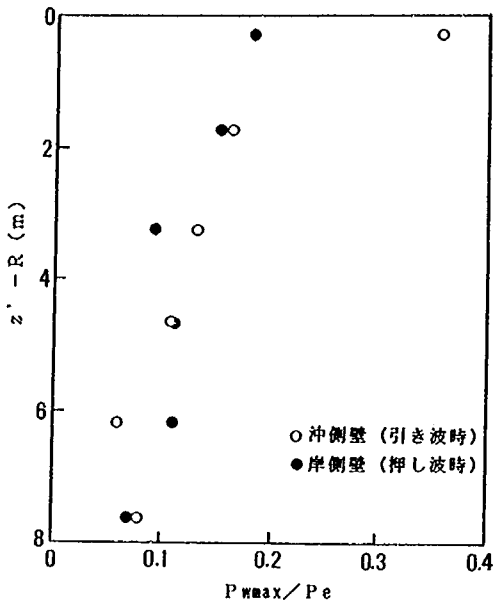
図－6.2.3.3　試設計による構造図

表－6.2.3.2　中詰め材水平力測定実験の堤体諸元

海底勾配	1/50
中詰め材	異形ブロック6.3t型の1/25模型
h'／h	0.8
B／h	1.4
R／h	0.0



図－6.2.3.4　静水中での中詰め材水平力の測定結果（現地量換算）



図－6.2.3.5　P_{wmax}と静水中でも中詰め材水平力P_eの比較

表－6.2.3.3　中詰め材水平力測定実験の波浪条件

h／L	H_I／L
0.108	0.021～0.071
0.075	0.017～0.053

上から2段目以下の梁部材では、岸側・沖側壁にかかわらずP_{wmax}はP_eの1割程度である。最上段の梁部材では、沖側壁において$P_{wmax}／P_e$は約1／3と大きくなるが、$P_{wmax}+P_e$の値は2段目以下の梁部材と比較して小さい。したがって、設計ではP_wによる中詰材水平力の変動成分をP_eの割増により考慮することとした。すなわち、P_wのP_eに対する比率を考慮してP_eの荷重係数を1.3とする。ただし、P_eは波力と同一方向に作用する場合のみに考慮する。したがって、沖側壁では引き波時にのみ、岸側壁では押し波時にのみ考慮する。また、中詰め材と梁部材の間の摩擦力は、水平力に比べて小さいので無視する。

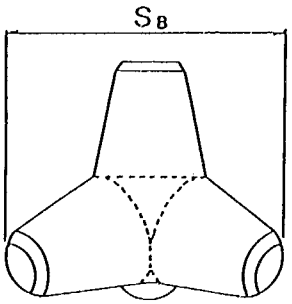
1スパン当りの梁部材に接する中詰め材の点数（P_eの作用点数）は、次式で求める。

$$N_{pe} \leqq \ell_s／S_B \qquad (6.2.3.1)$$

ここに、ℓ_s：梁部材の純スパン

S_B：中詰材1個の水平方向支配長さ

N_{pe}の算定事例を図－6.2.3.6に示す。N_{pe}とP_eの作用点の間隔ℓ_bは、模型実験により確認して、梁部材に最も危険となるように定める。



図－6.2.3.6　N_{Pe}の算定事例

(4) 波力

安定照査に用いる波力および構造解析・部材設計に用いる波圧は、入射波の特性、設置水深、海底勾配および構造物の諸元により変化する。したがって、設計に用いる波力は原則として水理模型実験により求めるものとする。ここでは参考のため、実験（建設省土木研究所，1990b）により求めた波力、波圧の算定法を示す。実験に用いた条件を表－6.2.3.4に示す。ここに、H_1は沖側潜堤前面での入射波高、Lは水深hでの波長である。

a）安定計算に用いる全体波力

波力測定実験結果（建設省土木研究所，1990b）によると式（6.2.3.2）のように無次元化した波力f_x、f_zおよび堤体後趾回りのモーメントmは、無次元量gT^2/H_1にほぼ比例する。そこで、無次元波力の算定図の一例を図－6.2.3.7に示す。ここで、F_X、F_Z、Mをそれぞれ、水平全波力、鉛直全波力、堤体後趾回りのモーメントとすると、f_x、f_z、mは次式で与えられる。

$$\begin{cases} f_x = F_X / (h'-R)\ \rho\ (H_1/T)^2 \\ f_z = F_Z / B\rho\ (H_1/T)^2 \\ m = M / (h'-R)\ B\rho\ (H_1/T)^2 \end{cases} \qquad (6.2.3.2)$$

ここに、ρ　：海水の密度

　　g　：重力加速度

である。

表－6.2.3.4　波力および波圧測定実験の堤体諸元

海底勾配 $\tan\theta$	1／50
h／L	0.075～0.141
H_1／L	0.016～0.096
h'／h	0.8
B_1／h	2.0
B_2／h	1.4
R_1／h	0.3
R_2／h	0.0
ℓ／h	4.25 ,　6.93

b）部材波圧

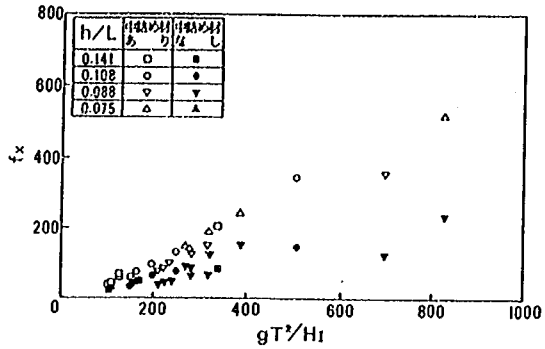
梁部材の設計に用いる波力は、部材の沖側および岸側の面に作用する波圧の差（同時差圧）とする。柱部材の設計では、沖側壁前面の波圧を考慮する。ここで、柱部材に作用する波圧p_cおよび梁部材に作用する同時差圧Δp_sを次式より無次元化する。

$$\begin{cases} \phi_{pc} = p_c / \rho\ (H_1/T)^2 \\ \phi_{ps} = \Delta p_s / \rho\ (H_1/T)^2 \end{cases} \qquad (6.2.3.3)$$

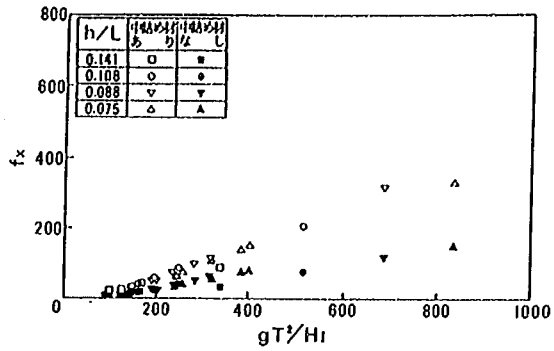
ここに、ϕ_{pc}：無次元化した柱部材に作用する波圧

ϕ_{ps}：無次元化した梁部材に作用する同時差圧

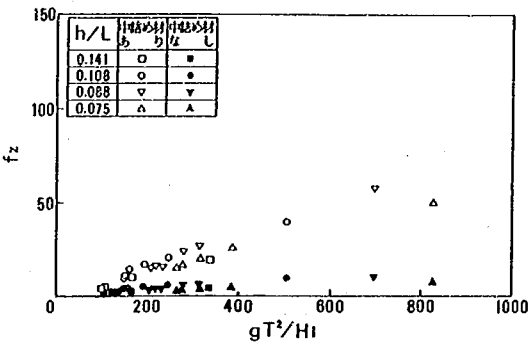
である。波圧測定実験の結果（建設省土木研究所，1990b）より、ϕ_{pc}、ϕ_{ps}と無次元量gT^2/H_1の関係の一例を図－6.2.3.8、6.2.3.9に示す。また、p_c、Δp_sの測定位置を図－6.2.3.10に示す。設計では、p_cは前壁の柱部材に、Δp_sは前・後壁および法線方向の隔壁の梁部材に作用させる。



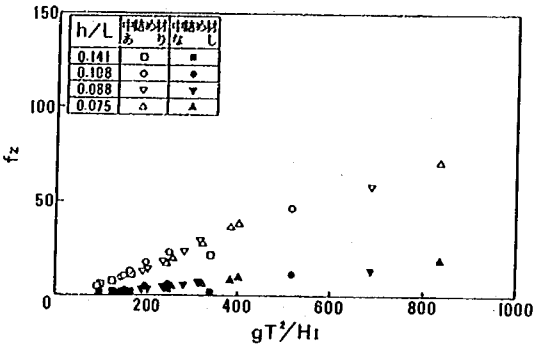
無次元水平波力



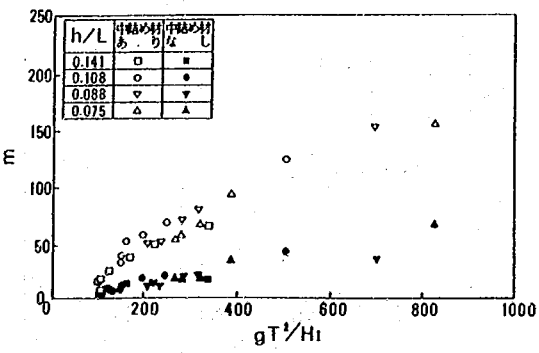
無次元水平波力



無次元鉛直波力

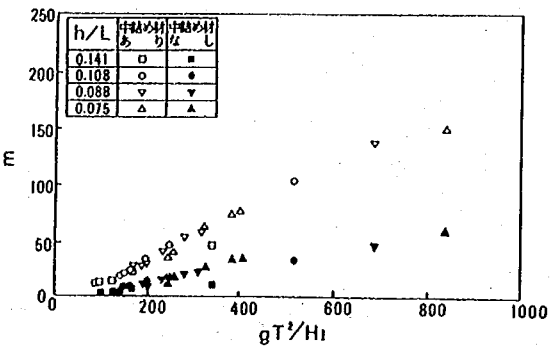


無次元鉛直波力



無次元モーメント

a)沖側潜堤

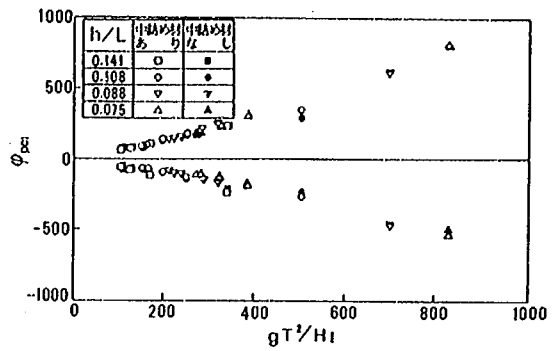


無次元モーメント

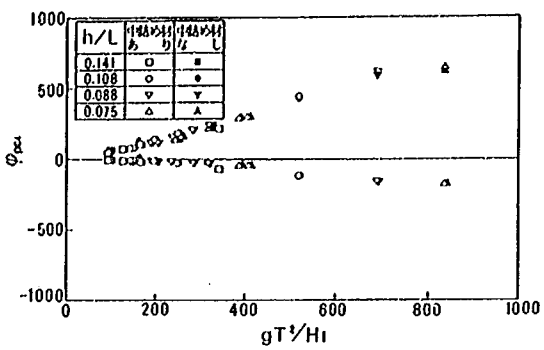
b)岸側潜堤

図－6.2.3.7　無次元波力の算定図の一例

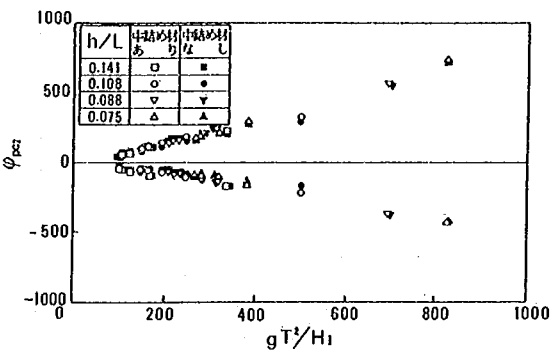
（$B_1/h=2.0$，$B_2/h=1.4$，$R_1/h=0.3$，$R_2/h=0.0$，$\ell/h=4.25$）



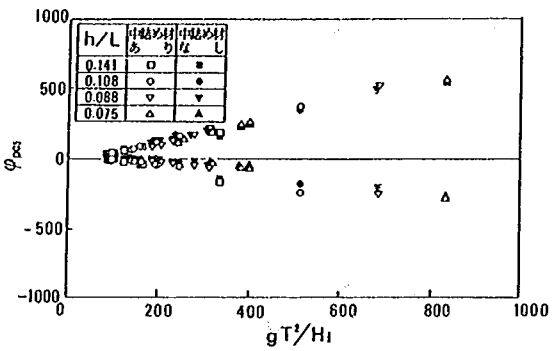
無次元波圧　ϕ_{pc1}



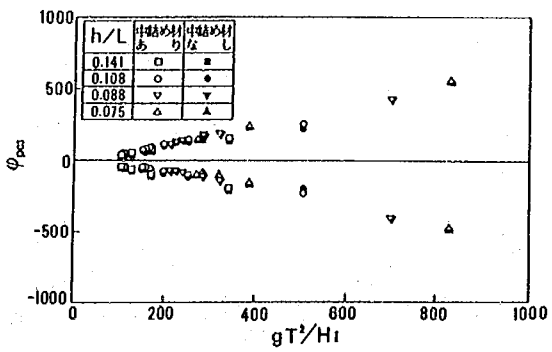
無次元波圧　ϕ_{pc4}



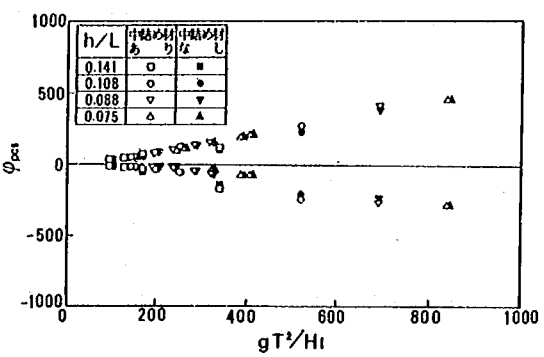
無次元波圧　ϕ_{pc2}



無次元波圧　ϕ_{pc5}



無次元波圧　ϕ_{pc3}

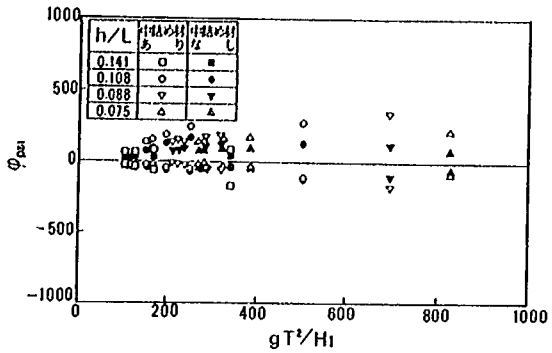


無次元波圧　ϕ_{pc6}

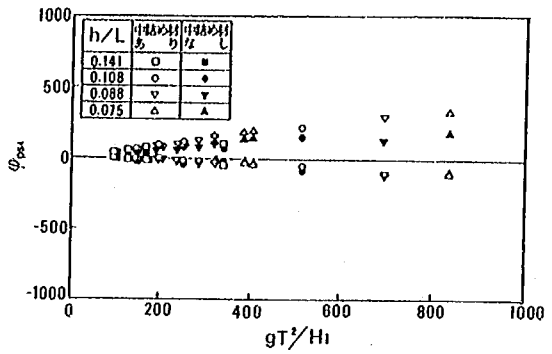
a)沖側潜堤　　b)岸側潜堤

図－6.2.3.8　柱部材の無次元波圧の算定図の一例

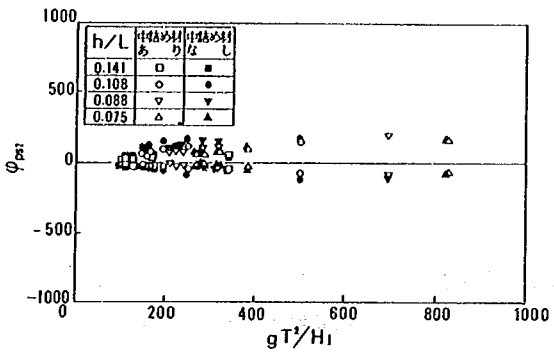
($B_1/h=2.0$, $B_2/h=1.4$, $R_1/h=0.3$, $R_2/h=0.0$, $\ell/h=4.25$)



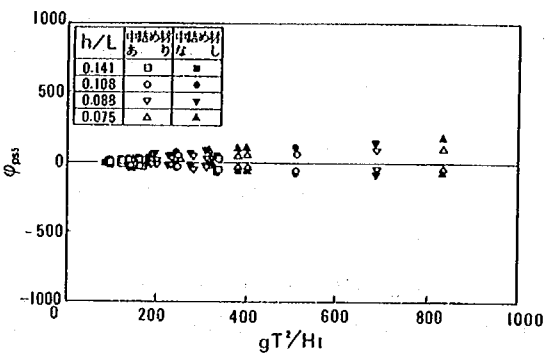
無次元同時差圧　$\phi_{p,1}$



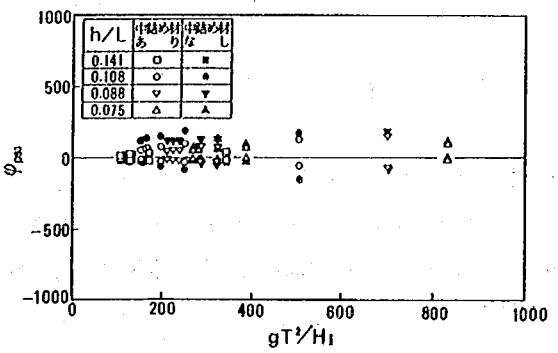
無次元同時差圧　$\phi_{p,4}$



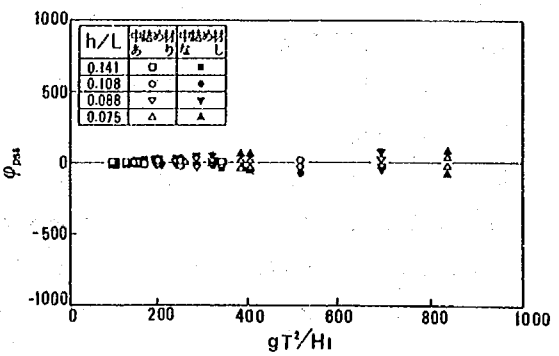
無次元同時差圧　$\phi_{p,2}$



無次元同時差圧　$\phi_{p,5}$



無次元同時差圧　$\phi_{p,3}$

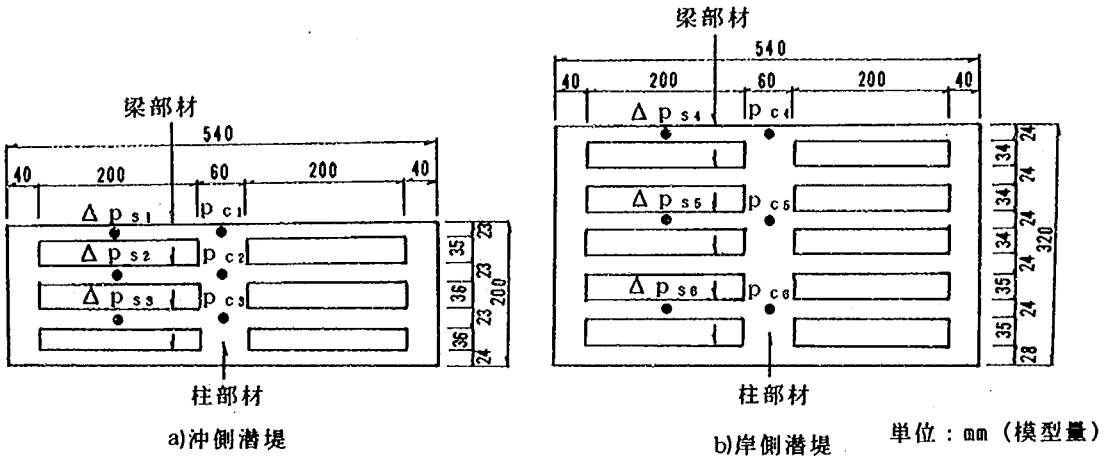


無次元同時差圧　$\phi_{p,6}$

a)沖側潜堤　　b)岸側潜堤

図－6.2.3.9　梁部材の無次元同時差圧の算定図の一例

($B_1/h=2.0$, $B_2/h=1.4$, $R_1/h=0.3$, $R_2/h=0.0$, $\ell/h=4.25$)



図－6.2.3.10　波圧および同時差圧の測定位置

(5) 静水圧および浮力

本編「3．1．4　静水圧および浮力」に準ずる。

(6) 地震の影響

本構造物の固有周期は通常0.3sec程度と地震動の卓越振動周期と比較して短いため、本編「3．1．5 地震の影響」に準じて静的解析である震度法を用いて、慣性力および地震時動水圧を算定する。

a）慣性力

慣性力P_{H1}は式（6.2.3.4）で求め、堤体の重心に作用させる。

$$P_{H1}=k_H W \qquad (6.2.3.4)$$

ここに、k_H　：設計震度

W　：堤体空中重量で、スリットセルラーおよび中詰め材の総重量とする。

b）地震時動水圧

地震時動水圧p_{dw}は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（日本港湾協会，1989）に準じて式（6.2.3.5）で求める（図－6.2.3.11）。p_{dw}は、堤体天端（z'R）から堤体底面（z'=h'）の間で、堤体の前面および後面に同一方向に作用するものとする。スリットセルラーには開口部があるが、中詰材が満載されているため、通常の混成防波堤に対する算定法を準用する。

$$P_{dw}=\pm\frac{7}{8}k_H w_0\sqrt{h' z'} \qquad (6.2.3.5)$$

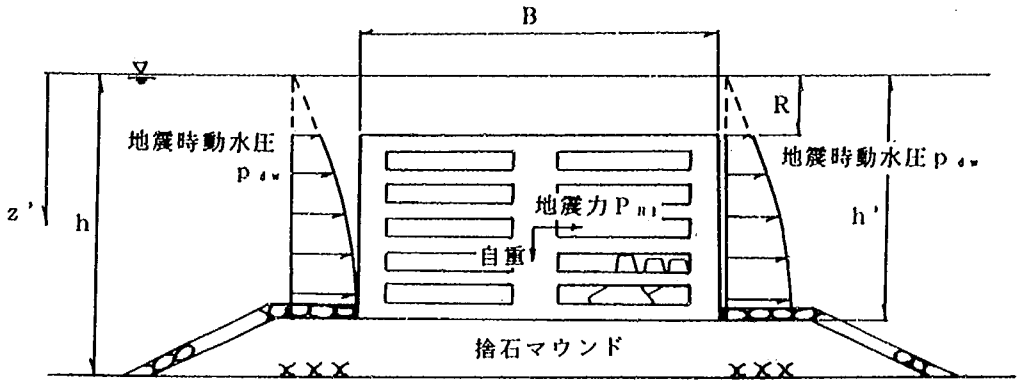
ここに、k_H　：設計震度

w_0：海水の単位体積重量

z'：静水面から動水圧を求める点までの深さ($R\leqq z'\leqq h'$)

(7) 流れおよび津波による荷重

流れによる荷重F_Dは、本編「3．1．7　流れおよび津波による荷重」に準じて算定する。この場合、



図－6.2.3.11　地震時動水圧の算定法

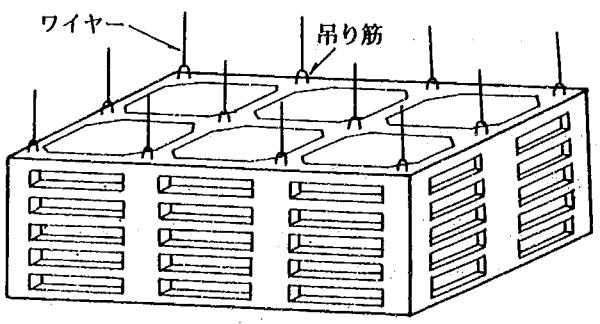
抗力係数C_Dは、「海洋鋼構造物設計指針（案）」（土木学会，1973）に準じて2.0としてよい。

(8)　衝突荷重

本編「3．1．8　衝突荷重」に準じて必要に応じて算定する。このとき、作用位置は岸側潜堤の最上段梁部材の中央とする。

(9)　施工時荷重

吊り上げ・運搬を行う場合には、自重による施工時荷重を考慮する必要がある。吊り点の配置の例を図－6.2.3.12に示す。



図－6.2.3.12　吊り点の配置

6．2．3．4　安定照査

(1)　照査項目

安定照査は、本編「6．2．1　設計の基本方針」の表－6.2.1.2に示す項目について行う。本構造物の固有周期が波の卓越周期に比べはるかに短いことから、構造物と波の共振に関する使用限界状態時の照査は必要ないと考えられる。

(2)　せん断抵抗力照査

波力および地震荷重に対するせん断抵抗力の終局限界状態に関する照査では、本編「6．2．1　設計の基本方針」式（6.1.1.4）により、堤体全体（スリットセルラーと中詰め材）と捨石マウンド間の滑動抵抗力を照査する。式（6.2.1.4）において、R_dは堤体全体と捨石マウンド間の最大静止摩擦力の特性値F_fに抵抗修正係数γ_fを乗じて与える。F_fは、堤体全体と捨石マウンド間の摩擦係数の測定結果（建設省土木研究所，1988b）に基づき次式で求める。

$$F_f = \mu\ (W - U - F_z) \qquad (6.2.3.6)$$

ここに、μ：摩擦係数の特性値であり、$\mu = 0.6$とする。

U：浮力

F_z：鉛直上向き波力であり、式（6.2.3.2）より求める。

(3)　鉛直支持力照査

波力および地震荷重に対する鉛直支持力の終局限界状態に関する照査では、本編「6．2．1　設計の基本方針」の式（6.2.1.4）により、捨石マウンド底面地盤の鉛直支持力を照査する。式（6.2.1.4）において、R_dは本編「5．3．4　設計抵抗力」の式（5.3.4）で算定される捨石マウンド底面地盤の極限鉛直支持力Q_uに抵抗修正係数γ_fを乗じて与える。S_dは「港湾の施設の技術上の基準・同解説第5編」（日本港湾協会，1989）により算定される地盤上面の荷重の合力とし、式（6.2.3.7）より算定する（図－6.2.3.13）。本構造物は、通常の混成防波堤と同様に捨石マウンドを有しているため、実績のある荷重分散法を用いて捨石マウンド底面地盤に作用する荷重を求めるものとした。ただし、終局限界状態では地盤のせん断破壊近傍での応力状態を照査するので、地盤は塑性域にあると考えられる。したがって、図－6.2.3.13に示す地盤上面の応力分布は、一様分布とモーメントに置き換える。

$$S_d = (F_v + h_m B' \gamma'_1)\ L_B \qquad (6.2.3.7)$$

ここに、F_v　：鉛直下向き方向の荷重の合力（$= W - U - F_z$）

h_m　：捨石マウンドの厚さ

γ'_1　：捨石の水中単位体積重量

L_B　：堤体の奥行き

B'　：図－6.2.3.13に示す捨石マウンド底面地盤上面での荷重分布幅

捨石マウンドの肩幅が充分に大きい場合

$$; B' = b + h_m \{ \tan(30° + \theta) + \tan(30° - \theta) \}$$

その他の場合　; B' = b

b　：捨石マウンド天端での底面反力分布幅

$e \leqq \frac{1}{3}$ Bの場合；b = 3 e（三角形分布）

$e > \frac{1}{3}$ Bの場合；b = B（台形分布）

B　：堤体幅

e　：荷重の合力F_Rの作用点の堤体後趾からの距離（$= M_B / F_V$）

M_B ：堤体後趾回りのモーメント

θ ：F_Rの傾斜角（$=\tan^{-1}(F_H/F_V)$）

F_H ：水平方向の荷重の合力

p_1'：地盤上面の荷重の最大応力度（$=\frac{b}{B}p_1+\gamma_1' h_m$）

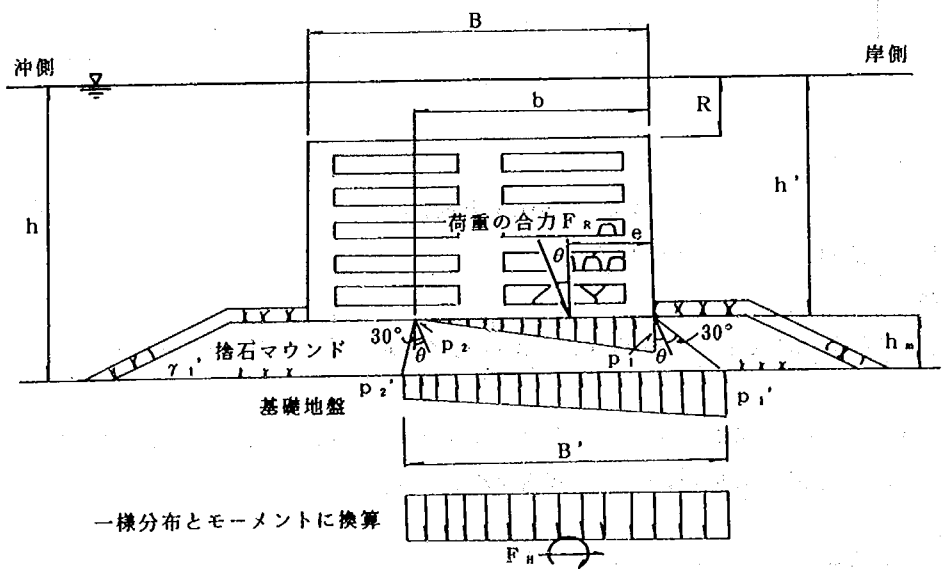
p_2'：地盤上面の荷重の最小応力度（$=\frac{b}{B}p_2+\gamma_1' h_m$）

p_1 ：捨石マウンド天端での底面反力の最大応力度

三角形分布；$p_1=\frac{2F_V}{3e}$，台形分布；$P_1=\frac{2F_V}{B}\left(2-3\frac{e}{B}\right)$

p_2：捨石マウンド天端での底面反力の最小応力度

三角形分布；$p_2=0$，　台形分布　；$P_2=\frac{2F_V}{B}\left(3\frac{e}{B}-1\right)$



図－6.2.3.13　荷重分散法による捨石マウンド底面地盤への作用荷重

(4) 変位量照査

a）堤体の変位量照査

使用限界状態に関する堤体の変位量の照査は、本編「6．2．1　設計の基本方針」の式（6.2.1.5）により行う。

捨石マウンドがバネの性質を保有していることは、合田（1973）が確認している。したがって、式（6.2.1.5）中のU_dは、堤体を剛体、捨石マウンドを半無限弾性体として、式（6.2.1.6）～（6.2.1.8）によ

り算定する。この算定法は捨石マウンドを半無限弾性体としたものであるため、算定結果は参考にとどめるべきであり、必要に応じて水理模型実験等により確認する。

b）捨石マウンド底面地盤の圧密沈下量照査

捨石マウンド底面地盤に圧密沈下量の大きな粘性土層が存在する場合には、地盤改良等の対策を施すものとする。圧密沈下量は、式（6.2.1.9）により算定する。

6．2．3．5　構造解析および部材の設計

(1) 照査する限界状態および支配外力

スリットセルラーの各部材を照査する限界状態とその時に主に支配的となる荷重を表－6.2.3.5に示す。

表－6.2.3.5　照査限界状態および主に支配的となる荷重

部材名	照査限界状態	主に支配的となる荷重
梁部材	終局，使用，疲労	同時差圧，中詰め材水平力
柱部材	終局，使用，疲労	波圧
スリットセルラー全体	終局	吊り上げ・運搬時自重

(2) 材料

a）コンクリート

スリットセルラーに用いるコンクリートの設計基準強はf'_{cK}240kgf／cm²、中詰め材に用いる異形ブロックはf'_{cK}=210kgf／cm²を標準とする。

b）鉄筋

鉄筋はJIS G 3112に適合するもののうち、原則としてSD30AまたはSD30Bを用いる。

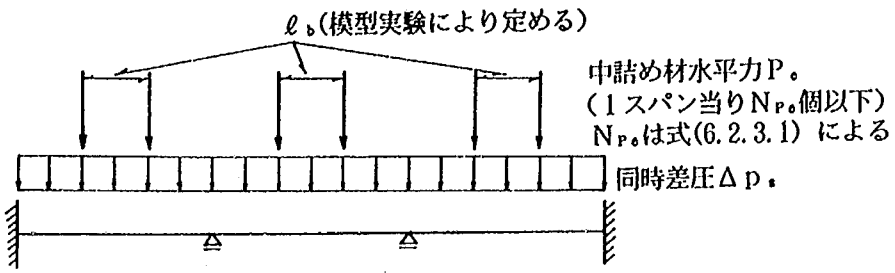
c）石材

捨石および被覆石は、JIS A 5001の硬石に分類されるものを用いることが望ましい。重量については、捨石は200kgf、被覆石は800kgf程度を標準とする。

(3) 構造解析

a）法線方向梁部材および側壁梁部材

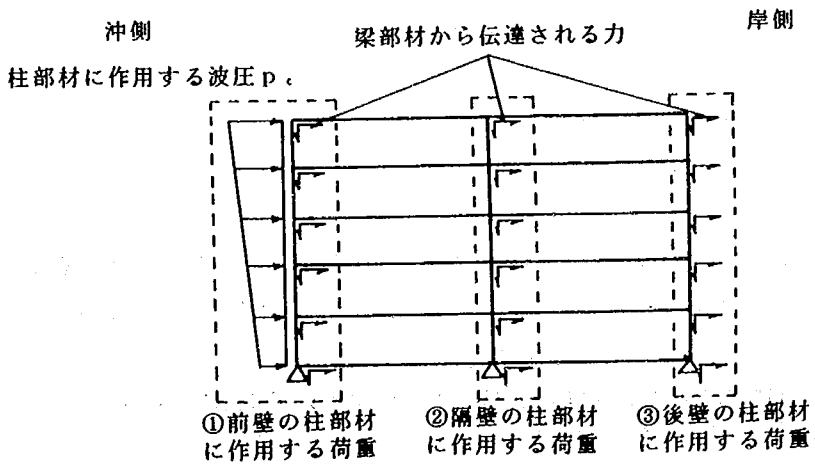
法線方向梁部材および側壁梁部材の構造解析は、図－6.2.3.14に示すように柱部材を支点とする連続梁として行う。荷重には、同時差圧Δp_s（等分布荷重）および中詰め材水平力P_e（集中荷重）を考慮する。また、中詰め材水平力の作用位置は式（6.2.3.1）および模型実験により定める。中詰め材水平力は、同時差圧と同一方向にのみ作用させる。ただし、隔壁に作用するP_eは考慮しなくてよい。また、側壁に作用するΔp_sは考慮しなくてよい。連続梁のスパンは、支点となる柱部材の中心間距離とする。



図－6.2.3.14　法線方向梁部材および側壁梁部材の解析モデル

b）柱部材および法線直角方向梁部材

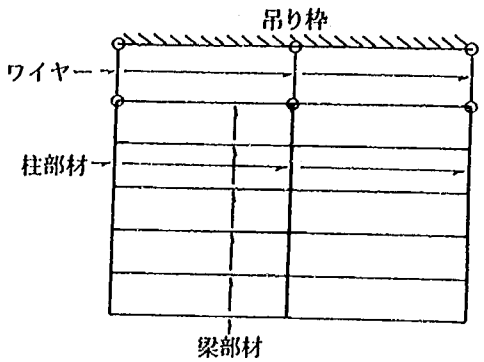
柱部材および法線直角方向梁部材の構造解析は、図－6.2.3.15に示すように2次元ラーメンとして行う。荷重には、自重、浮力、前壁の柱部材に作用する波圧 p_c および法線方向梁部材から柱部材に伝達される力（法線方向梁部材の解析における支点反力で、法線方向梁部材の自重も考慮）を考慮する。ただし、前・後壁および隔壁に作用する波力には位相差があるため、各々の壁体について荷重最大時の解析を行い、前・後壁柱部材、隔壁柱部材および法線直角方向梁部材ごとに、それぞれ最も大きな断面となる部材寸法を採用する。



図－6.2.3.15　柱部材および法線直角方向梁部材の解析モデル

c）スリットセルラー全体

吊り上げ・運搬時のスリットセルラー全体の構造解析は、スリットセルラーを2次元ラーメンとして行う。荷重には、自重（空中重量）を考慮する。図－6.2.3.16は、吊り枠を用いた吊り上げ・運搬時の解析モデルである。



図－6.2.3.16　吊り上げ・運搬時の解析モデル

(4)　部材の設計

a）終局限界状態の照査

本編「6．1．1(4)b）②ア) 終局限界状態」に準ずる。

b）使用限界状態の照査

本編「6．1．1(4)b）②イ) 使用限界状態」に準ずる。

c）疲労限界状態の照査

本編「6．1．1(4)b）②ウ) 疲労限界状態」に準ずる。

6．2．3．6　細部設計

(1)　スリットセルラーの構造細目

本編「6．1．1(4)b）②エ) 一般構造細目」に準ずる。

(2)　捨石マウンドの構造細目

捨石マウンドは、通常の防波堤に用いられる捨石マウンドと同様の構造であるため、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（日本港湾協会，1989）に定められる以下の規定を満足するように設計する。

a）捨石マウンドの厚さ

捨石マウンドの厚さは原則として1.5m以上とする。ただし、捨石マウンドの天端は、なるべく深くすることが望ましい。

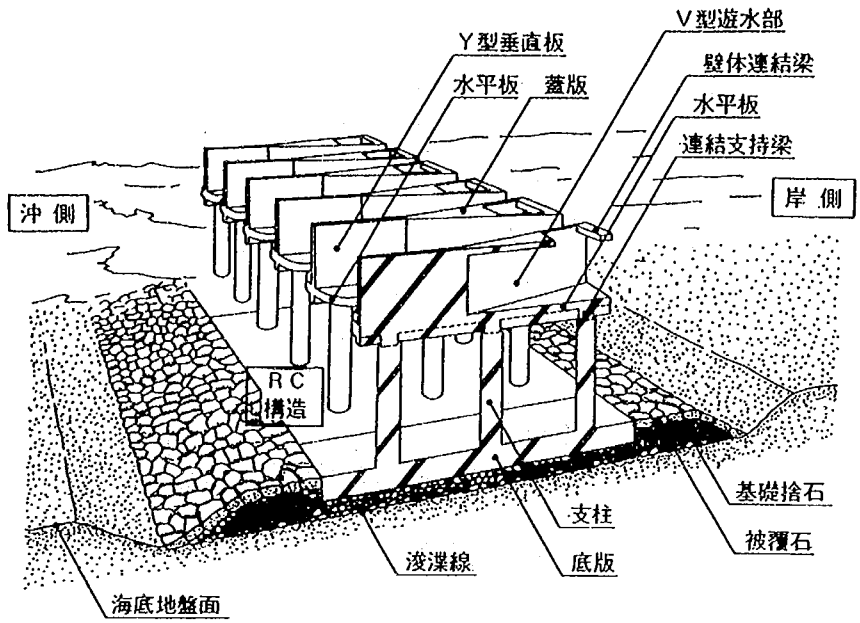
b）捨石マウンドの肩幅

捨石マウンドの沖側の肩幅は、波高に応じて充分な広さをとるものとする。波浪条件の特に厳しいところでは、5m以上の幅をとることが望ましい。岸側の肩幅は沖側の2／3程度とする。

6．2．4　並列Y字壁式構造物

6．2．4．1　一般

並列Y字壁式構造物（複合消波型構造物）は、Y型垂直板、蓋版、水平板、連結支持梁、支柱、底版が一体に構成された重力式鉄筋コンクリート構造物である（図－6.2.4.1）。本構造物は、消波機能を有する上



図－6.2.4.1　並列Y字壁式構造物の概要図

部工（Y型垂直板、水平板等）およびこれらを支持する下部工（支柱、底版等）より成る。

6.2.4.2　構造および諸元

本構造物の構造図を図－6.2.4.2に示す。本構造物の主要な諸元は、水平板全幅 ℓ、天端高h_1、水平板没水深h_2、水平板間隔W_B、堤体幅Bである。また、図には試設計（建設省土木研究所，1988a）により求めた構造寸法も併せて示した。試設計の条件を表－6.2.4.1に示す。

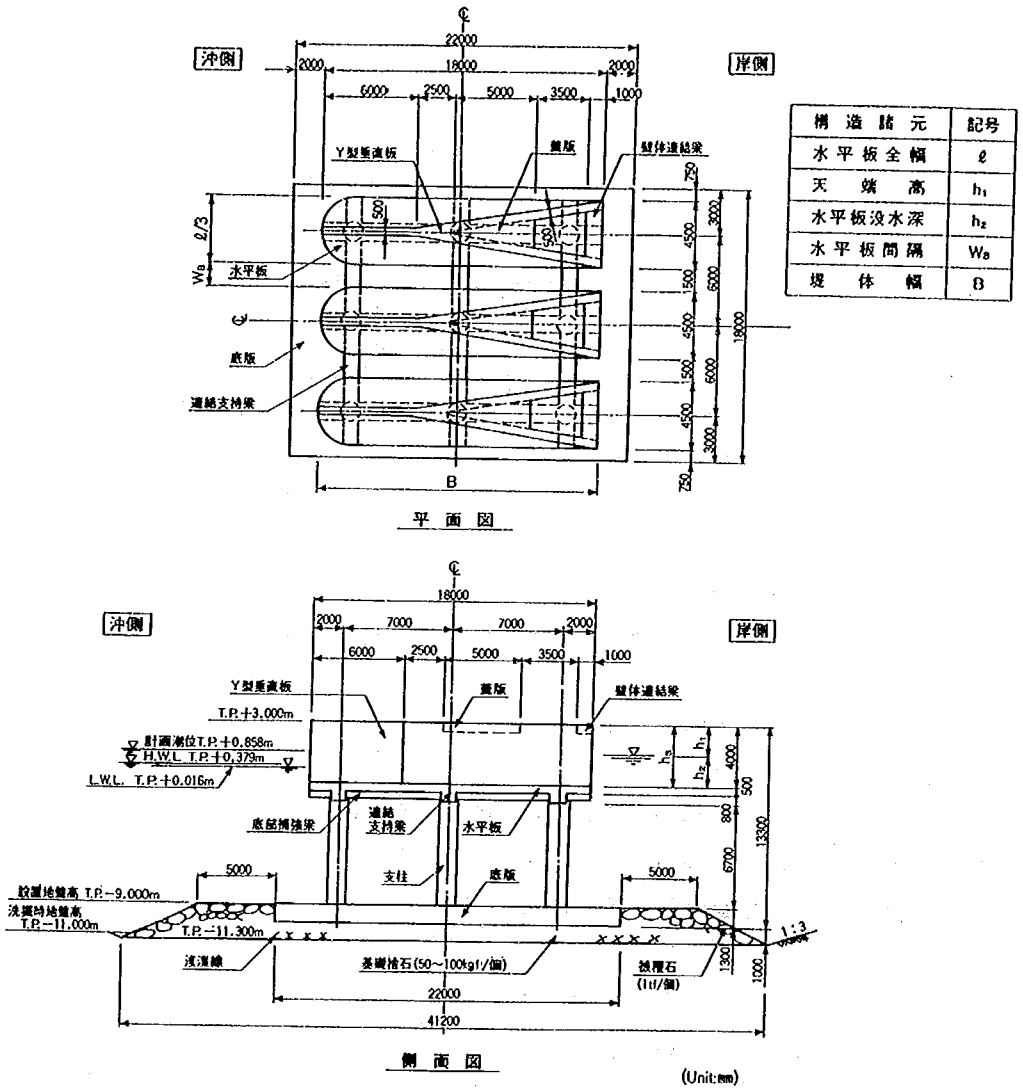
表－6.2.4.1　試設計の主要条件

条件項目		条件値
構造条件	設置地盤高	T.P. － 9.0 m
自然条件	計画波浪	H_{max} = 7.1 m, T = 10 sec
	地震震度	k_h = 0.12
	土質条件	砂質土（平均N値 5）
消波性能		透過率≦ 0.6，反射率≦ 0.5

6.2.4.3　設計荷重

(1)　荷重の種類および組合わせ

構造設計に当っては、死荷重、波力、静水圧および浮力、地震の影響、流れおよび津波による荷重、衝突荷重、施工時荷重を考慮する。また、風荷重は一般に波力等に比べかなり小さいため、必要に応じて考慮す



構造諸元	記号
水平板全幅	ℓ
天端高	h_1
水平板没水深	h_2
水平板間隔	W_s
堤体幅	B

図－6.2.4.2　並列Y字壁式構造物の構造図

る。各限界状態照査に用いる荷重の組合せは、本編「3．2　荷重の組合わせ」に準ずる。

(2)　死荷重

本編「3．1．2　死荷重」に準ずる。

(3)　波力

安定照査に用いる全波力および部材設計に用いる波圧強度は、入射波の特性、設置水深、海底勾配、および構造物の諸元により変化する。したがって、設計に用いる波力は、原則として水理模型実験により求める。以下には実験により求めた波力、波圧の算定法を示す（建設省土木研究所，1989 a）。実験に用いた構造諸元を表－6.2.4.2 a）に、波浪条件を表－6.2.4.2 b）に示す。

表－6.2.4.2　実験条件

a）実験模型の構造諸元

構造諸元	値
W_B/B	1/12
$W_B/\ell/3$	1/3
h_1/h	0.25
h_2/h	0.2

b）波浪条件

水深 h	海底勾配 tanθ	波向 〔注2〕	入射波高 H_I 〔注3〕	周期 T	H_I/h	H_I/L
25 cm (10m) 〔注1〕	1/50	0°,30°	5.0 ~ 23.9 cm (2.0 ~ 9.6m)	0.95 ~ 2.21 sec (6 ~ 14 sec)	0.2 ~ 0.96	0.028 ~ 0.11
	1/10	0°,30°	22.2 ~ 33.4 cm (8.9 ~ 13.4m)	1.26 ~ 1.90 sec (8 ~ 12 sec)	0.89 ~ 1.34	0.10 ~ 0.12

〔注1〕　（　）内数値は実機換算値を示す。

〔注2〕　直角入射時波向を0°とする。

〔注3〕　堤体前面より沖側の斜面上で砕波する場合は、沖側での最高波高をH_Iとする。

a）全波力

実験より求めたF_X、F_Zを次式のように無次元化し、B／Lとの関係を図－6.2.4.3、図－6.2.4.4に示す。

$$f_X=\frac{F_X}{w_0 H_I \ell h_3}$$

$$f_Z=\frac{F_Z}{w_0 H_I \ell B}$$

ここに，

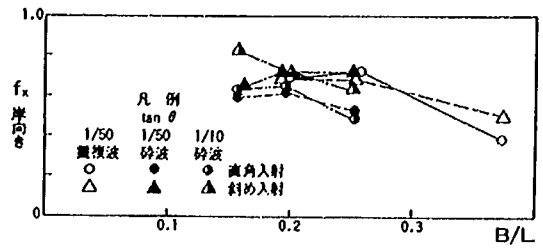
f_X、f_Z　：全波力に関する無次元係数

F_X、F_Z　：水平全波力、鉛直全波力

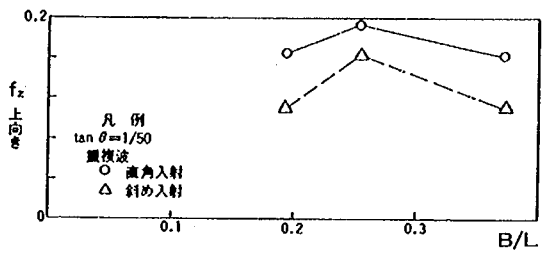
H_I　：堤体前面の波高であり、堤体前面より沖側で砕波する場合には、砕波波高を用いる。

実験によると、非砕波の波が作用する条件では水平全波力F_Xと鉛直全波力F_Zの最大値はほぼ同位相で作用した。一方、砕波が作用する条件では、F_X 最大時のF_Zの値は最大時の60%以下であった。

以上より、安定照査に用いるf_Xとf_Zをとりまとめると表－6.2.4.3のようになる。



図－6.2.4.3　無次元水平波力とB／Lの関係



図－6.2.4.4　無次元鉛直波力とB／Lの関係

($H_1/h=0.2\sim0.4$, $H_1/L=0.028\sim0.083$)

表－6.2.4.3　安定解析に用いる全波力に関する無次元係数

海底勾配 tanθ	[注] 波向 (°)	砕波／重複波	全波力に関する無次元係数	
			f_x	f_z
1/50	0	砕　波	0.65	0.0
		重複波	0.70	0.20
	30	砕　波	0.75	0.10
		重複波	0.70	0.15
1/10	0	砕　波	0.65	0.0
	30	砕　波	0.85	0.0

［注］　直角入射時波向を0°とする。

b）部材波圧

①　検討部材の選定

部材波圧は、次の2とおりに分けて検討する。

ア）当該部材に直接作用する波圧により、部材断面が支配される部材

該当部材…Y型垂直板、水平板、蓋版

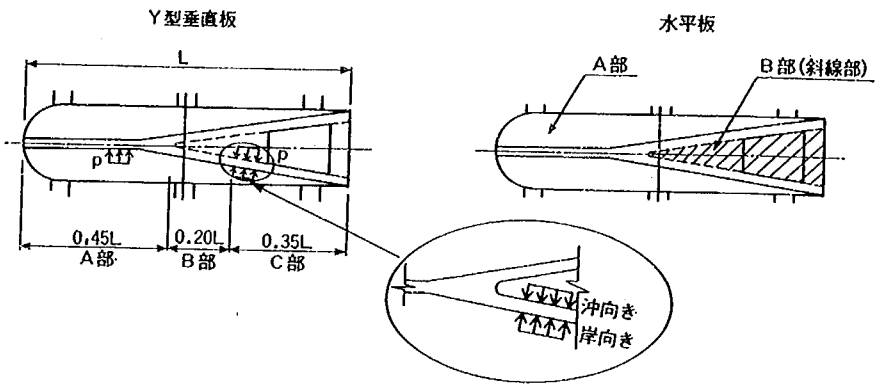
イ）当該部材に作用する波圧ではなく、他の部材に作用する波圧、あるいは他の荷重により部材断面が

支配される該当部材

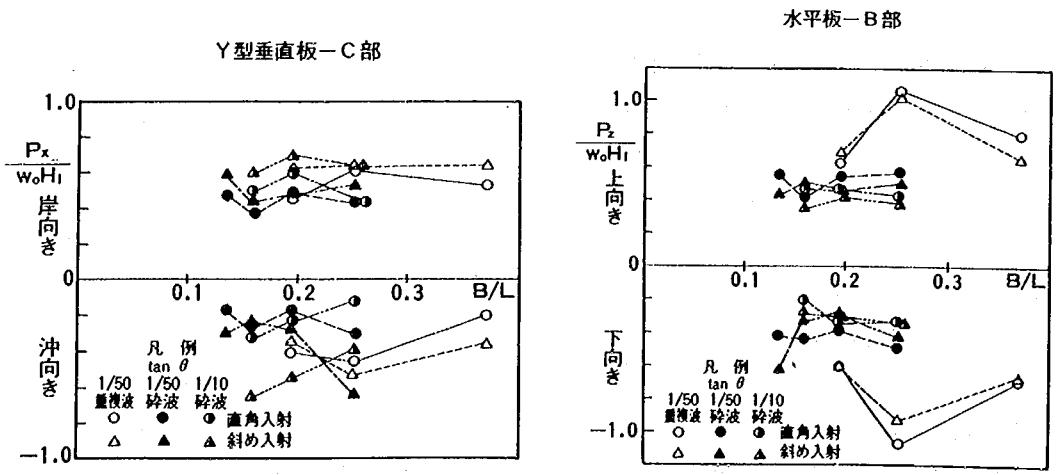
当該部材…支柱、連結支持梁、底版

② 各部材に作用する波圧

Y型垂直板および水平板に作用する波圧強度を求める際の位置区分を図－6.2.4.5に示す。蓋版は、全面を一つの区分とした。Y型垂直板C部、水平板B部における波圧強度の無次元係数（p_x/w_0H_1、p_z/w_0H_1）を図－6.2.4.6に示す。ここにp_x、p_zは各々の区分における同時差圧の最大値である。



図－6.2.4.5　波圧（同時差圧）作用位置区分



図－6.2.4.6　波圧強度とB／Lの関係

（$H_1/h=0.2\sim1.34$，$H_1/h=0.028\sim0.12$）

部材の各区分の同時差圧の最大値が一様に作用するものとして、部材設計に用いる各部材の波圧強度は、$p=w_0\alpha_n H_1$より求める。ここに、α_nは区分nの波圧係数である。α_nの一覧を表－6.2.4.4に示す。

表－6.2.4.4　部材設計に用いる波圧係数

海底勾配 tanθ	入射波		Y型垂直板					水平板				蓋版
	波向〔注1〕(°)	砕波/重複波	A部	B部		C部		A部		B部		全面
			———	岸向	沖向	岸向	沖向	上向	下向	上向	下向	上向
1/50	0	砕波	0.4	0.6	-2.2	0.5	-0.3	0.5	-0.4	0.6	-0.5	1.6
		重複波	0.1	1.0	-2.7	0.7	-0.5	0.5	-0.4	1.1	-1.1	1.4
	30	砕波	0.5	0.7	-3.3	0.6	-0.7	0.4	-0.3	0.5	-0.5	2.1
		重複波	0.3	0.8	-3.3	0.7	-0.6	0.4	-0.4	1.0	-1.0	2.2
1/10	0	砕波	0.3	0.5	-0.4	0.6	-0.4	0.5	-0.5	0.5	-0.4	0.3
	30	重複波	0.6	1.0	-1.4	0.7	-0.7	1.0	-1.1	0.4	-0.4	0.9

〔注1〕直角入射時波向を0°とする。

〔注2〕アンダーライン箇所は、衝撃波圧を生じた場合を示しており、波圧係数は既に動的応答倍率を含む。動的応答倍率はY型垂直板の場合1.3，水平板の場合1.2，蓋版の場合0.9とした。

(4)　静水圧および浮力

本編「3.1.4　静水圧および浮力」に準ずる。

(5)　地震の影響

本構造物の固有周期は、通常0.5sec程度と短いので、本編「3.1.5　地震の影響」に準じて、静的解析である震度法を用いて慣性力および動水圧を求める。

a）慣性力

慣性力P_{H0}は、次式により求める。

$$P_{H0}=k_h \cdot W \qquad (6.2.4.1)$$

ここに　k_h：設計水平震度

W：堤体空中重量　(tf)

b）動水圧

① Y型垂直板に作用する動水圧P_{H1}

「道路橋示方書・同解説　V耐震設計編」（日本道路協会，1990）に準じて、周辺を完全に水で取り囲まれた柱状構造物に作用する動水圧算定式を用いる。以下にY型垂直板一ケ所当りの動水圧P_{H1}算定式を示す。

b／h≦2.0の場合

$$P_{H1}=\frac{3}{4}k_h w_0 b^2 h\left(1-\frac{b}{4h}\right) \qquad (6.2.4.2)$$

2.0＜b／h≦4.0の場合

$$P_{H1}=\frac{3}{4}k_h w_0 b^2 h\left(0.7-\frac{b}{10h}\right) \qquad (6.2.4.3)$$

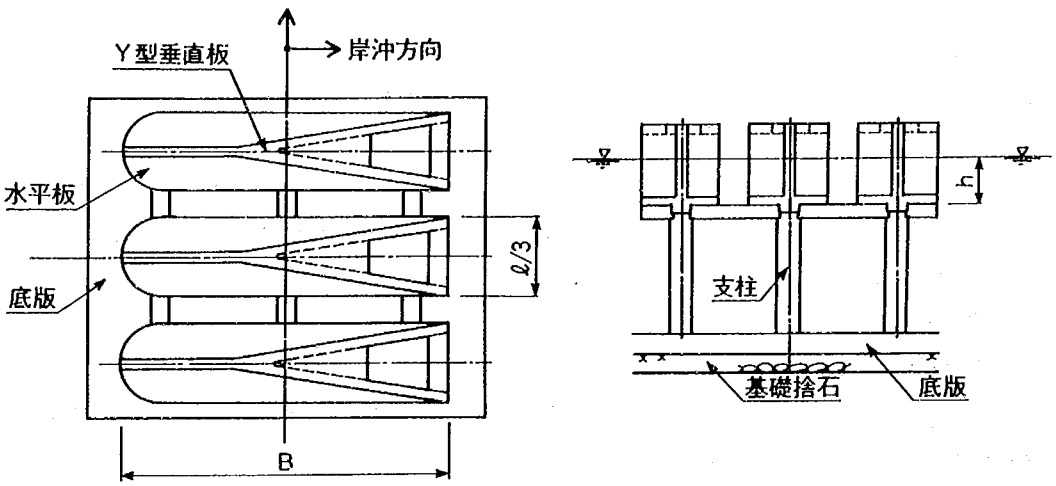
4.0＜b／hの場合

$$P_{H1}=\frac{9}{40}k_h w_0 b^2 h \qquad (6.2.4.4)$$

ここに　k_h：設計水平震度

b　：動水圧の作用方向に直角方向の堤体幅（m）（図－6.2.4.7参照）

ただし、P_{H1}の作用位置は、静水面下$\frac{4}{7}$hとする。



地震の作用が沿岸方向の場合：b＝B
地震の作用が岸沖方向の場合：b＝ℓ/3

図－6.2.4.7　動水圧算定用部材寸法説明図

②　支柱に作用する動水圧P_{H2}

「DnVの基準」に準じて、細長い円柱に作用する動水圧を求める。

$$P_{H2}=C_M k_h w_0 V \qquad (6.2.4.5)$$

ここに、C_M　：付加質量係数　$C_M=1.0$

k_h　：設計水平震度

w_0　：海水の単位体積重量

V　：支柱の体積

である。

(6)　流れおよび津波による荷重

津波等の流れによる荷重は、本編「3．1．7　流れおよび津波による荷重」に準じて求める。ここでは流

れ荷重の算定に用いる抗力係数のみを示す。

a）Y型垂直板の抗力係数

Y型垂直板を沖側から岸側に見れば平面的に山形断面と見なせる。そこで、「海洋鋼構造物設計指針(案)解説」（土木学会，1973）より$C_D=1.5$とする。

b）支柱の抗力係数

支柱の抗力係数は、円柱の抗力係数を準用するものとし、「海洋鋼構造物設計指針（案）解説」（土木学会，1973）に準じて0.7とする。

(7) 衝突荷重

本編「3．1．8　衝突荷重」に準じて、Y型垂直板に載荷する。

(8) 施工時荷重

本編「3．1．9　施工時荷重」に準じて、構造物を吊り上げ運搬する際の自重による荷重を考慮する必要がある。

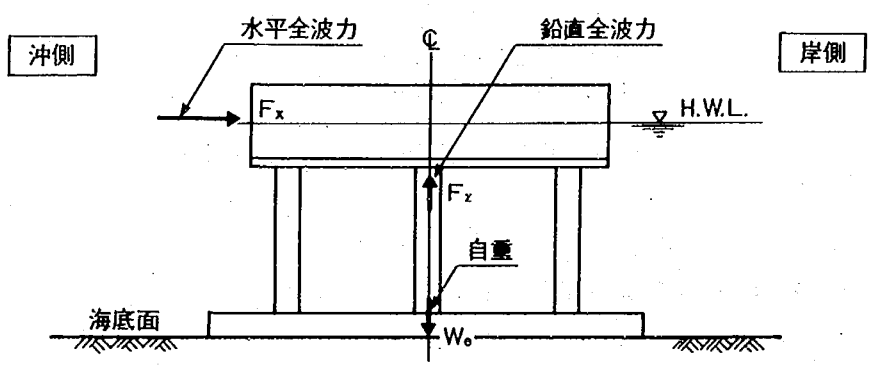
6．2．4．4　安定計算

本構造物の安定照査は本編「6．2．1(5) 安定計算」に準じて行う。照査項目は本編「6．2．1(5)b）照査項目」に準ずる。

(1) 照査時の荷重の組合せ

a）終局限界状態

本構造物の安定性を照査する際の主な荷重は岸沖方向に作用する全波力および沿岸方向に作用する地震荷重である。よって、荷重の向きは岸沖方向および沿岸方向とする。



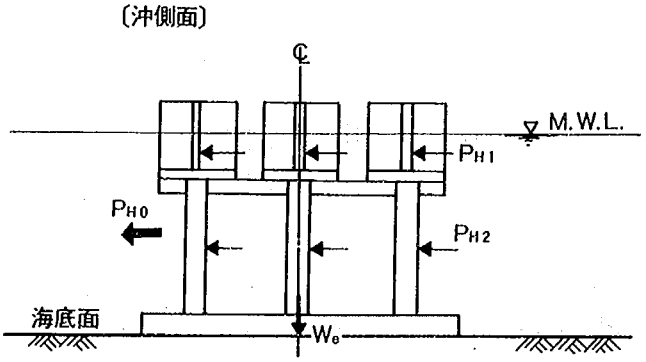
図－6.2.4.8　全波力作用時荷重状態

①岸沖方向

本編「6．2．4．3(3)a）全波力」に準じて算定した全波力が作用したときの安定性を照査する（図－6.2.4.8参照）。

②沿岸方向

本編「6．2．4．3(5)地震の影響」に準じて算定した地震荷重が作用したときの安定性を照査する（図－6.2.4.9参照）。



PH0：堤体の慣性力
PH1：Y型垂直板に作用する地震時動水圧
PH2：支柱に作用する地震時動水圧

図－6.2.4.9　地震作用時荷重状態

b）使用限界状態の照査

本構造物の使用性を照査する際の主な荷重は、岸沖方向に作用する全波力である。よって、岸沖方向載荷時の変位・変形の照査を行う。荷重状態は図－6.2.4.8と同一とする。

(2) 解析モデル

本編「6．2．1(5)c）安定計算上の解析モデル」に準ずる。

(3) 極限抵抗力

本編「5．3．4　設計抵抗力」に準ずる。

(4) 抵抗修正係数

本編「6．2．1(5)b）③全体安全係数と抵抗修正係数」に準ずる。

(5) 基礎底面の処理

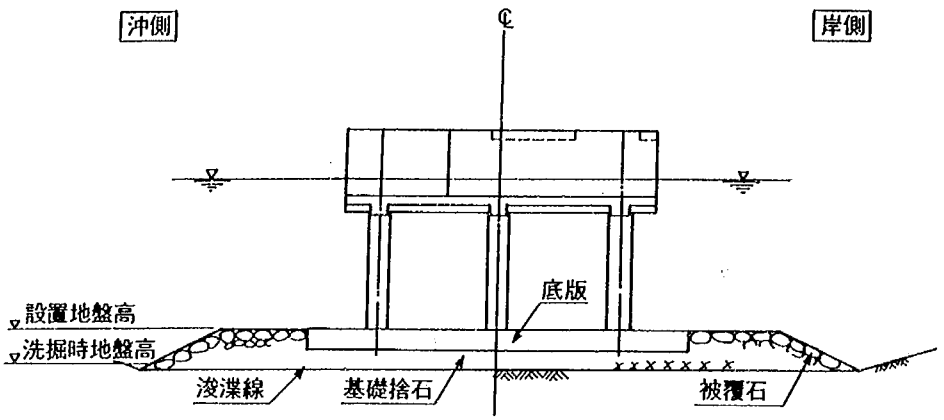
直接基礎の底面は、支持地盤に密着し、十分なせん断抵抗力を有するよう設計する。また、洗掘等が予想される場合には、底版周辺に洗掘防護を目的として被覆石等を設ける。さらに波浪の繰返し作用による構造物のロッキング等によって生じる地盤内間隙水圧上昇が無視し得ない場合においては、底版直下に基礎捨石等を埋設する。砂質地盤における基礎底面の処理例を図－6.2.4.10に示す。

6．2．4．5　構造解析および部材の設計

(1) 構造解析

a）解析方法

構造解析においては、すべての部材が剛接合であることを考慮し、各部材にとって最も支配的となる荷



図－6.2.4.10　砂質地盤における基礎底面の処理例

重を載荷し、本編「5．1　設計の方針」に準じて線形弾性解析により断面力を求める。

b）照査限界状態および支配荷重

各部材ごとに、照査すべき限界状態とその時の主に支配的となる荷重を表－6.2.4.5に示す。

表－6.2.4.5　部材別照査限界状態おおび主に支配的となる荷重

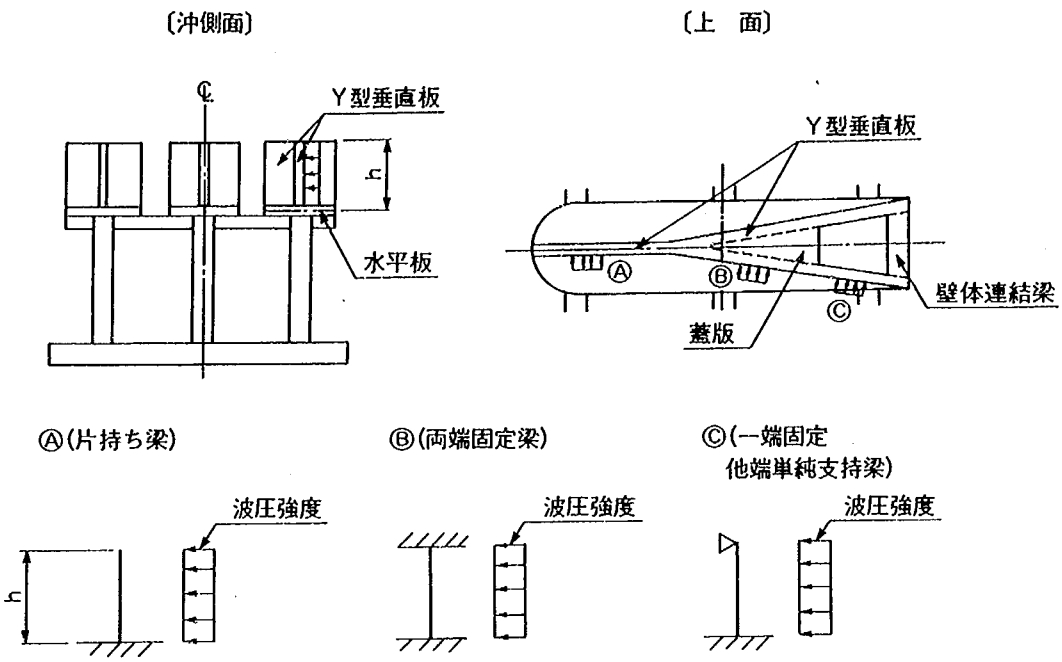
部材種別	照査限界状態	主に支配的となる荷重
Y型垂直板	終局，使用，疲労	部材波圧
蓋版	同上	同上
水平板	同上	同上
支柱	同上	全波力
連結支持梁	終局のみ	沿岸方向地震荷重
底版	同上	吊上・運搬時死荷重

c）解析モデル

各部材の構造解析モデルを図－6.2.4.11～図－6.2.4.16に示す。

①Y型垂直板

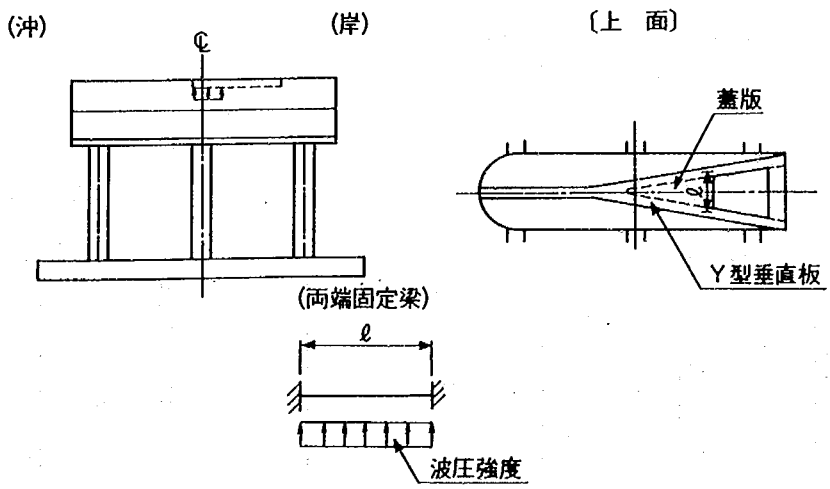
区分Ⓐ～Ⓒとも等分布荷重が作用する一方向版として解析する。（図－6.2.4.11参照）区分Ⓐでは下端が水平板により固定された版とする。区分Ⓑでは上下端が各々蓋版、水平板により固定された版とする。区分Ⓒでは上端が壁体連結梁により単純支持された版とする。作用荷重は、本編「6．2．4．3(3)b）部材波圧」に準じて算定する。



図－6.2.4.11　Y型垂直板解析モデル

②蓋版

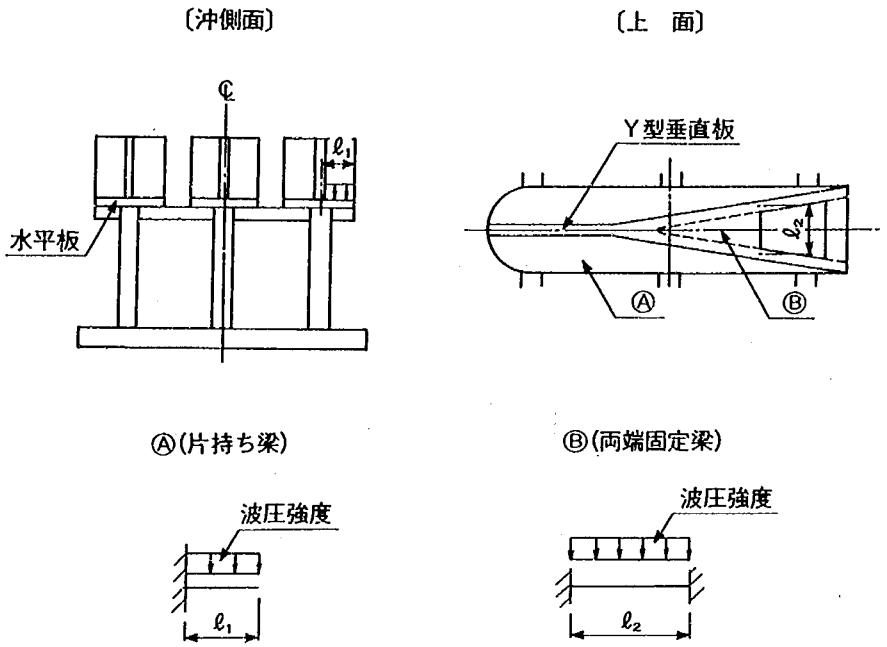
Y型垂直板により両端固定された一方向版として解析する（図－6.2.4.12参照）。作用荷重は等分布とし、本編「6．2．4．3(3)b）部材波圧」に準じて算定する。



図－6.2.4.12　蓋版解析モデル

③水平板

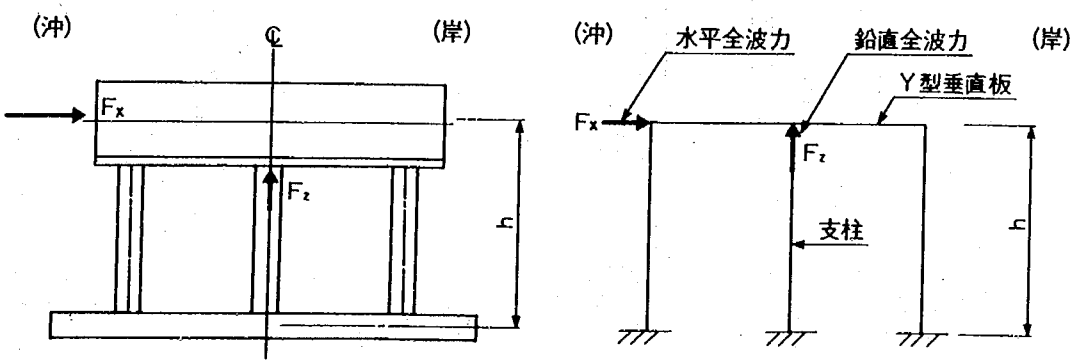
水平板は、Y型垂直板により一端もしくは両端が固定された一方向版として解析する（図－6.2.4.13参照)。作用荷重は等分布とし、本編「6．2．4．3(3)b）部材波圧」に準じて算定する。



図－6.2.4.13　水平板解析モデル

④支柱

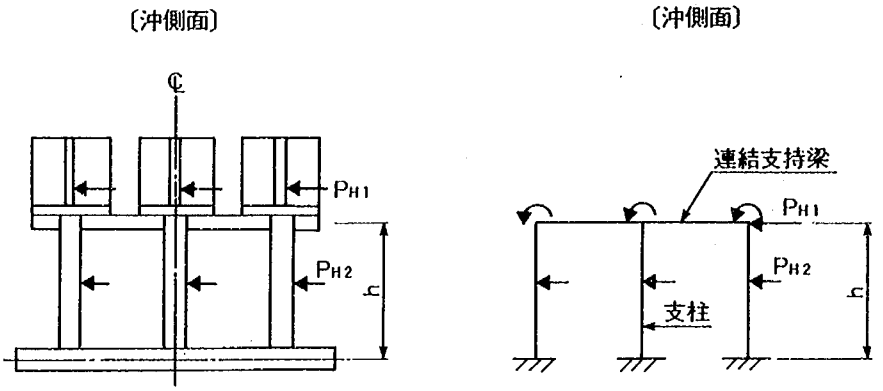
Y型垂直板および支柱よりなるフレーム構造として解析する。作用荷重は本編「6．2．4．3(3)a）全波力」に準じて算定した岸沖方向全波力とする。



図－6.2.14　支柱解析モデル

⑤連結支持梁

連結支持梁および支柱より成るフレーム構造として解析する。作用荷重は、本編「6．2．4．3(5)地震の影響」に準じて算定した沿岸方向地震荷重とする。

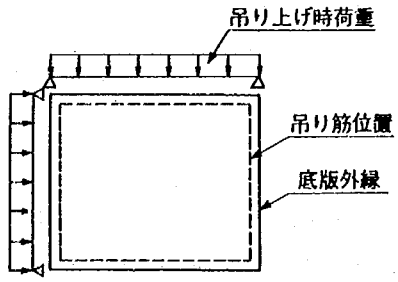


P_{H1}：Y型垂直板に作用する地震時動水圧、慣性力
P_{H2}：支柱に作用する地震時動水圧、慣性力

図－6.2.4.15　連結支持梁解析モデル

⑥底版

吊り上げ運搬時の底版耐力について照査することから、解析モデルは、4辺が吊り筋により単純支持された二方向版とする。



図－6.2.4.16　底版解析モデル

(2)　各限界状態の照査

a）終局限界状態の照査

本編「6．1．1(4)b）②　ア）終局限界状態」に準ずる。

b）使用限界状態の照査

本編「6．1．1(4)b）②　イ）使用限界状態」に準ずる。

c）疲労限界状態の照査

本編「6．1．1(4)b）② ウ) 疲労限界状態」に準ずる。

6．2．4．6　細部設計

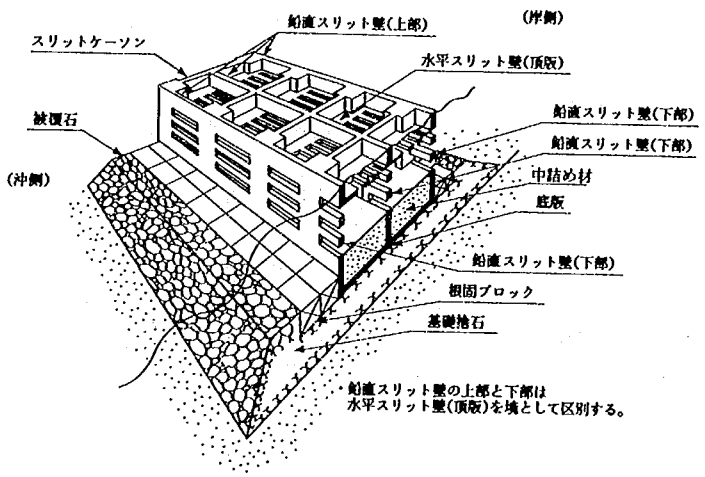
本編「6．1．1(4)b）② エ) 一般構造細目」に準ずる。

6．2．5　スリットケーソン式構造物（重力式）

6．2．5．1　一般

重力式のスリットケーソン式構造物（透過水平板付スリットケーソン式構造物）は、本編「6．1．4　スリットケーソン式構造物（有脚式）」と同じ構造の堤体を自重により安定させる重力式構造物である。したがって、有脚式とは異なり堤体は中詰め部および捨石マウンドを有する。

本構造物の概観を図－6.2.5.1に示す。



図－6.2.5.1　スリットケーソン式構造物（重力式）の概要図

6．2．5．2　構造および諸元

本構造物は重力式のケーソン式構造物であり、堤体は鉄筋コンクリート部材（以下RCという）からなる。本構造物の構造を図－6.2.5.2に示す。また、試設計（本編「6．1．4　スリットケーソン式構造物（有脚式）参照」）により得られた構造寸法の例を同図に示す。

6．2．5．3　設計荷重

本編「6．1．4スリットケーソン式構造物（有脚式）」に準ずる。

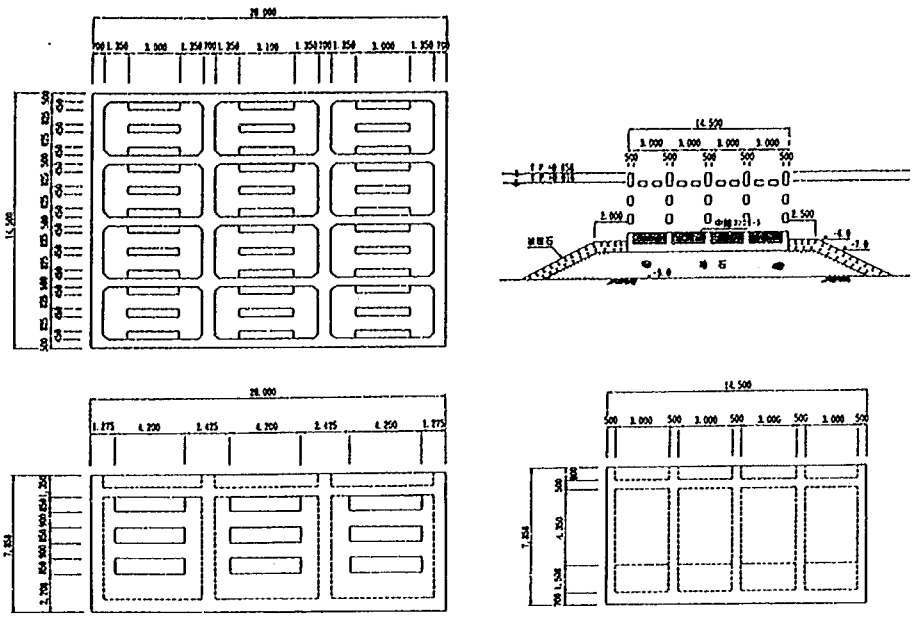
6．2．5．4　安定照査

本編「6．2．1(6)b）照査項目」に準ずる。

6．2．5．5　構造解析および部材の設計

(1)　構造解析

本編「6．2．1(6)c）安定計算上の解析モデル」に準ずる。



図－6.2.5.2　一般構造図

(2) 限界状態の照査方法

各部材について、検討を行う限界状態と支配的な外力を表－6.2.5.2に示す。

表－6.2.5.2　検討を行う限界状態と支配外力

検討部材名	材料の種類	検討する限界状態	支配外力
鉛直スリット壁下部	RC	終局／使用／疲労の各限界状態	部材波圧
鉛直スリット壁上部	RC	同　上	同　上
水平スリット壁（頂版）	RC	同　上	同　上
底版	RC	同　上	同　上
上部ばり	RC	同　上	同　上

各限界状態に対する検討は、鉄筋コンクリート部材である鉛直スリット壁、水平スリット壁、底版および上部ばりについては本編「6．1．1(4)b）②コンクリート部材」に準ずる。

(3) 部材の設計モデル

a）鉛直スリット壁下部

本編「6．1．4　スリットケーソン式構造物（有脚式）」に準ずる。

b）鉛直スリット壁上部

本編「6．1．4　スリットケーソン式構造物（有脚式）」に準ずる。

c）水平スリット壁（頂版）

本編「6．1．4　スリットケーソン式構造物（有脚式）」に準ずる。

d）上部ばり

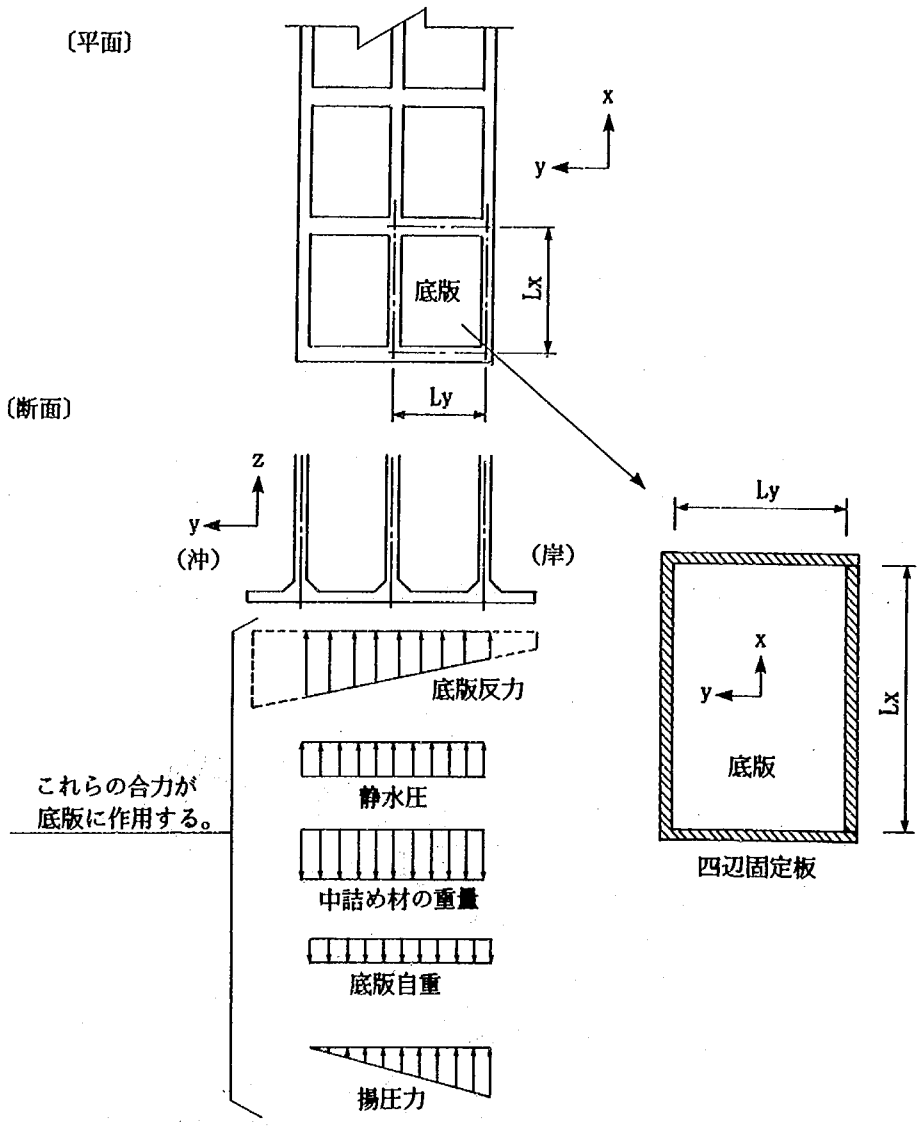
本編「6．1．4　スリットケーソン式構造物（有脚式）」に準ずる。

e）底版

底版は、四辺固定版として、曲げモーメントおよびせん断力に対する検討を行う。計算に用いるスパンは図－6.2.5.3に示すように、底版を取り囲む壁部材の中心間隔とする。なお、底版の設計に用いる荷重としては、波力または地震力の作用に伴う、底版反力のほか、底版自重、静水圧、中詰め材の重量、揚圧力を考慮する。

