

土 木 研 究 所 資 料

海域制御構造物の開発に関する 共同研究報告書 (5) ——皆生海岸F.S.調査報告書——

昭和63年 2 月

建設省土木研究所
河川部海岸研究室

Copyright © (1988) 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、複写は、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。

海域制御構造物の開発に関する 共同研究報告書 (5) 皆生海岸フィージビリティ調査報告書

建設省土木研究所 河川部海岸室長	宇多 高明
〃 〃 研究員	村井 禎美
〃 〃	山本 幸次
飛島建設(株)総合企画本部技術開発部	岡 幸夫
〃	岡本 浩
〃	川村 哲也
五洋建設(株)技術本部技術研究所	国栖 広志
〃 技術部	近藤 浩右
〃 技術研究所	福山 博信
三井建設(株)土木本部土木技術部	高木 春生
〃	吉川 雅人
〃	田村 直明
清水建設(株)技術研究所	萩原 運弘
〃 土木本部技術第一部	別所 友宏
〃 広島支店土木技術課	梅本 久実
東洋建設(株)土木本部技術研究所長	大音 宗昭
〃 技術部	倉田 克彦
〃 技術研究所	松永 博史
日本テトラポッド(株)応用水理研究所	遠藤 泰司
〃	野口 雄二
〃	山本 方人

〃	錦織和紀郎
〃 大阪支店	下山 士郎
〃	伊藤 雅文
大成建設(株)技術本部技術研究所	茗ヶ原義彦
〃	勝井 秀博
〃	小山 文男
〃	中塚 健司
〃	清水 正巳
〃 土木本部設計部	吉田 明
〃	秋里乃武宏
〃 土木技術部	小林 峯男
〃	上出 章
(株)間組土木本部海洋土木部	湊 隆次郎
〃	本田 陽一
〃 技術本部技術研究所	沖 政和
東急建設(株)施工本部土木技術部	蜷川 洋二
〃	村松栄二郎
〃	藤川 富夫
〃	渡会 英明
戸田建設(株)土木技術開発室	北村律太郎
〃	梅田 宏
〃	添田 弘基
〃	西牧 均
〃	佐藤 敏文
新日本製鉄(株)鉄構海洋事業部	山本 諄
〃	盛高 裕生
〃	木村 哲夫
〃	高橋 陽一
(株)大林組土木本部設計部	増井 直樹
〃	小林 真
住友金属工業(株)建設技術部	飯村 修
〃	柳本 泰伴
〃 設計技術室	北村 卓也
東亜建設工業(株)技術開発部	荻野 秀雄

要 旨

各種海域制御構造物について、皆生海岸を対象にして試設計および施工の検討を行い、今後の実用化および改良のための技術的課題を明確にした。

キーワード：海洋開発，海域制御構造物，計画条件，試設計，実用化，共同研究，皆生海岸

目 次

は じ め に	1
第1章 ま え が き	1
第2章 研 究 の 目 的	1
第3章 研 究 体 制	1
第4章 皆生海岸の概要	3
第5章 フィージビリティ・スタディのための計画条件	8
第6章 乱れと反射を利用した構造物（第1グループ）	19
第7章 レンズマウンド型（東洋建設㈱）	101
第8章 複列透過性潜堤（日本テトラポッド㈱）	119
第9章 斜板消波潜堤（大成建設㈱・㈱間組・東急建設㈱）	139
第10章 ハイブリッド式構造物（新日本製鉄㈱・戸田建設㈱）	165
第11章 複合消波型構造物（㈱大林組）	213
第12章 根入れ式鋼板セル（住友金属工業㈱・東亜建設工業㈱）	239
第13章 あ と が き	285

はじめに

土木研究所では、沿岸域の有効利用をめざしたMMZ構想を推進するために、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”研究を昭和61年度より実施している。またこの総プロの一環として昭和61年8月より土木研究所と民間企業14社との間で共同研究“海域制御構造物の開発”を行っている。その成果の一部は既に“海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(1),(2),(3),(4)”としてとりまとめた。本報告は、皆生海岸を対象にして海域制御構造物の実海域での適用性に関するフィージビリティ・スタディを行った結果をまとめたものである。

第1章 ま え が き

近年、余暇時間の増大に伴って、リゾート開発に関する議論が盛んになってきている。このような状況の中で、海洋性レクリエーションに関する需要も高まりつつあり、建設省でもマリン・マルチ・ゾーン（MMZ）構想を推進し、外洋に面した沿岸域の有効利用を図ろうとしている。この構想の軸になるのが、沖合の水深10～20mに設置され、消波効果により静穏な海域環境を創出する海域制御構造物である。この海域制御構造物の開発は、昭和61年度より5カ年計画で行われている。本報は各種タイプの構造物建設の技術的可能性について皆生海岸を対象に調査したものである。

第2章 研 究 の 目 的

本研究の目的は、海域制御構造物の実海域における適用性検討にある。最初に、皆生海岸の自然条件等、構造物設置の計画条件を明らかにし、次に各種構造物の施工方法について検討した。実海域を対象にしたフィージビリティ・スタディは既に駿河海岸を対象に行っている¹⁾。それに続いてフィージビリティ・スタディを行った理由は次のようである。すなわち駿河海岸は太平洋に面し、潮位変化がかなり大きく、また設計波浪としては台風時の波を対象とするため周期が長く、波高も高くなる。一方、日本海側では潮位差は一般に小さく、対象波浪は冬期風浪となる。したがって自然条件がかなり異なるので、改めて実海域におけるフィージビリティ・スタディが必要と考えたためである。

第3章 研 究 体 制

本共同研究は昭和61年度より土木研究所と民間企業14社の間で行われている。民間企業14社は、以下の3グループに大別される。

第1グループ 乱れと反射を利用した海域制御構造物の開発

飛 島 建 設 (株)
清 水 建 設 (株)
三 井 建 設 (株)
五 洋 建 設 (株)
大 成 建 設 (株)

第2グループ 没水型消波構造物の開発

清 水 建 設 (株)
大 成 建 設 (株) ・ (株)間組 ・ 東 急 建 設 (株)
東 洋 建 設 (株)

日本テトラポッド(株)

第3グループ ハイブリッド型消波構造物の開発

(株) 大 林 組

住友金属工業(株) ・ 東亜建設工業(株)

新日本製鉄(株) ・ 戸田建設(株)

本報告書はこのうち第1グループ、大成建設(株)・(株)間組・東急建設(株)、日本テトラポッド(株)、東洋建設(株)、(株)大林組、住友金属工業(株)・東亜建設工業(株)、新日本製鉄(株)・戸田建設(株)の行ったフィージビリティ・スタディの成果をまとめたものである。

第4章 皆生海岸の概要

4.1 海岸の概要

皆生海岸は図4.1に示すように鳥取県西部に位置する弓ヶ浜、美保湾一帯の総称である。中央に漂砂の供給源となる日野川を有する。昭和の初期から海岸線が後退し、我が国有数の侵食海岸となった。昭和22年から海岸保全事業が始められ昭和35年からは建設省直轄工事として海岸保全施設の整備が始められた。昭和46年からは全国に先駆けて離岸堤の建設が始まり昭和61年末までに23基の離岸堤が完成した。これらの施設整備により、最近では再び汀線の前進が見られる。しかしながら、離岸堤区域の中央から西では沖合の水深5～7 m付近で侵食が進んでいる。

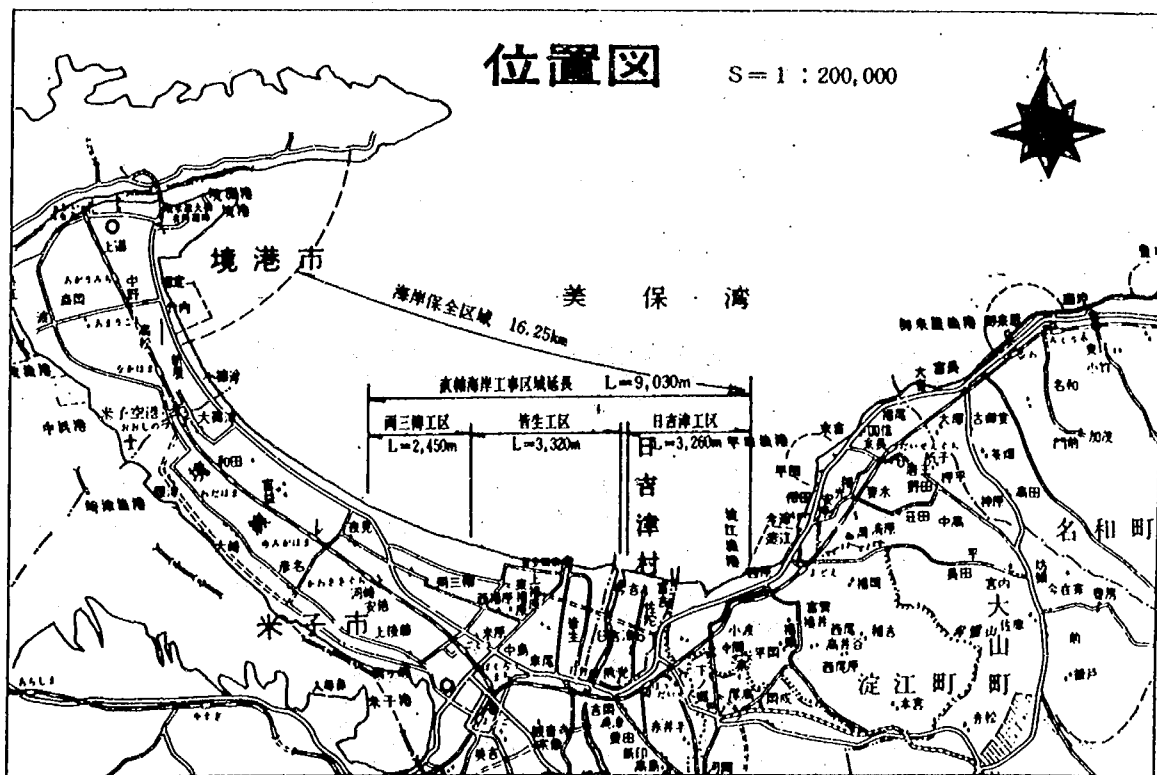
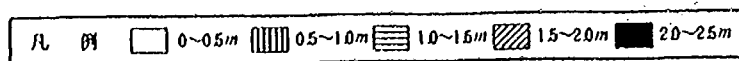


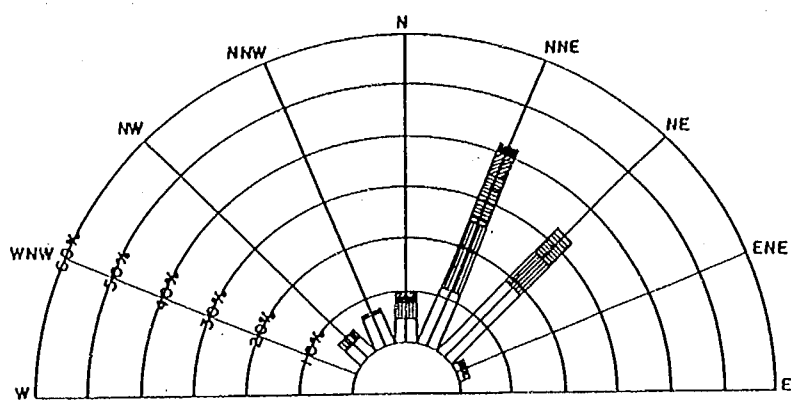
図4.1 皆生海岸位置図

4.2 波浪特性

昭和57年5月11日～61年1月16日の欠測期間を除く152日間の観測データをもとに波向別波高出現率を調べた。全年を通してのデータを図4.2に、春期(3月～5月)、夏期(6月～8月)、秋期(9月～11月)、冬期(12月～2月)のデータをそれぞれ図4.3～図4.6に示した。

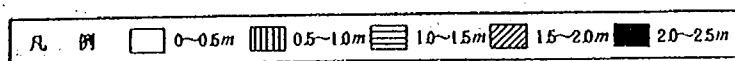


全年（昭和57年5月11日～昭和61年1月16日）

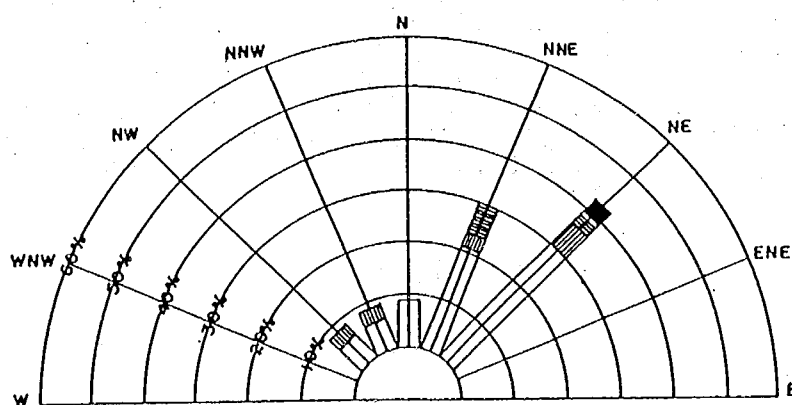


測得回数（152回）

図4.2 波向別波高出現率（全年）

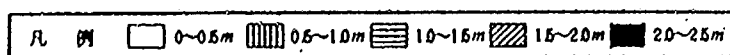


春期（3月～5月）

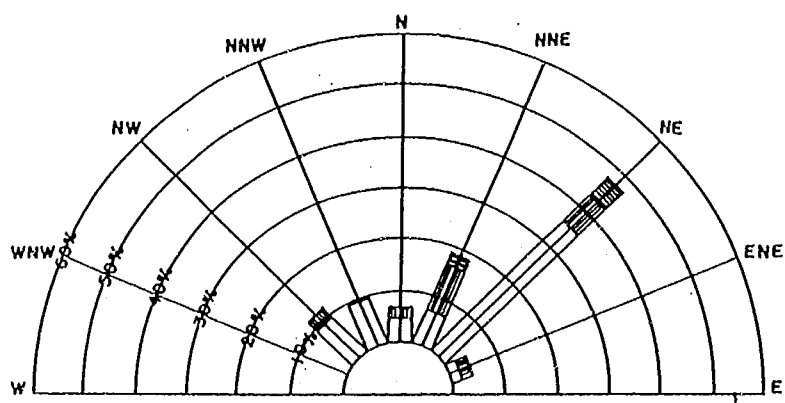


測得回数（33回）

図4.3 波向別波高出現率（春期）

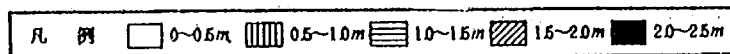


夏期 (6月~8月)

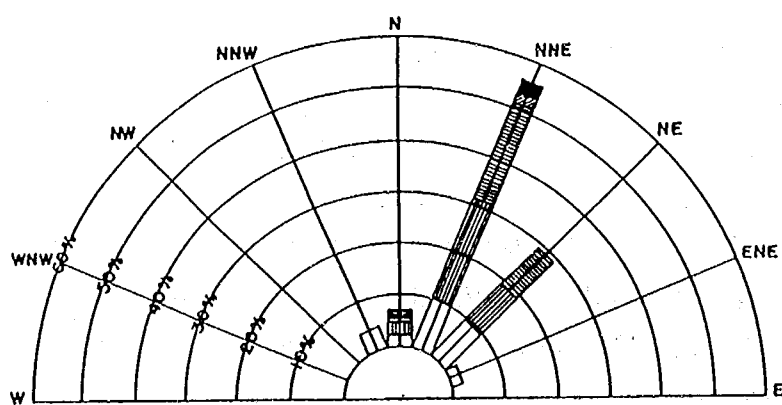


測得回数 (42 回)

図4.4 波向別波高出現率 (夏期)

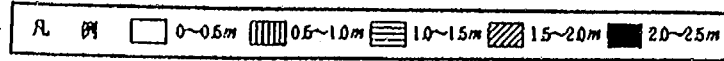


秋期 (9月~11月)

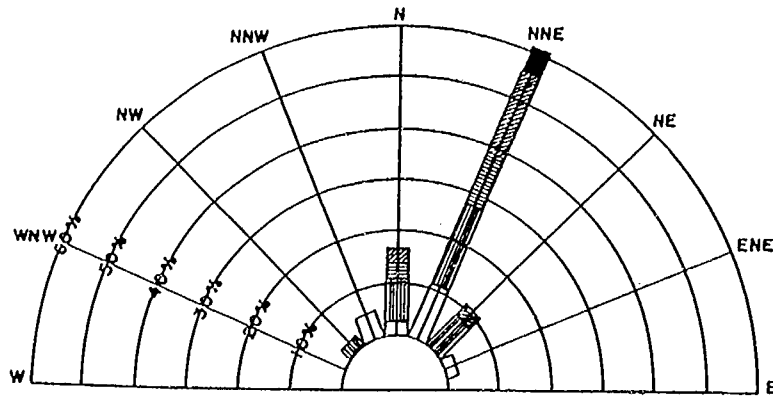


測得回数 (41 回)

図4.5 波向別波高出現率 (秋期)