6．2．5．6　細部設計

本編「6．1．1(4)b）②エ）一般構造細目」に準ずる。



図－6.2.5.3　底版検討モデル

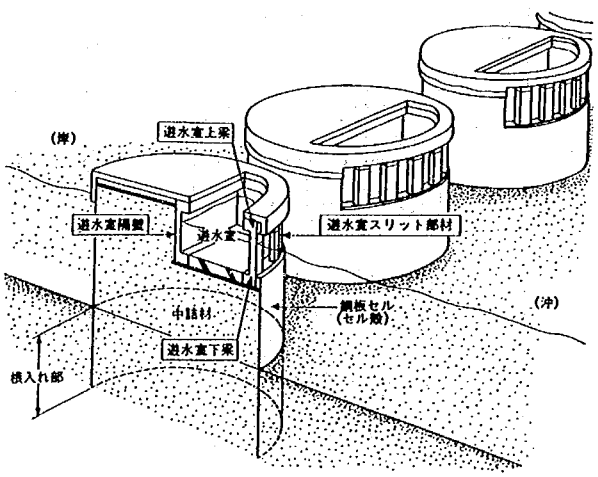
6．3　鋼板セル式構造物

6．3．1　一般

鋼板セル式構造物は鋼板セルを利用した消波構造物であり、ここでは鋼板セルを海底地盤中に根入することにより安定性の向上を図った根入れ鋼板セル型構造物の設計法を述べる。本構造物は、その消波方式より、遊水室を有する遊水タイプと、遊水室のない基本タイプに分類される。遊水タイプの概要図を図－6.3.1に示す。基本タイプは遊水タイプの沖側スリットのない構造物である。構造上の制約から、遊水タイプにおける遊水室奥行はセル径の１／２以下とされる。

本節に示す設計法は、おもに砂質土地盤に打設された根入れ鋼板セルに関する模型実験結果に基づき得られたものであり、地盤面上セル高の１／８程度以上の根入れを持つ場合に適用される（北島ら，1981；野田ら，1982）。地盤が堅固で十分な根入れが確保できない場合、セル径と地盤面上セル高の比が通常のセル（１／２～２程度）と著しく異なる場合、および粘性土地盤やサンドコンパクションパイルなどによる改良地盤に設置される場合等については、未解明な部分が残されているので別途検討が必要である（沿岸開発技術研究センター，1985）。

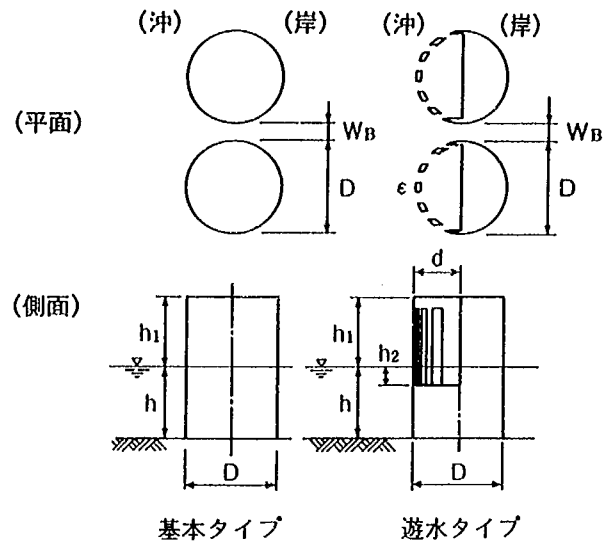
鋼板セル式構造物の基本的な設計手順は、重力式構造物の設計手順（図－6.2.1.1）に準ずる。



図－6.3.1　鋼板セル式構造物（遊水タイプ）の概要図

6．3．2　構造および諸元

各部の名称および記号を図－6.3.2に示す。また、試設計を行った構造寸法の一例を図－6.3.3に示す。このときの試設計に用いた主な設計条件を表－6.3.1に示す。



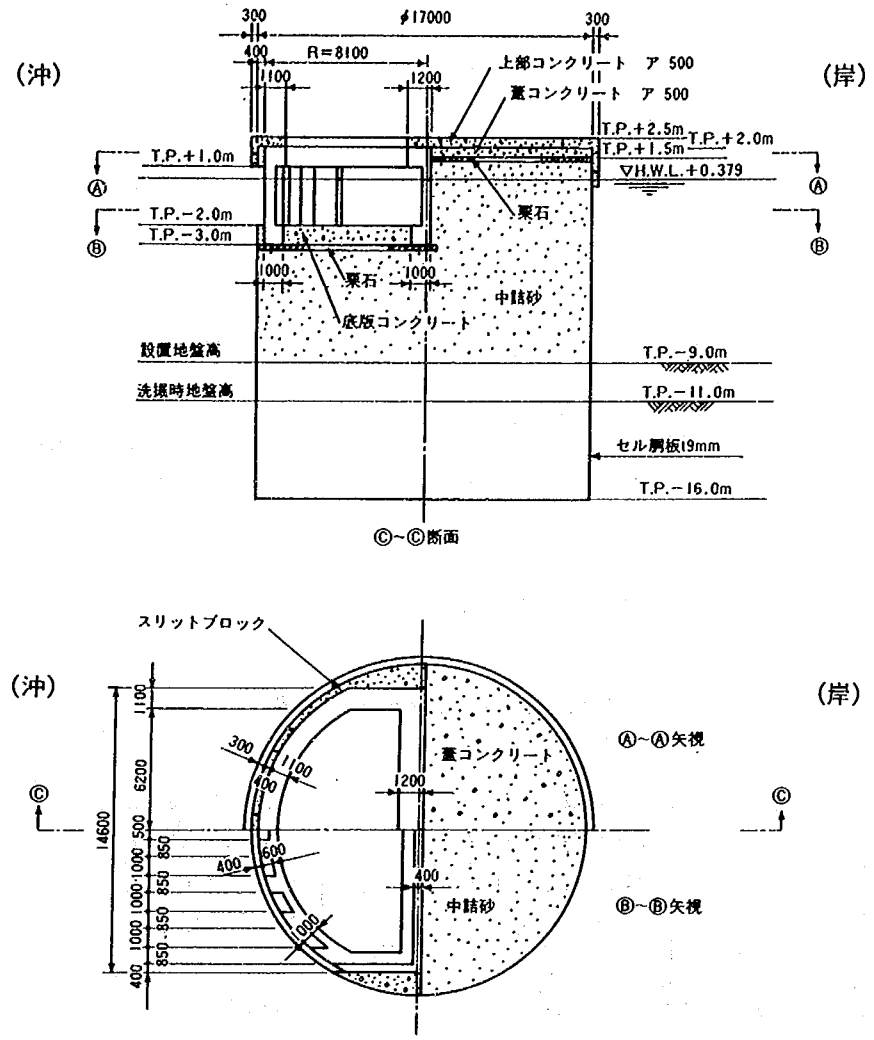
構造諸元		記号
セル諸元	セル径	D
	セル間隙	WB
	天端高さ	h1
	設置水深	h
遊水室諸元	スリット開口率*	ε
	遊水室奥行	d
	遊水室内水深	h2

＊ε＝総開口幅/セル径

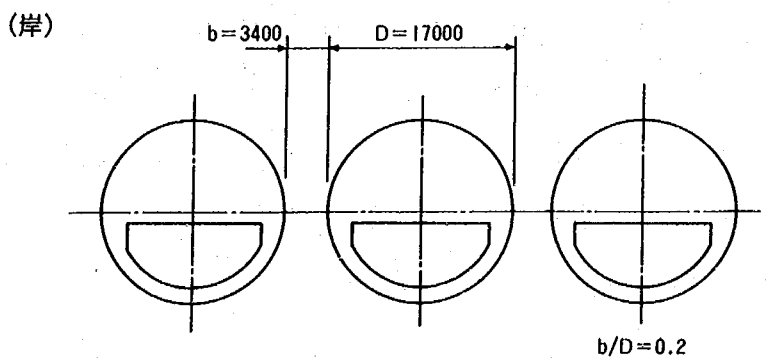
図－6.3.2　鋼板セル式構造物諸元

表－6.3.1　試設計の主要条件

項目		設計条件
潮位	計画潮位	T.P. +0.858 m
	朔望平均満潮位(H.W.L.)	T.P. +0.379 m
	朔望平均干潮位(L.W.L.)	T.P. +0.016 m
波浪条件	沖波波高	Ho' = 4.5 m
	沖波周期	To = 10 sec
海底勾配 (tanθ)		1/100
洗掘深		2 m
設計震度	水平震度	K_h = 0.12
土質条件	土質	砂質土（平均N値;5）
消波性能		透過率≦0.6，反射率≦0.5



a) 構造一般図



b) セル配置図

図−6.3.3　鋼板セル式構造物の試設計例

6．3．3　荷重

(1)　荷重の種類および組合わせ

本構造物の設計に用いる荷重には、死荷重、波力、静水圧および浮力、地震の影響、流れおよび津波による荷重、施工時荷重および土圧を考慮する。また、必要に応じて風荷重および衝突荷重を考慮する。荷重の組合せは、原則として本編「3．2　荷重の組合わせ」に準ずる。

(2)　死荷重

死荷重は本編「3．1．2　死荷重」に準ずる。

(3)　波力

a）一般

設計に当っては、構造物全体の安定の照査に用いる波力と、遊水タイプにおいて遊水室を構成する部材設計に用いる波圧を求める必要がある。安定照査に用いる波力には最大となる水平全波力およびその波圧分布を用い、部材波圧には各部材にとって最も厳しい条件となる波圧を用いる。

設計に用いる波力は、入射波の特性、設置水深、海底勾配および構造物の諸元により変化するため、原則として水理模型実験により求める。以下には実験（建設省土木研究所，1988ｃ；1989ｂ）により求めた波力算定法を示す。

b）水平全波力

水平全波力は、図－6.3.4に示す分布形を仮定し、合田波圧を次式により補正することにより算定する。

$$\eta^* = \lambda \eta^*_G \qquad (6.3.1)$$

$$p_1 = \lambda p_{G1} \qquad (6.3.2)$$

$$p_2 = \lambda p_{G2} \qquad (6.3.3)$$

ここに、

η^*　：静水面上波圧強度が0となる高さ（m）

p_1　：静水面における波圧強度（tf／㎡）

p_2　：海底面における波圧強度（tf／㎡）

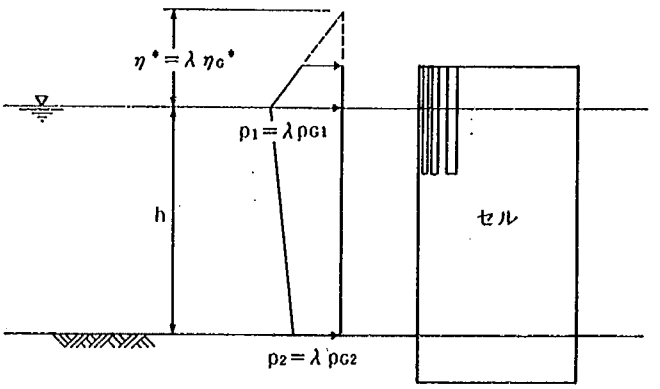
p_{G1}：合田式による静水面の波圧強度（tf／㎡）

p_{G2}：合田式による海底面の波圧強度（tf／㎡）

η^*_G：合田式による静水面上波圧強度が0となる高さ（m）

λ　：波圧の低減係数

なお、構造物前面において洗堀が予想される場合には、洗堀部分に作用する波圧を、波圧分布形より外挿して求める。水平全波力は、これより求まる波圧を鉛直方向に積分することにより得られる。



図－6.3.4　想定する波圧分布

全波力の測定実験より、重複波領域と衝撃的な波力が作用する砕波領域における低減係数λを求め、それぞれ図－6.3.5、図－6.3.6に示す。また、このときの実験条件を表－6.3.2に示す。設計には各図の上限値を採用すればよい。これらの図より求まるλを、まとめて表－6.3.3に示す。

表－6.3.2　実験条件

項目			基本タイプ		遊水タイプ	
			重複波領域	砕波領域	重複波領域	砕波領域
*1 模型諸元	セル	W_B/D	0.20	0.20	0.20	0.20
		h/D	0.81	0.80	0.81	0.80
		h_1/h	非越波	0.25	非越波	0.25
	遊水室	ε	－	－	0.40	0.39
		d/D	－	－	0.50	0.50
		h_2/h	－	－	0.25	0.25
前面勾配			－	1/30	－	1/30
波浪条件		D/L	0.11～0.35	0.10～0.18	0.11～0.35	0.10～0.18
	*2	H/h	0.10～0.72	0.67～0.98	0.09～0.74	0.67～0.98
	*2	H/h_1	非越波	2.7 ～3.9	非越波	2.7 ～3.9
	*3	X_b/H_b	－	0.0～8.4	－	0.0～8.4

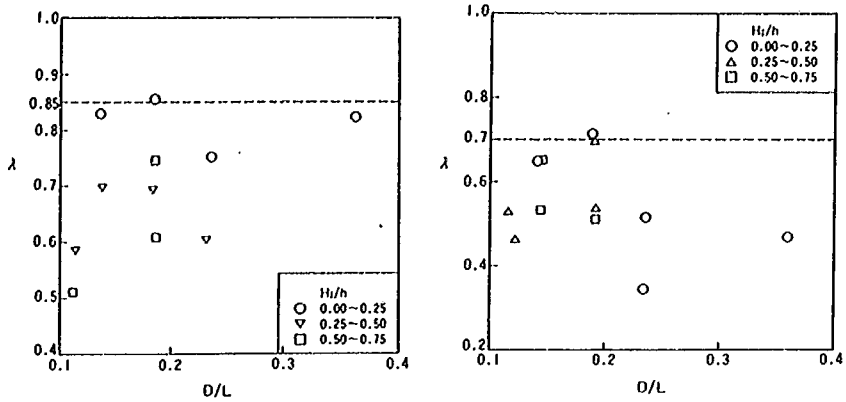
＊1　図-6.3.2参照

＊2　波高Hの定義は次の通りである。

重複波領域：H_1（入射波高）

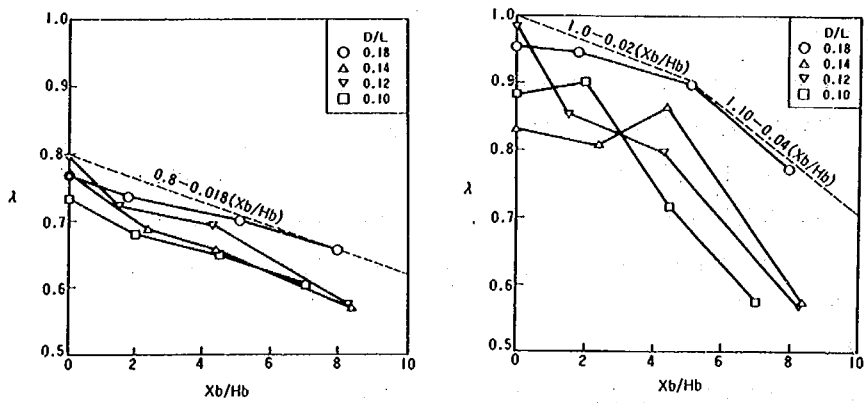
砕波領域：H_b（砕波波高）

＊3　X_b：模型前面から砕波位置までの距離



（ア）基本タイプ　　（イ）遊水タイプ
（ε＝0.40、d/D＝0.50、h₂/h＝0.25）

図－6.3.5　重複波領域における合田波力の低減係数λ
（W_B／D＝0.2，h／D＝0.81，非越波）



（ア）基本タイプ　　（イ）遊水タイプ
（ε＝0.39、d/D＝0.50、h₂/h＝0.25）

図－6.3.6　砕波領域における合田波力の低減係数λ
（W_B／D＝0.2，h／D＝0.80，h_1／h＝0.25，前面勾配1／30）

表－6.3.3　低減係数λの一覧

基本タイプ		遊水タイプ	
重複波領域	砕波領域	重複波領域	砕波領域
0.85	0.8−0.018(X_b/H_b)	0.7	・$X_b/H_b \leq 5$ 1.0−0.02(X_b/H_b) ・$5 < X_b/H_b$ 1.1−0.04(X_b/H_b)

c）遊水室部材波力

①スリットおよび隔壁に作用する波力

スリットおよび隔壁に作用する水平波力の測定値Fと、スリット部分に作用する合田波圧より算定される波力F_Gとの直接比F/F_Gを図－6.3.7、図－6.3.8（重複波領域）、および図－6.3.9、図－6.3.10（砕波領域）に示す。これらの図より、設計に用いる波力は、表－6.3.4に示す岸向き時のλより合田波圧を用いて算出する。

表－6.3.4 岸向波力時のF/F_Gの上限値

部材	重複波領域	砕波領域
遊水室スリット部材	0.8	1.1
遊水室隔壁	・$H_1/h \leq 0.15$ 1.25 ・$0.15 < H_1/h$ $1.25-0.69(H_1/h)$	2.0

②波圧分布

重複波領域の条件では、測定した波圧分布は合田波圧の分布とほぼ同様であり、設計に用いる波圧には合田波力と測定波力との比F/F_Gを乗じた値を用いる。

砕波領域における波圧分布は合田波圧の分布とは異なり、静水面付近で局部的に大きな値をとる。この場合、想定部材の上下端の高さ（上下端の高さが静水面から$H_b/2$より高い、あるいは低い場合には、静水面$\pm H_b/2$の高さ）で0、静水面位置で最大となる3角形分布で近似し、波圧合力が図－6.3.9、図－6.3.10から求まる作用波力と等しくなるようにする。

(4) 静水圧および浮力

本構造物に作用する静水圧および浮力は、本編「3．1．4 静水圧および浮力」に準ずる。また、セル内には次式に示す残留水圧が作用するものとする。

$0 \leq y < h_w$のとき

$$p_w = w_0 y \qquad (6.3.4)$$

$h_w \leq y$のとき

$$p_w = w_0 h_w$$

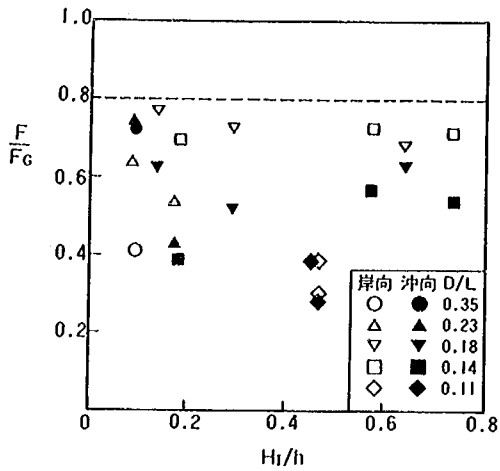
ここに、p_w ：残留水圧（tf／m²）

h_w ：残留水位差、セル中詰め内の残留水位と静水位との水位差（m）

y ：セル中詰め内の水面から残留水位を求める点までの深さ（m）

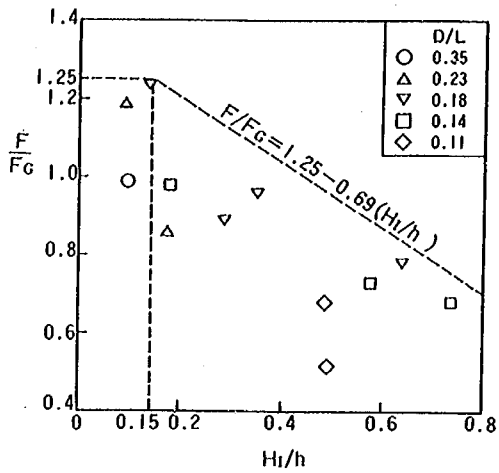
w_0 ：海水の単位重量（tf／m³）

である。セル中詰め内の残留水位は「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（日本港湾協会，1989）に準じて、L.W.L.上潮位差の2／3程度としてよい。



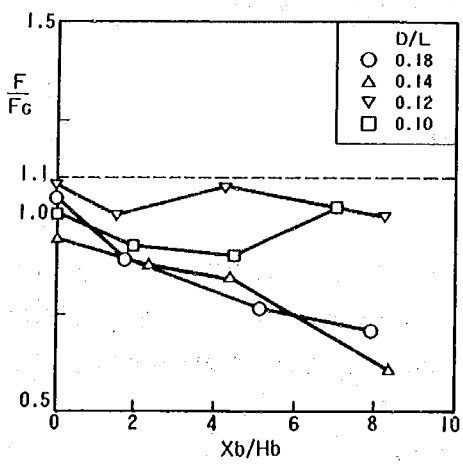
図－6.3.7　F／F_GとH_1／hの関係

（遊水室スリット，重複波領域，W_s／D＝0.2，h／D＝0.81，非越波，ε＝0.40，d／D＝0.50，h_2／h＝0.25）



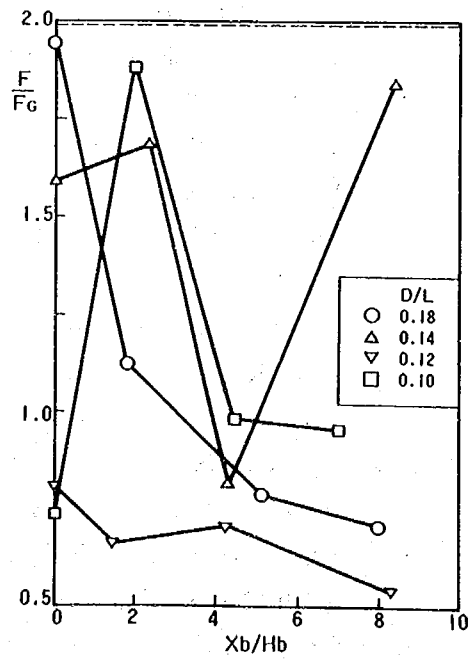
図－6.3.8　F／F_GとH_1／hの関係

（遊水室隔壁，重複波領域，W_s／D＝0.2，h／D＝0.81，非越波，ε＝0.40，d／D＝0.50，h_2／h＝0.25）



図－6.3.9　F／F_sとX_b／H_bの関係

（遊水室スリット，砕波領域，W_s／D＝0.2，h／D＝0.80，h_1／h＝0.25，前面勾配1／30，ε＝0.39，d／D＝0.50，h_2／h＝0.25）



図－6.3.10　F／F_sとX_b／H_bの関係

（遊水室隔壁，砕波領域，W_s／D＝0.2，h／D＝0.80，h_1／h＝0.25，前面勾配1／30，ε＝0.39，d／D＝0.50，h_2／h＝0.25）

(5) 地震の影響

a）本構造物の固有周期は0.5sec程度と短い（野田ら，1989）ことから、静的解析である震度法を用いる。

b）地震時慣性力の算定には本編「3．1．5　地震の影響」に準ずる。特定の地盤加速度を想定して設計する場合には、式（6.3.5）により地盤加速度から設計震度を求める方法も提案されている（野田ら，1975；1982）。

$$\begin{cases} k_h = a_s / g & a_s \leqq 0.2g \\ k_h = (a_s/g)^{1/3}/3 & a_s > 0.2g \end{cases} \qquad (6.3.5)$$

ここに、

k_h　：設計水平震度

a_s　：地震時地盤加速度（gal）

g　：重力の加速度（gal）

である。

c）中詰めに作用する地震時慣性力は、式（6.3.6）により計算する。

$$H_w = k_h W \qquad (6.3.6)$$

ここに、

H_w　：地震時慣性力（tf）

K_h　：設計水平震度

W　：中詰めと間隙水の重量（tf）

である。中詰めに作用する水平震度は地盤面より上では設計震度とし、地盤面以下では地震の影響が小さくなることを考慮して、地盤面下10m地点で震度0となるよう直線的に低減させる（「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（日本港湾協会，1989）参照）。また、地震時慣性力は次式により低減させることができる（野田ら，1982；1989）。

$$H_w = \xi K_h W \qquad (6.3.7)$$

ここに、ξ：震度の低減係数であり、次のように与えられる。

$$\begin{cases} \xi = 1.0 - K_h & K_h \leqq 0.2 \\ \xi = 0.8 & K_h > 0.2 \end{cases}$$

d）海底地盤の土質が緩い砂層であり地盤の影響により液状化すると判定される場合には、地盤改良等の液状化対策工を施すか、あるいは地震時の照査における設計地盤面を液状化が予想される土層以下とする。また、中詰めの液状化が予想される場合には、中詰めの材質を砕石等の良質の材料とするか、あるいは締固め等により中詰めを改良する。

e）地震時動水圧は、本編「6．2．1（2）設計荷重」に準ずる。

(6) 風荷重

風荷重は、本編「3．1．6　風荷重」に準ずる。

(7) 流れおよび津波による荷重

流れおよび津波による荷重は、本編「3．1．6　流れおよび津波による荷重」の規定により算出する。

本構造物は円柱群であるので、単一の円柱の抗力係数C_D＝1.0を用いると、荷重を過小評価する危険がある。一方、幅が堤長L_s、高さが水深hの長方形版とみなしてC_D＝2.0と設定すれば大きめの荷重を与えることになるが、原則としては実験により荷重を求めることが望ましい。

(8) 衝突荷重

衝突荷重は本編「3．1．8　衝突荷重」に準ずる。

(9) 施工時荷重

施工時荷重は本編「3．1．9　施工時荷重」に準ずる。

(10) 土圧

荷重としての土圧には、セル根入れ部壁面に作用する主働土圧を考慮する。水平成分の作用方向は波力および地震力の作用方向と同方向、鉛直成分の作用方向は下向とする。なお、受働土圧などの抵抗側の土圧は、安定計算において地盤反力として求まるため、荷重としては考慮しない。

6．3．4　安定計算

(1) 一般

a）基本方針

本構造物は重力式構造の一種であるが、根入れを有し根入れ部の受動土圧抵抗を期待していること、堤体の剛性を中詰め材に期待していることが、一般の重力式構造物と異なる。これにより本編「6．2　重力式構造物」の一般的な規定を直接適用できない事項があるため、本構造物の安定計算は以下に示す方法によるものとする。

b）構造解析モデル

セル体を剛体とみなし、弾性地盤に支持される剛体モデルとして構造解析を行う。その際、剛体とみなすことができるための前提条件として、セル体のせん断変形に関する検討を行い、セル体自身の変形が無視し得るほど小さいことを確認しなければならない。

c）照査項目

①終局限界状態

地盤の鉛直支持力、セル体底面でのせん断抵抗力（滑動）を対象として照査する。照査方法は、本編「6．2．1(5)b）①終局限界状態」に準ずる。このとき用いる設計荷重効果（反力）S_dおよび設計支持力（抵抗力）R_dは、根入れの効果を考慮した構造解析による底面反力分布より求める。

②使用限界状態

本編「6．2．1(5)b）②使用限界状態」に準ずる。

d）土圧に対する荷重係数および抵抗修正係数

構造物全体の安定照査においては主働・受働土圧を、部材設計においては中詰め土圧を算定する必要がある。このとき、土圧強度に関する荷重係数、抵抗修正係数が必要となる。荷重係数と抵抗修正係数の値は、表－6.3.5の値とする。

表－6.3.5　砂質土土圧に対する荷重係数と抵抗修正係数

項　　目	終局限界状　態	使用限界状　態	疲労限界状　態	備　　考
荷 重 係 数	1.15	1.0	1.0	環境荷重に対する係数と同様とする
抵抗修正係数	1.10	1.0	1.0	せん断抵抗力算定時の砂質土に対する抵抗修正係数と同様とする

(2)　構造解析

a）セル体のせん断変形に関する検討

根入れ鋼板セルは中詰め材がセル殻により拘束されており、一般にセル殻と中詰め材が一体となるので、セル体自身の変形が無視できる。したがってセル体は剛体とみなすことができる。しかし、セル径が極端に小さい場合や、中詰め材の強度が著しく弱い場合には、セル体を剛体とみなせなくなる場合もあるので、セル体の変形を微小範囲に留めるためにせん断変形の検討を行う必要がある。

セル体のせん断変形の検討は、最大モーメント（波力作用時もしくは地震時）が作用した場合について次式により行う。

$$\frac{M_h}{M_0} \leqq 1.0 \qquad (6.3.8)$$

ここに、

M_h：設計地盤面における変形モーメント（荷重係数は含まない）。(tf・m／m)

M_0：変形抵抗モーメント（式 (6.3.9) による）(tf・m／m)

である。模型実験においては、常時荷重および地震時荷重に相当する外力を大幅に上まわる荷重を受けた場合にも、セル体に大きな変形は認められない。したがって、一般的な地盤と中詰め材の場合には、根入れ鋼板セルの中詰め材中にはせん断破壊が生じないと考えられる。そこで、式 (6.3.8) によるせん断変形の検討は不安定な状態に対する照査ではなく、セル体を剛体として取り扱うための判定式として用いる。このため、各種安全係数は1.0としてよい。

変形抵抗モーメントの算定に当っては、セルを矩形断面の構造物に置き換えてよい。この場合、矩形断面はセルと断面積が等しく、かつ設計荷重の作用方向に対して直角な軸回りの断面２次モーメントが等価になるように設定する。解析では、堤体幅に置き換えた矩形断面の構造物の堤体幅（換算壁体幅B）を用いる。

変形抵抗モーメントは、式 (6.3.9) により計算する。

$$M_0 = (1/6)\, W_e H_d'^{\,3} R_d$$

$$R_d = \nu_d^{\,2} (3 - \nu_d \cos\phi) \sin\phi \qquad (6.3.9)$$

ここに、

M_0 ：変形抵抗モーメントの算定値 (tf・m／m³)

W_e ：中詰めの換算単位体積重量　一般に、$W_e = 1.0$tf／m³

H_d'：せん断変形を検討するときの換算セル高（m）

R_d　：変形抵抗係数

ν_d　：せん断変形を検討するときの換算セル幅高比B／H_d'

B　：換算壁体幅（＝$\sqrt{3}$／2D）（m）

D　：セル体の直径（m）

ϕ　：中詰め材の内部摩擦角（度）

である。また、換算セル高は、次式により計算する。

$$H_d' = W_d / AW_e \qquad (6.3.10)$$

ここに、

H_d'：換算セル高（m）

W_d　：浮力を差引いた設計地盤面上のセル重量（tf）

A　：セル断面積（㎡）

である。なお、換算セル高の計算の際、上載荷重は無視してよい。

b）地盤反力

地盤反力は、セルが地盤反力およびセル壁面の鉛直摩擦力によって支持されるものとして、以下の方法により求める。

①荷重

荷重としては、自重（浮力を含む）、波力、地震力および根入れ部主働土圧（波力／地震力の作用方向）を考慮する。このとき、主働土圧の荷重係数は表－6.3.5による。また、地震時には地震時土圧が作用するものとする。

②地盤反力係数

地盤反力係数は、地震調査の結果に基づき原則として以下の方法により算定する。

ア）水平方向地盤反力係数

「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（日本港湾協会，1989）に準じて、次式により算定する。

$$k_H = 0.2N \qquad (6.3.11)$$

ここに、

k_H：水平方向地盤反力係数（kgf／cm³）

N：N値

である。地盤が性質の異なる地層からなる場合には、各層ごとにk_Hを求める。

イ）鉛直方向地盤反力係数

構造物底面の鉛直方向地盤反力係数k_Vは、構造物底面における水平方向地盤反力係数と同じ値とする。

ウ）水平方向せん断ばね定数

構造物底面の水平方向せん断ばね定数は、次式により算定する。

$$k_S = \mu k_V \qquad (6.3.12)$$

ここに、

k_s：水平方向せん断ばね定数（kgf／cm³）

μ：水平方向せん断ばね定数と鉛直方向地盤反力係数の比

k_v：鉛直方向地盤反力係数（kgf／cm³）

である。μの値は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（日本港湾協会，1989）より$\mu = 1/3$としてよい。

③地盤反力

水平地盤反力は、地盤の降伏を考慮して受働土圧強度を超えないものとする。受働土圧算定に用いる壁面摩擦角δは、受働側地盤の内部摩擦角ϕを用いて常時で$-\phi/3$、地震時で$-\phi/6$とすることを標準とする。なお、受働土圧強度は、表－6.3.5による抵抗修正係数を考慮するものとする。また、セル体底面の鉛直地盤反力は台形または三角形分布となり、引張り応力は生じないものとする。

④鉛直摩擦力

根入れ部受働側壁面に作用する鉛直摩擦力は上向きとする。鉛直摩擦力の大きさは水平地盤反力と$\tan\delta$の積とする。

c）外力および反力の分布形状

波力作用時および地震時における外力および反力の分布形状を図－6.3.11に示す。

d）構造解析方法の適用範囲

水平変位が大きくなると地盤の塑性変形による影響が大きくなり、計算誤差が無視し得なくなる可能性があるため、ここに示した構造解析方法は、水平変位が比較的小さい場合についてのみ適用可能と考えられる。そこで、根入れ鋼板セル護岸に従来から適用されている水平変位制限（沿岸開発技術研究センター，1985）を準用し、セル天端の変位量が設計地盤面上のセル高さの1.5％以内の場合についてのみ、上記の方法を適用するものとする。ここで、セル天端変位量は、安全性の検討と異なり各種安全係数を1.0として算定する。天端変位量が1.5％を超える場合には地盤の挙動等を別途検討する必要がある。

(3) 滑動に対する照査

本構造物は、本編「6．3．3　荷重」に示した荷重およびその組合わせについて、次式により滑動に関する終局限界状態の照査を行う。

$$\gamma_0 \times \frac{H_s}{H_r} \leq 1.0 \qquad (6.3.13)$$

ここに、

γ_0：全体安全係数

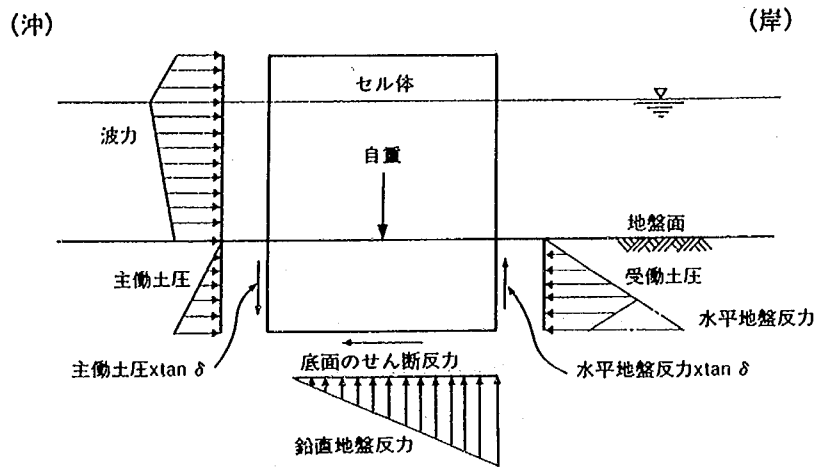
H_s：セル底面における設計せん断反力（tf）

H_r：セル底面地盤の設計せん断抵抗力（tf），$H_r = H_u / \gamma_r$

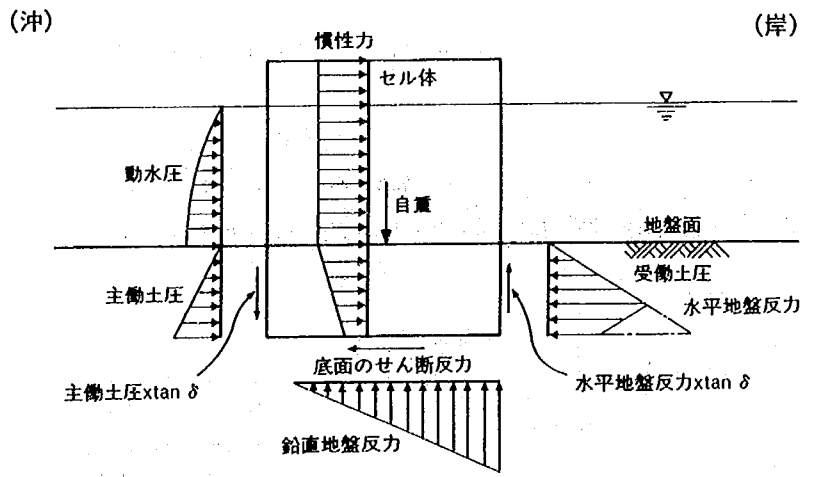
H_u：セル底面地盤の極限せん断抵抗力（tf）

γ_r：せん断抵抗力に関する修正抵抗係数

である。照査に用いる全体安全係数γ_0は1.0、せん断抵抗力に関する修正抵抗係数γ_rは、表－6.2.1.1に準



a） 波力作用時



b） 地震時

図－6.3.11 外力および反力の分布形状例

じてγ_i＝1.10とする。

a）極限せん断抵抗力

セル底面地盤の極限せん断抵抗力は、本編「5．3．4．5 基礎底面における極限せん断抵抗力」より算定する。セルの内と外で地盤の特性が異なる場合には、設計地盤定数は極限せん断抵抗力が小さくなる方の値を採用する。

b）設計せん断反力

セル底面における設計せん断反力には、本編「6．3．4(2) 構造解析」による算定値を用いる。

(4) 基礎の支持力に関する照査

本構造物は、本編「6．3．3　荷重」に示した荷重およびその組合わせについて、次式により基礎の支持力に関する終局限界状態の照査を行う。

$$\gamma_0 \times \frac{Q_s}{Q_r} \leqq 1.0 \qquad (6.3.14)$$

ここに、

γ_0 ：全体安全係数

Q_s ：セル底面における設計鉛直地盤反力の合力（tf）

Q_r ：セル底面における設計鉛直支持力（tf），$Q_r = Q_u / \gamma_y$

Q_u ：セル底面における極限鉛直支持力（tf）

γ_y ：セル底面地盤の鉛直支持力に対する抵抗修正係数

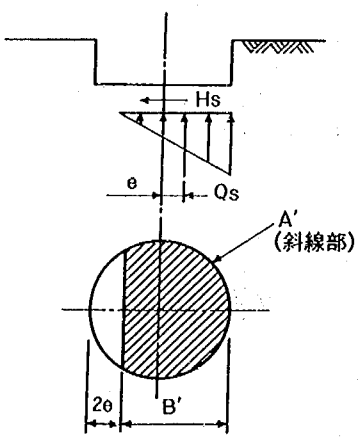
である。ここで用いる全体安全係数は$\gamma_0 = 1.0$とする。また、セル底面地盤の鉛直支持力に対する抵抗修正係数γ_yは、表－6.2.1.1に準じて$\gamma_y = 1.40$とする。

a）極限支持力

セル底面地盤の極限支持力は、本編「5．3．4．4　基礎底面地盤の極限鉛直支持力」に準じ、以下に示す要領で算定する。

①セル体は円筒体であることから、$\alpha = 1.3$、$\beta = 0.6$を用いる。

②有効載荷面積A'および偏心を考慮した有効載荷幅B'には、本編「6．3．4(2) 構造解析」より求まるセル底面での設計鉛直地盤反力分布から算定する（図－6.3.12参照）。



A'：有効載荷面積（m^2）
B'：偏心を考慮した有効載荷幅（m）
Qs：セル底面における
　　設計鉛直地盤反力の合力（tf）
Hs：セル底面における
　　設計せん断反力（tf）
e：Qsの偏心距離（m）
$\tan\theta = Hs/Qs$

図－6.3.12　A'およびB'の算定方法

③支持力係数N_0、N_q、N_rの算定に用いる荷重の傾斜$\tan\theta$は、本編「6．3．4(2) 構造解析」より求まるセル底面における設計せん断反力H_sと、セル底面における設計鉛直地盤反力の合力Q_sとの比とする。

b）設計鉛直地盤反力の合力

セル底面における設計鉛直地盤反力の合力には本編「6．3．4(2) 構造解析」による算定値を用いる。

6．3．5 部材の構造解析および設計

(1) 構造解析

本構造物の構造解析には、微小変位のはり理論あるいは板殻理論を用る。また、各部材の照査に係わる検討項目および対象とする限界状態を表－6.3.6に示す。

表－6.3.6 部材設計に係わる検討項目および照査限界状態

部　材	使用材料	照査限界状態	主に支配的となる荷重
セ　ル　殻	鋼	* 終局	中詰め土圧
遊水室構成部材	鉄筋コンクリート	終局/使用/疲労	波力

＊　セル殻に発生する応力は、中詰め土圧による円周方向張力が最も支配的である（沿岸開発技術研究センター，1985）ため、波力等による繰返し荷重による影響は小さく、疲労限界状態に対する検討は不要である。

a）セル殻の解析

セル殻の解析は、中詰め重量などの死荷重により発生する円周方向張力について行う。セル殻の円周方向張力は「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（日本港湾協会，1989）に準じて、次式により計算する。

$$T_s = \{\gamma_i (W/A + q) K + p_w\} R \qquad (6.3.15)$$

ここに、

T_s ：セル殻の設計円周方向張力（tf／m）

W ：浮力を差引いた設計地盤面から上のセル重量（tf）

A ：セル断面積（㎡）

q ：上載荷重（tf／㎡）

K ：中詰め土圧係数　$K = \tan\phi$　（$K \leqq 0.6$）

ϕ ：中詰め材の設計内部摩擦角（度）

p ：残留水圧（tf／㎡）

R ：セル殻の半径（m）

γ_i ：中詰め土圧に対する荷重係数 $\gamma_i = 1.15$

中詰め土圧係数に$\tan\phi$を用いているのは、中詰めを締め固めた場合、内部摩擦角が大きくなると同時にセルの内圧が上昇することを考慮しているためである。したがって、中詰めに砕石のような内部摩擦角が大きい材料を用いた場合には、中詰め土圧係数は$K = 0.6$としてよい。

b）遊水室構成部材の解析

遊水室構成部材の解析には適切なモデルを用い、限界状態の照査に必要な軸力、曲げモーメント、せん

断力などの断面力を算定する。解析モデルの一例を図－6.3.13に示す。このモデルでは、遊水室構成部材をスリット部材、隔壁、上・下梁の各部材に分割している。すなわち、スリット部材および遊水室隔壁では、両端支持梁として断面力と支点反力を求め、遊水室上梁および下梁にはスリットおよび隔壁より伝達される荷重および上・下梁自身に作用する荷重が作用するものとして解析する。ただし、終局限界の照査では、中詰め土圧に対する荷重係数として、岸向波力作用時に0.90を沖向波力作用時に1.15をそれぞれ考慮する。

各部材に作用する主な設計外力は表－6.3.7のとおりである。

表－6.3.7　各部材に作用する主な設計外力

部　材	荷　重	
スリット部材	波力	
隔　壁	岸向波力作用時	波力、*中詰め土圧 水圧(セル内水位と静水面水位が異なる場合)
	沖向波力作用時	*中詰め土圧、残留水圧
上・下梁	(直接作用する)波圧、*中詰め土圧、水圧 (スリット・隔壁より伝達される)波力、*中詰め土圧、水圧	

＊中詰め土圧係数Kは$K=\tan\phi$ ($K \leq 0.6$)とする。

部材設計では波力が支配的となるため、地震時の検討は不要である。また、構造物の完成時には遊水室の底に底版コンクリートが打設される。したがって、底版コンクリートが十分な厚さと強度を有し、かつ遊水室の下梁と一体化されている場合には、完成時における遊水室の下梁の検討は不要であり、底版コンクリート打設前の施工時荷重についてのみ解析を行えばよい。

引き波時には、遊水室上・下梁に引張り力が作用する。一般的な条件では、この引張り力は岸向波力作用時の断面力と比べて小さく、断面決定には岸向の波力が支配的となり、引張り力の影響は無視し得ると考えられる。したがって、特に引張り力が比較的大きいと判断される場合には、引張り力が卓越する鉄筋コンクリート部材に関する十分な検討を行う。

(2)　材料および材料の設計強度

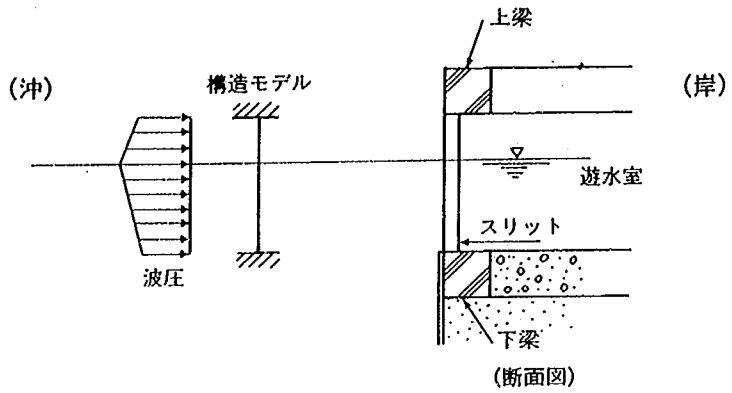
使用する材料は本編「第4章　材料」に準ずる。また、材料の設計強度は本編「6.1.1(3)　材料の設計強度」に準ずる。

(3)　部材の設計

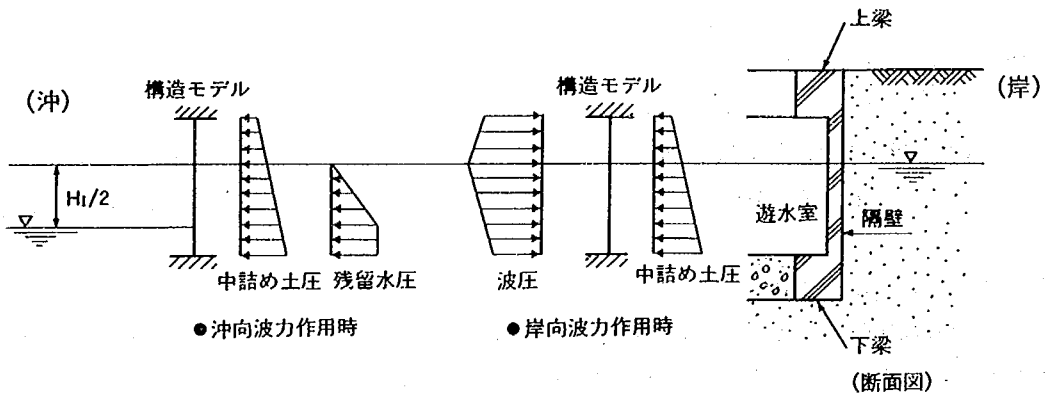
a）セル殻の設計

セル殻の設計では、終局限界状態においてセル殻に発生する設計円周方向張力が次式を満足するように照査を行う。

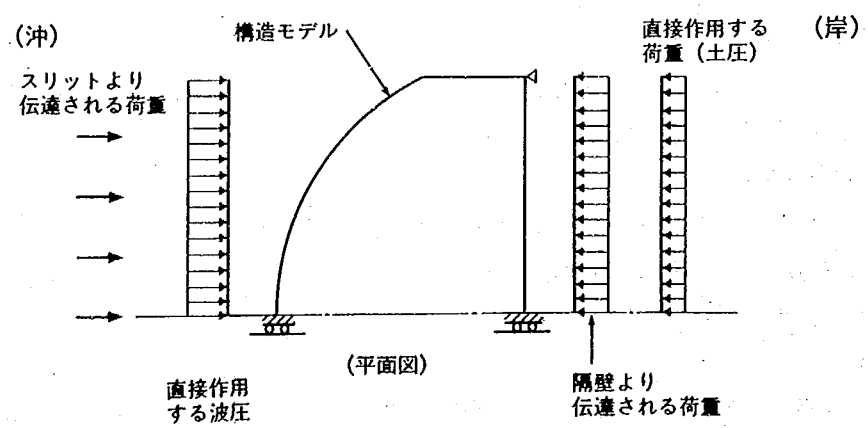
$$\gamma_0 \frac{T_s}{R_t} \leq 1.0 \qquad (6.3.16)$$



(a) スリット部材



(b) 隔　壁



(c) 上梁・下梁

図－6.3.13　遊水室部材解析モデル例

ここに、

γ_0 ：全体安全係数 $\gamma_0=1.0$

T_1 ：セル殻の設計円周方向張力（tf／m）

R_1 ：セル殻の設計引張耐力（tf／m）

$$R_1=\frac{(t-\Delta t)\,F}{100}$$

t ：セル殻の板厚（mm）

Δt ：セル殻の腐食代（mm）

F ：鋼材の設計強度（kgf／cm²）

である。このとき次の点に注意する必要がある。

①式（6.3.15）によればT_1は海底地盤面で最大となるが、実際には地盤面からセル高の1／2までの間で最大となる可能性がある（運輸省港湾技術研究所ほか，1966）。そこで、地盤面からセル高の1／2までの間の板厚は、地盤面で決定される板厚より小さくしてはならない。

②セル殻の板厚決定に当っては、本項に示す限界状態の照査を行うほか、製作、施工、維持管理の面からも十分検討を行う必要がある。過去に打設実績のあるセル殻の最小板厚から、8mm以上の板厚とすることが望ましい。

b）遊水室構成部材の設計

遊水室構成部材の設計では、構造解析の結果に基づき、本編「6．1．1(4)b）②コンクリート部材」に準じて照査を行う。照査対象の限界状態およびその時の照査項目は、表－6.3.6に示す通りである。

6．3．6　細部設計

(1) 遊水室構成部材

本編「6．1．1(4)b）② エ）一般構造細目」に準ずる。

(2) セル殻補剛材

セル殻には、製作時および施工時の安全のために、必要に応じて鉛直補剛材（縦リブ）、水平補剛材（横リブ）、上下端の補剛板などの補剛材を取り付ける。

(3) 鋼製部材の防食法

L.W.L.下約1.0mより高い位置の鋼製部材には、コンクリート被覆もしくは有機系被覆による重防食を施す。L.W.L.下約1.0mより低い位置の鋼製部材に関しては、流電陽極方式による電気防食と腐食代の併用により所要の耐用年数に応じた設計を行う。

(4) 洗掘対策

構造物基部の洗掘が予想される場合には、被覆石等の洗掘対策工を講じる。対策工を設置しない場合には、セル体周辺に局部洗掘が生じるものとして、海底面を設計洗掘深だけ深く設定して設計する。

6.4 捨石式構造物

6.4.1 一般

捨石式構造物は、捨石等の材料により堤体を構成する型式の構造物である。その1種のレンズマウンドは、八角錐台をなし、被覆層、中詰め層からなる捨石式構造物である（図－6.4.1)。被覆層には、コンクリートブロック等が、中詰め層には、石材、砂等が用いられる。また、必要に応じて洗掘防止工が加えられる。ここでは、レンズマウンドの設計法を述べる。レンズマウンドの設計手順を図－6.4.2に示す。構造設計の主な内容は、被覆層構成材の重量・層厚の決定、基礎地盤を含めた構造物全体の安定性の検討である。

(1) 構成材の安定照査

被覆層構成材の安定照査は終局限界状態を対象とし、波浪などの外力に対して安定な被覆層構成材重量を求める。また、中詰め層に砂質土を用いる場合には液状化について検討する。

被覆層の構成材は、波浪などによる疲労破壊を生じることは考えにくい石材、コンクリートブロック等のため、疲労限界状態は考慮しない。構成材のわずかな移動などに伴う変形が生じた場合には、維持管理により対応する。

(2) 基礎地盤および構造物全体の安定照査

a）終局限界状態

基礎地盤および構造物全体の安定照査では、基礎地盤の液状化と円形すべりに対する終局限界状態の安定性を照査する。

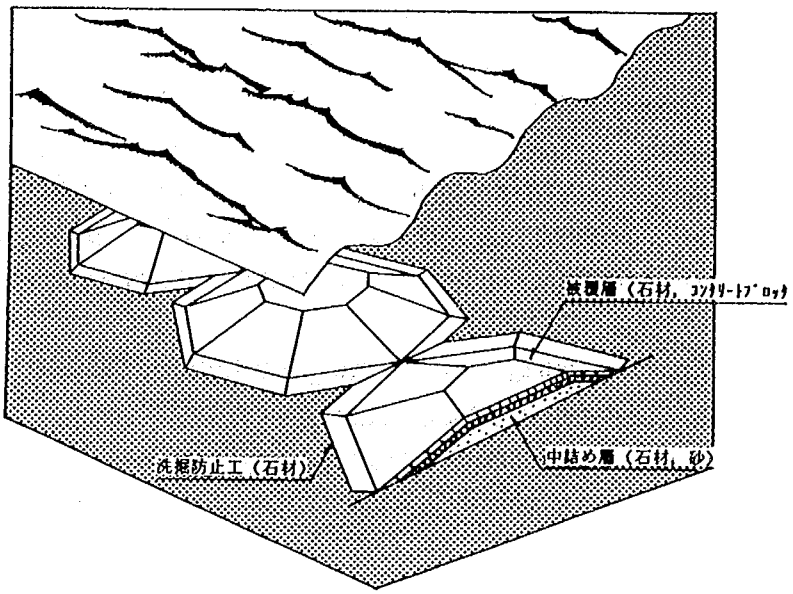
本構造物は主として捨石、中詰め材等の粗粒材から構成されるため、剛性の高い直接基礎に支持される他の重力式構造物とは基礎地盤の抵抗機構が異なる。そのため基礎の安定照査においては、本編「6.2.1 設計の基本方針」に示される安定計算モデルを適用せず、円形すべり計算により基礎地盤および構造物全体の安定を照査する。なお、安定計算法に限界状態設計法を導入するにあたっての基本的な考え方は、本編「6.2.1(5)a）基本方針」で述べられているものと同様である。

b）使用限界状態

使用限界状態の照査として、圧密沈下量の算定を行い機能の低下を検討する。

6.4.2 構造および諸元

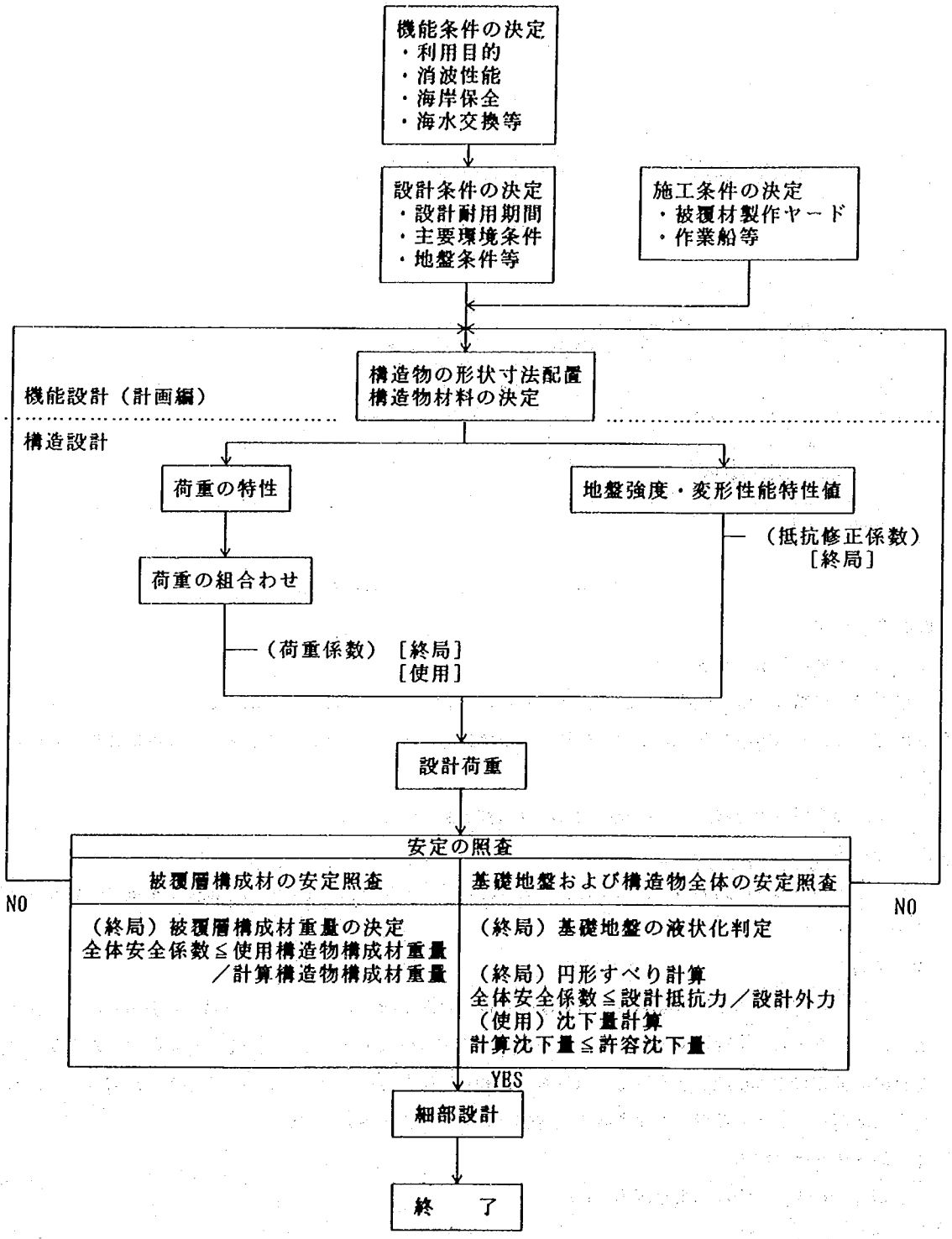
本構造物は、石材やコンクリートブロックから構成される捨石基礎構造であり、構造物の基礎部分を構成する中詰め層と、波作用による構造物の変形を防ぐ被覆層からなる。被覆層は主に石材で構成されるが、安定を確保するのに必要な重量が不足する場合にはコンクリートブロックを用いる。中詰め層は被覆層よりも重量の小さい材料で構成する。構造諸元を図－6.4.3に示す。また、試設計（建設省土木研究所，1988a）による構造寸法の例を図中に併せて示した。このときの主な設計条件を表－6.4.1に示す。



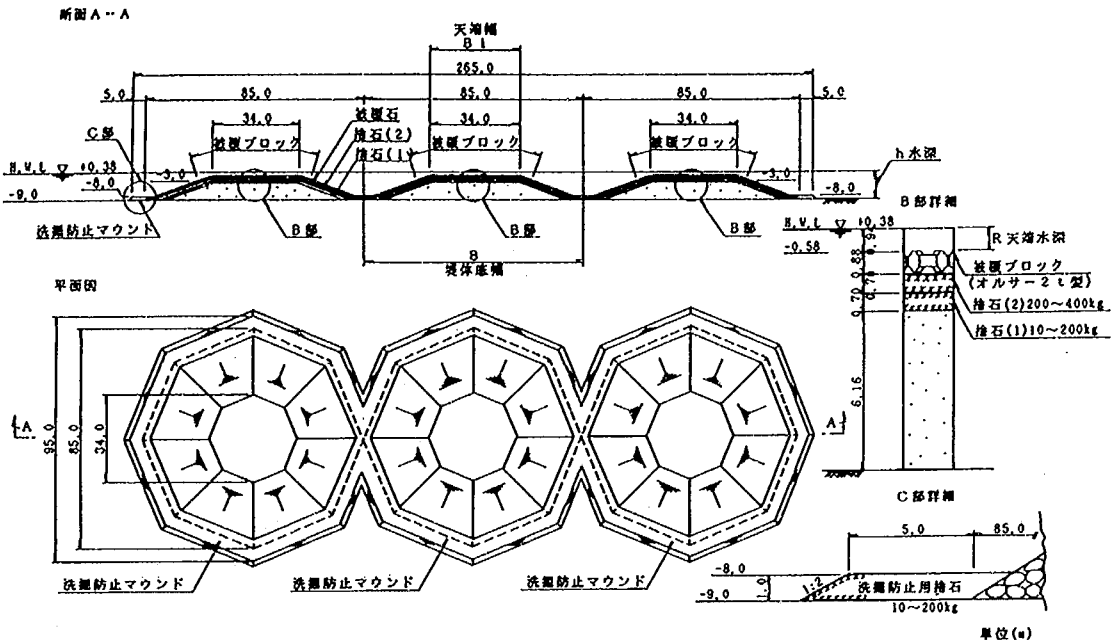
図－6.4.1　レンズマウンドの概観図

表－6.4.1　試設計の主要条件

条件項目		条件値
構造条件	設置地盤高	T.P.-9.0m
自然条件	設計潮位	T.P.-0.379m
	設計波高	$H_{1/3}$=4.14m
	周　期	T=10.0m
	土　質	砂質土（平均N値5）
消波性能		透過率≦0.6、反射率≦0.5



図－6.4.2　レンズマウンドの設計手順



図－6.4.3　レンズマウンド構造諸元

6.4.3　荷重

(1)　荷重の種類および組合わせ

構造設計に当っては、死荷重、波力、地震の影響、静水圧および浮力を考慮する。本構造物は没水しているので、風荷重は考慮しない。また、流れおよび津波による荷重、衝突荷重、施工時荷重は必要に応じて考慮する。

安定計算を行う限界状態および支配的な設計荷重を表－6.4.2に示す。

(2)　死荷重

構造物の被覆層、中詰め層の死荷重は、本編「3.1.2　死荷重」に示される単位体積重量に準じて算定する。

(3)　波力

被覆層の安定照査に用いる波力は、入射波の特性、設置水深、海底勾配および構造物の諸元により変化するため、原則として水理模型実験により求める。本構造物は人工リーフに類似しているため、人工リーフ被覆材の所要重量の算定法（建設省土木研究所，1990b）を参考にしてもよい。この場合、波力は波浪に対抗できる所要重量を求める形で評価される（本編「6.4.4　安定照査」参照）。

(4)　静水圧および浮力

本編「3.1.4　静水圧および浮力」に準ずる。

(5)　地震時の荷重

有限要素法による固有値解析結果によると、本構造物の固有周期は0.5秒以下と短いので、本編「3.1.5

表－6.4.2　限界状態および支配的な荷重

安定計算の項目	限界状態	設計荷重	検討内容
被覆材の安定計算	終局	波力 静水圧、浮力	被覆層・中詰め層構成材重量、層厚の検討 必要ならば中詰め層の液状化判定
基礎地盤および構造物全体の安定計算	終局	死荷重 地震の影響 静水圧、浮力	円形すべりの検討 基礎地盤の液状化判定
	使用	死荷重 静水圧、浮力	圧密沈下量の予測検討

地震の影響」に準じて静的解析法である震度法を用いて地震時慣性力を求める。また、地震時動水圧は小さいので考慮しなくてよい。

(6)　流れおよび津波による荷重

本編「3.1.7　流れおよび津波による荷重」に準じて求める。ただし、流体力算定時に必要な構造物構成材（石材）の抗力係数や揚力係数は現在のところ明確でないため、水理模型実験により求める。

6.4.4　安定照査

(1)　被覆層構成材の安定照査

被覆層構成材が移動、転落することにより変形が生じ、中詰め層構成材が流出するようになる状態を終局限界と定義する。したがって被覆層構成材の安定照査では、波の作用により構成材が移動、転落しないのに必要とされる重量を求める。

a）照査の基本式

終局限界を次式により照査する。

$$\gamma_0 W_n \leqq W_s \qquad (6.4.1)$$

ここに、γ_0：全体安全係数である。W_s（tf）は実際に用いられる構成材の重量であり、W_n（tf）は以下の検討によって求められる被覆層構成材の所要重量である。

b）照査の方法

被覆層構成材の所要重量は、水理模型実験によって求めるのが望ましい。また、本構造物は人工リーフと類似しているので、人工リーフの所要被覆材重量算定法を利用することもできる（建設省土木研究所，1990a）。人工リーフ被覆材の所要重量を用いる方法は、水理模型実験により、$R/H_0' = 0.2 \sim 0.8$の範囲で本構造物にも適用できることが確認されている。ただし、人工リーフとは異なり堤体上で生じる波による水位上昇は次式により計算する。

$$\eta_t / H_0' = 0.2 - 0.2R / H_0' \qquad (6.4.2)$$

ここに、

η_t　：堤体上の水位上昇量（m）

R　：天端水深（m）

H_0'：換算沖波波高（m）

h　：堤脚水深（m）

である。また、R/H_0'が0.1付近で$H_0'/h=0.3\sim0.6$の条件では、人工リーフ被覆材のための手法により求める重量では過大となる。

被覆層の安定性は必ずしも波高・潮位が高いときに最も危険とならない。このため、潮位を変えた検討を行い、入射波高と被覆層構成材の重量の関係を求めて最大の重量を設計値とする。

被覆層の層厚γは、「Coastal Engineering Reseach Center（1984）」による次式で求められる。

$$r=2.0\,(W_a/s_w)^{1/3} \qquad (6.4.3)$$

ここに、s_w：被覆層構成材の単位体積重量（tf／m³）である。ただし、被覆層をコンクリートブロックにより整積する場合には、ブロックの一層積としてよい。

(2) 基礎地盤および構造物全体の安定照査

a）終局限界状態の照査

地震により基礎地盤が液状化する状態、あるいは地震および死荷重によって基礎地盤および構造物全体が破壊する状態を終局限界状態とする。終局限界状態の照査では、基礎地盤の液状化の判定とすべり破壊に対する安定性の検討を行う。

①基礎地盤の液状化の判定

地震の影響による基礎地盤の液状化の判定は、「道路橋示方書・V　耐震設計編」（日本道路協会，1990）、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（日本港湾協会，1989）等の方法に準じて行う。基礎地盤全体が液状化すると判定された場合には、液状化が生じないように締固め、固化などの適切な対策を検討する。なお、波浪による海底地盤の液状化が予想される場合には、洗掘防止工の設置により基礎地盤への波浪の影響を低減する。

②円形すべり破壊に対する安定性

ア）照査の方法

終局限界状態を次式により照査する。

$$\gamma_0 S_d/R_d\leq 1.0 \qquad (6.4.4)$$

ここに、

γ_0：全体安全係数

S_d：設計起動力（ここでは設計起動モーメント）

R_d：設計抵抗力（ここでは設計抵抗モーメント）

である。地震力の影響による基礎地震および構造物全体の円形すべり破壊に対する安定性について照査する。荷重としては、自重、静水圧、地震時の荷重（慣性力）を考慮する。なお、本構造の斜面勾配が直線すべりに対して安定であることを確認しておく必要がある。

イ）円形すべりの計算

円形すべり破壊に関する安定性の照査は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（日本港湾協会，1989）に準ずる（図－6.4.4参照）。このとき、R_dおよびS_dは次式で求められる。

$$\begin{cases} R_d = r\sum_i \{c\ell_i / \gamma_{rc} + (\gamma_{id}W_i - \gamma_{iu}\rho_w V_i)\cos\theta_i \tan\phi / \gamma_{r\phi}\} & (6.4.5) \\ S_d = \sum_i \gamma_{id} W_i r_i x_i + \sum_i \gamma_{ie} k_h W_i y_i & (6.4.6) \end{cases}$$

ここに、

r ：すべり円の半径（m）

c ：基礎地盤および構成材の粘着力（tf／㎡）

ϕ ：基礎地盤および構成材の内部摩擦角（度）

ℓ_i ：分割片のすべり面の長さ（m）

b_i ：分割片の幅（m）

W_i ：分割片の全重量（tf）

V_i ：分割片の全体積（㎥）

ρ_w ：水の単位体積重量（tf／㎥）

θ_i ：分割片底辺の傾度（度）

x_i ：分割辺の重心とすべり円中心の間の水平距離（m）

y_i ：分割辺の重心とすべり円中心の間の鉛直距離（m）

k_h ：構造物の設計水平震度

γ_s ：すべり面のせん断抵抗力（tf）

である。ここで考慮する安全係数には以下の値を用いる。

○全体安全係数 ：γ_0 ＝1.0

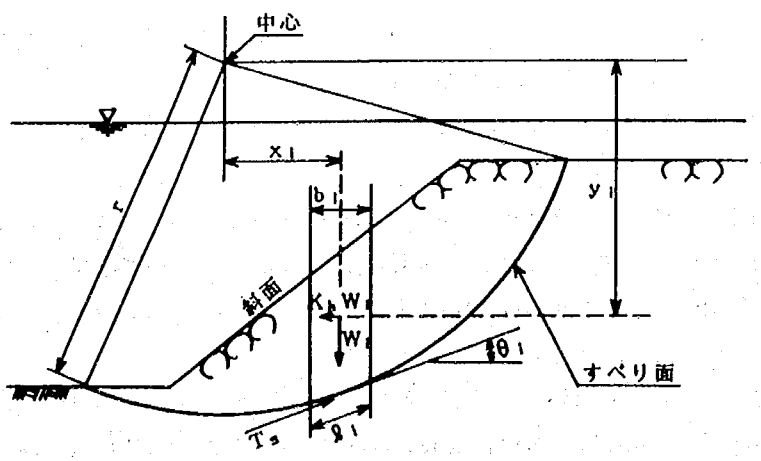
○荷重係数 ：γ_{ie} ＝1.15……地震の影響

γ_{id} ＝1.0 ……死荷重

γ_{iu} ≒1.0 ……静水圧、浮力

○抵抗修正係数 ：$\gamma_{r\phi}$ ＝1.10……抵抗力（抵抗モーメント）の内部摩擦成分

γ_{rc} ＝1.25……抵抗力（抵抗モーメント）の粘着力成分



図－6.4.4　円形すべり計算モデル

なお、粗粒材（50kgf以上の捨石、その他雑石等）の抵抗修正係数については、砂質土に準ずる。また、波浪や地震の繰返し荷重が基礎地盤および構造物の強度に大きく影響を与える場合には、過剰間隙水圧あるいは地盤定数の低減などを考慮する。

b）使用限界状態の照査

①照査の方法

使用限界状態を次式により照査する。

計算沈下量≦許容沈下量　　(6.4.7)

本構造物の透過率は天端水深が増加すると大きくなる。したがって、自重によって基礎地盤および構造物自体の圧密により沈下を生じると、必要な消波機能が満足されなくなる。使用限界状態の照査では、構造物の沈下量が機能上支障のない許容沈下量以下となることを確認する。

許容沈下量は、本構造物の消波性能に基づき、天端高が低下しても所要の消波効果が得られる天端高の余裕分として与えられる。沈下量が大きくなる場合には、次の点について検討する。

ア) 沈下を見込んで設計する。ただし、粘性土の地盤等で沈下が長期間にわたり生じる場合、事前に沈下を見込んで設計すると、当初の天端が高くなり消波特性に影響を及ぼすことが考えられる。この場合には、定期的に天端高を測量して必要に応じて補修する必要がある。

イ) 圧密沈下量を抑制する対策工を検討する。

②圧密沈下の計算

本編「6.2.1(5)c）② イ) 圧密沈下量」に準ずる。

6.4.5　細部設計

(1)　被覆層

被覆層の表面は構成材が相互によくかみ合うように施工する。特に、天端やのり面の稜線部分で、構成材1個当りの所要重量が不足しないように注意する。

水深の深い部分の被覆層構成材の重量は、安定性に問題がなければ、施工性、経済性を考慮して重量を軽減をすることができる。被覆層の重量を軽減できるのは水深が$2H_1$（H_1は構造物設置位置での入射波の有義波高）以上の水深域である。この水深域ではCoastal Engineering Reseach Center（1984)に準じて、重量を$W_n/10 \sim W_n/15$に軽減できる。また、この範囲の層厚は$d < 2H_1$の範囲の被覆層と同じとする。

(2)　中詰め層

中詰め層構成材には、石材、コンクリートブロック、砂などが用いられる。中詰め層に砂質土を用いる場合には、液状化の照査を行う。液状化の判定方法には前述の基礎地盤の液状化判定と同様の方法を用いる。中詰め層構成材が液状化する可能性があると判定される場合は、締固め、固化などの適切な液状化対策工を施す。

中詰め層構成材は、被覆層構成材よりも重量を低減することができる。Coastal Engineering Reseach Center（1984)に準ずると、中詰め層構成材重量は、被覆層構成材重量の1／10～1／20に軽減できる。また、層厚は次式で求まる。

$$r = 3.0\,(W' / s_w')^{1/3} \qquad (6.4.8)$$

ここに、

r　：層厚（m）

W'　：中詰め層構成材重量（tf）

s_w'：中詰め層構成材の単位体積重量（tf／㎥）

である。中詰め層の水深が深い部分（$d < 2H_1$）では、被覆層と同じように構成材重量をW'／10～W'／15に軽減できる。層厚は、水深の浅い部分（$d < 2H_1$）と同じ厚さとする。

中詰め層の下部層は上部層を被覆層とみなし、構成材重量の低減を繰り返し行うことができる。このようにして、構造物内部の層になるほど1個当りの重量を小さくできる。

基礎地盤や中詰め層の構成材に吸出しが生じる恐れのある場合には、吸出し防止に留意する。Coastal Engineering Research Center (1984)に準ずると、以下の条件が必要である。

$$D_{c15} \leqq 5 \times D_{u85} \qquad (6.4.9)$$

ここに、

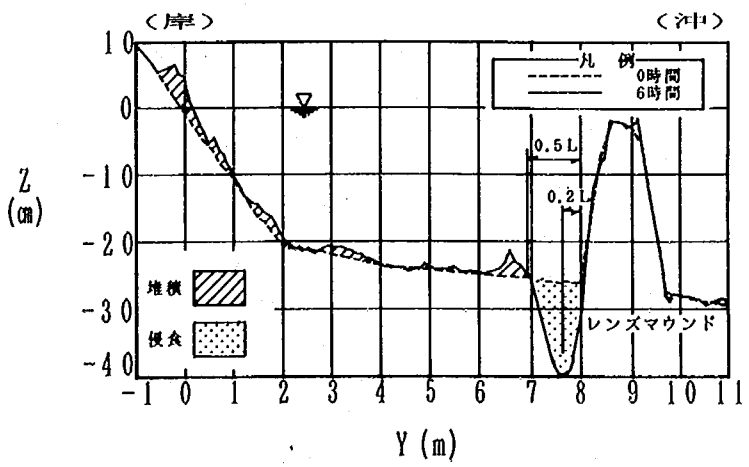
D_{c15}：上層構成材の15%通過粒径（mm）

D_{u85}：下層構成材の85%通過粒径（mm）

である。

(3) 洗掘防止工の検討

洗掘の発生が予測される場合には、洗掘防止工を設ける必要がある。洗掘防止工の設計は「港湾の施設の技術上の基準・同解説計」（日本港湾協会，1989）に準ずる。



図－6.4.5　構造物周辺の海浜変形実験結果

水理模型実験（建設省土木研究所，1990ｂ）による本構造物の岸沖の地形変化を図－6.4.5に示す。これは移動床に規則波を作用させた実験である。洗掘は構造物の岸側に生じ、その範囲は構造物の直ぐ岸端から約0.5Ｌ（Ｌ：入射波の波長）までである。また、最大洗掘位置までの距離は、約0.2Ｌである。この結果より判断すると、洗掘をほぼ防止できるように岸側のり先から0.2Ｌの範囲を目安に洗掘防止工を設置するとよいようである。

6.5　膜構造式構造物

6.5.1　一般

膜構造式構造物は、可とう性の膜あるいは袋体を利用した形式の消波構造物である。この中で、フレキシブルマウンドは図－6.5.1に示すように柔軟な袋体内に水（海水）を充填して形成される没水型柔構造物である。ここではフレキシブルマウンドの設計法を述べる。

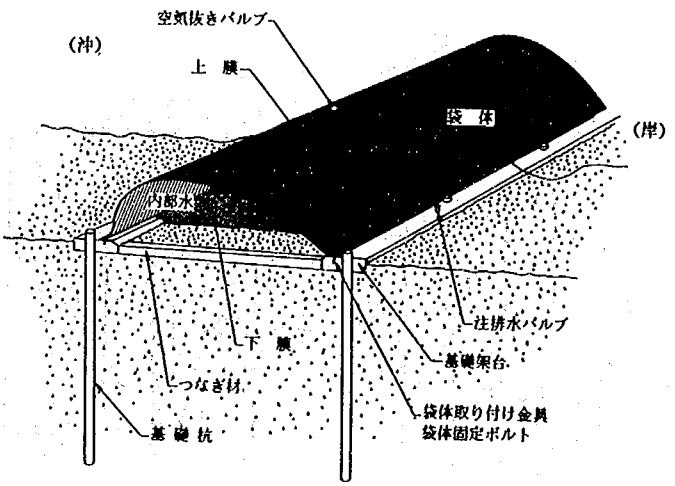
本構造物は、上部構造および下部構造、付帯設備等からなる。

上部構造：袋体（上膜、下膜）、袋体取り付け金具および袋体固定ボルト等

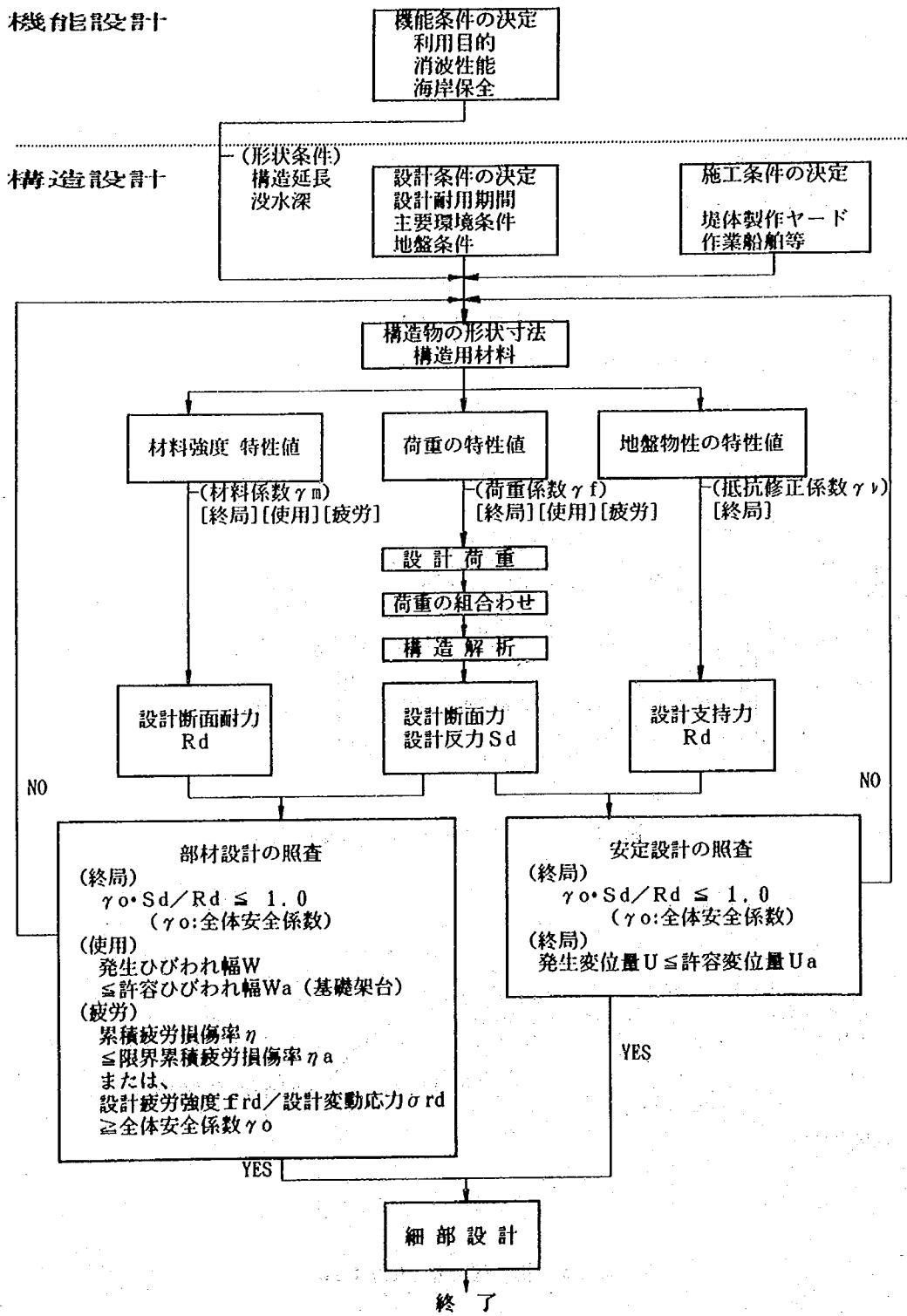
下部構造：袋体を取り付ける基礎架台および基礎工

付帯設備：注排水管、内部水圧調整器具、管理設備等

袋体は膜材として、袋体を固定する基礎は通常の杭基礎または重力式基礎として設計する。本構造物は、消波機能が必要とされない場合、袋体内の水を抜くことで深い天端上の水深を確保することができる。本構造物の設計のフロー図を図－6.5.2に示す。



図－6.5.1　構造物の概要（杭式基礎の場合）



図－6.5.2　フレキシブルマウンドの設計フロー

6.5.2 構造および諸元

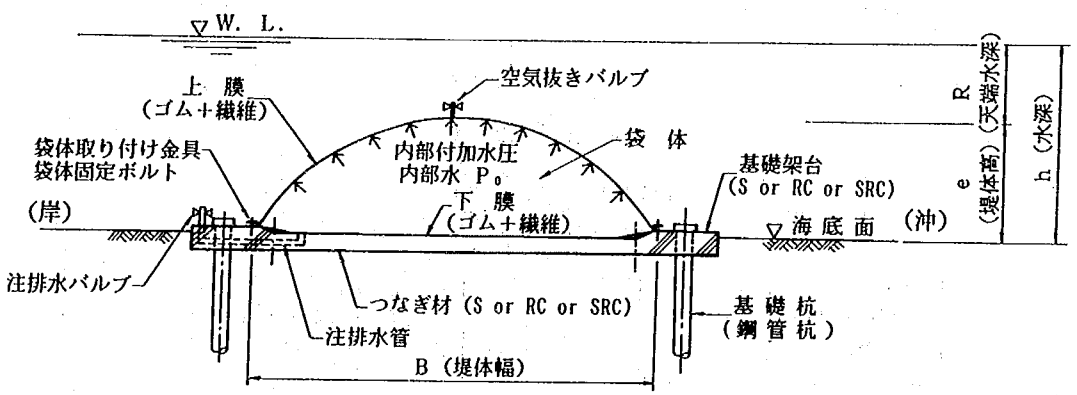
本構造物は、上部および下部構造、付帯設備からなり、各々以下のような特徴を有する。

①上部構造： 上膜と下膜の端部の水密性が保たれるように、袋体取り付け金具により密着させ一体化した構造体を総称して袋体という。袋体は固定ボルトにより下部構造に固定され、反力が基礎に伝達される。

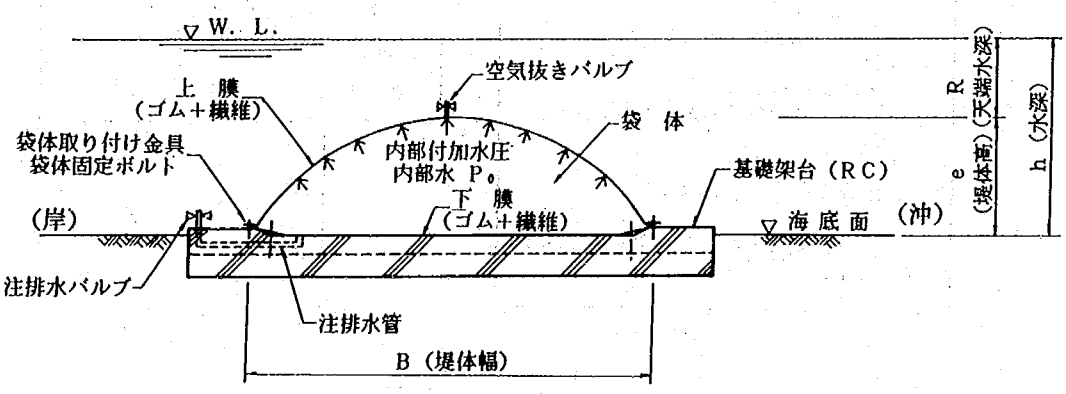
②下部構造： 袋体を取り付ける基礎架台は、袋体の規模により構造が異なる。また、海底地盤の地質により、重力式基礎、杭式基礎が用いられる。

③付帯設備： 袋体の内圧を調整するため、袋体に注排水管を取り付け、陸上部に管理設備を設ける。

杭式および重力式の基礎とした場合の構造概念図を図－6.5.3、図－6.5.4に示す。図中には、主な諸元も併せて示した。また、杭式基礎の場合の試設計の例を図－6.5.5に示す。このときの主な設計条件を表－6.5.1に示す。

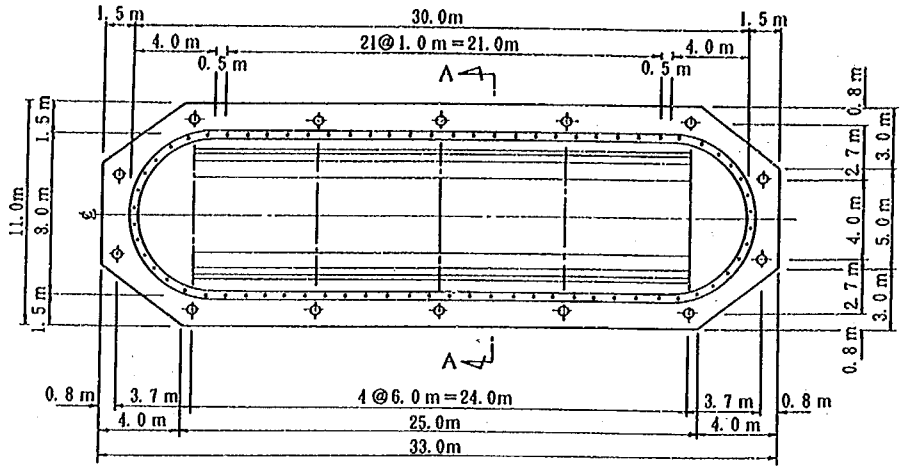


図－6.5.3 構造概念図（杭式基礎）

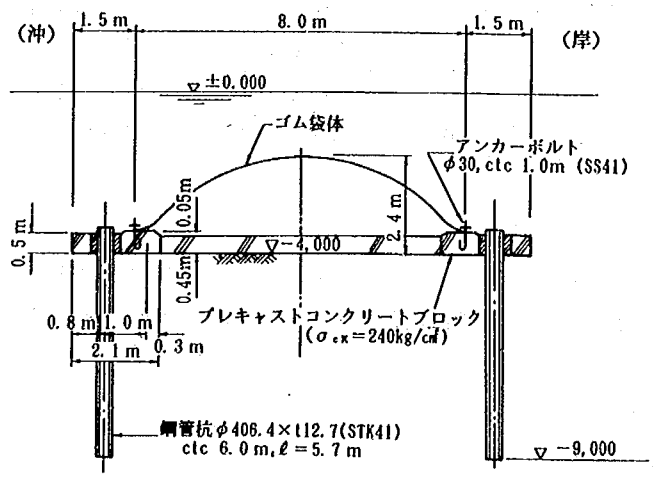


図－6.5.4 構造概念図（重力式基礎）

平面図



A－A断面



図－6.5.5　構造設計例（杭式基礎）

表－6.5.1　試設計の主要条件

条件項目		条件値
構造条件	設置地盤高	DL－4.00m
自然条件	設計波浪	Hmax ＝2.4m, T＝5.0sec
	土質条件	砂質土（平均N値20）
消波性能		透過率≦0.6，反射率≦0.5

6.5.3 設計荷重

(1) 荷重の種類

本構造物の設計に当っては、死荷重、波力、静水圧および浮力、内部付加水圧、地震の影響、流れおよび津波による荷重、施工時荷重を考慮する。また、必要に応じて衝突荷重を考慮する。風荷重に関しては、堤体が完全に没水しているので、考慮しなくてよい。

(2) 死荷重

本編「3.1.2 死荷重」に準ずる。

(3) 波力

設計に用いる水平、鉛直波力および膜張力は、構造物の設置条件および波浪条件を考慮し、水理模型実験あるいは、妥当性が確認されている実験データまたは算定式により求める。以下には、水理模型実験（建設省土木研究所，1989b）により得られた本構造物の波力特性を示す。このときの実験条件は表－6.5.2に示すとおりである。

表－6.5.2 実験条件

水深 h(cm)	海底勾配 tanθ	波向 θ(°)	入射波高 H_I(cm)	周期 T(sec)	波形勾配 H_I/L	水深波長比 h/L
35	1/5.7	0	8~42	0.82~4.37	0.015~0.15	0.044~0.35
35	0	0	4,8,12	0.72~2.96	0.007~0.082	0.066~0.44

a）水平全波力

水平全波力F_xを式（6.5.1）のように無次元化し、無次元水平波力係数f_xを定義する。水理模型実験によるf_xとH_I/hおよびB／Lとの関係を図－6.5.6に示す。図中のp_0は袋体内の内部付加水圧である。

$$f_x = F_x / w_0 B H_I \qquad (6.5.1)$$

ここに、w_0 ：海水の単位体積重量

B ：袋体幅

である。

b）鉛直全波力

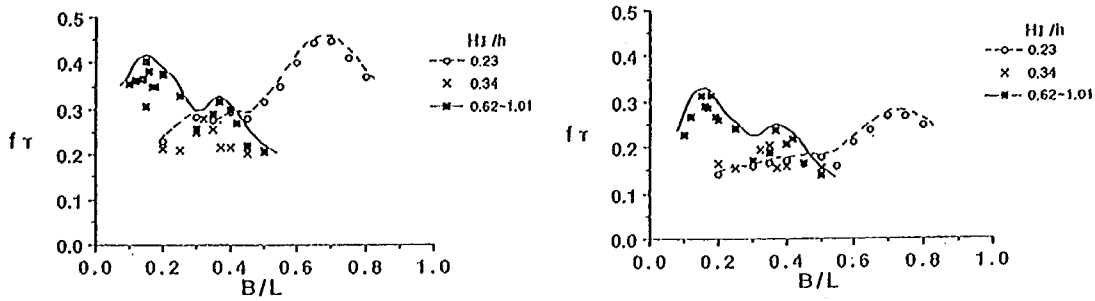
鉛直全波力F_zを式（6.5.2）のように無次元化し、無次元鉛直波力係数f_zを定義する。水理模型実験によるf_zとH_I/hおよびB／Lとの関係を、上向最大時について図－6.5.7、下向最大時について図－6.5.8に示す。

$$f_z = F_z / w_0 B H_I \qquad (6.5.2)$$

c）膜張力

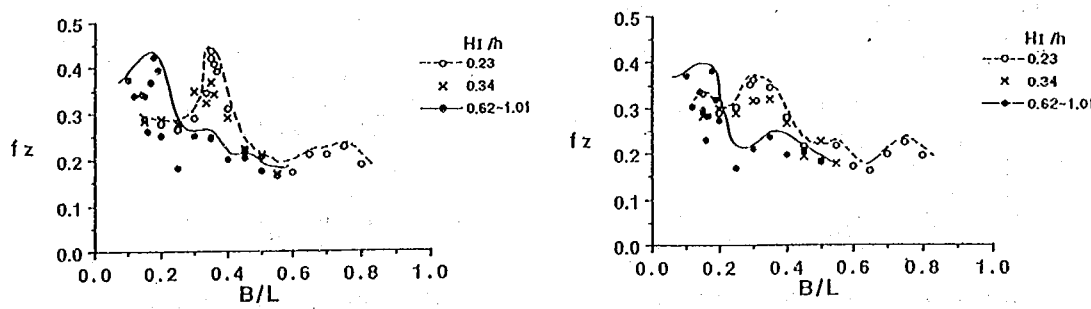
袋体の上膜に作用する膜張力F_Tを式（6.5.3）のように無次元化した。膜張力係数f_TとH_I/hおよびB／Lとの関係を図－6.5.9に示す。

$$f_T = F_T / w_0 B H_I \qquad (6.5.3)$$



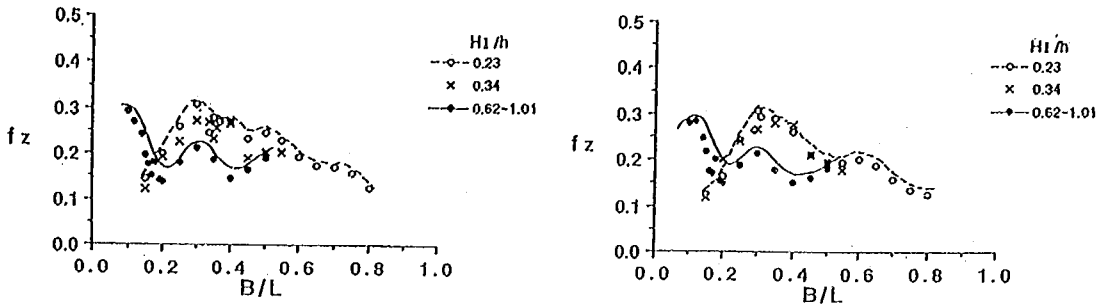
a) B/h=2.3,R/h=0.4,p₀/ρgh=0.05　　b) B/h=2.3,R/h=0.4,p₀/ρgh=0.1

図－6.5.6　無次元水平波力係数



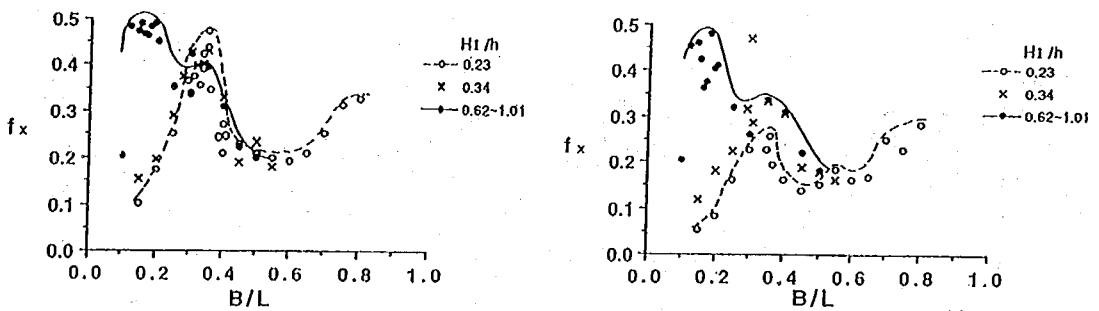
a) B/h=2.0~2.3,R/h=0.4~0.46,p₀/ρgh=0.05　　b) B/h=2.0~2.3;R/h=0.4~0.46,p₀/ρgh=0.1

図－6.5.7　無次元上き鉛直波力係数



a) B/h=2.0~2.3,R/h=0.4~0.46,p₀/ρgh=0.05　　b) B/h=2.0~2.3,R/h=0.4~0.46,p₀/ρgh=0.1

図－6.5.8　無次元下向き鉛直波力係数



a) B/h=2.0~2.3,R/h=0.4~0.46,p₀/ρgh=0.05　　b) B/h=2.0~2.3,R/h=0.4~0.46,p₀/ρgh=0.1

図－6.5.9　無次元膜張力係数

(4) 静水圧および浮力

本編「3.1.4 静水圧および浮力」に準ずる。基礎架台に比べて、袋体重量は無視し得るほど小さく、袋体に作用する浮力は通常考慮しなくてよい。

(5) 内部付加水圧

フレキシブルマウンドは、内部に水（海水）を充填することによって消波機能を発揮する構造物であるので、目的・用途に応じた消波効果が得られるように、内部付加水圧p_0を適正に設定しなければならない。消波効果を得るためには、一般にp_0を$p_0/\rho g h = 0.05 \sim 0.1$に設定する。

内部付加水圧p_0が与えられたときの静的膜張力は、次式により算出する。

$$F_{T0} = p_0 \cdot r = p_0 (e^2 + B^2/4) / 2e \qquad (6.5.4)$$

ここに、F_{T0}：内部付加水圧による静的膜張力

p_0：内部付加水圧

r：上膜の曲率半径

e：堤体高

である。

(6) 地震の影響

地震時荷重としては動水圧を考慮する。地震時動水圧は次式により算出する。

$$p = C_v w_0 \alpha / g = C_v w_0 k_h \qquad (6.5.5)$$

ここに、p：地震時動水圧

C_v：付加質量係数

w_0：構造物の排除した水の重量

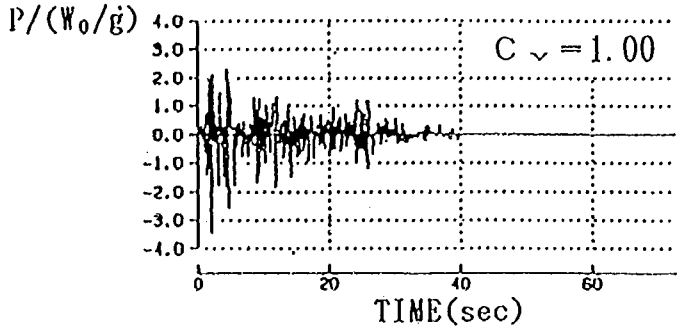
α：地震波の加速度

k_h：設計水平震度

である。付加質量係数C_vは入力地震波の振動数によって異なる。本構造物の場合には、入力地震波の振動数が袋体の固有振動数に近い場合を除くと、同一形状の剛構造物のC_vより小さくなることが確認されている。本構造物の地震応答解析は煩雑であり、一般には剛構造物としてC_vを求め安全側の設計を行う。また、本構造物の場合、以下のような解析事例を参考にすると、多くの場合に付加質量係数C_vの値は1.0としてよい。また多くの場合には、地震時動水圧に比べて水平全波力の方がかなり大きくなる。

〈解析事例〉

堤体を幅$B = 10$m、高さ$e = 3$mの諸元を有する剛構造と仮定し、実測の地震波を入力した場合の解析事例をここに示す。設置水深は$h = 5$mとした。EL CENTRO地震波（1940年発生、最大加速度$\alpha_{max} = 341.7$gal）を入力波としたときの構造物に作用する地震力を図−6.5.10に示す。このときの最大地震力に対する付加質量係数C_vはほぼ1.0となる。また、TAFT地震波（1952年、$\alpha_{max} = 152.7$gal）、関東大地震（1923年、$\alpha_{max} = 233.8$gal）、十勝沖地震(1968年、$\alpha_{max} = 225$gal）および松代地震（1966年、$\alpha_{max} = 362.1$gal）での地震波を用いて同様な検討を行ったところ、C_vはすべてほぼ1.0となった。



図－6.5.10　地震応答解析事例（鋼体モデル）

(7)　流れおよび津波による荷重

流れおよび津波による荷重は、本編「3.1.7　流れおよび津波による荷重」に準じて算定する。この時の抗力係数C_Dは円柱部材を参考に1.0としてよい。

(8)　衝突荷重

本編「3.1.8　衝突荷重」に準ずる。

(9)　施工時荷重

施工時荷重としては、曳航時、吊り込み時の荷重を基礎架台の設計に考慮する。

6.5.4　材料

(1)　一般

他の型式とは異なり、本構造物では膜材を用いることが特徴的である。膜材は、膜に作用する張力を支える維持層と、維持層の変質、劣化の防護および水密性を確保するためのゴム被覆層で構成されており、多層構造となっている。膜材には、繊維とゴムおよびゴムとゴムの接着性、耐水性、耐疲労性等が要求される。

JIS規格に準ずる材料を用いる場合には、該当規格に合格することを確認しなければならない。また、JIS規格以外の材料については、JISに規定された下記の方法により材質を確認しなければならない。

鋼材の検査通則	: JIS G 0303
非金属材料の検査通則	: JIS H 0321
加硫ゴム物理試験方法	: JIS K 6301
ゴム引き布	: JIS K 6328
一般繊物試験方法	: JIS L 1096

(2)　袋体

a）膜材の仕様

膜の材料は、袋体の規模、使用環境によって適宜選択するものとする。参考に主な膜材料を表－6.5.3に示す。

表－6.5.3　構成材の役割と種類

構成材	役　　割	種　　類（材　質）
繊維層	強度等の確保	・ナイロン　・ビニロン ・ポリエステル・ポリイミド ・カーボン　・ガラス　等
ゴム被覆層	止水、繊維の保護	・クロロプレン・EPDM・SBR ・シリコーン　・フッ素　・NR ・ポリエチレン・塩ビ　等

袋体の膜材には、原則として表－6.5.4に示す条件を満足するものを使用する。表－6.5.4は「ゴム引布製起状堰技術基準（二次案）（以下ゴム堰基準という）」（国土開発技術研究センター，1983）を参考に設定した。設定に当っては、以下に示すゴム堰と本構造物の使用環境条件の違いを考慮した。

①耐熱性試験条件

ゴム堰基準では耐熱性の試験条件を100℃で4日間としている。これはゴム堰が空気中に露出し直射日光の影響を受け易い構造であり、夏季に高温度になる可能性があるため、厳しい耐熱性が要求されることによる。これに対し、本構造物は完全に没水しているため、ゴム堰のような耐熱性は要求されない。このことから、耐熱性の試験条件は70℃で4日間とした。

②耐水性試験条件

ゴム堰基準では耐水性の試験条件を70℃で4日間としている。上記①で述べたように、本構造物は完全に没水しているためゴム堰のような耐熱性は要求されず、50℃で4日間とした。

③膜材のゴムと繊維の接着力試験条件

ゴム堰基準ではゴムと繊維の接着力の試験条件を70℃で4日間としているが、上記①と同様の理由から50℃で4日間とした。

④ゴムの耐熱・耐水性試験での引張強さおよび伸びの低減率

ゴム堰基準では、耐熱・耐水性試験時において、ゴムの引張強さTB、伸びEBが低減する割合を、

耐熱性：TB＝初期値×0.83

EB＝初期値×0.75

耐水性：TB＝初期値×0.83

EB＝初期値×0.88

のように規定している。吸水、乾燥が繰り返されるゴム堰に比べると、常に水中にある袋体の膜材の環境条件はあまり厳しくない。そこで、上膜は一律初期値の80%以上、また下膜は上膜に比べてさらに張力・繰り返し応力等の影響が小さいことから、初期値の70%以上を確保することとした。

b）膜材の厚さ

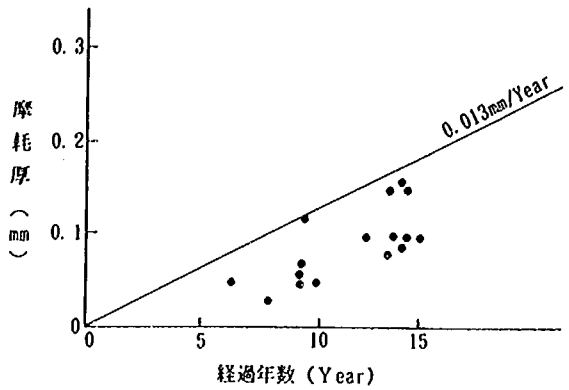
①上膜

上膜は、海水および内部水と常に接触しているとともに、高張力下で繰り返し変形を受ける。また、

表－6.5.4　膜材の仕様

材料		品質項目		規格値	試験方法
上膜	ゴム	初期物性	引張強さ 伸び	TB = 120 Kg/cm²以上 EB = 400 %　以上	JIS K 6301.3 (JIS 3号 ダンベル)
		耐熱性 (70℃4日)	引張強さ 伸び	初期物性 × 80% 以上 同　上	JIS K 6301.6
		耐水性 (50℃水4日)	体積変化率 引張強さ 伸び	ΔV = 20 %　以下 TB = 初期物性×80% 以上 EB = 初期物性×80% 以上	JIS K 6301.12
	全体	初期物性	引張強さ	(タテ，ヨコ) 設計張力×全体安全係数 ×材料係数　以上	JIS K 6328.5.3.5 (1)　又は JIS L 1096.6.12 (ストリップ法)に準拠
		耐熱性 (70℃4日)	引張強さ	(タテ，ヨコ) 初期物性値	同　上
		耐水性 (50℃水4日)	引張強さ	(タテ，ヨコ) 初期物性値	同　上
		ゴムと繊維の接着力 (50℃水4日)	初期剥離強さ 浸漬後剥離強さ	(タテ，ヨコ) 6 Kg/cm 以上 4 Kg/cm 以上	JIS K 6301.7 (ダンベル状試験片)
下膜	ゴム	初期物性	引張強さ 伸び	TB = 120 Kg/cm²以上 EB = 400 %　以上	JIS K 6301.3 (JIS 3号 ダンベル)
		耐熱性 (70℃4日)	引張強さ 伸び	初期物性 × 70% 以上 同　上	JIS K 6301.6
		耐水性 (50℃水4日)	体積変化率 引張強さ 伸び	ΔV = 20 %　以下 TB = 初期物性×70% 以上 EB = 初期物性×70% 以上	JIS K 6301.12
	全体	初期物性	引張強さ	(タテ，ヨコ) 設計張力×全体安全係数 ×材料係数　以上	JIS K 6328.5.3.5 (1)　又は JIS L 1096.6.12 (ストリップ法)に準拠
		ゴムと繊維の接着力 (50℃水4日)	初期剥離強さ 浸漬後剥離強さ	(タテ，ヨコ) 6 Kg/cm 以上 4 Kg/cm 以上	JIS K 6301.7 (ダンベル状試験片)

海水の流れ、砂の接触などもある。したがって、海水による変質、疲労による損傷および流下物による摩耗・破損が問題にならない厚さを確保しなければならない。参考として、ゴム堰の摩耗量に関する資料を図－6.5.11に示す（設置後経過年数6～14年のゴム堰17基の実測データによる摩耗量。ゴム堰基準より抜粋）。



図－6.5.11　ゴム堰の摩耗量

②下膜

基礎形式あるいは海底の地盤状況によって異なるが、下膜は上膜のように大きな張力の作用はなく、また流下物による損傷の心配も少ない。したがって、一般的には上膜に比較して薄くすることが可能である。

c）袋体取り付け金具の材質

下記のJIS規格に準じる。

一般構造用圧延鋼材：JIS G 3101

球状黒鉛鋳鉄品　　：JIS G 5502

d）袋体固定ボルトの材質

下記のJIS規格に準じる。

クロムモリブデン鋼鋼材：JIS G 4105（ボルト）

機械構造用炭素鋼材　　：JIS G 4051（ナット）

(3) 基礎架台・杭

a）コンクリート

本編「6.1.1(3)a）コンクリート」に準ずる

b）鋼材

本編「6.1.1(3)b）鋼材」に準ずる。

6.5.5　上部構造の設計

(1) 一般

上部構造は袋体および取り付け部の部材からなり、設計に当たっては次の事項を満足しなければならない。

①袋体は水密性を確保しなければならない。このため、袋体は上膜と下膜の一体構造とし、特に袋体の基礎架台への取り付け固定部では、内部付加水圧が減少、低下することがないように考慮しなければならない。

②袋体の耐久性を高くする必要がある。袋体は、特別な場合を除いて長期間使用するものであり、繰り返し変形を受けることから疲労に対する安全性を充分に考慮するとともに、袋体および取り付け金具類を設計する際には耐久性を充分に考慮する。

(2) 膜材の設計

膜材は繊維とそれを覆うゴムを一体化した複合材であり、これらのの特性を十分に考慮し、以下に示す各限界状態について設計を行う。

a）終局限界状態

膜材に作用する設計張力に対して、膜材が破損しないように設計する。終局限界状態の照査は次式により行う。

$$\gamma_0 S_d / R_d \leqq 1.0 \qquad (6.5.6)$$

ここに、S_d ：設計膜張力

R_d ：膜材の引張強度

γ_0 ：全体安全係数

である。設計に使用する全体安全係数、材料係数および荷重係数は以下のように定める。

①全体安全係数：$\gamma_0 = 2.7$

許容応力度法では、安全率$\gamma = 4.0$が一般に使用されており、ここではこれと同程度の安全性が得られる値として$\gamma_0 = 2.7$とした。

②ゴム膜材の材料係数：$\gamma_m = 1.3$

ゴム膜材は繊維層とゴム被覆層とからなるが、波力等により生ずる膜張力に抵抗するのは繊維層である。繊維層をゴム材によって被覆加工して複合材とした場合には、表－6.5.5に示す実験結果で示すように引張強度が低下する傾向がある。また、ゴム膜材は本構造物の中枢構造体であり、強度低下の機構が不明確であること等の理由から、材料係数には$\gamma_m = 1.3$を用いることにした。

表－6.5.5 ゴム膜材の静的引張強度試験の結果

試験体 No.	引張強度 (kg/cm)	
	縦糸方向	横糸方向
1	167 (100%)	143 (89%)
2	162 (97%)	138 (86%)
3	160 (96%)	133 (83%)
4	160 (96%)	133 (83%)
5	155 (93%)	130 (81%)

注1) 試験条件
繊維材 ：ナイロン
引張強度：縦糸方向－167 kg/cm
横糸方向－160 kg/cm

注2) ( ) 内の%値は繊維の引張強度に対するゴム膜材の強度比を示す。

③荷重係数γ_f

本編「2.3　安全係数」に準じて次のように定める。

内部付加水圧：$\gamma_f=1.0$

波力、地震力：$\gamma_f=1.15$

b）使用限界状態

膜材の設計には、使用限界状態を特に考慮しなくてよい。膜材の劣化は、材料の選定や維持管理により対処する。また、本構造物が正常に機能しなくなるのは、袋体固定部からの内部水の漏れ等が原因で内部付加水圧が極度に低下した場合である。これについては、組立時の水密性試験や点検により対処する。

c）疲労限界状態

膜材には、繰り返し膜張力による疲労と固定部における繰り返し屈曲による疲労を生じることが考えられる。したがって、この両方を考慮した疲労の照査を行う必要がある。

①繰り返し引張疲労強度

引張疲労強度は繰り返し引張疲労試験により求められる。膜材は圧縮力の作用しない片振り変動応力状態となり、疲労寿命の分布が対数正規分布に従うとすると、次式が成立する。

$$\log N=K\left(1-\sigma_{max}/\sigma_k\right) \tag{6.5.7}$$

ここに、N　：疲労寿命

K　：定数

σ_k　：静的引張強度

σ_{max}：最大応力振幅（$=\sigma_f+\sigma_0$）

σ_f　：変動応力振幅（設計疲労強度）

σ_0　：静的持続張力（内部付加水圧による膜張力）

である。これより、変動応力振幅すなわち疲労強度と疲労寿命の関係は、

$$\sigma_f=\sigma_k\left(1-\sigma_0/\sigma_k\right)\left(1-\log N/K\right) \tag{6.5.8}$$

となる。Kの値は引張疲労試験により設定する必要がある。参考として、引張疲労試験結果の一例を図－6.5.12に示す。

②繰返し屈曲疲労強度

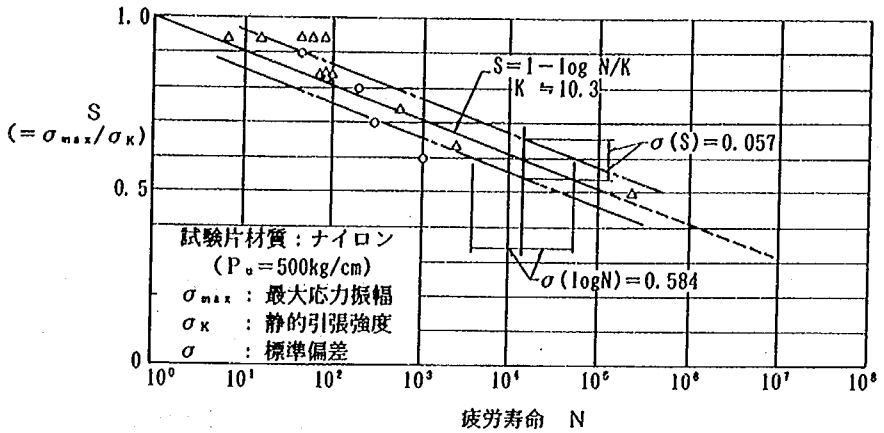
一定張力のもとで膜材を±7.5°の振り角度で繰返し屈曲させた場合の試験結果を図－6.5.13に示す。このグラフは試験体の静的引張強度σ_kと屈曲試験後の静的引張強度σ_k'の比を示すものであり、試験は一定の作用張力を$0.1\sigma_k$、$0.2\sigma_k$、$0.3\sigma_k$、$0.4\sigma_k$に変化させて行っている。図より作用張力の値にかかわらずσ_k'/σ_kはほぼ一定であり、屈曲による初期強度の低下はあまりみられない。ここでは、設計上の安全を見込み、安全側に膜材強度低下率を10％考慮することとする。

③照査の方法

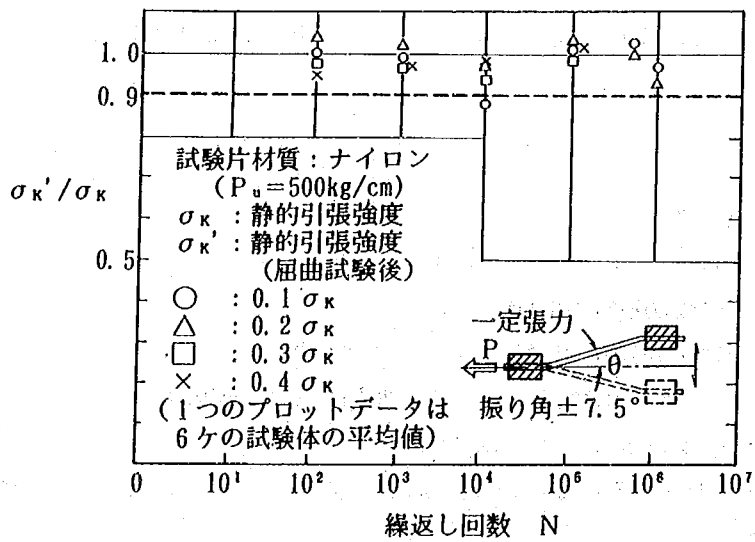
以下に示すいずれかの方法により、照査を行う。

ア）方法1

「5.2.1(3)　疲労限界状態に対する設計」に準じ、次式により照査を行う。



図－6.5.12 引張疲労試験結果



図－6.5.13 屈曲疲労試験結果

$$\eta_d = \sum_{i=1}^{m} (n_i / N_i) \leqq \eta_r \qquad (6.5.9)$$

ここに、η_d：累積疲労損傷率

η_r：限界累積疲労損傷率（=1.0）

n_i：応力ブロックiにおける応力頻度

N_i：応力ブロックiの応力変動幅に対する疲労寿命（S－N曲線より算定）

m ：総ブロック数

である。

イ）方法2

「コンクリート標準示方書　設計編」（土木学会，1986）に準じ、次式により照査を行う。

$$\gamma_0 \sigma_d / \sigma_r \leqq 1.0 \qquad (6.5.10)$$

ここに、σ_r：設計疲労強度、下記に示す方法により算出する。

σ_d：設計変動応力（設定）

γ_0：全体安全係数（＝1.0）

である。マイナー則を用い、ある設計変動応力作用時の等価繰返し回数N_{eq}を次式により算出する。

$$N_{eq} = \sum_{i=1}^{m} n_i \cdot 10^{b(\sigma_{di} - \sigma_d)} \qquad (6.5.11)$$

ここに、σ_d：設計変動応力（設定）

σ_{di}：変動応力

n_i：変動応力σ_{di}の繰返し回数

b：材料の疲労特性から求められる定数（＝K／（$\sigma_k - \sigma_0$））

K：定数（S－N曲線より算出）

σ_k：静的引張強度（屈曲による10%の強度低下を考慮するとともに、材料係数γ_m＝1.3で除した値とする）

σ_0：内部付加水圧による膜張力

である。上式から求められるN_{eq}と式（6.5.8）より、設計疲労強度σ_rを算出する。

(3) 部材の設計

a）袋体取り付け金具および固定ボルトの設計

袋体取り付け金具の設計には、袋体固定部に働く膜張力（反力）とナットの締め付け力を考慮しなければならない。袋体取り付け金具および固定ボルトの設計は、本編「6.1.1(4)b）①網部材」に準じ、終局限界状態および疲労限界状態について行う。なお、袋体取り付け金具は袋体に作用する力を均一に保持する構造のものでなければならない。

b）袋体固定ボルトの下部構造取り付け部の設計

袋体固定ボルトの下部構造取り付け部は、下部構造部材の配置状況や材質強度を考慮に入れ、袋体固定ボルトの強度を十分確保できるものでなければならない。

6.5.6　下部構造の設計

(1) 一般

下部構造は袋体の変形を妨げることなく、消波効果を十分に発揮できるような構造とすることが重要である。特に、袋体固定部付近の下部構造の形状によっては膜材の摩耗等の原因となることも考えられるので十分な配慮が必要である。下部構造は基礎架台と基礎工からなるが、基礎工の形式によっては基礎架台と基礎工の一体化が重要な問題となる。

基礎工の形式は、特に荷重、地質の条件により、杭式基礎、重力式基礎、その他の基礎形式（直接基礎＋アースアンカー等）から選定される。通常、杭打設が可能な地質条件では杭式の基礎工を用いる。基礎工の満足すべき条件としては、以下の点が挙げられる。

①基礎工自身が地盤反力や変形に対して十分な剛性を有すること。また、袋体の平面形状を保持するため、平面的にも十分な剛性を有しなければならない。

②所要の消波機能に悪影響を及ぼすような変位、沈下、振動等が生じないこと。

(2) 構造解析

構造解析に用いる荷重として、波力に関しては、水上波力、上向・下向鉛直波力について以下に示す組合わせを考慮し、2ケースの解析を実施する。

①水平波力＋上向鉛直波力

②水平波力＋下向鉛直波力

a）杭基礎の場合

本編「6.1.1(4)a）構造解析」に準ずる。ただし、基礎架台が剛体とみなせる場合には、基礎架台の変位(鉛直、水平、回転変位）を考慮した弾性解析法（変位法）によって構造解析を行ってもよい。

b）重力式基礎の場合

本編「6.2.1(5)c）安定計算上の解析モデル」に準ずる。

(3) 安定照査

a）杭基礎の場合

本編「6.1.1(5) 安定計算」に準ずる。

b）重力式基礎の場合

本編「6.2.1(5)b）照査項目」に準ずる。

c）その他の基礎

その他の基礎形式としては、直接基礎とアースアンカー等を組合わせる併用型、海底面から杭を突出させる有脚式基礎等が考えられるが、いずれも杭基礎および重力式基礎の場合と同一レベルの適正な安全性の照査を行うものとする。

(4) 部材の設計

基礎架台の部材には、鉄筋コンクリート、あるいは鉄骨鉄筋コンクリートが考えられる。また、杭部材には鋼管杭を用いる。終局・使用・疲労の各限界状態における部材の設計は、以下のようにして行う。

a）基礎架台

基礎架台は梁部材として設計する。

①鉄筋コンクリート

本編「6.1.1(4)b)②コンクリート部材」に準ずる。

②鉄骨鉄筋コンクリート

「コンクリート標準示方書　設計編」（土木学会，1986）に準ずる。

b）鋼管杭

「6.1.1(4)b）①鋼部材」に準ずる。

6.5.7 細部設計

(1) 鉄筋コンクリート

「6．1．1(4)b)② エ) 一般構造細目」に準ずる。

(2) 鋼管杭

「6．1．1(4)b)① エ) 一般構造細目」に準ずる。

(3) 注排水管

注排水管とは、袋体の内部水を注入、排出するための設備である。袋体内部水の注水は、通常設置時に下部構造内に埋設された注排水管を通じて行われ、排水時には同じ注排水管のバルブを開放することにより自然排水する。注排水管は、フレキシブルマウンド1ユニットごとに、2系統以上設けることを原則とする。

(4) 内部水圧調整器具

内部水圧調整器具とは、袋体内封水の付加水圧を調整するものである。袋体の内部水には、設計水深の5～10%に相当する水圧を付加する必要がある。注水時には、内部水圧調整器具により所要の付加水圧が確保できるようにする。

参 考 文 献

合田良実（1973）：衝撃砕波圧を受ける混成防波堤の挙動に関する考察，港湾技術研究所報告，Vol.12，No.3，pp.3～29.

合田良実（1973）：防波堤の設計波圧に関する研究，港湾技術研究所報告，Vol.12，No.3，pp.31～69.

宇多高明・国栖広志・近藤浩右・清水正乙・村井禎美（1989）：透過式消波構造物の波力特性に関する実験的研究，第36回海岸工学講演会論文集，pp.569～573.

宇多高明・小俣 篤・斉藤友伸(1990)：人工リーフ被覆材の所要重量算定方法，土木研究所資料，第2893号，48p.

運輸省港湾技術研究所・運輸省第3港湾建設局・川崎製鉄株式会社（1966）：鋼板セル試験報告書，124p.

沿岸開発技術センター（1985）：根入れ鋼板セル設計指針，48p.

北島昭一・野田節夫・中山種清（1981）：根入れ鋼板セルの静的挙動，港湾技研資料，No.375，212p.

建設省土木研究所（1987）：海域制御構造物の開発に関する共同研究報告(2)，土木研究所資料，第2510号，138p.

建設省土木研究所（1988a）：海域制御構造物の開発に関する共同研究報告(5)—皆生海岸FS調査報告書—土木研究所資料，第2609号，285p.

建設省土木研究所（1988b）：海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(6)—波力実験報告書—，土木研究所資料，第2658号，111p.

建設省土木研究所（1988c）：海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(7)，土木研究所資料，第2661号，185p.

建設省土木研究所（1989a）：海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(8)，土木研究所資料，第2701号，217p.

建設省土木研究所（1989b）：海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(9)，土木研究所資料，第2788号，209p.

建設省土木研究所（1990ａ）：海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(10)，共同研究報告書，第37号，126ｐ．

建設省土木研究所（1990ｂ）：海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(11)，共同研究報告書，第47号，208ｐ．

建設省土木研究所（1991）：海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(13)，共同研究報告書，第56号，243ｐ．

㈱国土開発技術研究センター（1983）：ゴム引布製起状堰技術基準（二次案），145ｐ．

谷本勝利・柳生忠彦・村永　努・柴田鋼三・合田良実（1982）：不規則波実験による混成堤マウンド被覆材の安定性に関する研究，港湾技術研究所報告，Vol.21，No.3，pp.3～42.

谷本勝利・高橋重雄・金子忠男・塩田啓介・小蔵紘一郎（1986）：円柱に働く衝撃砕波力に関する実験的研究，港湾技術研究所報告，第25巻，第2号，pp.29～88.

野田節夫・上部達生・千葉忠樹（1975）：重力式岸壁の震度と地盤加速度，港湾技術研究所報告，Vol.14，No.4，pp.67～112.

野田節夫・北沢壮介・飯田　毅・森　信夫・田淵　博（1982）：根入れ鋼板セルの耐震性に関する実験的検討，港研報告，Vol.21，No.3，pp.79～167.

野田節夫・倉田栄一・飯田　毅・武藤裕之・吉田洋二郎・荻野秀男（1989）：根入れ鋼板セル護岸の地震観測，港湾技研資料，No.648，64ｐ

南　兼一朗（1989）：鉄筋コンクリート港湾構造物の限界状態設計法，港湾技術研究所講演会・講演集，pp.29～62.

吉田　巌・吉中竜之進（1966）：明石層および神戸層の工学的性質について，土木研究所報告，Vol.129，pp.1～54.

Coastal Engineering Research Center (1984) : Shore Protection Manual Vol. Ⅱ, USArmy Corps of Engineers.

MMZ計画策定の手引き(案)

施　工　編

第1章　総則

MMZ計画策定の手引き（案）「施工編」は海域制御構造物の施工に関する技術的基準を取りまとめたものである。海域制御構造物は、当該海岸の自然・社会条件等を十分に把握した上で、安全かつ合理的に施工しなければならない。

〔解　説〕

海域制御構造物は波、流れ、漂砂を制御し、静穏海域を創出することを目的として水深5～20mの海域に設置される海洋構造物であり、その施工は種々の自然・社会条件の制約を受ける。したがって海域制御構造物の施工に際しては、当該海岸の自然・社会条件を十分に把握して慎重に計画を立案するとともに、施工の安全にも十分に配慮しなければならない。また、海上での構造物の施工に関しては種々の施工関連指針があるので、本編のほかにこれらの指針（下記）にも準拠する必要がある。

〈準拠すべき指針の一覧〉

土木工事共通仕様書	建設省各地方建設局
土木工事施工管理基準	建設省各地方建設局
土木工事品質および出来形の規格値	建設省各地方建設局
土木工事安全施工技術指針	全日本建設技術協会、建設省大臣官房技術調査室監修（1988）
港湾工事共通仕様書	日本港湾協会、運輸省港湾局編修（1983）
港湾工事品質・出来形管理基準	日本港湾協会、運輸省港湾局編修（1988）
港湾工事安全施工指針	日本埋立浚渫協会（1986）
海洋工事安全施工要領	日本土木工業協会ほか（1987）
コンクリート標準示方書	土木学会（1986）

陸上工事、海上工事は種々の法規によって規制を受ける。海域制御構造物の施工に当っても、これらの法規を遵守しなければならない。

第2章　型式

施工性から見た海域制御構造物の型式分類は次のようである。

○有脚式
○重力式
○鋼板セル式
○捨石式
○膜構造式
○その他

〔解　説〕

ここで取り上げる海域制御構造物は、本手引き（案）「計画編」に記述されている構造・施工型式の構造物である。構造物の施工手順、施工方法等は型式ごとに異なるので、MMZ計画の策定に際しては、当該海岸の自然・社会条件を十分に把握し、これらの条件と施工性の関係について十分な検討を行う必要がある。

各型式のうち、有脚式はブロック、鋼製ジャケット、ケーソン等の構造物本体を基礎杭により支持し、海底に固定する型式である。重力式は海底に設置した捨石マウンド等の基礎の上にケーソン等の構造物本体を設置する型式である。鋼板セル式は鋼板セルを海底地盤中に根入れさせた上、セル内に中詰め材を投入する型式である。没水捨石式は海底に投入した砂・石等の中詰め材を被覆石、被覆ブロック等で覆う型式である。膜構造式は膜材でできた袋体の中に海水等の流体を充填して海底に固定する型式である。各型式の構造の詳細は本手引き（案）「計画編」を参照されたい。施工の観点から見た各型式の特徴を表－2．1に示す。

表－２．１　各型式の施工性に関する対照表

構造・施工型式		堤体の構築概要	製作ヤードの条件	堤体の運搬・据付の条件
有脚式	連結ブロック式	ガイドを仮設して精度良く杭打ちを行い、杭にブロックを組み込む。	ﾌﾟﾚｷｬｽﾄﾌﾞﾛｯｸ製作には大型の施設を必要としない。	ﾌﾞﾛｯｸの運搬・据付には中規模の起重機船が必要である。
	H型スリット板ジャケット式	ｼﾞｬｹｯﾄ型の堤体を精度良く設置し、ｼﾞｬｹｯﾄをガイドとして杭を打設する。	鋼製ジャケットおよび大型RC構造物の製作ヤードが必要である。	運搬には大型起重機船を用いるか、または台船への積載曳航が必要である。据付には大型の起重機船が必要である。
	斜板ジャケット式			
	スリットケーソン式	ｶﾞｲﾄﾞ管付ｹｰｿﾝを精度良く設置し、ｶﾞｲﾄﾞ管付ｹｰｿﾝをガイドとして杭を打設する。	大型RC構造物の製作ヤードが必要である。	（浮上ｹｰｿﾝとすれば曳航も可）
重力式	斜板ケーソン式	陸上で製作した堤体をマウンド上に設置する。		
	スリットケーソン式			
	中詰スリットセルラー式			
	並列Ｙ字壁式	捨石置換した海底面上に堤体を設置する。		
鋼板セル式		堤体を直接海底に打設する。	鋼板ｾﾙの製作ヤードが必要である。	
捨石式		捨石およびﾌﾞﾛｯｸを投入し敷均す。	被覆ﾌﾞﾛｯｸの製作には大型の施設を必要としない。	起重機船等を特に必要としない。
膜構造式		堤体を海底に直接設置する。	膜体は専門の工場で製造する。	中規模の起重機船が必要である。

第3章　事前調査

海域制御構造物を合理的かつ安全に施工するためには、当該海岸の自然・社会条件を十分に調査して適切な施工条件を設定する必要がある。事前調査では、気象、海象、地形、土質、施工環境の条件について調べる必要がある。

〔解　説〕

3．1　概説

施工に関する事前調査の目的は、主として以下の作業の基礎資料を得ることにある。

①海上作業の稼働率を求める。

②構造物の施工時の安全性を確認する。

③施工方法、機械、設備、作業船の選定を行う。

④その他の施工計画を作成する。

事前調査のうち、自然条件に関する項目には気象、海象、地形、土質などがある。これらの調査では、海域制御構造物の計画・設計時に行われた各種調査機関の資料・定期刊行物、近隣の気象台、観測所等の資料、当該海岸における過去の施工実績等をできるだけ入手する必要がある。さらに、事前に現地踏査を行うとともに、必要に応じて現地観測、深浅測量、土質調査等を実施する。また、施工に際しては施工環境の条件を調査する必要がある。事前調査の項目を表－3．1にまとめて示す。環境保全に係わる調査の方法に関しては、法律、通達等によって定められている事項が改訂されていないかどうかを常に確認しておく必要がある。

表－3．1　事前調査の項目

事　項	調　査　項　目
気象	風、降雨、降雪、霧、雷、気温
海象	波浪、潮位、潮流、漂砂、水温、流氷等
地形・土質	地形、土質
施工環境条件	作業基地・陸上製作ヤード、避泊地・着岸施設、周辺施設、漁業関係、底質、水質、危険物

3．2　気象

3．2．1　風

(1)　一般

風は波浪や高潮の発生を支配するとともに、海上工事のための作業機械や船舶の稼働を阻害する要因となるため、設置海域の風の特性を十分把握する必要がある。風向、風速の記録は気象庁が求めているので、比較的容易に各地区の特性を知ることができる。気象庁の風速記録は一般に地上約10mで測定されたものであり、これらの記録をもとに工事区域の風向、風速の特性を推測する場合には、海上と陸上の差、高さの差等観測地点との違いを確かめて補正する必要がある。また、海上風の風速は通常陸域の1．5倍程度になるので注意が必要である。

施工環境の条件として用いられる風の実測記録には、各地の気象台や観測所で取得されている観測記録を利用することが多い。気象観測は特例的な場合を除き、気象業務法を基本とする関係法令の適用を受け、定められた基準、方法によって実施されている。記録は既に資料として編集され販売されている例もある。気象庁および関係機関から定期的に刊行されている資料を表－３．２に示す。

表－３．２　気象関係の刊行資料

気象要覧	気象関係の統計値および解説	月刊
気象庁海洋気象観測資料	波浪等の海上気象関係資料	２回／年
ベビーマップ	毎日９時の縮刷天気図	月刊
その他	累年気候表、各種年表、台風経路図	――

(2)　台風および季節風

台風は、太平洋上に発生した熱帯低気圧が発達して中心風速が17m／s以上に発達したものであり、気圧低下や強風を伴うので高潮や高波を発生させる要因となる。強風や高潮、高波は、仮設施設や施工途中の構造物に多大な被害を与えるので、当該海岸に来襲する台風の性質を十分に把握しておく必要がある。台風の発生回数は年間20～30回程度であるが、それらのうち日本本土を襲う台風は、多くて年間５～10個である。また、大部分は７～11月に来襲する。風は台風の中心に向かって反時計回りの方向に吹き込む。したがって、風の影響は台風の進行方向の右側（危険半円）において大きく、高潮などの被害も生じ易い。台風が来襲する恐れのある場合には、作業船の退避や手もどり防止等の対策を事前に検討しておく必要がある。

日本海沿岸では冬季の西高東低の気圧配置により強い季節風が発達し、高波浪が頻繁に来襲する（冬季風浪）。また、冬の終りから春先にかけては、大陸で発生した低気圧が著しく発達して東ないし北東に進み、日本海および北海道沿岸に強風、異常波浪をもたらすことがある。「春一番」はこの種の低気圧による強風を表す。したがって、施工計画を作成する際にはこのような季節風の特徴を十分に理解しておく必要がある。

３．２．２　降雨、降雪、霧、雷

降雨、降雪は一般に工程を阻害する要因となる。したがって、工事区域における年間降雨量、月別工雨日数等の降雨特性を把握する必要がある。降雪は作業基地内施設の積載荷重となるほか、冬期の陸上作業工程を支配する要因となる。

霧や雷は海上作業や作業船の航行に支障を与える要因であり、発生時期や場所に極めて特徴があるので、過去の記録や地元での情報を収集し、工事の阻害とならないよう注意する必要がある。

これらの資料としては、表－３．２に示した刊行物を用いるとよい。

３．２．３　気温

気温はコンクリート工事における温度管理や鋼構造物の出来形管理等に影響を与える要因であるから、事前に十分把握しておく必要がある。この場合にも表－３．２の資料を用いることができる。

３．３　海象

３．３．１　波浪

海上工事は、波による影響を特に大きく受ける。波高が高いと作業船の動揺が激しく施工不能になったり、

ケーソンの中詰めや裏込めの流出、コンクリート型枠の流失などの手もどりを生ずる原因となる。また、季節によっては、午前中は穏やかでも午後から高波浪となり工事ができなくなることもある。さらに、波向も海上工事においては重要な影響要因であるので、波高、周期同様に事前の把握が必要である。したがって、当該海岸における波浪の出現率、年間や一定期間（季節、月、週）内の波向別波高・周期の出現頻度を把握しておく必要がある。

海の波は不規則な波形をしており、一般にはこれを統計的に処理した代表波として表示される。

① 最高波（H_{max}、T_{max}）

ある波群中で最大の波高を示す波

② 1／10最大波（$H_{1/10}$、$T_{1/10}$）

ある波群に関し、波高の高い順に全波数の1／10の数の波を選び出したとき、それらの波の平均波高および平均周期を有する波を1／10最大波という。

③ 有義波（$H_{1/3}$、$T_{1/3}$）

ある波群に関し、波高の高い順に全波数の1／3の数の波を選び出したとき、それらの波の平均波高および平均周期を有する波を有義波と言う。

波浪の資料としては近隣の観測所(海岸保全施設築造基準,1987、参照）で得られた資料を用いるとよい。既存の資料のない場合には波浪推算による予測を行う必要がある。

3．3．2 潮汐、潮位

潮汐は太陽や月の天文現象に基づく規則的な潮位変動で、普通1日2回、場所と時期によっては1日1回の変動を繰返す。しかも変動の幅は時間的に変化するので、海上工事では潮汐資料抜きで施工計画を作成することは不可能である。海上保安庁発行の潮汐表あるいは気象庁発行の潮位表をもとに、施工時の潮位（天文潮）を常に把握することが大切である。1日2回潮のとき周期は平均12時間25分であり、1日1回潮の周期は24時間50分である。

潮差は朔（新月）および望（満月）の1～3日後に最も大きくなる（大潮）。また、上・下弦の1～3日後には最も小さくなる（小潮）。1年のうちでは春・秋分前後の潮差が最大である。潮位は種々の状況に応じそれぞれ次のように定義される（図－3．1参照）。

① 計画高潮位（H．H．W．L．）

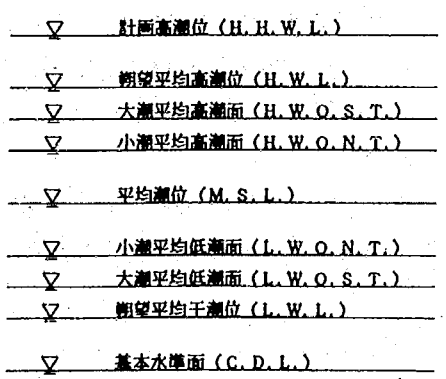
当該海岸で生じる計画上の最高潮位。一般に朔望平均満潮位に偏差を加えて求められる。

② 平均潮位（M．S．L．）

ある期間中（実用上は1カ年）の潮位を平均した潮位である。

③ 朔望平均満潮位（H．W．L．）、朔望平均干潮位（L．W．L．）

我が国において慣用的に用いられている潮位で、朔および望の日から5日以内に現われる各月の最高



図－3．1 潮位の説明図

（低）潮位を平均して求められる。

④ 大潮平均高潮面（H.W.O.S.T.）、大潮平均低潮面（L.W.O.S.T.）

大潮時の高潮あるいは低潮を長期間にわたり平均した潮位である。

⑤ 小潮平均高潮面（H.W.O.N.T.）、小潮平均低潮面（L.W.O.N.T.）

小潮時の高潮あるいは低潮を長期間にわたり平均した潮位である。

⑥ 基本水準面（C.D.L.）

海図の零位、すなわち海図の水深の基準値のことであり、平均水面から主要4分潮の半潮差の和を差引いて求められる。

基本水準面はその港の最低低潮面とほぼ一致する。ただし、日本海沿岸などでは干満の潮位差に比べて平均水面の季節的な変動が激しいため、基本水準面より低い潮位が現われる場合があることに注意する必要がある。海上工事では、基準（零位）とすべき水面に工事用基準面（W.D.L.）が定義される。一般に、我が国ではこの基準面を基本水準面と一致させることが多い。また、基本水準面と東京湾平均海面（T.P.）との関係を明らかにしておく必要がある。なお、これら基準面のほかに検潮記録の読み取り基準面（O.D.L.）、各地域で慣習的に用いられているO.P.、Y.P.等の基準がある。潮位を使用する際には以上の基準面をとり違えないように留意する必要がある。

当該海岸で使用できる潮汐資料のない場合には潮位観測を行う必要がある。この場合、量水標を設置して潮位を観測する方法が一般的である。量水標を設置する際には、沈下や移動が生じず、波浪による水面変動ができるだけ少ない場所を選定する必要がある。水面が動揺している時の読み取り方としては、はじめに波の山の水位を続けて10個、次に波の谷の水位を続けて10個読み取り、この20個の水位を平均する方法が一般的である。

3.3.3 潮流

潮流は潮汐の干満に伴って湾内または海岸付近に生ずる海の流れであり、その大きさや方向は周期的に変化する。潮流は一般に大潮時に速く、小潮時に遅い。潮流速が特に大きい場合には、海中作業はもちろん、船舶の係留、ケーソンの据付等の海上作業が困難となる。このような場所で施工を行う際には、潮流の時間的な変化、表層から底層までの流速分布等を十分に調査しておく必要がある。潮流は潮汐とは異なり局所的に流向流速が変化する場合が多いので、建設地点の潮流資料は現地での観測、情報収集により取得することが望ましい。我が国の代表地点の潮流資料には、潮汐と同様に潮位表、潮汐表を用いることができる。

3.3.4 漂砂

海浜や海底を構成する底質が波や流れなどの作用によって移動する現象を漂砂と呼ぶ。風による海浜の砂の移動（飛砂）を広義に漂砂に含める場合もある。

海浜に設置した仮設施設周辺では沿岸漂砂による堆積または侵食を生じることがある。また、海中に設置するＳＥＰの脚周辺では、高波浪により洗掘を生じて工事の障害となることもある。このように、浅海域、特に砕波帯内での基礎工事は、漂砂の影響を受けることが多いので、施工箇所周辺の漂砂特性（沿岸漂砂の卓越方向、底質粒径、移動限界水深、沿岸漂砂量等）とその影響範囲を十分に把握しておく必要がある。

3．4　地形、土質

3．4．1　海底地形

海底地形は一般に深浅測量により測定される。深浅測量は、計画・設計段階でなされるので、施工時には即存資料の補充またはチェックが主となる。その目的は、次のとおりである。

① 広い地域の海底地形の概要を知る。

② 航路および泊地の水深を調査する。

③ 施工数量を算出する。

④ 施工着手前および施工後の海底地形変化を調べる。

深浅測量は、測定位置の平面的な測量と水面から海底までの水深測量から構成され、各々は測量結果に要求される精度によって方法が異なる。また、その精度は、位置測量と水深測量のうち精度の悪い方に支配される。したがって、両者の精度バランスを考えることが重要となる。

a）測深の基準面

音響測深機またはレッドで測定した水深は、測深時の水位を基準として記録される。測深時の水位は潮汐、波浪によって絶えず変動するから、絶対的な基準面を基準とする値に補正する必要がある。基本水準面が設定されている水域においては、基本水準面を水深の基準面とする。測量予定区域の基本水準面が明らかでない場合は、潮位を観測し、調和分解によって基本水準面を設定する。基本水準面を水深の基準として用いる場合には、海上保安庁が公表した最新の資料を用いることを原則とする。

b）測深方法および測深機器

主な測深方法としてはレッドによる方法と音響測深機による方法に大別される。その他、測深ポールを利用する方法もある。測深方法を選定する条件は、測深面積、測点数、計測深度と精度、機械器具の調達条件等である。

音響測深機は、超音波発生装置、受信装置、記録装置および動力源から成る。海水温や塩分濃度が標準値と異なると、超音波の速度が変化し、誤差の原因となるので補正が必要となる。

レッドを用いた測量では、ロープの先端に取り付けたレッド（重錘4～8kgf）を吊り下げて海底に着地させ、そのときのロープの長さより水深を測定する。したがって、潮流流速の大きな所ではレッドが流されたり、あるいはロープがたわむ等の原因で誤差が大きくなり得ることに注意を要する。

3．4．2　土質

土質は、施工法や機械能力の検討、工程計画の作成等の基礎資料として無くてはならないものである。施工に関して必要な土質資料は、土質の種類や成層状況を知るための土質柱状図、地盤の固さを知るためのN値等である。施工地域の土質は通常設計図書に示されるが、示された区域外の土質条件が知りたい場合や、既存の土質資料が不十分と考えられる場合には、土質調査を別途実施する必要がある。

土質を判断するために必要な資料の採取方法や分析試験の方法は、施工方法、目的によって異なる。したがって、調査を必要とする工種、調査方法に応じて工事内容に適した調査を行うべきである。また、調査結果は建設地点の土質の代表値となるため、調査位置の選定にも十分に配慮する必要がある。

3．5　施工環境条件の調査

3．5．1　一般

ここでいう施工環境条件とは、作業基地、陸上製作ヤード、避泊地・着岸設備、周辺施設等の立地条件、漁業への影響、水質等の環境条件、危険物の有無等である。これらの調査に当っては、現地踏査により周辺施設の状況を把握し、関係する諸官庁、漁業組合、地元団体等へ出向いて十分な調査を行い、工事中に周辺環境へ悪影響を及ぼさないようにしなければならない。

3．5．2　作業基地、陸上製作ヤード

工事には作業基地が必要である。作業基地の機能が不十分であると、施工中の作業能率の低下や作業員のストレスの要因となることもあるので、十分な調査の上で作業基地の計画を作成する必要がある。また、作業基地には倉庫、材料置場の機能や、居住性が必要とされる場合が多い。このため、作業基地の仮設に際しては、飲料水および生活用水の確保は必要不可欠であり、水道の取水位置や容量等を調査する必要がある。現場で必要とする水量が多い場合には在来の利用者の利便を阻害することもあるから、そのような場合には、水道管理者との協議が必要である。また、状況によっては井戸の新設が必要である。

陸上製作ヤードは資材の仮置場、コンクリートプラント、ブロック製作・仮置場等からなり、施工に欠かすことのできない施設である。したがって、その仮設に当っては、十分な面積を有するとともに搬入・搬出が効率的な場所を探す必要がある。一般には、着岸施設と隣接することが望ましい。陸上製作ヤードまでの道路状況については、搬入する資材、機械の形状寸法を考慮して検討する。特に交通規制を必要としたり、運送時間を制限される場合には、海上輸送による方法も検討する。また、電力を外部から得る場合には、電力を使用する時期や電力利用のための手続きについて調査する。工事用水の排水は、濁水処理が必要となる場合もあるので、施工計画時に検討しなければならない。

作業基地および陸上製作ヤードの仮設においては、まず施工に必要な機械、資材の置場や事務所、倉庫、宿舎などの建物に必要な用地を確保する。用地には、公共用地を利用できる場合、民有地を借用する場合などがあるが、利用目的の制限を受ける場合もあるので都市計画上の地域指定や付近の土地利用状況を十分に調査した上で決定すべきである。また、建設工事のための作業基地は、地域の生活環境を乱すと受け取られる例もあるので、作業基地周辺の地域住民との相互理解が得られるように配慮することが重要である。

3．5．3　避泊地、着岸施設

海上への資機材の搬出、作業員の往来、荒天時の作業船の待避等のために、避泊地および着岸施設を計画しなければならない。避泊地は、錨鎖や錨索を伸出できるように陸岸の広さ、障害物、水深等に注意するとともに、外海の波浪が遮られる箇所に設ける必要がある。一般には工事海域近隣の港湾の中で、十分な余裕を持つ港が選定される。また、事前に海上保安部、漁業組合、付近の作業所等と調整を行っておく。

着岸施設は、荷役作業の規模、能力、作業時間等と密接に関係するので、泊地および接岸進入路の広さ、海面の静穏度、クレーンの設置計画等を考慮して計画する必要がある。

3．5．4　周辺施設

施工の障害となる施設、あるいは施工により影響を与える施設（海底ケーブル、ブイ等）がある場合には、その取り扱いについて施設の管理者等と協議する必要がある。埋設物などは、防護、移設、一次撤去等につ

いて協議する。また、空港付近では、航空法により作業船の高さの制限を受けることがある。

3．5．5　漁業関係

漁業に及ぼす種々の影響に関しては、計画の段階で漁業補償等の合意が図られるが、施工に伴う水質の変化や海上交通の制限などにおいて問題が生ずることがあるので注意を要する。海域の漁業施設には魚礁、定置網、いけす等が、海浜では漁網の干場修理場等がある。これらの施設の設置期間、漁期は一定していないことが多いので、施工に当っては同じ海面を利用する立場からこれらの設置状況をよく把握しておかなければならない。

3．5．6　底質、水質

工事に伴って発生する水底土砂を処分する場合、「海洋汚染および海上災害の防止に関する法律」（昭和45年法律第136号）に規定される有害水底土砂、または「底質の暫定除去基準」（昭和50年10月28日、環境庁水質保全局）を越える底質に該当すれば、法規上の制約が課せられる。そのため、海上工事で水底の土砂を処分するときは、これらの法律、基準に該当するかを、事前に調査しなければならない。

有害水底土砂または暫定除去基準値を越える底質を処分するときは「底質の処理・処分等に関する暫定指針」（昭和49年5月30日、環境庁水質保全局）によって水質の調査が必要になる。その他の普通の底質を処分する場合でも、工事の性質、周辺の環境により、適宜必要な項目について水質の調査を行う。測定方法は「水質汚濁に係る環境基準について」（昭和46年環告第59号）に定める方法によるものとする。

3．5．7　危険物

機雷や爆弾類が埋没している可能性を残す海域では、海上工事に際して爆発等による事故を未然に防止するために、工事着手前に探査工を行う必要がある。探査工は、磁気探査、潜水探査および確認探査から成る。磁気探査によって異常磁気反応を検出した場合には、潜水探査でさらに入念に探査し、磁気反応の対象物体を取り除いて再度確認のために磁気探査（確認探査）を行う。

(1)　磁気探査

磁気探査には、埋没鉄類の強磁性を利用する方法が取られている。磁気探査の主要機器はセンサー（磁気探査装置）のほかセンサーと海底面の距離を測るための音響測深機、センサーの位置を測定するための位置測定装置から成る。

(2)　潜水探査

潜水探査は、磁気探査の結果検出された異常地点を中心に、一定の範囲について潜水士によって異常物体を探査することをいう。あらかじめ設定した浮標や見通し竹を中心にして、所定の範囲をポータブル簡易探査計、または真ちゅう製の突棒を用いて調べる。

3．5．8　土捨場、土取場

施工に必要な土砂、あるいは施工によって生じる残土の処理場を確保するために、事前に土捨場、土取場を決定しておく必要がある。土捨場、土取場の決定に際しては、工事の効率、周辺への影響を十分に考慮する必要がある。（本編「3．5．6　底質、水質」参照）。

第4章　工程計画

海域制御構造物の施工においては、気象、海象条件等を十分に検討することにより算定した工種ごとの稼働可能日数、稼働率をもとに工程計画を決める必要がある。

〔解　説〕

4.1　概要

海上作業は、陸上作業に比べて一般に作業条件が不確定である。したがって、海域制御構造物の施工に際しては、気象、海象条件について検討した上で工種ごとの稼働可能日数、稼働率等を算定しなければならない。稼働可能日数とは、休日および作業船の定期・臨時修理等による非稼働日と、気象・海象などの自然現象による稼働不可能日数を暦日による日数から差し引いたものである。稼働不可能日数を算定する際に考慮すべき主な事項は以下のとおりである。

①波浪（波高、周期、波向）　②風速、風向（卓越風向）
③潮位、潮流　④降雨、降雪、霧
⑤気温、湿度、結氷　⑥日出、日没時刻
⑦河川の水位・流量

事前調査によりこれらの条件を十分に把握するとともに、付近の工事実績等も参考にして稼働不可能日数を算定する。参考として、海上作業の工種別にみた波高、風速、潮流および降雨量に対する稼働限界条件の例を表－4.1に示す。

4.2　稼働率

稼働可能日数の暦日日数に対する割合を稼働率と呼ぶ。工種ごとの稼働率を算定するには、まず波高、潮流流速、風向、風速、降雨量等の各要因ごとに稼働不可能日数を求め、要因iの不稼働率X_iを算定する。次に、波浪による不稼働率が独立して発生する確立$1/N_{II}$を1として、要因iの不稼働率が独立して発生する確立$1/N_i$を全要因について求める。最後に、次式により工種ごとの稼働率yを算定する（表－4.2参照）。

$$y = 1 - \left\{X_H + X_W \times \frac{1}{N_W} + X_R \times \frac{1}{N_R} + \cdots\right\} \qquad (4.1)$$

ここに、要因に関する添え字は、H：波高、W：風、R：降雨……を表わす。以上の方法が一般的であるが、気象・海象のデータが十分でないときは、過去の工事実績より適切な稼働率を決めることもできる。

作業の中には稼働できる静穏日が数日間継続しないと施工できない工種もある。例えば、ケーソンを曳航・据付する場合には、曳航・据付から中詰め作業と蓋コンクリートの養生日程を考慮すると、作業可能日が連続して3～4日必要である。したがって、連続作業が可能な波高の出現率は過去の実績や最新の気象情報をもとに、作業工程と合わせて算定する必要がある。

表－４．１　気象・海象条件の作業限界値の例（海洋土木大辞典編集委員会，1973）

気象・海象条件		有義波高$H_{1/3}$(m)										平均風速(m/sec)							最大潮流速(kt)					日降雨量(mm/日)						
区分	提案者 / 工程	1	2	3	4	5	6	7	注1) 8	9	平均値	1	2	3	4	5	6	平均値	1	2	3	4	平均値	1	2	3	4	5	注2) 6	平均値
航行運搬	注3) 自航	0.6	0.6	0.6				1.1 | 2.3	1.2 | 2.2		1.0		15	15				15			2		2							
	注4) 曳航	0.4 | 1.0	0.6	0.3 | 1.0		0.7	0.4 | 0.5		0.45 | 0.9		0.6	8 | 15	8 | 15	5 | 10		10	10	10	3		2		2.5	10	10	5 | 10				9
浚渫	ポンプ浚渫			0.8		0.6	0.3 | 0.5		0.5 | 0.7	0.5 | 0.7	0.6			15		10	5 | 10	11			2		2				10			10
	グラブ浚渫	0.6	0.6	0.6	0.5	0.7	0.3 | 0.4		0.5 | 0.7	0.5 | 0.7	0.6	15	15	10	10	10	5 | 10	11	2	2	2		2			5	10	10		10
各種作業	投錨・揚錨	0.6		0.4							0.5	10		10				10	2		2		2	10		2				8
	沈設	0.3		0.3			0.6		0.45 | 0.6		0.4	5	5	5			10	6	2		0.5		1	2		2				2
	吊り作業	0.4 | 1.0		0.3	0.5	0.4	0.4		0.45 | 0.9	0.4 | 0.5	0.5	8	8	5	5	8	10	7	1		0.5	1	1	2		1	10	3		5
	杭打ち	0.3		0.3	0.4	0.4 | 0.6	0.4			0.4 | 0.5	0.4	8	8	8	10	9	5	8	1		1		1	5		10	2	3	10	4
	中詰・捨石・裏込			0.6 | 0.8	1.0	0.5	0.4	0.6 | 0.9		0.9 | 1.3	0.7			10	10	10	10	10			2		2			5	10			10
	ｺﾝｸﾘｰﾄ打設			0.5	0.4	0.6	0.3			0.7 | 1.0	0.5			10	10	8		9			2		2			5	10	3	3	5
	潜水・張石・均し	0.6	0.6	0.3 | 0.5	0.5		0.3				0.5		10	5	10		5 | 10	8	1	1	1.0 | 1.5	1	1			10	10			10
SEP	ＳＥＰ上作業	1.0 | 2.5	1.0 | 2.5	0.6		1.0					1.3	10 | 15	10 | 15	12		10		12			2		2		1 | 10	10		10		9
	ＳＥＰ移設			0.6		0.4					0.5			10		10		10			1		1			10		3		7

提案者
1．土木工業会、本州四国連絡橋施工計画における提案、3ルート全般、昭和46年
2．〃　〃　〃　、明石海峡、昭和47年
3．〃　〃　〃　、備讃瀬戸、昭和48年
4．〃　〃　〃　、明石海峡、昭和49年
5．日本建設機械化協会、東京湾横断道路工程計画分科会、昭和49年
6．井上
7．運輸省第二港湾建設局
8．Glenn
9．鹿島港における海上工事作業基準

注1）Glennの提案はH_{max}で示されているので0.5倍して$H_{1/3}$とした。
注2）井上の提案は時間当り降雨量で示されているが、そのまま日当り降雨量と考えた。
注3）自航とは通船や測量船等の航行、自航運搬船等による運搬をいう。
注4）曳航とは非航作業船を曳航または押船によって運搬することをいう。

表－4．2　稼働率算定手順

要因	稼働率	不稼働率	各不稼働率が独立して発生する確率	独立して発生する不稼働率
波(H)	y_H	$x_H = 1 - y_H$	1	x_H
風(W)	y_W	$x_W = 1 - y_W$	$1/N_W$	$x_W \times 1/N_W$
雨(R)	y_R	$x_R = 1 - y_R$	$1/N_R$	$x_R \times 1/N_R$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

4．3　工程計画

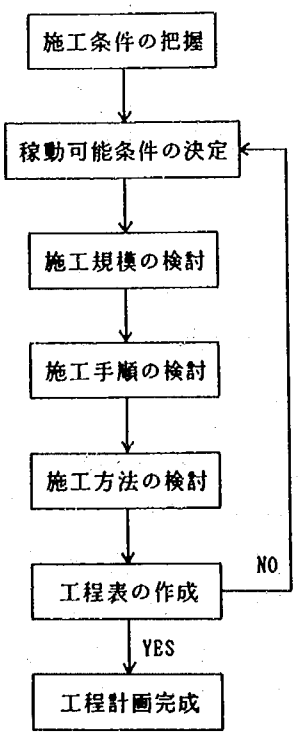
(1)　一般

工程計画は、施工の実施段階を時系列で表示するものであり、施工計画の集約であるとともに、施工実施時の進捗状況の確認にも利用される。施工は一般に多くの工種から成るので、工程計画を作成する際には各種工種の施工順序や、工種別の作業量を決定する必要がある。施工順序を決定する場合には、各種作業の相互関連、海象・気象等の自然条件、作業船、資機材、作業員の確保等を考慮する必要がある。工種別の作業量は、作業用船舶・機械の能力および作業性を考慮し、各工種の作業所要時間を実績等より求めて時系列化して決定される。このとき、作業時間が制限される工種、あるいは連続して実施しなければならない工種があるので注意を要する。一般的な工程計画の作成フローを図－4．1に示す。

(2)　工程表

作成された工程計画を暦日に図表化したのが工程表である。工程表は施工計画の予定を示す役割のみではなく、工事の進捗状況を確認するためにも用いられるものであり、次の条件を満たしている必要がある。

① 施工の順序が明記されていること。
② 施工に必要な期間が把握できること。
③ 施工の進捗状況の確認に用いることができること。
④ 重点的に管理すべき工程が明示されていること。



図－4．1　工程計画の決定フロー

第5章　安全管理

海域制御構造物の施工に際しては、陸上および海上での作業が安全かつ円滑に実施されるよう、適切な安全管理を計画、実施しなければならない。

5．1　概説

海上工事では様々な自然現象によって施工の制約を受ける。したがって、作業が困難となることも多いので、安全管理を十分に検討して、工事の安全かつ円滑な実施を図る必要がある。また、施工の安全管理は種々の建設工事に係わる法規の制約を受ける。陸上工事および海上工事を含めて、安全管理に適用される主な法規等を表－5．1に示す。安全管理を計画する場合には、これらの法規に従うとともに、現場の状況を十分に把握して、事故等が生じないように配慮しなければならない。

表－5．1　安全管理に関する主要法規

内　容	法　　規
施工全般	労働基準法、労働安全衛生法、クレーン等安全規則　等
海岸関係	海岸法、港湾法、公有水面埋立法、河川法　等
船舶関係	船舶法、船舶安全法、船員法、海上衝突予防法、海上交通安全法　等
危険物関係	危険物の規則に関する政令・規則、消防法　等
公害関係	海洋汚染および海上災害の防止に関する法律、水質汚濁防止法、水産資源保護法、廃棄物の処理および清掃に関する法律　等

5．2　安全管理の基本

5．2．1　基本事項

(1)　原則

安全に施工を進めるための基本は、海上工事の特異性を理解して、諸作業を効率的に進めることにある。そのために、着工に先立ち現場を綿密に調査するとともに、確実な施工計画を立案する必要がある。さらに、施工においては、海上作業独自の危険性を認識して安全管理を実施するとともに、作業者に安全の基本的事項を忠実に実行させ、工事全般の安全を確保する。また、自然状況の変化等に対しては、臨機応変に迅速かつ的確な措置をとるものとする。

(2)　調査・準備・施工および応急措置の基本要領

a）　工事開始に先立って、現地海岸の気象・海象・地形・航路の状況・水深・土質条件等を十分に調査検討して施工計画を決定する。これが安全管理の前提条件である。

b）　施工計画の作成に伴い、作業基地の計画、設備・船舶・機械器具の配置、施工方法、工程等を検討

し、これらに基づいて作業手順・所要人員・資材等の計画を作成する。

c）作業は、統一的な指揮系統の下に責任者の指示によって安全・確実・迅速に行う。

d）天候の急変等の突発的な変化に対して、責任者は予想し得る全ての緊急事態に対応できるように安全対策を講じておく。また、気象、海象の状況を常に把握して無理のないよう作業を進める。予想外の状況の変化に対しては、直ちに関係者に報告し、迅速・的確な措置を講ずる。

e）作業船の安全運航に万全を期するとともに、周辺海域における一般航行船舶等の安全確保にも十分配慮する。さらに、現場海域の環境の保全にも配慮する。

5．2．2　安全確保

(1)　工事海域の設定・表示

工事海域は、関係官庁等の許可・届出の際、指示設定を受けるものであり、灯浮標等により表示しなければならない。

(2)　航行船舶の安全確保

工事海域内の作業船、通船等に対する安全を確保する。

(3)　泊地の安全確保

工事海域の泊地（錨地および係留地）計画を作成し、泊地での作業の事故防止に務める。

(4)　係留船の安全確保

係留索、防弦材等を確実に機能させ、係留船の安全性を確保する。

(5)　作業基地、陸上製作ヤードの安全確保

作業基地、陸上製作ヤード内での作業、資材運搬、および周辺交通、周辺住民に対する安全を確保する。

(6)　気象、海象状況の監視

施工中には、海象状況を常に監視して作業条件を確認するとともに、気象・海象状況の急激な変化に備える必要がある。海上工事の場合には、特に波浪の変化に注意する必要がある。波浪観測手法は種々あるが、量水標等を利用した目視観測は様々な状況下で実施できるので便利である。この方法は、入射波を容易に見通すことのできる高い位置にトランシットを設置して、波の峰および谷の高さを量水標等の目盛りより直接読み取り波高を算出するものである。この場合、微小な波は無視して測定する。ただし、海面上の測定位置高さをZ、測定対象の海面までの水平距離をXとすれば、$X/Z \geqq 20$では一般に観測は困難となる。

5．2．3　警戒・警備

(1)　警戒船

下記事項のいずれかに該当する場合には、警戒船を配備する。

①　告示または公示による交通制限を伴う工事

②　航路、航路周辺海域等の船舶交通が特に輻輳する海域で行われる工事

③　爆破作業、潜水作業等危険度の高い工事

警戒船は、作業の実施海域付近において主として次の業務を行う。

①　工事作業および航行制限の内容に関する情報を通航船舶等へ提供する。

②　工事作業の実施海域に異常接近する船舶等に対して注意を喚起する。

③ 工事作業の実施海域内の関連施設および工事作業に従事する船舶に異常接近する船舶等の監視を行うとともに、関係者への通報を行う。

④ 工事作業の区域を示す標識その他の関連施設の異常の有無を監視するとともに、関係者に通報する。

⑤ 工事作業の実施に伴って発生した海上交通の安全を阻害する事故に対し、人命の安全の確保および被害拡大防止のための必要な措置を行う。

警戒船の配備隻数は、工事実施海域に異常接近した船舶が回避限界線に到達するまでに注意を喚起することが可能であるように決定する。

(2) 陸上の警備

作業基地、陸上製作ヤード内での作業、資材の運搬等においては、作業員、周辺交通、周辺住民の安全を確保するために警備員を配置することが必要である。

(3) 警戒業務管理

警戒業務を適切に実施するため、警戒業務管理者等を選任し、管理体制を整備する。

5.2.4 運行管理

施工においては、使用作業船、工事海域の状況等を考慮し、必要に応じて運行管理体制、警備、警戒、泊地、避泊地の安全確保、作業限界の指示、標示灯・航路標識の維持管理、通信連絡、緊急措置および救難体制等に関する運行管理規定を制定する。運行管理の業務内容は以下のとおりである。

① 配船計画の作成

② 運行の制限、中止または変更の判断

③ 基地と作業船、作業船相互の通信手段、警戒船の警報装置等の通信系の確保

④ 各種作業の安全性の確保

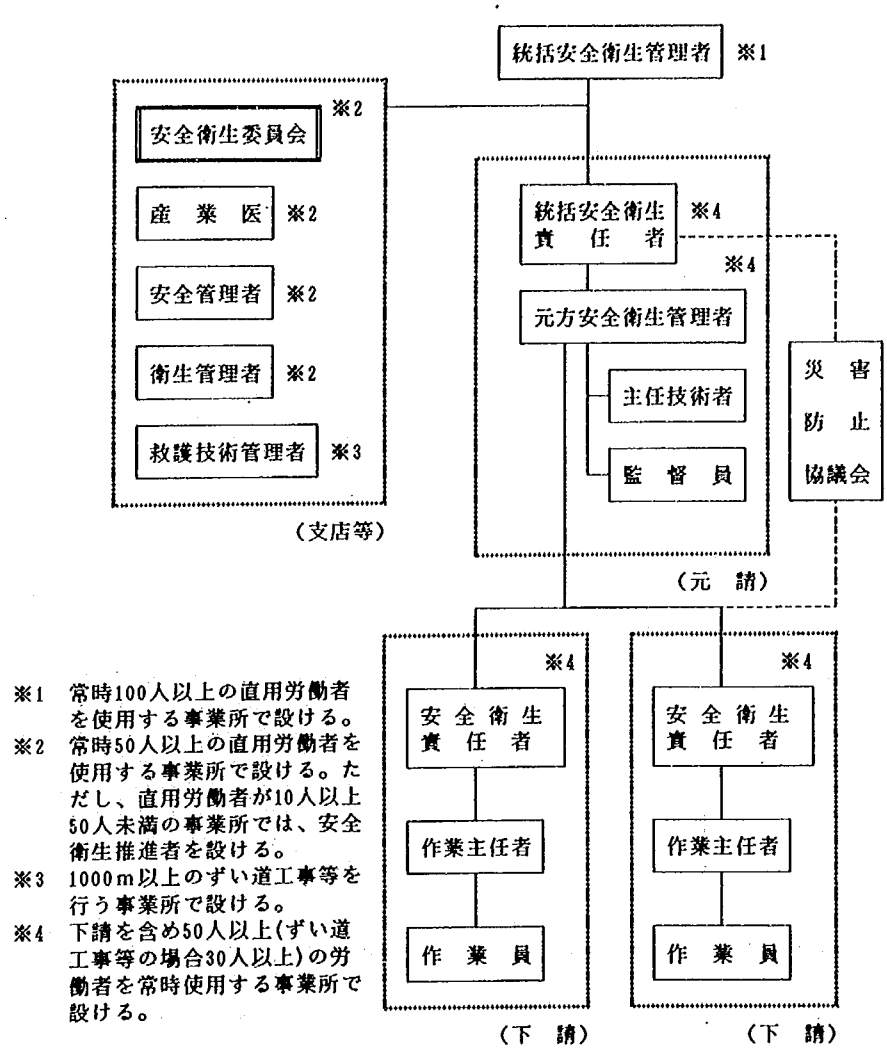
⑤ 船舶の定期的な点検

⑥ 作業員の教育および訓練

5.3 安全管理組織の設置・運営

労働安全衛生法に基づき所定の安全管理の責任者等を選任し、安全衛生管理組織を設置する。「海洋工事安全施工要領」（日本土木工業協会ほか、1987）には安全衛生管理組織が図－5.1のように示されている。特に、海上工事は多種の作業船等を使用するので多数の業者を必要とする。したがって、工種、作業員とも種々混在することから、安全衛生管理組織はその運営に当り、最適な施工指揮系統を明示するとともに、安全衛生管理組織を弾力的に運営して工事の安全を図る必要がある。

安全衛生管理組織は、①安全衛生管理活動の実施（災害防止協議会の開催、安全計画の作成、安全巡視の励行、定期的な安全点検、安全指示書等の準備、安全・公害防止等の教育）、②現場巡視、③安全衛生管理機関との連絡・協調、④安全衛生教育および訓練、に務めなければならない。



図－5．1　安全衛生管理組織

5．4　災害事故防止対策

災害事故対策は、労働災害防止対策、火災・爆発防止対策、海難防止対策、公害防止対策、公衆災害防止対策等から成る。施工に際しては、災害事故を未然に防ぐように万全の対策を図るとともに、万一の事態に備え保険の準備にも配慮する必要がある。各災害事故防止対策の内容の一例を表－5．2に示す。

5．5　緊急措置

(1)　原則

緊急措置の原則はまず人命救護であり、第二には適切な初期活動による被害の拡大防止、第三には連絡報告を確実迅速に行い応援手配を要請することである。緊急事態が発生した場合には、早急に各部の責任者・要員を動員し、事故の状況・推移を把握して、事故現場・作業施設・使用船舶に指示連絡を行う。また、

表－5．2　災害事故防止対策の内容

災害項目	対策項目	留意事項
労働災害防止対策	・墜落・落下等の防止 ・酸素欠乏防止 ・作業員の健康管理	・労働安全衛生法等の遵守。 ・作業環境の管理、救命胴衣等の着用を確認する。 ・定期健康診断を実施する。
火災・爆発防止対策	・火気の使用管理 ・爆発物の管理 ・接触発火、自然発火の危険がある物質の管理 ・消火器等の配備・表示 ・防火に関する教育訓練	・法定資格のある防火管理者を選任し、事前に消防計画を作成して訓練、設備の点検・整備を行う。 ・危険のある火元には火元責任者を指名する。
海難防止対策	・作業船の整備・点検 ・運転標準に基づく適正な操船 ・乗組員、作業員の教育・訓練 ・警戒船、標識の配備 ・積載荷重の管理 ・気象・海象の監視	・作業条件を常時確認する。
公害防止対策	・公害防止関連法令の遵守 ・公害防止管理体制の確立 ・公害関連工種の抽出、管理	・水質汚濁防止、廃棄物処理、騒音規制、振動規制、水産資源の保護等に関する法令・条例等を確認、遵守する。 ・公害発生の恐れのある工種を抽出し、法令等に照合した検査基準に基づき管理する。
公衆災害防止対策	・資機材搬出入に伴う交通災害の防止 ・第三者の立入防止対策	・道路交通法等の教育・指導を行う。 ・作業区域を明示する。