冬期（12月～2月）



測得回数（36回）

図4.6 波向別波高出現率（冬年）

全年を通してNNEの波向が多い。3月～5月および6月～8月にかけては50cm以下の波高が60%以上を占める。冬期（12月～2月）には季節風により風浪が発達するために2m以上の波高が5%と多い。

4.3 地形変化特性

皆生海岸では島根半島の影響で北東の波向が卓越する。この結果、沿岸漂砂の方向は東から西である。漂砂の供給源となるのは主に日野川である。この日野川からの流出土量の減少にともなって、日野川左岸の皆生工区の侵食が大きくなった。これに対して、海岸保全区域の西部より境港にかけては堆積している。前述の通り皆生工区の侵食対策のために、昭和46年に皆生工区の測線No10の沖合100m付近に1号離岸堤を設置した。その後昭和61年度末までに日吉津工区も含めて23基の離岸堤を設置している。この結果、汀線は回復し離岸堤の設置効果は上がっている（図4.7）。また、両三柳工区では突堤と緩傾斜護岸によって海岸保全を図っている。しかし離岸堤の沖合の水深5～9m付近では、1号離岸堤より西側で侵食が激しくなっている。このまま侵食が進行すると離岸堤前面水深が増大することで波浪エネルギーが減衰せずに構造物に作用することとなる。この結果構造物の被災も考えられる。

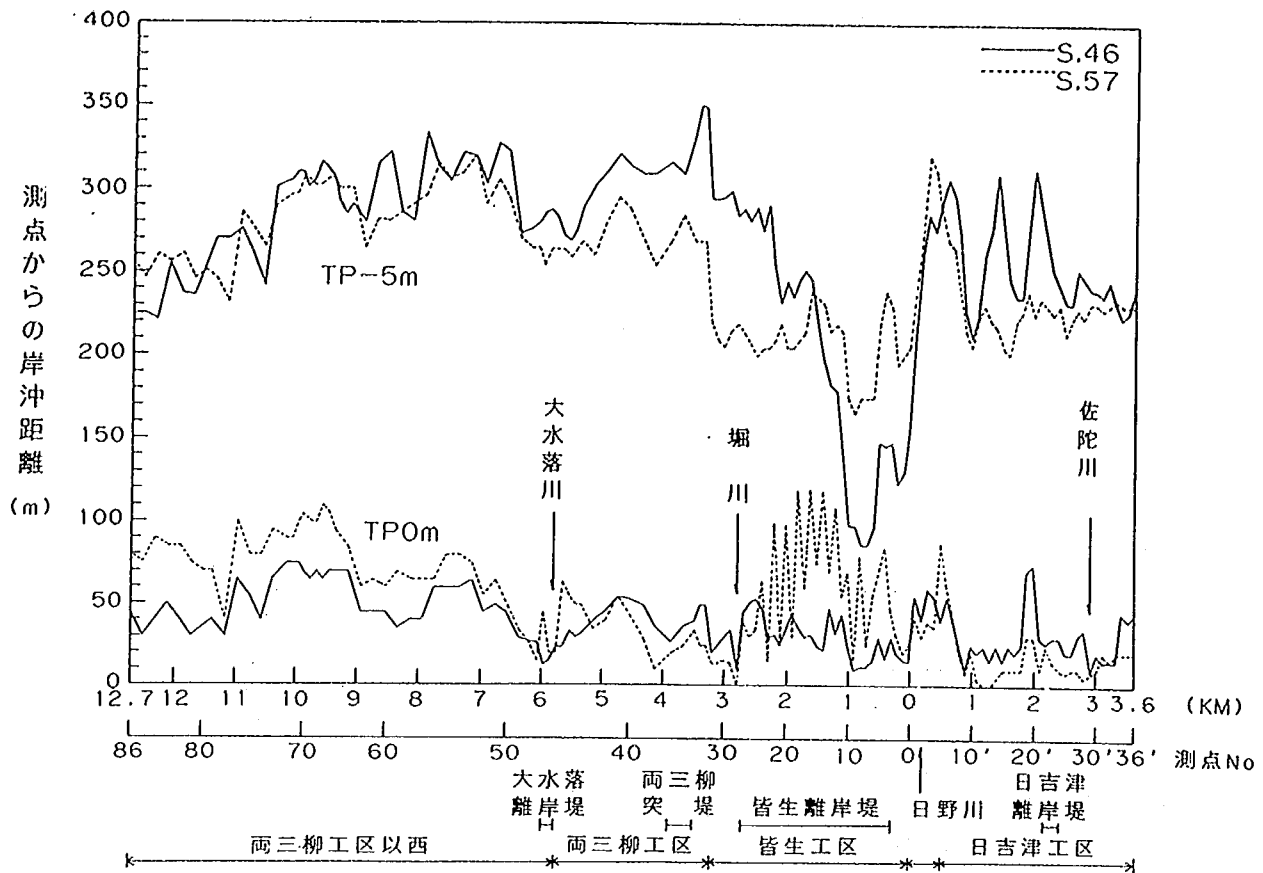


図4.7 汀線およびT.P. -5m等深線の変化

4.4 侵食対策計画

このような状況のもとで建設省中国地方建設局倉吉工事事務所では昭和62年度より皆生海岸整備計画研究委員会を設けて侵食対策のほかに全体的な利用も考慮して海岸整備計画を検討している。この中で侵食対策工の1つとして考えられるのがT. P. - 9 m付近に設置する海域制御構造物である。

第5章 フィージビリティ・スタディのための計画条件

5.1 構造条件

施設名称	新型離岸堤
離岸堤延長	200m
設置地盤高	T. P. -9.0m
離岸堤天端高	各構造物の特性に応じて定める。

5.2 自然条件

5.2.1 潮 位

計 画 潮 位	T. P. 0.858m
朔望平均満潮位 (H. W. L.)	T. P. 0.379m
朔望平均干潮位 (L. W. L.)	T. P. 0.016m

5.2.2 波浪条件

沖 波 波 高	$H_o = 4.5\text{m}$
沖 波 周 期	$T_o = 10\text{sec}$
波 向	構造物に直角入射

5.2.3 海底勾配

T. P. -7.0m ~ -10.0m で $i = 1/110$

5.2.4 洗掘深

対策工を行わない場合 2 m の局所洗掘が生じると考える。ただし、洗掘による水深変化では、波の変形は生じないものとする。

5.2.5 地震震度

水 平 震 度 $K_H = 0.1$

地域別震度 0.10

地盤種別係数 1.2 (第3種地盤)

重要度係数 1.0 (B級)

鉛直震度 考慮しない

地震時の検討を行うか否かは構造物の特性による。

5.2.6 土質条件

土質条件については、境港付近の4ヶ所のボーリング調査結果より代表的と思われる2ヶ所を選定した。隣接した地域で異なる結果が得られているので、この2ケースについて試算を行った。選定した2ヶ所の土質条件を表5.1、表5.2に示す。

表5.1 ケース1の土質条件

標 高	層 厚	平均 N 値	土 質
T. P. - 9 m ~ -18 m	9 m	5	砂 質 土
T. P. - 18 m ~ -29 m	11 m	30	砂 質 土
T. P. - 29 m ~ -37 m	8 m	20	砂 質 土
T. P. - 37 m ~ -39 m	2 m	25	砂 質 土
T. P. - 39 m ~ -48 m	9 m	10	粘 性 土
T. P. - 48 m ~ -51 m	3 m	45	砂 質 土
T. P. - 51 m ~ -54 m	3 m	30	砂 質 土
T. P. - 54 m ~ -64 m	10 m	10	粘 性 土

表5.2 ケース2の土質条件

標 高	層 厚	平均 N 値	土 質
T. P. - 9 ~ -32 m	23 m	5	砂 質 土
T. P. - 32 ~ -39 m	7 m	15	砂 質 土
T. P. - 39 ~ -52 m	13 m	10	粘 性 土
T. P. - 52 ~ -62 m	10 m	20	砂 質 土
T. P. - 62 ~ -69 m	7 m	40	砂 質 土

5.3 消 波 性 能

$T \leq 10.0 \text{ sec}$, $0.02 \leq H_0/L_0 \leq 0.04$ の波に対し $K_T \leq 0.6$, $K_R \leq 0.5$ を満たす。設計潮位は朔望平均満潮位、海底面はT.P. -9.0_mとする。

5.4 適用示方書・基準書類

- ・改訂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編
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説：日本港湾協会
- ・コンクリート標準示方書（昭和61年制定）設計編：土木学会
- ・建設省河川砂防技術基準（案）：建設省
- ・道路橋示方書：日本道路協会

5.5 使 用 材 料

各構造物ごとの特性に応じて決定する^{1) 2) 3)}。

5.6 材料の単位体積重量

表5.3に示す通りとする。表5.3に示した以外の材料の単位体積重量は各構造物ごとに定める。

表5.3 材料の単位体積重量

鉄筋コンクリート	$\gamma_c = 2.45 \text{ tf/m}^3$
無筋コンクリート	$\gamma = 2.3 \text{ tf/m}^3$
セメントモルタル	$\gamma_m = 2.15 \text{ tf/m}^3$
鋼材	$\gamma_s = 7.85 \text{ tf/m}^3$
海水	$w_0 = 1.03 \text{ tf/m}^3$

5.7 材料の許容応力度等

5.7.1 コンクリート

許容曲げ圧縮応力度および許容せん断応力度は表5.4，表5.5に示す通りとする。

表5.4 コンクリートの許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca} (kgf/cm²)

項 目	設 計 基 準 強 度 f'_{ck} (kgf/cm ²)			
	180	240	300	400
許容曲げ圧縮応力度	70	90	110	140

表5.5 コンクリートの許容せん断応力度 (kgf/cm²)

項 目		設 計 基 準 強 度 f'_{ck} (kgf/cm ²)			
		180	240	300	400 以上
斜め引張鉄筋の計算 をしない場合	はりの場合	4	4.5	5	5.5
	スラブの場合	8	9	10	11
斜め引張強筋の計算 をする場合	せん断力のみの場合	18	20	22	24

- 1) 押抜きせん断に対する値である。
2) ねじりの場合を考慮する場合にはこの値を割増してよい。

許容支圧応力度は以下に示す通りとする。

- ① 全面載荷の場合は式 (5.1), (5.2) による。

$$\sigma_{ca} \leq 0.3f'_{ck} \text{ (普通コンクリート)} \quad (5.1)$$

$$\sigma_{ca} \leq 0.25f'_{ck} \text{ (軽量骨材コンクリート)} \quad (5.2)$$

- ② 局部的載荷の場合には、コンクリート面の全面積を A 、支圧を受ける面積を A_a とした場合、許容支圧応力度 σ_{ca} は、式 (5.3) により求める。

$$\sigma_{ca} \leq (0.25 + 0.05A/A_a)f'_{ck} \text{ (普通コンクリート)} \quad (5.3)$$

$$\text{ただし, } \sigma_{ca} \leq 0.5f'_{ck}$$

$$\sigma_{ca} \leq (0.2 + 0.05A/A_a)f'_{ck} \text{ (軽量骨材コンクリート)} \quad (5.4)$$

$$\text{ただし, } \sigma_{ca} \leq 0.4f'_{ck}$$

- ③ 支圧を受ける部分が十分補強されている場合には、試験によって安全率が3以上となる範囲内で許容支圧応力度を定めてよい。

5.7.2 鉄 筋

許容引張応力度は表5.6に示す通りとする。

表5.6 鉄筋の許容引張応力度 σ_{sa} (kgf/cm²)

鉄 筋 の 種 類	S R 24	S R 30	SD 30 A, B	SD 35	SD 40
(a) 一般の場合の許容引張応力度	1400	1600 (1500)	1800	2000	2100
(b) 疲労強度より定まる許容引張応力度	1400	1600 (1500)	1600	1800	1800
(c) 降伏強度より定まる許容引張応力度	1400	1800	1800	2000	2200

注：() 内は軽量骨材コンクリートに対する値

5.7.3 P C鋼材

表5.7に示す通りとする。

表 5.7 P C 鋼材の許容引張応力度 σ_{pa} (kgf/cm²)

応力度の状態	許容引張応力度	備 考
(1) 最初に引張力を与える場合	$0.80 \sigma_{pu}$ あるいは $0.90 \sigma_{py}$ のうち小さい方の値	σ_{pu} : P C 鋼材の引張強さ (kgf/cm ²) σ_{py} : P C 鋼材の降伏点 (kgf/cm ²)
(2) ポストテンション方式の場合のプレストレス直後	$0.7 \sigma_{pu}$ あるいは $0.85 \sigma_{py}$ のうち小さい方の値	
(3) そ の 他	$0.6 \sigma_{pu}$ あるいは $0.75 \sigma_{py}$ のうち小さい方の値	

5.7.4 構造用鋼材

許容応力度は表 5.8 に示す通りとする。

表5.8 構造用鋼材の許容応力度 (kgf/cm²)

鋼 種	S S 41 S M 41 S M A 41	S S 50	S M 50	S M 50 Y S M 53 S M A 50
軸方向引張応力度 (純断面積につき)	1,400	1,700	1,900	2,100
軸方向圧縮応力度 (総断面積につき)	1,400	1,700	1,900	2,100
曲げ引張応力度 (純断面積につき)	1,400	1,700	1,900	2,100
曲げ圧縮応力度 (総断面積につき)	1,400	1,700	1,900	2,100
せん断応力度 (総断面積につき)	800	1,000	1,100	1,200
支圧応力度 (鋼板と鋼板)	2,100	2,500	2,800	3,100

5.7.5 鋼杭材

許容応力度は表 5.9 に示す通りとする。

表 5.9 鋼杭材の許容応力度 (kgf/cm²)

鋼 種	SS 41, SM 41 SMA 41, STK 41	SM 50, STK 50	SM 50 Y, SMA 50
応力度の種類			
軸方向引張応力度 (純断面積につき)	1,400	1,900	2,100
軸方向圧縮応力度 (総断面積につき)	$\frac{l}{r} \leq 20$ 1,400	$\frac{l}{r} \leq 15$ 1,900	$\frac{l}{r} \leq 14$ 2,100
	$20 < \frac{l}{r} < 93$	$15 < \frac{l}{r} < 80$	$14 < \frac{l}{r} < 76$
	$1,400 - 8.4 \left(\frac{l}{r} - 20 \right)$	$1,900 - 13 \left(\frac{l}{r} - 15 \right)$	$2,100 - 15 \left(\frac{l}{r} - 14 \right)$
	$\frac{l}{r} \geq 93$ $\frac{12,000,000}{6,700 + (l/r)^2}$	$\frac{l}{r} \geq 80$ $\frac{12,000,000}{5,000 + (l/r)^2}$	$\frac{l}{r} \geq 76$ $\frac{12,000,000}{4,500 + (l/r)^2}$
曲げ引張応力度 (純断面積につき)	1,400	1,900	2,100
曲げ圧縮応力度 (総断面積につき)	1,400	1,900	2,100
軸方向力及び曲げモーメントを受ける部材	(1) 軸方向力が引張の場合 $\sigma_l + \sigma_{bc} \leq \sigma_{la}$ かつ $-\sigma_l + \sigma_{bc} \leq \sigma_{ba}$ (2) 軸方向力が圧縮の場合 $\frac{\sigma_c}{\sigma_{ca}} + \frac{\sigma_{bc}}{\sigma_{ba}} \leq 1.0$		
せん断応力度 (総断面積につき)	800	1,100	1,200

l : 部材の有効座屈長 (cm)

r : 部材総断面の断面二次半径 (cm)

σ_l, σ_c : 断面に作用する軸方向引張による引張応力度及び軸方向圧縮力による圧縮応力度 (kgf/cm²)

σ_{bl}, σ_{bc} : 断面に作用する曲げモーメントによる最大引張応力度及び最大圧縮応力度 (kgf/cm²)

σ_{la}, σ_{ca} : 許容引張応力度及び弱軸に関する許容軸方向圧縮応力度 (kgf/cm²)

σ_{ba} : 許容曲げ圧縮応力度 (kgf/cm²)

5.8 鋼材の腐蝕速度

表5.10 鋼材の腐食速度

防食を行わない場合、表 5.10 の通りとする。

5.9 耐用年数

耐用年数は30年とする。

腐 食 環 境	腐食速度 (mm/年)
H, W, L. 以上	0.3
H, W, L. と海底間	0.1
海底泥層中	0.03
陸上大気中	0.1
土中 (残留水位上)	0.03
土中 (残留水位下)	0.02

5.10 杭基礎の支持力

杭の支持力の算定は港湾の施設の技術上の基準・同解説に基づき、以下の式を用いる。

① 砂地盤

$$R_u = 40 N A_p + \frac{\bar{N} A_s}{5} \quad (5.5)$$

$$R_{ut} = \frac{\bar{N} A_s}{5} \quad (5.6)$$

ここに

R_u ; 杭の極限支持力 (tf)

R_{ut} ; 杭の最大引抜力 (tf)

A_p ; 杭の先端面積 (m²)

A_s ; 杭周の全表面積 (m²)