同時に関係機関に報告するなどの措置をとる。

緊急事態の発生に際しては、災害の再発・拡大防止を図るために事態に応じて必要な決定および指令を行う救難組織を設定する。組織には救難、通報連絡、作業船等の通行管理、外部との渉外・広報等の各責任者および要員を定める。

(2)　即応体制の整備

各作業現場、各作業船等ごとに責任者（船舶にあっては船長）を指名し、予想される事故に即応できる非常配置と活動任務を事故内容別に作成する。また、その非常配置表を掲示する。さらに、それぞれの災害事故を想定して非常配置表による教育訓練を定期的に実施する。

工事事務所、運行管理室、夜間当直室には通報連絡先一覧表を掲示しておく。通報連絡先一覧表の中から選定してそれぞれの各事故別ごとに緊急時連絡先系統図を作成する。

(3) 事故発生時の報告

事故発生時には作業責任者は応急措置を実施するとともに、速やかに工事責任者および関係部署へ事故発生とその内容を報告する。また、海難、労働災害等の事故が発生した場合には、それぞれの関係官庁に対し、定められた期間内に事故報告書を提出する。

第6章　関連法規

海域制御構造物の施工においては、施工に関連する法規を遵守しなければならない。特に、構造物の設置海域、工種等により関連する法規が異なることに注意する必要がある。

〔解　説〕

6．1　概説

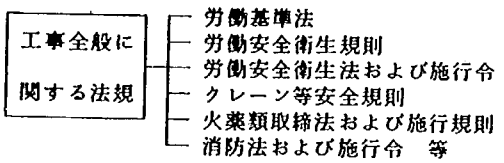
海域制御構造物の施工は海上工事のみならず陸上工事をも含むことから、施工関連法規は下記の3項目に分類することができる。

① 工事全般に関する法規

② 海上工事に関する法規

③ 陸上工事に関する法規

本章では、主要関連法規の概要を示すとともに、工事に際しての許認可申請の手続きをとりまとめる。



図－6．1　工事全般に関する主要法規

(1) 工事全般に関する法規

工事全般に関する法規は、「土木工事共通仕様書」（建設省各地方建設局）等に示される各工種に共通した関連法規である（図－6．1参照）。

(2) 海上工事に関する法規

海上工事に関する関連法規は、水域全般に適用される法規と水域ごとに適用される法規に分類される。さらに、前者は環境保全と海上交通に関する法規に分類される。これらの分類を図－6．2に示す。

(3) 陸上工事に関する法規

陸上工事に関する関連法規を分類すると図－6．3となる。なお、ここでいう陸上工事とは、捨石、中詰め砂の採取から臨海部でのケーソン、ブロック等の製作までを含む。

6．2　主要法規の概要

海域制御構造物の施工では特に海上工事が主体となることから、海上工事に関する主要規則の概要を以下に示す。

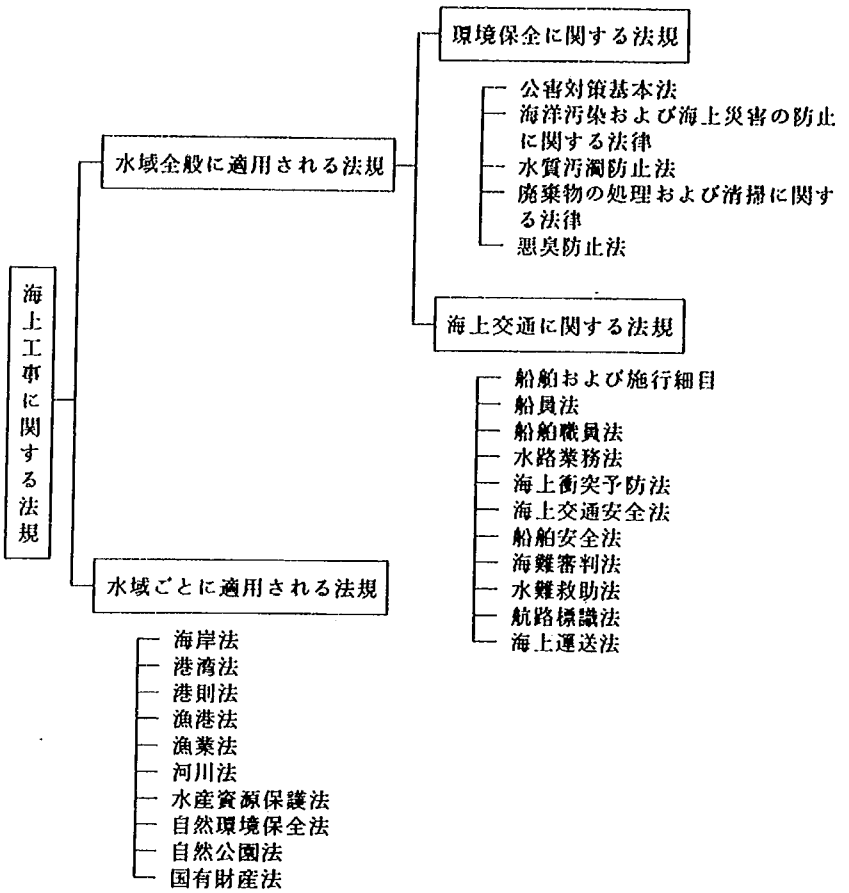
6．2．1　水域全般に関する法規のうち環境保全関連法規

(1) 公害対策基本法

公害防止のため事業者、国および地方公共団体の公害防止に関する責務を明らかにし、公害防止に関する施策の基本を定める。公害とは事業活動によって生ずる大気汚染、水質汚濁、土壌汚染、騒音、振動、悪臭など人間の生活環境に係わる被害を生ずるものをいい、この法律に基づいて大気汚染、水質汚濁、騒音に係わる環境基準が定められている。

(2) 海洋汚染および海上災害の防止に関する法律

船舶、海洋施設から油および廃棄物を排出したり焼却することを規制する。これにより海洋の汚染および



図－6．2　海上工事に関する主要法規

海上災害の発生、拡大を防止し、船舶航行の危険防止を講ずることにより、海洋環境の保全ならびに国民の生命、財産の保護を目的とする。

(3)　水質汚濁防止法

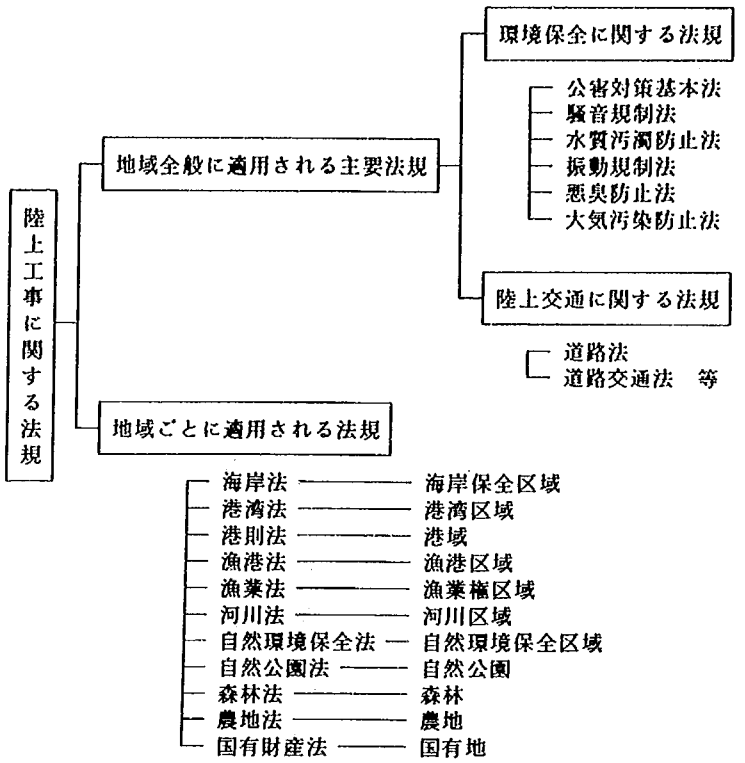
特定施設を設置する工場および事業所から公共用水域に排出される排水の水質を規制する。

(4)　廃棄物の処理および清掃に関する法律

廃棄物を産業廃棄物と一般廃棄物に区分し、その処理体系を整備する。産業廃棄物の処理は事業者の責任とされ、その収集、運搬、処分に関する基準が定められている。

(5)　悪臭防止法

工場、事業所において発生する悪臭（アンモニア、酸化水素など）の排出を規制し、生活環境を保全することを目的とする。



図－6．3　陸上工事に関する主要法規

6．2．2　水域全般に関する法規のうち海上交通関連法規

(1)　船舶法および施工細目

日本船舶の範囲、名称変更の許可制、修繕等による積載量の変更の申請に関して法規する。

(2)　船員法

船員の労働時間、安全および衛生、修業規制等の労働条件を法規する。

(3)　船舶職員法

船舶に乗り組む船員の資格を規定し、船舶航行の安全を図ることを目的とする。

(4)　海上衝突予防法

船舶の衝突を予防し、船舶交通の安全を図ることを目的としており、海洋と海洋に接続する航行水域の水上にある船舶および水上航空機に対し適用される。

(5)　海上交通安全法

船舶交通が輻輳する海域内の交通方法を定め、危険を防止するための規制を行い、船舶交通の安全を図ることを目的とする。巨大船、巨大物件曳航船などを航行させる場合には、航行予定時刻その他運輸省令で定める事項を海上保安庁長官に通知し、また、航路および航路周辺で工事等を行う場合には、海上保安庁長官の許可を受けなければならない。

(6) 航路標識法

航路標識を整備し、船舶交通の安全を確保することを目的とする。

6．2．3 水域ごとに適用される法規

(1) 海岸法

各種の災害から海岸を保全することを目的とし、海岸保全区域内で海岸管理者以外の者が、土砂の採取、掘削および盛土等を含め、工作物の建設、海岸保全施設に関する工事等を行う場合の手続きを定める。

(2) 港湾法

港湾の秩序ある整備と適正な運営を図るとともに航路を開発し保全することを目的とし、港湾区域内において工事等を行う場合の手続きを定める。

(3) 港則法

港内における船舶交通の安全および港内の整頓を図ることを目的としており、危険物積載船や水路の保全のための禁止・許可規定を定める。また、港内における工事等の許可規定を定める。

(4) 漁港法

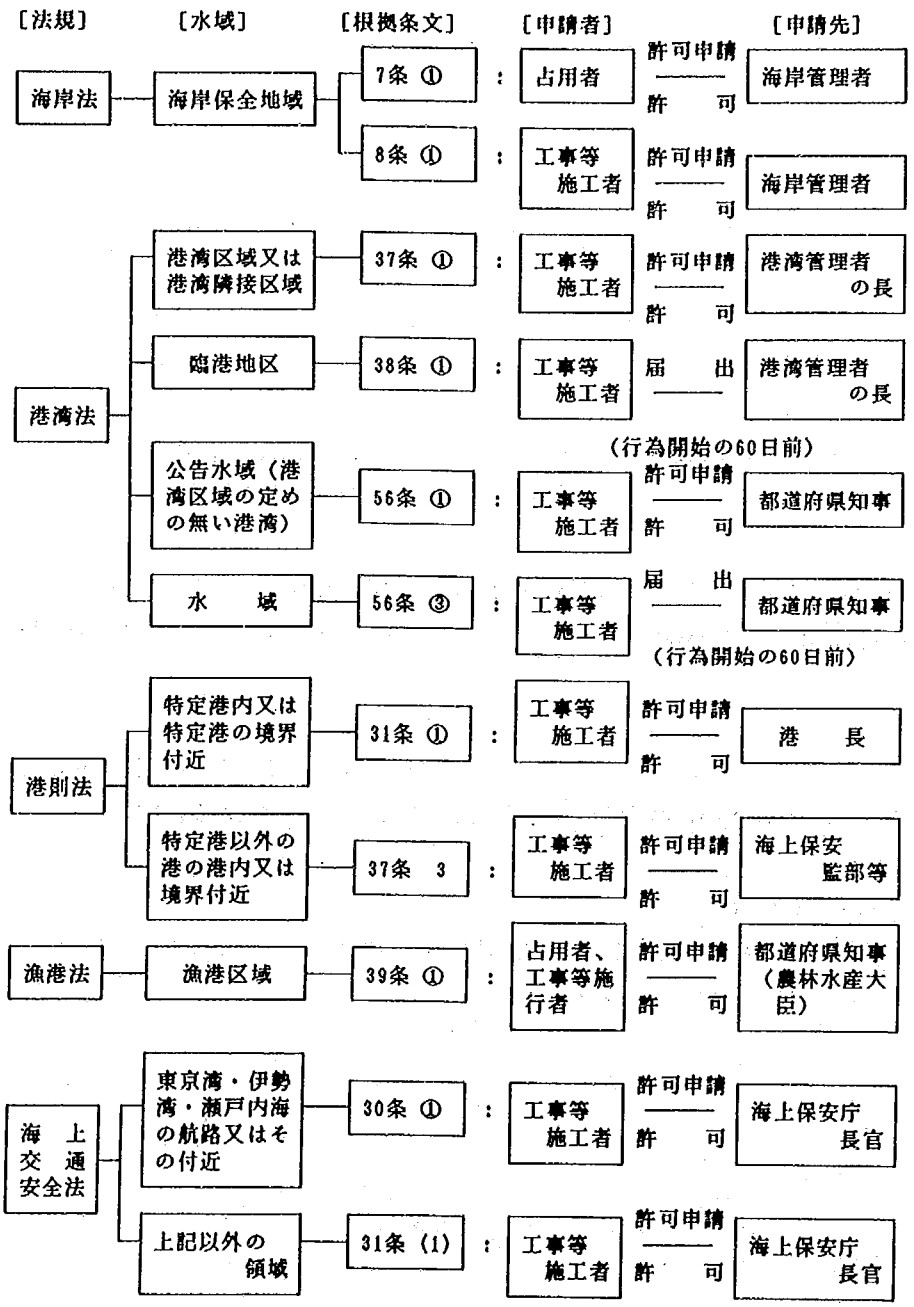
水産業の発展を図るために、漁港を整備しその維持管理を適正に行うことを目的としており、漁港区域内の水域または公共空地で、工作物の建設、改良および土砂の採取等を行う場合の水面および土地の占用に係わる手続きを定める。

(5) 河川法

河口部では河川法が適用される。河川法は河川を適正に管理することを目的とし、流水占用、土地占用、土砂などの採取、掘削および工作物の建設等を行う場合の規制・手続きが定められている。

6．3 工事許可申請の手続き

海上工事等を行う場合の許可申請手続きは、関連法規の目的により多少の差はあるがほぼ同一である。主要法規に基づく工事許可申請手続きの方法を図－6．4に示す。



図－6.4　主要法規に基づく工事許認可申請手続き

第7章　品質・出来形管理

海域制御構造物が計画された機能性、安全性、耐久性を確保できるよう、施工に際しては資材の品質および施工された構造物の出来形を管理しなければならない。

〔解　説〕

構造物の各部材や接合部が所定の強度を得るには、施工が確実に行われる必要がある。このためには、コンクリート、鋼材等の品質の管理、据付、取り付け溶接等の作業の管理を十分に行う必要がある。また、構造物が計画された機能、安定性を満足するためには、計画どおりの施工がなされる必要がある。そのためには、杭、ケーソン、基礎等の出来形を管理する必要がある。品質管理の主な項目を表－7．1に、出来形管理の主な項目を表－7．2に示す。品質・出来形管理は、「土木工事施工管理基準」（建設省各地方建設局）、「港湾工事品質・出来形管理基準」（日本港湾協会，1988）、「コンクリート標準示方書」（土木学会，1961）等に準じて実施することを原則とする。

表－7．1　品質管理の主な項目

品質管理の項目	管理内容、方法
コンクリート	配合、スランプ、空気量、強度、骨材粒度、温度
モルタル	フロー値、強度
鋼材	外観、寸法、強度
鉄筋	外観、寸法、強度
石材	形状、重量、硬度
ゴム材	外観、寸法、強度
溶接材	材質
溶接	強度、放射線透過試験、超音波探傷試験

表－7．2　出来形管理の主な項目

出来形管理の項目	管理方法
海底均し	潜水調査、測深
杭位置・傾き	測量
捨石均し	潜水調査、測深
部材寸法	計測
堤体寸法(ケーソン、ジャケット等)	計測
堤体据付(ケーソン、ジャケット等)	測量

第8章　施工方法、仮設計画の共通事項

本章は各型式の施工方法のうち共通事項である杭打ち工、捨石工および鉄筋コンクリート工の内容を示すとともに、仮設計画の一般事項を記述するものである。

8.1　杭打ち工

(1)　一般

杭打ち工は鋼管杭を海底面に打設するものであり、一般には次の項目について検討する必要がある。

①　杭打ち方式

杭打ち船、起重機船、ＳＥＰ、仮設桟橋等の選択を行う。

②　打ち込み工法

建設地点の自然条件、周辺環境に適した工法を選択する。

③　ハンマ

地盤条件、杭の特性に適したハンマを選定する。

④　杭の建込み

杭打ちの平面位置、鉛直精度およびその維持方法を決定する。

(2)　杭打ち方式の選定

海上での杭打ちには、一般に杭打ち船、あるいは起重機船を用いた方式が用いられる。また、建設地点の地形、土質、海象条件等によっては桟橋の仮設、あるいは仮埋め立てにより陸上での杭打ちと同様にして施工する場合もある。また、特に稼働率が悪い場合には、ＳＥＰ等の利用を検討する。

(3)　打ち込み工法の選定

杭の打ち込み工法を選定する場合には、建設地点の土質条件、杭径、騒音等を考慮して、適切な打ち込み工法を選定する。各工法の特徴を表－8.1に示す。

(4)　ハンマの選定

海上での杭打ちでは、杭打ち機械の交換が容易でないため、ハンマの選定を慎重に行う必要がある。ハンマの選定を誤ると打撃力不足により所定の深度までの打ち込みが困難になる場合や、過大な打撃力により杭に有害な変形を生じる場合がある。したがって、ハンマの選定に際しては、以下の条件を慎重に検討する。

①　杭の全長、外径、重量、根入れ長、打ち込み精度

②　海底地盤の条件（土質、Ｎ値）

③　打ち込み時の打撃力により生じる杭材の応力度

(5)　杭の建込み

杭を建込む場合、２方向からトランシットを用いた視準による位置決めおよび鉛直精度の確認を行う必要がある。打ち込み精度の管理は予め設定された許容値を満足するように行わなければならない。

表－8.1　杭の打ち込み工法の概要

工　法	概　　要	特　　徴
打撃工法	落錘の打撃エネルギーにより杭を地盤中に貫入させる工法である。	施工速度が速く、大きな支持力が確実に得られる。しかし、発生する騒音が大きい。
振動工法	杭に上下振動を加えて打ち込む工法である。	杭頭の損傷が少なく、比較的柔らかな地盤では短時間で打ち込める。打撃工法に比べて騒音は小さい。
圧入工法	杭を油圧ジャッキ等で静的に貫入させる工法である。	無騒音、無振動であり杭頭の損傷がない。硬質地盤では圧入装置が大きくなり、海上作業では不経済となり易い。他工法の補助工法としても利用される。
中掘工法	杭の中空部に挿入されたスクリューオーガ、バケットオーガ、リバースサーキュレーション等で杭先端の地盤を掘削し、杭頭部より排土しながら打設する工法である。	比較的施工速度が遅く、大型の機械設備が必要である。大口径杭の施工が可能であり、孔壁崩壊の心配もない。
併用工法	各々の工法の持つ特徴を組み合わせ有効な工法としたものである。例えば以下のような併用が考えられる。 ①ウォータージェットと振動（または打撃、圧入）工法の併用 振動、打撃または圧入工法で、打ち込みが困難な地盤にウォータージェットを併用すると打ち込みが容易となる。 ②中掘と打撃、圧入、または振動工法の併用 中掘工法により先端抵抗を少なくして打撃、圧入あるいは振動工法を行えば打ち込みが容易となる。	ウォータジェットを併用すると杭の打ち込みが容易となるが、大量に使用する水の排水処理が必要となる。

8.2　捨石工

(1)　一般

捨石工は、従来の混成堤マウンドの施工方法とほぼ同様と考えてよい。その作業は、捨石運搬、投入、均しからなる。捨石工の実施に先立ち、気象・海象条件、海底地形、土質条件、石材供給条件、捨石量、運搬距離、投入範囲、工期等を考慮し、工法や船舶の選定を行う。また、捨石工を実施するときは、洗掘、沈下、散乱が生じないように配慮する必要がある。

(2) 運搬

石材の運搬は、陸上運搬、仮置き、積み出し、海上運搬からなる。海上運搬の方法は、建設地点の海象条件、地盤条件、海底地形、運搬距離、捨石投入量等を考慮して、一般には以下から選択される。

① 台船＋引船

② ガット船

③ 全開式底開きバージ＋引船・押船

(3) 投入

捨石投入には一般に以下の方法がとられる。

① 台船上の捨石をクローラークレーンまたはタイヤショベルにより投入する。

② ガット船により投入する。

③ 全開式底開きバージにより直接投入する。

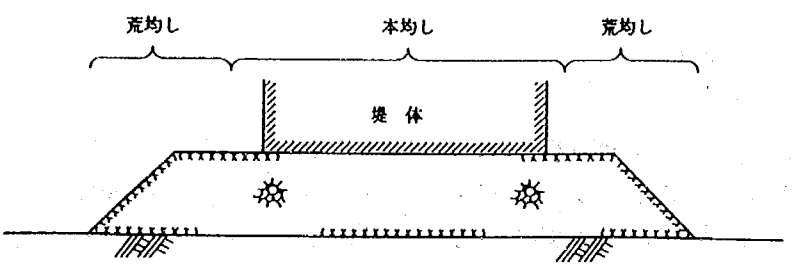
これらの方法の特徴を表－8．2に示す。 捨石の投入には、一般に投入区域（マウンドののり尻、のり肩等）をブイ等により明示しておく。

表－8．2 捨石投入方法の特徴

使用船舶	台船	ガット船	底開き式バージ
積載量	小	中	大
1回当り投入量	ショベルまたはクローラクレーンの能力	グラブの容量	積載量
波浪条件	静穏	比較的静穏	比較的静穏
必要水深	比較的小	比較的大	比較的大
適用条件	浅海での捨石工に用いられる。	中規模の捨石工あるいは大規模マウンドの仕上げ用の投入に用いられる。	大規模な捨石工の投入に用いられる。

(4) 均し

均しは、一般に荒均しと本均しとに分けられる。マウンドの場合、荒均しと本均しの区間は図－8．1のように区分される。荒均しは通常±30cm、本均しは±5cmの精度が要求される。



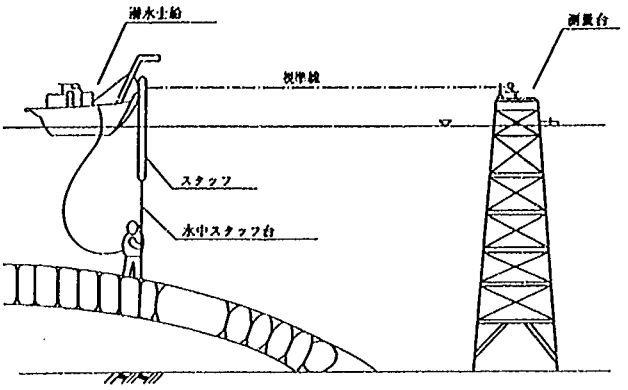
図－8．1 マウンド本均しと荒均しの範囲

① 荒均し

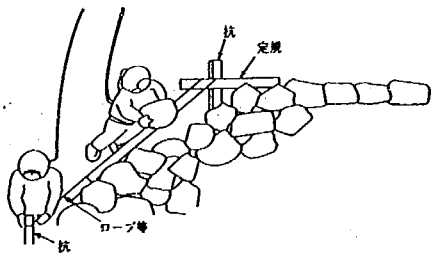
定規（丁張）を用いてロープ等を張り、ロープ等を目標として均す(図－8．2)。均し面積が大きい場合には、機械均しを行うこともある。

② 本均し

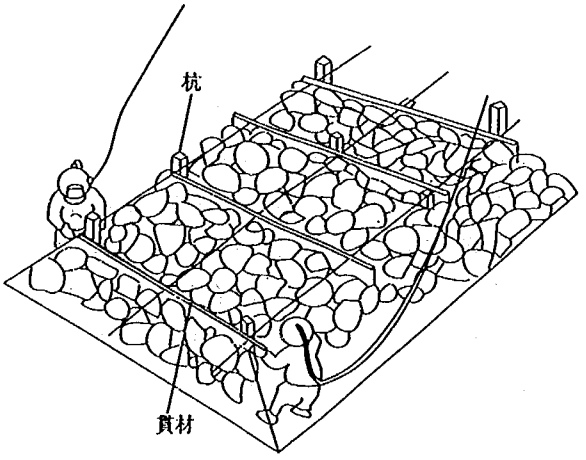
潜水士船により水中スタッフを用いて必要箇所を測定し（図－8．3 a））、貫材等を設置して定規を目標として均す（図－8．3 b））。

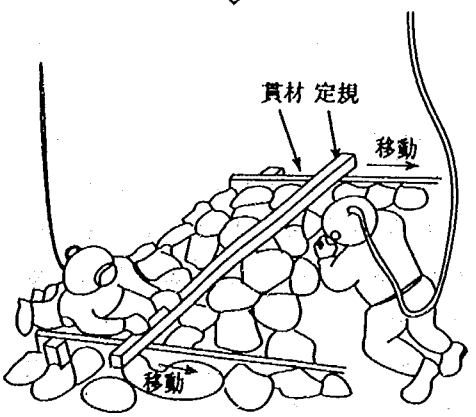


a） 本均し時の測深



図－8．2 荒均しの方法





b）本均しの方法

図－8．3 本均しの方法

8．3 鉄筋コンクリート工

鉄筋コンクリート工は主に鉄筋の加工・組立、型枠組立、支保工設置、コンクリート打設、養生、型枠脱型よりなる。鉄筋コンクリート工の詳細は、「コンクリート標準示方書」（土木学会，1986）等に準ずるものとする。ここでは、鉄筋の加工・組立、型枠組立、コンクリート打設について、その留意事項を記す。

鉄筋の加工、組立に関しては、以下の点に留意する。

①鉄筋は図面に示された形状および寸法と一致するように、材質を害さない方法で加工する。
②組立前に鉄筋を清掃し、浮き錆や鉄筋とコンクリートとの付着を害する恐れのある異物を取除く。
③鉄筋は正しい位置に配置し、コンクリート打設時に移動しないよう十分堅固に組立てる。
④鉄筋のかぶりが正しく確保されるように、スペーサ等を適切な位置に用いる。

型枠組立に関しては、以下の点に留意する。

①型枠は設計図書に示された部材の形状、寸法に従い、コンクリート打設の工程、型枠の取り外し、転用等の施工計画に基づき、原則として施工図を作成して施工する。
②型枠には、組立および取り外しが容易であり、接合部からモルタルが漏れず、さらにコンクリートの側圧等による有害な変形、沈下を生じない強度と剛性を有するものを用いる。

コンクリート打設に関しては、以下の点に留意する。

①構造物に要求される強度、耐久性および外観を満足するように、施工設備の能力、労働力、天候等を総合的に考慮してコンクリート打設の計画を決定する。
②コンクリート打設を始める前に、打設場所を清掃し、全ての異物を取り除く。
③コンクリート打設は、あらかじめ定められた打設計画に従い実施する。また、運搬・打設を速やかに行うことにより、コンクリート材料の分離およびスランプの低下を防ぐよう注意する。
④コンクリートの打設中およびその直後には、鉄筋間や型枠内に空隙を生じないよう内部振動機を用いて十分な締固めを行う。締固めにおいては、鉄筋、型枠およびその他型枠内に配慮してあるものに、位置の狂いや損害を与えないように注意する。
⑤コンクリート打設後、低温、乾燥、および急激な温度変化等による有害な影響を受けないように養生する。また、硬化中に有害な振動、衝撃および荷重を加えないように保護する。

8.4 仮設計画

8.4.1 作業基地

作業基地には設置海域近隣の港湾を利用するのが最も有利である。作業基地には以下の施設が必要である。

① 堤体、あるいはブロック製作ヤード（函台、ブロック台、鋼板の加工台、鉄筋ヤード、型枠ヤード、資材置場、作業通路等）

堤体、あるいはブロック製作ヤードを計画する場合には、特に堤体、あるいはブロックの重量が護岸(岸壁)の安定性に影響のないようにする必要がある。さらに、海上への搬出の際、製作した堤体やブロックの吊り上げに支障のないように、ヤード位置を決定する。岸壁等の安定性を確保できない場合には、製作位置を陸側にずらす、杭等により岸壁を補強するなどの対策が必要である。

② 仮置ヤード
③ 資材ヤード（鋼管、鉄筋、鉄骨、型枠、鋼管杭、捨石等の仮置場）
④ 積み出し施設（接岸可能な岸壁等）

積み出し施設を堤体、ブロックの製作ヤードと同一とすれば積み出し作業を簡略化できる。積み出し施設には①と同様の注意が必要である。

⑤ 避泊地

⑥ コンクリートプラント、骨材ストックヤード

生コンクリートを外部より購入しない場合に必要な施設、ヤードである。

⑦ 倉庫、事務所等

8.4.2 設置海域

設置海域の仮設設備としては、以下のものが考えられる。

① 測量台

一般に汀線と平行な方向に長く構造物が設置されるため、岸沖方向の測量基点として必要である。

② 浮標燈

浮標燈は工事区域を明示し、作業船等の進入目印になるとともに、第3者災害等を防止する。

③ 常設アンカー

船舶のアンカリングを容易にし、施工性を向上させる目的、および避難を容易にする目的で設置されることが多い。

④ 汚濁防止膜

捨石投入時等に発生する汚濁水の拡散防止のために、汚濁防止用の膜を捨石工等の実施時に設置する。

⑤ 鋼管杭打ち用導材

鋼管杭を打設するためのガイドとして仮設するもので、鋼管杭の打設精度を支配する重要な仮設設備である。堤体をガイドとする型式では不要である。

第9章　連結ブロック式構造物の施工

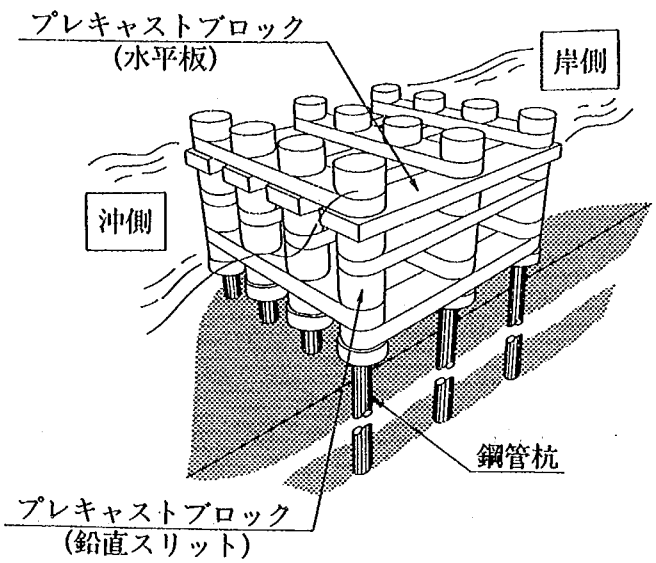
9．1　概要

連結ブロック式構造物（水平板付スリット型構造物、多重スリット型構造物）は、海底に打設した鋼管杭にプレキャストブロックを通したのち、鋼管杭とプレキャストブロックを一体化して構築する構造物である（図－9．1～図－9．2）。本型式の施工は以下の特徴を有する。

① プレキャストブロックの製作および据付時、特殊な作業船や機械を必要としない。

② 主要構造部材は陸上で製作されるので品質管理が容易である。

③ 海底の均し作業がほとんど不要で、水中作業が少ない。



図－9．1　連結ブロック式構造物の概観

9．2　施工手順

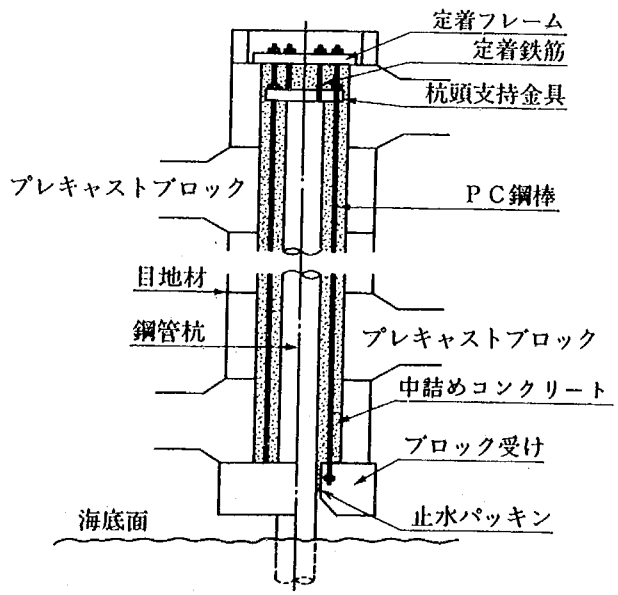
連結ブロック式の施工フローを図－9．3に、また、このフローによる施工要領を図－9．4に示す。

9．3　施工方法

9．3．1　杭打ち工

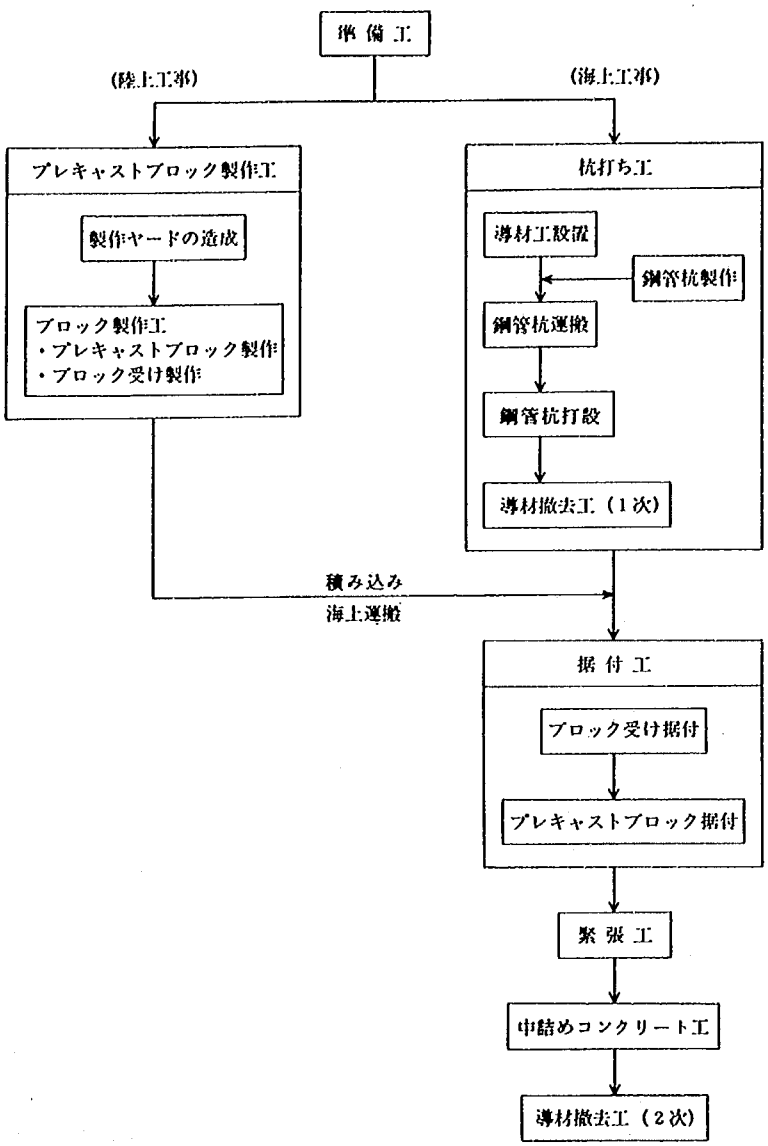
本編「8．1　杭打ち工」を参考に杭打ち方式、打ち込み工法を検討する。連結ブロック式の施工法は、プレキャストブロックの組合せからなる一種のプレハブ構築工法であり、その組立て作業に影響を与える杭の打ち込み精度には、十分配慮する必要がある。

杭の打ち込みの精度は、構造設計上設定したブロック受けおよびプレキャストブロックの形状からその許容値が決定さ



図－9．2　連結ブロック式の構造断面図

れる。杭打ち作業においては、必要とする杭の打ち込み精度を確保するために、杭打ち施工形態に応じた導枠および導材を使用する(図－９．４③導枠打設、④鋼管杭打設参照)。なお、ブロックの据付工に必要となる海底地盤面の確認は、杭打ち工の完了後、ブロック受けの据付前に行う。



図－９．３　連結ブロック式の施工フロー

９．３．２　プレキャストブロック製作工

(1)　一般

プレキャストブロックは、設計図に示された形状、寸法、品質等を満足するように製作しなければならない。一般に、プレキャストブロックは現地で製作ヤードを設け製作する。プレキャストブロックの製作手順は以下に示すとおりであり、鉄筋組立、型枠組立、コンクリート打設についての留意事項は、本編「８．３鉄筋コンクリート製作工」と同様である。

①　製作ヤードの造成

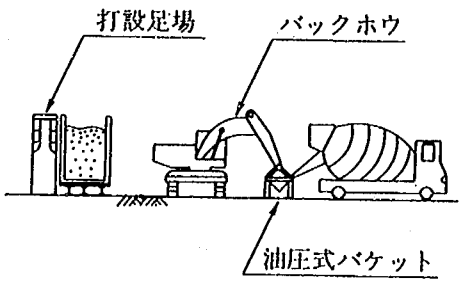
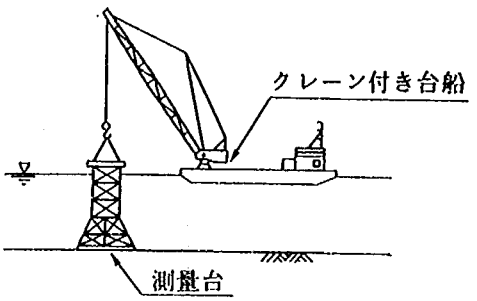
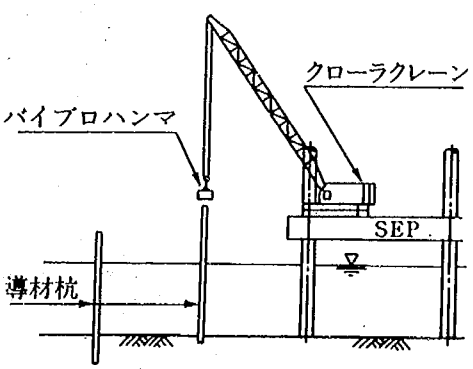
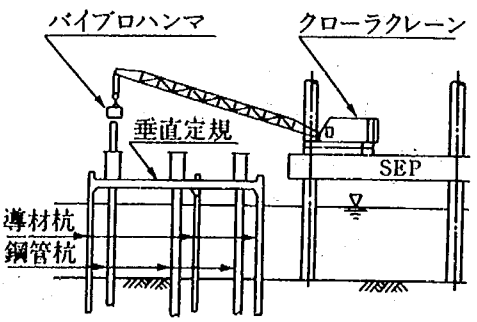
コンクリートの打設時に基礎地盤の変形、沈下等が生じないように製作ヤードを水平に敷均し転圧する。

②　底型枠組立

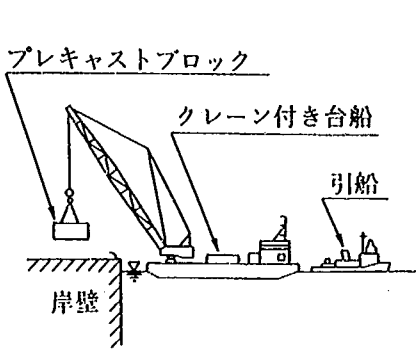
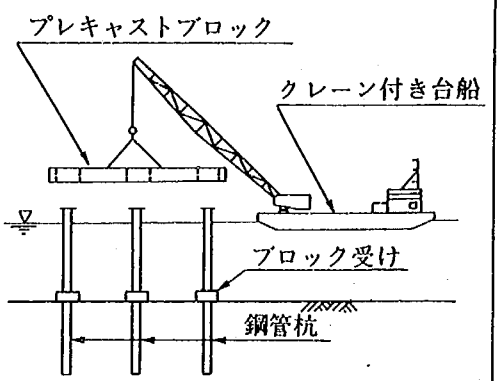
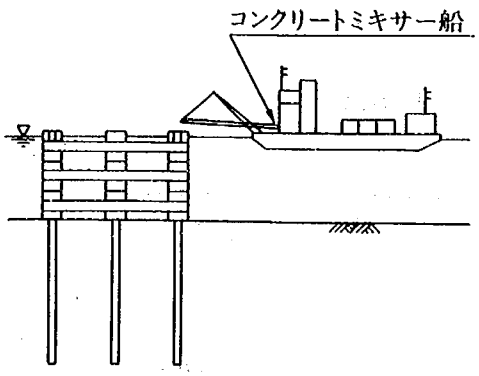
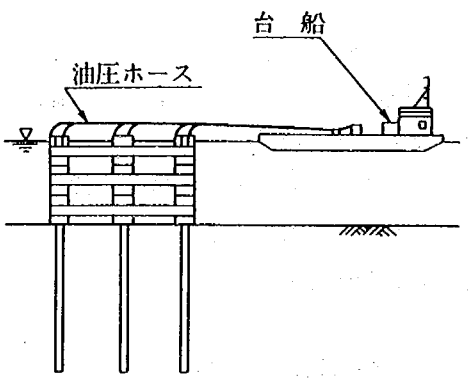
基礎地盤の沈下が生じないようにベース材としてH形鋼等を敷く。

③　円筒内型枠組立

④　鉄筋組立

手順	①プレキャストブロックの製作	②測量台設置
施工要領図		
作業内容	ブロック受け、プレキャストブロックを陸上製作ヤードで製作する。	杭打設の位置出しのために測量台を設置する。
手順	③導枠打設	④鋼管杭打設
施工要領図		
作業内容	杭打ち工のための導枠を所定の位置に打設する。	バイブロハンマ、またはディーゼルハンマにより鋼管杭を打設する。

図－9.4(1) 施工要領

手順	⑤ブロック積み込み	⑥ブロック据付
施工要領図		
作業内容	プレキャストブロックを積み込み運搬する。	ブロック受け設置後、プレキャストブロックを順次据付ける。
手順	⑦緊張	⑧中詰めコンクリート打設
施工要領図		
作業内容	プレキャストブロックの据付け完了後、PC鋼材を緊張する。 なお⑧の中詰めコンクリート打設後に再度PC鋼材を緊張する方法もある。	プレキャストブロックと鋼管杭の間に充填材としてコンクリートを打設する。

図－9．4(2)　施工要領

⑤ 側型枠組立

⑥ コンクリート打設

⑦ 養生

⑧ 側型枠、円筒内型枠脱型

⑨ 転居、仮置

所定の強度が発現してから、プレキャストブロックの転居・仮置を実施する。

(2) 材料

a）鋼材

プレキャストブロックおよびその組立に使用する鋼材は、鉄筋、ＰＣ鋼材、構造用鋼材および鋼管等である。鋼材はＪＩＳ規格に適合するものを標準とする。

b）コンクリート

コンクリートはレディーミクストコンクリートを用いることを標準とする。その選定に当っては、所要の強度、耐久性、水密性が得られるよう配慮する。コンクリートの品質は、構造物の種類、環境条件、部材断面などに応じて、所要の強度および耐久性に加えて、作業に適するワーカビリチーを有するように定める。

9.3.3 据付工

(1) ブロック受けの据付

ブロック受けは所定の位置に正確に据え付けなければならない。ブロック受けの据付の施工手順を以下に示す。

① 海底地盤面の確認

海底地盤面の確認を行い、必要であれば不陸等の均しを行う。

② 積込、運搬・据付

起重機船でブロック受けを吊り下げ、揺れ等により吊り鋼材および杭頭支持金具に衝撃力を発生させないように積込、運搬・据付を慎重に行う。

③ 海上での足場設置

④ 杭頭支持金具の位置調整

ブロック受けは、杭頭から鋼材により吊り下げられ、所定の位置が確保される。したがって、その据付においては組み立てられたブロック受けの位置を十分点検する必要がある。

⑤ 杭頭支持金具の固定

⑥ ブロック受けの固定

(2) プレキャストブロックの据付

プレキャストブロックの据付作業は、一般に起重機船を利用して行う。据付精度の良、不良は構造物の出来形に大きく影響するので、正確に据付を実施する必要がある。

プレキャストブロック据付時の注意事項を以下に示す。

① プレキャストブロック据付は一般に海上作業となり、気象、海象の影響を受け易い。したがって、作業の安全を配慮して船舶機械器具等には能力に十分余裕あるものを選定する。

② 据付に際して、プレキャストブロックに設計上考慮されている以外の荷重が働かないように、吊り具や吊り方法を工夫する。

③ 構造物形状を考慮してプレキャストブロックの据付順序を決定する。

④ プレキャストブロックの水平を保ち、プレキャストブロックに衝撃力が発生しないように注意して据え付ける。

⑤ プレキャストブロック相互の接触面の密着度を増加させるために接触面に目地材を塗布する。目地材には、プレキャストブロックと同程度の強度を有する水中硬化型のセメント、樹脂等を用いる。

9．3．4 緊張工

(1) 緊張材

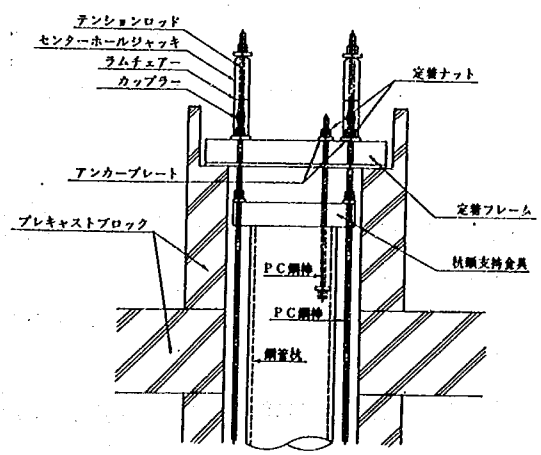
緊張材は高強度のＰＣ鋼材で、試験によってその品質が確かめられたものでなければならない。ＰＣ鋼材として一般に使用されているものにはＰＣ鋼線、異形ＰＣ鋼線、ＰＣ鋼より線、ＰＣ鋼棒および異形ＰＣ鋼棒がある。一般に広く使用されているものについては、品質その他がＪＩＳ Ｇ 3536およびＪＩＳ Ｇ 3109に規定されている。ＰＣ鋼材は腐食環境下に置かれることになるので、適切な防食工を施す必要がある。

(2) 緊張装置

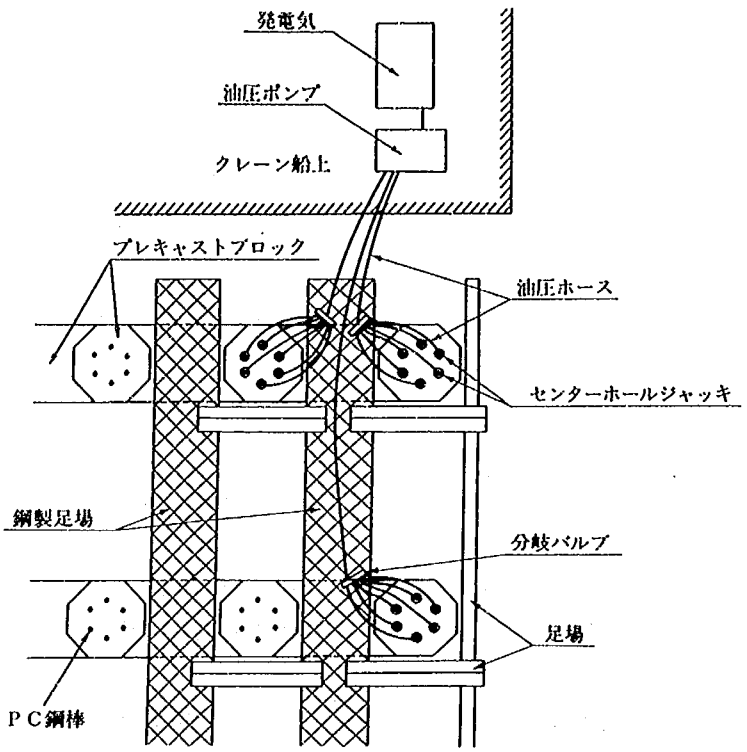
緊張装置には、緊張荷重を考慮して適切なものを使用する。緊張装置の使用前には、キャリブレーションを行わなければならない。また、使用中でも衝撃が作用したと判断されたときは、再度キャリブレーションを実施し、その結果を記録する。緊張装置の配置図の一例を図－９．５および図－９．６に示す。

(3) 緊張作業

緊張作業を行う際には、綿密な緊張計画を立て、所定のプレストレスが導入できるように十分検討し、準備しなければならない。緊張作業のフロー（鋼管杭１本当り）を図－９．７に示す。また、緊張作業における注意事項を以下に示す。



図－９．５ 緊張装置の配置図（杭頭部付近の断面図）



図－9．6　緊張設備の平面配置図

① 緊張材を引張る場合には、各緊張段階においてプレキャストブロックに有害な応力が生じないように、緊張材を引張る順序、方法ならびに引張力の大きさを定める。

② 支圧面が、緊張材と直角になるように定着具を取り付ける。

③ 定着具および接続具は、設計図に示された形状および寸法に一致するように組立て、設計図に示された位置および方向に正しく配置する。

④ PC鋼材緊張時のコンクリートの圧縮強度は、締付け力を与えた直後にコンクリートに起こる最大圧縮応力度の1.7倍以上とする。

(4) 緊張管理

緊張作業終了後、PC鋼材に所定の緊張力が与えられたことを確認しなければならない。緊張力の管理には、次に示すような事項に十分注意する必要がある。

① 種々の原因によるばらつきを考慮して、緊張材に与えられる引張力が所定の値を下回らないように、緊張材1本ごとに緊張管理を行う。

② 緊張材に与える引張力は、荷重計の示度ならびに緊張材の伸び量により測定する。

9．3．5　中詰めコンクリート工

中詰めコンクリートは水中施工となるので、「コンクリート標準示方書」（土木学会，1986)の水中コンクリートに準じる。中詰めに用いるコンクリートには所要の強度、耐久性、水密性等をもち、品質のバラツキの少ないものを用いる。また、コンクリートの打設は最下部から上方へ向かって徐々に実施し、所定の打ち上がり面まで継続して行わなければならない。中詰めコンクリートの施工の一例を図－9．8に示す。

9．4　資機材計画

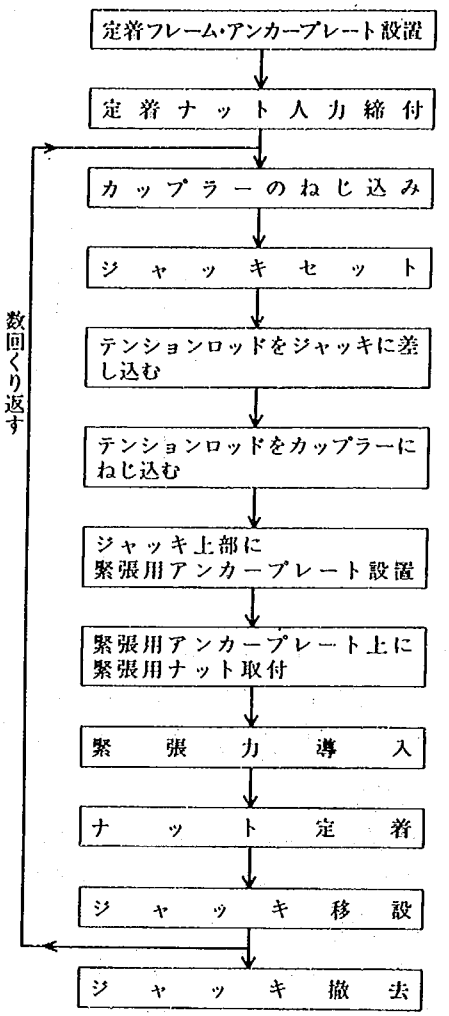
9．4．1　船舶・機械計画

主要船舶・機械は工程計画、施工方法に基づいて、適切に配置されるように計画しなければならない。このうち配船計画は、船種が施工方法決定の段階で付随的に決定されるので注意しなければならない。以下に本型式の主要工種について主な船舶・機械の規格を決定する基準を記す。

(1)　杭打ち工

鋼管杭の打設精度を得るため、架設導材工および定規材を使用する。定規材等の製作に使用するクローラークレーンの規格は作業半径、吊り荷重等により決定されるので、選択に際しては充分検討しなければならない。

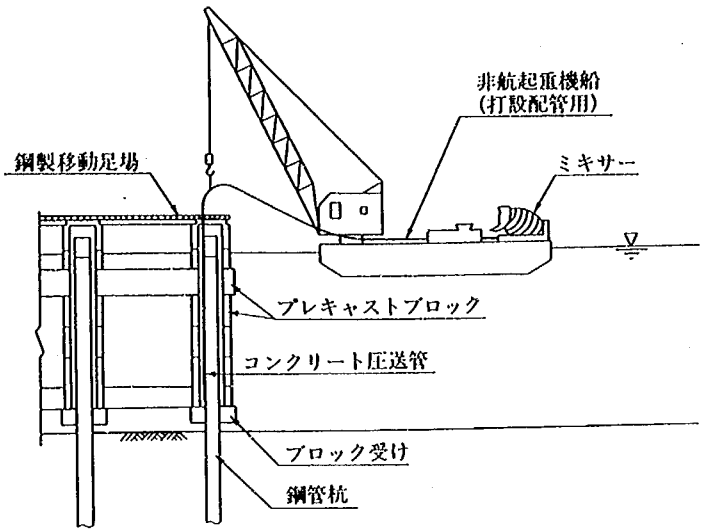
クレーン付き台船または自己昇降式作業台船は自然条件等により決まる稼働率を考慮して選定する(表－9．1参照)。ディーゼルハンマーの規格決定については、鋼管径、鋼管重量、根入長、打ち込み地盤の標準貫入抵抗値等により決定する。バイブロハンマー使用の場合は土質、N値、鋼管杭の重量を考慮して必要偏心モーメントを求め、その規格を決定する。発電機の規格についてはバイブロハンマーの決定に伴い決定される。



図－9．7　緊張作業のフロー

表－9．1　自己昇降式作業台船とクレーン付台船の比較

検討項目	水深	波高	移動	工事水域
自己昇降式作業台船	比較的浅海に適する（レグ長による）	比較的高くても作業可	曳船による	狭くてよい
クレーン付台船	大水深でも可	高いと作業不可	揚錨船＋アンカリング	広く必要



図－9．8　中詰めコンクリートの施工例

(2)　ブロック運搬・据付工

ブロック運搬・据付工には非航起重機船を使用するが、その規格はプレキャストブロックの最大重量、作業半径、現場条件等を考慮して決定する。

(3)　緊張工

ＰＣ鋼棒の緊張作業に使用する電動油圧ポンプ、センターホールジャッキの規格は、所定の緊張力が確保できるよう十分な能力を有するものを選択する。

(4)　中詰めコンクリート工

中詰めコンクリート打設は、陸上より自航起重機船によりコンクリートを運搬し、非航起重機船に設置されたコンクリートポンプで圧送することにより行う。コンクリートポンプおよびアジテーターの能力は工程等を考慮して決定する。コンクリート打設の数量によってはコンクリートプラント船が必要となる。また、水深10m程度を想定した場合の使用船舶・機械をまとめて表－9．2に示す。

9．4．2　資材計画

資材計画に際しては、設計図および仕様書に基づいて、材料の形状寸法、材質、数量などを把握し、納期、納入場所および納入方法を決めなければならない。

工程計画に際しては原則として日程計画を優先させ、これを充分満足できるように必要となる資材の調達を図る必要がある。

資材使用計画表は、工程表、仕様書などに基づき所要材料の品名、品質、規格、数量、注文、納入、消費の時期、作業場所への運搬、転用などの要領を示すものであり、工事当初にこれらの内容の詳細をとりまとめる必要がある。計画作成に当っては、特殊注文品の納期、資材の単純化、標準化、代替品の検討に留意し、経済性も充分に考慮する必要がある。また資材は二次運搬をはじめ不要な作業を必要としないよう適時、適

表－9．2(1) 主要な船舶・機械の例

工　種	船舶・機械名	規　格　の　目　安	台数	摘　　要
ブロック製作工	ｸﾛｰﾗｰｸﾚｰﾝ	150 tf 吊り	1 台	ﾌﾞﾛｯｸ転地
	ﾄﾗｯｸｸﾚｰﾝ	〃	〃	〃
	〃	35～40 tf 吊り	〃	ﾌﾞﾛｯｸ積み込み
	〃	16～20 tf 吊り	2 台	型枠、鉄筋、ｺﾝｸﾘｰﾄ打設
	ﾊﾞｯｸﾎｰ	1.0 m^3級	1 台	ﾔｰﾄﾞ整地
	ﾀｲﾔｼｮﾍﾞﾙ	2.1 m^3級	〃	〃
架設導材工 鋼管杭工 （導材二次撤去工を除く）	ｸﾛｰﾗｰｸﾚｰﾝ	150 tf 吊り	〃	導材工、鋼管杭打設
	ｸﾚｰﾝ付き台船 （自己昇降式作業台船）	1000 tf 積み （昇降能力 1500 tf級）	〃	鋼管杭打設、導杭打抜き
	引　　船	800～1000 ps	〃	〃　、　〃
	揚 錨 船	360～420 ps	〃	
	台　　船	500 tf 積み	〃	
	ﾊﾞｲﾌﾞﾛﾊﾝﾏｰ	90 KW	〃	導材工、鋼管杭打設
	〃	150 KW	〃	鋼管杭打設
	発 電 機	300 KVA	〃	導材、鋼管杭打設
	鋼管ﾁｬｯｸ	鋼管用	〃	
ブロック運搬 据付工	非航起重機船	全旋回120～150tf吊り	〃	ﾌﾞﾛｯｸ据付
	引　　船	800～1000 ps	〃	〃 運搬・据付
	揚 錨 船	360～420 ps	〃	〃
	台　　船	500 tf積	〃	〃
	潜水士船	ダイバー 2 組乗込み	〃	〃 据付
	ｸﾞﾗｳﾄﾐｷｻｰ	50 ﾘｯﾄﾙ，強制練り	〃	〃
	発 電 機	2～3 KVA	〃	〃
	ｸﾛｰﾗｰｸﾚｰﾝ	150 tf 吊り	〃	ﾌﾞﾛｯｸ運搬
	ﾄﾗｯｸｸﾚｰﾝ	35～40 tf 吊り	〃	〃
	〃	16～20 tf 吊り	〃	〃
	ﾄﾗｯｸ	10 tf 積み	〃	〃

（水深約10mを想定）

表－9．2(2) 主要な船舶・機械の例

工種	船舶・機械名	規格の目安	台数	摘要
緊張工	非航起重機船	全旋回120～150tf吊り	1台	緊張
	引船	800～1000 ps	〃	〃
	揚錨船	360～420 ps	〃	〃
	電動油圧ポンプ	3連型，700 kgf/cm^2	〃	〃
	センターホールジャッキ	両動型，50 tf	〃	〃
	発電機	2～3 KVA	〃	〃
天端・中詰めコンクリート工	非航起重機船	全旋回120～150tf吊り	〃	コンクリート打設配管用
	自航起重機船	全旋回 50 tf 吊り	〃	コンクリート運搬用
	引船	800～1000 ps	〃	コンクリート打設
	揚錨船	360～420 ps	〃	〃
	コンクリートポンプ	40 m^3／h	〃	〃
	アジテータ	6 m^3 積み	〃	コンクリート運搬
	リフトトラック	500 kgf 積み	〃	柱鉄筋組立用
	トラッククレーン	16 tf 吊り	〃	〃
導材二次撤去工	非航起重機船	全旋回120～150tf吊り	〃	
	引船	800～1000 ps	〃	
	揚錨船	360～420 ps	〃	
	台船	500 tf 積み	〃	
	バイブロハンマー	90 KW	〃	
	発電機	300 KVA	〃	
海上工事全般	交通船	130～180 ps	〃	
	警戒船	180～250 ps	〃	
水切り工	トラッククレーン	35～40 tf 吊り	〃	

（水深約10mを想定）

所への搬入が必要である。

本型式の主な資材と規格を下記に示す。

① 鋼管杭

鋼管杭の形状規格はJIS A 5525に規定されている。鋼材はＳＫＫ41やＳＫＫ50を用いるのが一般的である。

② レディーミクストコンクリート

レディーミクストコンクリートの材料、種類、および品質、配合、製造、運搬、品質管理、試験方法、検査などについては、JIS A 5308に規定されている。

③ 鉄筋

鉄筋コンクリート用棒鋼の形状規格はJIS G 3112に規定されている。鋼材にはSR24、SR30、SD30A、SD30B、SD35を用いるのが一般的である。

④ PC鋼棒

PC鋼棒の形状規格はJIS G 3109に規定されている。鋼材にはSBPR、SBPDを用いるのが一般的である。

⑤ 定規材

定規材として、構造用鋼材（棒鋼、形鋼、鋼鈑、平鋼）、H形鋼杭などを用いる。構造用鋼材についてはJIS G 3191～3194に、またH型鋼杭についてはJIS A 5526に形状規格が定められている。

9．5 仮設計画

連結ブロック式の仮設工事に必要な仮設設備を表－9．3に示す。直接仮設設備と間接仮設設備の区分は場合により多少異なるが、本工事施工のために直接必要なものを直接仮設設備としている。

表－9．3 主な仮設設備の例

直接仮設設備	間接仮設設備
工事用道路	現場事務所
ヤードクレーン	各種倉庫
資材、機材ヤード	建設車両ヤード
ブロック製作ヤード	鉄筋加工小屋
ブロック保管ヤード	型枠下拵え小屋
電力設備	宿舎
給水設備	厚生施設
導材、定規材ヤード	輸送車
海上測量台	
岸壁、桟橋	
係留設備・シンカー	
オイルフェンス	
灯浮標	

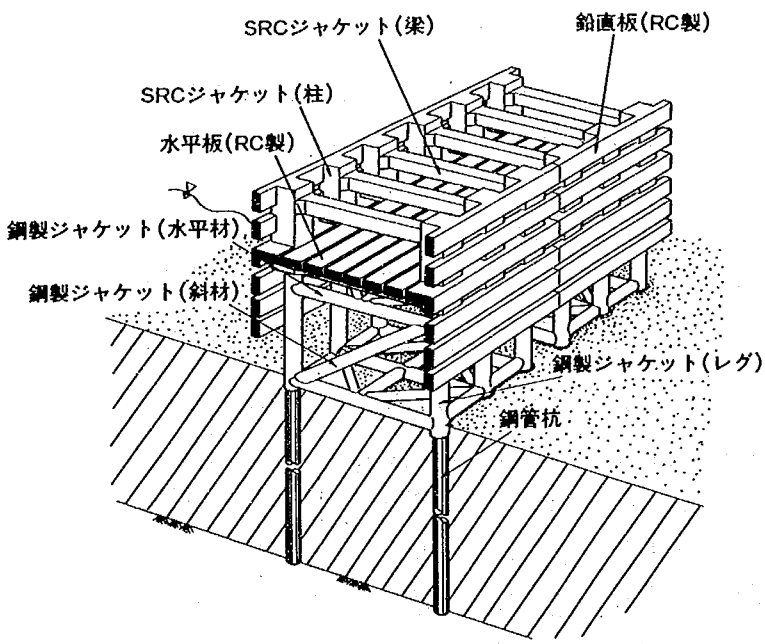
仮設設備は例として示したもので施工方法により変化するものである。たとえばレディーミクストコンクリートを外部から購入できない場合はコンクリートミキサープラントを仮設設備として採用することになる。鋼管杭打設用定規、連結ブロック製作用基礎は製作仮置ヤードの地盤条件によりその構造を充分に検討する必要がある。製作ヤードの舗装も作業性を考慮して検討する。

現場の条件によるが、一般的にはブロック製作ヤードと間接仮設設備（現場事務所等）が一体として作業基地を設けることが望ましい。この場合、この作業基地はブロックの搬出の可能な岸壁に隣接する場所を選定する。また、作業基地の計画については船舶機械を効率的に使用するために施工計画時に充分に検討する必要がある。

第10章　H型スリット板ジャケット式構造物の施工

10．1　概要

H型スリット板ジャケット式構造物は、上部のＳＲＣジャケット構造と、下部の鋼製ジャケットからなる。ＳＲＣジャケット構造は、鉄筋コンクリート（ＲＣ）製の消波板と鉄骨鉄筋コンクリート（ＳＲＣ）製のジャケットの一体構造を有する。また、下部の鋼製ジャケットは、ＲＣ製の消波板と鋼製ジャケットが一体となっている。構造体は、上部、下部を貫通する鋼管杭により支持される（図－10．1）。



図－10．1　H型スリット板ジャケット式構造物の概観

10．2　施工手順

本構造物の施工手順を図－10．2にフローで示す。また、施工要領を図－10．3に示す。

10．3　施工方法

10．3．1　鋼製ジャケット製作工

鋼製ジャケットの製作は加工図の作成および原寸作業、部材加工、ジャケットの組立および溶接の手順で行う。

加工図の作成は加工をスムーズに進めることを目的とし、設計図面に加工上の障害がないことを確認し、加工上必要な断面の部分詳細図を作成する。また、寸法表記を追加し、加工手順を考慮した継手位置を決定するとともに、継手の詳細図を作成する。

原寸作業では、施工方法を考慮に入れ、設計図に基づいて各部材の正確な寸法を決定する。さらに、各部材の取り合い関係の不備と工作上の支障をチェックし、部材加工図、定規および型版等を作成する。

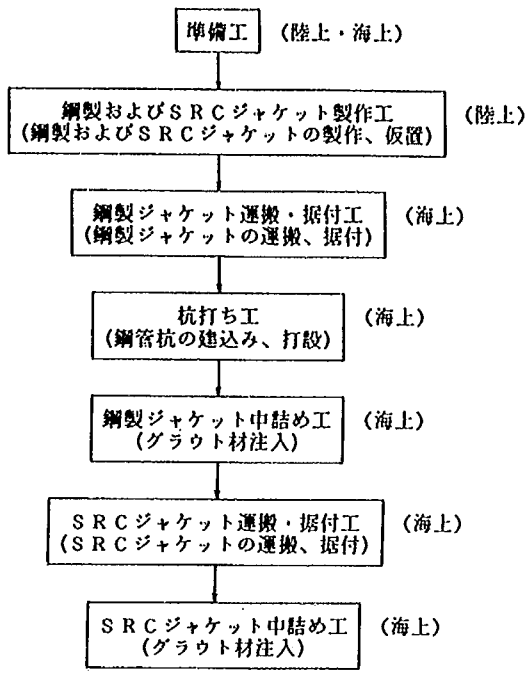
部材の加工に際しては以下の点に留意する。

① 罫書の際、完成後も跡の残るような部分には、劣化防止のため原則としてタガネ、ポンチは使用しない。また罫書作業に際しては、溶接および歪取り等による収縮変形量を考慮する。

② 主要部材の切断手法は鋼種、形状に応じて適切な手法を用いる。また切断線にかえり、不揃いのある場合はグラインダーにより平滑に仕上げる。

③ 曲げ加工は原則としてプレスによる冷間曲げ加工とする。作業に際して曲げ治具を用いて曲げ傷などをつけないよう注意する。

④ 部材の歪取りが必要な場合は、プレス、ローラーまたはガス炎加熱法等によって矯正する。



図－10．2　施工フロー

鋼製ジャケットの組立は、平面組立、面起こし、立体組立、消波板の製作の順に行う（図－10．4）。また、各部材の組立に関しては以下の点に留意する。

① 組立中に沈下が生じないよう、充分に強固な地盤、架台等の上で組み立てる。

② 溶接順序を充分に考慮する。

③ 所定の組立精度が得られるよう充分に注意する。

また、溶接は必要な継手性能を満足するよう、下記の事項を確認したのち慎重に施工する。

① 鋼材の種類と特性

② 溶接方法、開先形状および溶接材料の種類と特性

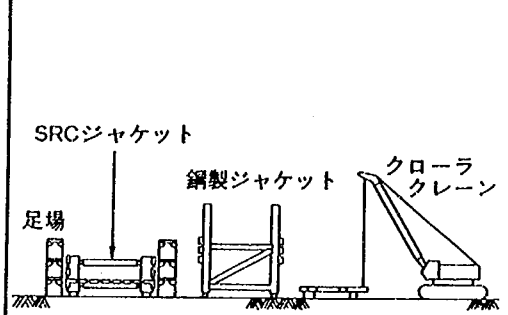
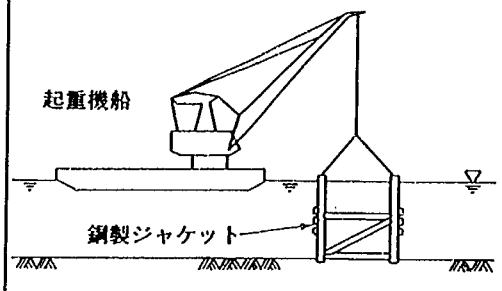
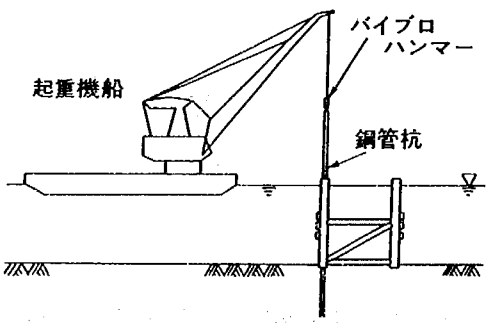
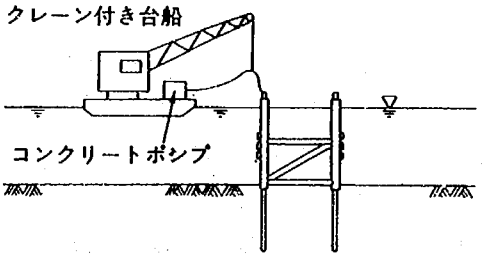
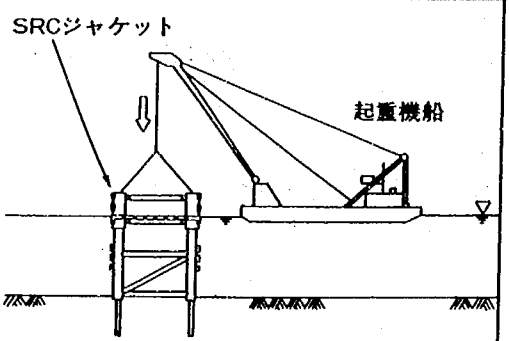
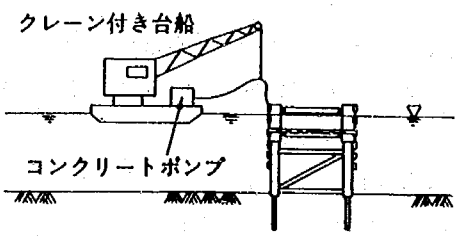
③ 組み合わせる材片の加工、組立精度、溶接部分の清浄度と乾燥状態

④ 溶接材料の乾燥状態

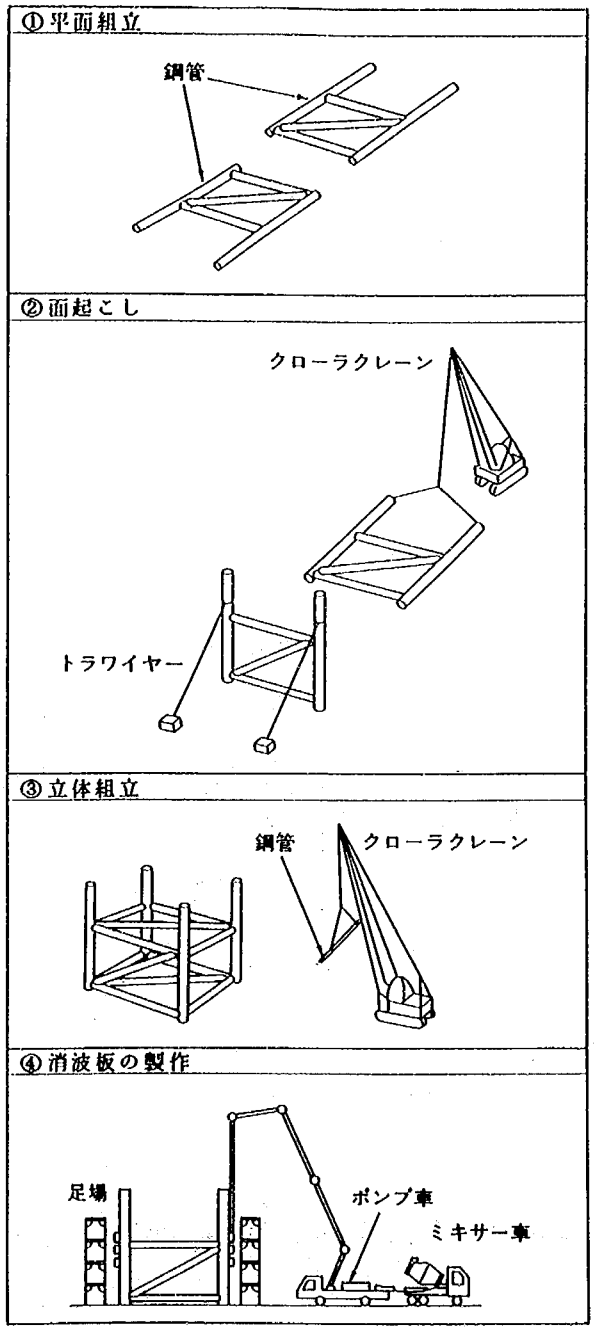
⑤ 溶接条件と溶接順序

10．3．2　ＳＲＣジャケット製作工

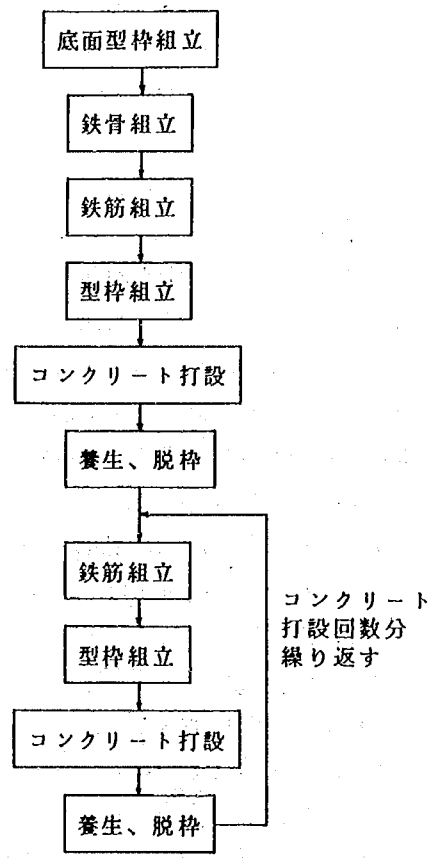
ＳＲＣジャケットの概略製作フローを図－10．5に示す。ＳＲＣジャケットの製作は一般に数段に分けて行う。通常、ＳＲＣジャケットの下端から水平板の上端までを第一段目の製作ブロックとする。これより上部は1日のコンクリート打設量、鉄筋、型枠の組立の作業性等を考慮して数段の製作ブロックに分割する。鉄筋、型枠、コンクリート作業に関しては、本編「8．3　鉄筋コンクリート製作工」による。

工種	①鋼製およびＳＲＣジャケット製作工	②鋼製ジャケット運搬・据付工
施工要領図		
主な作業内容	鋼製ジャケットとＳＲＣジャケットをヤードで製作する。	鋼製ジャケットを台船に積み込み、現地まで運搬し、クレーン船により据付ける。
工種	③杭打ち工	④鋼製ジャケット中詰め工
施工要領図		
主な作業内容	鋼管杭を鋼製ジャケットレグに建込み、鋼製ジャケットを導材として鋼管杭を打設する。杭と鋼製ジャケットはシムプレートを使用して溶接固定する。	鋼製ジャケットレグと鋼管杭の間にグラウト材を注入し固定する。
工種	⑤ＳＲＣジャケット運搬・据付工	⑥ＳＲＣジャケット中詰め工
施工要領図		
主な作業内容	ＳＲＣジャケットを台船で現地まで運搬しクレーン船で吊り、先に設置した鋼製ジャケットにジャケットレグを利用して据付ける。	ＳＲＣジャケットのスリーブ鋼管と鋼製ジャケットレグとの間にグラウト材を注入し固定する。

図－10．3　施工要領



図－10．4　鋼製ジャケットの組立



図－10．5　SRCジャケットの製作フロー

10．3．3　鋼製およびSRCジャケットの運搬工

鋼製およびSRCジャケットの運搬は台船に積み込んで曳航する方法が一般的である。施工条件によっては、起重機船で吊り上げた状態で引船により運搬する方法もある。

曳航に際しては、潮流、波高、風速、干満等の海象条件を考慮して、必要な曳航速度が得られるように引船の所要馬力を決定する。

10．3．4　ジャケット据付工

(1) 据付方法

鋼製およびＳＲＣジャケットの据付作業には通常起重機船を使用する。一般に据付工は海上作業となるため、気象、海象の影響を受け易い。したがって、使用する船舶・機械は作業の安全性を考慮して、能力に十分余裕のあるものを選定する必要がある。また、鋼製ジャケットの据付時の安定性を確保するために、一般にジャケット底面にマッドマットを取り付けておく。据付工の施工順序は次のようである。

① ジャケットを施工現場に曳航し、ジャケットを積んだ台船を係留する。

② 台船上のジャケットを起重機船で吊り上げる。

③ ジャケットの据付位置に移動する。

④ 位置決めを行い、ジャケットを据え付ける。

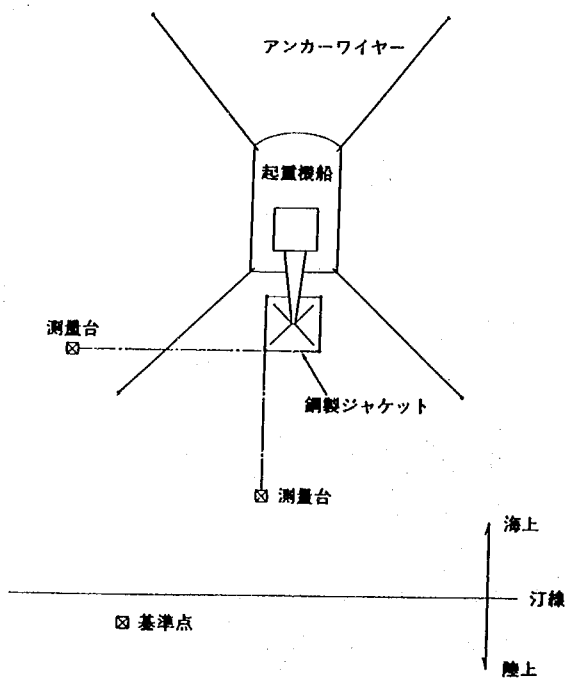
(2) 鋼製ジャケットの位置決め

据付の位置決めは、陸上から直接視準する方法、または海上測量台に設けた測点を利用して測量する方法がある。海上に設置した測量台を用いる場合の例を図－10．6に示す。最初に設置する鋼製ジャケットは、一連の構造物据付の出発点となるので、特に慎重な位置決めを行う。据付時の位置決めに際しては次の事項に留意する。

① 陸上または海上に目測用の目標を設置しておき、大まかな位置決めはこれを用いてできるように計画する。

② 測量用の視準目標を鋼製ジャケットの上部の見易い位置に設置する。

③ 最初のＳＲＣジャケットの据付が完了したらこの上に基準点を設ける。２回目以降の据付時に位置決めの目標として使用する基準点は、定期的に測量して水平移動および沈下の有無をチェックする。



図－10．6　鋼製ジャケット据付測量の例（平面図）

(3) 設置海底面の調査・均し

鋼製ジャケット据付作業に先立ち、設置位置の海底を潜水士により調査し、障害物等がないことを確認する。また、設置地盤に不陸が大きい場合は、ガット船等により海底面の均しを行う。

10．3．5　杭打ち工

杭打ち方式、打設工法、ハンマーの選定および杭の建込みは、本編「8．1　杭打ち工」によるものとする。

(1) 鋼製ジャケットの傾き、高さの調整

鋼管杭打設前に鋼製ジャケットの据付時の傾き、高さの調整を行う。調整方法は以下のようである。

① 四隅の鋼製ジャケットレグ内に鋼管杭を建込み、調整作業に必要な支持力が得られる深さまで打設する。

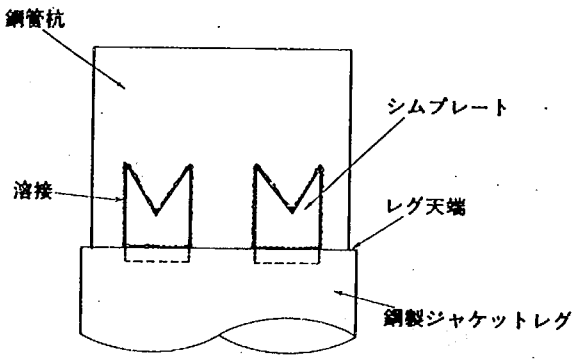
② 鋼管杭を建込んだ鋼製ジャケットレグ4カ所にジャッキ取付け用治具を取り付ける。

③ 4カ所のジャッキにより鋼製ジャケットの傾きおよび高さを調整し、鋼製ジャケットレグと鋼管杭とを鋼鈑を用いて仮止めする。

④ まず、1カ所の鋼管杭について、ジャッキおよび治具を撤去し、仮止めを取り外した後、最終根入れまで打設する。最後に杭頭を溶接する。これらの作業を他の3カ所についても順次行う。

(2) 杭頭の溶接

鋼管杭の打設終了時点では、杭打ちハンマ打設代のため杭がレグ天端より数メートル長い状態にある。この杭頭を切断して撤去した後、シムプレートを用いて杭頭部とレグを溶接で結合する（図－10．7参照）。

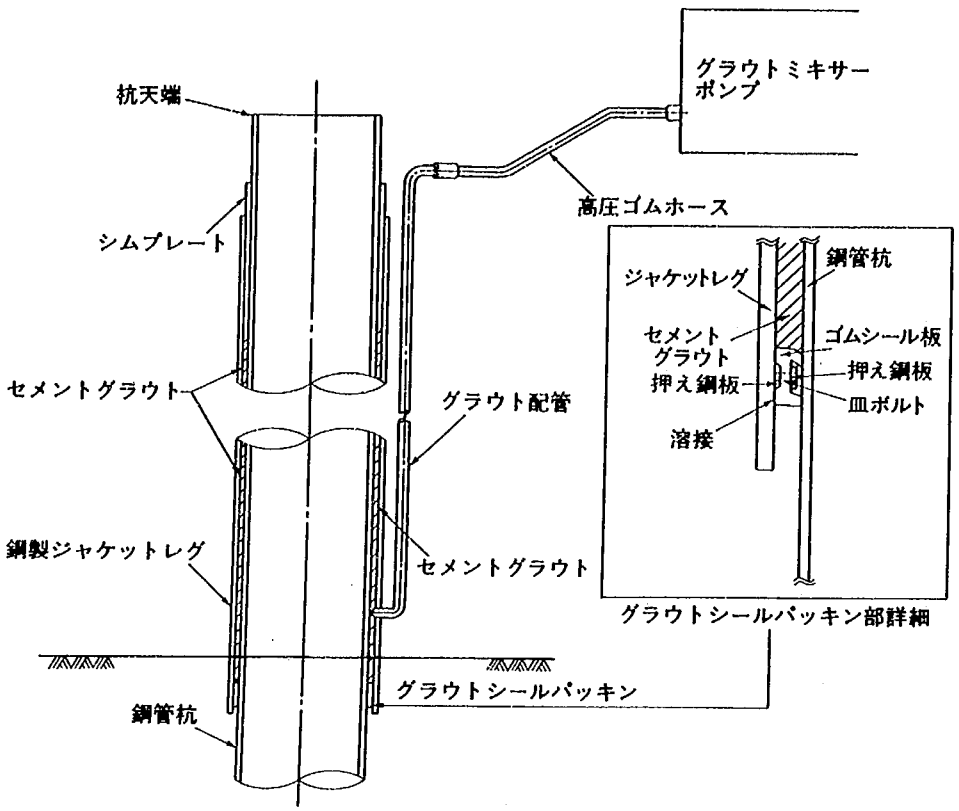


図－10．7　シムプレートを用いた杭頭の溶接例

10．3．6　中詰め工

中詰め工はグラウトポンプでセメントミルクを空隙に注入することにより行う。中詰め工は2回行う。1回目には、鋼管杭を打設し杭頭溶接が終了した後に、鋼製ジャケットレグと鋼管杭の間にセメントミルクを注入する。2回目には、ＳＲＣジャケットの据付が終了した後に鋼製ジャケットレグとＳＲＣジャケットのスリーブ鋼管の間にセメントミルクを注入する。注入は最下部から行い、上方に向かって所定の打ち上がり面まで継続して行う。グラウト材注入のためのグラウト配管、ゴムシート材は製作ヤードにて鋼製およびＳＲＣジャケットに取り付ける(図－10．8参照)。

グラウト材は、注入に適した流動性があり、かつ所要の圧縮強度ならびに付着力を有し、耐久性および水密性のあるものを使用する。グラウトの配合例を表－10．1に示す。グラウト材注入時には、汚濁水の漏洩がないように潜水士による監視を行い、漏洩が発見された場合には作業を中止し、適切な処置をしたのち作業を再開する。



図－10．8　グラウト配管とシールの例

10．4　資機材計画

10．4．1　船舶・機械計画

本型式の施工に使用する標準的な施工機械および船舶を各工種別に表－10．2に示す。本表に記した船舶・機械の規格は、水深10mの海域に施工する場合の目安である。表において、鋼製およびＳＲＣジャケットの運搬は台船により行い、鋼管杭は全旋回式起重機船とバイブロハンマーにより打設するものとしている。また、杭打ち工に使用する船舶・機械は杭打ち方法により大きく異なるので、杭打ち方法に応じた船舶・機械を定める必要がある。

表－10．1　グラウトの配合例

（1 m³当り）

水（W）（kg）	セメント（C）（kg）	W／C（%）
587	1303	45

10．4．2　資材計画

本型式に使用する主要な資材を表－10．3に示す。

10．5　仮設計画

本型式の作業基地には以下のような諸施設が考えられる。

表－10．2　主要な船舶・機械の例

工　種	船舶・機械名	規 格 の 目 安	数量	摘　　要
製作工	クローラクレーン	40tf吊	4台	鋼管、鉄筋、型枠組立等
	コンクリートポンプ車	ブーム式	1台	コンクリート打設
運搬工	起重機船	150tf吊，400tf吊	各1隻	積み込み・運搬・据付
	台　船	300tf積，600tf積，800tf積	各1隻	運搬
	引　船	300PS，500PS，800PS，1500PS	各1隻	運搬・据付
据付工	揚錨船	35tf	1隻	
	潜水士船	100PS	1隻	据付
	交通船	150PS	1隻	
杭打ち工	起重機船	全旋回150tf吊	1隻	鋼管杭打設
	台　船	300tf積	1隻	鋼管杭運搬
	引　船	1500PS，500PS	各1隻	鋼管杭運搬・打設
	揚錨船	30tf	1隻	
	交通船	150PS	1隻	
	バイブロハンマー	120KW	1台	鋼管杭打設
	発電機	600KVA	1台	鋼管杭打設
中詰め工	クレーン付き台船	300tf積35tf吊	1隻	グラウト材注入
	引　船	800PS	1隻	グラウト材注入
	揚錨船	15tf	1隻	
	潜水士船	100PS	1隻	
	交通船	150PS	1隻	
	グラウトミキサー		1台	グラウト材注入
	グラウトポンプ		1台	グラウト材注入

※水深約10mを想定

① 鋼製ジャケット製作ヤード

② ＳＲＣジャケット製作ヤード

③ 鋼製およびＳＲＣジャケット仮置ヤード

④ 資材ヤード（鋼管、鉄筋、鉄骨、型枠、鋼管杭）

⑤ ジャケット積み出し施設（接岸可能な岸壁等）

⑥ 作業船の泊地

⑦ コンクリートプラント設備、骨材ストックヤード

③はジャケット仮置時の重量が護岸（岸壁）に影響の無いこと、起重機船の吊り上げ能力内にあることを考慮する。また、①および②の設備が上記の条件を満たすならば、その設備を兼用してもよい。⑦は生コンクリートを外部の生コン工場より購入できない場合に必要な設備である。

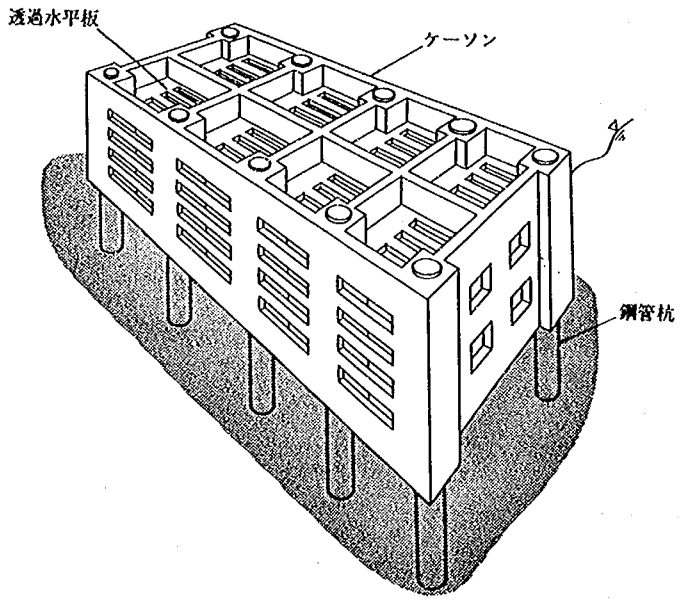
表－10．3　工種別主要資材

工　種	資　材
製作工	コンクリート 鉄筋 鋼管 鋼材 電気防食用資材 型枠材 支保工材 足場材 その他
杭打ち工	鋼管杭 杭頭溶接用鋼材 （シムプレート）
中詰め工	モルタル

第11章　スリットケーソン式（有脚式）構造物の施工

11．1　概要

有脚式のスリットケーソン式構造物（透過水平板付スリットケーソン型構造物）は、図－11．1に示すようにケーソンと杭から構成される。したがって、その施工はケーソンの製作を主とする陸上作業と、ケーソンの据付および杭打設を主とする海上作業とに分類される。



図－11．1　スリットケーソン式（有脚式）構造物の概観

11．2　施工手順

本型式の一般的な施工フローを図－11．2に、施工要領を図－11．3に示す。以下に各工種の施工概要を述べる。

①ケーソン製作工

ケーソン製作は近隣の港湾の岸壁上で行い、ガイド管組立の後に通常のケーソンと同様の方法で製作する。

②設置海底面の均し工

ケーソンを設置する海底面はガット船により均す。

③ケーソン運搬工

製作ヤードより据付位置まで大型起重機船にてケーソンを吊り上げ運搬する。

④ケーソン据付工

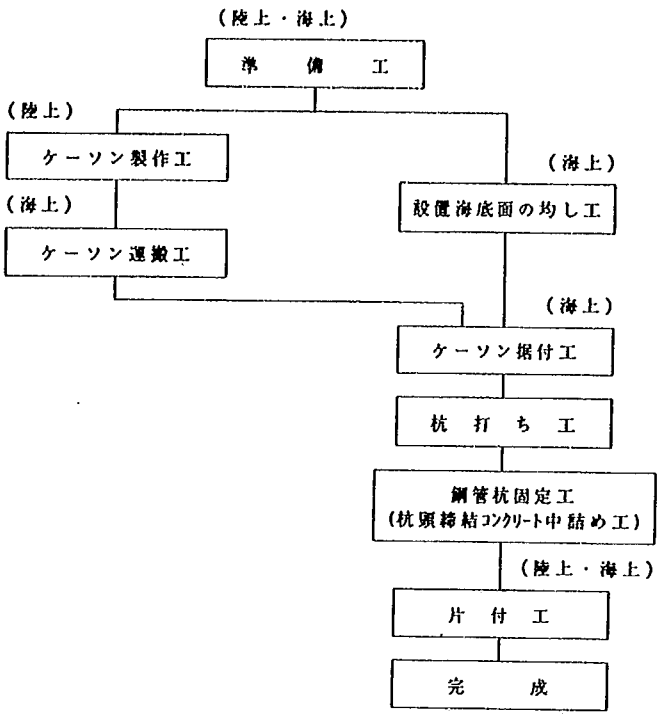
運搬したケーソンは大型起重機船で所定の位置に据え付ける。

⑤杭打ち工

ケーソン据付後バイブロハンマ（旋回起重機船）によりガイド管に沿って鋼管杭を打設する。

⑥鋼管杭固定工

鋼管杭打設後コンクリートポンプで鋼管杭とガイド管の間隙にモルタルを充填し、さらに鋼管杭にコンクリートを中詰めする。



図－11．2　施工フロー

11．3　施工方法

11．3．1　ケーソン製作工

ケーソンはガイド管および梁部材（鋼材）を組立て、これを骨格としてコンクリートを打設することにより製作する。すなわち、構造は一種の鉄骨鉄筋コンクリートとなる。したがって、ケーソン製作に先立ちガイド管を組立てる必要がある（図－11．4）。ケーソン製作のフローを図－11．5に示す。また、鉄筋コンクリートの施工は、本編「8．3　鉄筋コンクリート工」に従うものとする。

11．3．2　設置海底面の均し工

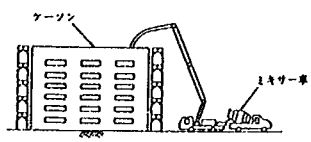
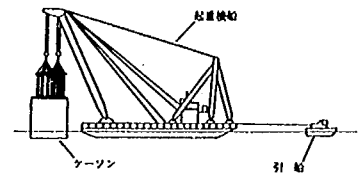
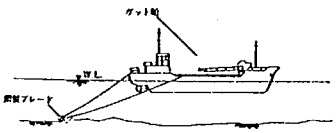
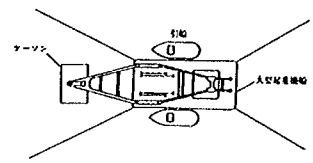
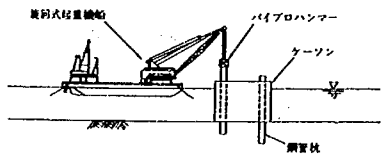
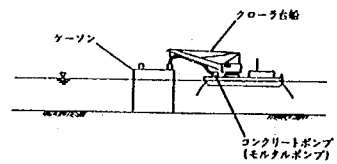
ケーソン設置場所の地盤に不陸が大きい場合は海底面の均しを行う必要がある。この場合、潜水士の指示によりガット船のグラブを用いて海底の極端な凸部を浚渫するか、あるいは極端な凹部へ土砂を投入することにより不陸をなくす（図－11．6 a））。また、高い均し精度を必要とする場合には、ガット船の船尾に鋼製のブレードを吊り下げ移動することで不陸を整形するか（図－11．6 b））、あるいは捨石等の投入、均しを行い、所定の均し精度を確保する。

11．3．3　ケーソン運搬工、据付工

ケーソン運搬工、据付工のフローを図－11．7に示す。また、各作業場所における作業内容を以下に示す。

(1)　作業基地

吊り枠をセットした大型起重機船をケーソン吊り上げ位置まで移動し、吊りワイヤをケーソンの吊り鉄筋にセットする。吊り鉄筋のセット後、ケーソンを除々に吊り上げ（図－11．8 a））、大型起重機船を移動してケーソンを水面まで巻き下げる。引船と大型起重機船を曳航ワイヤで接続し作業基地から引き出す（図

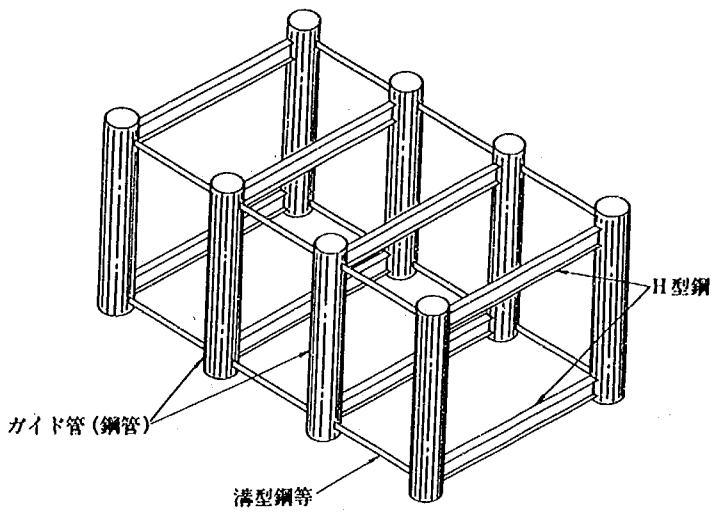
工種	①ケーソン製作工	②ケーソン運搬工
施工要領図		
主な作業内容	・ケーソン製作工（型枠、鉄筋組立、コンクリート打設）	・ケーソン吊り上げ（吊り枠、ワイヤセット） ・ケーソン運搬
工種	③設置海底面の均し工	④ケーソン据付工
施工要領図		
主な作業内容	・基面均し	・ケーソン据付（位置決め、引き寄せ据付）
工種	⑤杭打ち工	⑥鋼管杭固定工
施工要領図		
主な作業内容	・杭打設（杭積み込み、運搬、打設）	・グラウト注入（材料運搬、混練、注入） ・中詰め工（コンクリート運搬、打設）

図－11.3　施工要領

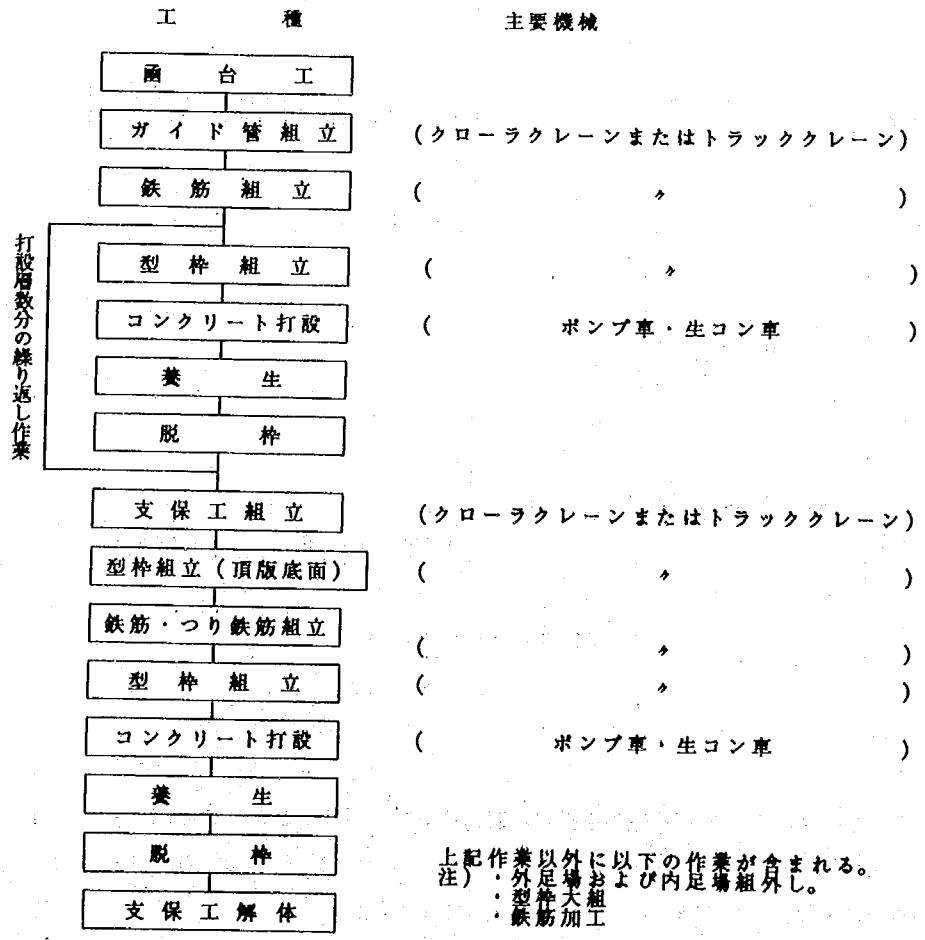
－11.8 b））。

(2)　建設地点

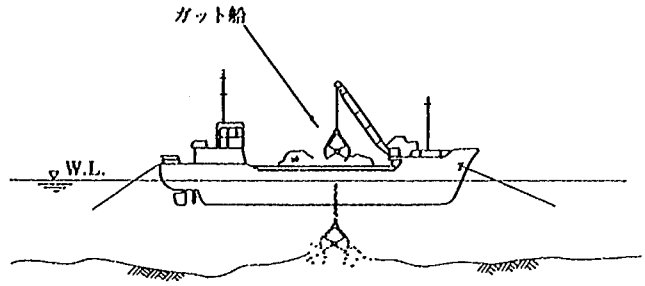
引船により曳航してきた大型起重機船を据付位置付近でアンカリングし（図－11.9）、ウインチ操作により据付位置まで移動する。据付はトランシットによる誘導に従い除々に巻き下げて行う。据付後設置状況の確認を潜水士により、吊り鉄筋からワイヤを外し据付は完了する。



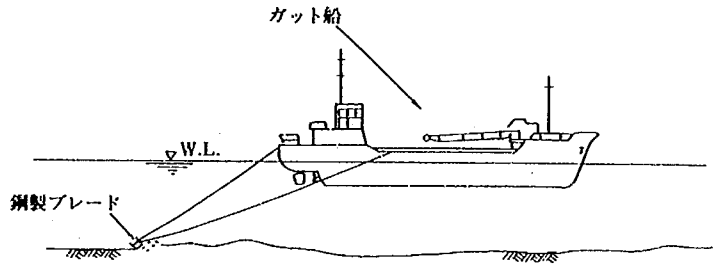
図－11．4　ガイド管組立図



図－11．5　ケーソン製作フロー

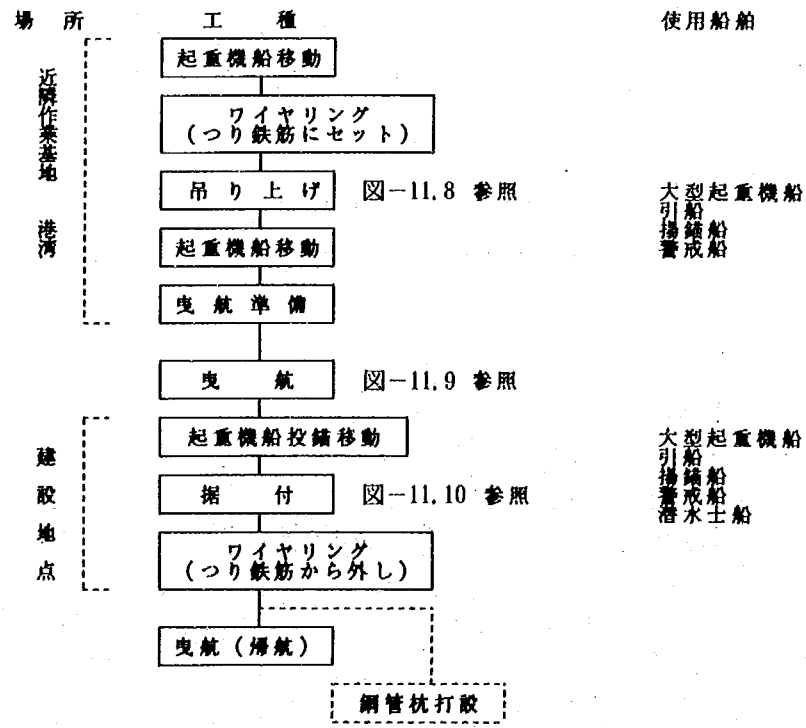


a）浚渫による整形

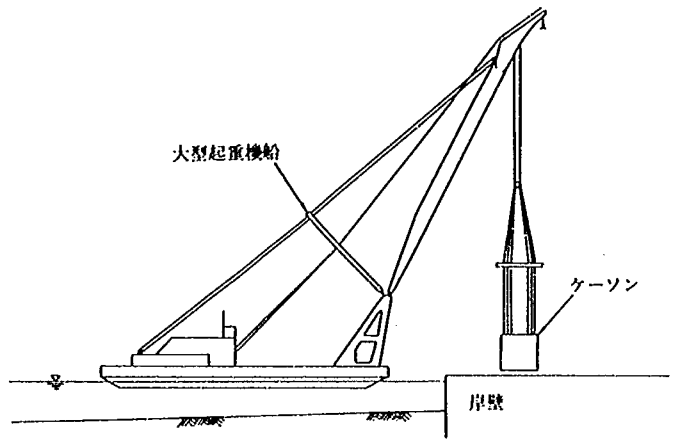


b）鋼製ブレードによる整形

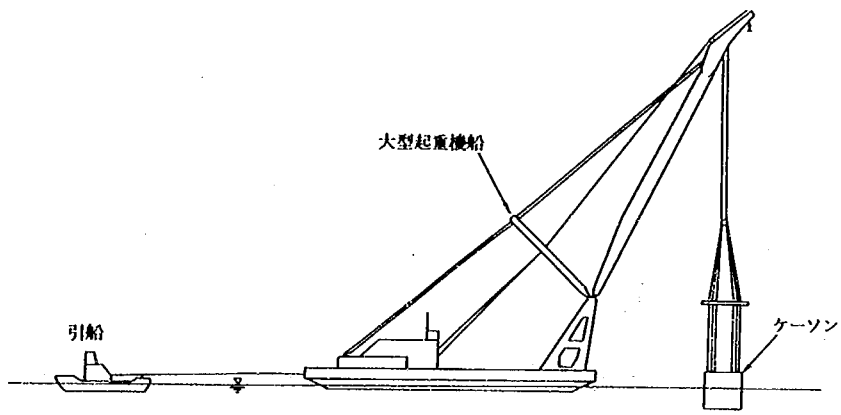
図－11．6　設置海底面の均し工



図－11．7　ケーソン運搬工・据付工フロー

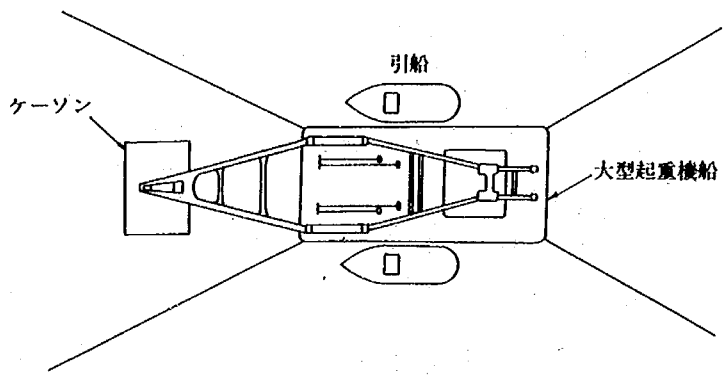


a） 吊り上げ（進水）状況



b） 運搬（曳航）状況

図－11．8　ケーソン運搬工の例



図－11．9　ケーソンの据付状況

11．3．4　杭打ち工、鋼管杭固定工

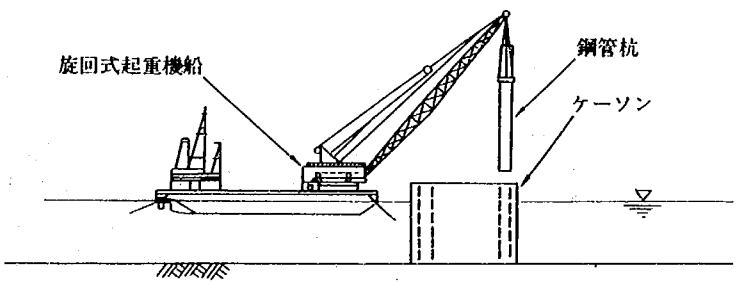
ケーソン据付後ただちに鋼管杭の打設および杭とケーソンの固定を行う必要がある。作業は鋼管杭打設、杭頭締結、杭とケーソンの間隙充填、鋼管杭中詰めの順に行う。

(1)　杭打ち工

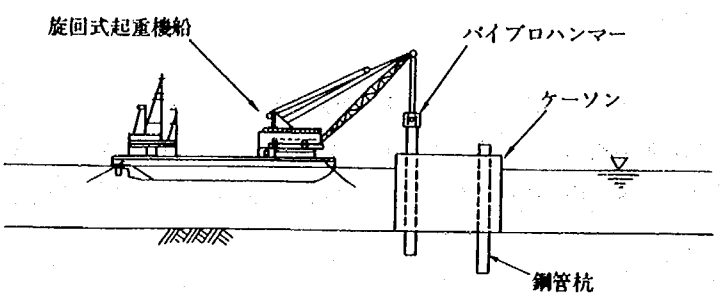
杭打ちハンマの種類としてはドロップ式、スチーム式、ディーゼル式およびバイブロ式（本編「8．1 杭打ち工」参照）があり、これらの選定に当っては鋼管杭の形状、寸法、重量、根入れ長さ等と土質、気象、海象等の自然条件を十分検討した上で決定しなければならない。ただし、砂質地盤で外洋に面した海域を想定した場合には、バイブロ式（旋回式起重機船使用、図－11．10）が有利と考えられる（表－11．1参照）。

(2)　杭頭締結

杭頭締結は鋼管杭周辺へのモルタル充填までの期間およびモルタル充填後モルタルの強度発現までの数日の間、鋼管杭とケーソンを結合しておくことを目的とする。締結にはガイド管と鋼管杭を鋼鈑で溶接接合する方法を用い（図－11．11参照）、必要な資機材はクローラ台船等にて運搬する。



a）　杭建込み状況

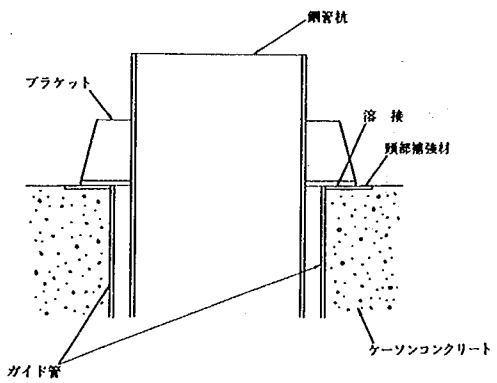


b）　杭打ち状況

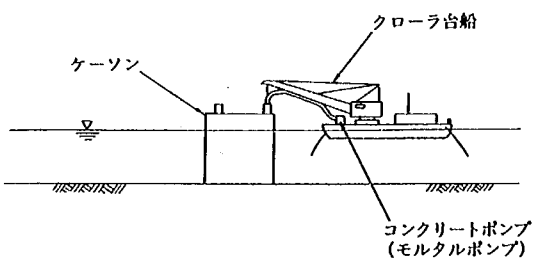
図－11．10　バイブロ式による杭打ち工

表－11.1　鋼管杭打設工法の比較表

工法名	適用性
杭打ち船工法 (ディーゼルハンマー)	・杭打ち船を（ケーソンに対して）固定する必要があり、作業限界波高は0.5m程度である。この結果稼働率が低い。 ・非旋回式であるため施工性が悪く、急速施工には不向きである。
起重機船工法 (バイブロハンマー)	・起重機船とケーソンの相対変位がある程度許容されるため、作業時の波高は1.0m程度まで許容される。 ・旋回式であるため、施工性は良い。
ＳＥＰ工法 (ディーゼルハンマー)	・ジャッキアップ後はＳＥＰ本体の動揺もなく、施工性は良い。ただし、浮遊時およびジャッキアップ時の安定性はあまり良くない。 ・汎用性の高い作業船ではなく、杭打ち工のみに拘束されるため、経済性はあまり良くない。



図－11.11　杭頭締結の一例



図－11.12　モルタル充填および鋼管杭中詰め状況図

(3)　コンクリート中詰め工

①　モルタル充填

杭頭締結後、鋼管杭とガイド管の管隙にモルタルを充填する。モルタルには、適当に膨張し、早期に強度を有し、施工時に適度の流動性があるものを使用する。モルタル充填にはモルタルポンプを使用し、吐出口は常に充填したモルタル中に維持しながら順次クローラ台船等にて吐出管を巻き上げる(図－11.12参照)。

②　鋼管杭中詰め

杭頭締結、モルタル充填後鋼管杭にコンクリートを中詰めする。コンクリート打設にはコンクリートポンプを使用しモルタル充填と同様の方法で行う。また、中詰め完了後引続き防食のために杭頭部をコンクリートでコーピングする。

11．4資機材計画

11．4．1　船舶・機械計画

本型式の施工に必要な機材はケーソン製作時等に使用する陸上機械とケーソン据付、杭打設等に使用する作業船舶とに分類できる。

使用船舶機械の選定に当っては、調達の可能性・能力を確認するとともに、船舶の場合には停泊地、避難港等の利用水域を確保する必要がある。また、設置海域までの回航計画も十分に検討しておく必要がある。一般的な使用船舶機械とその能力を表－11．2に示す。

表－11．2　主な船舶・機械の例

工　種	使用船舶機材	規格の目安	選定考慮事項
ケーソン製作工	クローラクレーン	40～50tf吊程度	・型枠重量と作業半径および必要高さ
	ポンプ車	60m³／h～90m³／h程度	・1回当りコンクリート打設量
ケーソン運搬据付工	大型起重機船	1,000～1,300tf吊程度	・ケーソン、吊り材およびワイヤー重量と必要アウトリーチ
	引　船	2,000～3,000PS程度	・曳航力および曳航速度
	揚錨船	15～25tf吊程度	
鋼管杭打設工	バイブロハンマ		・土質および杭仕様による
	旋回式起重機船	50～100tf吊程度	・バイブロハンマおよび杭重量と必要アウトリーチ
鋼管杭固定工	コンクリートポンプ モルタルポンプ		・打設量による
	クローラ台船	20～50tf吊程度	

※　水深10mを想定。

11．4．2　資材計画

本型式の施工に必要な資材は工程および仕様書に基づいて確実に納入する必要があり、搬入方法、経路、場所、保管方法等は施工計画時に十分検討する必要がある。主要資材は各工種ごとに以下のものがある。

a）ケーソン製作工

ガイド管（鋼管杭）　　型枠・支保材

鋼材（H型鋼、溝型鋼など）　　足場材

鉄筋およびつり鉄筋　　コンクリート　　その他

b）杭打ち工・固定工

鋼管杭　　杭頭締結用鋼材

コンクリート　　モルタル　　その他

以上の資材のうち海上作業(杭打ち工・固定工)に使用するものはケーソン据付後ただちに使用するので、

その調達は特に注意を要する。

11.5 仮設計画

本型式の作業基地には以下の施設が必要である。

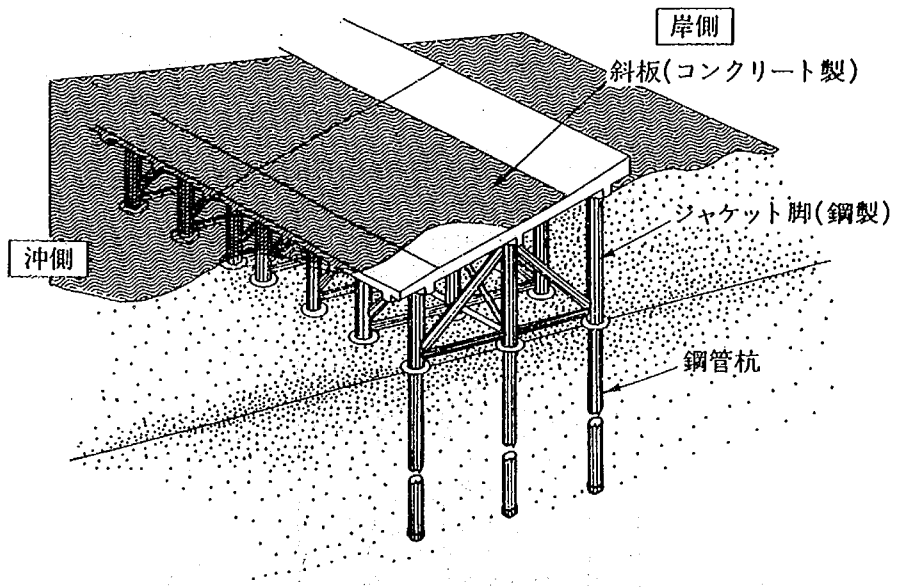
- ケーソン製作ヤード（函台、鉄筋ヤード、型枠ヤード、資材（鋼材）置場、作業通路等）
- 資材ヤード（鋼管杭等）
- 積出し施設（接岸可能な岸壁等）
- 避泊地

特にケーソン製作ヤードの製作位置はケーソンの完成後の重量が護岸（岸壁）に影響のないこと、大型起重機船の吊り上げ能力以内にあることなどをチェックして決定すべきである。

第12章　斜板ジャケット式構造物の施工

12.1　概　　要

斜板ジャケット式構造物（斜板堤）は、コンクリート製の斜板と鋼製ジャケットの脚、およびこれを海底地盤に固定する鋼管杭により構成される構造物である（図－12.1）。



図－12.1　斜板ジャケット式構造物（斜板堤）の概観

海域制御構造物は、多くの場合外洋に面した海域に建設されることから、波浪等の影響を受けることが少ないよう急速施工が可能で、かつ施工時の信頼性が確保できるものでなければならない。この点に関し、斜板ジャケット式は以下のような特徴を有する。

(1) 設置位置での海上工事が少なく、堤体据付後、主として杭打ち工、モルタル充填工のみ施工を完了できる。

(2) ジャケットと杭の接合はモルタル充填により比較的容易に行える。

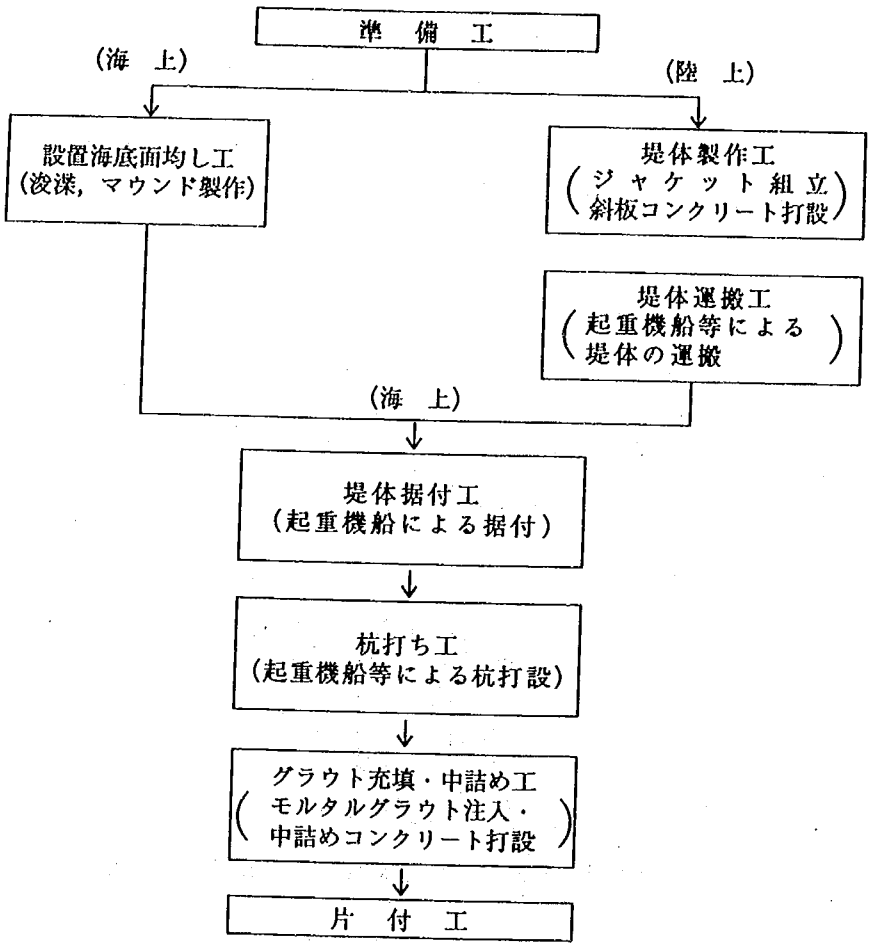
(3) 杭打設はジャケットレグ（主柱）をガイドとして利用でき、位置決めおよび建込みが容易である。

12.2　施工手順

斜板ジャケット式の施工フローを図－12.2に、施工要領を図－12.3に示す。以下に各工種の概略施工方法を述べる。

① 堤体製作工

海に面した陸上製作ヤードで、脚となるジャケットを組立てる。また、斜板コンクリートを打設し、斜板と脚が一体となる堤体を製作する。



図－12．2　施工フロー

② 設置海底面均し工

堤体設置位置の海底面をグラブ浚渫船等により均す。また、捨石マウンドを製作する。

③ 堤体運搬工

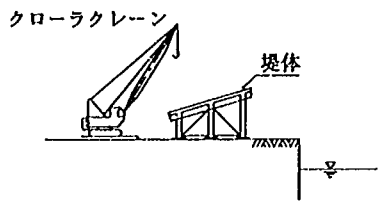
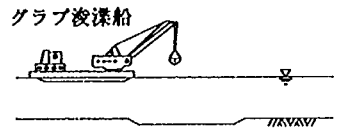
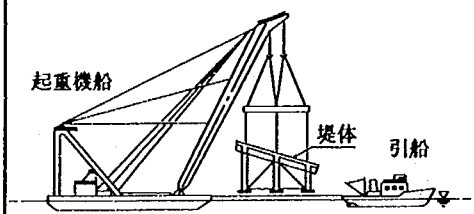
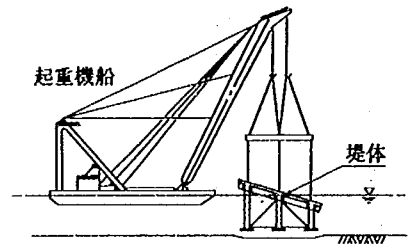
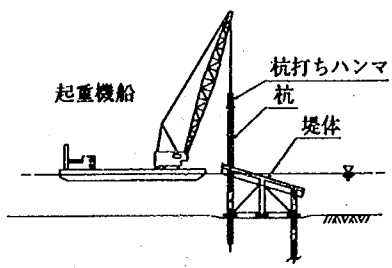
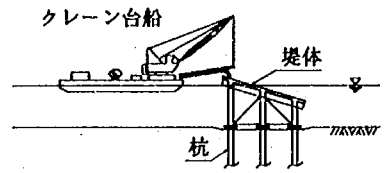
製作ヤードにおいて非航起重機船等により堤体を吊り上げ、吊った状態または台船に積載した状態で設置位置へ運搬する。

④ 堤体据付工

起重機船により運搬した堤体を所定の位置に据え付ける。

⑤ 杭打ち工

堤体据付後、ジャケットレグ内に杭を建て込んで位置決めを行い、杭を打設する。杭打設後、杭頭部を切断、整形する。

工種	① 堤体製作工	② 設置海底面均し工
施工要領図		
主な作業内容	製作ヤードで堤体を製作する。 ・ジャケット組立 ・斜板コンクリート打設	設置位置の海底面をグラブ浚渫船等により均す。
工種	③ 堤体運搬工	④ 堤体据付工
施工要領図		
主な作業内容	製作ヤードより非航起重機船によって堤体を吊った状態または台船に積載した状態で設置位置へ運搬する。（図は起重機船による堤体運搬方式）	起重機船により所定の位置へ据え付ける。
工種	⑤ 杭打ち工	⑥ グラウト充填・中詰め工
施工要領図		
主な作業内容	起重機船等により杭を打設する。	グラウト注入，中詰めコンクリートを打設する。

図－12．3　施工要領

⑥ グラウト充填・中詰め工

鋼管杭打設後、ジャケットレグ（主柱）と杭の間にグラウト（無収縮モルタル）を注入する。また、鋼管杭の海底面より上部にコンクリートを充填し、中詰めする。

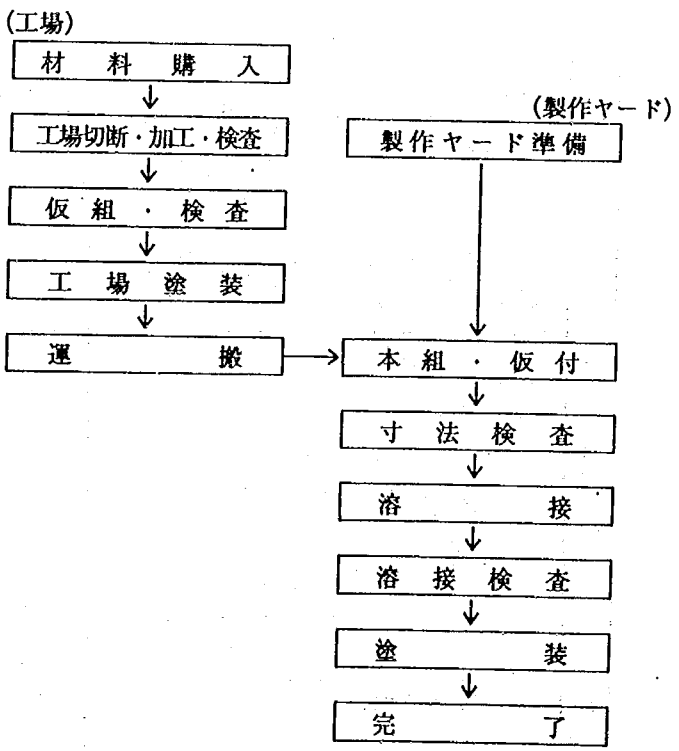
12．3 施工方法

12．3．1 堤体製作工

堤体は上陸製作ヤードで斜板と脚とが一体となるように製作する。作業は、鋼製ジャケット組立、鋼製ジャケット上部の鉄筋コンクリート製斜板の製作の順に行う。堤体の製作に当っては、堤体の向き（斜板の方向）に注意する必要がある。堤体の据付時、堤体に対して起重機船を陸側に位置させる場合には、製作ヤードでの堤体の向きは斜板の高い側を岸壁側とする。岸壁長さは起重機船を効率的に利用するために、据付予定の全ての堤体が岸壁際に並べられる長さがあることが望ましい。充分な岸壁長さがヤードに確保できないときは、①堤体製作基数を分割して据付を複数回に分ける、②堤体を岸壁に平行に2列以上で製作し、岸壁まで移動させる、③堤体を台船等の浮体上で製作することにより不足岸壁長を補う、等の対策をとる。堤体の主構成部材である脚（鋼製ジャケット）および斜板（鉄筋コンクリート製板）の施工方法について以下に述べる。

(1) 鋼製ジャケット製作

鋼製ジャケット製作の作業フローを図－12．4に示す。図の左半分は工場での製作・加工作業を示す。



図－12．4 鋼製ジャケットの製作フロー

a） 本組立

鋼製ジャケットの本組立は、平組みしたあと、横断方向の脚をその構面を起して立体組をする方法を標準とする。ジャケットの各部材は、一旦仮溶接して寸法、ねじれ変形、溶接箇所のルート間隔の検査を行い、本溶接を行う。ジャケットの変形を防止するためには、組立用定木（基礎）の沈下ジャケットの対策を行う必要がある。

b） 溶接・検査

溶接は、有資格者により行わなければならない。また、溶接作業は次の点に留意して良好な条件で行わ

なければならない。

① 風雨時（風速は10m／s以上）または低温時は風、雨よけ等の対策を行う。

② 溶接部の塗装・油・スラグなどを丁寧に除去する。

③ 感電事故を防止する。

溶接部分は、外観検査（外的欠陥の判定）、超音波深傷試験（JIS Z 3060）および放射線通過試験(JIS Z 3104）により検査する。

(2) 鉄筋コンクリート製斜板の製作

斜板の製作は本編「8．3 鉄筋コンクリート工」を参照し、以下の順に行う。

a） 支保工・型枠工

地表に立てた支柱あるいは鋼製ジャケットに支保工けた材を支持させ、これにより小ばり、支柱を支持する等の方法をとる。型枠は、完成したコンクリート構造物の形状寸法を正確に保つため充分な強度を有するものとし、モルタルが漏れないように据え付ける。

b） 鉄筋工

本編「8．3 鉄筋コンクリート工」の鉄筋組立の項を参照する。鉄筋に当ってコンクリートのかぶり確保は鉄筋の防食上重要であるから、指定されたかぶりを確実に確保できるようスペーサー等を使用して施工する。

c） コンクリート打設

本編「8．3 鉄筋コンクリート工」のコンクリート打設の項を参照する。この構造体では特にコンクリートの打設量が大きくなるので、打設計画に従って材料の分離防止、コールドジョイント防止等に注意する。鋼製ジャケットレグの被覆コンクリートも同時期に打設する。

d） 養生

コンクリート打設後の養生は、湿潤養生（湿布等）もしくは膜養生（樹脂剤の散布による被膜形成等）等により行う。

e） 支保工、型枠撤去

鉄筋コンクリート板の支保工、型枠取り外し時期は表－12．1を目安とする（表中の日数はコンクリート打設後の日数)。

表－12．1 型枠取り外し時期の目安

最低気温	使用セメントの種類	柱および壁	斜板およびはり下
5℃以上	普通ポルトランドセメント	5日	11日
	早強ポルトランドセメント	3日	8日
18℃以上	普通ポルトランドセメント	4日	9日
	早強ポルトランドセメント	2日	6日

（表中の日数はコンクリート打設後の日数）

12．3．2　設置海底面均し工

設置海底面均し工は位置出し、浚渫および均し、マウンド用の捨石投入、荒均し、遺方設置、本均しより成る。位置出しでは、海上測量台等を設置して堤体設置位置を計測する。標識ブイ等を設置した後に、浚渫等により設置位置付近の海底面の整形を行う。浚渫および砕石マウンド製作にはグラブ浚渫船、ガット船等を使用する。捨石投入に際しては投入範囲を標識ブイ等により表示して投入する。マウンド荒均しはグラブ船等のバケットおよびダイバーのウォータージェット等の使用により行う。マウンド本均しは本編「8．2捨石工」と同様の要領によりダイバーが遺方（杭、貫材）、定規を使用して行う。

12．3．3　堤体運搬工

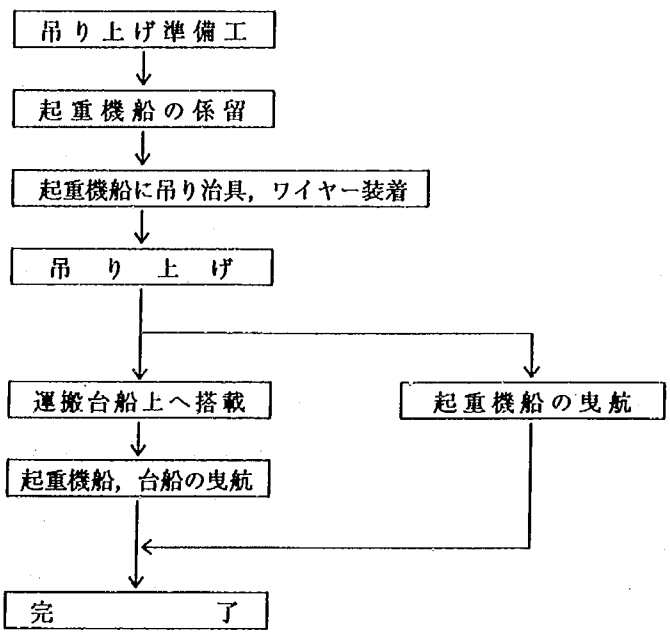
堤体運搬工の作業フローを図－12．5に示す。岸壁際で製作された堤体を設置位置まで運搬する方法には次の方法がある。

① 起重機船で堤体を製作ヤードから吊り上げ、堤体を吊った状態で引船により設置位置まで運搬する方法(図－12．6参照)。

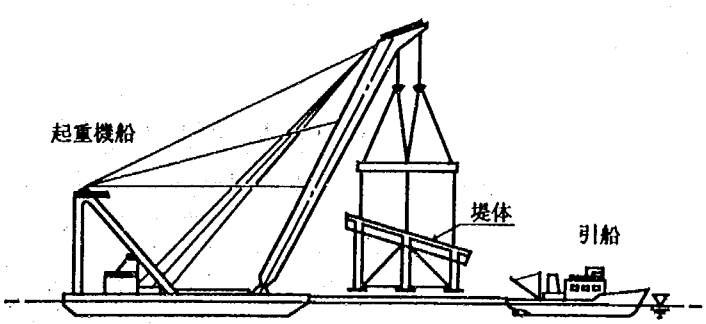
② 起重機船で堤体を製作ヤードから吊り降し、台船に堤体を乗せて曳航する方法(図－12．7参照)。

起重機船による運搬方法は製作ヤードから設置場所までの距離が短く、海域の波浪等の条件がそれほど問題とならないときに適する。

堤体を起重機船で安全に吊り上げるためには、吊りワイヤーの荷重を均等にするよう吊り治具を使用する。起重機船の能力選定は吊り上げる時の堤体の重量に吊り治具重量を加えた荷重に余裕を考慮して決定する。また、堤体を運搬する前に、航路を充分に検討する。



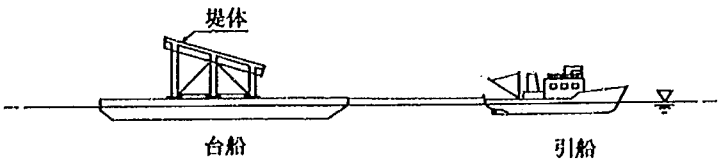
図－12．5　堤体運搬工の作業フロー



図－12．6　起重機船による運搬方式

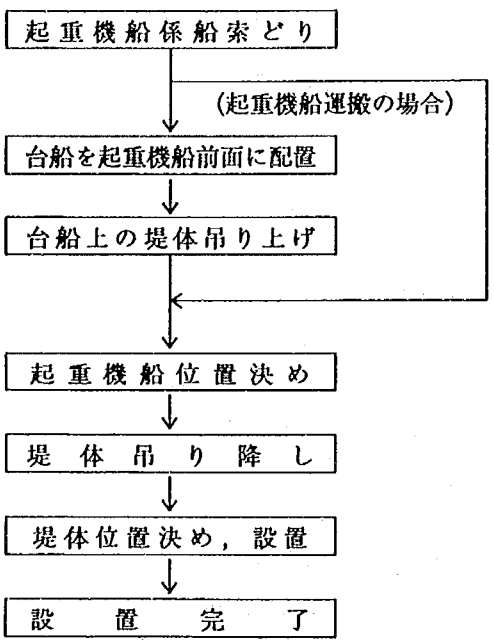
12．3．4　堤体据付工

堤体据付工の作業フローを図－12．8に示す。堤体据付は起重機船により行う。据付時の起重機船の配置を据付堤体の海側にするか陸側にするかは、海底地形、近隣の構造物、航路等を考慮して決める。



図－12．7　台船による運搬方式

1基目の堤体の据付時には、陸上もしくは仮設海上測量台に設置したトランシット、レベル、仮設導材等により据付位置を確認する。2基目以降の堤体は、隣接する設置済堤体に導材をつけ、平面的な位置が決定できるようにして順次据付を行う。起重機船により堤体を吊り降し、設置後高さ、水平度を確認して据付を終了する。起重機船による堤体据付例を図－12．9に示す。据付終了後、吊りワイヤーの取りはずし作業のうち水中部分はダイバーにより行う。



図－12．8　堤体据付工の作業フロー

12．3．5　杭打ち工

杭打ち工は、本編「8．1　杭打ち工」に述べられた諸事項に基づき計画する。以下に本型式特有の事項について述べる。作業は、杭打ち船の係船索どり、ハンマ装着、杭積載台船配置、杭の建込み、杭打設、杭頭切断の順に行う。

鋼管杭は、ジャケットレグ（主柱）に杭を建込み、ジャケットレグをガイドとして打設する。杭の打設は、四隅の杭4本を先行させて、順次残りの杭を打設する順序を標準とする。

杭打設用ハンマはディーゼルハンマ、バイブロハンマー、スチームハンマ等から選定する。本型式における杭打設の特殊条件として、斜板中央部の杭の場合は、杭打ち船が杭打設位置に近づけないので、一般に起重機船を使用した吊りハンマ方式が効率的である。また、設置した堤体の陸側に杭打ち船を配置することにより、打設作業に与える波浪の影響を小さくすることができるので、この点からも吊りハンマ方式による打設が有効である。杭打設終了後、斜板上にある杭を切断する。杭頭の切断はクレーンで杭頭を吊りながら行う。

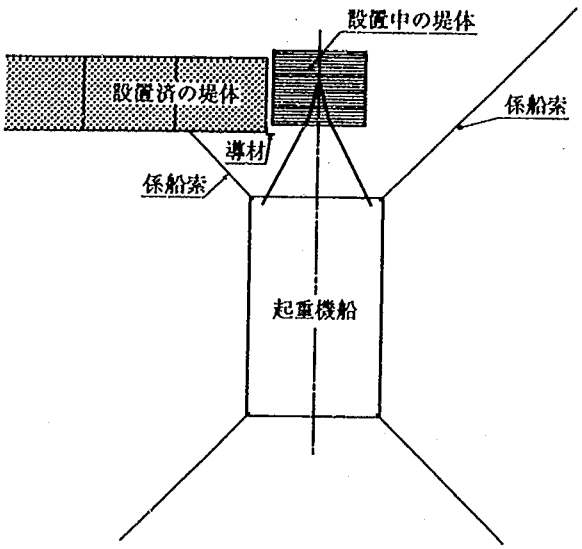
12．3．6　グラウト充填・中詰め工

グラウト充填、中詰め工は、台船艤装、レグ（主柱）の底部シール、モルタル注入、杭内底蓋設置、杭内コンクリート中詰めより成る。

ジャケットレグ（主柱）と杭の間に無収縮モルタルを注入充填し、杭とジャケットを一体化する。また、

杭の内側をコンクリートで中詰め充填する。無収縮モルタル注入に先き立ち、モルタルが流出しないようにレグ（支柱）の底部のすき間をシール剤等で塞ぐ。堤体が充分な重量をもつので通常は杭とジャケットの仮付等による固定は不要である。

モルタル注入は、作業船上に設けられたモルタルミキサーによってモルタルを製作しグラウトポンプにより注入パイプ中を圧送することにより行う。このための作業船にはセメクトサイロ、計量器、ミキサーグラウトポンプ、クレーン、水タンク、骨材置場等を設けるものとする。注入時は注入パイプの先端が常に1m以上モルタル表面より下にあるように調整する。



図－12．9　起重機による据付例

杭のコンクリート中詰めに際しては、コンクリート打設に先き立ち杭内に吊り底蓋を設置し、トレミー管によりコンクリートを打設する。このための作業船にはコンクリートミキサープラント設備とクレーン、コンクリートポンプ等を設ける。

12．4　資機材計画

12．4．1　船舶・機械計画

機材計画の目的は、工事の要求する諸条件に機材を適合させるとともに、機械化施工による工事の安全、品質の向上、工期の短縮および原価の低減を図ることにある。本型式の施工に必要な主要船舶・機械の一例を表－12．2に示す。以下に工事に必要な機械の能力容量の選定についての考え方を示す。

(1)　起重機船

堤体据付用の起重機船の選定は次の要素を考慮して行う。

a）吊り荷重

堤体、吊り治具の重量、他に工事上想定される荷重を検討する。

b）アウトリーチ

堤体吊り上げ、吊り降し時の堤体位置により必要なアウトリーチ。具体的には堤体製作ヤードの配置等により検討する。

c）揚程

堤体高さ、吊り治具、ワイヤー部分の高さ、製作ヤードの地盤高さより検討する。

表－12．2　主要な船舶・機械の例

工　種	船舶・機械名	規格の目安	台数	摘　要
堤体製作工	トラッククレーン	15～25tf吊り	1	支保工,型枠,鉄筋等
	トラッククレーン	35～45tf吊り	2	ジャケット組立等
	ポンプ車	45m³／hr	1	コンクリート打設
	トラック	4tf～10tf積	2	
設置海底面均し工	グラブ浚渫船	2m³～6m³	1	浚渫，マウンド製作
	土運船	200m³	1	浚渫土運搬
	台船	200tf積	1	マウンド材運搬
	引船	180～300ps	2	浚渫船,土運船,台船
	潜水士船	ダイバー二人用	1	マウンド均し
堤体運搬工および堤体据付工	トラッククレーン	45tf吊り	1	陸上補助
	非航起重機船	1500～2500tf吊り	1	運搬，据付
	引船	1000～4000ps	2	〃
	揚錨船	360～480ps	1	〃
	交通船	180ps	1	〃
杭打ち工	自航起重機船	ジブ旋回式100～150tf吊り	1	杭打ち
	バイブロハンマ	60～90KW	1	〃
	発電機	200～300KVA	1	〃
	台船	500tf積	1	杭運搬
	引船	250～500ps	1	台船曳航
グラウト充填中詰工	クレーン台船	200tf積，25tf吊り	1	
	引船	180ps	1	台船曳航
	潜水士船	ダイバー二人用	1	グラウト注入
	コンクリートポンプ		1	コンクリート中詰用
	コンクリートミキサ		1	〃
	グラウトポンプ		1	グラウト注入
	グラウトミキサ		1	〃
	発電機	125KVA	1	ポンプ，ミキサ用

（注）本表は水深約10mを想定した場合の例である。

(2)　杭打ち船

ハンマのタイプ、能力が決定されて打設方式（吊りハンマ方式あるいはリーダー方式）が決まれば、必要な起重機船、杭打ち船の大きさ、能力が決まる。一般に杭打ち船と巻上げ力の関係は次の通りである。

起重機船の場合　$\dfrac{\text{巻上げ力 (tf)}}{\text{排水トン (tf)}} \fallingdotseq \dfrac{1}{5} \sim \dfrac{1}{6}$

杭打ち船の場合　$\dfrac{\text{巻上げ力 (tf)}}{\text{排水トン (tf)}} \fallingdotseq \dfrac{1}{10}$

起重機船のアウトリーチと揚程、杭打ち船のリーダー高さは主として杭の長さにより決定される。

表－12．3　主要資材の例

本工事用資材	仮設用資材
鉄筋 コンクリート ジャケット用鋼材 杭 モルタル 中詰コンクリート 電気防食用資材 吊りピース等の金物 砕石等の海底均し用資材	支保工材 型枠材 海上測量台 位置出し用導材 ジャケット組立用定木 堤体吊り治具

12．4．2　資材計画

工事に使用する資材の多くは注文生産品であり、施工時期を充分注意して入荷するようにする必要がある。そのため、工程計画に照し合わせて資材の調達計画を立てる必要がある。

本型式の施工に必要な主要資材の一例を表－12．3に示す。コンクリートを付近の生コンプラントより調達することができないときは、セメント・骨材等を購入して仮設用のコンクリートミキサーにより生産する。また、設計で定まる資材の仕様、数量により資材計画を立て、工事に遅れをきたさないよう入荷を図ることが重要である。

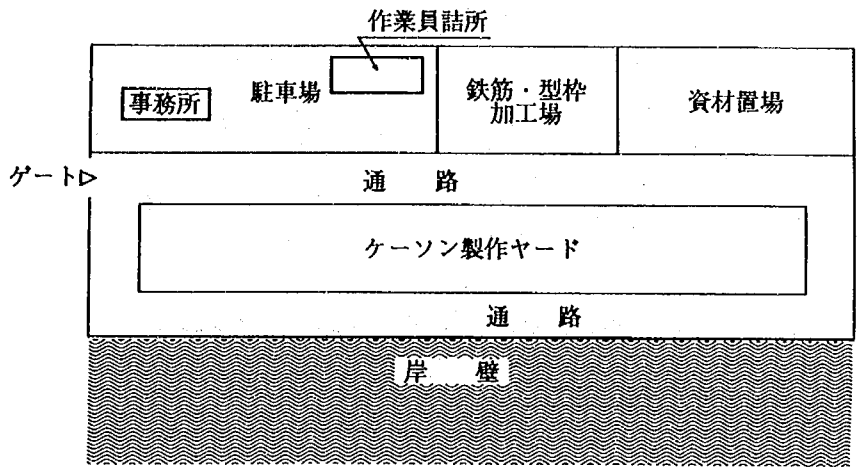
表－12．4　主な仮設設備の例

直接仮設設備	間接仮設設備
工事用道路，舗装 ヤードクレーン 定木等の堤体仮設基礎 岸壁，桟橋 支保，足場工 材料置場 電力設備 給水設備 堤体吊り治具	現場事務所 各種倉庫 車庫，駐車場 建設車輌置場 コンプレッサ等の機械室 鉄筋加工小屋 型枠下拵え小屋 宿舎 厚生施設 輸送車

12．5　仮設計画

本型式の施工に必要な主要仮設設備の例を表－12．4に示す。直接仮設設備と間接仮設設備の区分は場合により多少異なるが、大まかな目安として本工事施工のために直接必要なものを直接仮設とした。仮設設備は例として示したもので施工方法により変化するものである。たとえば生コンクリートを外部から購入できない場合はコンクリートミキサープラントを仮設設備として採用することになる。一例として堤体製作ヤードのレイアウトを図－12．10に示す。

ジャケット組立用定木あるいは堤体製作用の基礎は、製作ヤードの地盤条件により構造を充分に検討する必要がある。特に製作ヤードの岸壁（護岸）に関しては、堤体重量により円弧すべり、法線のはらみ出し、沈下等が発生しないかどうか十分検討し、必要であれば対策をとるものとする。

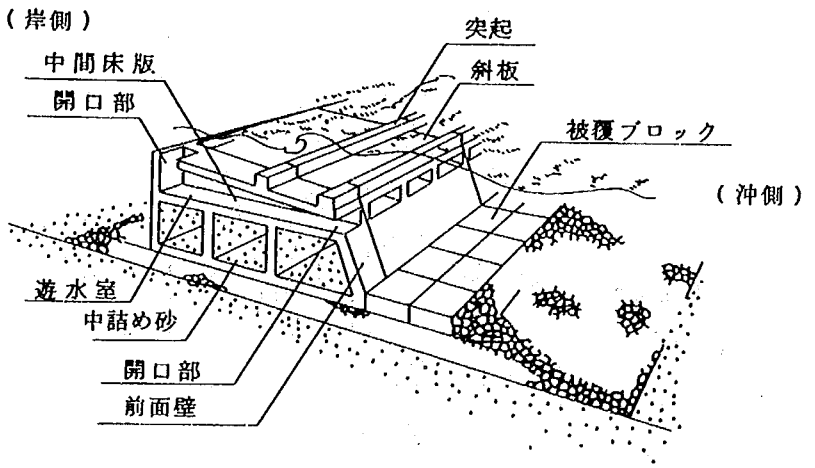


図－12．10　製作ヤードレイアウトの一例

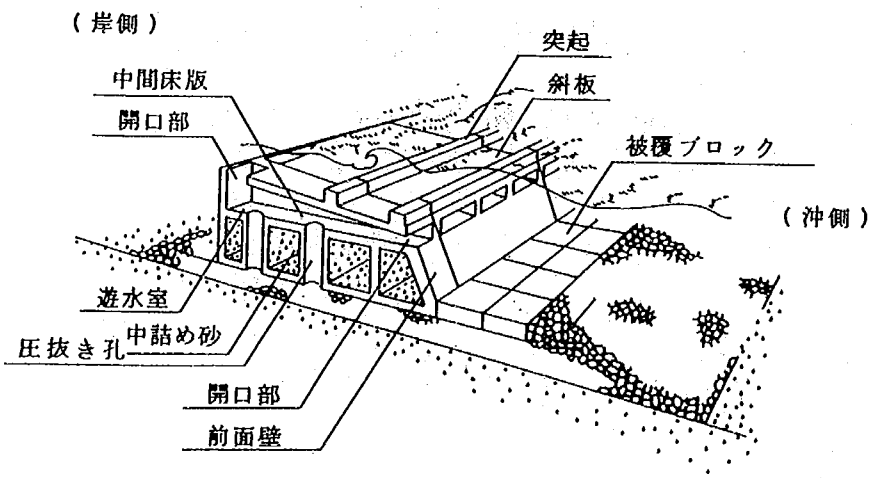
第13章　斜板ケーソン式構造物の施工

13．1　概要

斜板ケーソン式構造物（斜板消波潜堤）は、捨石マウンドとコンクリートケーソンで構成される没水型の重力式構造物である（図－13．1）。その施工方法は、陸上ヤード等で製作されたコンクリートケーソンを起重機船等で運搬した後、あらかじめ海中に設置した捨石マウンド上に据え付けるものである。



a）　標準型

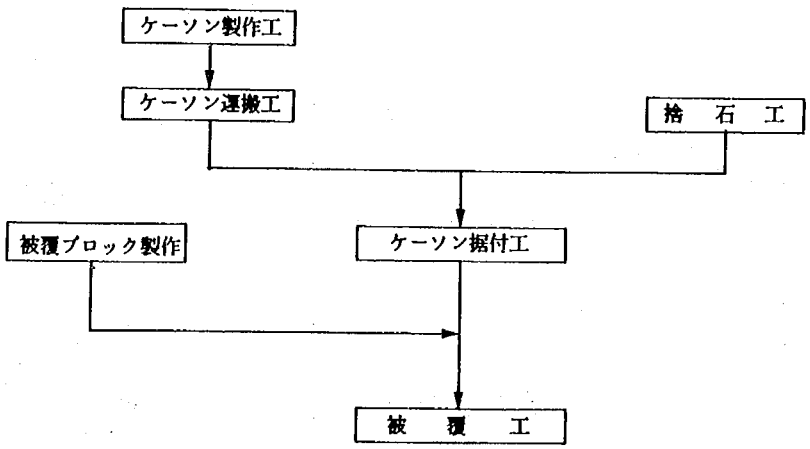


b）　圧抜き型

図－13．1　斜板ケーソン式構造物（斜板消波潜堤）の概観

13．2　施工手順

本型式の基本的な施工フローを図－13．2に示す。施工フローのうちケーソンの中詰め工は、進水・運搬方法などからケーソン製作中に行う場合と、ケーソン据付後に行う場合とがある。前者では中詰め重量を考慮しても合理的な施工が可能である。一方、ケーソンを浮上運搬する場合には、進水前に中詰めを行うとケーソンが浮上しなくなるので、後者の方法となる。いずれの方法にするかはケーソンの規模や施工条件を十分検討して決定する必要がある。



図－13．2　基本的な施工フロー

基本的な施工方法の例として、a)ケーソンを起重機船で吊り上げて運搬する場合の施工要領を図－13．3に、b)ケーソンを浮上させ引船を用いて運搬する場合の施工要領を図－13．4に示す。以下に、主な作業内容を述べる。

a）　起重機船でケーソンを吊り上げて運搬する場合

① ケーソン製作工（下部工）

ケーソン製作ヤードで中間床板下端までコンクリートを打設し、中詰め材を投入する。

② ケーソン製作工（上部工）

中間床板より上部の躯体コンクリートを打設する。

③ 捨石工

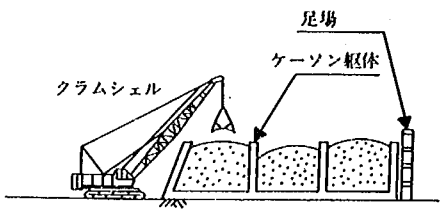
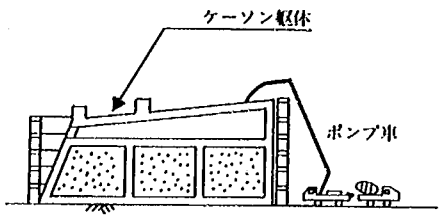
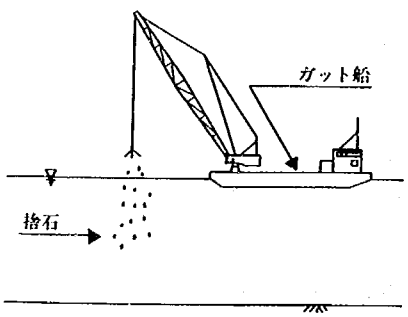
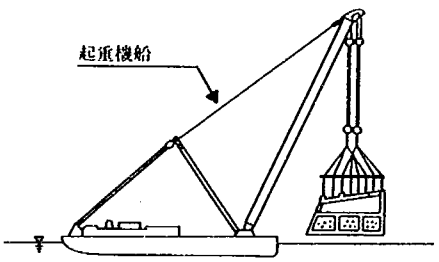
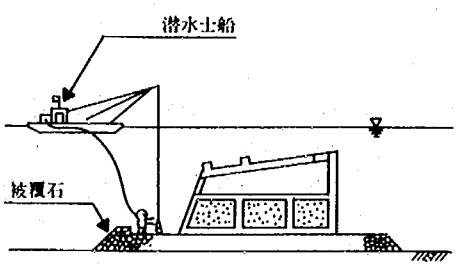
ガット船により捨石を投入し、潜水士により均しを行う。

④ ケーソン運搬工・据付工

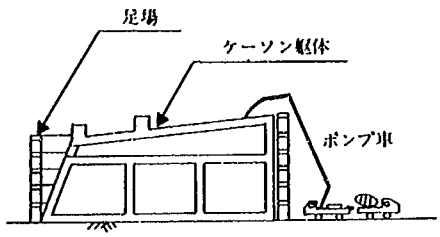
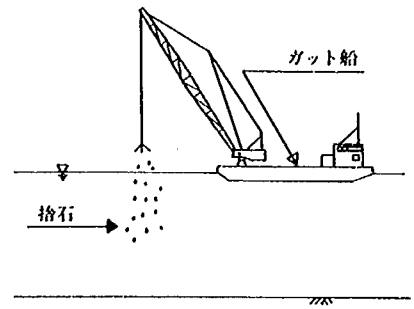
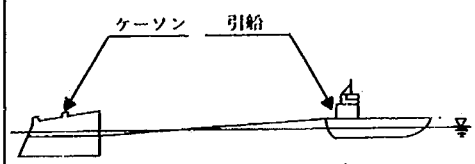
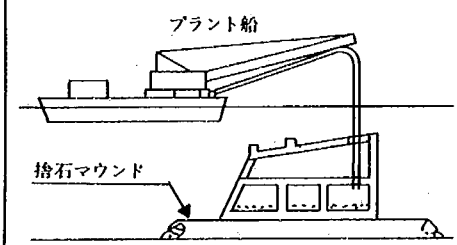
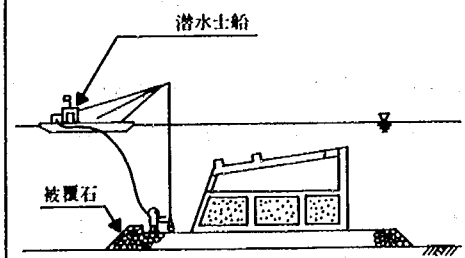
起重機船でケーソンを吊り上げて設置場所まで運搬し沈設する。

⑤ 被覆工

潜水士によりマウンド上に被覆ブロック・被覆石を据え付ける。

工種	① ケーソン製作（下部工）	② ケーソン製作（上部工）
施工要領図		
主な作業内容	ケーソン下部のコンクリート打設。中詰め砂を投入する。	ケーソン上部のコンクリート打設。
工種	③ 捨石工	④ ケーソン運搬工・据付工
施工要領図		
主な作業内容	ガット船により捨石を投入し、潜水士により均しを行う。	起重機船でケーソンを吊り上げて設置場所まで運搬し沈設する。
工種	⑤ 被覆工	
施工要領図		
主な作業内容	潜水士によりマウンド上に被覆ブロック・被覆石を据え付ける。	

図－13．3　吊り上げ運搬方式の施工要領

工種	① ケーソン製作	② 捨石工
施工要領図		
主な作業内容	ケーソン製作ヤードで躯体コンクリートを打設する。	ガット船により捨石を投入し、潜水士により均しを行う。
工種	③ ケーソン運搬工	④ ケーソン据付工・中詰め工
施工要領図		
主な作業内容	ケーソンを進水し据付場所まで引船等を用いて運搬する。	運搬したケーソンを所定の位置に沈設し中詰めを行う。
工種	⑤ 被覆工	
施工要領図		
主な作業内容	潜水士によりマウンド上に被覆ブロック・被覆石を据え付ける。	

図－13．4　浮上運搬方式の施工要領

b） ケーソンを浮上させ引船を用いて運搬する場合

① ケーソン製作工

ケーソン製作ヤードで躯体コンクリートを打設する。

② 捨石工

ガット船により捨石を投入し、潜水士により均しを行う。

③ ケーソン運搬工

ケーソンを進水させ据付場所まで引船等を用いて運搬する。

④ ケーソン据付工・中詰め工

運搬したケーソンを所定の位置へ沈設し、中詰めを行う。

⑤ 被覆工

潜水工によりマウンド上に被覆ブロック・被覆石を据え付ける。

13．3 施工方法

13．3．1 ケーソン製作工

本型式はコンクリート製ケーソン構造物であるため、従来のコンクリートケーソンと同様の施工方法が考えられる。本型式の施工方法を検討する際に留意すべき構造上の特徴は次のとおりである。

① 完全に没水した構造物である。

② 前面上部と斜板に開口部を有する大きな遊水室がある。

③ 岸沖方向が非対称形である。

以上のように、一般のケーソンに比べるとやや複雑な構造であるため、ケーソンの製作は場所打一体製作方式によることが望ましい。この製作方式によれば、接合が複雑であっても構造物としての一体性の確認が比較的容易である。ただし、プレキャスト製作方式によっても一体性が十分に確保できる場合にはこの方式でもよい。また、ケーソンの製作方式は、現場付近で使用できる設備、大型起重機船や浮ドックの回航、ケーソン長距離運搬の必要性等を考慮して、経済性、施工性について十分検討し選定する。

a） ケーソン製作ヤード

ケーソンの製作には広い用地と設備を必要とするが、陸上ヤードで製作できない場合はフローティングドック等を採用する場合が多い。また、ケーソンの製作場所と運搬方法との関係を図－13．5に示す。

b） 函台

函台は通常何回も使用するものであり、かつケーソン底部のコンクリートの打設場でもあるので、平坦でケーソンの荷重に対して十分な耐力をもつ必要がある。また、進水に際してケーソン底部と函台の付着力が問題にならないよう完全に絶縁しておく必要がある。絶縁材には、ルーフィングペーパー、ベニア板等が用いられる。

c） ケーソン製作

ケーソンの製作は、一般に数段に分けて行う。1段の高さは、型枠の構造、鉄筋組立作業やコンクリート打設量等によって決められる。通常、壁部では1層の打設高さは3m以下とされている。また、ケーソ

ンの天端には、吊り上げや曳航、据付に必要なワイヤーロープなどの取付け金具を埋め込む。鉄筋コンクリート工の一般的な事項については、本編「8．3　鉄筋コンクリート」に準じる。

ケーソン躯体の製作は次の順に行う（図－13．6参照）。

① 函台工

絶縁材等を準備し、取り付ける。

② 底板工

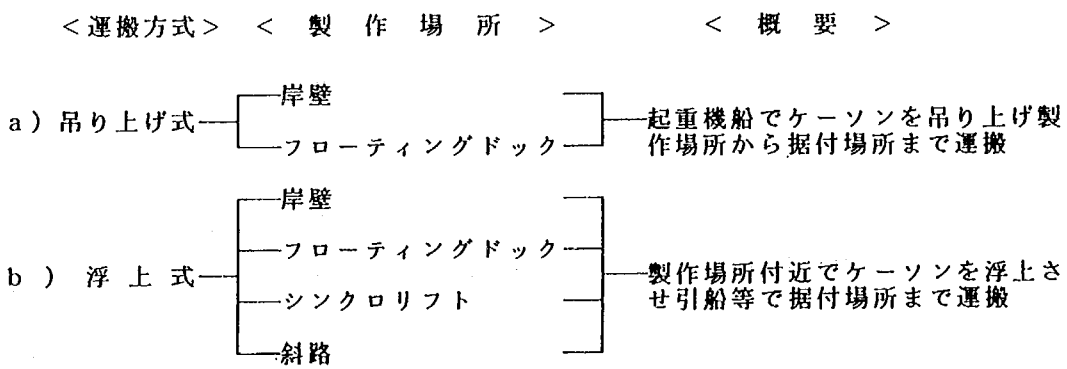
ケーソンの底板コンクリートを打設する。

③ 下部壁工

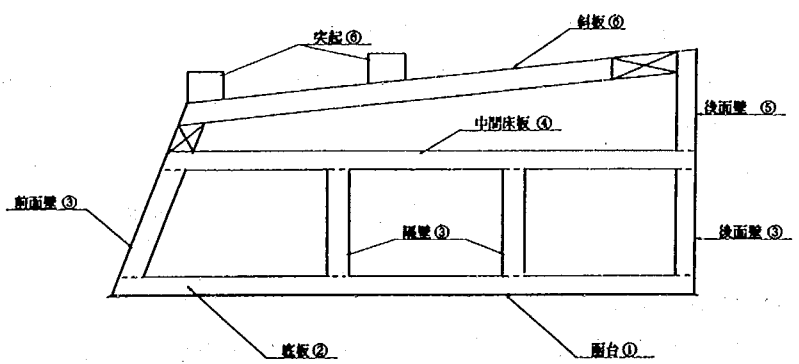
中間床板より下部の壁（前面壁、側壁、隔壁、後面壁）のコンクリート打設を行う。

④ 中間床板工

中間床板のコンクリートを打設する。



図－13．5　ケーソンの製作場所・運搬方法



図－13．6　ケーソンの製作順序

⑤ 上部壁工

中間床板より上部の壁（側壁、隔壁、後面壁）のコンクリート打設を行う。

⑥ 斜板工

斜板および突起のコンクリート打設、吊り金具の取り付けを行う。

13.3.2 ケーソン運搬工

ケーソンの運搬方法は製作場所と合わせて検討する必要があり、図－13.5に示した方法に大別される。運搬工は、ほとんどの場合に据付等との連続した作業工程にある。したがって、気象海象条件とともに、運搬工に必要な時間に加えて次工程に要する時間も考慮して、連続して静穏な状態が予想されるときに運搬を行う。また、ケーソンを浮上させて運搬する場合は、運搬に先立ち進水作業を行う。

(1) ケーソン進水

進水はケーソンが重量物であることから入念な準備と確実な作業を必要とする。進水方法は、製作方法と併せて経済性や施工性について十分検討して選定する。

a） 進水時期

ケーソンのコンクリートが所定の強度に達すれば進水できるが、継続して施工するケーソンの製作工程や捨石工等の関連する工程を検討して進水時期を決定する。また、工程のなかで進水から据付までに期間がある場合は仮置を検討する。

b） 進水準備

本型式は、非対称形であることから、きっ水調整のためバラスト等の検討と対策が必要である。また、進水中の事故防止のために使用機器の点検・整備を綿密に行う必要がある。

c） 安定条件

ケーソンを浮上させて曳航する場合、その安定性が重要である。ケーソン浮上時の安定条件を以下に示す。

$$I/V-\overline{CG}=\overline{GM}>0 \qquad (13.1)$$

ここに、V：排水容積、I：きっ水面の長軸に対する断面2次モーメント、$\overline{CG}$：重心と浮心の距離（重心が浮心より上にあるとき$\overline{CG}>0$とする）、$\overline{GM}$：傾心と重心の距離である。安全のため$\overline{GM}$はきっ水の5％以上にすることが望ましい。

d） 進水方法

代表的な例として、①起重機船を使用し吊り降ろす方法と、②フローティングドックによる方法について示す。

① 起重機船を使用し吊り降ろす方法

ケーソンの吊り降ろしには吊り枠を使用するのが原則であり、水平の状態で吊り降ろす。起重機船の能力は、ケーソンの重量のほかに吊り枠等の重量も加算し、十分余裕のあるものを選択する。吊り枠は構造計算に基づき設計し、安全性を確認しておく。

本型式は、天端に傾斜があるため、各々の吊りワイヤロープに荷重が均等に分散するよう、ワイヤーロープの長さには十分注意する必要がある。

② フローティングドックによる方法

ドックが水平を保つよう各室の注水量を調整しながらドックを沈降させ、ケーソンを浮上させる。ケーソン浮上時、ケーソンがドック側壁または相互に接触しないようケーソンにロープまたは緩衝材を取り付けておく。また、ドックの沈降およびケーソンの浮上に伴うロープの弛みは常に調整し、ドック本体に移動が起こらないよう十分注意して作業を進める。

(2) ケーソン運搬

a） 吊り上げ式

起重機船によりケーソンを吊り上げて、製作場所あるいは仮置き場所から設置場所まで運搬する方法である。比較的大型の起重機船が必要となるが、設置場所に到着し係船した後、直ちに据付作業を行える利点がある。

ケーソンの吊り上げには、起重機船を使用し吊り降ろす進水方法と同様の注意が必要である。本型式1体当りの重量は1,000～3,000tf程度になると考えられるので、起重機船や引船はこの重量に見合ったものを選定する必要がある。

b） 浮上式

ケーソンを浮上させて運搬する方法は、大別すると①大回しをかける方法、②曳航環をつける方法、③起重機船を使う方法、④押船を使う方法の4種類がある（図－13．7）。③、④の方法は、一般に曳航距離が小さくて静穏な場合に使われ、①、②は長距離を曳航する場合に有効である。引船、押船や起重機船の規模、能力あるいは曳航ロープの太さ等はケーソンの重量や容積等を考慮し適切なものを選択する。

中詰め材等の投入のための開口部を有する場合は、ケーソンの各室内に浸水しないような措置を講じておく必要がある。また、ケーソンには、海上衝突予防法等の法規に基づく灯火、形象物を設置する。このほかに排水ポンプ、発電機、据付用ウィンチなどを設置することもある。曳航用ワイヤの取付位置は、ケーソンのきっ水以下で、浮心付近の高さに取り付けることが望ましい。

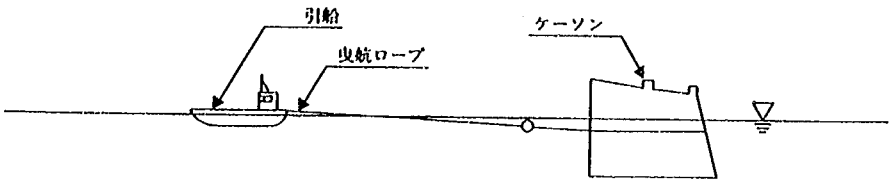
13．3．3 ケーソン据付工

ケーソンの据付に当っては、据付後の中詰め作業完了までの所要日数を検討し、その地域の気象・海象条件から、最も効率的に施工できる時期を選定する。

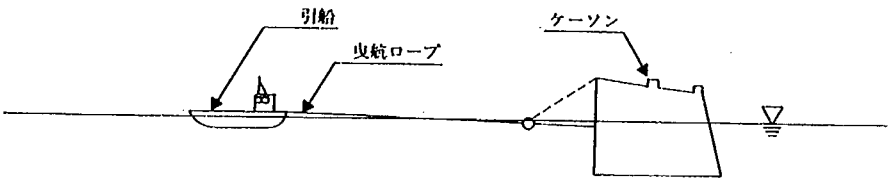
ケーソンの据付方法は、運搬方法との関係、現場の潮位や潮流、調達できる機械設備の条件などを比較検討して決定するが、大別すると①ウインチ方式、②起重機船方式、③起重機船と引（押）船の併用方式に分けられる（図－13．8）。①による方法で、据付台船のウインチによりケーソン位置の調整を行い据え付ける。②は、起重機船によって均等に吊り荷重がかかるように鋼製ケーソン吊り枠を使用し、ケーソンを吊って直接据え付ける方法である。③の起重機船と引（押）船の併用による据付は、起重機船のウインチのみではうねりの影響によって法線に対する調整に時間を要するような場合に採用される。