N ; 杭先端地盤のN値

$\bar{N}$; 杭根入れ全長に対する平均のN値

ただし、Nは式 (5.7) によって算出する。

$$N = \frac{N_1 + \bar{N}_2}{2} \quad (5.7)$$

ここに

N_1 ; 杭先端位置でのN値と杭先端から下方へ2Bなる範囲の平均のN値のうち、いずれか小さい方の値

$\bar{N}_2$; 杭先端より上方へ10Bなる範囲内の平均のN値

B ; 杭の直径または幅 (m)

② 粘性土地盤

$$R_u = 8 c_p A_p + \bar{c}_a A_s \quad (5.8)$$

$$R_{ut} = \bar{c}_a A_s \quad (5.9)$$

ここに

c_p ; 杭先端位置での粘着力 (tf/m²)

$\bar{c}_a$; 杭根入れ全長に対する平均付着力 (tf/m²)

ただし付着力は表5.11による。

表5.11 粘着力と付着力の関係

くいの種類	粘着力 (t/m ²)	付着力 (t/m ²)
木　　ぐ　　い コンクリートぐい	0～3.7	0～3.4
	3.7～7.3	3.4～4.9
	7.3～14.6	4.9～6.3
鋼　　ぐ　　い	0～3.7	0～3.4
	3.7～7.3	3.4～4.9
	7.3～14.6	4.9～5.9

設計波による荷重に対する杭の許容支持力は、その極限支持力を常時の安全率で除した値とする。安全率は以下の値とする。

	常　時	地震時
基準軸方向許容支持力 (押し込み)	2.5以上	1.5以上
基準許容引き抜き力	3.0以上	2.5以上

5.11 ケーソンタイプの重力式構造物の安定計算

① 滑動に対する検討

重力式構造物の滑り出しに関しては式(5.10)を満足するものとする。

$$F \leq \frac{f W}{P} \quad (5.10)$$

ここに

W ; 壁体に作用する全鉛直力 (tf)

P ; 壁体に作用する全水平力 (tf)

f ; 壁体底面と基礎との摩擦係数

F ; 安全率

なお、常時の安全率は1.2以上とする。

② 転倒に対する検討

重力式構造物の転倒に関しては式(5.11)を満足するものとする。

$$F \leq \frac{Wt}{Ph} \quad (5.11)$$

ここに

W ; 壁体に作用する全鉛直力 (tf)

P ; 壁体に作用する全水平力 (tf)

t ; 壁体に作用する全鉛直力の合力の作用線から壁体前趾までの距離 (m)

h ; 壁体に作用する全水平力の合力の作用線から壁体底面までの高さ (m)

F ; 安全率

なお、常時の安全率は1.2以上、異常時の安全率は1.1以上とする。

③ 基礎の支持力に対する検討

港湾の施設の技術上の基準・同解説に基づき浅い基礎として検討を行う。支持力の算定方法は荷重分散法を用いる。この場合基礎の許容支持力は、砂質土地盤であるため式(5.12)による。

$$q_a = \beta \gamma_1 B N_r / F \quad (5.12)$$

ここに

q_a ; 許容支持力 (水中部分の浮力を考慮した値) (tf/m²)

B ; 基礎の最小幅 (円形基礎の場合は直径) (m)

γ_1 ; 基礎底面から下の地盤の土の単位体積重量 (水面下にある部分は水中単位体積重量)
(tf/m³)

F ; 安全率

β ; 基礎の形状係数 (表5.12参照)

N_r ; 支持力係数

ただし安全率 $F = 1.5$ 、また N 値 = 5 と考え、 $\phi = 25^\circ$ とし図5.1より $N_r = 3.2$ とする。

表5.12 形状係数

基礎面の形状	連 続 形	正 方 形	円 形	長 方 形
β	0.5	0.4	0.3	$0.5-0.1\left(\frac{B}{L}\right)$

注) B : 長方形の短辺長 (m)

L : 長方形の長辺長 (m)

安全率は次の値を標準とする。

以上、杭基礎およびケーソンタイプの構造物についてその支持力、安定性について示した。上記の2タイプの検討で不適当な場合には、その構造物の特性に応じて安定性を検討する。

5.12 構造物に作用する波力

構造物に作用する波力は各構造物毎に模型実験等の結果を考慮して特性に応じて算出する^{1) 2) 3)}。

5.13 計 画 波 浪

波浪の推算は海岸保全施設築造基準解説に基づいて行う。沖波波高 $H_o = 4.5\text{m}$, 沖波周期 $T_o = 10\text{sec}$, 屈折係数 $K_d = 1.0$, 計画潮位 $T.P. 0.858\text{m}$ を用いて次の手順で計算した。

- ① 沖波波高 $H_o = 4.5\text{m}$, 沖波周期 $T_o = 10\text{sec}$ および図 5.2 より有義波高は $H_{1/3} = 4.5$ となる。

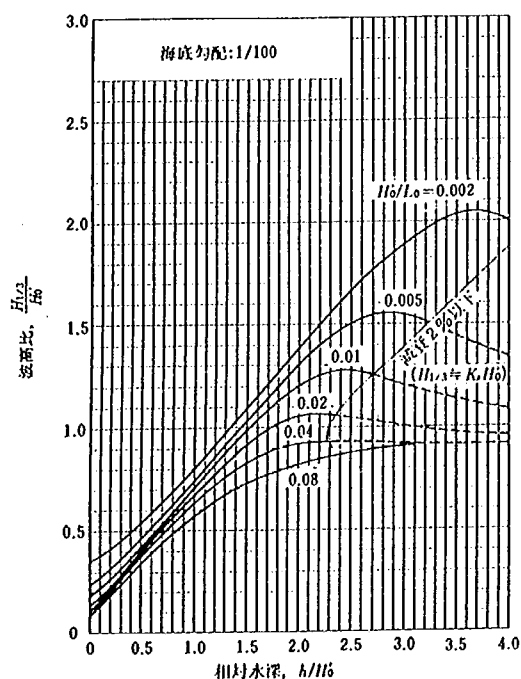


図5.2 砕波帯内の有義波高の算定図
(海底勾配 1/100)

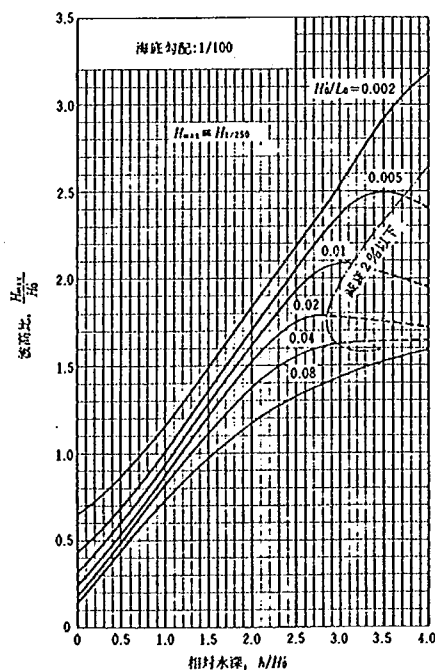


図5.3 砕波帯内の最高波高の算定図
(海底勾配 1/100)

② 構造物設置位置より $5 H_{1/3}$ 沖に離れた地点の水深は海底勾配が $1/110$ であることより $h_b = 10.06\text{m}$ となる。

③ これより図 5.3 を用いて最高波高が $H_{max} = 7.10\text{m}$ となる。

④ 以上より設計波浪は $H_{max} = 7.10\text{m}$, $T = 10.0\text{sec}$ となる。

5.14 施 工 条 件

建設地点 皆生工区の海岸より約 400m 沖合の T. P. -9m の海域

建設規模 延長200m

時 期 6 月から10月

陸上作業地点 境港内40000トンバース

ヤード面積約50000 m^2

岸壁から建設地点までの距離約13km

海上作業に係わる波高頻度

6 月～8 月までは表 5.13, 9 月～11 月までは表 5.14 に示す通りとする。

表5.13 6 月～8 月の波高出現頻度

$H_{1/3} \leq 0.5\text{m}$	70%
$H_{1/3} \leq 1.0\text{m}$	95%
$H_{1/3} \leq 1.5\text{m}$	100%

表5.14 9 月～11 月の波高出現頻度

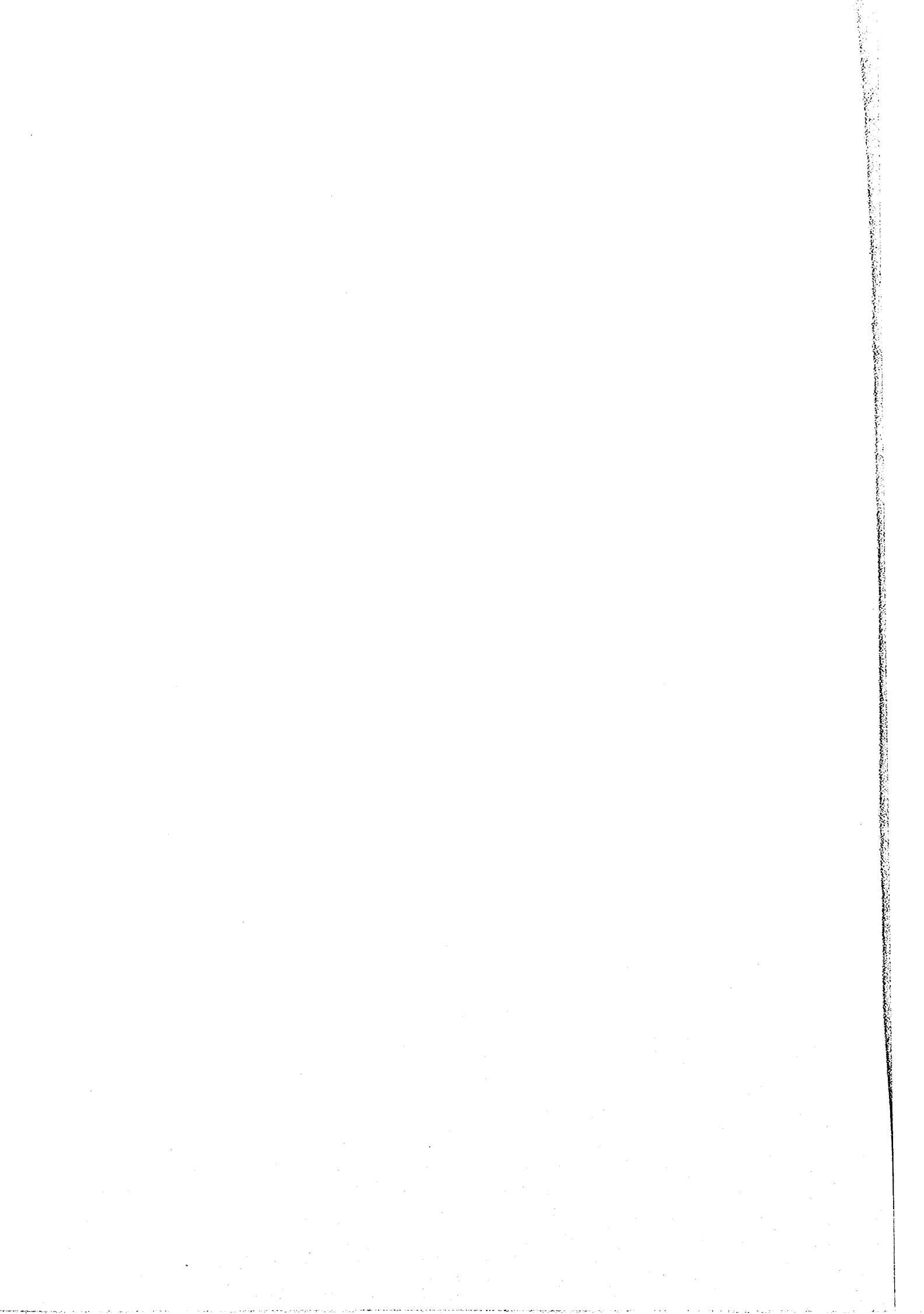
$H_{1/3} \leq 0.5\text{m}$	30%
$H_{1/3} \leq 1.0\text{m}$	65%
$H_{1/3} \leq 1.5\text{m}$	95%
$H_{1/3} \leq 2.5\text{m}$	100%

<参考文献>

- 1) 建設省土木研究所河川部海岸研究室：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, P173, 1987.
- 2) 建設省土木研究所河川部海岸研究室：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, P137, 1987.
- 3) 建設省土木研究所河川部海岸研究室：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, 1988.

第 6 章 乱れと反射を利用した構造物 (第 1 グループ)

飛島建設(株)総合企画本部	技術開発部	岡 幸夫
〃	〃	岡本 浩
〃	〃	川村 哲也
五洋建設(株) 技 術 本 部	技術研究所	国栖 広志
〃	技 術 部	近藤 浩右
〃	技術研究所	福山 博信
三井建設(株) 土 木 本 部	土木技術部	高木 春生
〃	〃	吉川 雅人
〃	〃	田村 直明
清水建設(株) 技術研究所		萩原 運弘
〃 土 木 本 部	技術第一部	別所 友宏
〃 広 島 支 店	土木技術部	梅木 久美
大成建設(株) 技術研究所		小山 文男
〃	〃	中塚 健司
〃	〃	清水 正巳



6.1 計画条件

乱れと反射を利用した消波構造物として多重スリット型、水平板付スリット型および透過水平板付スリット型について皆生海岸における設計・施工の検討を行った。これらの構造物は全てスリット構造による透過性の有脚式構造であり、堤体は杭により支持されている。

6.1.1 構造条件

構造物の安定性検討は洗掘時水深（T. P. -11.00m）で行う。離岸堤天端高は「海岸保全施設築造基準解説」に従い、以下のように定める。

$$(\text{離岸堤天端高}) = (\text{朔望平均満潮位}) + \frac{1}{2} (\text{設置水深の進行波の有義波高})$$

$$= \text{T. P.} + 0.379 + 4.455/2 \approx \text{T. P.} + 2.700 \text{ (m)}$$

なお、従来型の離岸堤では天端高算定において沈下量を考慮するが、今回検討の対象とする構造物は杭構造であり、洗掘等による堤体の沈下はないので沈下量は考慮しない。

また、構造形式により低天端で所定の消波機能が得られる構造物については上記の値とは別に天端高を与える。

6.1.2 構造物に作用する波力

乱れと反射を利用した消波構造物の安定性の検討に用いる設計波力には堤体に働く水平波力、杭に働く水平波力および揚圧力がある。（図6.1参照）。これらについての考え方を以下に示す。

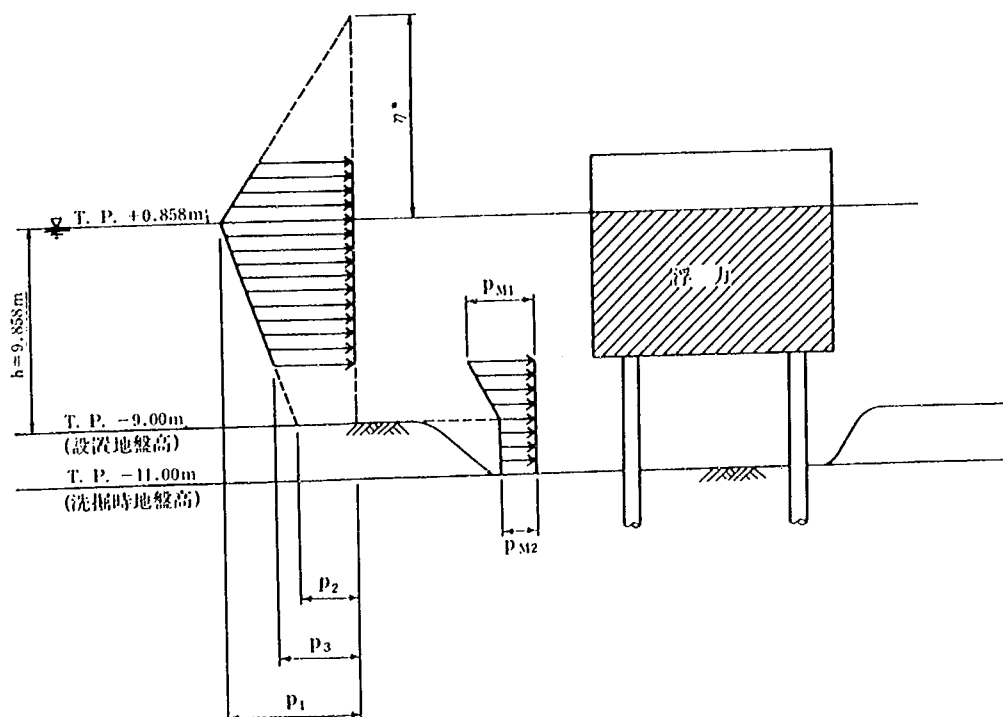


図6.1 安定性の検討に用いる設計波力

- ・ 堤体に働く水平波力

堤体に働く水平波力の算定は合田式を基本とし、実験結果を考慮して波力を低減する。合田波力は直立の不透過壁に適用されるものであり、直立壁の前面が消波ブロックで被覆されていたり、あるいはマルチセルラーケーソンのように波力の低減を期待できる構造については、波力の低減を考慮した合田波力が設計に利用されている。今回、試設計を行う構造は直立の不透過壁でなく透過性の構造であり、合田式の適用範囲外の構造物である。しかし、水理実験による水平波力は合田波力に低減係数を乗じたものとほぼ同じ傾向を示すので、設計波力として合田波力を低減したものを採用するものとする。