据付後に中詰めを行う場合、ケーソンの沈設は中詰め室に注水して行うが、注水する方法にはサイフォン、ポンプ、注水バルブなどがある。その設備の能力や個数はケーソンの大きさや所要注水速度などを検討して決定する。

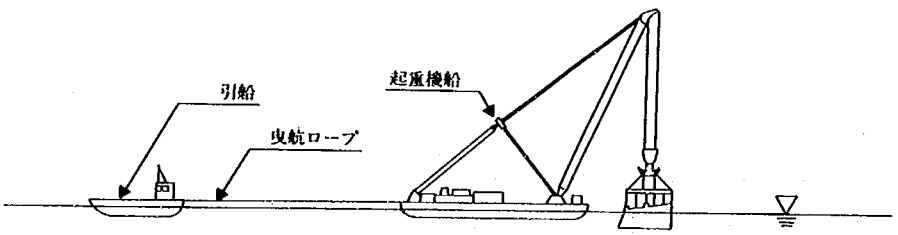
ケーソンの位置決めは、測量台や陸上に設置したトランシットや光波距離計等を使用し慎重に行う。



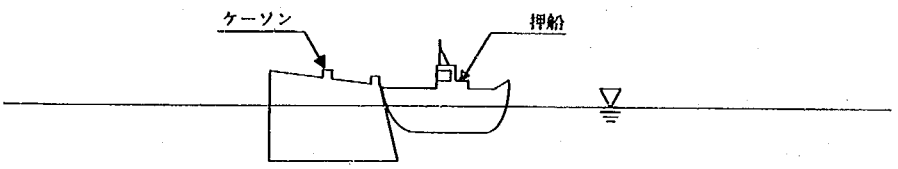
a） 大回しをかける方法



b） 曳航環をつける方法



c） 起重機船を使う方法



d） 押船を使う方法

図－13．7　浮上運搬の方法

13．3．4　中詰め工

本型式における中詰めの施工は、製作・運搬方法などからケーソン製作中に行う場合とケーソン据付後に行う場合がある。前者は、中詰め重量を考慮してもケーソン製作ヤードから起重機船によりケーソンを吊り上げて運搬据付を行う方が合理的な場合に採用され、下部コンクリート打設後、中間床板の施工前にクラムシェル等により中詰め材を投入して施工する。後者は、主にケーソンを浮上させて運搬する場合の方法であり、完全に没水した構造物である本型式の特徴から、サンドポンプ等を使用した流体輸送による施工が望ましい。

13．3．5　捨石工

捨石工は本編「8．2　捨石工」に準ずるものとする。

13．3．6　被覆工

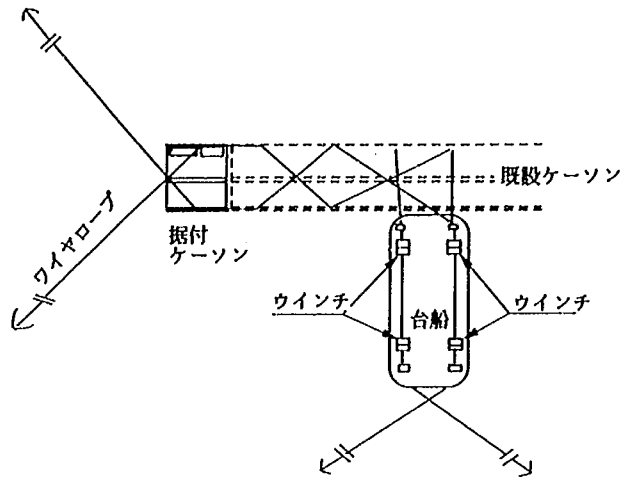
被覆工は、捨石表層が波浪によって散乱しないように設置されるもので、ケーソン前趾および後趾付近の被覆ブロックと被覆ブロックよりのり面側の被覆石とで構成されている。

(1)　被覆ブロック

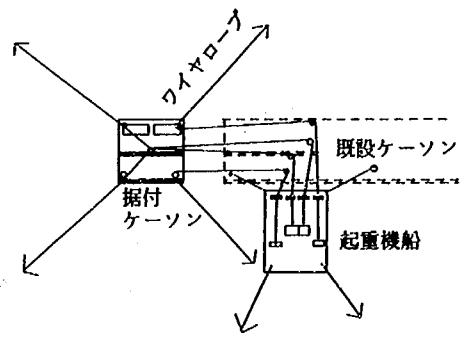
被覆ブロックは、ブロック製作ヤードで製作し、ケーソン据付後できるだけ早い時期に据え付ける。ブロック製作ヤードの規模・設備等は、ブロックの大きさ、製作個数、工事規模等を考慮して設ける。製作したブロックは、陸上クレーンまたはクレーン船によって運搬台船に積み込み、現場まで運搬される。したがって、ブロックヤードはこれらの作業船が接岸できる岸壁等に隣接していることが望ましい。

ブロックの製作は、基本的には一般のコンクリート工事と同じであるが、ブロックと製作台とはルーフィングペーパー等を用いて絶縁する。ブロックは、吊り上げ方法に応じてあらかじめ吊り金具を埋込む必要がある。

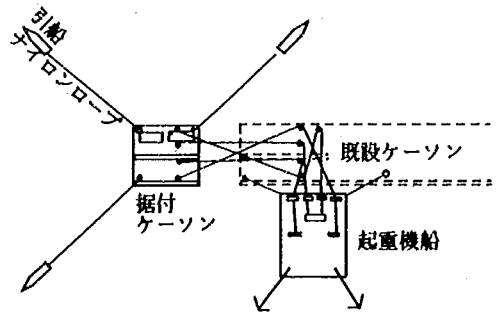
ブロックの据付には、一般にクレーン船が使用される。クレーン船には、ブロックの重量に見合った吊り上げ能力と、アウトリーチを備えたものを使用する。また、据付作業は波浪等の気象・海象条件に強く影響されるため、計画的に実施する必要がある。



a）　ウインチ方式



b）　起重機船方式



c）　起重機船と引(押)船の併用方式

図－13．8　ケーソンの据付方法

(2) 被覆石

被覆石は、工事中の捨石の被災防止、および工程の短縮を図るため、ケーソンの据付作業時に支障とならない範囲については捨石均しの完了した部分から投入し、均しておくことが望ましい。

通常被覆石の捨込みはガット船により行うが、被覆厚さは比較的薄いので均し作業が容易なように位置を指示しながら捨込む。

被覆石の均しは、被覆石の重量が約1tf程度あるので、潜水士船のウィンチを使用し、潜水士によって行う。

13.3.7 洗掘防止工

洗掘防止工は、波浪、潮流等によって捨石マウンドののり尻が洗掘されることを防ぐために設置されるものである。洗掘防止マットとしては、アスファルトマット、合成繊維マット、合成樹脂系マット、帆布等があり、捨石工ののり尻付近に敷設される。マットの敷設は、通常は起重機船等を使用して潜水士によって行い、敷設がある程度進んだ段階で捨石を投入してマットを押え、固定する必要がある。また、使用機材等の選定に当っては、材料の強度、形状を十分把握して計画する。

13.4 資機材計画

13.4.1 船舶・機械計画

施工方法などによって使用する機械や船舶の種類・規模等は様々である。特に大型のケーソンを施工する場合には、起重機船やフローティングドック等の現有台数や調達条件を十分把握して計画する必要がある。また、必要な船団数は、工事量を1船団当りの標準施工量で除して求める。代表的な例として、本型式を起重機船により吊り上げ曳航して水深9mの海域に設置する場合を想定したときの使用船舶・機械の一覧を表−13.1に示す。

13.4.2 資材計画

本型式に使用される主な資材は、ケーソン部のコンクリート、鉄筋、注排水管、吊り金具および砂等の中詰め材料、捨石等の石材である。また、地盤改良が必要な場合には、改良方法により様々な材料が使用される。

コンクリートには、レディミクストコンクリートを使用するのが一般的である。捨石用の石材は、使用量が大量になることが多いので採取場所の立地条件も考慮し、運搬方法やストックヤードの必要性などについて検討する必要がある。

13.5 仮設計画

本型式の場合、ケーソンの施工方法により仮設設備は大きく異なる。したがって施工条件を十分検討して仮設計画を立てる必要がある。仮設設備の一例を表−13.2に示す。船舶関係では、通常の泊地のほか台風等の異常時に緊急避難のできる避難港をあらかじめ考慮しておく必要がある。

作業基地は建設地点付近の港湾や既設のケーソン製作設備のある場所を利用するのが最も有利である。ケーソンの製作方法として、斜路式を採用する場合は斜路、乾ドック式の場合はドックや排水ポンプ等の固

表－13．1　主な船舶・機械の例

工　　種	船舶・機械名	規格の目安	数　量
ケーソン製作および中詰砂投入工	トラッククレーン コンクリートポンプ車 クラムシェル トラクタショベル	10tf吊り ブーム式 2 m³バケット	2 台 1 台 1 台 1 台
捨石投入工	潜水士船 交通船	D 100PS D 150PS	2 隻 1 隻
捨石均し工	潜水士船 交通船	D 100PS D 150PS	12 隻 1 隻
ケーソン運搬工	非航式起重機船 引船 引船 揚錨船 交通船	ジブ固定式3000吊り D 4000PS D 3000PS D 80tf吊り D 150PS	1 隻 1 隻 2 隻 1 隻 1 隻
ケーソン据付工	非航式起重機船 引船 引船 揚錨船 潜水士船 交通船	ジブ固定式3000吊り D 4000PS D 3000PS D 80tf吊り D 100PS D 150PS	1 隻 1 隻 2 隻 1 隻 4 隻 1 隻
被覆ブロック工	クローラクレーン 起重機船 台船 引船 潜水士船 交通船	100tf吊り 非航旋回70tf吊り 500tf積み D 450PS D 100PS D 150PS	1 台 1 隻 1 隻 2 隻 2 隻 1 隻
被覆石工	潜水士船 交通船	D 100PS D 150PS	10 隻 1 隻

※水深９ｍを想定

表－13．2　仮設設備の一例

a）作業基地

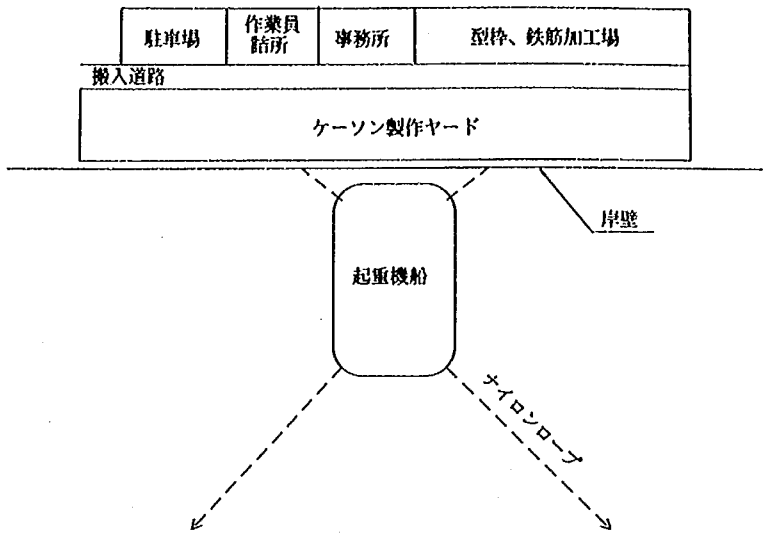
区　分	工　種	施　設　名
陸上工事	石材採取	モータプール、クラッシングプラント、ストックヤード、火薬庫、濁水処理設備
	船　積	シップローダ、桟橋
海上工事	船　舶	泊地、積出岸壁
共　通	基　地	事務所、宿舎、作業員詰め所、船舶管理設備
	各種ﾔｰﾄﾞ	ケーソンヤード、鉄筋加工場、型枠および足場加工場
	電　力	受変電設備、発電設備、照明設備
	水	水道、排水処理施設
	油	給油施設

b）建設地点

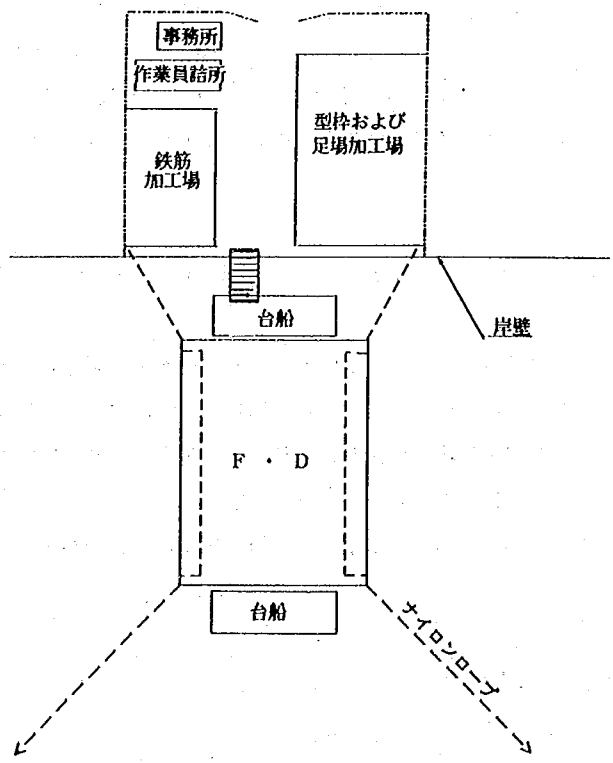
区　分	工　種	施　設　名
海上工事	測　量	測量台
	安　全	工事区域ブイ

定施設に加えて、材料、型枠置場、鉄筋加工場、クレーン等の運搬設備、受変電所等の動力設備等が必要である。フローティングドックによってケーソンを製作する場合は、ドックの係留場所が静穏で、きっ水に十分な水深を有する必要がある。さらに、係留場所の背後に型枠置場、鉄筋加工場等の作業用地が必要である。大型起重機船での吊り下し方式では、護岸前面の水深と起重機船のきっ水、製作するケーソンの中心位置と起重機船のアウトリーチの関係等に留意する。また、使用する岸壁や護岸等の設計載荷重は一般に0.5～2.0tf／㎡であるので、その安定性について検討が必要である。この方式でも岸壁背後に型枠置場、鉄筋加工場等の作業用地が必要である。また、全ての方式について、付属設備（試験室、事務所、作業員詰め所、駐車場）の用地や資材搬入道路が必要である。

代表的な例として吊り下し式およびフローティングドック式の一般的なケーソン製作ヤードの平面配置図をそれぞれ図－13．9と図－13．10に示す。



図－13．9　吊り降ろし式



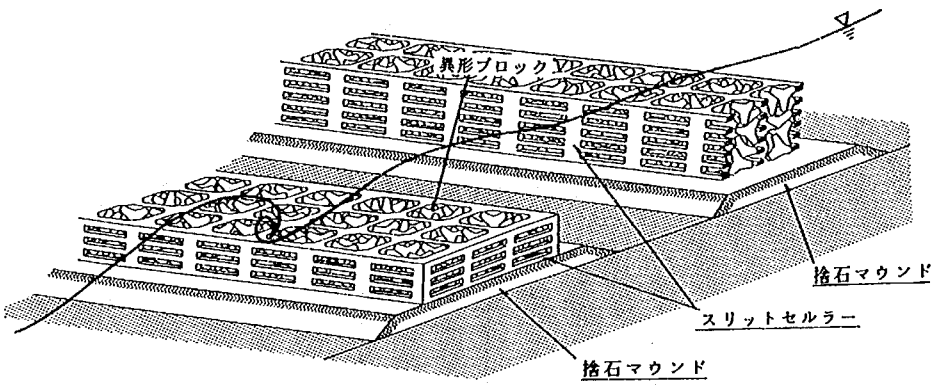
図－13．10　フローティングドック式

第14章　中詰スリットセルラー式構造物の施工

14．1　概要

中詰スリットセルラー式構造物は天端上水深が異なる岸側沖側2列の潜堤で構成される（図－14．1）。その構造は捨石マウンド上にスリット壁のセルラーブロックを設置し、スリットセルラー内に異形ブロックを中詰めするものである。

施工の特徴は、コンクリート製のスリットセルラーおよび異形ブロックを陸上製作することにより、海上作業を少なくしたところにある。



図－14．1　中詰スリットセルラー式構造物（複列透過性潜堤）の概観

14．2　施工手順

本構造物の施工フローを図－14．2に、施工要領を図－14．3に示す。以下に各工種の施工手順の概要を述べる。

(1) 陸上製作ヤードにおいてスリットセルラー函体と中詰めブロックを製作し、必要に応じて仮置する。

(2) 陸上製作の工程を考慮して、海上での捨石の投入、均しを行い、マウンドを設置する。

(3) 均しを終了した捨石マウンド上に海上運搬したスリットセルラーを据え付ける。

(4) 設置したスリットセルラー内に異形ブロックを中詰めする。

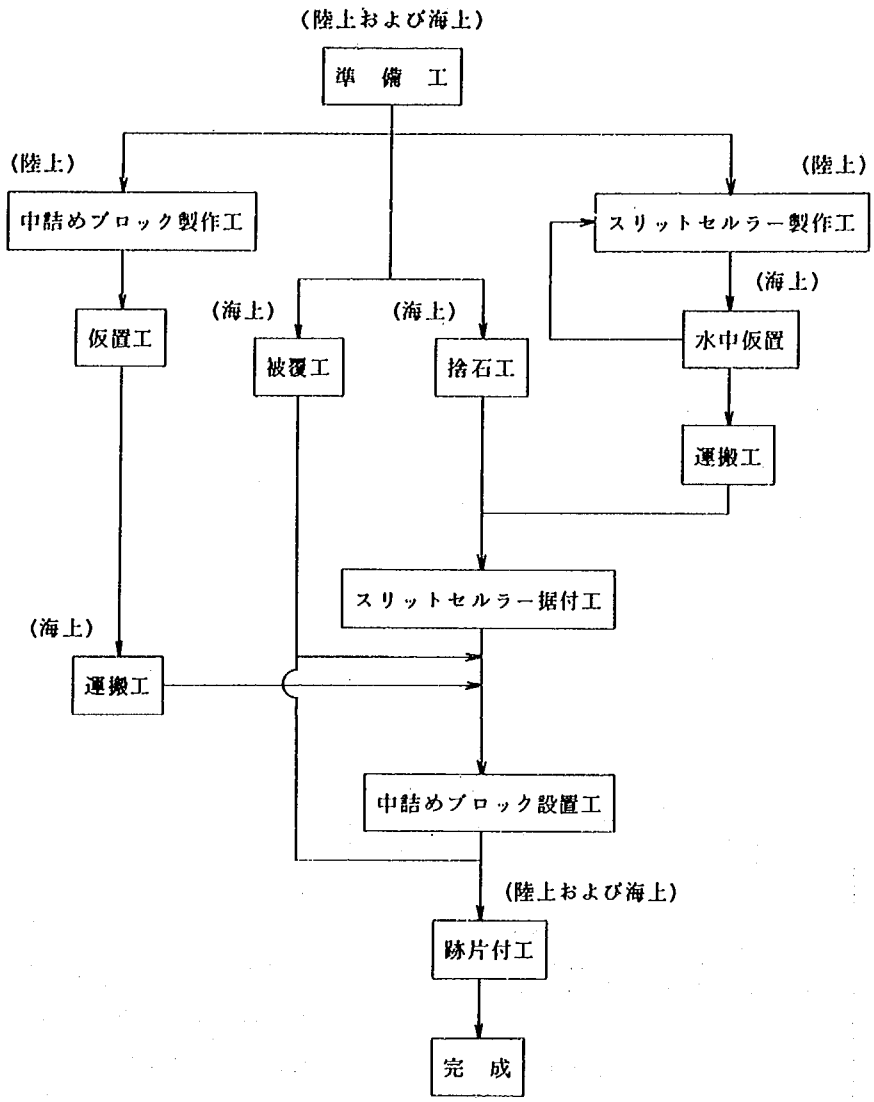
(5) スリットセルラーの岸側沖側の捨石マウンド上へ被覆石を投入し、均しを行う。

14．3　施工方法

14．3．1　中詰め用異形ブロック製作工

(1) 製作ヤード計画

製作ヤードは、打設ヤード、作業路および仮置ヤードから成る。所要面積や各施設の配置は、1日当りの異形ブロック製作個数、養生期間、仮置個数等を考慮して、作業が安全・確実に、能率的に行えるよう計画する。異形ブロックの仮置方式としては2段積以下を原則とする。

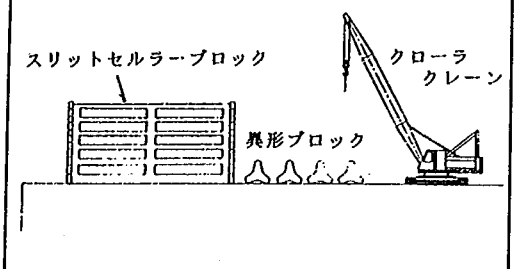
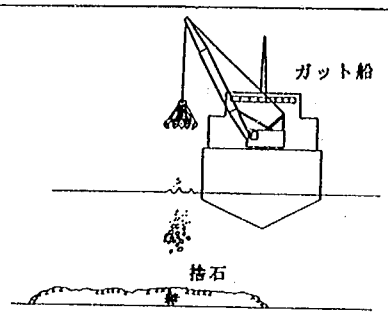
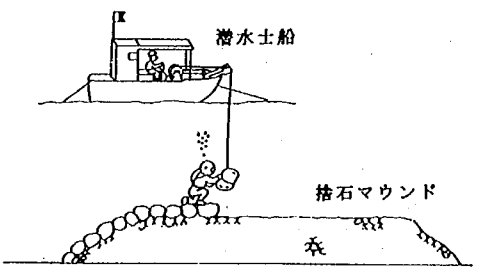
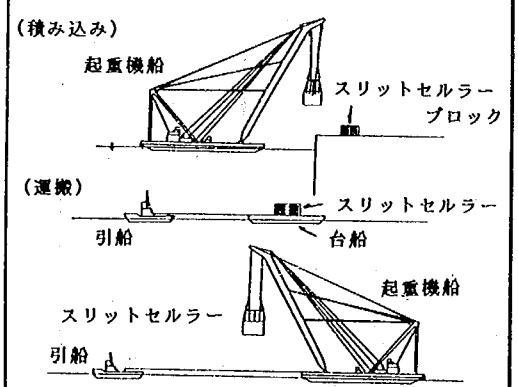
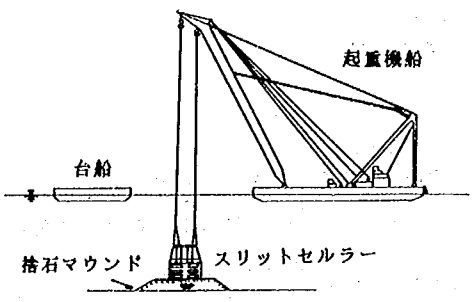
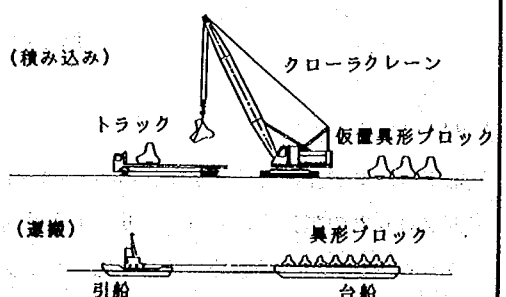


図－14．2　施工フロー

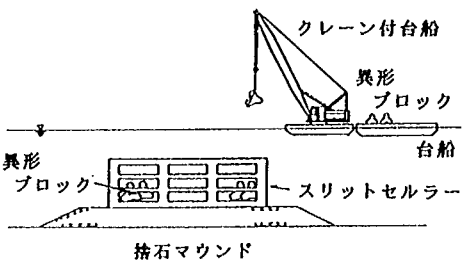
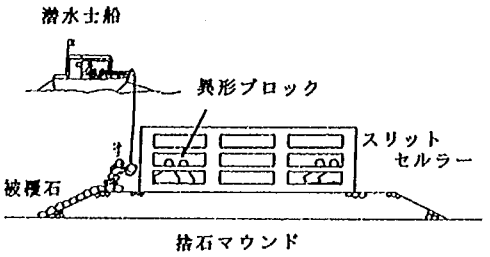
(2)　製作・養生・仮置

異形ブロック製作の標準的な工程は図－14．4に示す通りであり、これを1サイクルとして実施する。

異形ブロックの製作には生コンクリートを使用する場合が多いので、搬入時には品質を十分に管理する。コンクリート打設時の締固めに際しては、コンクリートが型枠のすみずみにゆき渡るようにするとともに、材料分離が生じないようにする。側枠脱型や転置の時期は所要強度の発現時期を調べた上で行う。また転置および仮置に際しては不要な衝撃を与えないようにする。

工種	①スリットセルラー，異形ブロック製作工	②捨石工（基礎捨石投入）
施工要領図		
主な作業内容	陸上ヤードにおいてスリットセルラーと中詰め用異形ブロックを製作する。	ガット船により石材の運搬，投入を行う。
工種	③捨石工（表面均しおよび荒均し）	④スリットセルラー積み込みおよび運搬工
施工要領図		
主な作業内容	スリットセルラー据付面の表面均しおよび被覆石の荒均しを行う。	起重機船により吊り上げた状態，または台船に積み込んだ状態で，仮置場より据付現地まで曳航運搬する。
	⑤スリットセルラー据付工	⑥異形ブロックの積み込みおよび運搬工
施工要領図		
主な作業内容	現地へ運搬されたスリットセルラーを起重機船を使用して吊り上げ，所定の位置へ据え付ける。	異形ブロックを仮置ヤードより岸壁まで運搬し，クレーンにより台船に積み込み，これを据付位置まで引船で運搬する。

図－14．3(1)　施工要領

工種	⑦中詰め用異形ブロック据付工	⑧被覆工
施工要領図		
主な作業内容	現地へ運搬された異形ブロックをクレーンによりスリットセルラー内に据え付ける。	被覆石投入後，潜水士船ウインチおよび潜水士による均しを行う。

図－14．3(2)　施工要領

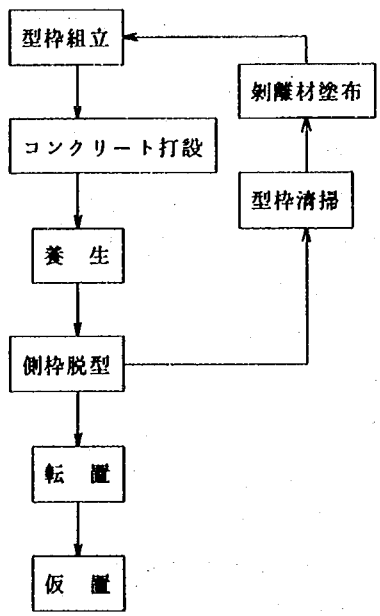
14．3．2　スリットセルラー製作工

(1)　製作ヤード計画

スリットセルラーは500tf／個～1000tf／個の重量であることから、製作後の運搬を考慮して、製作ヤードは、起重機船による直接積み出しが可能な岸壁の背後地もしくはフローティングドックとする。

(2)　製作

スリットセルラーの製作における鉄筋コンクリート工は本編「8．3　鉄筋コンクリート工」に準ずる。また、スリットセルラーは製作後潮位差のある海域に設置されることから、乾湿によるコンクリートの伸縮、コンクリート中の塩水の凍結融解等によるひび割れが生じる場合がある。このような場合、コンクリートの劣化および鉄筋の腐食を生じさせコンクリートの破壊につながる恐れがある。さらに、建設後の補修も難しい。したがって、水密性が確保されるように良質なコンクリートを入念に打ち込み、所要の鉄筋のかぶりを保持できるような適切な方法をとる。



図－14．4　異形ブロック製作工フロー

スリットセルラー製作における留意点は次のとおりである。

①　スリットセルラーと製作ヤード地盤とはルーフィングペーパー等を用いて完全に絶縁する。

②　スリット部があるため、特に十分な支保工を用いて正確な形状寸法を確保して型枠を組立てる。

③　コンクリートは数段に分けて打設する。1回当りのコンクリートの打設高さは、打設能力によって定

められるが、施工の確実性を配慮して通常3m以下とする。同一段のスリットの梁は1回で施工し、打継目はスリットの梁部でなく柱部に設ける。また、段打ちにおける打継目では打設済コンクリート表面のレイタンスを除去するとともに十分に洗浄し、新たなコンクリートを打設する。

④ 吊り筋を正確な位置に定着させる。

(3) 水中仮置

製作されたスリットセルラーの養生期間中、ストックするための製作ヤード面積が不足する場合には、波浪に対して安全でしかも地盤の安定した水中仮置ヤードを設ける。起重機船による吊り上げはコンクリート強度が十分に発現した後に行う。吊り具にはセルラーに無理な水平力のかからない鋼製の吊り枠を用いる。

14.3.3 捨石工

基礎マウンドの捨石工は、本編「8.2 捨石工」によるものとする。本型式での均しはセルラー据付工等との工程を考慮して、セルラー2函分程度の範囲を先行して施工する。スリットセルラーを設置する捨石面は±5cm精度の本均しを行い、その他の面は±30cm精度の荒均しを行う。基礎の施工天端高は、上部の堤体工の荷重によって沈下する量をあらかじめ見込み、適切な余盛をしておく。

14.3.4 スリットセルラー運搬工、据付工

(1) 運搬工

スリットセルラー1函の重量は、設計および施工の関係から500tf～1000tfになる。したがって一般には大型の起重機船（1000tf～2000tf吊り）を用い、そのまま吊り上げた状態、あるいは、台船に積み込んだ状態で仮置地点から据付地点まで曳航運搬する。場合によっては特殊なフロートを取り付けて浮上させて運搬する。

(2) 据付工

スリットセルラーは大型起重機船によって据え付けるが、大重量であるため吊り上げ能力だけでなく起重機船の作業性能、稼働限界も考慮し、事故防止上の観点から十分な工程管理を行う。スリットセルラーの据付精度はケーソン据付に準じるが、現場条件等により適宜定める。

スリットセルラーは、異形ブロックにより中詰めされるまでは耐波安定性が確保されない。したがって、作用波力の小さな沖側のセルラーを先行して据え付けることにより、岸側セルラーの施工中の安定性を向上させるよう配慮する。さらに、異形ブロックの中詰めを速やかに行う。また、施工時の海象を十分に把握して施工時期を選ぶ必要がある。最近では、リアルタイムに波浪予測するシステムを併用して工程管理することもある。

14.3.5 中詰め用異形ブロック運搬工、据付工

(1) 運搬工

仮置ヤードの異形ブロックをクレーンあるいはトラックにより積み出し岸壁へ運搬し、ストックする。クレーン付き台船または台船に異型ブロックを積み込んだ後、据付地点まで曳航する。台船上への積み込みに際しては、曳航中の動揺等により荷崩れが生じないよう積み方に注意する。

(2) 据付工

運搬した台船上の異形ブロックをクレーンによってスリットセルラー内に据え付ける。異形ブロックの据

付の際、潜水士の投入指示によりスリットセルラーに衝撃を与えないようにしながら密に設置する。セルラー内は狭いので潜水士の作業の安全には十分注意する。

中詰め用異形ブロックの投入量は空隙率を50％として算出することを標準とするが、セルラー側壁およびスリット部の影響を考慮してあらかじめ模型等で異形ブロックの空隙率を確認し、投入数量を算出しておく。

14．3．6　被覆工

被覆工に使用する1個当りの石材重量は設計重量の－20％～＋100％程度の範囲とする。この範囲を越えると十分なかみ合わせができず、被覆石全体としての抵抗が低下する。マウンドに使用する捨石は通常200～300kgf／個程度であり、$H_{1/3}$＝2～3mの波浪で移動することもある。したがって手戻り防止のために基礎捨石均しはあまり先行させずスリットセルラー据付直前に行い、据付後すぐに被覆石の投入、均しを行う。特にスリットセルラー沖側の被覆工を優先して行う。被覆石の均しは±50cm程度の精度で行い、被覆石ののり尻から順に上部へと行う。

14．4　資機材計画

本型式の施工に必要とする主要な使用船舶・機械の例を表－14．1に示す。スリットセルラーの吊り上げに必要な非航起重機船は1000tf～2000tf吊りと大型であるから、配船計画上特に注意が必要である。

次に、主要な工種別資材と標準的な仕様を表－14．2に示す。鉄筋等の鋼材を保管する場合には、海水の飛沫による錆の発生に対して適切な対策を講ずるべきである。

14．5　仮設計画

直接工事に関係する仮設設備としては、スリットセルラーおよび異形ブロックの陸上製作ヤード、スリットセルラー、異形ブロックおよび捨石の積み出し岸壁がある。また必要に応じてスリットセルラーの水中仮置場を整備する。特にスリットセルラー製作ヤードは、起重機船により直接積み出しが可能な岸壁背後で、しかも十分な広さを持たすよう計画する。

表－14．1　主な船舶・機械の例

工　種	船舶・機械名	規格の目安	台数	摘　要
異形ブロック製作工	クローラークレーン	35tf吊	1～2台	型枠，転置，仮置
スリットセルラー製作工	〃	〃	1～4台	型枠，鉄筋，他
	コンクリートポンプ車	20～40m³/h	1～2台	コンクリート打設
異形ブロック運搬・据付工	クローラークレーン	35tf吊	2～4台	積み込み・積み降ろし
	トラック	11tf積	2～6台	陸上運搬
	クレーン付台船	500tf積，25tf吊	2～4隻	海上運搬・据付
	台　船	200～500tf積	〃	海上運搬
	引　船	各　種	—	曳航・揚錨等
	潜水士船	ウインチ付	2～4隻	据付
スリットセルラー水中仮置・運搬・据付工	非航起重機船	1,000tf吊	1～2隻	仮置・積み込み・据付
	台　船	800～1,000tf積	1～2隻	運搬
	引船・揚錨船	各　種	—	曳航・揚錨
捨石・被覆石工	ガット船	499tf級	2～4隻	積み込み・運搬・投入
	潜水士船	ウインチ付	—	均し

＊水深10mを想定

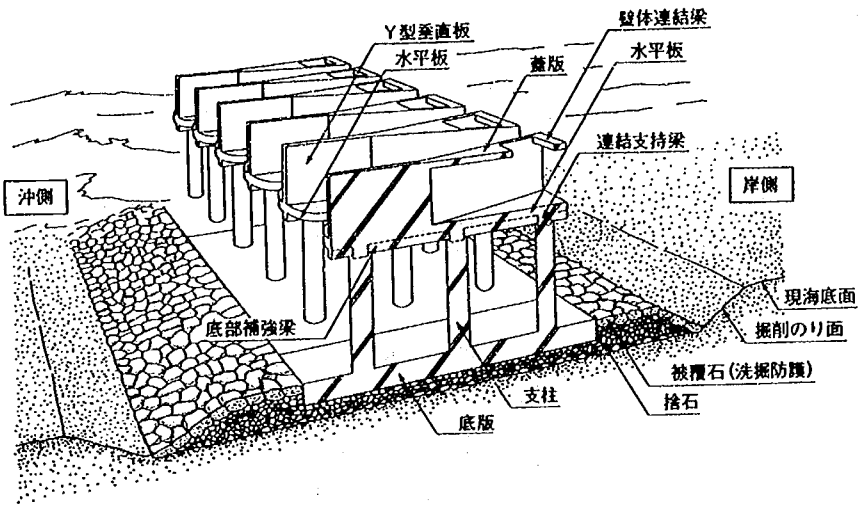
表－14．2　工種別主要資材

工　種	資　材	標　準　仕　様
異形ブロック	コンクリート	設計基準強度=180ないし240kgf/cm²
	型　枠	鋼　製
スリットセルラー	コンクリート	設計基準強度=240ないし270kgf/cm²
	型　枠	鋼および木製
	支保工・足場	————
捨石工	石　材	所要の比重・強度・重量のもの
被覆石工	石　材	同　上
	コンクリートブロック	石材では入手困難な時使用する。

第15章　並列Y字壁式構造物の施工

15．1　概要

並列Y字壁式構造物(複合消波型構造物)は、Y型垂直板、蓋版、水平板等からなる上部工と、連結支持梁、支柱、底版等の下部工とが一体的に構成された重力式鉄筋コンクリート構造物である(図－15．1)。



図－15．1　並列Y字壁式構造物（複合消波型構造物）の概観

本型式は、施工上、以下の特徴を有する。

① 鉄筋コンクリート製の堤体（以下堤体と略す）を陸上ヤードにおいて一体製作することにより、製作の迅速化および耐久性の向上を図ることができる。

② 製作の完了した堤体を現地へ運搬し据え付けることから施工時の安全性が高い。

15．2　施工手順

本型式の施工フローを図－15．2に、施工要領を図－15．3に示す。

① 堤体製作工

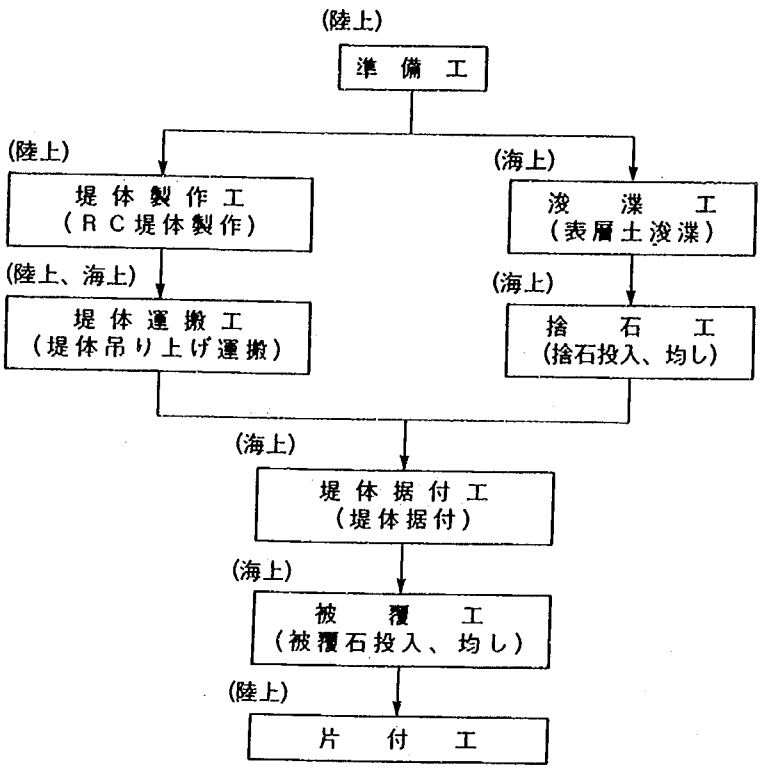
堤体は、全て陸上ヤードにおいて製作する。したがって、コンクリート工事は陸上ヤードのみで実施される。

② 浚渫工

洗掘が予想される場合においては、堤体据付地点の海底表層土を所定深度までグラブ式浚渫船により床掘し、除去する。

③ 捨石工

堤体を据え付ける基準高さまで基礎捨石を投入し、天端面を均す。



図－15．2　施工フロー

④　堤体運搬工

製作の完了した堤体を非航起重機船により据付地点まで吊り上げ運搬する。

⑤　堤体据付工

現地まで運搬した堤体を非航起重機船により所定の位置に据え付ける。

⑥　被覆工

基礎捨石上に、洗掘防護用被覆石もしくは被覆ブロックを設置する。

15．3　施工方法

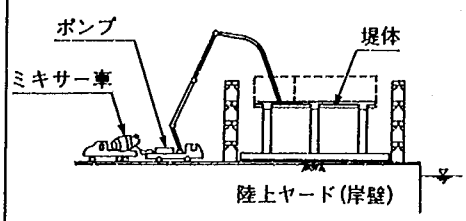
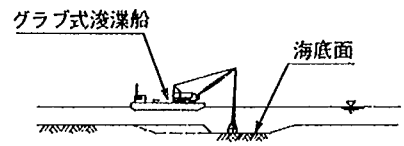
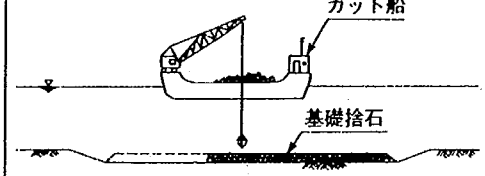
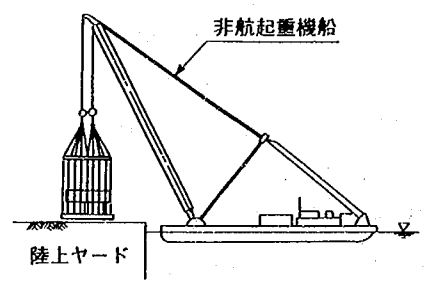
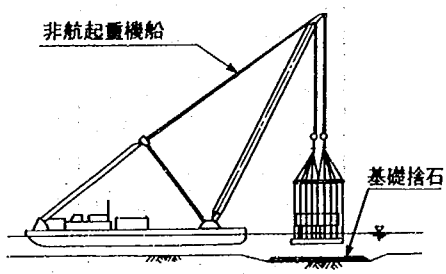
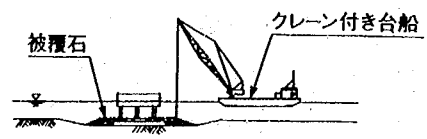
15．3．1　堤体製作工

(1)　概要

堤体製作工は、通常のコンクリート工事と同様であり、以下のように構成される。

a）　調査・計画

調査・計画に際して、設計図書および現場条件の調査・検討を行い、工法（運搬・打設・養生）、配合、材料仕様および型枠・支保工を選定する。

工種	① 堤体製作工	② 浚 渫 工
施工要領図		
主な作業内容	陸上ヤードにおいて堤体を製作する。	グラブ式浚渫船により所定深度まで浚渫する。
工種	③ 捨 石 工	④ 堤体運搬工
施工要領図		
主な作業内容	1) ガット船により捨石を投入する。 2) 潜水士により捨石を均す。	非航起重機船により堤体を吊り上げ現地まで運搬する。
工種	⑤ 堤体据付工	⑥ 被 覆 工
施工要領図		
主な作業内容	現地まで運搬された堤体を非航起重機船により基礎捨石上に据え付ける。	基礎捨石表面に被覆石を据え付け、均す。

図－15．3 施工要領

b） 施工

施工は、本編「8．3　鉄筋コンクリート製作工」に準ずるものとする。

c） 検査

完成後、寸法検査およびひびわれ調査を行う。

(2)　コンクリート工事

ここでは特に本型式特有のコンクリート工事に関する事項のみを記す。

a） 打設

堤体構築に用いるコンクリートは、現場打設を行う。なお、現場打設コンクリートと同等の品質が得られる場合には、接合部の施工方法を考慮して、プレキャストコンクリート部材を用いても良い。

コンクリートは、以下の順序に打設する（図－15．4）。

① 底版

② 支柱（ただし、連結支持梁下端まで）

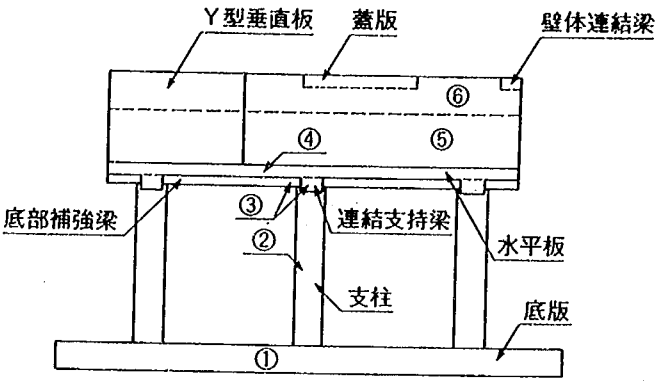
③ 支柱頭部、連結支持梁下部、底部補強梁

④ 水平板、連結支持梁上部

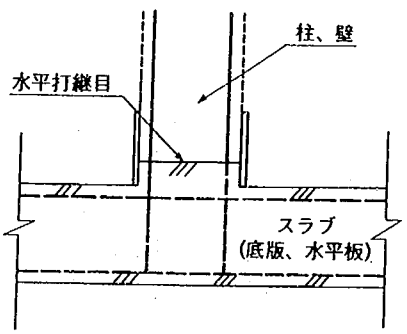
⑤ Y型垂直板下部

⑥ Y型垂直板上部、蓋版、壁体連結梁

なお、③および④、⑤および⑥を各々一体打設としても良い。



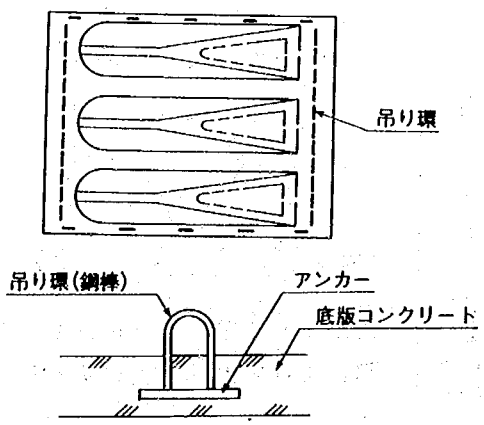
図－15．4　コンクリートの打設順序



図－15．5　柱、壁とスラブとの水平打継目

b） 打継目（施工目地）の処理

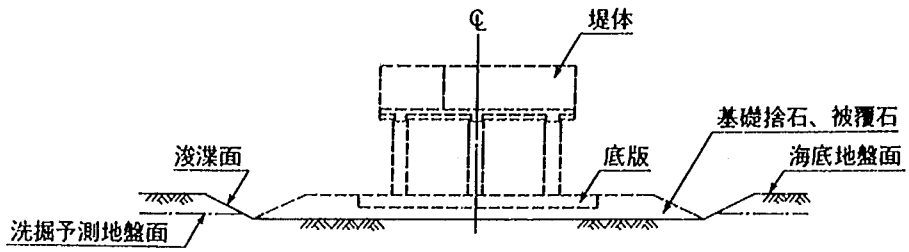
堤体の打継目は、すべて水平打継目であり、柱、壁とスラブとの間に打継目を設ける場合、継目をスラブ天端よりやや高めにしておく（図－15．5）。



図－15．6　吊り環配置および詳細図

c） 吊り環の設置

堤体の積み出しおよび運搬時に各吊りワイヤーに均等な荷重が作用するように、底版の周囲に吊り環を均等に配置する（図－15．6）。



図－15．7　浚渫面

15．3．2　浚渫工

(1)　概要

浚渫工は、洗掘が予想される場合の対策として行うものである。すなわち、予想される洗掘深度まで表層土を除去し、基礎捨石および被覆石（ブロック）により置き換え、堤体底版上面が海底地盤面と同一レベルとなるようにする（図－15．7）。したがって、洗掘の恐れのない地盤条件では浚渫を必要としない。浚渫工は、掘削、土砂運搬、土砂処分の各作業よりなり、掘削作業終了後、底面およびのり面の位置・深度を計測する。浚渫工には、浚渫船、土運船、引船、揚錨船、警戒船よりなる船団が必要である。

(2)　掘削

本浚渫工では、埋め立てを必要としないこと、床掘りであること、比較的小規模な浚渫であることから、通常、グラブ式浚渫船を用いる。グラブ容量は、土質条件、浚渫土量、工期を考慮して定めるが、一般には4～6㎥程度である。グラブ式浚渫船の場合、1回の浚渫幅は、船幅程度である。よって、構造物の所要浚渫幅を考慮して、浚渫区画割りを定める。また、1層の掘削深度は、グラブ容量が4～6㎥の場合、概ね2m程度である。

掘削に際し、浚渫位置および深度を常に把握する必要がある。位置の確認は、陸上の基準点、もしくは海上に設置した測量架台を視準して行い、深度は、音響測深機等を用いた水深測量により照査する。なお、浚渫に際しては、施工時において波浪・流れによる埋没が生じないように範囲・深度（余掘り量）を定めるとともに、土質条件に基づきのり面勾配を設定する。

(3)　運搬および処分

浚渫土の運搬および処分には土運船、引船を用いる。浚渫土はグラブ式浚渫船より土運船に直接積み込まれ、あらかじめ指定された区域まで曳航し投棄される。なお、必要に応じて、投棄区域での汚濁防止対策を講じる。

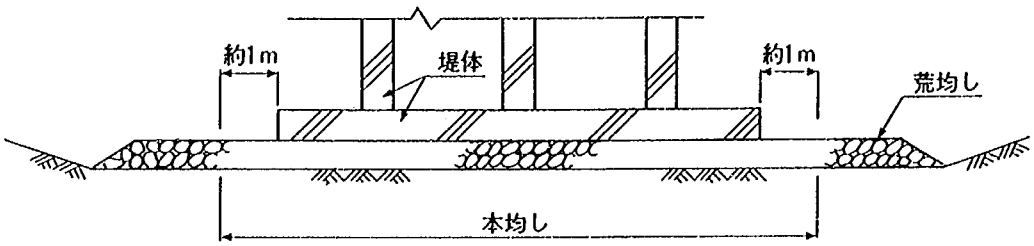
15．3．3　捨石工

捨石工は、本編「8．2　捨石工」に基づき実施する。なお、投入した基礎捨石の天端均しには、本均しと荒均しがあり、堤体設置箇所は本均し、それ以外の箇所は荒均しとする（図－15．8）。

15．3．4　堤体運搬工、据付工

(1)　概要

陸上ヤードにおいて製作した堤体を起重機船により吊り上げ現地まで運搬した後、基礎捨石上に据え付

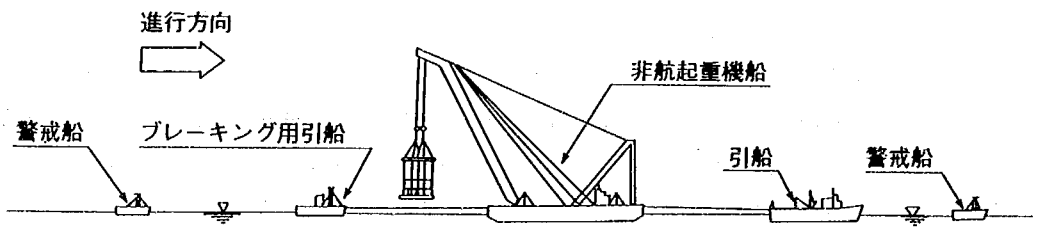


図－15．8　均し方法とその範囲

ける。通常、堤体の運搬、据付には、非航式起重機船のほか、引船、揚錨船、警戒船、潜水士船より成る船団を用いる。工事に先立って航路における障害物を調査し、障害物があれば撤去する。また、運搬中の突風、天候の急変等に対応した避難場所を選定する。

(2)　運搬

堤体は起重機船により吊り上げた状態で引船により運搬する（図－15．9）。起重機船の背後には、ブレーキング用引船を用いるとともに、前後に警戒船を適宜配置する。



図－15．9　堤体運搬の状況

(3)　据付

据付精度は、気象・海象条件によって影響を受け易いことから、$H_{1/3} \leqq 0.5$mとなる期間を選んで据付を行う。

a）　位置決め

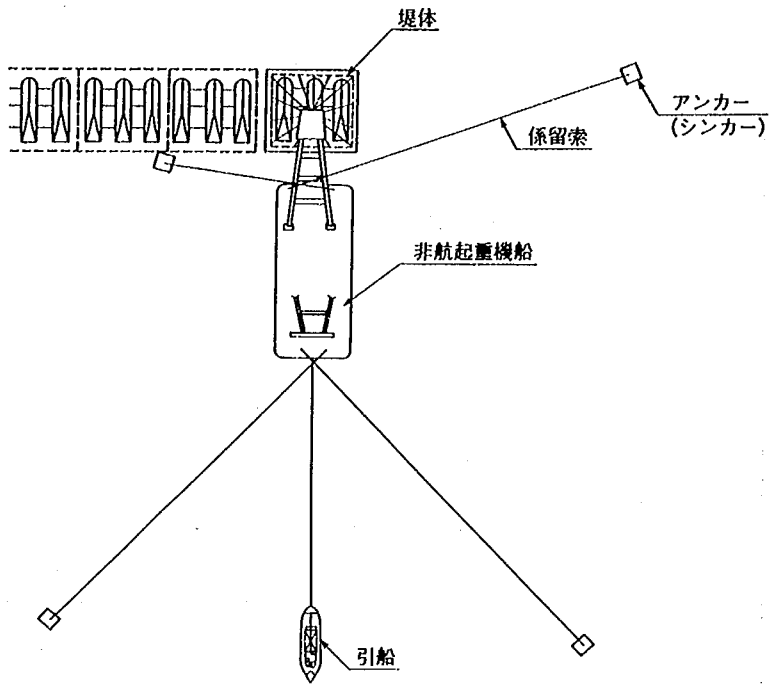
起重機船をアンカー等により緊張係留し、船体および吊り下げ堤体の動揺を制御しつつ(図－15．10)、陸上、海上測量架台もしくは隣接堤体上から測量して位置を定める。

b）　沈設・着底

起重機船により吊り下げたまま沈設し、基礎捨石上に堤体を着底させる。

15．3．5　被覆工

被覆工は、基礎捨石の散乱を防止するものであり、被覆石もしくは被覆ブロックにより基礎捨石を被覆する。被覆材はガット船により運搬し、潜水士船もしくはクレーン付台船により運搬・据付を行い、潜水士により均しを行う。



図－15.10　起重機船の位置決め

15.4　資機材計画

15.4.1　船舶・機械計画

本構造物の施工に用いる主な船舶・機械を表－15.1に示す。なお、船舶の規格は、水深10mでの施工を想定した場合の目安である。

(1) 堤体製作工に用いる機材

a） コンクリートの供給・運搬

堤体製作工程、コンクリート量、およびプラントの製造能力（骨材等のストック容量も含む）を考慮して生コンの供給量を定める。コンクリートプラントの規模として30～50㎥／hrの製造能力があれば対応可能である。供給量に合わせて、コンクリートのヤード内運搬に用いるポンプの性能を定める。

b） 鉄筋・型枠・支保工の加工・組立

鉄筋数量に基づき加工機の台数を定める。また鉄筋および型枠の重量に合わせて、クレーンの性能を定める。

(2) 浚渫工に用いる工事用船舶

浚渫工に必要な工事用船舶は、主として浚渫深度、波浪条件、土質条件、浚渫土量、面積、浚渫土運搬距離、工期を考慮して選定する。

(3) 捨石工および被覆工に用いる工事用船舶

捨石工および被覆工に用いる工事用船舶は、主として設置水深、波浪条件、全石材量および1日当り投

表－15．1　主な船舶・機械の例

工　　種	船舶・機械名	規格の目安	摘　　要
堤体製作工	生コンプラント、ミキサー車（ヤード外）	30～50m³／hr	コンクリート製造（1日当り打設量）
	コンクリートポンプ	30～50m³／hr	ヤード内のコンクリート運搬（1日当り打設量）
	バイブレータ、コンプレッサ	—	コンクリート打設
	鉄筋加工機	—	鉄筋加工
	クローラクレーン	25tf吊	型枠加工、鉄筋・型枠組立
浚渫工	グラブ式浚渫船	6m³バケット	掘削（1日当り浚渫量）
	引船	D－1000SP	浚渫土運搬（1日当り浚渫量）
	土運船	800m³積	浚渫土運搬（1日当り浚渫量）
	揚錨船、警戒船	—	補助
捨石工および被覆工	ガット船	199GT級または499GT級	石材運搬（1日当り投入量）
	クレーン付台船	25tf吊	石材運搬、据付
	潜水士船	D－30PS	据付、均し
	警戒船	—	補助
堤体運搬工および据付工	非航起重機船	2000～3000tf吊	堤体吊り上げ、据付（堤体重量）
	引船	D－2000～D－3000PS	堤体運搬（堤体重量）
	潜水士船	—	補助
	揚錨船、警戒船	—	補助

ただし、水深10m程度の場合を想定

量、全均し面積および1日当り均し面積に基づき選定する。

(4) 堤体運搬工および据付工に用いる工事用船舶

堤体の運搬および据付に用いる起重機船は、堤体重量、積み出し時の所要アウトリーチ、ヤード前面水深に基づき選定する。また引船の性能および隻数は、選定した起重機船の大きさに基づき定める。

15.4.2 資材計画

本構造物の施工に用いる主な資材を表－15.2に示す。

表－15.2 主な資材

工種	資材名	規格の目安
堤体製作工	コンクリート	f'_{ck}=270kgf/cm²
	鉄筋	SD35
	型枠	－
	支保工	－
捨石工	石材	50～100kgf/個
被覆工	石材	0.5～2tf/個

(1) 堤体製作工に用いる資材

a） コンクリート

堤体製作工には、通常の材料よりなるコンクリート（f'_{ck}=270kgf／cm²・普通ポルトランドセメント等を使用）を用いることから、陸上ヤード近傍の生コン工場より供給する。

b） 鉄筋

鉄筋は製造工場より陸上もしくは海上運搬により搬入し、陸上ヤードにおいて保管・加工を行う。

c） 型枠・支保工

型枠および支保工の組数は、堤体の基数および工期に基づき定める。これらの加工、組立および保管は陸上ヤードで行う。

(2) 捨石工および被覆工に用いる資材

a） 石材

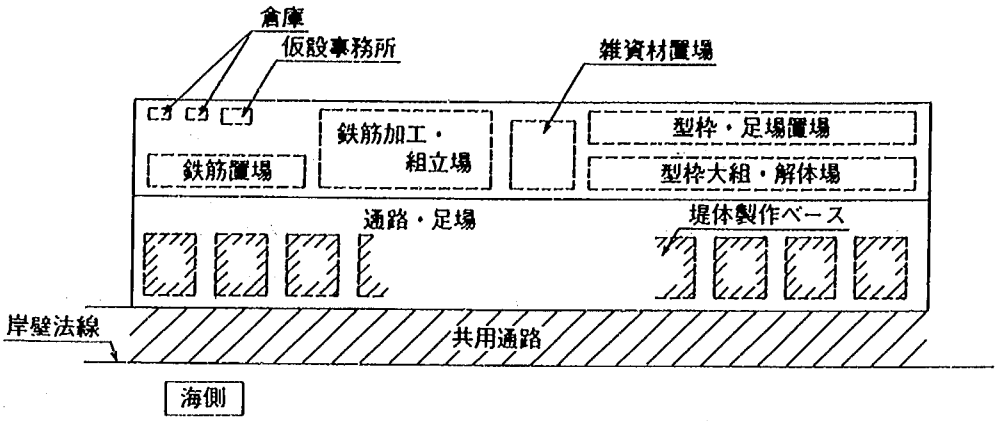
石材は産地によって材質・形状等が異なることから、できるだけ同一産地より入手することが望ましい。また、産出能力は工期等に影響を及ぼすため、所要石材の1日当りの産出量をあらかじめ調査し、施工数量（通常50～150m³／日程度）との対比を行う。産地より陸上輸送された石材を一時ストックヤードに仮置する。

b） ブロック

被覆工に用いるコンクリートブロックは、堤体と同様、陸上ヤードにおいて製作する。

15.5 仮設計画

本型式では陸上において堤体を製作することから、作業基地は主として堤体製作ヤードとして用いられる。基地の選定に際し、所要スペースのほか、堤体運搬用の起重機船の吃水およびリーチ、さらに既存岸壁等を用いる場合は、堤体の単位面積当りの重量（通常4～5tf／m²）が許容上載荷重以内にあることも確認する必要がある。堤体製作ヤードのレイアウト例を図－15.11に示す。

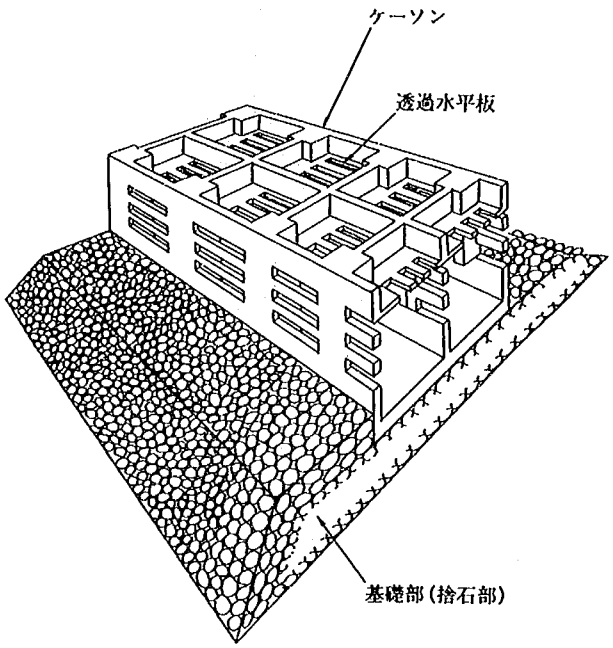


図－15.11　堤体製作ヤードのレイアウト例

第16章　スリットケーソン式（重力式）構造物の施工

16．1　概要

重力式のスリットケーソン式構造物（透過水平板付スリットケーソン型構造物）は、基礎部（捨石部）とケーソンから構成される（図－16．1）。したがって、その施工はケーソンの製作を主とする陸上作業と、捨石工およびケーソンの据付を主とする海上作業とに分けられる。



図－16．7　スリットケーソン式構造物（重力式）の概観

16．2　施工手順

本型式の一般的な施工フローを図－16．2に、施工要領を図－16．3に示す。以下に各工種の施工内容を述べる。

(1)　ケーソン製作工

ケーソン製作は近隣の港湾の岸壁上で通常のケーソンと同様の方法で製作する。

(2)　捨石工

基礎捨石の投入はガット船を用いて行い、潜水士により所定の形状に均す。

(3)　ケーソン運搬工

製作ヤードより据付位置までケーソンを大型起重機船より吊り上げ運搬する。

(4)　ケーソン据付工

運搬してきたケーソンは大型起重機船で所定の位置に据え付ける。

(5)　中詰め工

コンクリートで中詰めを行う場合、プラトン船等にて潜水士の指示に従い打設する。ただし、ケーソンの自重のみで耐波安定性を確保できる場合には中詰め工は不要である。

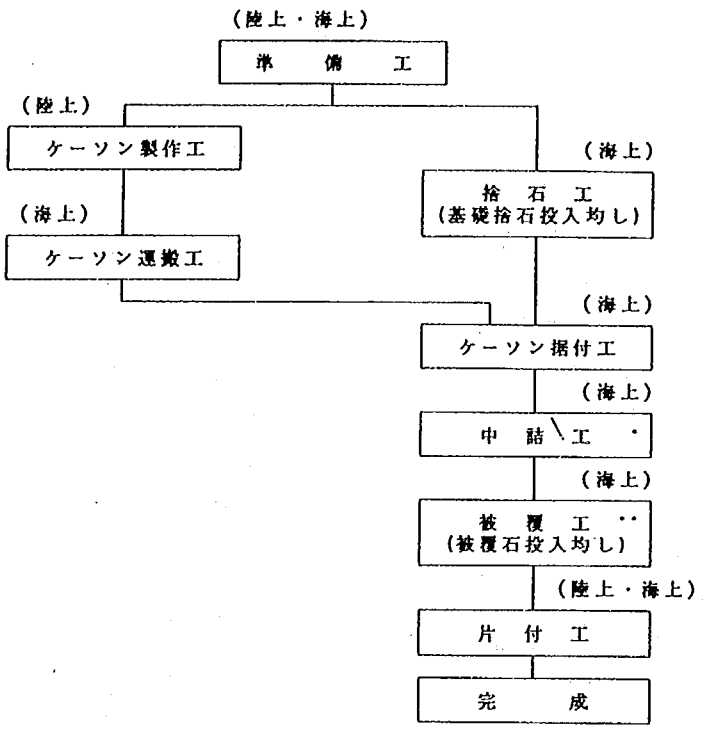
(6)　被覆工

被覆石はガット船から投入し、潜水士により所定の形状に均す。

16．3　施工方法

16．3．1　ケーソン製作工

ケーソンの製作は一般のスリットケーソンの製作方法とほぼ同様である。標準的なケーソンの製作フロー



*　ケーソンの耐波安定性によっては不要な場合がある。

図－16．2　施工フロー図

は図－11．5と同様であり、杭式の場合のガイド管組立が不要である。

16．3．2　捨石工

捨石の投入は一般にガット船で行う。また、均し工は、基礎捨石本均し、基礎捨石荒均しから成る。施工方法については本編「8．2　捨石工」に準ずるものとする。

16．3．3　ケーソン運搬工、据付工

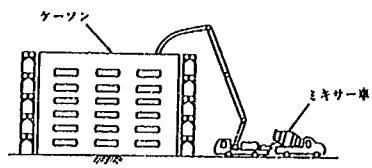
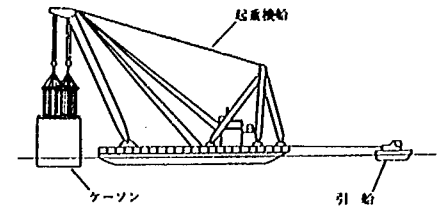
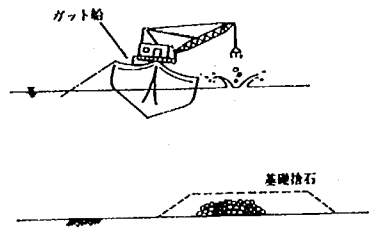
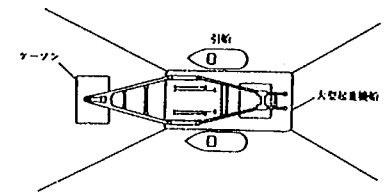
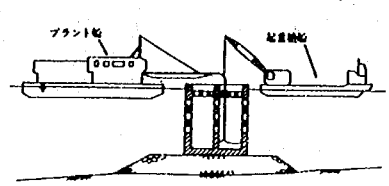
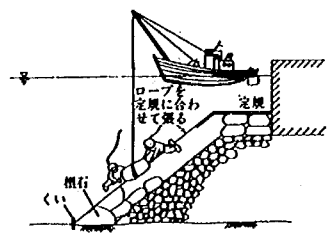
ケーソン運搬工および据付工は本編「11．3．3　ケーソン運搬工、据付工」と同様である。

16．3．4　中詰め工

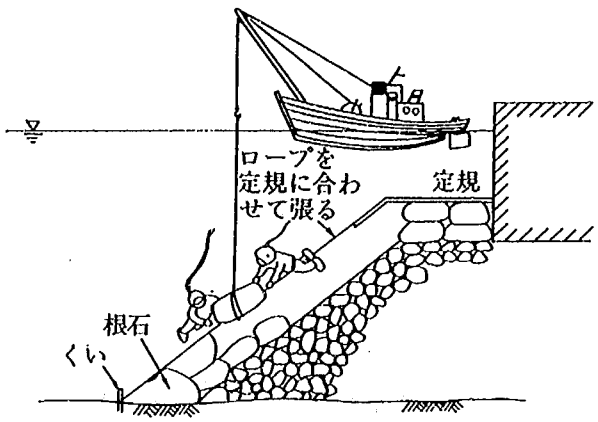
コンクリートの中詰めはプラトン船で行う。この場合、トレミー管の移動等に起重機船を使用し、打設状況は潜水士により確認する。

16．3．5　被覆工

被覆石の投入はガット船で行う。また、被覆石均しは定規（丁張）を設け潜水士船のウインチを使用して行う（図－16．4）。

工種	①ケーソン製作工	②ケーソン運搬工
施工要領図		
主な作業内容	・ケーソン製作工（型枠、鉄筋組立、コンクリート打設）	・ケーソン吊上げ（吊枠、ワイヤセット） ・ケーソン運搬
工種	③捨石工	④・ケーソン据付工
施工要領図		
主な作業内容	・基礎捨石投入 ・基礎捨石均し	・ケーソン据付（位置決め、引き寄せ据付）
工種	⑤中詰め工	⑥被覆工
施工要領図		
主な作業内容	・中詰めコンクリート打設	・被覆石投入 ・被覆石均し

図－16．3　施工要領



図－16．4　被覆石均し状況図

16．4　資機材計画

16．4．1　船舶・機械計画

本型式の施工に必要な機材はケーソン製作時等に使用する陸上機械と、ケーソン据付、捨石工等に使用する作業船舶とに分類できる。使用船舶・機械の選定に当っては調達の可能性、能力を確認するとともに、船舶の場合には停泊地、避難港等の利用水域を確保する必要がある。さらに、現地までの回航計画も十分に検討しておく必要がある。一般的な使用船舶・機械とその能力を表－16．1に示す。

表－16．1　主な船舶・機械の例

工　種	使用船舶機材	規格の目安	選定考慮事項
ケーソン製作工	クローラクレーン	40～50tf吊程度	・型枠重量と作業半径および必要高さ
	ポンプ車	60～90m³／h程度	・1回当りコンクリート打設量
ケーソン運搬据付工	大型起重機船	1,000～1,300tf吊程度	・ケーソン、吊り材およびワイヤー重量と必要アウトリーチ
	引　船	2,000～3,000PS程度	・曳航力および曳航速度
	揚錨船	15～25tf吊程度	
捨石工および被覆工	ガット船	499総トン	・水深、施工量、工程
	潜水士船	D30PS　3tf吊	

※　水深10mを想定。

16．4．2　資材計画

本型式の施工に必要な資材は工程計画および仕様書に基づいて確実に納入する必要があり、搬入方法、経路、場所、保管方法等は施工計画時に十分検討する必要がある。主要資材として各工種ごとに以下のものがある。

(1) ケーソン製作工

鉄筋およびつり鉄筋　　型枠・支保材

コンクリート　　足場材　その他

(2) 捨石工および被覆工

基礎捨石

被覆石

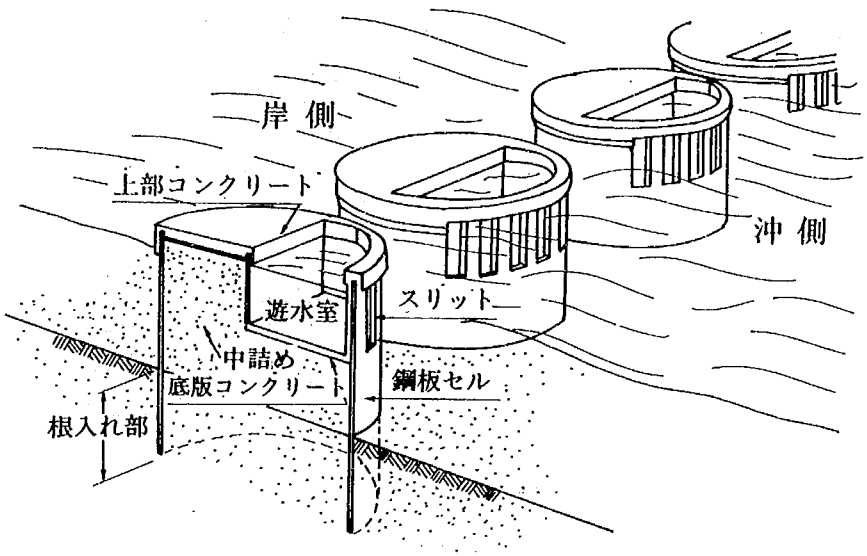
16.5　仮設計画

本編「11.5　仮設計画」と基本的に同様である。ただし、多量の石材を使用するため、資材ヤード（石材ストックヤード）を確保する必要がある。また、施工量によっては積み出し施設が複数必要となる場合がある。

第17章　鋼板セル式構造物の施工

17.1　概要

鋼板セル式構造物（根入れ鋼板セル型構造物）は鋼板セルとスリットブロックの複合構造物である。その施工方法は、根入れ式鋼板セル工法を中心とするもので、鋼板セルを打設、中詰めした後にスリットブロックを据え付けて一体化するものである（図－17.1）。



図－17.1　鋼板セル式構造物（根入れ鋼板セル型構造物）の概観

根入れ式鋼板セル工法は、あらかじめ製作した鋼板セルを起重機船で運搬した後、同調運転させた複数台バイブロハンマによる強大な振動力で海底地盤に直接打ち込み、中詰めを行って安定した構造体を造る工法である。

鋼板セルそれ自体は剛性の小さいものであるから、中詰め未施工時の安定性には十分注意する必要がある。このため、施工に際しては以下の点に留意する必要がある。

① 鋼板セル打設後は直ちに中詰めする。

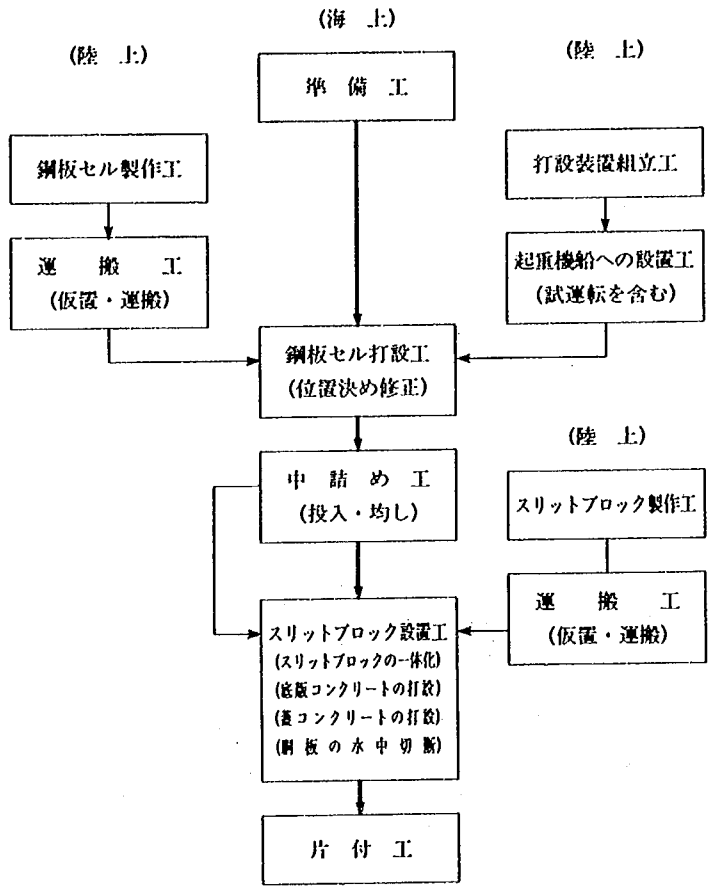
② 水中作業を極力減らす。

③ スリットブロック据付のための中詰め均し作業を速やかに行う。

④ 鋼板セルとスリットブロックとの一体化は慎重に行う。

17．2　施工手順

本型式の施工フローを図－17．2に、施工要領を図－17．3に示す。



図－17．2　施工フロー

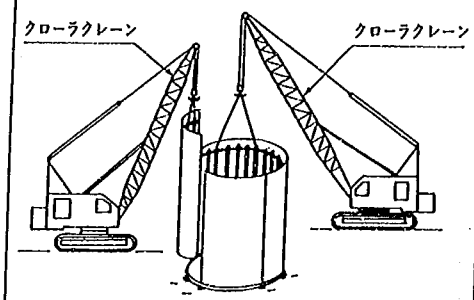
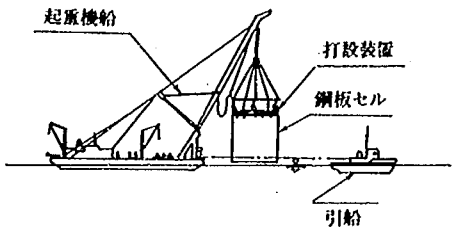
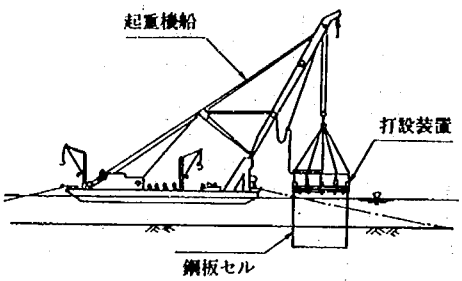
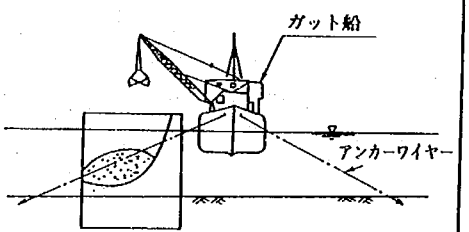
17．3　施工方法

17．3．1　鋼板セルの製作工

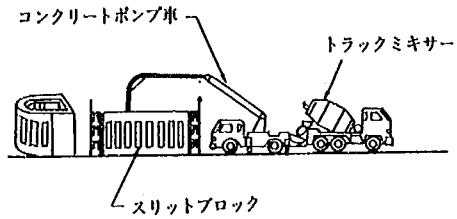
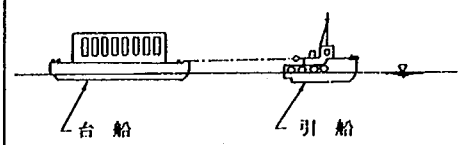
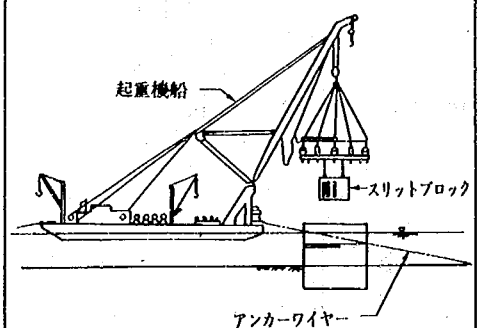
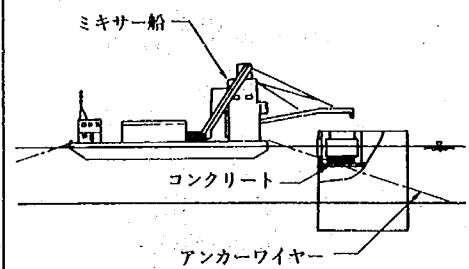
鋼板セルの製作方法には、①ブロック建込み方式、②リング積み重ね方式、③分割積み重ね方式等がある。製作方法は、これらの中から鋼板セルの大きさ、数量、打設工程、製作場所のスペース、使用する設備機器類等を考慮して、適切な方法を選択する。

(1)　リング積み重ね方式

リング積み重ね方式は、適当な大きさのリング状セル殻を製作し、それを数段積み重ねて所定の高さの円筒状のセルとする方法である。ロールベンダーによる工場加工が必要であり、小数の鋼板セルを製作する場合に適した方法である。多数の鋼板セルを製作する場合は工期も長くなり、大量の仮置が必要となる。

工種	① 鋼板セル製作	② 鋼板セル運搬
施工要領図		
主な作業内容	① 鋼板を溶接，胴板を造る。 ② 曲げ加工台で横リブを取り付け，ブロックを造る。 ③ 4個のブロックを大組台に運搬，組み立てて，溶接で一体化する。	① 岸壁に仮置。 ② 打設装置をチャッキング。 ③ 起重機船で吊ったまま建設地点まで引船で曳航。
工種	③ 鋼板セル打設	④ 中詰投入
施工要領図		
主な作業内容	① トランシット等で，位置の誘導を行う。 ② 傾斜のチェック，修正。 ③ 高さのチェック，打込み速度の調整。 ④ バイブロハンマ運転，停止。	① ガット船の係留。 ② 中詰め砂または中詰め石の投入。 ③ 均し。

図－17．3(1) 施工要領

工種	⑤ スリットブロック製作	⑥ スリットブロック運搬
施工要領図		
主な作業内容	① 型枠の組立・解体。 ② 鉄筋加工・組立。 ③ コンクリートの打設。	① 起重機船による台船への積み込み。 ② 引船による曳航。
工種	⑦ スリットブロック据付	⑧ 間詰コンクリート打設
施工要領図		
主な作業内容	① 中詰め栗石の均し。 ② セル打設用起重機船で吊り取り，据付。	① 鉄筋加工組立。 ② コンクリートの打設。水中部は水中コンクリートとする。 ③ 底版コンクリートも同様に施工。

図－17．3(2) 施工要領

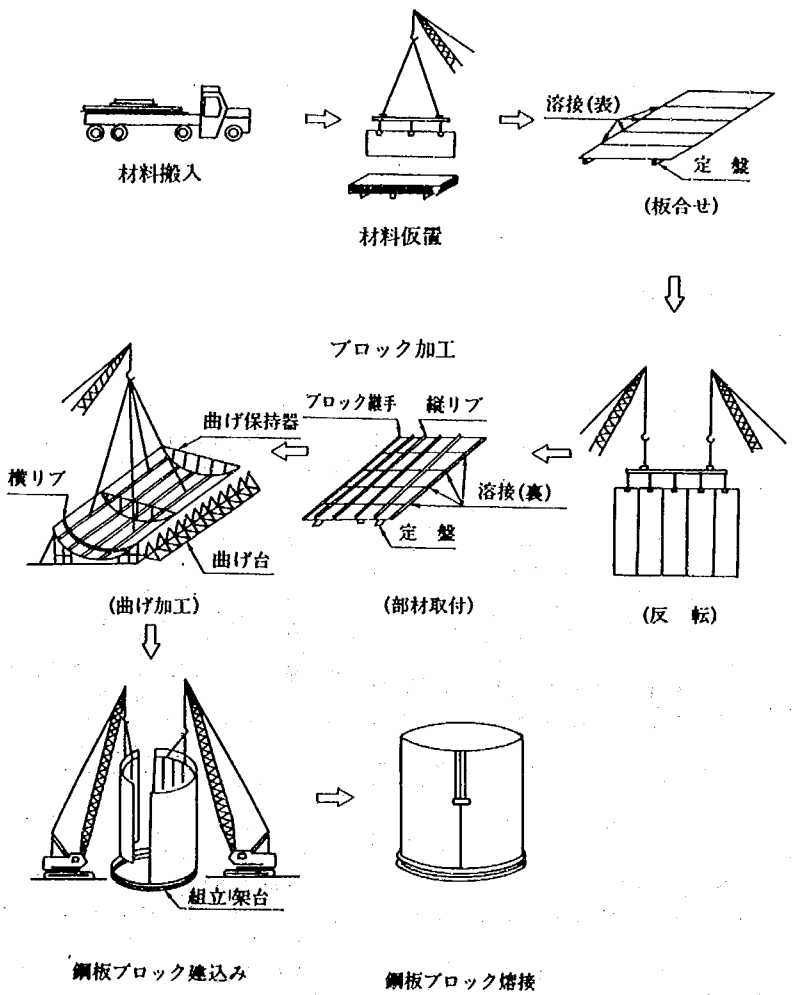
(2) 分割積み重ね方式

分割積み重ね方式は、鋼板セルを縦横多数に分割した円弧状の鋼殻をあらかじめ製作し、それを下から順次積み重ねて円筒状のセルとする方法である。ロールベンダーによる工場加工が必要であり、この場合も小数の鋼板セルを製作するのに適した方法である。

(3) 鋼板ブロック建込み方式

鋼板ブロック建込み方式は、鋼板セルを縦に数分割した円弧状の鋼板ブロックをあらかじめ製作し、そ

れらを建込んで円筒状のセルとする方法である。3つの方式の中では、大量生産に適し、打設速度に合わせた製作が可能な方式であり、製作精度も優れている。この方式による鋼板ブロックの製作・建込みの手順を図－17．4に示す。



図－17．4　ブロック製作・建込み手順

(4)　製作要領

主要部材には、ＪＩＳ規格に合格している材料を使用し、加工開始前にミルシートと照合して品質を確認する。材料の寸法や形状の許容差は、それぞれのＪＩＳ規格に示された値に従うものとする。材料の保管期間中に著しい錆の発生や損傷のないよう十分に注意する。

製作に着手する前には、必要に応じて原寸図を作成し、設計図の不備や製作上の支障がないかを確かめる。また、けがきを行う場合は墨を用いる。一般には白色を用いるが、特殊材（高張力鋼等）には色を区別

しておくとよい。引張力を受ける部材にはタガネやポンチを用いない。

主要部材の切断には自動ガス切断機を使用する。また、曲げ加工を行う場合は、材料にじん性の低下や有害な欠陥を与えないように配慮する。組立に際しては、部材中心のずれや部材相互の目違い、有害な変形等が生じないように注意し、設計で定められた形状、寸法、部材の組合わせ精度が確保できるように適当な治具を用いることが望ましい。また、必要に応じて適当な作業足場を用いる。

溶接は、必要な継手性能を満足するよう、下記の事項を事前に確認した後、慎重に施工する。

① 鋼材の種類と特性

② 溶接方法、開先形状および溶接材料の種類と特性

③ 組合わせる材片の加工・組立精度、溶接部分の清掃度と乾燥状態

④ 溶接材料の乾燥状態

⑤ 溶接条件と溶接順序

運搬や組立に用いる吊り金具や治具を鋼板セル本体に溶接する場合は、その溶接部が十分な強度を有するよう施工する。また、それらを除去する場合には、鋼板セル本体に有害な欠陥が残らないよう十分に注意する。

17．3．2　鋼板セルの運搬工

鋼板セルはたわみ性に富んでいるので、吊り上げて移動する場合は十分注意を払う必要があり、現地まで安全に運搬できる方法を選定する。

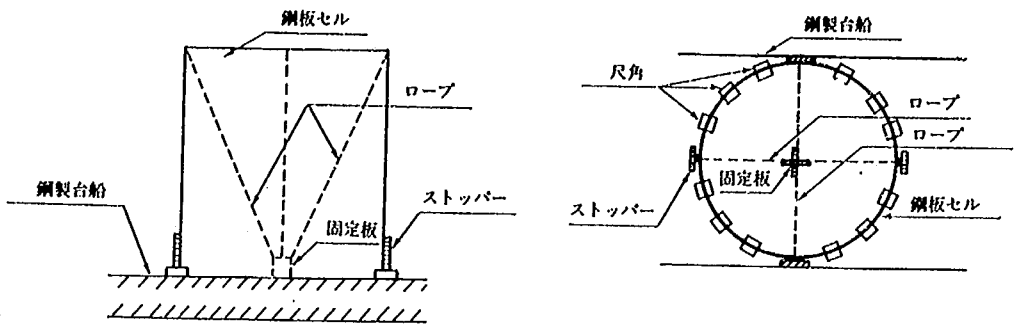
鋼板セルの運搬には、①台船による方法、②起重機船による方法等がある。台船による場合は、積み込みに起重機船や陸上走行クレーン、クローラクレーン等を用い、吊り荷重、揚程、アウトリーチ等を考慮して十分能力のあるものを選定する。運搬径路における海象条件に応じて、鋼板セルの滑動や転倒を防止するためラッシングなどを施し、安全を十分に確保する。ラッシングの一例を図－17．5に示す。

使用する台船は鋼板セルの重量や寸法に適した大きさのものとし、曳航に使用する引船は鋼板セルの風力抵抗も考慮して選定する必要がある。また、起重機船による場合には、打設用起重機船を用いる場合が多い。この場合には2台の油圧ユニットを用意し、油圧ホースは二系列配管するとよい。このとき、油圧チャックの把持力に十分注意を払う必要がある。

17．3．3　鋼板セルの打設工

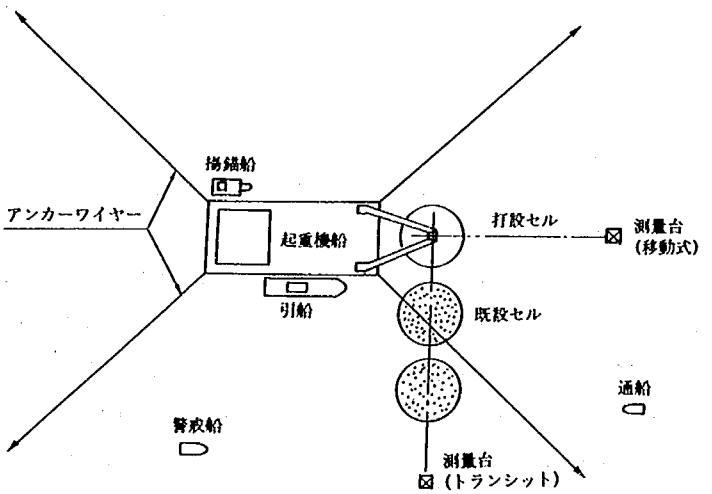
鋼板セルの打設には、専用の打設装置を用いる。打設時の貫入抵抗がセル各部で大きく異なると、傾斜、位置ずれが生じることがあるので、打設に際しては貫入速度を調整しながら慎重に施工する必要がある。

鋼板セルの位置決めは、陸上や測量台に設置したトランシットや光波距離計、または適切な位置決め装置を用いて行う。打設深さは、鋼板セルの天端をレベルで視準することによって管理する。鋼板セルの打設状況の一例を図－17．6に示す。



側面図　　平面図

図－17．5　ラッシングの一例



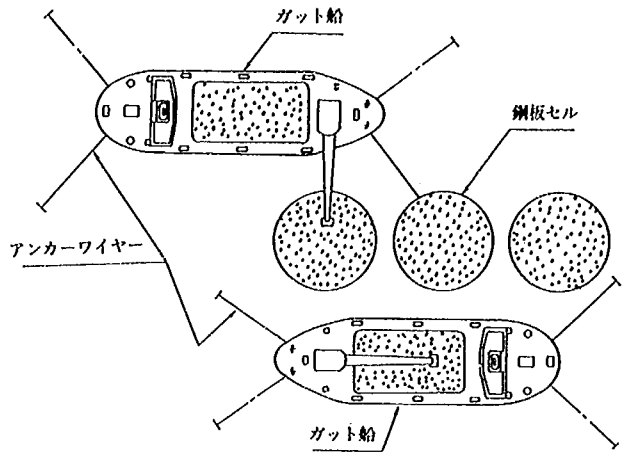
図－17．6　鋼板セル打設状況の一例

17．3．4　中詰め工

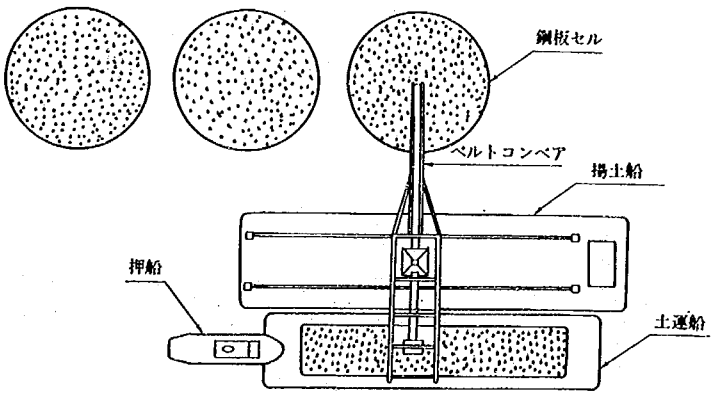
鋼板セルは中詰め未施工時には不安定な状態にあるので、打設完了後、直ちに中詰めを行う。中詰め材料には良質な砂や砕石を使用する。その投入方法には、①ガット船による方法、②揚土船による方法、③旋回式起重機船による方法、④上記の組合わせによる方法等がある。一般にはガット船による方法が多い。

急速施工を行う場合には、鋼板セルの直径や投入量によって異なるが、揚土船による方法が適しており、ガット船を使用して2方向から行うこともある。ガット船および揚土船による中詰め例を図－17．7に示す。

中詰め材の投入は、一部に片寄ることなく鋼板セルの中心部に投入し、周辺部への土圧が均等に作用するように配慮する。作業船は波によって動揺するので鋼板セルに接触しないようにアンカーリングを確実に行う。



a） ガット船による方法



b） 揚土船による方法

図－17．7　ガット船および揚土船による中詰め例

17．3．5　スリットブロックの製作および設置工

(1)　スリットブロックの製作

スリットブロックの製作は本編「8．3　鉄筋コンクリート工」に準じ、通常のコンクリートケーソンの製作と同様に行う。しかしながらスリット部は形状が複雑であり、鋼板セルとの一体化のため継ぎ鉄筋を設けるので、型枠の組立やコンクリートの打設には十分な注意が必要である。

(2)　スリットブロックの運搬・据付

あらかじめ製作されたスリットブロックを起重機船で吊り、現地に運搬して鋼板セル内に据え付ける。運搬距離が長い場合は、台船に積み込み現地に運搬して、起重機船で据え付ける。

(3)　スリットブロックの一体化

スリットブロックや鋼板セル内側に接続鉄筋やスタッドボルトを取り付けておき、コンクリートを打設することにより一体化する。コンクリートには特殊水中コンクリートを用いる。

(4) 底版コンクリートの打設

スリットブロックを一体化した後、特殊水中コンクリートで底版を施工する。

(5) 胴板の水中切断

スリットブロック前面のセル胴板を潜水夫により水中切断する。切り取った胴板は起重機船で吊り取り、台船に積み込み陸上のスクラップヤードに運搬する。

(6) 蓋コンクリートの打設

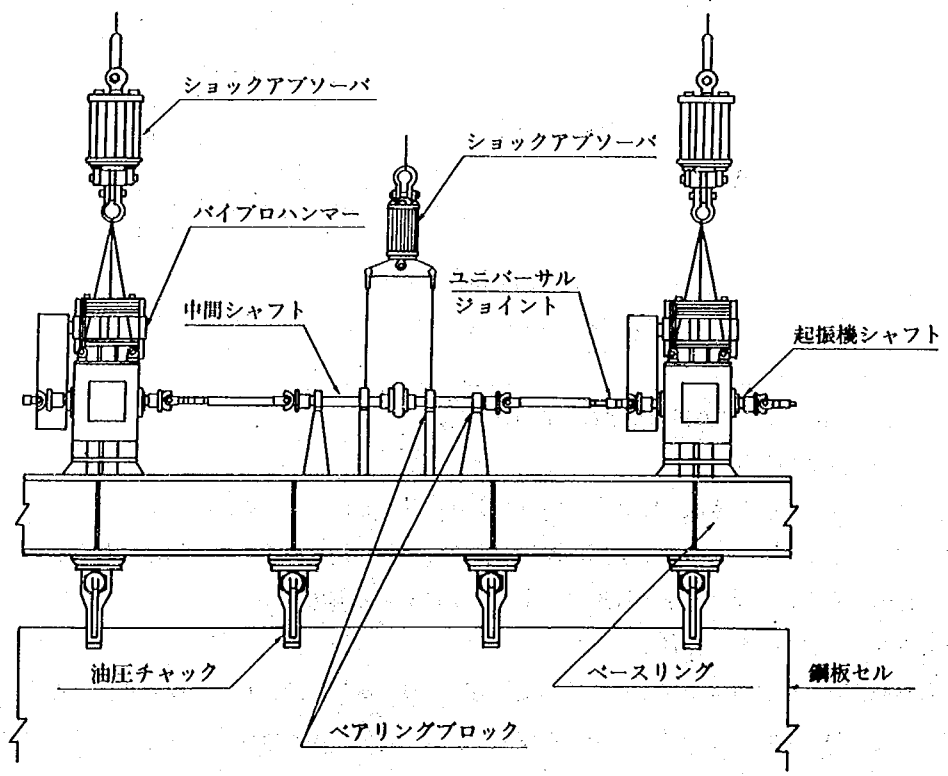
スリットブロック背面に中詰を施工し、表面を均したのち、蓋コンクリートを打設する。

17.4 機材計画

17.4.1 打設装置および付属設備

(1) 機器構成

鋼板セルの打設には、専用の打設装置が必要である。打設装置の構成は、①バイブロハンマ、②連動装置、③油圧チャック、④ベースリング、⑤吊り治具などである。関連設備としては、⑥発電設備、⑦油圧設備がある。これらの構成機器はバイブロハンマの使用台数によって決まる。バイブロハンマ1台当りの構成は図−17.8に示すとおりである。



図−17.8 打設装置の構成（バイブロハンマ1台当り）

a） バイブロハンマ

バイブロハンマは、発生する振動により地盤の摩擦抵抗や先端抵抗を低減させ、鋼板セルを打ち込むものである。地盤の状況（例えばN値30以上）によってはウォータージェットを併用する場合もある。バイブロハンマの使用台数は、海底地盤の土質や硬さから必要振幅を推定し、全振動重量、偏心モーメントや起振力などから次式を満足するように求める（根入れ式鋼板セル工法施工積算マニュアル（根入れ鋼板セル協会、1984））。

$$nK_o/Q_o \geqq a', \quad nP_o > T_v \tag{17.1}$$

$$Q_o = Q_c + Q_B + nQ_v \tag{17.2}$$

$$T_v = 2\pi D(\mu_s N I_s/50 + \mu_c C I_c) \tag{17.3}$$

μ_s, μ_c, ηは次式で与えられる。

$\mu_s = 0.05 + 0.95e^{-0.77\eta}$（砂質土）

$\mu_c = 0.13 + 0.87e^{-0.77\eta}$（粘性土）

$\eta = nP_o/Q_o$

動先端抵抗をチェックする場合は次式による。

$$Q_o > R_u \tag{17.4}$$

$$R_u = \alpha N S e^{-0.0652\cdot\sqrt{I}} \tag{17.5}$$

また、力積Iは次式で与えられる。

$I = nK_o\omega/g$

ここに、n：バイブロハンマの使用台数、K_o：バイブロハンマの1台当りの偏心モーメント（kf・cm）、Q_o：全振動重量（kgf）、Q_c：セル殻の重量（kgf）、Q_B：ベースリング重量（kgf）、Q_v：バイブロハンマ1セット当りの重量（kgf）、P_o：バイブロハンマ1台当りの起振力（kgf）、T_v：動摩擦力（kgf）、a'：必要振幅（cm）、μ_s、μ_c：低減率、η：振動加速度（G）、I_s、N：根入れ部における砂質土の全層厚（cm）および平均N値、I_c、c：根入れ部における粘性土の全層厚（cm）および平均粘着力（kgf/cm²）、D：セルの直径（cm）、R_u：動先端抵抗（kgf）、α：砂質土4、粘性土8、S：セル先端の面積（cm²）、ω：円振動数（s^{-1}）、g：動力の加速度（cm/s^2）、I：力積（kgf・s）である。

b） 連動装置

連動装置は、バイブロハンマの起振機軸間を連結し、それぞれのバイブロハンマが同調運転し一体となって、強力な振動を発生するための装置である。ユニバーサルジョイントや中間シャフト、タイヤカップリング等からなり、ベアリングブロックで支持されている。

ユニバーサルジョイントは、使用中の取付け角度を考慮して、モータの起動トルクが伝達トルクを越えないように決定する。

中間シャフトは、伝達トルクによって生じる応力が許容応力以内になるように断面を決定しなければならない。そして、タイヤカップリングは、モータの起動トルクが許容トルクを越えないように型式を決定する。

c） 油圧チャック

油圧チャックは、バイブロハンマの起振力を鋼板セルに確実に伝達するもので、全把持力がバイブロハンマの総起振力より大きいものとする。

専用のバイブロハンマを用いた場合、バイブロハンマ1台当りの油圧チャックは80tf型3台が必要となる。連動装置等を含めたバイブロハンマ1セット当りの重量（Q_v）は12,000kgf程度である。

d） ベースリング

ベースリングは、バイブロハンマ、連動装置、油圧チャックなどを一体として組み込み、バイブロハンマの起振力を鋼板セルに均等に伝えるための架台であり、剛性の高い構造体である。ベースリングの基本断面は、バイブロハンマの取付け点を支点とし、油圧チャック取付け点を荷重作用点とする連続梁として設計する。連続梁に作用する集中荷重は、油圧チャックの伝達力で全起振力が等分に分配されるものと仮定する。

e） 吊り治具

吊り治具は、鋼板セルおよび打設装置を吊り下げるためのもので、自重を含めた吊り重量とバイブロハンマの起振力や動的引き抜き力に耐えられる構造とする。吊り治具の形状は、ベースリングの吊り点の数から決められ、一般に多角形となる。吊り治具の部材断面は軸力と曲げモーメントを受ける長柱として設計する。

f） 発電設備

打設装置用の電力は台船または起重機船に搭載した発電機から供給する。発電設備には、発電機、制御盤、起動盤、キャプタイヤケーブルなどがある。

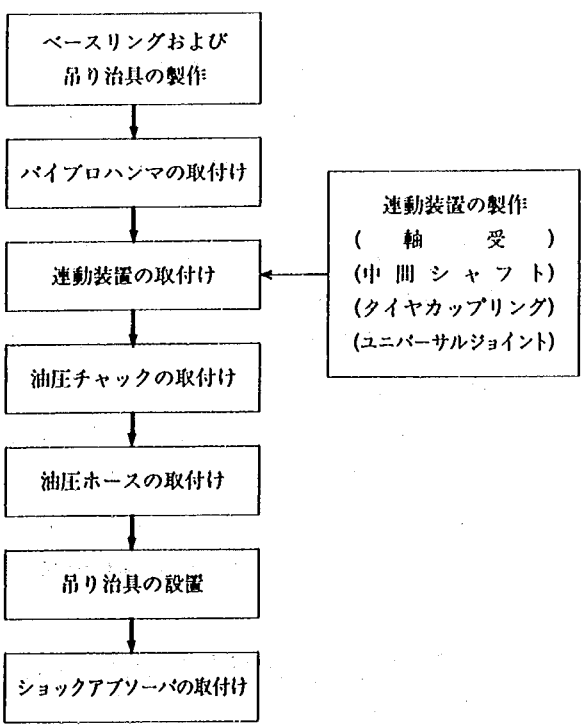
g） 油圧設備

油圧チャック用の油圧ユニットおよび発電機は起重機船に設置する。

(2) 打設装置の組立

打設装置の組立フローを図－17．9に示す。組立要領としては、ベースリングにバイブロハンマ、連動装置、油圧チャック等を仮組し、取付け方向、取付け精度等を確認した後、本組する。

組立場所は、バイブロハンマ、連動装置、油圧チャック等を仮置きし、組立を行うのに十分な広さを有するとともに、起重機船により打設装置が直接吊り取りできる水際線であることが必要である。さらに、クレーン、溶接機などの



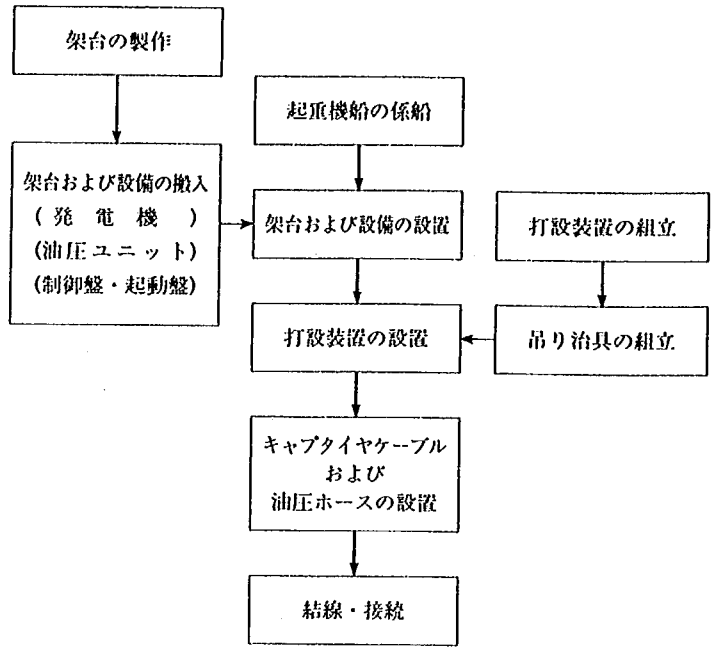
図－17．9 打設装置の組立フロー

設備や材料、労働の手配が容易に行えることが望ましい。組立作業は高所作業となるため、作業性、安全性に十分注意する必要がある。

(3) 起重機船への設置および試運転

打設装置およびその付属設備を起重機船に設置するフローを図－17．10に、付属設備の配置例を図－17．11に示す。付属設備の起重機船への配置は作業性、安全性、操船性を考慮して、複雑とならないように配置する。

バイブロハンマ用の発電機は台船に設置する場合もある。この場合、キャプタイヤケーブルの接続が簡単に行えるよう配置が必要である。また、打設装置のトラブルを防止するために、試運転を繰り返して行い異常の有無を確認する。



図－17．10　打設設備の設置フロー

17．4．2　船舶・機械計画

起重機船の大きさは吊り荷重、揚程、アウトリーチ等を考慮して決定する。起重機船の吊り荷重は次式から求める。

$$U = \xi Q + T_v \qquad (17.6)$$

$$Q = Q_0 + Q_x \qquad (17.7)$$

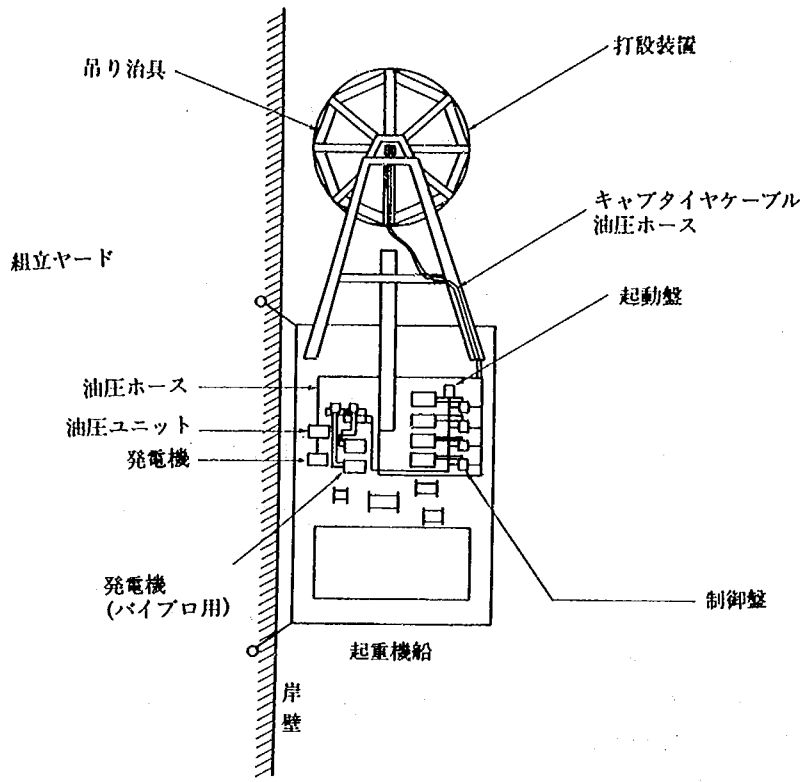
ここに、U：起重機船の吊り荷重（kgf）、ξ：動荷重係数（1.0～1.5）、Q_x：吊り治具、ショックアブソーバ、吊りワイヤー等の重量（kgf）、T_v：根入れ部分の周面の動摩擦力(kgf）である。

主な使用船舶・機械の一覧表を表－17．1に示す。この例は水深11mに施工することを想定した場合のものである。

中詰めに使用する作業船の種類や大きさ、能力等は、中詰めの量、鋼板セルの直径、鋼板セルの打設工程などから投入作業が最も効果的に行えるように選定する。一般には、ガット船や揚土船を使用する例が多い。

17．5　仮設計画

鋼板セルの製作は、一般に、①製作および積み出し施設のある工場、②仮設ヤード、③作業台船等のいずれかの場所で行う。製作場所の決定に当っては、鋼板セルの大きさや製作数量、積み出し工程、打設地点までの距離、クレーンの設備能力、ストックヤードの有無、岸壁の形状、水深、水際線の長さ等を十分考慮す



図－17.11　付属設備の設置例

る必要がある。

(1)　鋼板セル製作用の仮設設備

鋼板セル製作のための仮設設備は製作方式により異なるが、一般に多く使用されている鋼板ブロック建込み方式の場合では、①定盤加工台、②曲げ加工台、③組立架台等である。仮設設備レイアウトの一例を図－17.12に示す。

①　定盤加工台

定盤加工台は、1ブロックの胴板を溶接しジョイント部材や縦リブを取り付けるための加工台である。H型鋼やL型鋼で作られ、基礎にはコンクリートブロックが用いられる。

②　曲げ加工台

曲げ加工台は、定盤加工台で製作された1ブロックの胴板を曲げ加工する架台で、L型鋼等で作られる。曲げ加工台に胴板を乗せることにより所定の曲面が形成される。横リブや曲げ保持材を取り付けて鋼板セルの分割ブロックが作られる。

③　組立架台

組立架台は、曲げ加工台で製作されたそれぞれの分割ブロックを一体化する台で、H型鋼で作られる。分割ブロックを特殊台車で運搬し、大型クレーンで組立架台上に建て込み、全自動溶接機で溶接して、一

表－17．1　主な船舶・機械の例

工　種	船舶・機械	規　格	台　数	摘　要
鋼板セル製作工	クローラクレーン	150tf吊り	3 台	鋼板セルの製作
	トラッククレーン	45tf吊り	2 〃	〃
	高所作業車	20m級	4 〃	〃
鋼板セル打設工	起重機船	600～700tf吊り	1 隻	鋼板セルの打設
	引船	1500ps	1 〃	〃
	揚錨船	240ps	1 〃	〃
	交通船	125ps	1 〃	〃
	警戒船	50ps	1 〃	〃
	バイブロハンマ	VM_2—25000A	5～6 台	〃
	発電機	450KVA	5～6 台	〃
	〃	60KVA	1 〃	〃
	油圧チャック	80tf用	10～18 〃	〃
	油圧ユニット	45kW	1 〃	〃
	ショックアブソーバ	30tf用	5～6 〃	〃
	連動装置		5セット	〃
	同時起動盤		1 式	〃
	ベースリング	φ17m	1 基	〃
	吊り治具	φ17m	1 〃	〃
スリットブロック設置工	起重機船	10tf吊り	1 隻	運搬・据付
	ミキサー船	0.75m³DE240ps	1 〃	〃
	引船	125, 250, 600ps	3 〃	〃
	台船	100tf積み	1 〃	〃
	揚錨船	60ps	2 〃	〃
	交通船	125ps	1 〃	〃
	警戒船	50ps	1 〃	〃
	潜水士船	D30ps, 3tfウインチ	3 〃	〃

※　深11mを想定

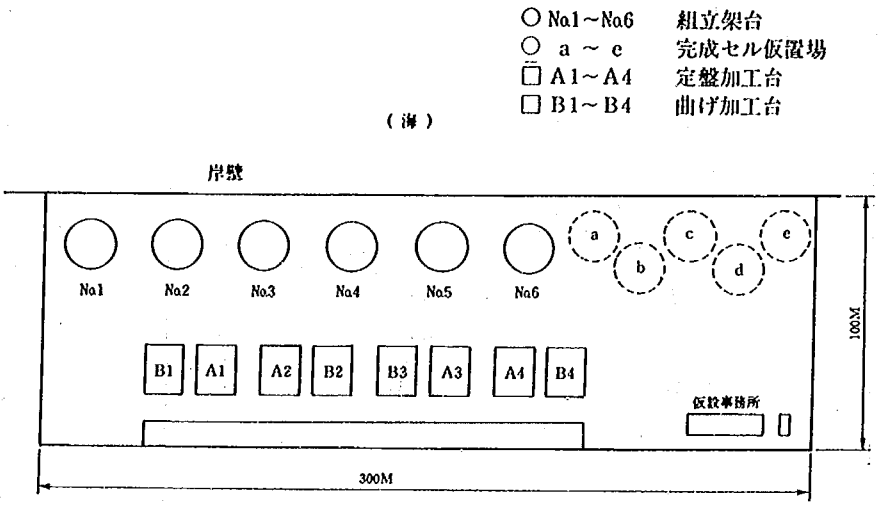
体化した鋼板セルを製作する。

(2)　ベースリング

ベースリングの製作は、既存の工場で行うのが望ましい。製作方法は、ベースリングの大きさ、製作場所の広さ、使用する設備機器等を考慮して適切に選定する。なお、ベースリングは振動部材であるので溶接は慎重に行う必要がある。

(3) スリットブロックの製作ヤード

スリットブロックの製作場所を決める際には、大きさ、製作数量、積み出し工程、施工地点までの距離、クレーンの設備能力、ストックヤードの有無、岸壁の形状、水深、水際線の長さ等を十分考慮する必要がある。

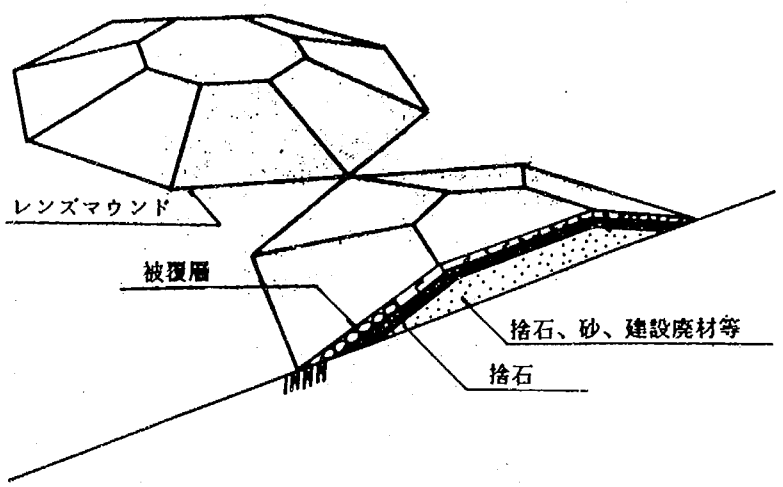


図－17.12　製作ヤード

第18章　捨石式構造物の施工

18．1　概要

捨石式構造物（レンズマウンド）の堤体は中詰め部と被覆層より成る。中詰め部は砂、捨石等で製作し、被覆層に近い部分には重量の大きい材料を使用する。天端付近の被覆には被覆ブロックを、のり面の被覆には被覆石を用いる。また、のり尻部には洗堀防止マウンドを設ける（図－18．1参照）。



図－18．1　捨石式構造物（レンズマウンド）の概観

18．2　施工手順

捨石式の施工フローを図－18．2に、施工要領を図－18．3に示す。以下に各種の施工方法の概略を述べる。

① 盛砂工（盛砂投入、均し）

盛砂は、自航グラブ船で積み込み運搬し、潜水士船による指示に従い投入する。盛砂投入完了後、潜水士船により均しを行う。

② 捨石工（捨石投入、均し）

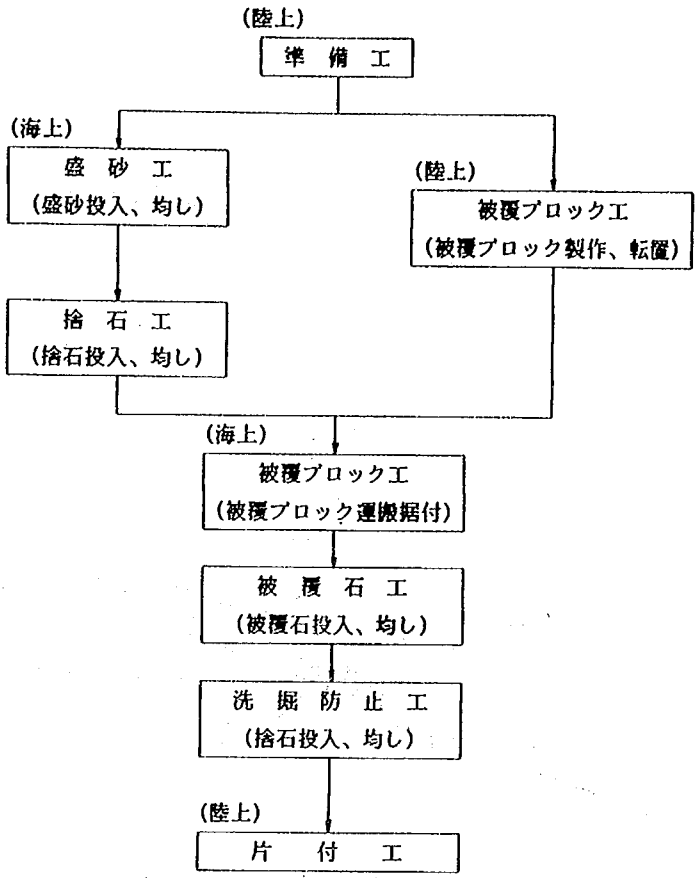
捨石は、自航グラブ船で積み込み運搬し、潜水士船による指示に従い投入する。捨石投入完了後、潜水士船により均しを行う。

③ 被覆ブロック工（被覆ブロック製作、転置）

被覆ブロックは陸上製作ヤードで製作する。製作完了後、所定の強度に達した後にトラッククレーン等で転置する。

④ 被覆ブロック工（被覆ブロック運搬、据付）

被覆ブロックは岸壁まで陸上運搬し、トラッククレーンにより台船に積み込み、海上運搬する。海上運



図－18．2　施工フロー

搬したブロックは、台船上のクレーンで吊り降し、潜水士船により据え付ける。

⑤　被覆石工（被覆石投入、均し）

被覆石は、自航グラブ船で積み込み運搬し、潜水士船による指示に従い投入する。被覆石の投入完了後、潜水士船により均しを行う。

⑥　洗堀防止工（捨石投入、均し）

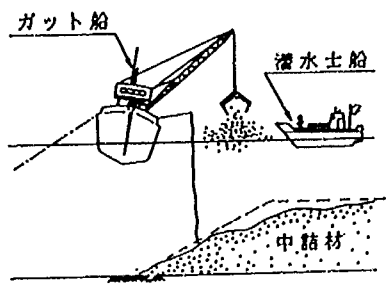
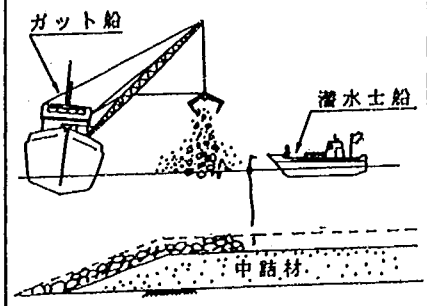
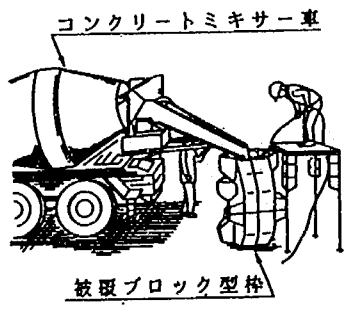
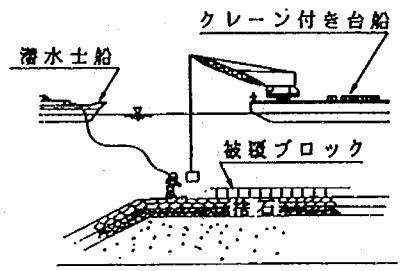
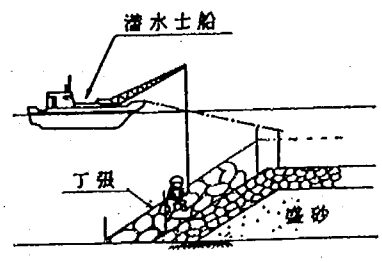
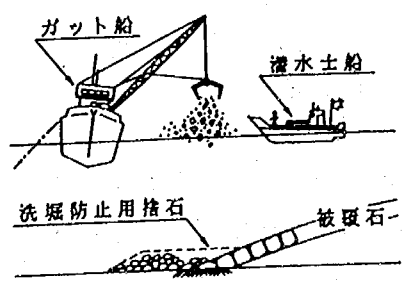
洗堀対策工の捨石投入、均しの施工方法は捨石工に準ずる。

18．3　施工方法

18．3．1　盛砂工

(1)　盛砂投入

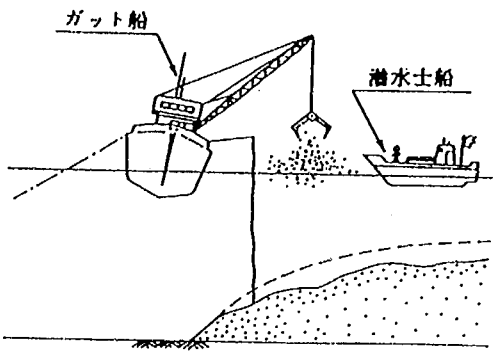
盛砂の積み込み運搬は、通常自航グラブ船（350㎥～650㎥積）で行う。投入開始前に投入区域を旗、ブイ等で明示し、潜水士船による投入指示に従い盛砂を投入する（図－18．4参照）。盛砂が完成に近づいたら断面測量を行い、仕上げ断面を十分確認して入念に最後の投入を行う。

工種	①盛砂工（盛砂投入、均し）	工種	②捨石工（捨石投入、均し）
施工要領		施工要領	
主な作業内容	盛砂を投入し潜水士船より均す。	主な作業内容	捨石を投入し潜水士船により均す。
工種	③被覆ブロック工（被覆ブロック製作、転置）	工種	④被覆ブロック工（被覆ブロック運搬、据付）
施工要領		施工要領	
主な作業内容	被覆ブロックを陸上ヤードで製作し、所定強度の達成後、転置する。	主な作業内容	被覆ブロックを台船に積み込み、海上運搬し据え付ける。
工種	⑤被覆石工（被覆石投入、均し）	工種	⑥洗掘防止工（捨石投入、均し）
施工要領		施工要領	
主な作業内容	被覆石を投入し潜水士船により均す。	主な作業内容	捨石を投入し潜水士船により均す。

図－18．3　施工要領

(2) 盛砂均し

盛砂投入完了後、潜水士船により均しを行う。盛砂断面は円形に近くなるので、断面形状を把握するためには入念な測量を実施し、十分に遠方を設置して均しを行う必要がある。



図－18．4　盛砂投入

18．3．2　捨石工

石材の積み込み運搬は、ストック量、積み込み能力、積み込み量、運搬距離、運搬時間、運搬時期、捨て込み能力などを総合的に検討し、石材の投入に支障をきたさないよう余裕をもたせて計画する必要がある。詳細は本編「8．2　捨石工」に準ずる。

18．3．3　被覆ブロック工

(1) 被覆ブロック製作、転置

a）型枠組立

被覆ブロックの型枠は底版と数枚の側枠より構成されるが、底版の枚数はブロックの転置に要する養生日数の関係により、通常1セットの側枠の2倍の数量が必要となる。また、型枠の必要数量は、1回のブロック製作サイクルと全体の工期・数量およびヤードの条件を検討して決定する必要がある。型枠組立はブロックの大きさによるが、人力またはクレーンにより吊り上げ、ボルトやクリップによって組み立てるのが一般的である。型枠組立前には、はく離剤の塗付作業を丹念に行い、錆とコンクリートの付着の防止に留意する。

b）コンクリート打設

型枠組立後、コンクリートの打設を行う。打設方法として広く利用されているのは次の方法である。

① コンクリートミキサー車からシュートを利用して直接打ち込む方法
② コンクリートバケットをクレーン等により吊って打ち込む方法
③ 移動式足場を使用してコンクリートミキサー車から直接打ち込む方法
④ ブロック製作ヤードを堀込式にして①の方法で打ち込む方法

また、打設に際しては、コンクリートをよく締固め、スページングを行って、気泡および水抜きをする必要がある。

c）コンクリート養生および型枠脱型

打設完了後、シート等で養生を十分に行い、所定強度（目安として35kgf／cm²程度）に達した後に型枠脱型を行う。

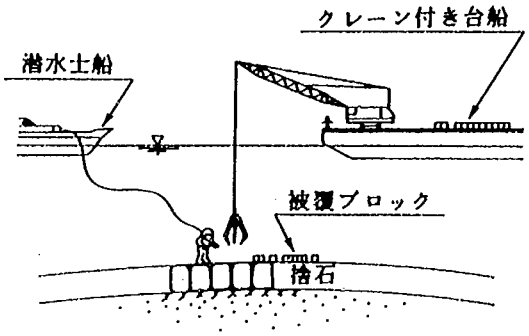
d）ブロックの転置

製作完了後、ブロックの吊り上げが可能な強度に達したら、トラッククレーン等で転置する。

(2) 被覆ブロック運搬据付

被覆ブロックの運搬据付は、陸上での積み込み・運搬・仮置・海上運搬・据付の順に行う。

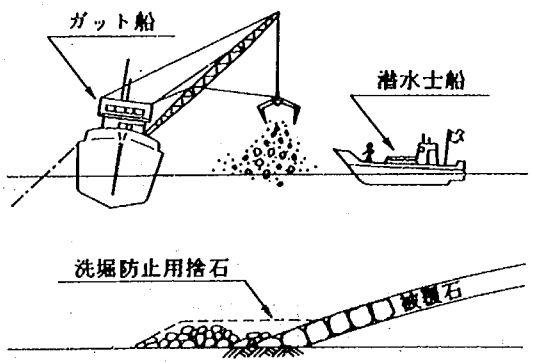
被覆ブロックは、ブロック製作ヤードよりトラッククレーンによりトラックに積み込まれ、積み出し岸壁まで陸上運搬され、仮置される。陸上仮置されたブロックをトラッククレーンによって台船に積み込み、引船により据付現場まで海上運搬する。さらに、台船上のクレーンにより所定の位置に吊り降ろし潜水士船を用いて据え付ける（図－18．5参照）。



図－18．5　被覆ブロック据付

18．3．4　被覆石工

被覆石の運搬は本編「8．2　捨石工」の運搬に準ずる。被覆石投入も一般的に自航グラブ船（350㎥～650㎥積）で行う。ただし被覆石の投入方法は捨石投入とは異なり、潜水士の指示により計画的に投入する必要がある。また、海面付近で石を放出するようには投入せずに、グラブバケットにより直接基礎面付近に投入する場合が多い。

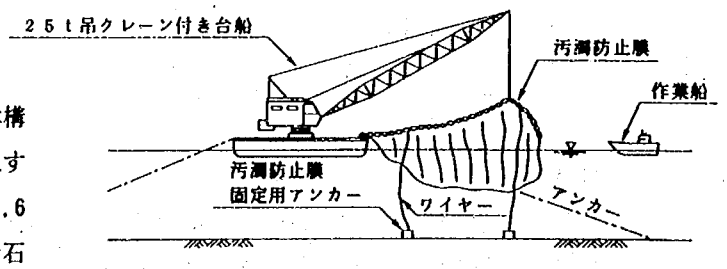


図－18．6　洗掘防止用捨石投入

被覆石の均しは、遣方に基づいて、潜水士船のウインチを使用し、のり尻からのり肩に向かって行う。被覆石は捨石の洗堀あるいは流失防止のために設置されるので、特に個々の石のかみ合わせが十分となるよう隙間を出来るだけ少なくする必要がある。

18．3．5　洗掘防止工

洗掘防止工は、レンズマウンド本体構造物ののり尻部が洗掘されるのを防止するために設置するものである(図－18．6参照)。施工方法は本編「18．2　捨石工」に準じる。



図－18．7　汚濁防止膜設置

18．4　資機材計画

18．4．1　船舶・機械計画

船舶・機械を順調に稼働させるためには、それぞれの船舶・機械が常に良好な状態に整備されていなければならない。そのためには作業開始前の点検、月例の自主検査など、船舶・機械の整備計画に必要な時間を工程計画に組み込むべきである。船舶・機械の点検・検査には法規に定められたものが多いので留意する必要がある。本型式の主要な船舶機械を表－18．1に示す。この表は水深10m程度を想定して作成したものである。

表－18．1　主な船舶・機械の例

工　種	名　称	規格の目安	摘　要
盛砂工	自航クラプ船	350m³積～650m³積	盛砂運搬投入
	潜水士船	4.9tf、3tfウインチ付き	盛砂均し
捨石工	自航クラプ船	350m³積～650m³積	捨石運搬投入
	潜水士船	4.9tf、3tfウインチ付き	捨石均し
被覆ブロック工	ｺﾝｸﾘｰﾄﾐｷｻｰ車	4.4～4.5m³	被覆ブロック製作
	トラッククレーン	20～22tf吊	被覆ﾌﾞﾛｯｸ転置、積み込み
	トラック	11tf積m³	被覆ブロック運搬
	クレーン付き台船	25tf吊	被覆ブロック据付
	引　船	D－250PS	同　上
	台　船	100tf積	同　上
	潜水士船	4.9tf、3tfウインチ付き	同　上
被覆石工	自航クラプ船	350m³積～650m³積	被覆石運搬投入
	潜水士船	4.9tf、3tfウインチ付き	被覆石均し
洗掘防止工	自航クラプ船	350m³積～650m³積	捨石運搬投入
	潜水士船	4.9tf、3tfウインチ付き	捨石均し
汚濁防止膜設置撤去	クレーン付き台船	25tf吊	汚濁防止膜設置撤去
	引　船	D－250PS	同　上
	台　船	100tf積	同　上
	潜水士船	4.9tf、3tfウインチ付き	同　上
全　般	交通船	D－50PS	

18．4．2　資材計画

資材計画に際しては、原則として工程計画が優先するため、これを十分満足して進捗できるよう、必要となる資材の質・量ともに適時、適切な調達を図る必要がある。

資材使用計画表は、工程表、仕様書などより所要材料について品名、品質、規格、数量、注文、納入、消費の時期、作業場所への運搬、転用などの要領を検討、決定するもので、工事当初にこれらの内容の詳細を取りまとめる必要がある。計画の作成に当っては、特殊注文品の納期、資材の単純化、標準化、代替品の検討に留意し、経済性を十分にとり入れなければならない。また、資材使用計画表は資材の手持ちや二次運搬をはじめ余分な管理費を必要としないよう適時、適所への搬入が必要である。本型式の主要な資材を表－18．2に示す。

表－18．2　主要資材一覧表

名　　称	規格の目安	備　　考
盛　　砂	シルト分15%以下	盛砂工
捨　石　（1）	10～200kgf／個	捨石工（中詰め用） 洗掘防止工
捨　石　（2）	200～400kgf／個	捨石工（吹出し防止用）
被　覆　石	1tf／個	被覆石工
被覆ブロック	2tf／個	被覆ブロック工

18．5　仮設計画

(1)　ブロック製作ヤード

a）　製作ヤードの選定

製作されたブロックは、一般に陸上クレーンまたはクレーン付き台船等の海上クレーンにより台数に積み込まれ、現地まで運搬される事が多い。したがって、製作ヤードは積み出し施設として使用する岸壁等の背後地を利用するのが一番有効である。しかし、背後地が利用できない場合には、適当な運搬距離にあるヤードを選定するが、資材を搬入する道路および現場作業に支障をきたさない平坦な場所とする必要がある。

b）　製作ヤードの広さ

製作場所の所要面積は、型枠置場、ブロックの仮置場所、場内小運搬道路、および必要に応じて事務所、作業員詰所などに必要な面積を考慮して算出する必要がある。ブロックヤードの広さの目安は、下記の通りである。

- ブロック製作ヤード　　7ｍ程度（2列製作）×数箇所
- 搬入道路　　5ｍ程度×数箇所

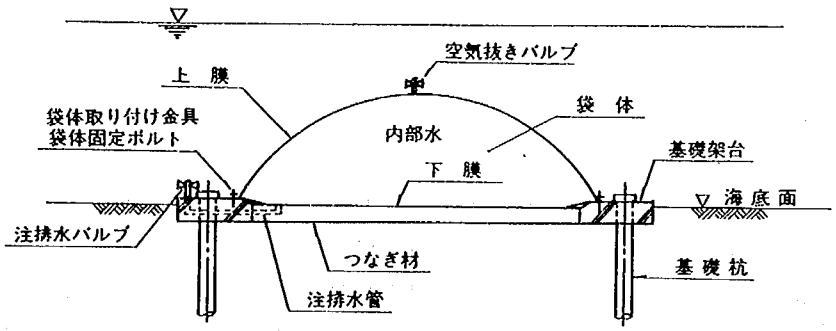
(2)　汚濁防止膜

施工に先立ち、汚濁防止膜を施工区域に設置する必要がある。汚濁防止膜の設置は、クレーン付台船（25ｔ吊）および、潜水土船（4.9ｔ、3大ウインチ付）を使用して行い、固定用アンカーを取付るものとする。（図－18．1参照）

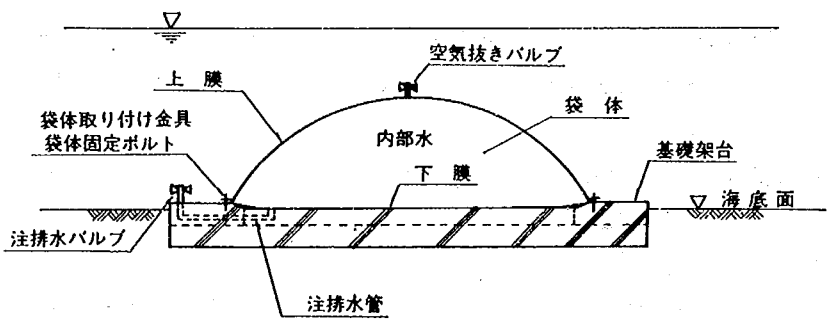
第19章　膜構造式構造物の施工

19.1　概要

膜構造式構造物（フレキシブルマウンド）は、上部構造の袋体、下部構造の基礎架台と基礎から構成され、下部構造には杭式（図－19.1）と重力式（図－19.2）の2種類がある。杭式では、運搬・据付時の袋体・架台重量が比較的軽量である一方で、据付後に杭の打設と杭を架台に結合する作業が必要である。重力式では、運搬据付時の袋体・架台重量を軽くするため、架台内に打設するコンクリートを場所打ちする作業か、あるいはシンカーを取り付ける作業がある。しかし、据付後の海上作業が少なくて済む。



図－19.1　膜構造式構造物（杭式）の概観



図－19.2　膜構造式構造物（重力式）の概観

19.2　施工手順

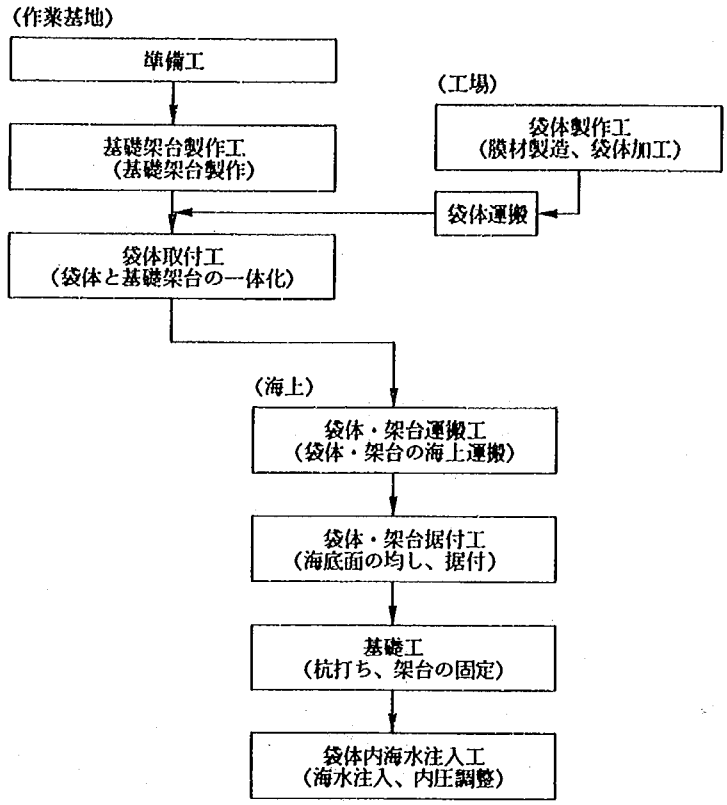
本型式の施工フローを図－19.3に、杭式の場合の施工要領を図－19.4に示す。

(1)　袋体製作工

工場で膜材を製造し、袋体に加工する。

(2)　基礎架台製作工

作業基地内製作ヤードで基礎架台を製作する。



図－19．3　施工フロー

(3)　袋体取付工

工場から運搬された袋体を基礎架台に取り付け、両者を一体化する。

(4)　袋体・架台運搬工

一体化した袋体・架台を設置海域まで下記方法により運搬する。

①　起重機船による吊り上げ

②　台船上に積載

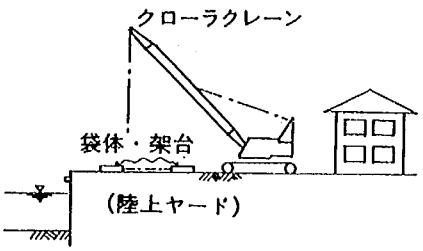
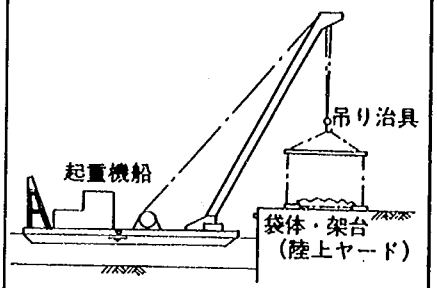
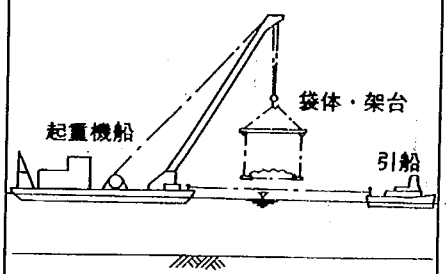
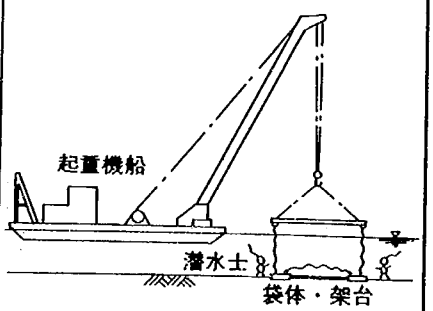
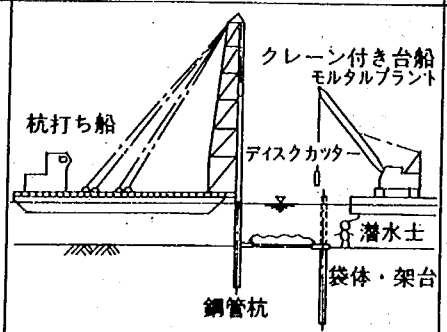
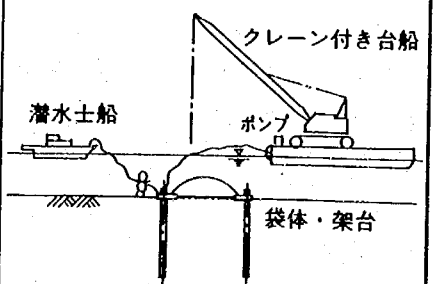
③　浮上・曳航

(5)　袋体・架台据付工

起重機船により袋体・架台を均した海底面に据え付ける。

(6)　基礎工

杭式では、杭打ち工により架台を結合する。重力式では、架台内に水中コンクリートを打設するか、架台にシンカーを取り付ける。

工種	① 基礎架台製作、袋体取付け工	② 吊り込み
施工要領図		
主な作業内容	岸壁に隣接して、基礎架台を製作し、袋体を取り付ける。	起重機船で袋体・架台を吊り込む。
工種	③ 袋体・架台運搬工	④ 袋体・架台設置工
施工要領図		
主な作業内容	起重機船で袋体・架台を吊った状態で設置海域まで曳航する。	あらかじめ、均した海底面に、袋体・架台を設置する。
工種	⑤ 基礎工	⑥ 袋体内注入工
施工要領図		
主な作業内容	設置後、直ちに杭を打設し、杭を所定の高さで切断して杭と架台を結合する。	袋体内に海水を注入し、所定の内圧に調整する。

図－19．4　施工要領（杭式）

(7) 袋体内注水工

袋体内に海水を注入し、所定の内圧に調整する。

19．3　施工方法

本型式の施工方法は、据付時の袋体・架台が大型であるため、その製作場所、運搬方法が工程を左右する。したがって、施工計画の作成に当っては、通常の施工に必要とされる調査に加えて、造船所など大型の構造物が製作できる施設などの調査も行う。

19．3．1　袋体製作工

(1) 膜材の製造

袋体に使用するゴム引き布の材質・仕様は本手引き（案）「構造設計編」による。膜材の傷、補強繊維とゴムの接着不良および品質のばらつきは袋体の損傷・変形をもたらすので、膜材の製造は十分な品質管理ができる工場で行う。

(2) 袋体の加工

袋体は、長尺のゴム引き布を切断し、表面処理の後、接着材で貼合わせて袋状に加工する。接着部の不良および膜材の傷がないように十分な品質管理が必要である。

(3) 袋体の運搬

袋体は、損傷を与えないように折りたたむかシャフトにロール状に巻き取り、梱包して作業基地に運搬する。運搬方法には、梱包形状、重量および運搬径路に応じて適切な手段を選ぶ。

19．3．2　基礎架台製作工

(1) 作業基地

作業基地は、基礎架台を製作して袋体を取り付ける製作ヤードと作業船が避難・係留する係船施設とに分けられる。作業船の効率的な運用を図るため、一般に両者は設置海域に近い同じ地区に設置する。作業基地には、架台の製作方法や一体化した袋体・架台の海上運搬方法により以下の場所を選定する。

① 起重機船で吊って運搬する場合（設置海域と作業基地が近い場合など）

起重機船が接岸できる岸壁に接する陸地とする。

② 台船で運搬する場合（設置海域と製作ヤードが遠い場合や台船上で製作する場合）

陸上で架台の製作と袋体の取付けをする場合は①と同じである。台船上で製作・取付けをする場合は台船が接岸できる岸壁とする。

③ 浮上・曳航で運搬する場合（一体化した架台・袋体が大型の場合など）

ケーソン船が接岸できる岸壁、あるいは、ドライドックやスリップウェーなどの進水施設をもつ造船所とする。

(2) 基礎架台の製作

基礎架台は、設計図に示された形状、規格および品質等を満足するように製作する。特に膜材に接する面は、袋体に損傷を与えないように平滑に仕上げる。陸上製作の場合には、完成した架台を陸上で移動しなくて済むように、起重機船の作業範囲内で組立作業を行う。用地の制限などで陸上移動が必要な場合には、

レール・台車など岸壁までの移動設備を用意する。

基礎架台を台船上やケーソン船上など海上で製作する場合には、船の設備や水域の状況に応じた機械・資材供給設備を用意する。造船所などの進水設備を借用する場合には、既存設備を有効に活用した作業計画を立てる。

19.3.3　袋体取付け工

工場で製作した袋体は、梱包を解いて架台上に広げ、架台とボルトで固定する。袋体の取り扱いに際しては、袋体に損傷を与えないように吊り治具、防護材などを用意して慎重に作業する。固定に当っては、袋体のボルト位置に穴明け加工を行い、取り付け金具で袋体を押さえてボルト締めをする。ボルトの締付け力はトルク管理をする。

袋体の取り付け後、袋体を設計圧まで空気を膨張させ、漏気（空気圧試験）、膨張時の形状および取り付け金具類の状況を検査する。

19.3.4　袋体・架台運搬工

(1)　起重機船で吊って運搬する場合

起重機船で吊って運転する場合には、一般に、起重機船により袋体・架台の据付まで行う。したがって、起重機船上および架台上には、運搬以降の作業に必要な機器・設備を装着して袋体・架台を吊り込む。吊り込みに際しては、袋体・架台に過度の変形を与えないように、十分な大きさと剛性をもつ吊り治具を用意する。吊り込みを終了した起重機船は引船で設置海域まで曳航する。

(2)　台船で運搬する場合

台船上で基礎架台を製作し、袋体を取り付けた場合は、不要な資材を撤去した後、引船で設置海域まで曳航する。長距離を曳航する場合は、袋体・架台を台船に固縛するなど荒天対策を施す。

陸上で製作・取付けをした場合は、起重機船または陸上クレーンによりに袋体・架台を台船上に積み込む。吊り込み時の注意点は起重機船で運搬する場合と同様である。

(3)　浮上・曳航の場合

基礎架台には、曳航・係留用の設備、バラストおよび防舷材などを取り付ける。また、架台の乾舷は一般に低いので、架台に開口部がある場合は密閉して進水させる。進水後、漏水や傾きがないことを確認して、引船で設置海域まで曳航する。

19.3.5　袋体・架台据付工

据付に当っては、設置海底面をガット船のグラブ、ブレードの引回しおよび潜水士などにより所要の平坦度まで均す。海底面より突出する岩塊、沈船および埋没物なども適切な方法で撤去する。なお、洗掘の恐れや地耐力が不足する場合には基礎マウンドまたは地盤改良を行う必要がある。

据付は、袋体・架台とを完全に没水させるので、沈下時の速度・傾斜および据付位置の精度を起重機船により制御する。なお、起重機船を使わないで運搬した場合でも据付時の制御に起重機船が必要である。沈設直前には、袋体に過度な浮力が働かないように、袋体内に若干の海水を注入して空気を抜く。据付位置は、2点以上からトランシット、光波測距器などで海上面の吊り治具を視準して誘導する。

台船や浮上・曳航で運搬した場合は、設置海域で起重機船の吊り込み作業を行う。その際の設備、注意点

は起重機船で運搬する場合と同様である。なお、浮上・曳航運搬の場合には密閉した開口部を沈設直前に再び開き、ポンプまたはバルブなどにより架台内に注水する。

19.3.6　基礎工

(1)　杭式基礎の場合

杭式では、袋体・架台の据付後、それらを安定させるため、直ちに杭打ちおよび杭と架台の結合を行う。杭打ちは、「8.1　杭打ち工」に準じて施工するが、架台内の穴を通して杭を建込むので、潜水士の誘導が必要である。打込みに際しては、杭が袋体に接触しないように注意するほか、打込みで架台が移動しないように四隅の杭から行う。

杭打ち後、架台より突出する部分は、ディスクカッターまたは潜水士により切断し、杭と穴の隙間には水中モルタルまたは水中コンクリートを充填して杭と架台を結合する。ただし、杭とモルタルまたはコンクリートとの間に大きな付着強度が要求される場合は、膨張モルタル、スパイラル鉄筋を溶接した鋼杭および水中スタッドなどを使用することがある。

(2)　重力式基礎の場合

重力式では、運搬・設置時の架台重量を軽くするため、設置後に現場打設が可能な部分のコンクリートを水中コンクリートにするか、シンカーを取り付ける。水中コンクリートの場合はコンクリートプラント船により打設し、シンカーの場合は起重機船で取り付ける。

19.3.7　袋体内海水注入工

基礎工終了後、設置した袋体・架台の注水バルブと作業船のポンプをホースで接続し、海水を袋体内に注入し、所定の内圧に調整する。

19.4　資機材計画

19.4.1　船舶・機械計画

資材計画に示した条件で、起重機船方式により運搬する場合に必要な主要船舶・機械の例を表－19.1に示す。

19.4.2　資材計画

基礎が杭式で水深5mに施工する場合に必要な主要資材の例を表－19.2に示す。

19.5　仮設計画

19.3.2(1)で述べたように、作業基地には種々の場所が想定される。作業基地は基礎架台を製作して袋体を取り付け、積み出しをする製作ヤードと、作業船が係留・停泊する係留施設に分けられる。製作ヤードには、基礎架台製作ヤード、袋体取付けヤード、資材置場、事務所、宿舎、倉庫、電力・給水・排水設備などを用意する。係留施設では、給水・給油設備などを用意する。

表－19．1　主な船舶・機械の例

工種	船舶・機械名	規格の目安	数量	摘要
袋体製作工	工場施設・機械類		一式	
	トラック	11tf	1台	袋体運搬
基礎架台製作工	クローラクレーン	50tf吊り	1台	鋼材加工組立
	鋼材加工組立機械類		一式	鋼材加工組立
袋体取付け工	トラック	11tf	1台	鋼材運搬
袋体・架台運搬工	起重機船	非航固定式 150tf吊り	1隻	運搬、据付
	揚錨船	240PS	1隻	〃
	引船	1000PS	1隻	〃
	潜水士船		2隻	据付
	ガット船	299G/T	1隻	海底均し
袋体・架台据付工	潜水士船		2隻	〃
	共通使用船舶機器*1		一式	
基礎工	杭打ち船	D-22ディーゼルパイルハンマ 装備	1隻	杭打ち
	揚錨船	240PS	1隻	〃
	引船	1000PS	1隻	〃
	引船	650PS	1隻	〃
	台船	400tf	1隻	〃
	潜水士船		2隻	〃
	クレーン付き台船	80tf吊り	1隻	杭切断
	ディスクカッター	発電機を含む	一式	〃
	引船	650PS	1隻	〃
	潜水士船		2隻	〃
	クレーン付き台船	80tf吊り	1隻	モルタル注入
	引船	650PS	1隻	〃
	潜水士船		2隻	〃
	モルタルプラント		一式	〃
	共通使用船舶機器*1		一式	
袋体内注水工	クレーン付き台船	80tf吊	1隻	注水、調圧
	引船	650PS	1隻	〃
	潜水士船		2隻	〃
	水中ポンプ	ホース、発電機を含む	一式	〃
	共通使用船舶機器*1		一式	

ここに示す主要船舶・機械は、水深５ｍ程度の構造（鋼製架台重量約70tf、架台平面寸法11m × 33m、袋体重量約５tf、杭式基礎）を起重機船で運搬する方法を想定した。

*1　共通使用船舶機器とは、通船、測量船、警戒船、灯浮標および無線電話など海上工事全般に使う作業船や機器をいう。

表－19．2　工種別の主要資材の例

工種	材料名	仕様	備考
袋体製作工	ゴム引き布 空気抜き管 注水管 接着材・表面処理剤 梱包材料ほか 袋体製作治具・金具	本手引き（案） 「構造設計編」参照	 消耗品 仮設材
基礎架台 製作工 袋体取付け工	型鋼・鋼板 鉄筋 型鋼・鋼板 注水バルブ 袋体内圧力計 袋体固定金具 型枠材 袋体取付け治具ほか	fck= 240kgf/cm²程度 SD 30 SS41, STK41	 仮設材 仮設材
袋体・架台 運搬・設置工	吊り治具・金具 固縛用具ほか		仮設材 仮設材
基礎工	鋼杭 水中特殊コンクリート 捨石	SKK 41	

ＭＭＺ計画策定の手引き(案)

維持管理編

MMZ計画策定の手引き（案）

第1章　総則

1.1　一般

MMZ計画における海域制御構造物の維持管理は、構造、環境条件、使用条件を十分に把握したうえで、構造物の目的とする機能が所定の耐用期間にわたり維持されるように、計画、実施されなければならない。

〔解　説〕

MMZ計画における海域制御構造物の維持管理に当っては、対象とする構造物が、求められる所定の機能を耐用期間保持されるよう、適切な処置を施す必要がある。このためには、海洋環境における腐食などの種々の作用を十分に把握し、建設時から設計耐用期間に見合った防食対策を講ずるとともに、建設後もその構造・設計強度・使用材料などを考慮して、適切な維持管理を実施する必要がある。そして、これらの作業は構造物の耐用期間を通じて、全体として最も経済的となる方法により行わなければならない。

1.2　適用範囲

MMZ計画策定の手引き（案）「維持管理編」は、MMZ計画における海域制御構造物が所定の機能を保持するために必要とされる処置としての維持管理手法の基本を示すものである。

〔解　説〕

MMZ計画における海域制御構造物の維持管理とは、構造物の機能および安定性を破損や腐食に対して良好な状態に保持することである。すなわち、求められた所定の機能を保持するために講ずる処置である。また、維持管理の中には、構造物の損傷を生じる誘因を予め適切に除去あるいは予防すること、および構造物の異常を早期に発見して必要な処置を講じることの二つの内容が含まれる。前者は腐食を予防するための防食技術や、その設計技術である（防食技術）。後者には点検およびそれに基づく補修作業の内容が含まれる（いわゆる保守管理）。

本手引（案）では、防食技術とその設計法に関する事項のうち、構造物新設時に適用されるものを「構造設計編」において記述し、それに基づく点検手法と再防食や防食補修に関する事項を「維持管理」編において取り扱うこととした。また、維持管理上ばかりでなく海域制御構造物の機能面からも問題となる、生物付着に関する記述の詳細も本編で扱った。

海域制御構造物の型式や構造は非常に多岐にわたっている。このため、点検における具体的な観察対象部位、点検の周期、測定点の選定、評価基準などの数値、および補修における荷重、規格、施工上の注意事項

などは、本編では細かく取り扱わなかった。また、点検および維持管理の対象となる構造物を海域制御構造物に限定せず、MMZ計画において考えられる海洋構造物全般について記述することにした。

構造物の維持管理は、いわばオーダーメイドの技術であるため、これまでは構造物ごとに最適方法を検討し、事例集の形でまとめられることが多かった。ここでは維持管理の対象を限定し、共通した形でその考え方を取りまとめ、基本事項を紹介する。したがって、当然のことながら計画ごとに個々の構造物に適した手順を作成する必要がある。本編で示されていない事項については、次の基準・示方書を参考にすると良い。

- コンクリート標準示方書（土木学会，1986）
- 海洋コンクリート構造物の防食指針（案）（日本コンクリート工学協会，1989）
- 塩害を受けた土木構造物の補修指針（案）（建設省，1988ｂ）
- 海洋鋼構造物設計指針（案）同解説（土木学会，1973）
- 海洋鋼構造物設計指針（案）同解説（土木学会，1987）
- 海洋鋼構造物の防食指針（案）・同解説（建設省土木研究所・鋼管杭協会，1990）
- 港湾の施設の技術上の基準・同解説（運輸省港湾局，1989）
- 港湾鋼構造物防食マニュアル（沿岸開発技術研究センター，1986ａ）
- 港湾鋼構造物補修マニュアル（沿岸開発技術研究センター，1986ｂ）
- 海岸保全施設築造基準解説（海岸保全施設築造基準連絡協議会，1987）

1.3　用語

維持管理に係わる用語は次のように定義する。

耐用期間 ――― 構造物または部材がその使用にあたり、目的とする機能を十分果たさなければならない設計上与えられた期間

点検 ――― 構造物部材の損傷を早期に発見するために行う作業

健全度 ――― 構造物部材が所定の耐久性を保っているかを判断するため、点検結果から決定される指標

補修 ――― 低下した機能・強度を復旧させるための作業

補強 ――― 低下した強度、あるいは設計時に不足している強度を付加的に補うための作業

防食 ――― 当該構造物がその供用期間中に重大な損傷を生じないように、構造材料の腐食を抑制すること

期待耐用年数 ―― （防食）機能が使用限界に達すると予想されるまでの期間

第2章　維持管理の基本方針

2.1　維持管理の基本的な考え方

MMZ計画においては、構造物の良好な機能・安定性の維持と事故損傷への対応等を目的として、適切な維持管理を行う。

〔解　説〕

(1) 一般

海洋構造物は極力メンテナンスフリーとして設計することが望ましいが、海洋の厳しい環境のもとでそうすることは実際上不可能であり、また不慮の事故や異常事態なども想定される。したがって仮設的な構造物を除いては、構造物の良好な機能・安定性を維持するとともに、事故損傷を防ぐために維持管理は不可欠である。MMZ計画は海洋性リゾートの開発を核とした場合もあるので、機能、強度ばかりでなく、色彩や周辺景観との調和といった観点から維持管理が必要となる場合もある。

構造物の維持管理では、あらかじめ「構造物点検要領」を作成し、これに定めた手順に従って点検を行う。点検により、一定の水準を越える劣化や腐食あるいは損傷を発見した場合には、技術的な問題に加え経済性を考慮しながら、補修等の適切な処置を行う。維持管理における一連の作業手順を図－2.1.1に示す。現場における維持管理とは、日常点検と異常発見時の補修に分けて考えることができる。この場合、点検補修の頻度については構造物の重要度に応じて適宜設定する必要がある。

点検に当っては、構造部材の重要度、使用材料の種類構成、利用状況を考慮の上、必要に応じて構造部材の各部位について、腐食劣化および損傷の状況を調査し記録するとともに、健全度の評価を行う。補修・補強・交換は、点検に基づく健全度評価の結果、処置が必要と判定された場合に適切な工法を選択し、所定の品質を満足した材料を用いて慎重に行う。これらの処置により供用期間中における機能の低下を許容限度内に抑え、所定の耐久性を確保しなければならない。

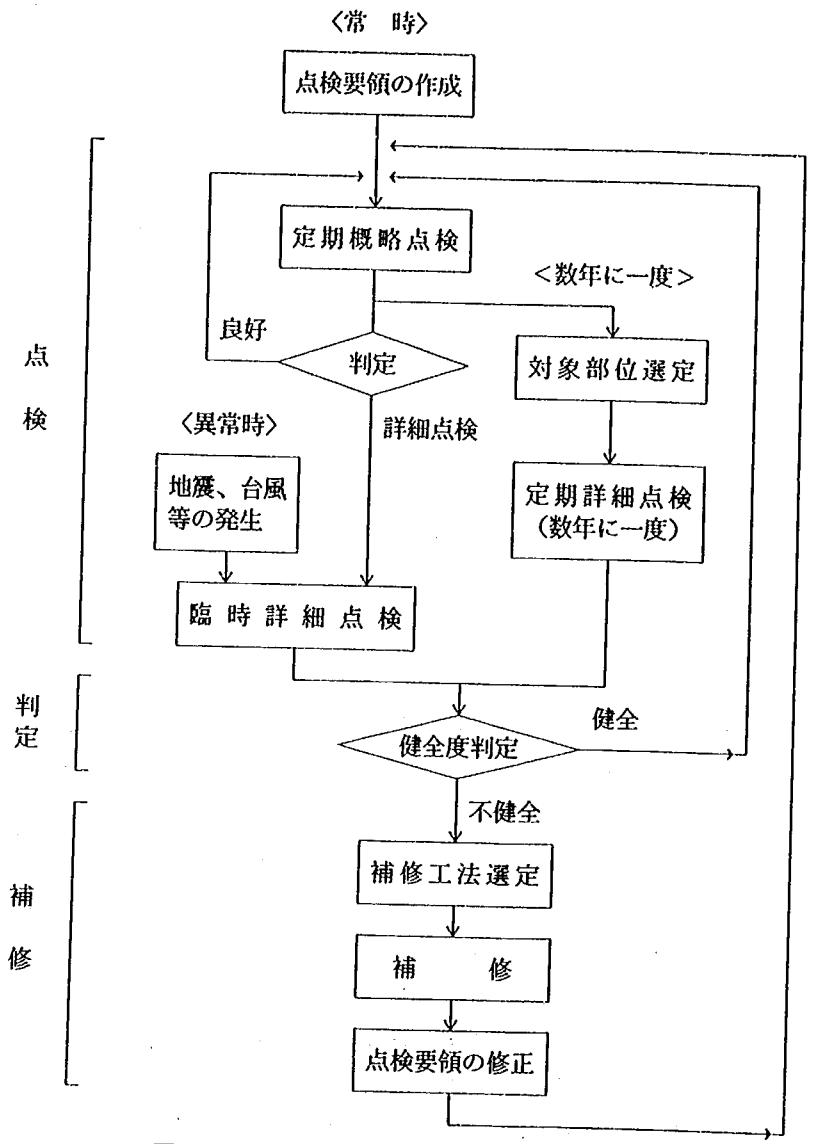
維持管理における点検、補修の作業は、一般に現場海域における作業となるため、無理のない実施計画により工程表を作成し、関連する法規に基づき関係各機関への許可承認あるいは届出を行うとともに、施工に当っては周辺海域の汚染や環境破壊、事故などのないように一連の作業を進めなければならない。

維持管理を適正に行うために、点検にあたる検査員の能力や資格および検査機器の方式や性能について構造物点検要領に定めておくものとする。また、健全度の判定についても判定基準や判定にあたる技術者について規定しておく。

(2) 点検

構造部材の点検は、定期的に行う点検（定期概略点検および定期詳細点検）と台風・地震の発生・船舶衝突があった直後、および定期点検で異常が発見された場合など、構造部材や管理用設備への被害が予想される際に行う点検（臨時詳細点検）に分類される。

点検の項目および方法の詳細は、構造部材の種類や防食方法により若干異なるが、基本的には目視による



図－2.1.1　維持管理の一般的作業手順

外観調査が中心となる。水中部に関しては潜水士による目視点検とスケッチ、有人または遠隔操作の水中写真やビデオによる記録などに基づき、構造部材の損傷・劣化だけでなく、構造物周辺の洗掘や生物付着等についても調査する必要がある。構造物の水平変位量や沈下量の測定、応力や歪みの測定、基準電極を用いる鋼材の電位測定などは、構造部材の耐久性と鋼構造部材の電気防食状態を判定する貴重な資料となるので実施しておくとよい。また、構造物の安定や劣化に影響を及ぼすような、自然環境条件の変化（例えば、気象、海象、地形変化等）を観察し、必要に応じて点検を行うことも重要である。

定期点検における点検方法ならびに点検時期（間隔）は、構造部材の設計寿命、設置環境、構造、材料の種類等により異なる。そのため、それぞれ構造部材の特性に応じて別途点検要領を作成しておき、それに基

づいて点検を実施する必要がある。

(3) 補修

構造部材に発見された腐食、劣化、損傷は、そのまま放置すると劣化損傷を拡大、進行させる恐れがあるので、すみやかに補修等の必要性を判定し、必要であれば適切な補修を施す。しかも、建設後の海洋構造物に大きな構造変更を行うことは難しいため、損傷の程度が悪化しないうちに補修することが重要であり、早期の補修は維持管理のトータルコストを軽減させることにもつながる。

2.2 鋼構造部材の維持管理

鋼構造部材の維持管理は、構造部材の設計寿命、設置環境条件、設置目的および規模、形状、防食法とその期待耐用年数を考慮して行う。

〔解 説〕

(1) 一般

鋼構造部材は適切な防食を施さない限り長寿命の確保は困難であり、接する環境条件、耐用期間に見合った防食を施さなければならない。つまり、鋼構造物は本体の耐久性ではなく防食工によりその腐食劣化を防いでいるのが通常であり、本体の損傷が進行する前に防食工の機能劣化を発見しなければならない。また、鋼構造物の腐食では前面腐食と局部腐食を分けて考える必要があり、複雑な形状を有する構造物の場合には特に接合部等の局部腐食に十分対処しなければならない。

鋼構造部材の維持管理の方法は、適用されている防食方法とその仕様によって異なる。耐久性の優れた防食法の適用は、一般に点検間隔の長期化など維持管理の簡略化に有効であり維持管理のトータルコストの軽減効果が大きい。このため、点検内容は防食法に応じた経済的なものとする必要があり、また、防食工の補修や再施工における防食設計は、構造物の重要度と供用期間に基づいてイニシャルコストとメンテナンスコストの経済性を考慮して決定するものとする。

鋼構造部材に適用される防食の有効期間は、たとえ長寿命を有する方法であっても構造物の耐用期間に比べると短い場合が多いため、一般には耐用期間中に再防食の作業が必要となる。また、防食施工の不具合や外力による防食被覆の損傷などが原因となって、鋼材に局部的な腐食箇所が生じた場合には、溶接による補修・補強が必要となるため、併せて防食被覆の補修も行う必要が生じる。

なお、鋼構造部材の維持管理では定期的な点検管理が原則であることから、設計に当っては点検、補修時の維持管理の容易さが考慮されていることが望ましい。

(2) 点検・補修

鋼構造部材の維持管理は、有効期間と防食仕様（期待耐用年数）に応じて点検手順を定めておき、その手順に従って定期的に実施される点検と、それに基づく補修、補強、防食工の再施工（塗り替えまたは電気防

食用陽極の交換など）によって行うのが適当である。

鋼材の腐食が進行し大きな損傷を受けてからの修復は、海洋環境下では莫大な費用が必要となるため、点検において防食工の機能低下を早期に発見する必要がある。定期的な点検の内容としては、従来から目視点検による鋼材腐食度や防食被覆の劣化度の調査、打診による防食被覆の浮きの調査など、主として官能的な手法による調査が行われている。しかし、目視点検は付着生物の影響や海象条件による作業の困難さなどのために、干満部や海中部へ適用することが難しいので大気中の部分に限定されることが多い。このため、干満部以下の部位についてはセンサーなどの機械的な手法による点検手法の適用が推奨される。例えば、海中部の防食に電気防食法が適用されている場合には、新設時に代表的な箇所にモニタリング用電極を取り付けておけば、電位の測定という単純な作業により付着生物の影響を受けずに防食状態を確認できる利点がある。この場合には、適宜防食状態を確認するとともに陽極の点検や補充等を行うことにより合理的な維持管理を実施できる。

2.3　コンクリート構造部材の維持管理

コンクリート構造部材の維持管理は、構造部材の設計寿命、設置環境条件、設置目的および規模、形状、コンクリートの品質を考慮して行う。

〔解　説〕

(1)　一般

コンクリートは、構成材料の選択や配合設計によってその特性を大幅に変えることができる。また最近では、混和材料の利用や耐食性鉄筋・緊張材の利用、あるいは表面塗覆装等により、耐海水性に優れたコンクリート部材の設計・製作が容易になり、海洋構造部材としてのコンクリート構造部材の耐久性や信頼性は、以前に比べて著しく向上している。このため、コンクリートは耐久性のみならず施工性、安全性を含めて海洋構造物の製作に適した材料とされ、注意深く材料を選択して設計し入念に施工すれば、海洋環境においても耐久性・信頼性が高く、長期にわたる期間においても、基本的にはメンテナンスフリーと考えられてきた。

しかし、一方ではコンクリート構造部材は現実に海洋環境において数十年間にわたり良好な状態で供用された事例は少ない。10年程度の短期間で鉄筋腐食による塩害等の劣化損傷を受け補修を余儀なくされたコンクリート構造物が近年数多く知られている。これらの海洋環境に建設されたコンクリート構造部材の耐久性に関しては、設計施工（特に施工管理）に問題のあった場合が多い。また設計施工が適切で耐久的なコンクリート構造物が建設されたとしても、設計条件を上回る台風・地震・船舶衝突などによる損傷や、砂礫等の底質土の移動に伴う摩耗も考えられるため、コンクリート構造部材の場合でも、鋼構造部材の場合と同様に、定期的な点検とその結果に基づいた補修、補強などによる適切な維持管理を行う必要がある。

(2) 点検

コンクリートのかぶりの厚さが大きいなど環境条件を十分に考慮した設計となっている場合には、コンクリート中の鉄筋は鋼構造部材の場合より海水腐食に対する抵抗性が大きいと判断できるため、一般にコンクリート構造部材の点検間隔を長くすることができる。

点検は、目視点検を中心に、鉄筋に腐食が生じ易い飛沫～干満部から行う。自然電位分布の測定法による鉄筋の腐食傾向の調査や、分極抵抗測定法による鉄筋の腐食速度の測定ができる場合には、その測定を実施するとよい。目視点検により、「さび汁」や鉄筋の腐食膨張に起因するコンクリートのひびわれ、剝落などが発見された場合には、自然電位分布やはつり調査によるコンクリート中の塩分量測定や鉄筋の腐食度調査を行うのが良い。しかしこれらの調査が適切に行えるのは、原則として点検用設備のある大気中の部分に限定される。

飛沫～干満部は、藻貝類の生物付着や、潮汐、波浪などの影響により点検は著しく困難なのが実情である。また構造型式によっては作業空間がとれない、照明が必要などの理由から点検のできない場合や点検が著しく困難な場合がある。このため、干満部等の点検が困難または不可能な部位には、鉄筋の腐食傾向や塩分の浸透あるいは歪みや応力を検知できるセンサーを設置するなどにより、モニタリング方式を採用することが望ましい。

海中没水部分では、たとえ海水が浸透しても溶存酸素の拡散速度が著しく小さく、かつ、ＰＨが高い状態に保たれるため、鉄筋の腐食傾向は著しく小さい。また、たとえ多少腐食しても鉄イオンが鉄筋表面から移動し易いので、鉄筋腐食生成物の膨張圧によるひびわれ発生を抑制するため部材強度への悪影響は小さいことから、大きな損傷を受けない限り問題はないと考えてよい。したがって、これらの判定ができる程度のおおまかな点検を行えばよいと考えられる。