- ・ 杭に働く水平波力

構造物を支える杭に働く波力はモリソン式により求める。設置地盤子高を海底面として計算し、洗掘部分（2.0m）については海底面付近で構造物に作用する波力が一様にかかるものとする。

- ・ 揚圧力

揚圧力（鉛直波力）は水理実験結果を参照して水平波力との位相差を考慮して適切に定めるものとする。

- (1) 堤体に働く水平波力

堤体に働く水平波力は、図6.2に示すように堤体下端から天端までの直立壁に作用するものとし、静水面上の波圧の作用高さ、波圧強度は合田式において低減率 λ を乗じたものとする。

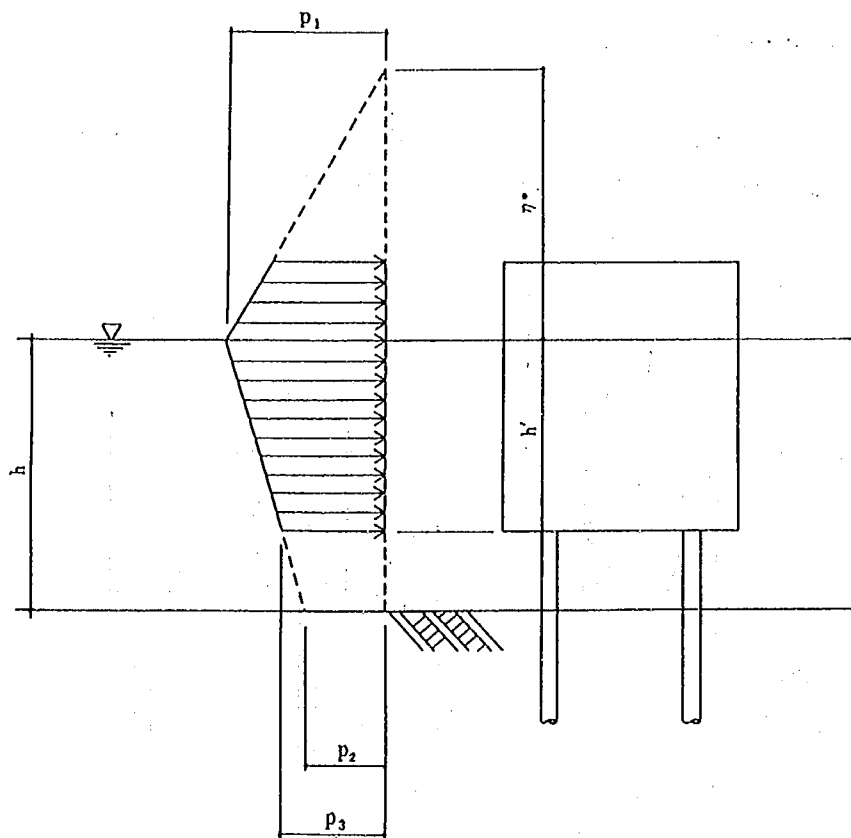


図6.2 堤体に働く水平波力

水平波力の算定式を以下に示す。

$$\eta^* = 0.75 \cdot (1 + \cos \beta) \cdot \lambda \cdot H_D = 1.5 \cdot \lambda \cdot H_D \quad (6.1)$$

$$P_1 = \frac{1}{2} \cdot (1 + \cos \beta) \cdot \lambda \cdot \alpha_1 \cdot w_o \cdot H_D = \lambda \cdot \alpha_1 \cdot w_o \cdot H_D \quad (6.2)$$

$$P_2 = \frac{P_1}{\cosh(2\pi h/L)} \quad (6.3)$$

$$P_3 = \alpha_3 \cdot P_1 \quad (6.4)$$

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left[\frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right]^2 \quad (6.5)$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h'}{h} \cdot \left[1 - \frac{1}{\cosh(2\pi h/L)} \right] \quad (6.6)$$

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/m²)

P_2 ；海底面における波圧強度 (tf/m²)

P_3 ；構造物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' ；構造物底面の水深 (m)

w_o ；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 における設計計算に用いる波長 (m)

β ；波の入射角 ($= 0^\circ$)

λ ；波力の低減率 $= \lambda_1 (1 - \epsilon)$

λ_1 ；有効投影面積に対する波圧の低減率

ϵ ；空隙率

有効投影面積に対する波圧の低減率 λ_1 は、構造タイプに応じて適切に定めるものとする。

(2) モリソン式による波力

構造物を支える杭に働く波力は、水粒子の速度の自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にし、モリソン式を用いる。以下にモリソン式を示す。

$$dF = \frac{w_o}{2g} C_D u |u| ds + \frac{w_o}{g} C_M \frac{du}{dt} dV \quad (6.7)$$

ここに、

dF ；部材の単位長さ当りの波力 (tf/m)

w_o ；海水の単位体積重量 (1.03tf/m³)

g ；重力加速度 (9.8m/sec²)

C_D ；抗力係数

C_M ；質量係数

u ；水粒子速度 (m/sec)

du/dt ；水粒子加速度 (m/sec²)

ds ；部材の単位長さ当りの流速方向への投影面積 (m²/m)

dV ；部材の単位長さ当りの体積 (m³/m)

dFの最大値は次のようになる。

$$dF_{\max} = \begin{cases} (F_D)_{\max} + \frac{(F_M)_{\max}^2}{4(F_D)_{\max}} \\ (2(F_D)_{\max} \geq (F_M)_{\max} \text{のとき}) \\ (F_M)_{\max} \\ (2(F_D)_{\max} < (F_M)_{\max} \text{のとき}) \end{cases} \quad (6.8)$$

$$\text{ここに, } (F_D)_{\max} = \frac{1}{2} \frac{w_o}{g} C_D U_{\max}^2 ds \quad (6.9)$$

$$(F_M)_{\max} = \frac{w_o}{g} C_M \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)_{\max} dv \quad (6.10)$$

最大水粒子速度 $U_{\max}$ と最大水粒子加速度 $(\partial u / \partial t)_{\max}$ はそれぞれ次式で表される。

$$U_{\max} = \frac{\pi H}{T} \sqrt{1 + \alpha \left(\frac{H}{h} \right)^{1/2} \left(\frac{s}{h} \right)^3} \cdot \frac{\cosh k \cdot s}{\sinh k \cdot h} \quad (6.11)$$

$$\left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)_{\max} = \frac{2\pi}{T} U_{\max} \quad (6.12)$$

ここに, H ; 波高 (設計波高) (m)

s ; 海底面 (T. P. -9.0m) から鉛直上向きにとった距離 (m)

h ; 水深 (m)

k ; 波数 ($= 2\pi / L$)

L ; 波長 (m)

α ; 表 6.1¹⁾ で与えられる係数

抗力係数 C_D および質量係数 C_M はそれぞれ表 6.2²⁾, 表 6.3²⁾ のように表されている。

表 6.1 最大水粒子速度の算定のための係数 α

h/L	α	h/L	α
0.03	1.50	0.2	0.68
0.05	1.50	0.3	0.47
0.07	1.43	0.5	0.25
0.10	1.25	0.7	0.27
0.14	0.97		

表6.2 定常流中における項力係数 (C_D) の値

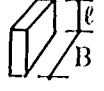
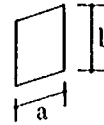
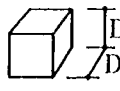
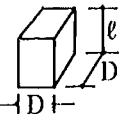
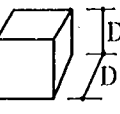
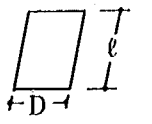
物体の形状	基準面積	抗力係数
円柱 —  (積面) — 	Dl	1.0 ($l > D$)
角柱 — 	Bl	2.0 ($l > B$)
円板 — 	$\frac{\pi}{4} D^2$	1.2
平板 — 	ab	a / b = 1 の場合 1.12 " = 2 " 1.15 " = 4 " 1.19 " = 10 " 1.29 " = 18 " 1.40 " = ∞ " 2.01
球 — 	$\frac{\pi}{4} D^2$	0.5~0.2
立方体 — 	D^2	1.3~1.6

表6.3 質量係数 (C_M) の値

物体の形状	基本体積	質量係数
円柱 — 	$\frac{\pi}{4} D^2 l$	2.0 ($l > D$)
正角柱 — 	$D^2 l$	2.19 ($l > D$)
立方体 — 	D^3	1.67
球 — 	$\frac{1}{6} \pi D^3$	1.5
平板 — 	$\frac{\pi}{4} D^2 l$	D / l = 1 の場合 0.61 " = 2 " 0.85 " = ∞ " 1.0

6.1.3 海上工事の稼働率

建設予定地点の近傍で得られた波高出現確率は以下のものである。

	(波 高)	(出現確率)
6月～8月	$H \leq 0.5^m$	70%
	$H \leq 1.0^m$	95%
	$H \leq 1.5^m$	100%
9月～11月	$H \leq 0.5^m$	30%
	$H \leq 1.0^m$	65%
	$H \leq 1.5^m$	95%
	$H \leq 2.5^m$	100%

海上施工が可能な波高は 0.5m 以下と考え、海上工事の稼働率を 6月～8月は70%、9月～10月は30%とする。

6.2 多重スリット型 (ブロックと杭)*

6.2.1 構造概要

本構造はコンクリートブロックと鋼管杭からなる合成構造により『空隙率の異なる3枚のスリット壁を有する波浪制御構造物』を形成するものである。

(1) 構造の概要

① 鋼管杭、梁・柱・壁体のプレキャストコンクリートブロック、ブロックを締め付けて一体化させるP C鋼材、および鋼管杭とコンクリートブロックの間に充填する中詰めコンクリートからなるハイブリッド構造である。

② 柱体は、コンクリートブロックの中にダクトを設けてその中へP C鋼材を配置する方式(インナーケーブル方式)によるポストテンション・プレストレストコンクリート構造である。(フルプレストレス状態)。

③ アンカーブロックには吊り鋼材の定着具(デッドアンカー)が埋め込まれ、他のプレキャストブロックの重量を受けて杭頭へ伝える。なお、メインP C鋼材の下部定着具は最下段の梁に埋め込まれ、アンカーブロックとは切り離して設けられている。

④ 離岸堤法線直角方向の梁は3段設け、いずれも3本の杭を同時に連結するS R C部材である。鉄骨及び鉄筋は、柱部中のリング状のスチフナープレートを介して外挿管に定着され、鋼管コンクリート構造と同様の接合部を形成する。

*執筆：別所友宏(清水建設株式会社土木本部技術第1部)

梅木久実(清水建設株式会社広島支店土木技術課)

⑤ 離岸堤法線方向の壁ブロックはＲＣ構造で、各杭列につき所定の空隙率（ $\epsilon = 0.1 \sim 0.3$ ）を達成すべく開口が設けられている。

⑥ 各プレキャストブロックはコンクリートと同等以上の強度を持つ水中硬化型の目地材により密着状態になっている。

⑦ 最上段までブロックを据え付け後、プレストレスング（緊張工）を施す。その後ダクトの中にグラウトを注入し、杭とブロックの間へ中詰めコンクリートを充填して合成構造を完成させる。

⑧ 堤体は杭 6 本（2 構脚）で 1 ユニットの構成し、最上部ＲＣ梁部材の位置で現場施工による法線方向の梁を設け、施工誤差を吸収しつつ一体化を図る。その際、ＰＣ鋼材の定着部はコンクリート中に埋め込まれ、保護される。

（2）特 徴

① 主要構造部材のほとんどを陸上で制作するため、品質管理が容易である。

② 水中作業が少なく、連続作業しやすい施工プロセスであるため、安全、かつ迅速に施工できる。

③ 耐腐食性に優れている。即ち、最大設計荷重が作用した場合でもフルプレストレス状態であるため曲げひびわれの生じない構造であり、鋼材の腐食の心配がほとんどない。

④ アンカーブロック（あるいは楔締結装置）と切り離して定着具が設けられているので、杭の打設誤差があっても、ＰＣ鋼材の図心とＲＣの断面図心とが常に一致した状態を保つことができる。そのため緊張力を与えても偏心モーメントが作用せず、柱の耐力に与える影響がほとんどない。

⑤ インナーケーブル方式の採用により、ＰＣ鋼材本数を多数、しかも断面の最外縁に近く配置できるので、断面性能最大限に生かせ、最終耐力が大きい。また、ＰＣ鋼材がガイトの役割を果たすので各ブロックを精度良く接合できる、などの利点が得られている。

⑥ 梁部材にＳＲＣを採用し、大きな曲げ耐力を得るとともに靱性を大きくしている。

本構造物の鳥瞰図を図 6.3 に示す。また構造一般図を図 6.4、図 6.5、プレキャストブロック構造図を図 6.6、詳細図を図 6.7 に示す。

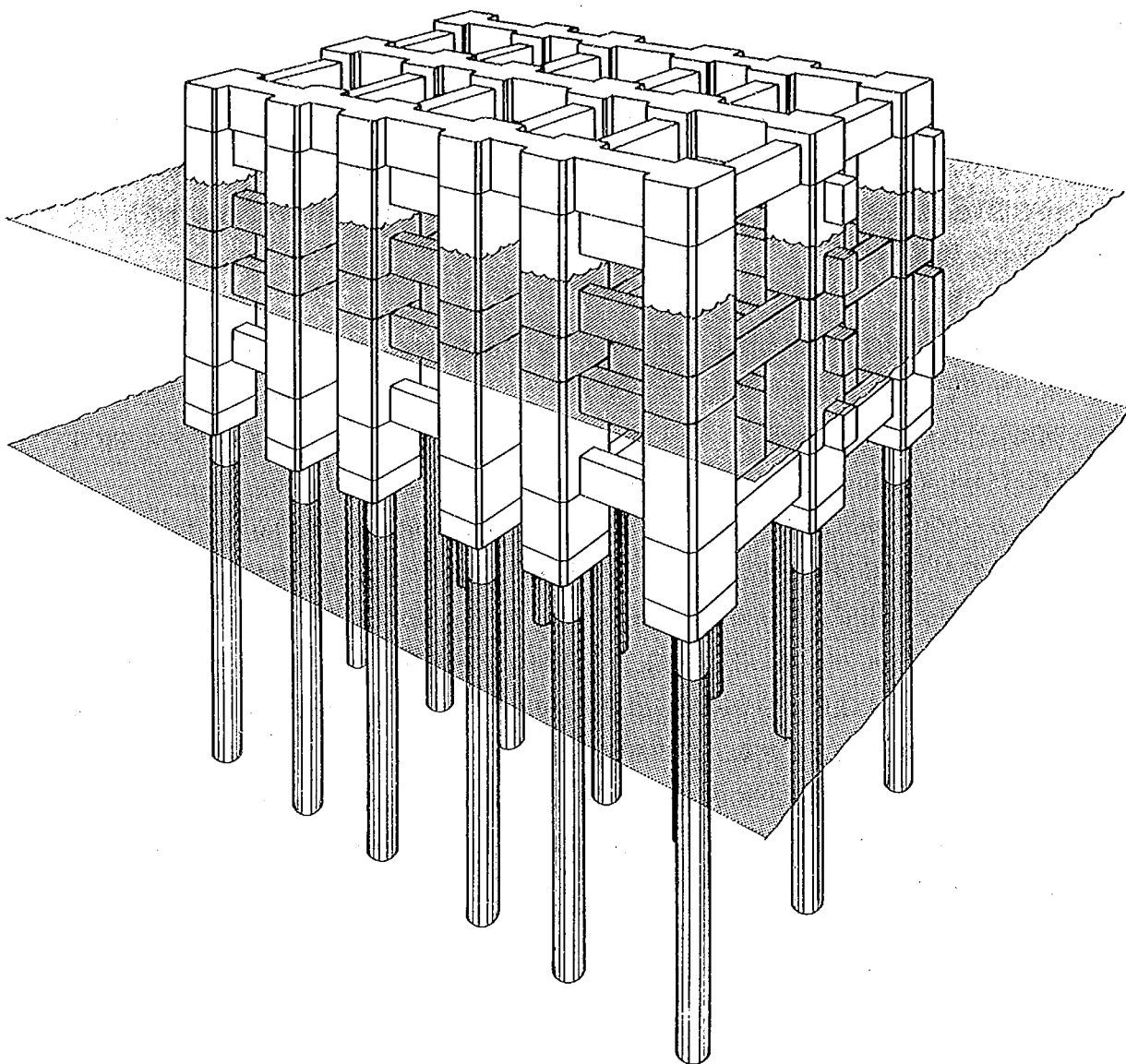


図6. 3 多重スリット型（ブロックと杭）の鳥瞰図

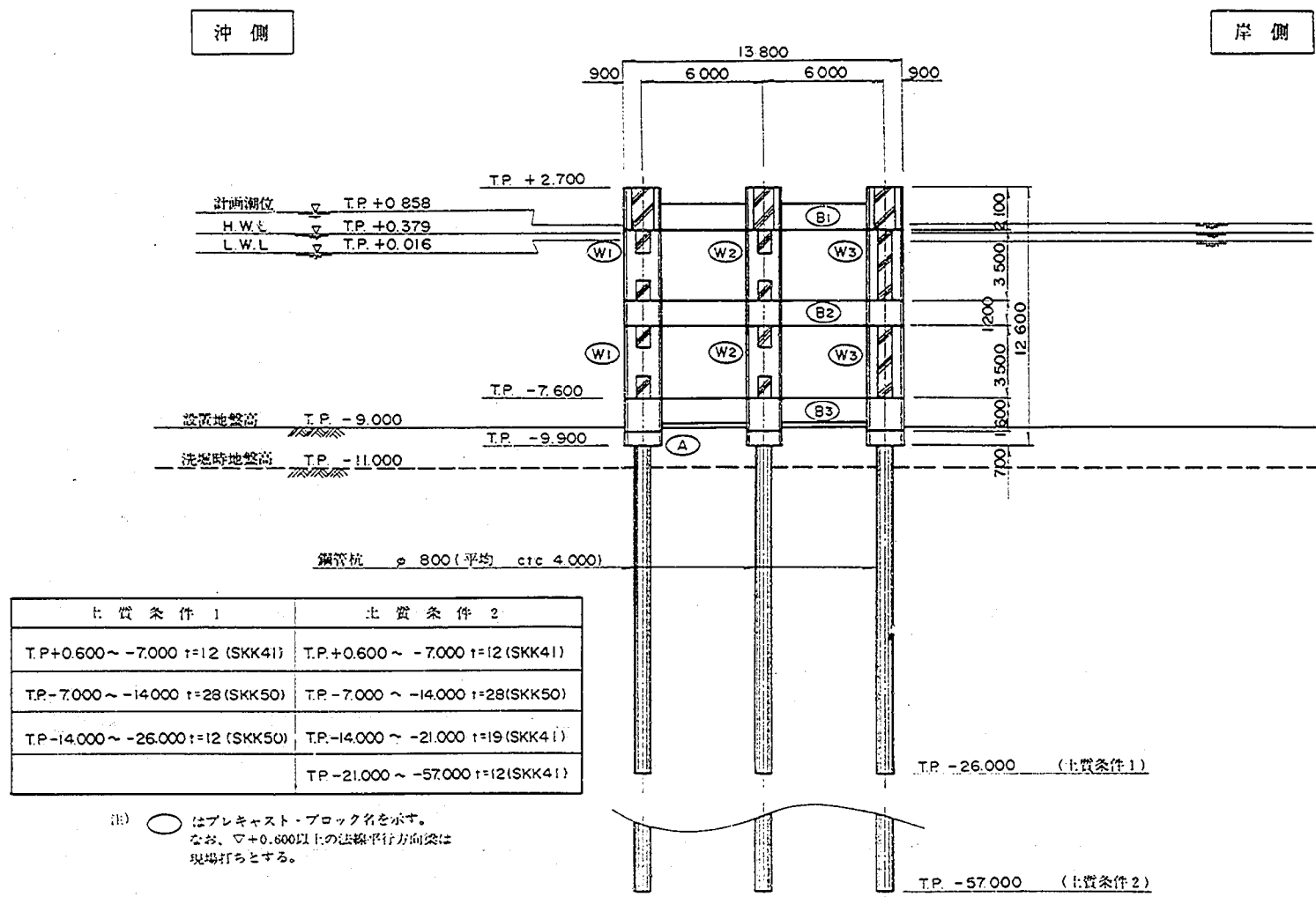


図6.4 構造一般図(1)

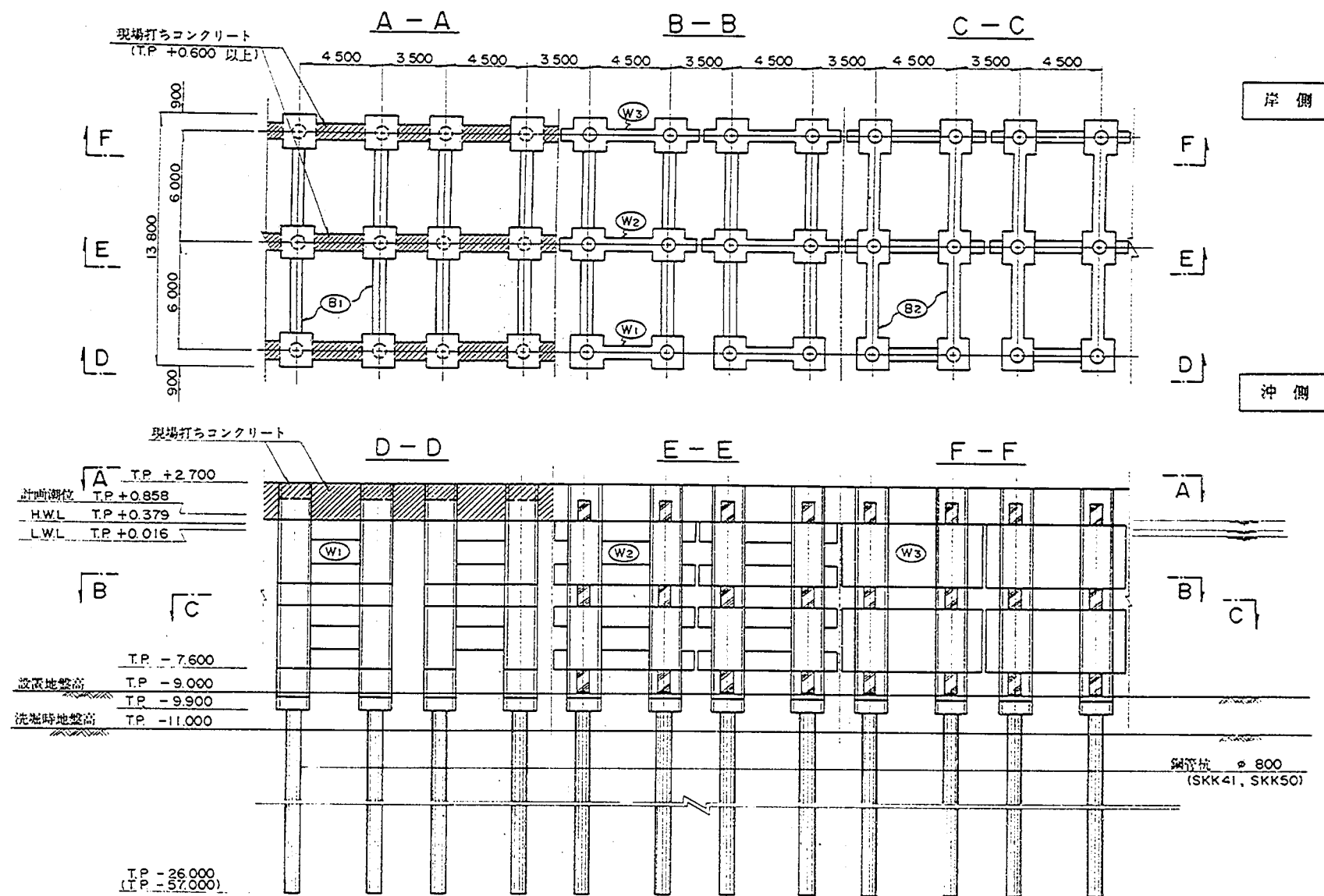


図6.5 構造一般図(2)

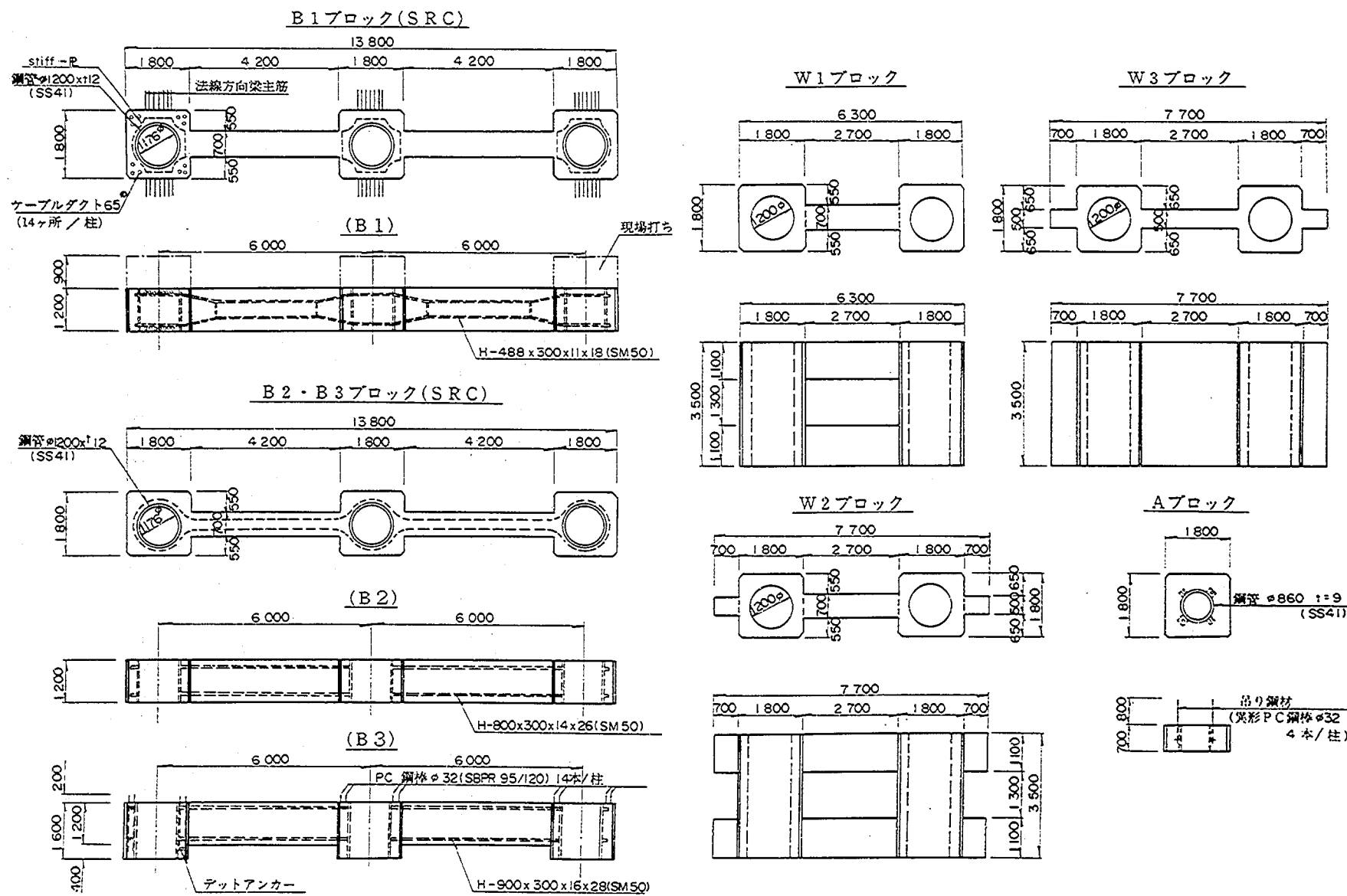
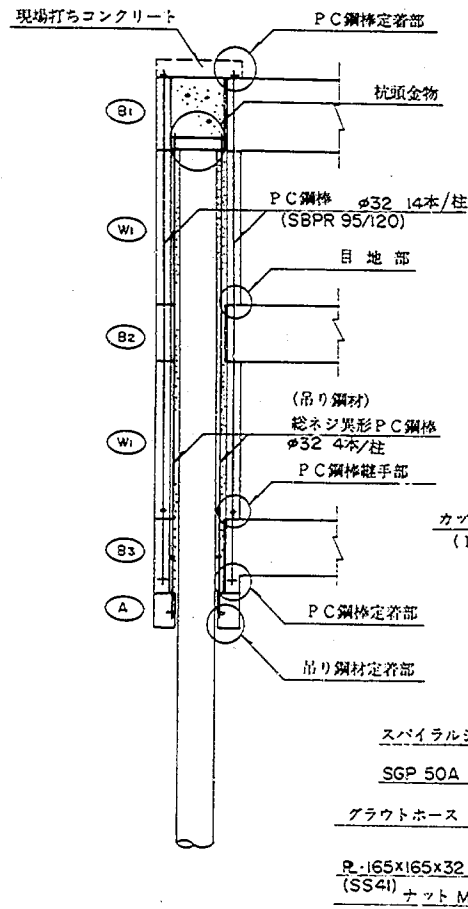


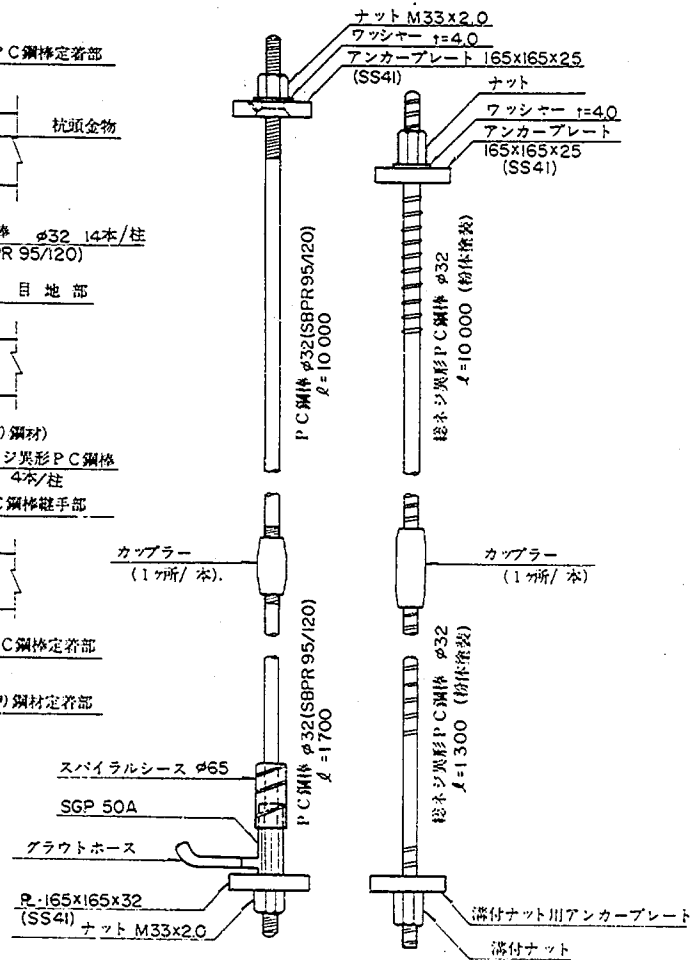
図6.6 プレキャストブロック構造図

PC鋼材配置図 (縮尺 1/100)



PC鋼材詳細図 (縮尺 1/10)

メインケーブル 吊り鋼材



柱部詳細図 (縮尺 1/30)

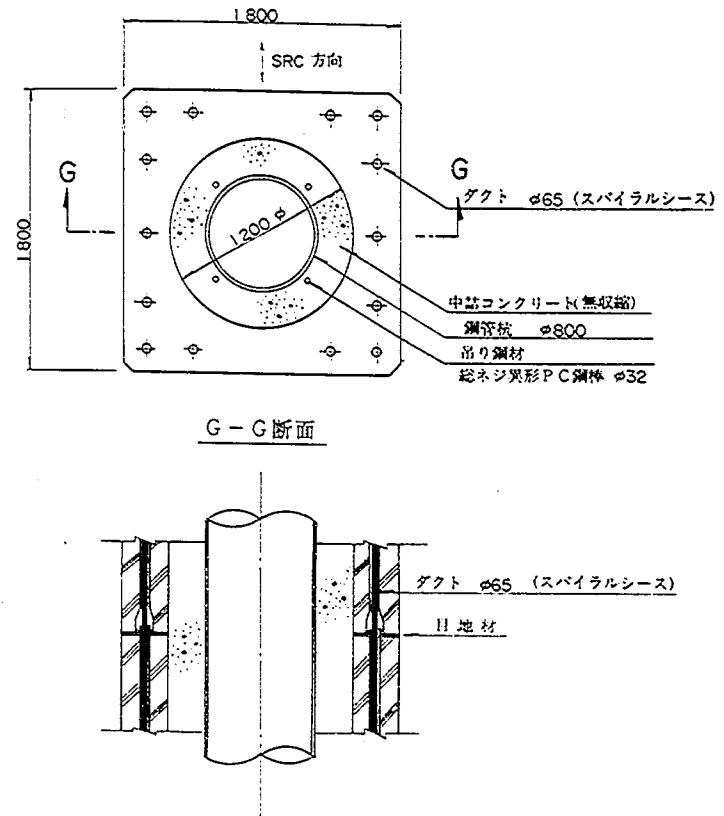


図6.7 詳細図

6.2.2 構造緒元

スリット壁の枚数が $N = 3$ で、それらの空隙率が沖側から順番に $\varepsilon_1 = 0.3$ 、 $\varepsilon_2 = 0.2$ および $\varepsilon_3 = 0.1$ にした場合の K_T 、 K_R と B/L の関係を図6.8に示す。同図から、今回の消波機能が要求される波浪条件に対して吃水比を $h_2/h \geq 0.85$ に選べば、堤体幅波長比が $0.1 < B/L \leq 0.3$ の範囲で透過率 $K_T \leq 0.6$ 、反射率 $K_R \leq 0.5$ が十分満足されることがわかる。以上のことから、図6.9に示すような構造諸元を選定した。