点検に基づく健全度判定の結果により、部材の補修、補強あるいは交換などの処置の必要性が判定される。

(3) 補修

コンクリート部材の一般的な補修方法は、外観の損傷している箇所の簡単な防錆処理と断面修復およびひびわれ注入が主なものである。耐荷力不足の場合には、鉄筋補強、アウトケーブルなどを用いた適切な方法による補強、あるいは交換を行うことになる。

しかし、海洋環境において塩害により被害を受けた部材にはかなりの塩類が浸透しており、また新たな侵入も予想されるため、これら鉄筋腐食物質の侵入についての対策が必要となる。具体的には、浸透した塩分の除去、鉄筋の電気防食、コンクリート表面被覆などの対策が必要とされる。このため、耐久性の優れたコンクリート構造部材においても、補修作業の容易な構造とするなどの配慮が必要である。

2.4 ゴム・高分子系部材の維持管理

ゴム・高分子系部材の維持管理は、構造部材の設計寿命、設置環境条件、設置目的および規模・形状に加えて、材料の特性と供用条件を十分考慮して行う。

〔解　説〕

(1)　一般

ゴム・高分子系材料は、弾性等その材料独特の力学的特性を持ち、また特性の設計制御が容易なため、材料特性が特に活用される形で用いられる。このためゴム・高分子系材料は、耐食性部材・緩衝・止水・膜構造用の材料として、また有機・無機・金属系の繊維材料や充填材料との複合材料として海洋構造物に利用される。一般的に、このような有機材料は塩分などの薬品類には強いが、中には紫外線や水分に弱いものがあるなど、コンクリートや鋼材とは異なった特性を持つ。

ゴム系材料は、その材料特性から圧縮方向で使用することが望ましく、引っ張り方向で使用する必要がある場合には原則として強化繊維と複合化するなど、直接引っ張り力が作用しない条件下で使用するものとする。

高分子系材料は、繊維補強をした複合材料であるＦＲＰとして利用される場合が多い。この材料は繊維と樹脂の界面の微少な剝離破壊が成長拡大するため、擦傷を受けないよう設計するとともに、早期に微少な破壊を発見し処置する必要がある。

これらの材料を用いた構造部材は、定期的に点検を行い、その材料特性を十分考慮して補修等の処置を行わなければならない。

(2)　点検

ゴム・高分子系材料の点検は、目視による全体的な観察（拡大鏡を併用する目視点検を含む）を中心とし、打診調査を併用するなどにより行うのが適当と考えられる。点検箇所は、繰り返し応力が集中する部分や擦れ合う部分、あるいは日射を受け易い部分など、材料が劣化し易い環境条件下におかれる部分を中心に選定するのがよい。

(3)　補修

劣化・損傷を受けた部分、あるいは全体的に劣化や損傷の進んだ部材が点検により発見された場合の対応は、材質と劣化・損傷の種類および程度により異なる。表面的に劣化・損傷を生じた場合は保護被覆の施工を行い、クラックが内部まで著しく広がった場合には補修を行う。破断した場合には、一部分であれば部分的補修が可能であるが、通常の高分子材料、特にＦＲＰでは部材の交換が適当と考えられる場合が多い。したがって、補修、補強、特に交換の容易さを十分に考慮した形状や構造など設計上の配慮が必要である。

なお、これらの材料は施工実績や耐久性試験結果などにより、十分な検討を行った上で用いるべきであり、また施工実績の少ない材料については、現場に暴露試験片を併設設置し、これによる耐久性の評価を行うことが望ましい。

2.5　付帯設備

海洋構造物では付帯設置として航行標識等の安全管理設備を設け、これが所定の機能を常に満足した状態に保持されるよう、管理を行わなければならない。また、維持管理の作業を効率的かつ安全に実施するために、点検補修用の付帯設備を設置しておくことが望ましい。

〔解　説〕

(1)　安全管理設備

海域に建設される構造物には、航路標識法により航行船舶の指標とするための航路標識の設置が義務付けられている。管理者は、海上保安庁へ航路標識設置許可申請書を提出するとともに、航路標識の機能が損なわれて航路の交通安全に支障を生じないよう、標識の維持管理に務める義務がある。したがって、構造物の管理者は、適切な点検を行い、その機能維持に務めなければならない。

また、航路標識以外にも周辺海上交通の航行安全のための彩色等や、立入り・係留禁止等の注意勧告の表示など、適切な処置をとるべきである。

(2)　点検補修用設備

海洋構造物には、点検および維持管理のための設備として、昇降具、手すりなどの種々の維持管理支援用付属設備が設置される場合がある。これらの設備は、点検や補修を安全かつ効率的に行うため、維持管理の容易さと安全性を考慮して設置されるものであるが、構造部材に比して複雑かつ細かな形状をもつため破損や腐食を起こしやすい。このため、当初からメンテナンスフリーをめざした設備として、頑丈で単純かつ適切な構造とすることが必要であり、点検補修用設備の劣化損傷によって点検や補修に支障をきたすことがあってはならない。

また、海洋構造物の点検は生物付着や海象条件等によって大きな制約を受けるので、安全面、作業効率、測定結果の信頼性などの点から官能的手法による点検には問題があることが多い。このため、人手を要しない点検技術や点検機械の開発、生物付着下での点検手法について、技術の開発および適用が必要である。このため新設時に点検用のモニタリング設備を設けておくことが望ましい。

2.6　維持管理の記録

維持管理における点検結果、補修事前調査、補修等は、その設計・施工時の記録を含めて、全ての記録を残さなければならない。

〔解　説〕

構造物およびその部材の建設経過や、維持管理における点検結果・補修記録は、構造部材の維持管理における点検項目の設定・健全度評価・補修方法の決定において、必要不可欠の項目である。このため、部材の維持管理の履歴は維持管理のための必須資料であるため、全記録を残す必要がある。記録に当っては、構造物の型式、管理形態、維持管理手順などに応じて、構造物点検要領と併せて管理者が様式を定め、これによって行うことが望ましい。最低限記載することが望ましい項目としては、構造物の型式、構造設計者、設計要領、構造部材耐力、部材形状と材質、建設年月、建設担当者、防食法または防食の区分、防食工の期待耐用年数、防食施工者、点検方法、点検の全結果、損傷状況とその要因、健全度の判定者、健全度判定結果、補修内容と工法、補修部位、補修材料、補修時期などがあげられる。防食材料やゴム・高分子系材料の場合には、交換材の種類と交換時期なども必要である。

第3章　鋼構造部材の維持管理

3.1　一般

海洋鋼構造部材は、防食法等を考慮しながら、耐用期間を通じて維持管理を行い、構造物の機能を維持しなければならない。

〔解　説〕

海洋環境において鋼構造部材は通常何らかの手段で防食されているので、鋼構造部材の維持管理では、事故損傷による鋼材自体の変形や断面欠損を除けば、防食被覆や電気防食などの防食手段で健全度を評価することになる。このような意味から、鋼構造物の維持管理では部材変形や断面耐力等の鋼材破損状況の点検とともに、防食被覆あるいは電気防食状態の点検調査が必要となる。

構造物の形状や環境条件から、構造部材の全表面を簡単に点検することは困難な場合が多い。また、構造物の供用期間よりも防食被覆の耐久性や電気防食用流電陽極寿命が短い場合には、構造物の設置当初から耐用期間中に再防食の施工を見込む場合もある。

したがって、維持管理を計画的かつ経済的に実施するために、構造型式と安定性、防食工の性質を考慮して、適切な点検補修や再防食施工を行わなければならない。

3.2　鋼構造部材の点検

3.2.1　一般

鋼構造部材の点検は、構造物の種類、設計耐用期間、環境条件、防食の特性、点検の難度等に応じて、点検時期、対象部位、項目、内容、評価方法を事前に定めた構造物点検要領をあらかじめ作成し、これに基づいた適切な方法で実施しなければならない。

〔解　説〕

点検の目的は、構造物の機能維持のために、構造部材の損傷および損傷を生ずるような要因を早期に発見し、構造物を常に良好な状態に保つための判断資料とすることである。

海洋鋼構造物は原則として防食を施してあり、その種類によっては構造物の供用期間中であっても防食の再施工を行う必要があるものもある。防食材の劣化に伴う構造物部材の腐食が進行してからの補修は莫大な費用がかかる。このため、耐用期間中の構造物の機能を確保するためには、適切な点検による劣化の早期発見につとめ、構造物の維持管理に要する費用を最小限度におさえる必要がある。

海洋鋼構造部材の環境条件は、陸上構造物に比較すると点検補修にとっては極めて厳しい。海という制約

条件下では、現状の技術による点検は一般に専門家による目視点検となる。特に海中部は、潜水士や水中写真などによる間接的な外観検査が主とならざるを得ず、詳細な調査を行う場合には大掛かりな準備が必要となる。また、海底土中部の点検は事実上不可能である。

点検の頻度・点検方法・点検項目等の詳細は、構造物の種類、重要度、設置環境条件、部材の腐食環境、設計耐用期間、施されている防食工法等に応じて事前に定め、これを「構造物点検要領」としてあらかじめ作成しておき、これに基づいた適切な方法で実施しなければならない。そして、劣化損傷や補修等の事由があった場合には、損傷進行の把握や追跡点検としての内容を含めて、該当部位や点検頻度などについてこの要領の見直しを行う必要がある。

3.2.2　点検種別と点検頻度

点検は、定期概略点検、定期詳細点検、臨時点検に分けて実施する。定期的な点検の頻度は、構造物の重要度、構造型式、防食法等を考慮して適切に設定する。

〔解　説〕

点検の種類は、定期的に実施する定期点検（概略点検と詳細点検）と、台風や地震等による損傷の恐れがある場合および定期概略点検において明らかに異常が認められた場合に実施する臨時点検がある。

定期点検の頻度はできるだけ密であるほうが望ましいが、水中における点検作業には大きな経費を要し、また気象海象条件等による制約もある。したがって、既往の点検結果や補修履歴などから最も経済的となる点検間隔を定め、構造物点検要領に限定しておく。一般的な点検種別ごとの点検間隔を表－3.2.1に示す。また、防食工の期待耐用年数が近づいている場合には、特に頻度を密にした点検間隔とする必要がある。

表－3.2.1　点検の種類

種　　類	定期概略点検	定期詳細点検	臨時（詳細）点検
点検者	維持管理担当員	防食技術の専門的な知識を有する者	防食技術の専門的な知識を有する者
間　　隔	1年程度	3～5年程度	必要に応じて
点検方法	目　　視	目視と計器	目視と計器
点検箇所	全　　体	目視による全体と予想される損傷部（＊）	異常或いは損傷部

（＊）応力のかかる個所や腐食しやすい個所

3.2.3　点検方法

定期概略点検は目視点検によって行い、定期詳細点検および臨時点検は目視点検および適当な検査機器を選定して行う。

〔解　説〕

(1) 一般

鋼構造部材の点検作業の流れは点検種別により異なり、それぞれ図－3.2.1に示す作業となる。

定期概略点検	定期詳細点検	臨時点検
実施計画作成	実施計画作成	異常箇所の部位とその程度の情報より
↓	↓	↓
関係機関への作業届出	関係機関への作業届出	(調査部位の選定 調査項目の選定)
↓	↓	↓
とくに必要な部位について付着生物除去	調査対象部位付着生物除去	作業届出
↓	↓	↓
目視点検	目視点検	付着生物の除去
↓	↓	↓
(肉厚測定)	鋼材腐食測定	目視点検
↓	↓	↓
結果記録	防食機能調査	鋼材腐食測定
↓	↓	↓
報告	結果記録	防食機能調査
	↓	↓
	報告	結果記録
		↓
		報告

図－3.2.1　点検作業の流れ

鋼構造部材の点検のうち定期概略点検は、目視点検により行うものとする。この点検によって明らかな異常が認められた場合は、直ちに臨時点検を行わなければならない。目視点検は、検査対象部位の表面を傷つけない程度に付着生物を除去したのち、検査担当員の目視、水中写真撮影等により行う。塗覆装以外の防食法が適用されている場合には、鋼材の肉厚測定を同時に行うことが望ましい。

定期詳細点検や臨時点検は、検査対象部位の付着生物を除去したのち、目視点検と適当な検査機器による調査を行うものとする。

機器による調査は、鋼材の腐食測定および防食工の機能調査に分けて行う。鋼材の腐食測定のおもな項目は、肉厚測定、局部腐食測定、腐食速度測定である。これらは適用されている防食法に応じて行うこととする。防食効果の調査は、適用されている工種により点検項目が異なるので、点検しようとする工法に適した

点検項目を選ぶことが重要である。

点検の補助的な方法として、同じ防食工を施した現場併設暴露試験片を調査する方法や、防食被覆の硬度や膜厚を測定する方法などがあるので、使用している防食工にとって適切な方法を選んで実施するとよい。

(2) 目視点検

目視点検では、原則として干潮時に目視により構造部材の欠落、破断、変形等の検査を行い、続いて鋼材表面を観察する。また、目視点検に加えて写真撮影を行い観察結果を記録する。海面上の観察は部材の全数について行い、可能な限り全面を観察対象とする。海中部など船舶上からの目視では観察できない部分については、潜水調査により観察を行う。構造物の平均海面付近には、フジツボ、イガイなどの生物が全面すきまなく付着していることが多いため、防食被覆の表面は目視によって直接見ることができない。したがって、詳細な点検を行うためには付着生物を剥離する必要がある。低合金系海水鋼を被覆として使った場合には、正常な状態でも、付着生物の間から錆汁が流出する。その他の塗覆装では、鋼材表面に達する傷がないかぎり付着海中生物の間から錆汁がにじみ出ることはないため、錆汁の有無によって鋼材表面に達する傷の有無を判断することができる。

防食法の種類に応じて、目視点検上の注意点は異なる。そこで、防食法の種類別の注意事項を表－3.2.2に示す。

表－3.2.2　目視点検上の注意事項

防食法		注意事項
塗装		塗膜の異状は、白亜化、ふくれ、割れ、剥離となって現れる。欠陥が鋼材表面に達していれば錆汁が流れ出る。
被覆	有機系被覆	流木の激突程度では異状の発生は少ないが、漂流物が繰り返し接触したような場合には、剥離、ひび割れに特に注意する。
	無機系被覆	強固な被覆であるため、傷つきなどの異状は発生しないが、ひび割れを発生するおそれがある。ひび割れが鉄筋やジベルに達していれば錆汁が少量流出する。ひび割れには特に注意する。
	保護カバーを持つ被覆	カバーが破壊されるとその内側のモルタルやペトロラタムの耐久性が損なわれるため、ＦＲＰカバーでは割れや締付けボルトに注意し、鋼板カバーでは、鋼板の表面の孔食に注意する。
	金属系被覆	ｺﾝｸﾘｰﾄの隙間や海中生物が付着しているところは、隙間腐食を起こしやすいため、生物を剥離して注意深く点検するとよい。
電気防食		部材が所定の防食電位に保たれていれば（機器による調査）、鋼材の腐食はないと考えてよい。このため目視点検では陽極の取付状態と消耗程度に注意して調べればよい。
腐食しろ		局部腐食に特に注意する必要があり、通常の肉厚測定のほかに継合わせ部分、応力集中部分や隙間部分において局部腐食測定を行い、孔食や穴あきに十分注意する。

(3) 鋼材の肉厚測定

海洋鋼構造物の腐食調査の目的は、構造部材を構成する鋼材の現時点での肉厚（厚み）を知ることにある。

肉厚の測定には、非破壊調査として主にパルス反射式超音波厚み計が使用される。点検時において鋼材の元厚が不明の場合が多く、規格値（設計値）と実際の元厚との間には腐食量以上の差があるため、鋼構造物の建設時の初期肉厚の測定と定期点検における肉厚測定結果を記録しておく必要がある。なお、初期肉厚が不明の場合は止むを得ず他の被覆部をはつり、その部分の鋼材肉厚を元厚とすることもある。

現在の超音波厚み計による肉厚測定では探触子を鋼材に密着して測定しなければならないので、腐食した鋼材表面の付着生物や固着さびの除去に時間と人手を要する。一方、電磁超音波厚み計と呼ばれる機器では生物除去程度の素地調整で厚み測定が可能であり、通常の超音波厚み計と比較し、探触子の傾き、鋼材の曲率、鋼材の表面粗さの影響を受けにくいなどの特徴がある。また、肉厚測定に加え腐食速度測定を行うと健全度判定において有益である。

(4) 塗覆装による防食の点検

海洋環境において多く用いられる塗覆装防食法について、点検の調査項目例を表－3.2.3に示す。

(5) 電気防食の点検

電気防食された鋼構造部材の点検項目例を表－3.2.4に示す。電気防食は鋼材が防食電位よりマイナス側であれば良好であると考えられる。このため、防食状態の点検としては、鋼材表面の電位測定が一般的に行われている。流電陽極方式の電気防食においては、通常、電位測定は定期詳細点検の際に実施すればよいが、異常時後の臨時点検時にも実施すべきである。

陽極の調査は、電気防食状態の確認とともに残存寿命の推定を行うために実施され、異常が認められた場合には原因究明と対策を行う必要がある。流電陽極方式において期待耐用年数が近づいている場合には、定期概略点検においても陽極の点検測定を行って残存寿命判定の資料とする必要がある。

併設の暴露試験板による調査は、防食効果の定量的な評価を行うためのものである。電気防食された試験板と絶縁された無防食試験板をあらかじめ構造物の各部位に取り付けておき、その腐食減量と残存板厚から防食効果の定量的評価を行う。

表－3.2.3　代表的塗覆装防食工の詳細点検項目例

防食法	被覆材料	目視点検	詳細調査項目
塗装	（ジンクリッチペイント＋） ポリウレタン樹脂塗料 タールエポキシ樹脂塗料 ガラスフレーク入樹脂塗料	さび ふくれ はがれ きず われ 白亜化 変退色 よごれ	膜厚測定 付着力測定 ピンホール測定 交流インピーダンス測定 電気抵抗測定 付着塩分量測定
	有機ジンクリッチペイント＋ 超厚膜エポキシ樹脂塗料	さび ふくれ はがれ きず、われ 摩耗消耗 白亜化 変退色 よごれ	膜厚測定 付着力測定 ピンホール測定 交流インピーダンス測定 付着塩分量測定
	水中硬化型エポキシ樹脂 厚膜無溶剤型樹脂 （ポリウレタン樹脂） ポリエチレン		
有機系被覆	レジンモルタル ＦＲＰライニング ゴムライニング	さび ふくれ はがれ きず、われ 摩耗消耗 白亜化 変退色 よごれ	膜厚測定 付着力測定 交流インピーダンス測定 表面硬度 付着塩分量測定
	ペトロラタム＋FRPカバー	さび きず、われ ゆるみ、脱落 ペトロラタム流出 カバー変退色 よごれ	カバー材強度 剥離調査
無機系被覆	コンクリート セメントモルタル＋鋼製カバー セメントモルタル＋FRPカバー	ひび割れ幅 ひび割れ長さ 錆汁 浮き 剥離	かぶり厚 自然電位分布 鉄筋腐食速度測定 鉄筋腐食量 ｝破壊調査 塩化物含有量 ｝破壊調査 中性化深さ ｝破壊調査 ひび割れ深さ ｝破壊調査
金属系被覆	低合金系耐海水鋼	赤褐色の発錆 局部腐食の状況 衝突痕	われ 隙間腐食状況
	耐海水性ステンレス鋼 キュプロニッケル モネル チタンクラッド	赤褐色の発錆 局部腐食の状況 衝突痕	板厚 孔食深さ

表－3.2.4　電気防食時の点検項目例

項　目	目視点検	詳細点検
部材腐食状況	異種金属接触腐食 局部腐食の状況	鋼材の肉厚測定 局部腐食測定　隙間腐食状況
電位測定		構造物各部位における鋼材表面の電位測定
陽極の調査	電極取付け状況 流電電極の消耗程度	電極の形状測定 電流量測定（防食電流密度）
併設試験板		回収による腐食量調査
海域環境調査		潮流、電導度、汚染度、腐食性など

3.3　鋼構造部材の健全度の判定

健全度は、構造物の重要度、劣化損傷程度、原因、防食法とその期待耐用年数を考慮して判定しなければならない。

〔解　説〕

(1)　一般

構造部材の健全度判定においては、供用中における波浪、地震、衝突、疲労などによる部材の破断、変形、断面減少が、構造物の安定性に及ぼす影響について評価を行う。評価に当っては、設計荷重の変化、疲労限度、設計手法を含めた検討を行う必要がある。

鋼構造部材は通常何らかの手段で防食されており、それらの防食工が健全であれば鋼構造部材自体も健全であると考えることができる。したがって、事故損傷等による変形や欠損がない場合には、防食被覆や電気防食などの防食工の健全度を評価すればよい。

点検において防食工の劣化損傷が発見された場合には、鋼構造材料の腐食進行に与える影響を推定することにより補修等の必要性を判定しなければならない。また、この判定においては今後の供用計画を考慮した最も経済的な補修等の処置を対象とする必要がある。特に構造物の耐用期間よりも防食工の期待耐用年数が短い場合には、あらかじめ見込まれた再防食作業が適切な時期に行えるように判定しなければならない。

(2)　塗覆装の健全度評価法

一般に鋼材を被覆する目的は、鋼材の保護および美装である。また、被膜の健全度とは、その目的が達成され維持されている度合いと定義づけることができる。したがって、没水部では保護機能のみでよいが、飛沫部では保護と美観の二つの機能評価が必要であるなど、健全度は部位別に評価する必要がある。美観からの塗覆装の評価は、構造物の設置計画における景観上の重要度から決定されるものであり、個別に一定の判

断基準を設ける必要がある。

健全度を評価する際には、劣化部を探して調査することになるため部分評価になりがちである。このため、劣化面積の割合や構造物機能の重要箇所の評価のウエイト付けなど、構造物全体に関する評価の配慮が必要である。また、厚膜被覆では外観上ふくれ等もなく問題が見られない場合でも、被覆の内部では発錆や被覆の浮きが生じているなどの場合があるので、劣化の種類別の評価も必要となる。

①有機系塗覆装

外観調査と打診調査および機器による調査の結果を総合して健全度を判定すべきである。外観調査項目はさび、ふくれ、はがれ、われ、白亜化、変退色であり、計器調査項目としてはインピーダンス測定と付着力試験がよいと考えられる。健全度はこれらの結果に、環境別重要項目のウエイト付けをして定量的に総合評価することが望ましい。たとえば、白亜化の評価ウエイトは大気部では大きくとられるが没水部では0とされる。これら健全度の下限などのランク付けは、暴露試験や既応調査の結果あるいは維持管理の履歴などをもとに決めるものとする。

②無機系被覆

セメントモルタルによる被覆の場合は、被覆層中の鉄筋を含めた被覆内部鋼材の腐食程度が健全度評価の対象となる。評価は、表面の点錆（錆汁）と自然電位の検査結果によるのが適当である。また、コンクリートの防食機能はコンクリートそのものの劣化に依存するため、ひびわれ、塩分侵入量、ｐＨなどの評価項目も加味して総合的に健全度を評価する必要がある。

③金属系被覆

金属系被覆に使用される金属材料は一般に鋼材より高い電位を有するため、異種金属接触腐食により局部腐食を発生し易い。したがって、健全度はその深さと成長速度を評価の基本とするべきである。それに加えて、発錆面積などの外観調査結果を含めて総合的な健全度を評価することが重要である。

(3) 電気防食の健全度評価法

電気防食法では、電位測定結果において鋼部材の全ての部分が所定の防食電位に保たれていれば、防食効果が発揮されていると考えてよい。このため、構造部材各所における測定電位結果を判断の資料として、これらに異常がなければ健全であると評価してよい。

測定電位に異常があれば、次の項目について詳細調査を実施する必要がある。

①陽極の調査　：取り付け状態、消耗程度、電流量など

②鋼材肉厚　　：部材の肉厚測定あるいは併設試験板による腐食量調査

③海域環境調査：設置環境の腐食性の変化、汚染度、潮流など

電気防食は電位測定という簡易な方法により防食状態のモニタリングが可能であるため、健全度の判定には監視測定装置を適用することが望ましい。

3.4　鋼構造部材の補修

3.4.1　一般

健全度の判定により、構造物の安定性あるいは防食効果が維持できず補修が必要と判定された場合、あるいは塗替えや電気防食用陽極の交換等の再防食を行う場合には、精密な事前調査に基づく補修計画を作成し速やかに対策を取らなければならない。また、補修後は構造物点検要領の見直しを行うものとする。

〔解　説〕

(1)　一般

構造部材が変形や折損等により破損した場合や、点検結果に基づく健全度の判定により既設の防食工がその効果を期待できないと判断された場合には、新たに適切な防食方法を選定する。また、補修作業は入念に行い、鋼構造部材の破損や補修施工に起因する腐食の発生進行のないようにしなければならない。

補修は、飛沫～干満部が腐食性の激しい部位であることを考慮して、速やかに計画を立案し実施しなければならない。また、補修は現地施工となり施工条件が非常に厳しいので、所定の品質を確保するよう注意深い施工を行うことが重要である。補修時期は、構造物の健全度や海象条件などを総合的に評価して決める必要があるが、鋼構造部材では破損や腐食が進行してからの対応は困難であるため、速やかにその対策をとらなければならない。

(2)　補修後の定期点検

構造部材の補修後には、定期点検が追跡点検としての意味をもつように点検要領の見直しを行わなければならない。見直しの内容としては、通常の定期点検に加えて補修部位およびその周辺の詳細点検を行うものとする。補修部位の追跡点検は、選定工法の是非の把握と、今後発生するであろう類似の損傷に対する資料を得るための重要な作業である。

設定されている定期点検の間隔よりも短い点検間隔が必要であると認められる場合には、構造物点検要領の見直し、あるいは頻度を密にした臨時点検を行うものとする。

3.4.2　補修方法

補修が必要と判断された場合には事前調査を行い、必要に応じ残存耐力、鋼材の発錆状況と面積、適用されている防食法などに応じた適切な補修方法を選定しなければならない。

〔解　説〕

(1)　一般

補修内容は、構造物の機能と安定を維持するための鋼構造材補修と、鋼材腐食劣化の進行を最低限に防止するための防食工の補修に分けられる。鋼構造材補修とは局部的に発生した穴あきや変形の補修および構造物全体の補修をいう。また、防食工の補修は塗覆装や電気防食などによって行われる。

鋼構造材の補修は、鋼板溶接や鉄筋コンクリート被覆などの工法により行うのが一般的であり、構造設計においては残存耐力の評価、耐用期間、当初の構造設計などを考慮して、部材および構造物全体としての耐力と安定性を満足するように行うものとする。

防食補修に用いる防食仕様を選択する場合には、基本的にはまず構造物に既設の仕様について検討する。施工条件などからその採用が困難な場合には、別の防食仕様による補修方法について検討するものとする。

補修は海上での現場施工となるため、選択しうる工法が限られており、また厳しい条件下においても確実な施工が行える必要がある。補修法のうちドライ工法は、作業装置などの締め切りによって陸上同様に作業の可能な空間を海水中に形成させ、その中で塗装や溶接などの施工を行う方法である。

(2)　被覆による補修

被覆防食の補修法の選定に当っては次の項目について調査検討し、各工法の特徴を考慮の上、採用する工法を決定することが必要である。

①環境条件	⑥工　　期
②耐用期間	⑦実　　績
③防食範囲	⑧コ　ス　ト
④保護管理	⑨腐食程度と旧塗覆装の劣化状態
⑤施工条件と施工法	⑩当初の設計条件

既設構造物の飛沫干満部の補修に適用できる主な被覆防食法の例を表－3.4.1に示す。水中硬化型樹脂を用いる補修法は、飛沫～干満部の補修方法としてよく用いられる。コンクリートライニングやペトロラタムライニングも現場施工の防食仕様であり、補修用としての適用が可能である。

(3)　電気防食の補修

電気防食の補修は電位測定の結果、構造物の電位が防食電位に達しない状態が生じた場合に行う。

流電陽極式で、防食電位に達しない原因には、期待耐用年数を経過して陽極が消耗した場合と、期待耐用年数に達しないにかかわらず防食電位に達しない場合の２種類がある。期待耐用年数に達している場合の再防食作業においては所定の陽極を再取り付けすればよい。期待耐用年数に達しない場合の補修では、海域の環境調査や防食面積などから原因の究明と当初設計の見直しを行い、適切な陽極数量を再取り付けする必要がある。

表－3.4.1　湿面や水中において施工可能である主な防食補修工法例

防食法	被覆材料	標準的な被覆厚さ	防食寿命	初期コスト	施工性	実績	形自由度	電防併用
有機系被覆 塗装	有機ジンクリッチペイント＋超厚膜エポキシ樹脂塗料	2500μm	○	◎	◎	◎	◎	可
有機系被覆	水中硬化型エポキシ樹脂	5 mm	○	○	○	○	◎	可
有機系被覆	FRPライニング	3 mm	○	△	△	△	◎	可
有機系被覆	ペトロラタム＋FRPカバー	2~3+3 mm	○	△	◎	◎	○	
無機系被覆	コンクリート	かぶり100mm	◎	○	○	◎	○	要
無機系被覆	セメントモルタル＋鋼製カバー	100+12mm	◎	△	○	△	△	
無機系被覆	セメントモルタル＋FRPカバー	50+3 mm	○	△	○	○	△	
金属系	低合金系耐海水鋼	12mm	○	○	○	△	○	要

＊）評価：優◎←―○―→△可

第4章　コンクリート構造部材の維持管理

4.1　一般

コンクリート構造部材は、耐用期間を通じ必要に応じて維持管理を行い、構造物の機能を適正に維持しなければならない。

〔解　説〕

海洋環境においてはコンクリート構造物が大きな損傷を受けてから修復するためには、莫大な費用が必要となる。このため、定期的な点検により構造物の損傷箇所を早期に発見し、設計荷重の変化、構造物の疲労度合など、耐用期間中の新しい情報、知見により、処置の要否を判定し補修を行う必要がある。

4.2　コンクリート構造部材の点検

4.2.1　一般

コンクリート構造部材の点検に当っては、点検時期、対象部位、項目、内容、評価方法等を事前に定めた構造物点検要領をあらかじめ作成し、これに基づいた適切な方法で点検を実施することにより劣化や損傷の早期発見に務める。

〔解　説〕

海洋においてはコンクリート構造部材の環境条件は、陸上と比較するとはるかに厳しく、点検補修もきわめて難しい。海上という制約条件下のため、点検は原則として専門家による目視点検となり、さらに海中においては潜水士による目視、水中写真または水中ビデオによる間接的な目視点検が主とならざるを得ない。しかも、気象、海象条件による制約、海中生物の付着という大きな障害があるので、構造物全体の詳細な調査を行う場合には大掛かりな準備が必要となる。

適切に設計され、入念に施工されたコンクリート構造部材は、海洋の厳しい環境条件下に置かれても信頼性が高く、通常の供用条件下であれば実用上問題になることはほとんどないと考えられていた。ところが最近、外部から侵入する塩分によりコンクリート内部の鋼材が腐食し、コンクリートにひびわれを引き起こすという、「塩害」による劣化が見られるようになった。したがって塩害を受ける可能性があるコンクリート構造部材の耐用期間中の機能を満足させるためには、劣化の早期発見が必要である。

点検作業における点検方法や点検間隔などの手順は、部材の設計寿命、設置環境、構造型式、材料構成等により異なる。このため、設計時に適用した防食法の区分と種別を参考として、構造部材の性格に応じた構造物点検要領をあらかじめ作成しておき、これに基づいて点検する必要がある。そして、劣化損傷や補修等

の事由があった場合にはこの要領の見直しを行う必要がある。

点検内容の分類は、本編「第2章　維持管理の基本方針」に示したとおり、定期概略点検、定期詳細点検、臨時点検に分けて行うことが望ましいが、コンクリート構造部材の場合にはその部位と防食区分に応じて、定期概略点検と臨時点検を行えばよいものとする。

4.2.2　点検種別と点検頻度

定期点検の頻度は、構造物の重要度、構造形式、防食法の区分等を考慮して定める。

〔解　説〕

コンクリート構造部材では、海岸保全施設や港湾構造物に準じ、構造物の重要度に応じて3～5年レベルの定期点検を実施しなければならない。定期点検において重大な劣化損傷が発見されたとき、健全度診断結果において進行が予想されると判定されたとき、あるいは台風や地震の発生後および船舶や漂流物の衝突のような異常時には、臨時点検を実施するものとする。

点検頻度は構造物の重要度、構造型式、部位、防食法の区分等によりあらかじめ定めておき、構造物点検要領に規定しておくものとする。

4.2.3　点検方法

点検方法は、点検の種別に応じて、目視点検および適当な検査機器を選定して定めるものとする。

〔解　説〕

定期点検は、目視点検および簡単な機器により調査を行い、損傷程度から見て必要な場合には詳細調査を行うのがよい。臨時点検においては、外観調査とともに機器による異常部分の詳細調査を行う。

目視点検は調査対象部位の付着生物を取り除き、潜水士による目視、スケッチ、水中写真または水中ビデオによる記録により行う。通常の目視点検項目は、変色、ひびわれ、コンクリートの浮き、はく離・はく落、錆汁、鉄筋の露出・破断等である。

①ひびわれ　　：コンクリートのひびわれは、ひびわれ数の他に、代表的なひびわれについて幅と長さを測定する。

②コンクリートの浮き：コンクリートの浮きは、目視では発見し難いことが多い。濃い錆汁のしん出している箇所や、はく離・はく落のある箇所をテストハンマーで打診すると発見し易い。

③はく離・はく落　：コンクリートのはく離・はく落については、箇所数やその概略面積についても調査する他に、できれば鉄筋のかぶり厚さも測定する。

④錆汁　：しん出箇所数を調べ、特に著しい錆汁についてはその色調、面積についても調査し、内部鉄筋腐食状況の推定資料とする。

⑤鉄筋の露出・破断　：鉄筋の露出していたり、さらには腐食や破断が発見された場合には、その箇所数や長さの調査に加え、腐食の進行状況も調べる必要がある。

また点検結果の評価を行うために、水温、塩分量、溶存酸素量などの環境条件を測定しておくとよい。詳細調査を行う場合には表－4.2.1に示す項目を参考に、必要に応じて検査を実施するものとする。海洋におけるコンクリート構造物の非破壊検査法については解決すべき問題も多いが、環境条件による制約からすると非常に有効な点検方法であるため、参考として表－4.2.2にその種類を示す。

表－4.2.1　コンクリートの劣化調査方法

測定対象	測定項目		方法条件	評価方法
コンクリート	ひび割れ	幅	・目視，外観撮影	・ひび割れ幅：1/10mmの位まで測定
		長さ	・器具による測定	・ひび割れ長さ：mmの位まで測定
		深さ	・はつり測定，コアボーリング ・超音波（低周波）探傷器	・ひび割れ深さ：mmの位まで測定 ・ひび割れ深さの鋼材までの到達有無を調査
	浮き		・ハンマーテスト ・赤外線による温度分布測定	・浮き面積を縦×横の長さ(mm)で測定 ・同上
	剥離		・目視，ハンマーテスト	・剥離部面積を縦×横の長さ(mm)で測定
	かぶり厚さ		・コンベックス ・電磁誘導式厚さ計（ﾊﾛﾒｰﾀｰ） ・はつり測定	・海上大気部，飛沫帯，海中各部でのかぶり厚さをmmの位まで測定
	塩化物含有量		・コンクリートコアー打抜き（化学分析）	・かぶり位置に於ける平均塩分量 $(Cl^-)kg/m^3$で表示
	中性化深さ		・コアー打抜き後ﾌｪﾉｰﾙﾌﾀﾚｲﾝ法	・平均中性化深さをmmの位まで測定
鋼材	錆汁		・目視，外観撮影	・鋼材の腐食劣化方法に準拠
	腐食面積，孔食肉厚		・コンクリートコアー打抜き浮き錆除去	・鋼材の腐食劣化方法に準拠
	自然電位分布		・デジタル電位差計	・$Cu/CuSO_4$照合電極による電位測定
	鋼面腐食速度		・分極抵抗によるｲﾝﾋﾟｰﾀﾞﾝｽ測定	・鋼材の腐食劣化方法に準拠

表－4.2.2　非破壊検査法の種類（参考）

（㈳日本検査技術協会(1986)等をもとに作成）

試験方法			測定内容	特徴	備考
目視による方法	ひびわれ観察	コンタクトゲージ法 クラックスケール法 画像処理法	・ひびわれに直接スケールをあてて測定する	・測定が簡便 ・画像処理を行う場合に解析用ソフトが必要である	
	測量	レベルトランシット法 ダイヤルゲージ法	・測量器で各点のたわみ量を測定する	・測定が簡便 ・結果を直接判断できる	
打撃を用いる方法	反撥硬度法	シュミットハンマー法	・コンクリート表面を打撃し反撥硬度を測定する	・測定が簡便 ・被測定物の形状・寸法にかかわらず適用できる	・最も多く実用化されている ・表面付近の品質のみ ・ASTM C805, DIN1048, BS4408
電磁気を用いる方法	電気法	電気抵抗法 誘電率 自然電極電位法	・電気抵抗の測定 ・誘電率の測定 ・自然電極電位の測定	・測定は比較的容易 ・同一箇所に繰返し測定できる	・鉄筋の一部をはつり出す必要がある
	磁気法	パロメーター法 ガバーメーター法	・鉄筋の存在に起因する磁界の変化を測定	・測定は比較的容易 ・同一箇所に繰返し測定できる	・市販の機器もありかなり広く実用化されている
音波を用いる方法	共振法	縦共振法 たわみ共振法 ねじり共振法	・特定形状・寸法のコンクリート供試体の共振振動数対数減衰率等の測定	・測定は比較的容易 ・同一供試体に繰返し適用できる	・JIS A 1127 ・ASTM C876
	音速法	超音波法 衝撃波法 連続波法 反射法	・超音波パルスの伝播速度測定 ・衝撃波の伝播速度測 ・表面波の伝播速度測	・被測定物の形状・寸法にあまり制約がない ・同一箇所で繰返し適用できる	・超音波法が最も良く用いられているが、最近衝撃波法が進んできている ・ASTM C597，BS4408
	AE法		・載荷に伴うコンクリート内部のひびわれ発生音の計測	・カイザー効果を利用してそのコンクリートの過去の載荷歴を推定できる	・研究段階 ・地盤調査等では実用化 ・測定装置が高価
電磁波を用いる方法	電波法	パルスレーダー法 連続波レーダー法	・コンクリート表面から電波を送信し、コンクリート背面等からの反射波をとらえる	・測定は比較的容易 ・結果を直接判断できる	・地中埋設物探査に実用化
	赤外線法		・コンクリート表面のクラックや剥離により生ずる微小な温度差を赤外線センサーで受信し画像処理を行う	・測定は比較的容易 ・結果を直接判断できる	・表面付近の探知しかできない ・タイルの剥離検知等で実用化
	放射線法	X線法 γ線ラジオグラフィ法 γ線ラジオメトリー法	・放射線（X線，γ線）がコンクリート中を透過する状況を測定，撮影する	・コンクリート内部の状況が直接観察できる	・装置が高価 ・放射線中性子等の取り扱いに制限があり実用化例は少ない
	中性子法	中性子含水量測定 中性子活性化分析法	・中性子の減衰状況の測定	・測定精度は比較的良い	・装置が大型
	マイクロ波吸収法		・波長0.3~300mmのマイクロ波の水による減衰量を測定	・測定は比較的容易	・研究段階
その他の方法	中性化深さ測定	フェノールフタレイン法 化学分析法	・コンクリート表面に指示薬を吹付けその反応により判断	・測定が容易	・コンクリートを局部的にはつる必要がある
	表面吸収法		・コンクリート表面にはった水の吸収速度と吸水量の測定	・特別な機器を必要としない	・適用例は少ない
	空隙率法		・水銀圧入法による空隙率と化学分析による水和度の測定	・コンクリート片があれば強度測定ができる	・研究段階

4.3　コンクリート構造部材の健全度の判定

健全度は、構造物の重要度、部材の劣化損傷程度、原因、腐食因子の侵入と損傷進行の可能性についての検討に基づき判定しなければならない。

〔解　説〕

健全度の判定による補修の必要性に関しては、少しでも劣化、損傷が認められた時点で行うという考え方から、明かな断面耐力の減少が生じた時点で行うという考え方まで様々であり、構造物の重要度、防食の考え方の相違等により異なる。

構造物の損傷度・劣化度を的確に判定するためには、点検時に行われる外観調査に加え、はつり調査、塩分量の調査、自然電位分布調査、超音波探査等を実施することが望ましい。これらの調査には、特別な器具、装置、足場が必要となる。

「コンクリートの耐久性向上技術の開発報告書＜第二編＞塩害を受けた土木構造物の補修指針（案）」（建設省，1988ｂ）では5段階の損傷度評価区分を設けている（表－4.3.1参照）。損傷度Ⅰは緊急に補修が必要な段階、損傷度Ⅱは補修の計画が必要な段階である。損傷度Ⅲは補修の要否を判定しにくい状況であり、補修の要否について塩分量調査等を実施して検討することとしている。

表－4.3.1　損傷度の区分　（建設省，1988ｂによる）

損傷度	損　傷　状　況
Ⅰ	鋼材の腐食の進行により、部分的あるいは連続的な鋼材の露出または破断が認められたり、コンクリートの断面欠損が著しく認められる場合
Ⅱ	鋼材の腐食の進行により、連続的なコンクリートのひびわれ、錆汁およびはく離、はく落が認められる場合
Ⅲ	ひびわれ、錆汁およびはく離、はく落が認められるが、その範囲や程度が小さい場合
Ⅳ	ごく軽微なひび割れ、錆汁が認められる場合
無	損傷が認められない場合

また、「港湾コンクリート構造物の補修マニュアル（案）」（沿岸開発技術研究センター，1987）では、スラブ、梁、ハンチの1区画を標準として、鉄筋の腐食度、かぶりコンクリートのひびわれ、はく離、はく落の状況で劣化度を6段階に分類している。

4.4　コンクリート構造部材の補修

4.4.1　一般

点検に基づく健全度の判定により、補修または補修計画が必要と判定された場合には、精密な事前調査による施工計画に基づき補修を行わなければならない。補修後、必要に応じて構造物点検要領の見直しを行うものとする。

〔解　説〕

(1)　一般

海洋構造物のコンクリート構造部材に関する補修の基本的な考え方は、外観の損傷している箇所に対する防錆処理と断面修復が主体となる。塩害を受けているコンクリート構造物の場合には、特に鉄筋の腐食を防止するための補修が必要とされる。また、構造物周辺の海底に変化（洗掘、堆積等）が生じている場合には、その対策を講じる必要もある。

(2)　補修方法

コンクリート構造部材の補修は、①応急修理、②補修、③補強・改良の三段階に分けて考えられる。施工は十分な事前調査を実施し、補修方法を決定しなければならない。

(3)　補修後の定期点検

構造部材の補修後には、追跡点検としての意味をもつような点検要領の見直しを行わなければならない。追跡点検は通常の定期点検の際に実施し、補修部位およびその周辺の詳細点検を行うものとする。追跡点検は、選定した補修方法の是非の把握と将来の類似損傷へ対応する資料を得るための重要な作業である。

定期点検よりも短い点検間隔が必要であると認められる場合には、構造物点検要領の見直し、あるいは頻度を密にした臨時点検を行う。

4.4.2　補修方法

補修方法の選定に当っては、必要に応じて適切な事前調査を行い、適確な補修方法を選定しなければならない。

〔解　説〕

コンクリート構造部材の主な補修作業は、塩分の侵入、凍結融解、乾燥収縮によるひびわれ等によって引き起こされる塩害に対する復旧である。塩害対策としては、酸素、塩分等の腐食因子の侵入を防止する実用的な方法が提案されている。

塩害補修は、まず損傷した部分の復旧を行い、次に新たな劣化損傷に対してその対策を行うのが基本的な考え方である。損傷部分の復旧は、鉄筋の防錆処理、鉄筋のさしかえ・補充、断面修復などである〔補修方法（その１）〕。塩害進行の対策としては、ひびわれ注入、コンクリート表面の被覆などによって新たな腐食因子の遮断効果を持たせるか〔補修方法（その２）〕、あるいは電気防食による直接的な防食効果を期待する方法〔補修方法（その３）〕があげられる。なお、損傷度の区分において程度の良い段階で補修を行う場合には、補修方法（その２）や補修方法（その３）のみを適用する場合もある。

a）補修方法（その１）

①鉄筋の防錆処理

- 断面修復部の露出した鉄筋は、ブラストにより除錆後、全ての箇所について防錆材料を塗布する等、鉄筋の防錆処理を行う。
- はつり等により、欠損した部分を断面修復材を用いて修復する。

②鉄筋のさしかえ・補充等

- 腐食により鉄筋の断面減少が著しい場合は、鉄筋の損傷部分の取替え等を行う必要がある。
- 既設鉄筋と新規鉄筋の継手方法は、コンクリート標準示方書（土木学会，1986）による重ね継手が標準である。
- 所定の施工ができない場合には、別途の対策も検討しておかねばならない。
- さしかえ、補充した鉄筋も防錆処理を行う必要がある。

③断面修復

- 腐食した鉄筋を露出するためにはつり取った箇所は、断面修復材で復元する。また、ジャンカ等のコンクリートの不良箇所も、断面修復材を充填する。鉄筋のかぶりがほとんど無い場合にも、断面修復材でかぶりを確保することが望ましい。

コンクリートの欠損部に対する断面修復の工法は大きく、プレパックドコンクリート工法、特殊水中コンクリート工法、打継ぎコンクリート工法、モルタル工法に分類される。断面修復は、これらの工法の特徴を十分に理解した上で、コンクリートの劣化損傷の状況や劣化損傷の部位に応じた工法を選定する必要がある。特に、干満差の影響を受ける部位や、波浪の影響を受ける部位では、十分に安全な施工法を選定する必要がある。

b）補修方法（その２）

①ひびわれ注入

コンクリートの乾燥収縮によるひびわれ等、鉄筋の腐食に起因しないひびわれは従来のエポキシ樹脂等の注入により修復する。

②コンクリート表面の被覆

外観損傷を生じている箇所およびその周辺の同一環境下にある部位について、塩分、酸素等の侵入を減少させることにより鉄筋の腐食の進行を抑制するために、コンクリート表面を被覆する。部分的な被覆のみでは十分な補修効果が得られない場合には、まとまった範囲で被覆することを原則とする。

c）補修方法（その3）

電気防食によるコンクリート構造物の補修が行われることもある。この方法は既コンクリート中に塩分が入っていても有効である。

第5章　ゴム・高分子系部材の維持管理

5.1　一般

海域制御構造物に使用されるゴム・高分子系部材は、その材料特性を考慮しながら、耐用期間を通じ必要に応じて維持管理を行い、要求される機能特性を維持しなければならない。

〔解　説〕

ゴム・高分子系材料はその機能性と材料特性が多岐にわたるため、材料に応じた対応を取る必要がある。海洋環境における維持管理の基本的な方針としては、定期的な点検により部材損傷を早期に発見し、応急的な補修により部材の機能を維持するとともに、種々の方法で残存耐用期間を推定し、安全性と経済性とを勘案して適当な時期に部材を更新するものとする。したがって、できる限り維持管理作業の軽減、特に容易な点検と、交換作業を可能とするような部材設計の配慮が望まれる。

5.2　ゴム・高分子系部材の点検

ゴム・高分子系部材の点検は、構造物の型式、重要度、材料特性を考慮しながら、定期点検と臨時点検に種別を分けて点検要領を作成し、これに基づいて行う。点検時に異常が認められた場合や、部材の設計耐用期間に近づいた場合には、より精密な詳細点検を行う。

〔解　説〕

(1)　一般

ゴム・高分子系部材の定期点検における標準的な点検項目と頻度を表－5.2.1に示す。ただし、これらの部材が構造物の補助的なものとして使用されている場合には、当該部材の重要度を考慮した上で、構造部材の点検要領に沿って行うものとする。

点検に当って、特に表面の損傷、例えば亀裂・ひびわれ・変形・摩耗等について、付着物等を取り除いたのち、目視による外観観察と写真撮影による記録点検を行うものとする。主な点検項目を表－5.2.2に示す。

使用実績の少ない材料からなる部材の残存耐用期間を判断するためには、同一材料による現場試験サンプルの併設設置を行って、これによる評価を行うことが望ましい。技術開発による材料特性の見直しや、補修更新等があった場合には、点検要領の再検討を行う。

(2)　ゴム系材料の点検

海洋構造物の構造用材料として用いられるゴム系材料は、膜構造、止水、緩衝、伸縮吸収、振動防止等に使用されているので、これらの用途に必要な特性変化を中心として点検を行う。

点検に当っては、点検項目に基づいて目視点検を行うとともに記録を残し、その記録をもとにして維持管理の方針・手法の改訂を検討することが望ましい。

(3) 高分子系材料の点検

高分子系材料としてのプラスチックは、一般には繊維材料と複合して構造用材料に使用される。この場合、繊維材料はマトリックス材料（主に熱硬化性樹脂）に埋没した状態にあり、その劣化度を外部から観察により判定することは難しい。特に、劣化の主体が補強材とマトリックスの境界面にあるので、維持管理においては境界面の劣化に注目する必要があるが、境界面についても外観からの判定は難しい場合が多い。したがって、次のように点検を行う。

機械的外力を受けて発生する損傷が複合材の力学的特性低下の原因となることが多いので、傷の部分を中心に目視点検を行う。また、発生した損傷部からの水分や化学物質の浸透による補強材境界面の劣化が起こることが多いため、損傷が局部的であっても、部材の力学的特性が一度低下したものは部材の交換が必要である。以上の点から、機械的外力を直接受けない構造、外観検査が容易な構造、部材の交換が容易な構造であることが望ましい。

表－5.2.1　点検項目および頻度

項　　目	種　類　（点検頻度）		判　　定
	定期点検	精密点検	
ゴム、高分子材の外面	年1回程度		数ミリ程度の成長性のある傷、性能に影響する程度の大きな傷。
本体金属部分	年1回程度		塗膜の損傷、発錆がある。
本体変形量	年1回程度	3~5年に1回程度	異常変形、設計限界歪み内に変形量がおさまっているか。
取り付け部	3~5年に1回程度	台風、地震等	異常磨耗、溶接部の異常、ボルトの緩み等。

表－5.2.2　高分子系材料の点検項目

点検個所	時期　周期	保守点検要領（案）			
		内　　容	方　　法	判　　定	処置及び対策
本体の外面	年1回以上及び、台風，地震等の異常発生後	ゴム，高分子表面の損傷 亀裂，ひび割れ，変形，摩耗等	付着物を除き、目視，スケール等にて点検	小さな傷； 数mm程度で、成長の可能性のあるクラック 大きな傷； 性能に影響する程度、及び将来機能を損なう等の危険のあるもの。	小さな傷の場合は、補修し使用する。 異常発生後は、入念に点検する。 大きな傷の場合は必要に応じて、補修，工場修理，取り替え等を判定する。 必要に応じて、取り外し圧縮試験をして確認する。
本体金属部分	同　上	塗膜の損傷，発錆，変形等	付着物を除き、目視，ハンマー等にて点検	塗膜の損傷，発錆がある場合； 同系の塗料にて、タッチアップする。 変形の著しい場合は、取り替え等の対策をする。	
変形量測定	同上又は常時	本体の、歪み測定，監視，と記録	変位計で測定し自動記録	設計限界歪み内に変形量がおさまっているか。	許容歪み以上に変形をしたゴム，高分子本体は、圧縮検査等を実施し、異常の有無を確認する。 特に、異常発生後は記録を入念に点検する。
取りつけ部	同　上	ボルト，ナットの緩み，脱落，腐食等	目視，ハンマー等にて点検	回り止め、点溶接が破断しているか、容易に回転するか。	緩みのある場合は、増し締め、点溶接を行う。 脱落，腐食のある場合は、新品と取り替える。 特に、異常発生後は入念に点検する。

5.3　ゴム・高分子系部材の補修

点検の結果、要求される機能あるいは強度が維持できないと判定された場合には、精密な事前調査により原因を究明し、適切な補修あるいは交換を行わなければならない。

〔解　説〕

通常の小さい傷の場合には、同一系のゴム・高分子材料を用いて補修する。大きな損傷の場合には、損傷程度に応じて工場修理や交換などの措置を行い、許容歪み以上に変形した部材は強度試験等を実施し異常の有無を確認する。また、取り付け部の治具に緩み、腐食、摩耗、溶接部等に異常のある場合には、増し締め、防食処理や部品交換を行う。設計耐用期間を経過し機能低下した部材、または事故等により使用不能になった部材は交換するものとする。なお、現場に併設した暴露試験片または現物より抜きとった試験体により要求特性と強度を確認することが望ましい。異常発生後は点検要領の見直しを行う。

海洋構造物の構造用材料に使用されるゴム・高分子系部材の耐用期間は、使用される環境条件により異なるものの20～30年とされることが多い。このため、設計耐用期間に整合した交換可能部材を使用することが望ましい。

第6章　捨石構造物の維持管理

6.1　維持管理の基本

捨石構造物は、耐用期間を通じて必要に応じて維持管理を行い、その要求される機能特性を維持しなければならない。

〔解　説〕

海域制御構造物の基礎部のマウンドあるいは捨石式の構造物では、洗掘、沈下やすべり、あるいは地震振動による変形を受けた場合に構造物の安定性と機能を損なわれる。したがって、捨石構造物においては、構造物の機能と安定性に配慮しながら維持管理を行わなければならない。

6.2　捨石構造物の点検

捨石構造物の点検は、定期点検と臨時点検に分けて行う。上部構造物がある場合には原則としてその点検に準じて行う。また、点検時に異常が認められた場合には詳細点検を行い、補修の要否を検討する。

〔解　説〕

捨石構造物の点検種別および点検頻度は、これまでの維持管理の履歴や地形変化の状況から特に必要と認められる場合を除いて、原則として上部構造物の外観調査の際に同時に行うものとし、定期点検と臨時点検に分類して実施する。上部工のない構造物の場合には、コンクリート構造部材と同様に、3～5年レベルの定期点検と異常後の臨時点検として行う。

点検内容は、捨石構造物本体あるいはマウンド基礎や根固め工の外観形状測定と構造物周辺における洗掘や堆積などの海底地形の調査、および地盤強度変化の調査であり、漂砂や底質の観測や深浅測量等の資料がある場合にはこれを参考にするとよい。

6.3　捨石構造物の補修

点検の結果、補修が必要と判断されたときには、適切な補修を行わなければならない。

〔解　説〕

点検結果に基づく健全度の判定において、基礎・捨石構造部材の変化が構造物の安定性あるいは機能を損ねていると判定された場合には、盛砂工、捨石工、地盤改良などの対策を行う。

第7章　生物付着

7.1　一般

海中部に設置される構造物には多くの場合に海洋生物が付着することから、構造物の機能や安定性に及ぼす影響への対応策を、維持管理としてあらかじめ定めておく。

〔解　説〕

(1)　一般

環境汚染の少ない海域では、構造物を設置した場合に付着する生物の種類や付着量は多い。生物が付着すると、構造物に作用する波力が大きくなり、安定性と機能に変状をきたす可能性がある。また、設置される構造物の維持管理の面からも、当該海域の付着生物の種類や付着量の変化に関する事前調査と、調査結果に基づく処置は重要である。

一方、生態系の多様化や水質浄化といった点からは、生物付着が有効となる場合もある。維持管理においては、構造物の設計段階を含めて生物付着の効用と弊害を考慮し、必要に応じてその有効性を利用する手法と付着生物による被害対策の両面について検討しておく必要がある。

(2)　生物付着による構造物への機能的効用

海域制御構造物などの海洋構造物には、海水浄化機能による海洋環境の保全機能や魚礁効果などを向上させる機能を具備していることが多くの場合に望ましいとされる。したがって、魚類の餌となるような有効な海洋生物の付着や繁殖は、魚類の蝟集を促進すると考えられることからMMZ計画にとっても有効な要素となる。

海洋生態系における栄養元素の循環経路においては、海藻類の養殖のように付着生物が有用な扱いを受けており、付着生物は海洋生態系において重要な役割を演じている。また、付着生物は海洋環境浄化や食物連鎖による海洋生物の資源再生産の機能も有しており、これらの諸機能は海洋レジャー・魚礁技術・海洋牧場システム等の海洋環境保全技術において大きな一つの構成要素となっている。

一方、構造物の安定にとっては、漂流物の衝突を緩和し防食塗覆装の損傷を少なくする効果を付着生物が持っている。このため、作用波力の増大、点検作業への支障あるいは隙間腐食などの問題を生じない限りにおいては、海中生物が付着することが望ましいと考えることもできる。

(3)　生物付着による構造物への悪影響

海洋生物の付着は、部材の断面積を大きくし、波浪や潮流による荷重を増加させ、スリット型式の消波構造物の場合には、著しい生物付着を生じると約6％の波力の増加を生じるという試算結果も報告されている（片脇ら，1991b）。また、荷重増加によって疲労腐食を含めた疲労寿命を低下させるおそれもある。

局部的には付着生物が酸素濃淡電池などを形成し易く、局部腐食を助長する原因ともなる。特にステンレス鋼の場合には、フジツボ類などの生物が付着すると、付着した部分で隙間腐食が生じ易く、局部的に大きな腐食速度を示すことがある。また、付着生物が死滅堆積すると、嫌気性バクテリアである硫酸塩還元菌が

発生し、分解硫黄酸化物によって腐食を増大させる場合がある。

通常の塗覆装に対しては、海洋生物の付着は避けられない。塩化ゴム系塗料などでは、海洋生物が付着すると塗膜を侵食し、鋼材面まで達し鋼材を腐食させる場合がある。またカキやフジツボ類は、塗覆装の種類によっては塗覆面に食い込み脱落時に塗覆装まで一緒に脱落させる場合がある。

維持管理の諸作業にとって、生物付着は大きな支障となる。構造物の安全性を確認する点検作業の際には、表面全体を目視するのに大きな障害となり、除去しても細かなひび割れ等の発見が困難である。また補修の際の下地処理にも問題を生ずる。

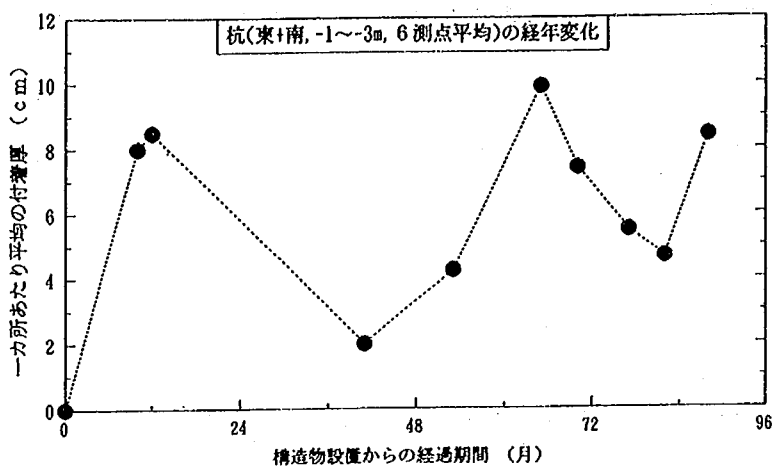
(4) 調査

海洋生物付着は、一般に清浄な海域ほど付着量や種類も多く、条件によっては20cm以上になることもあり、繁殖・死滅・波浪などにより着脱をくり返す。付着量は現場海域の環境（波浪、水温、優占生物種等）によりそれぞれ異なるが、ある程度以上の厚さにはならない。

付着生物の事前調査法としては、文献調査に加え、設置対象海域の桟橋やシーバースなどの既設構造物あるいは事前調査のために設置した測量台や観測施設における調査、試験片浸漬法などにより、年単位の付着生物の付着傾向や季節による付着量と付着種の変動傾向を把握する。

測定方法は、調査対象構造物あるいは試験片について、その水深方向および方角による生物付着厚さなどを、枠法やベルトトランセクト法等の方法により測定する。付着種の同定は、わが国沿岸域に出現する海産付着生物のうち、海綿類、ヒドロ虫類、管棲多毛類、コケムシ類、ホヤ類、二枚貝類の7動物群および海藻類について行う。また、波浪、水温、水質や塩分濃度などを補助資料として収集しておく。同一測定部位における継続調査に対する影響が少なければ、調査測定部位近傍からの生物採取により重量の測定を行うとよい。調査は季節ごとに数年間継続して行うべきであり、その結果をまとめることにより、当該海域における生物付着の挙動がおおむね把握できる。

調査例として、片脇ら（1991b）が駿河海岸にある駿河湾にある海洋技術総合研究施設において行った調査から、鋼管杭における生物付着厚の経年変化を図－7.1.1に示す。この調査結果においては、3年程度の周期で付着厚さの変動が起きているのが分かる。



図－7.1.1　駿河湾海洋技術総合研究施設３Ａ杭における生物付着の経年変化

7.2　生物付着促進技術

生物付着を促進させる場合には、構造物の部材配置方法や部材の表面処理方法などの方法から適切な処置を行う。

〔解　説〕

(1)　一般

魚類の餌となるような有用な海洋生物の付着とその繁殖は、魚類の蝟集を促進し、総合的な海洋レジャーや今後の漁業の発展および周辺海域の浄化に有効である。海域制御構造物などの各種構造物に、海水浄化機能による海洋環境の保全機能、魚礁効果などの機能を持たせるためには、積極的な付着生物の繁殖を施すことも一つの有効な手法である。その手法としては構造的効果、部材表面処理などがある。

(2)　構造的効果

構造的効果としては、付着のよりどころとなる部材表面および隅角等接合部の出現ばかりでなく、砕波に伴う溶存酸素の混入による海水浄化とそれに伴う海洋生物の生息環境の改善が期待できる。構造物に必要とされる機能を損なう恐れのない部位では多種類の付着生物の着生を促すために、部材配置を変えて、日照、潮流や波浪接触の強弱を変化させるなどの方法をとることも有効である。

(3)　部材の表面処理法

海洋生物が付着し易い表面状態にするため、部材面の凹凸調整等の粗面化や、溝や穴などを設ける手法がある。また、付着生物、特に海藻類の着生や繁殖を促進する塗料の塗布などが有効である。鋼材面に電気防食した場合、無防食の場合に比べて付着生物が着生繁殖し易いことがわかっている（桑・野村，1988）。こ

の場合、付着種数が多くなり、付着量は防食電流密度の違いにより変化する。これらの電気化学的手法の導入も効果があると考えられる。

(4) その他の手法

構造物表面に有効海藻類や磯根生物を移植したり、海藻類の繁殖を助長するための施肥法などがあげられる。

7.3 生物付着防止技術

生物付着によって機能の損なわれる箇所については、周辺への影響、安全性に十分配慮して生物付着防止技術を適用する。

〔解 説〕

恒久的な生物付着の防止策としては、構造物の設計段階における部材形状、配置、方向、間隔、材料の選択などによる稚貝付着の阻害、溶存酸素量の制御をあげることができる。構造物に固着する生物は、その生殖幼生が浮遊する時期に部材表面流が一定速度以下である必要があり、たとえばフジツボ類が可能な流速は1m／sec 以下とされている（付着生物研究会，1986）。したがって、水の流動が激しい位置にある部材面では、付着生物の幼生が付着しにくくなる。

積極的な付着防止技術として、海水の電気分解で生じる塩素による殺菌効果を利用して、付着を防止する技術が開発されつつある。他にも塩素注入、超音波、電撃処理、海中火花放電などの方法が検討されているが、海域制御構造物へ適用することが困難な方法であり、まだ実用には至っていない方法が多い。

一時的な生物付着防止技術としては、構造物の建設段階における増設面や部材接合箇所あるいは維持管理のために各種計測用機器などを取り付ける箇所に用いられる。その方法としては、シートや保護カバーによるマスキングや、場合によっては、防汚塗料や銅合金などの防汚材料を局部的に使用する方法がある。

防汚塗料は、無公害型でありかつその安全性が完全に確認されているもの以外は使用してはならない。また、銅や銅合金を表面材料に用いるのも付着防止に効果があるが、銅より卑電位金属である普通鋼材面などに配置するときは、異種金属接触腐食防止のため絶縁などの対策を行う必要がある。

7.4 付着生物除去技術

付着生物の除去は、除去面積や周辺環境への影響について検討したうえで、適切な除去方法を用いる。

〔解　説〕

付着生物の除去は点検時には不可欠であり、また構造物の機能保全上からも実施することが多い。その方法としては手作業による方法（ケレン法）、ウォータージェット法および混気ジェットポンプ法などが用いられる。

一般に小規模の除去の場合は、ダイバーが直接壁面の付着生物をスクレーパーなどで除去する方法や、回転ブラシやウォータージェットによる除去が行われる。これらダイバーによる除去は、被対象面が複雑な場合や小規模の場合は有効である。これらのほかには、水面上の船から回転ブラシにより除去する方法や、遠隔操作方式の自走式清掃機や、爆薬による除去法が報告されている。

被対象物が大規模で除去した生物が多量になる場合や、海洋汚染防止法に抵触するおそれがある場合には、混気ジェットポンプなどを使用して、除去と同時に吸引し回収する。

第8章　付帯設備

8.1　安全管理用設備

構造物の付帯設備である航行標識の安全管理設備は、これが所定の機能を常に満足した状態に保持されるように、管理を行わなければならない。

〔解　説〕

海域に建設される構造物には、航路標識法により航行船舶の指標とするための航路標識の設置が義務付けられている。航路標識とは、灯光、形象、彩色、音響、電波等の手段によって、港湾、海峡等の沿岸水域を航行する船舶の指標となる灯台、立標、浮標、信号所、無線方位信号所その他の施設をいう。構造物の管理者は、これらの設置を適切に行うだけでなく、航路標識の機能が損なわれて航路の交通安全に支障を生じないよう、標識の維持管理に務める義務がある。

海洋リゾート開発の場合には、静穏海域に小船舶の往来が生じる場合があるため、航行安全の上から海域制御構造物には彩色等による標識を行う必要性が生じる。これに当っては港則法、海上交通安全法、水路業務法など海上交通を定めた諸規則に基づいて措置を行うものとする。

構造物の管理者は、安全管理設備の適切な点検を行い、その機能維持に務めなければならない。一般的な灯標の安全管理設備の点検は、点灯の確認、定期的な電球や電源の確認あるいは交換などについて行い、万一故障を発見した場合には、最寄りの海上保安部等への報告と、速やかな修理、変更や廃止をする場合の告示等の措置が必要となる。

8.2　点検補修用設備

維持管理を効率的かつ安全に行うために、点検補修用設備を設置しておくことが望ましい。

〔解　説〕

点検や補修のための設備は、構造物の種類・規模・構造等により異なるが、手すり、昇降用金具、足場架設用吊り金具などの小設備から、階段、グレーチング、移動足場、点検用潜水ロボット等のやや大きな設備までである。構造物の建設時には、これらの設備をあらかじめ設置して、点検補修作業を効率的かつ安全にすすめることが求められる。これらの設備は、点検や補修を安全かつ効率的に行うためのものであり、安全で単純な構造とすることが望ましい。一方、点検補修用設備には細かな工作部分が多いため早期に使用に耐えなくなるケースが多い。このためメンテナンスフリーをめざした材質や防食仕様を選択するのがよい。

また、海洋構造物の点検は生物付着や海象条件等によって多きな制約を受ける。特に、飛沫～海中部の点

検は、潜水時間の制限、足場や作業安全性の確保の困難、透視度の低下などから人手により行うのが困難である。また、官能的手法による作業の信頼性や非効率性にも問題がある。このため、人手を要しない点検技術や点検機械の開発、生物付着下での点検手法についての、いわゆるモニタリング技術を活用することが望ましい。

例えば、構造物には新設時に点検用のセンサーを取り付けておくことが望ましい。この様なセンサーとしては、コンクリート構造部材の場合、コンクリート中の鉄筋の電位や分極抵抗の測定により鉄筋の腐食傾向や塩分の浸透度を検知するものがある。鋼構造部材の場合には電気防食状態チェック用電極などが、ゴム・高分子系材料を用いる構造部材の場合には、歪みや応力の測定用センサーやひびわれ検知用センサーなどがある。また、維持管理ロボットとして観調査用ビデオカメラ、電位測定装置、マニュピレーターなどを装備し、遠隔操作によって点検を行う装置などもある。

構造物の点検に際しては、点検用足場やモニタリング設備の作動状況を定期的に確認する必要がある。

参考文献

伊藤信夫・梶原　武(1985)：海洋構造物における生物付着、海洋科学技術センター報告，No.14.

運輸省港湾局監修(1989)：港湾の施設の技術上の基準・同解説改訂版，㈳日本港湾協会.

ＥＣＯＲ日本委員会(1978)：海洋構造物の水中検査－設計者への手引き－，国際ＥＣＯＲ関係資料，No.20，84p.

ＥＣＯＲ日本委員会(1984)：海洋構造物を取り巻く環境－防錆・防食並びに付着生物の除去技術.

㈶沿岸開発技術センター(1986a)　：港湾鋼構造物防食マニュアル.

㈶沿岸開発技術センター(1986b)　：港湾鋼構造物補修マニュアル.

㈶沿岸開発技術センター(1987)：港湾構造物の劣化防止・補修に関する技術調査報告書－劣化防止・補修マニュアル－.

海洋科学技術センター(1987)：海中計測技術の動向調査報告書.

科学技術庁研究開発局(1987)：海洋構造物による海洋空間等の有効利用に関する研究（第Ⅱ期）成果報告書，238p.

片脇　清・佐々木厳・根本正幸(1991ａ)：海洋構造物材料・維持管理技術に関するフィージビリティスタディ報告書、土木研究所資料，第2929号，192p.

片脇　清・西島高秀・佐々木厳(1991ｂ)：消波構造物への生物の付着挙動に関する研究報告書、土木研究所資料，第2985号，46p.

桑　守彦・野村和徳(1988)：日本水産学会誌，Vol.54，No.3，pp.359-364.

建設省(1988a)　：コンクリートの耐久性向上技術の開発報告書－沿岸土木構造物の設計・施工指針（案）.

建設省(1988b)　：コンクリートの耐久性向上技術の開発報告書－塩害を受けた土木構造物の補修指針（案）.

建設省土木研究所(1982)：海洋構造物の保守管理技術に関する報告書、科学技術振興調整費「海洋構造物による海洋空間等の有効利用に関するフィージビリティスタディ」，136p.

建設省土木研究所・㈳鋼材倶楽部・㈳プレストレスト・コンクリート建設業協会・㈶土木研究センター(1988)：海洋構造物の耐久性向上技術に関する共同研究報告書.

建設省土木研究所・鋼管杭協会(1990)：海洋鋼構造物の防食指針・同解説（案）（飛沫帯・干満帯編），60p.

建設省土木研究所・㈶土木研究センター(1983)：電気防食設計指針（案）・同解説，土木研究所資料，第1986号，47p.

建設省土木研究所・㈶土木研究センター(1984)：電気防食の設計法に関する研究最終報告書，土木研究所資料，第2121号，118p.

関　博・大即信明(1988)：コンクリート構造物の耐久性設計の考え方－港湾・海洋構造物の場合、コンクリート工学，Vol.26，No.11.

電気化学協会海生生物汚損対策懇談会(1991)：海生生物汚損対策マニュアル，技報堂出版，237p.

㈳土木学会(1986)：コンクリート標準示方書.

長滝重義(1987)　：コンクリート構造物の劣化現象とその対策、維持管理分野の現状と展望，土木学会関東

支部.

日本検査技術協会(1986)　：コンクリート構造物に関する非破壊検査技術の適用とその精度・講義と討論.

㈱日本鋼構造協会編(1982)　：日本鋼構造協会指針「鋼橋塗膜調査」.

㈱日本鋼構造協会編(1988)　：重防食塗装の実際、山海堂，354p.

㈱日本コンクリート工学協会(1989)　：鉄筋腐食による損傷を受けたコンクリート構造物の補修技術に関するシンポジウム論文集，132p.

㈱日本コンクリート工学協会(1990)　：海洋コンクリート構造物の防食指針（案）－改訂版－，165p.

㈱日本道路協会(1984)　：道路橋の塩害対策指針（案）・同解説，99p.

㈱日本道路協会(1990)　：鋼道路橋塗装便覧，197p.

付着生物研究会編(1986)　：付着生物研究法－種類査定・調査法－，恒星社厚生閣，156p.

K.A.Chandler (1985) : Marine Offshore Corrosion.

ＮＡＣＥ(1983)　: Control of Corrosion on Steel, Fixed Offshore Platforms Associated with Petroleum Production.

付　録

委員会等名簿

※ 所属は当時
(期間中に所属が代わった場合には期間中の最新の所属)
※ ＊は期間途中で交代された方

建設省総合技術開発プロジェクト
「海洋利用空間の保全・利用技術に関する研究」に係わる委員会
（昭和61年3月～平成3年3月）

名　　簿

＜海洋利用空間の創成・保全技術の開発委員会＞

委員長	堀川清司	埼玉大学工学部教授
委員	田辺英蔵	文京大学国際学部教授
〃	豊島　修	東海大学海洋学部教授
〃	西沢成宣	㈳日本造園コンサルタント協会顧問
〃	渡辺　晃	東京大学工学部教授

（五十音順）

共同研究委員	国見　宏	清水建設㈱技術研究所副所長

委託者側委員	豊田高司*	建設省大臣官房技術調査室長
〃	佐藤信彦*	〃
〃	青山俊樹*	〃
〃	坂本新太郎*	建設省都市局公園緑地課長
〃	曽田欽嗣*	〃
〃	矢野洋一郎*	建設省河川局海岸課長
〃	市原四郎*	〃
〃	都丸徳治*	〃
〃	紀陸富信*	〃
〃	葛城幸一郎*	〃
〃	福井経一*	建設省土木研究所調整官
〃	谷本修志*	〃
〃	岩崎敏男*	〃
〃	石崎勝義*	〃
〃	河野　宏*	〃
〃	橋本　宏*	建設省土木研究所河川部長
〃	青木佑久*	〃

委託者側委員	松田博幸*	建設省国土地理院地理調査部長
〃	柳瀬訓*	〃
〃	土肥規男*	〃
〃	中西秩*	(財)国土開発技術研究センター理事
〃	和氣三郎*	〃
〃	大河原満*	〃

＜海域制御構造物の開発部会＞

部会長	渡辺晃	東京大学工学部教授
委員	足立紀尚	京都大学工学部教授
〃	西岡隆	筑波大学第三学群構造工学系教授
〃	服部昌太郎	中央大学理工学部教授
〃	蒔田寛	(財)土木研究センター参与
〃	三木千壽	東京工業大学工学部教授

（五十音順）

共同研究委員	飯村修	住友金属工業㈱建設エンジニアリング事業本部土木鉄構技術部次長
〃	小田弘雄	㈱大林組土木技術本部副部長
〃	小林浩	清水建設㈱技術研究所企画部海外担当部長
〃	増渕孝二	飛島建設㈱技術本部研究開発部長
〃	水野高信	新日本製鉄㈱都市開発事業部部長代理

（五十音順）

委託者側委員	藤野忠*	建設省大臣官房技術調査室技術調査官
〃	谷岡誠一*	〃
〃	丸山弘通*	〃
〃	脇雅史*	建設省河川局海岸課海洋開発官
〃	青木東男*	〃
〃	貞包秀浩*	〃
〃	山崎丈夫*	〃
〃	清治真人	建設省河川局海岸課課長補佐
〃	熊谷清*	〃
〃	篠田孝*	〃

委託者側委員	宇多高明	建設省土木研究所河川部海岸研究室長
〃	横山功一	建設省土木研究所構造橋梁部構造研究室長
〃	岡原美知夫	建設省土木研究所構造橋梁部基礎研究室長
〃	片岡清	建設省土木研究所地質化学部化学研究室長
〃	坂本忠彦*	㈶国土開発技術研究センター調査第一部長
〃	脇雅史*	〃
〃	渡部義信*	〃

＜保全利用技術の開発部会＞

部会長	西沢成宣	㈳日本造園コンサルタント協会顧問
委員	小出三二郎	ヤマハ発動機㈱マリーン事業開発室長
〃	輿水肇	明治大学農学部教授
〃	酒井哲郎	京都大学工学部助教授
〃	佐々波清夫	日本大学文理学部教授
〃	砂村継夫	筑波大学地球科学系教授
〃	田辺英蔵	文京大学国際学部教授
〃	野口和孝	東京急行電鉄㈱リゾート事業部管理部長
〃	原重一	㈶日本交通公社調査部長
〃	丸田頼一	千葉大学園芸学部教授

（五十音順）

委託者側委員	藤野忠*	建設省大臣官房技術調査室技術調査官
〃	谷岡誠一*	〃
〃	丸山弘通*	〃
〃	五十嵐誠*	建設省都市局公園緑地課建設専門官
〃	富田祐次*	〃
〃	有路信*	〃
〃	有路信*	建設省都市局公園緑地課課長補佐
〃	高梨雅明*	〃
〃	伊藤英昌*	建設省都市局都市計画建設専門官
〃	稚谷尤一*	〃
〃	大貫誠二*	〃
〃	脇雅史*	建設省河川局海岸課海洋開発官

委託者側委員	青木東男*	建設省河川局海岸課海洋開発官
〃	貞包秀浩*	〃
〃	山崎丈夫*	〃
〃	清治真人*	建設省河川局海岸課課長補佐
〃	熊谷清*	〃
〃	篠田孝*	〃
〃	宇多高明	建設省土木研究所河川部海岸研究室長
〃	井上忠佳*	建設省土木研究所道路部緑化研究室長
〃	前田博*	〃
〃	半田真理子*	〃
〃	長岡正利*	建設省国土地理院地理調査部地理第二課長
〃	谷岡誠一*	〃
〃	坂本忠彦*	(財)国土開発技術研究センター調査第一部長
〃	脇雅史*	〃
〃	渡部義信*	〃
〃	松丸陽一*	(財)国土開発技術研究センター調査第三部長
〃	山村信吾*	〃
〃	白井芳樹*	〃

「海域制御構造物の開発」に関する共同研究
MMZ計画策定の手引き（案）作成ワーキング
（平成元年7月～平成3年3月）

名　　簿

＜機能ワーキング＞

石野和男	大成建設㈱技術研究所
岡　幸夫	飛島建設㈱研究開発部
小俣　篤	土木研究所河川部
桂川哲行*	土木研究所河川部（部外研究員：東洋建設㈱）
木村秀雄*	新日本製鉄㈱土木事業開発部
国栖広志*	五洋建設㈱技術研究所
近藤浩右*	五洋建設㈱技術企画課
髙木春生	三井建設㈱技術開発推進部
高橋陽一*	新日本製鉄㈱土木事業開発部
田中正博	清水建設㈱技術研究所環境技術研究部
荻原運弘	清水建設㈱技術研究所
林　秀郎*	㈱大林組海洋開発プロジェクト部
藤沢康雄*	㈱大林組技術研究所
藤原隆一*	東洋建設㈱技術本部技術研究所
峯松麻成*	土木研究所河川部（部外研究員：東洋建設㈱）
柳本泰伴	住友金属工業㈱東京土木海洋設計室
山下誠也	石川島播磨重工業㈱技術研究所
山本幸次	土木研究所河川部
山本方人	日本テトラポッド㈱応用水理研究所
芳田利春*	東洋建設㈱技術本部技術開発部

（五十音順）

＜構造ワーキング＞

岡本　浩*	飛島建設㈱研究開発部
小俣　篤	土木研究所河川部
金子　学*	土木研究所構造橋梁部

川村哲也	土木研究所河川部（部外研究員：飛島建設㈱）
北村卓也	住友金属工業㈱東京土木海洋設計室
木全宏之*	清水建設㈱設計部
小竹望*	東洋建設㈱技術本部設計部
小林真*	㈱大林組土木技術本部設計第一部
澤井淳司	三井建設㈱土木設計部
澤田憲文	土木研究所構造橋梁部
高木章次*	土木研究所構造橋梁部
竹内浩一	石川島播磨重工業㈱土木建築プロジェクト部
辰巳勲*	清水建設㈱土木本部設計部
戸早孝幸*	飛島建設㈱研究開発部
内藤英晴*	五洋建設㈱技術研究所
中谷昌一*	土木研究所構造橋梁部
錦織和紀郎	日本テトラポッド㈱応用水理研究所
西牧均	戸田建設㈱土木技術開発室
西山桂司*	戸田建設㈱土木技術開発室
藤村知広	土木研究所構造橋梁部
増井直樹	㈱大林組土木技術本部設計第一部
松井臣光*	五洋建設㈱技術研究所
松永博史	東洋建設㈱技術本部設計部
湊隆次郎	㈱間組技術本部土木技術開発部

（五十音順）

<施工ワーキング>

安芸義兼	三井建設㈱東京土木支店
大内田博喜*	清水建設㈱土木本部技術第一部
大河原重昭	飛島建設㈱研究開発部
荻野秀雄	東亜建設工業㈱技術部
小俣篤	土木研究所河川部
喜島恭彦	五洋建設㈱土木設計部
小林真*	㈱大林組土木技術本部設計第一部
桜井清一	石川島播磨重工業㈱土木建築プロジェクト部
佐藤敏文	戸田建設㈱土木技術開発室

MMZ計画策定の手引き（案）

野口雄二	日本テトラポッド㈱技術部
原　敬一	東洋建設㈱土木本部工事部
原　幸一	東急建設㈱土木技術部
増井直樹	㈱大林組土木技術本部設計第一部
吉田洋二郎*	清水建設㈱土木本部技術第一部

（五十音順）

材料および維持管理技術に関する研究
MMZ計画策定の手引き（案）「維持管理編」作成ワーキング
（平成元年7月～平成3年3月）

名　　簿

片脇　清	土木研究所地質化学部
桑　守彦	中川防蝕工業㈱技術研究所
小林辰夫	横浜ゴム㈱産業資材技術部
佐々木　厳	土木研究所地質化学部
田中柳之助	㈶土木研究センター
網脇清和	帝人㈱繊維技術企画統括室
戸村寿一	中川防蝕工業㈱技術開発部
土居一幸	日鉄防蝕㈱技術開発部
原田　宏	鹿島建設㈱海洋開発室
福島　稔	日本ペイント㈱重防食塗料部
森　芳徳	㈶土木研究センター研究開発部

（五十音順）

MMZ計画策定の手引き（案）取りまとめ担当者
（昭和61年4月～平成3年3月）

名　　簿

宇多高明	建設省土木研究所河川部海岸研究室長
横山功一	建設省土木研究所構造橋梁部構造研究室長
岡原美知夫	建設省土木研究所構造橋梁部基礎研究室長
片脇清	建設省土木研究所地質化学部化学研究室長
井上忠佳*	建設省土木研究所道路部緑化研究室長
前田博*	〃
半田真理子*	〃
長岡正利*	建設省国土地理院地理調査部地理第二課長
谷岡誠一*	〃
村井禎美*	建設省土木研究所河川部海岸研究室
小俣篤*	〃
山本幸次	〃
井上純三*	建設省土木研究所構造橋梁部構造研究室
澤田憲文*	〃
伊関英彦*	〃
金子学*	〃
中谷昌一*	建設省土木研究所構造橋梁部基礎研究室
高木章次*	〃
小池信一*	〃
藤村知広*	〃
西島高秀*	建設省土木研究所地質化学部化学研究室
西崎到*	〃
佐々木厳*	〃
末永錬司*	建設省土木研究所道路部緑化研究室
武田裕*	〃
秋山千秋*	〃
山岸裕*	〃

MMZ計画策定の手引き（案）

熊木洋太*　建設省国土地理院地理調査部地理第二課

津沢正晴*　〃

宇根寛*　〃

橋本圭三郎*　〃

高澤信司*　〃

小原昇*　〃

茂木公一*　〃