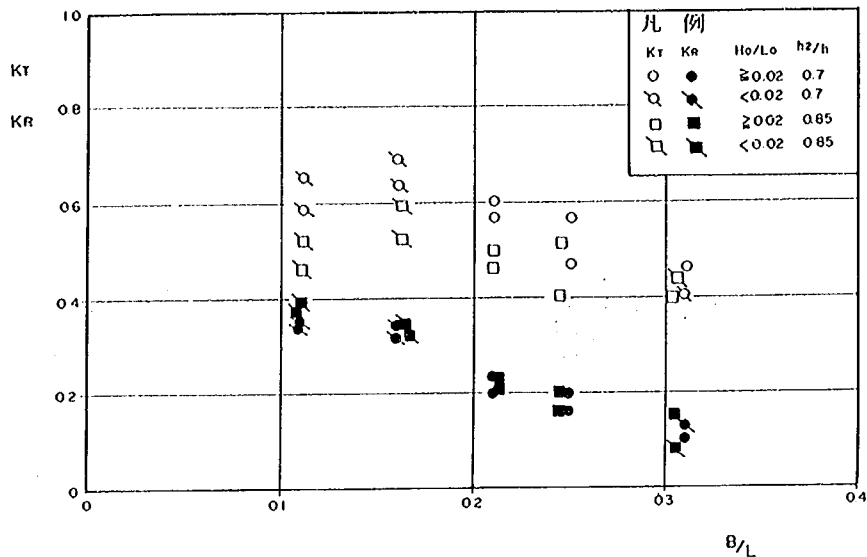


図6.8 K_T 、 K_R と B/L の関係

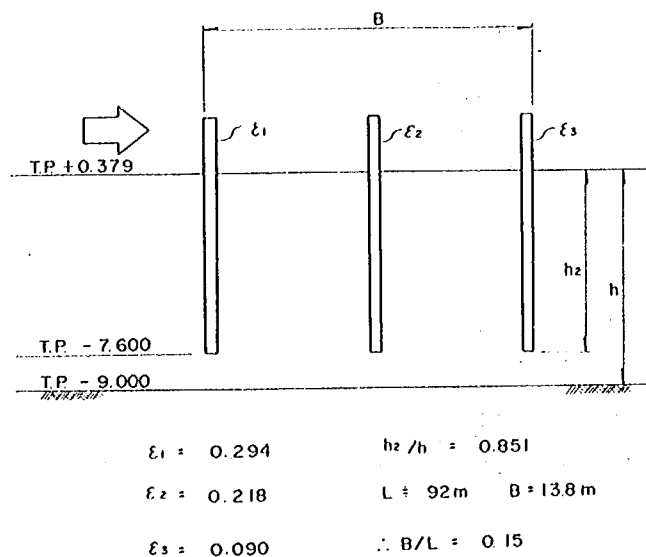


図6.9 選定した構造諸元

6.2.3 設計計算

2種の土質条件に対し、検討を行った。その設計荷重及び解析法を表6.4に示す。また、極限支持力の算定結果を表6.5、支持力に対する検討結果を表6.6、基礎杭の応力算定結果を表6.7、主要部材断面の検討結果を表6.8に示す。

表6.4 設計荷重および解析法

荷 重 図					
	波高 Hmax	7.1m	波 力 計 算 結 果 〔奥 行 き〕 1 m 当 り	P ₁ = 3.41 tf / m ² (合田波力 × λ)	
周期 T	10.0秒	P ₂ = 4.13 tf / m ² (")			
波力低減係数	λ = 0.64	P ₄ = 3.45 tf / m ² (")			
				P _M = 0.35 tf / m ² (モリソン式による1.39t/m/本)	
備 考	1. 波力低減係数の算定式：λ = λ ₁ (1 - ε) ここに、λ ₁ = 0.8, ε = 0.2 (空隙率 ε ₁ = 0.3, ε ₂ = 0.2, ε ₃ = 0.1 の平均) 従って、λ = 0.64 とする。				
	2. 1/25模型を用いた波力実験結果より、本構造タイプの揚圧力は十分に小さいので、無視する。				
	3. 波力は便宜上最も空隙率の小さい第3列目の壁ブロックに載荷する。尚、試みに第1列目に載荷させた場合と比較したが、両者の発生断面力の差は梁部材の軸方向を除きわずかに ±1.5% 程度であった。				
	4. 構造解析は各部材を線材に置き換えて二次元骨組構造とし、弾性解析により断面力を算定する。(PBS構造部と基礎杭を一体化して解析)				
	5. 杭の横方向地盤反力係数は、地盤の平均N値より k = 0.15N (kgf / cm ³) として推定する。 (ケース1, ケース2とも N = 5)				

表6. 5 極限支持力の算定

	支持層	砂 質 土				粘 性 土		極 限 支持力 Ru (tf)	最 大 引 抜 力 Rut (tf)
		杭先端 地盤の N 値	杭 の 先端面積 Ap (m ²)	平均N値 N	杭 の 周面積 As (m ²)	平 均 粘着力 Ca (tf/m ²)	杭 の 周面積 As (m ²)		
土質 条件 1	T.P.-26m N値30の 砂 質 土	30	0.50	18.3	37.7	—	—	741.4	138.2
土質 条件 2	T.P.-57m N値20の 砂 質 土	18.1	0.50	9.4	82.9	2	32.7	585.6	221.2

表6. 6 支持力に対する検討結果

杭 列 No.			杭 列 No.	杭 反 力 R (tf)	許 容 支 持 力 Ra (tf)
支 持 力	土質 条件 1	引 抜 側	1	45.6	46.1
		押 込 側	3	230.9	296.6
	土質 条件 2	引 抜 側	1	42.0	73.7
		押 込 側	3	229.7	234.2

表6. 7 杭基礎の応力算定結果

	杭列 No.	設 計 断 面 力		発 生 応 力 度 σ_s (kgf/cm ²)	許 容 応 力 度 σ_{sa} (kgf/cm ²)	備 考
		軸 方 向 力 N (tf)	曲 げ モーメント M (tfm)			
土質 条件 1	3	230.9	190.4	1,843	1,900	T. P. -9.2部 軸力最大 $\phi 800$ $t=28$ (SKK50) 腐食代なし
		230.9	55.3	1,898	1,900	T. P. -18.5部 軸力最大 $\phi 800$ $t=12$ (SKK50) 腐食 $\Delta t=1.0$ mm
土質 条件 2	3	229.7	181.0	1,767	1,900	T. P. -9.2部 軸力最大 $\phi 800$ $t=28$ (SKK50) 腐食代なし
		229.7	46.4	1,072	1,400	T. P. -17.5部 軸力最大 $\phi 800$ $t=19$ (SKK41) 腐食 $\Delta t=1.0$ mm

表6.8 主要部材断面の検討結果

形状図				
計画潮位 ∇ T.P. +0.858 H.WL ∇ T.P. +0.379 L.WL ∇ T.P. +0.016 設置地盤高 T.P. -9.000 洗堀時地盤高 T.P. -11.000				
部 材 名		設計断面力	部 材 断 面 形 状	備 考
ポ ス ト テンション P C 柱	土質条件 1	$M=244.9\text{tfm}$ $N=45.6\text{tf}$ (軸引張力) $P_e=676\text{tf}$ (有効プレストレス力)		●引抜側(第1列)T.P. -8.2m部にて決定。 ●PC鋼棒$\phi 32$(SBPR95/120) 14本/柱。 ●フルプレストレス状態として設計。 ●鋼管杭の耐力は累加していない。 ●プレストレス直後、及びすべての損失が為された後の状態の2フェーズについて照査した。
	土質条件 2	$M=235.3\text{tfm}$ $N=-42.0\text{tf}$ (軸引張力) $P_e=676\text{tf}$ (有効プレストレス力)		
S R C 梁 (B 3)	土質条件 1	$M=208.8\text{tfm}$ $N=0.8\text{tf}$		●H-900$\times$300$\times$16$\times$28 (SM50) 及び主筋4-D22。 ●累加強度方式にて照査。 ●B1梁はH-488$\times$300$\times$11$\times$18 (SM50)。 ●B2梁はH-800$\times$300$\times$14$\times$26 (SM50)。
	土質条件 2	$M=205.5\text{tfm}$ $N=1.4\text{tf}$		

6.2.4 施工概要

(1) 概 要

本構造物の施工は、大別してプレキャスト部材を制作する陸上作業と現地海上作業に分けられるが、施工上、特に配慮した点は、以下の通りである。

① 本構造物では、鋼管杭の設置精度として非常に高い精度が要求されるため、予め導材を設けておき、鋼管杭の建込み精度を向上させると共に、バイプロハンマーによる打設により、高い打込み精度を確保出来るようにした。

② プレキャストブロックの一体化を図るためのP C緊張は、緊張力のバラツキを極力小さくするため、1ブロックの柱部（6ヶ所）各々を同時に2ヶ所（対象位置）つつ緊張・定着する事とした。

(2) 施工方法

本構造物の施工手順は、図6.10、6.11に示すとおりである。以下に各工種の概略施工法を述べる。

① プレキャストブロック製作工

プレキャストブロックは、陸上作業ヤード（境港積み出し岸壁付近）において製作する。ブロックの製作は、最大で2ロットに分けてコンクリート打設する。

② プレキャストブロック積み出し・運搬工

プレキャストブロックの岸壁からの吊出しは、非航起重機船(100t吊)により行い、台船(3,000t積)に積み込み現地まで運搬する。

③ 浚 渫 工

本構造物の設置位置を所定深度までグラブ浚渫船（8 m³）により浚渫する。

④ 鋼管杭設置工

鋼管杭の打設に先立って、打設精度を高くする目的で導材を設置する。鋼管杭は、バイプロハンマー（土質〔1〕：90 k w，土質〔2〕：150 k w）で打設していき、打止めは、ディーゼルパイルハンマー（D-45）により行う。打設完了した鋼管杭から、順次杭頭部を仮結構する。

⑤ プレキャストブロック設置工

プレキャストブロックは、非航起重機船(100t吊)により所定位置に設置する。

⑥ P C 工

積み重ねたプレキャストブロックの一体化を図るためのP C鋼棒をセンターホールジャッキ（70 t用）により緊張定着する。緊張定着後、シース内をモルタルミキサー（300 ℓ × 2 連）および圧送ポンプ（100 ℓ / min）を装備したプラント用台船（鋼300 t 積）によりグラウト注入する。

⑦ 充 填 工

プレキャストブロックと鋼管杭の一体化を図るため、プレキャストブロックと鋼管杭との隙間をコンクリートミキサー船（60 m³ / h r）によりコンクリート打設する。

⑧ 場所打コンクリート工

最後に、場所打コンクリートをコンクリートミキサー船（60 m³ / h r）により打設する。

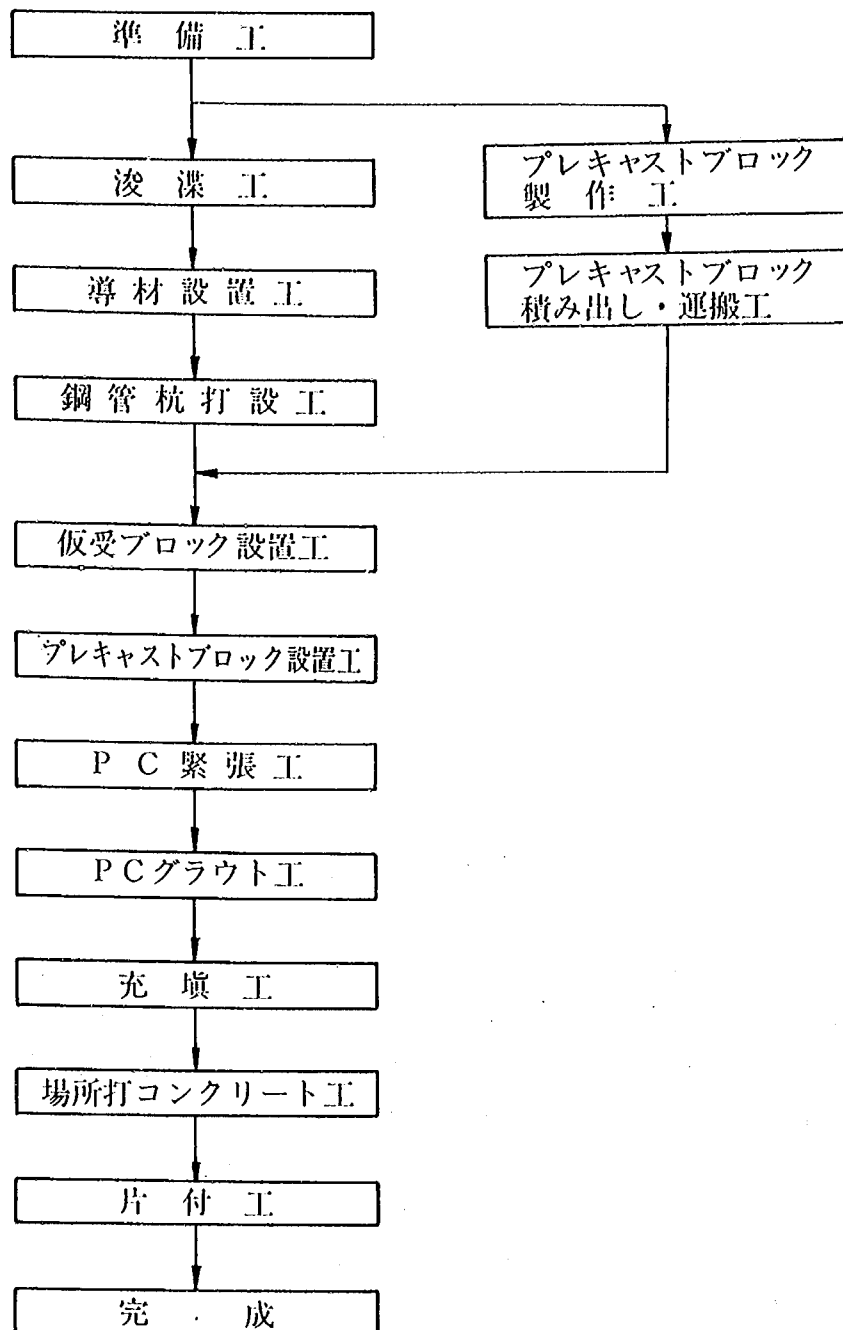


図6.10 施工フロー図

工 種	① プレキャストブロック製作工	② 浚 渫 工	③ 鋼 管 杭 打 設 工
施 工 要 領 図			
主 な 作 業 内 容	1) プレキャストブロックは陸上作業ヤードにおいて作業する。 2) スリット付ブロックの製作は、2ロットに分けてコンクリート打設する。 3) 上記以外のブロックの製作は、一度にコンクリート打設する。	1) 当該構造物設置位置を所定深度まで浚渫船により浚渫する。	1) 鋼管杭打設に先立って、打設精度を高くする目的で導材を設置する。(杭打設後撤去) 2) 鋼管杭は、パイロハンマー (土質[1]: 90kw, 土質[2]: 150kw) で打設していき、打止め (1m 範囲) は、ディーゼルハンマー (D-45) により行う。
使用船舶		グラブ浚渫船 (8m³) 揚 錨 船 (20t吊) 引 船 (800PS) 土 運 船 (800m³)	杭 打 船 (D-70用) 台 船 (1,500t) 引 船 (800PS) 非航クレーン付台船 揚 錨 船 (20t吊) (25t吊)
工 種	④ プレキャストブロック設置工	⑤ P C 工	⑥ 場 所 打 コ ン ク リ ート 工
施 工 要 領 図			
主 な 作 業 内 容	1) プレキャストブロックは、非航起重機船により設置する。	1) 積み重ねたプレキャストブロックの一体化を図るためPC鋼棒をセンターホールジャッキにより緊張定着する。 2) 緊張定着度、シーす内をグラウト注入する。 3) PC工完了後、プレキャストブロックと鋼管杭の隙間をコンクリートミキサー船によりコンクリート打設する。	1) 場所打コンクリートをコンクリートミキサー船により打設する。
使用船舶	非航起重機船 (100t吊) 台 船 (3,000t積) 引 船 (800PS) 潜水士船 (30PS) 揚 錨 船 (20t吊)	プラント用台船 (1300t吊) コンクリートミキサー船 引 船 (800PS) 引 船 (200PS) 揚 錨 船 (20t吊) 潜水士船 (30PS)	コンクリート (60m³/hr) 非航クレーン ミキサー船 (60m³/hr) 付 台 船 引 船 (800PS) (25t吊) 揚 錨 船 (20t吊) 引 船 (200PS)

図6.11 施工要領図

本構造物の数量総括表，主要使用船舶・機械一覧表および工程表を表 6.9，6.10，6.11に示す。

表6.9 数量総括表

種 類		単 位	延長200m	備 考
鋼 管	土質条件〔1〕	t	1,244.7	L = 3,990m 本数 150本
	土質条件〔2〕	t	2,467.8	L = 8,640m 本数 150本
P C 鋼 棒	P C 鋼 棒	t	155.0	L = 24,570m 本数2,100本
	吊 P C 鋼 棒	t	45.0	L = 6,780m 本数 600本
ブ レ キ ャ ス ト	コ ン ク リ ー ト	m ³	5,660.0	f'ck=400kgf/cm ²
	鉄 筋	t	446.5	S D 30
	鋼 材	m ³	515.1	S M 50, S S 41
中 詰 グ ラ ウ ト	注 入 モ ル タ ル	m ³	61.8	
	間詰コンクリート	m ³	1,127.2	
場 所 打 コ ン ク リ ー ト		m ³	922.5	
浚 渫		m ³	15,100.0	

表6.10 主要使用船舶・機械一覧表

船 舶 ・ 機 械 名	仕 様	台 数
非 航 起 重 機 船	100 t 吊 (旋回式)	2
非 航 ク レ ー ン 付 台 船	25 t 吊 (旋回式)	1
杭 打 船	D - 70 用	1
コンクリートミキサー船	60 m ³ / hr	1
ブ ラ ン ト 用 台 船	鋼 300 t 積	1
グ ラ ブ 浚 渫 船	8 m ³	1
台 船	3,000 t 積	4
	1,500 t 積	2
引 船	1,500 PS	1
	800 PS	1
	200 PS	1
土 運 船	800 m ³	1
潜 水 士 船	30 PS	1
揚 錨 船	20 t 吊	1
ク ロ ー ラ ク レ ー ン	100 t 吊	1
ト ラ ッ ク ク レ ー ン	20 t 吊	1
バ イ ブ ロ ハ ン マ ー	90 kw (土質〔1〕) or 150 kw (土質〔2〕)	1
ディーゼルバイルハンマー	D - 45	1
発 電 機	600 KVA	1
センターホールジャッキ及び電動油圧ポンプ	70 t 用	12

表6.11 工程表

項 目		3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月
準 備 工	1 式	30 日										
フレキャストブロック製作工	450個		86 日									
フレキャストブロック積み出し・運搬	450個				88 日							
浚 渫 工	15,100m³				19 日							
導 材 設 置 工	1 式				31 日							
鋼 管 杭 打 設 工	150本				36 日							
					30 日							
仮受ブロック設置工	150個					40 日						
梁ブロック設置工	300個					64 日						
P C 鋼材設置・緊張工	2,100本						55 日					
P C グラウトエ	61.8m³						55 日					
充 填 工	1,127.2m³						60 日					
場所打コンクリート工	922.5m³							45 日				
片 付 工	1 式									30 日		

6.2.5 構造物の適用性と今後の課題

『空隙率の異なる3枚のスリット壁を有する波浪制御構造物』の実現可能な案として、プレキャストブロックと鋼管杭を用いた海洋プレハブ工法による計画事例を示した。ここで示した新しい特徴、『インナーケーブル方式』『SRC梁ブロック』『目地構造』等については幾つかの実験を経験し既に施工実績もある。従って、総合的に見て『大水深波浪制御構造物として十分に実現可能な構造式』といえる。

しかし、このケーススタディを行うに当たっては幾つかの不確定の事項が存在した。これらに対しては、以下に述べるように現状の技術レベルに照らして安全側に近似し、実現可能性を阻害する要因を極力残さないように心がけた。従って、幾分コスト的に不利な要素が残っているわけで、今後、機能的に、そして経済的により洗練された波浪制御構造物を目指すためには、是非ともこれらの課題を解決しておく必要がある。

なお、『多重スリット式』による海域制御構造物は、ここで述べた有脚式構造のほかにもケーソンタイプ（有脚式あるいは重力式）、鋼製ジャケットタイプなどが考えられる。下記の課題と合わせ、今後研究を進める価値があると思われる。

(1) 波浪制御に関する課題

今回設計に用いた波力は昭和61年度に実施された1/25模型を用いた波力実験結果より推定したものである。しかしこれは非碎波の全波力について行ったものであり、今回の波浪条件（碎波）に適合するかどうかは明らかではない。今後は長周期、大波高に対する衝撃的な全波力および部材波力を明らかにする必要がある。

(2) 構造設計に関する課題

設計上の課題としては、『耐久性』『使用性』を巡る『大水深波浪制御構造物』のデザイン・クライテリアが定まっていないことに尽きる。即ち、『どんな荷重状態に至るまで破壊してはいけないのか』『どんな荷重をどのくらい受け続けたとき、どんな形状・機能を維持しなくてはいけないのか』が現状では明確になっておらず、各種安全係数、クラックコントロール等の指標が決められないため、基礎、部材の設計の考え方に幅ができてしまうのである。

例えば、今回のような杭とブロックによる構造では、再現期間の短い荷重フェーズ（しばしば生じる荷重として再現期間5年の設計波など）では曲げひびわれを起こさぬようにフルプレストレス状態で設計し、再現期間の長い荷重フェーズ（再現期間100年の設計波など）に対してはパーシャル・プレストレストコンクリートとして終局耐力を照査するという考え方が有効である。つまり海洋プラットフォームと同様の設計手法であり、それぞれの限界状態に応じて適切なクライテリアを定めておき、個々に安全性を確認するもので、こうすれば、自然現象の事実に照らしより忠実であり、経済的にも相当有利になると考えられる。また、もっと極端に、プレストレスを殆ど導入せず、杭とブロックが充填材により一体化された合成断面であるとして設計する考え方もある。

しかし、前者については、我が国の海洋構造物に関する現行基準が依然『許容応力度設計法』であり、荷重の特性値と荷重係数、構造物係数等の安全係数の妥当な値が現状では示されておらず、今回の設計に反映するのは難しいといえる。また、後者については、繰り返し荷重を受けた場合にどの程度『一体性』が保証されるかという問題がある。即ち充填材の付着力やせん断キーやジベルの効果が、

破壊に至らなくともどのように劣化し全体の剛性に影響を与えるかが現状では明らかではない。耐用品期間に見合うクラックコントロールの指標が現状では示すことができない。それゆえ、プレストレスを導入しないブロック構造は、使用状態で大きな波力を繰り返し受ける構造物には採用すべきではないと判断した。

以上のことにより、今回は『最大波高に対し常時荷重扱いでフルプレストレス状態となるよう』設計を行った。これらの事項については、構造物の重要度、被災した場合の補修の可能性等を勘案し、今後、詳細に検討する必要がある。

6.3 水平板付スリット型Ⅰ（ブロックと杭）＊

6.3.1 構造概要

本構造は、水面付近に設置した1枚の水平板と2枚の鉛直スリットを持つ海域制御構造物であり、鋼管杭と陸上で製作されたコンクリートブロックを海上で一体化した合成構造を採用している。ブロックの一体化の方法としては、鋼管杭とブロックの間に中詰コンクリートを充填した後に、PC鋼材により緊張一体化する方法とした。また、今回のフィージビリティスタディでは、土質条件が2ケースあるが、検討の結果によると、土質条件の違いによる構造物への影響は、海底地盤内の杭長の変更だけであり、上部構造は全く変わらない。

(1) 構造の概要

① 構造体は、鋼管杭と梁・柱のプレキャストコンクリートブロック、更にブロックを一体化するPC鋼材、鋼管杭とコンクリートブロック間に充填する中詰コンクリートから成る。

② 各コンクリートブロックは、コンクリート製アンカーブロック上に積み上げられる。このアンカーブロックには、あらかじめ仮設時のブロック自重と中詰コンクリート重量を支える吊筋と、柱にプレストレスを導入するためのシース付きPC鋼材が埋め込まれている。

③ 梁ブロックは、2本あるいは3本の杭を同時に連結する構造となっている。また、沿岸方向の梁ブロックの内、沖側、岸側ブロックには、消波性能上必要とされる空隙率を確保するための壁が取り付けられており、岸沖方向の最上段梁は、半断面のプレキャストブロックとプレストレス導入後に打設される場所打ちコンクリートから成る。

④ 水平板は、要求される消波性能を満たすように水面付近の岸沖方向梁に配置されている。

⑤ 梁ブロックの柱部分、およびその間を埋める柱ブロックで構成される柱は、中詰コンクリート硬化後、鋼管杭とコンクリートブロック間に配されているシース付きPC鋼材を緊張することにより一体化される。シース内は、その後、グラウト注入される。また、各ブロック間は水中硬化型目地材に

＊執筆：高木春生（三井建設株式会社土木本部土木技術部）

田村直明（三井建設株式会社土木本部土木技術部）

より接合される。

⑥ 堤体は、杭5列、20mを1ユニットとし、10ユニット、200mで1ブロックを形成する。

(2) 特 徴

① 主要部材のほとんどを陸上で製作するため、品質管理が容易である。

② 海底地盤の均し作業が不要で、水中作業が少なく、安全かつ迅速に施工できる。

③ 鋼管杭とブロック間の中詰コンクリート硬化後、P C鋼棒を緊張するので、ブロックのみを緊張するのに比べ、ブロック接触面の凹凸によるブロックの緊張時破損の心配がなく、定着金物もコンクリートの反力が得られるので簡単なものでよい。

④ 耐腐食性に優れている。

本構造物の鳥瞰図を図6.12に示す。また、構造一般図を図6.13～6.15に、プレキャストブロック構造図を図6.16に、詳細図を図6.17に示す。

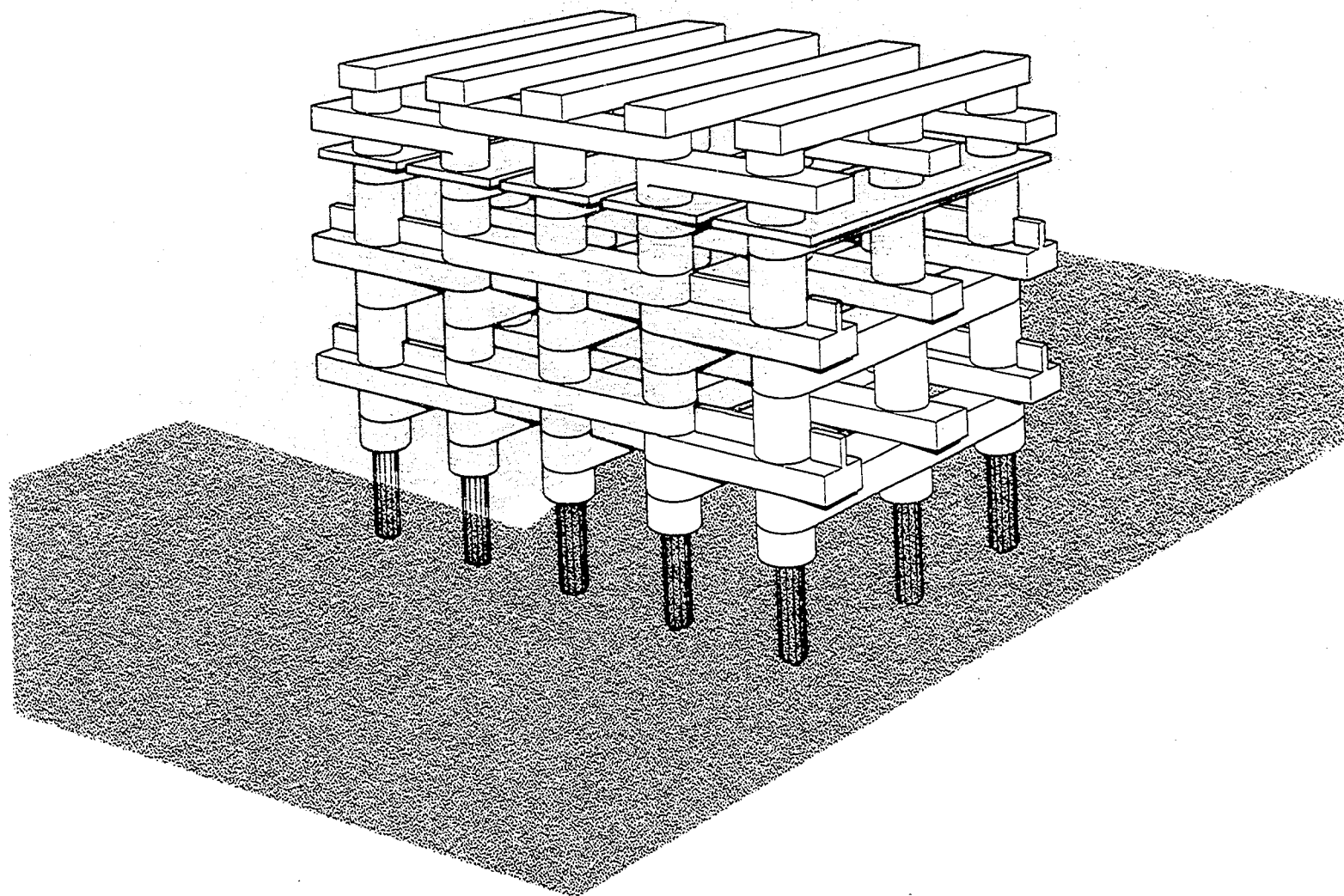


図6.12 水平板付スリット型Ⅰ（ブロックと杭）の鳥瞰図

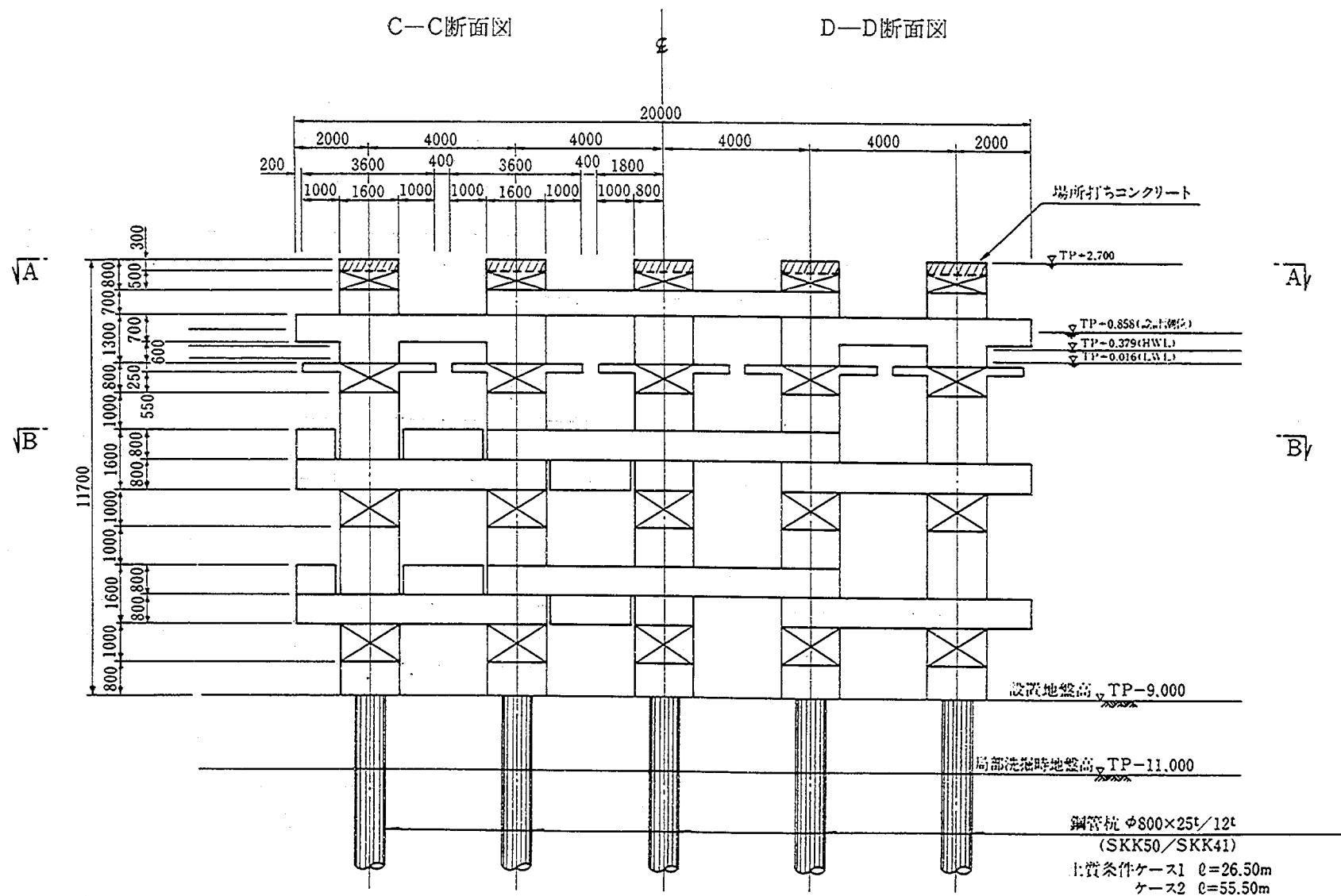


図6.13 構造一般図(1)

A—A断面図

B—B断面図

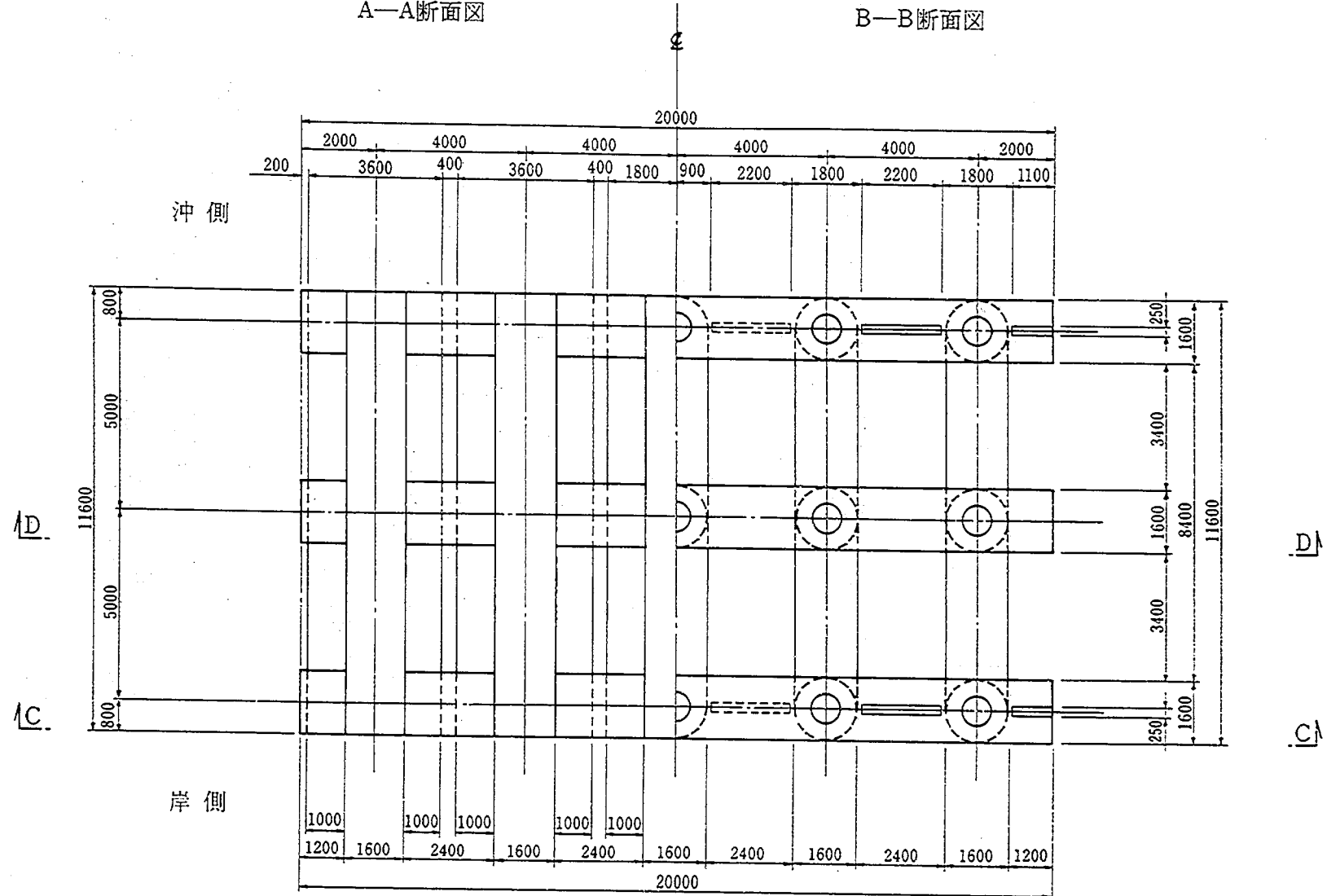
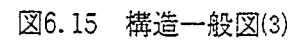


図6.14 構造一般図(2)



梁ブロック

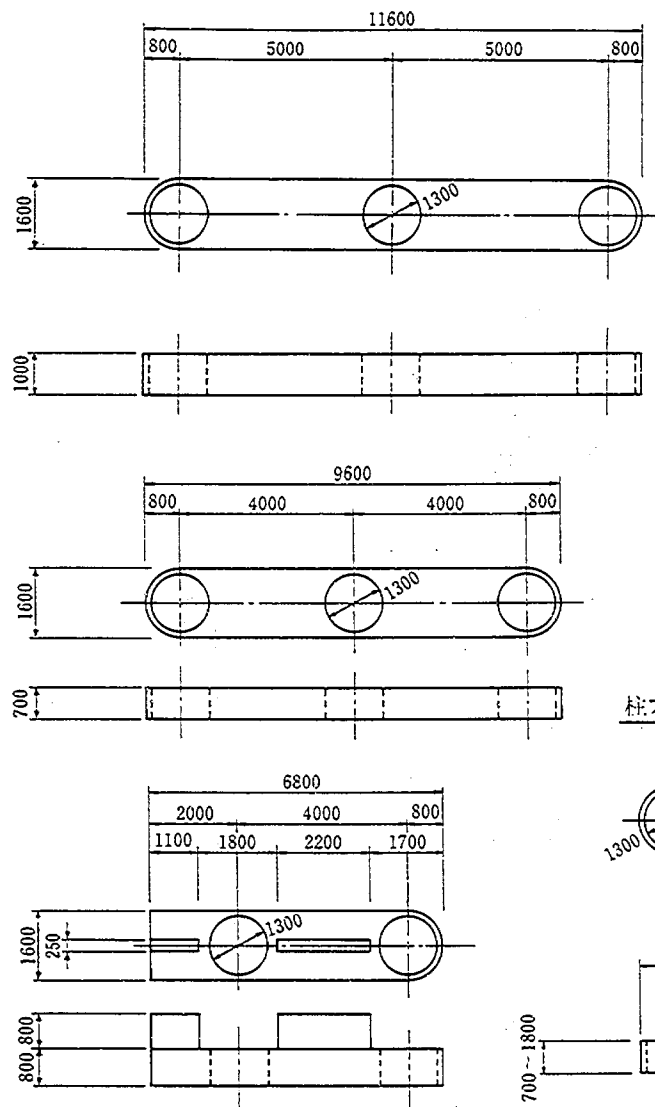


図6.16 プレキャストブロック構造図

PC鋼棒配置図

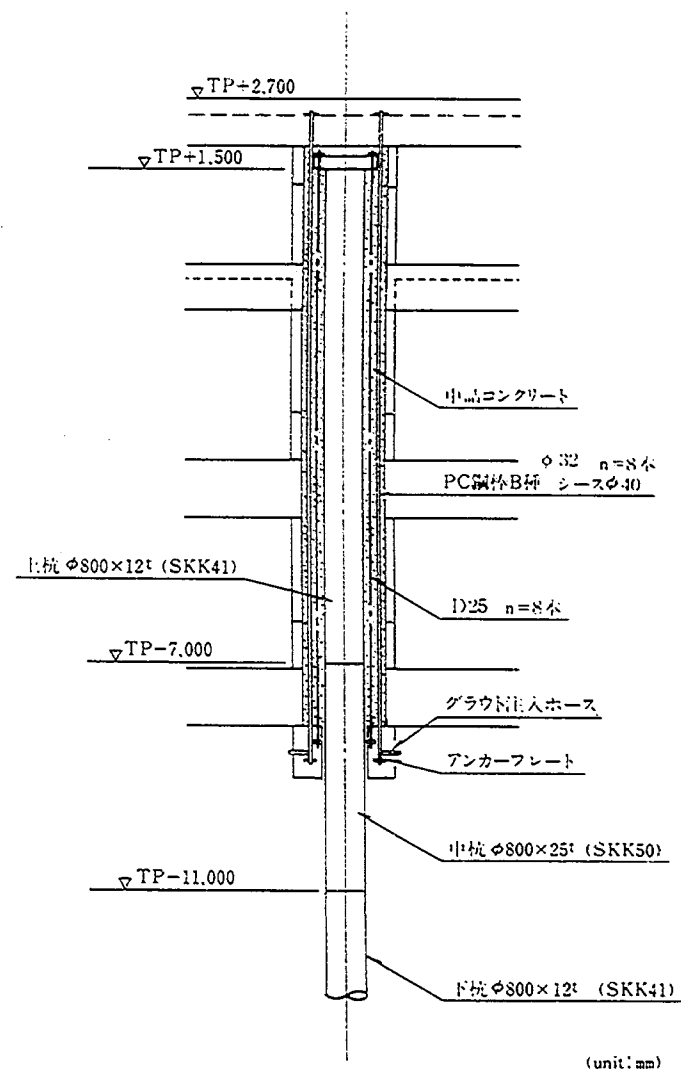


図6.17 詳細図

6.3.2 構造諸元

図6.18に示す不規則波による水理実験結果³⁾から、鉛直スリット壁の空隙率を $\epsilon_v=0.4$ 、吃水比を $h_2/h=1.0$ 、水平板の空隙率を $\epsilon_H=0.1$ 、水平板没水深比を $R/h=0.05$ とすれば、 $0.02 \leq H/L \leq 0.04$ の条件下で $K_T \leq 0.6$ 、 $K_R \leq 0.5$ とすることができる。次に $H_{1/3}=6.7\text{cm}$ 、 $T_{1/3}=1.25\text{s}$ の不規則波における各周波数成分ごとにみた見掛けの透過率 K_T 、反射率 K_R' を図6.19に示す。 $0.1 < B/L \leq 0.8$ の範囲で上記の消波機能は満たされている。今回の消波機能が要求される波浪条件に実験結果をあてはめ表6.12に示す構造諸元を選定した。一方、天端高 h_1 は海岸保全施設築造基準解説に従い、 $T.P.+2.7\text{m}$ に決定した。

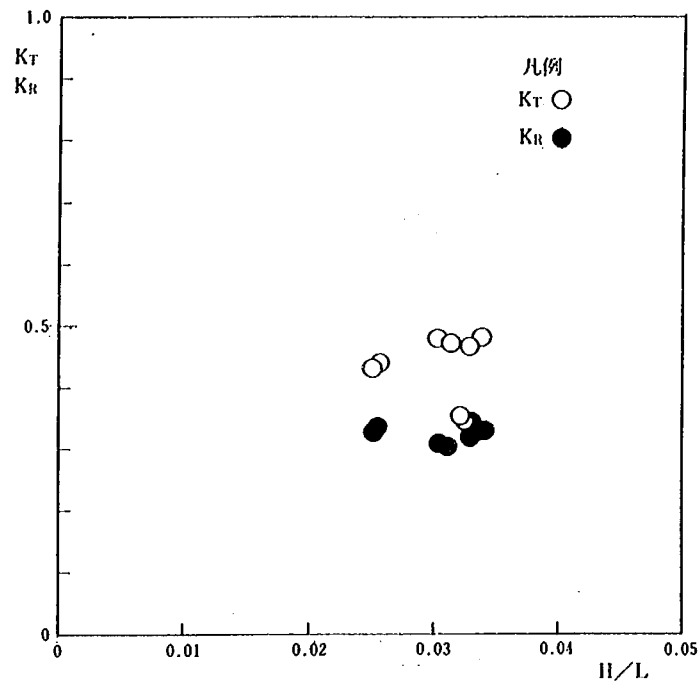


図6.18 K_T 、 K_R と H/L の関係

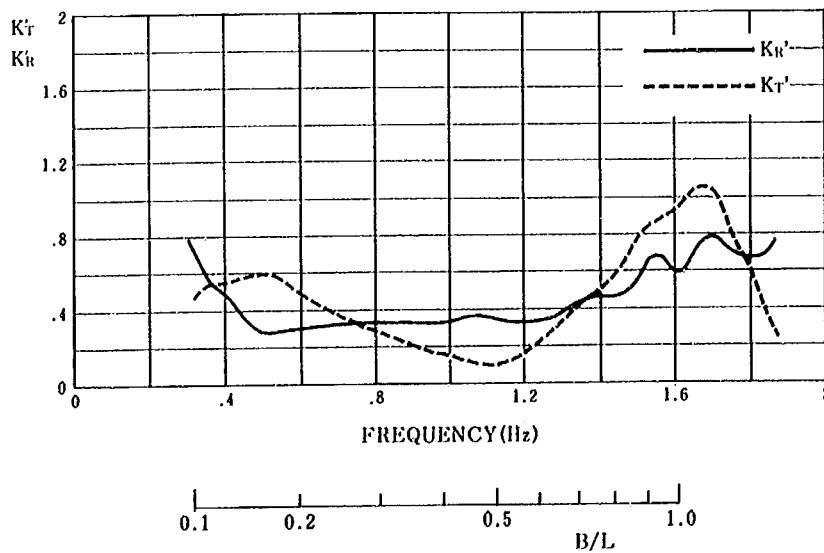
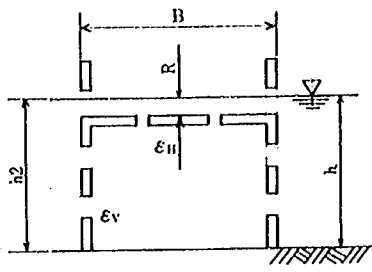


図6.19 各周波数成分ごとにみた消波特性

表6.12 構造諸元

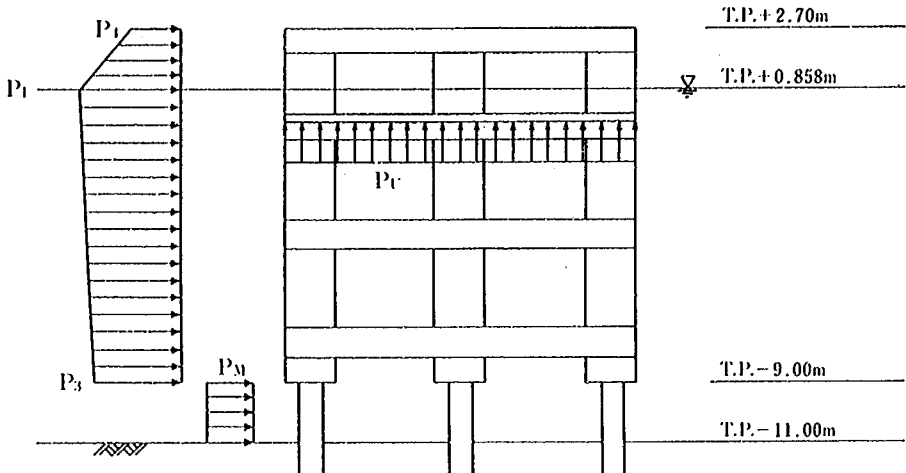
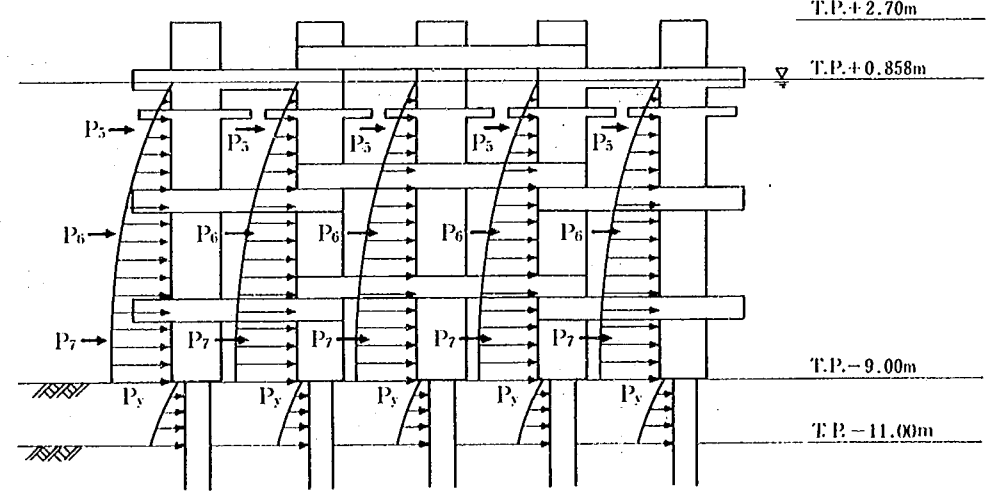
	鉛直スリット壁		水 平 板	
	枚 数 N_v	2	枚 数 N_H	1
	空 隙 率 ϵ_v	0.4	空 隙 率 ϵ_H	0.1
	吃水深比 h_2/h	1.0	没水深比 R/h	0.05
$L = 90 \text{ m}, \quad B = 11.6 \text{ m} \quad \text{よって } B / L = 0.13$				

6.3.3 設計計算

(1) 設計荷重および解析法

設計荷重としては、自重の他、波力および地震力を考慮した。解析法は、横方向地盤反力をバネに置き換え、全体系を平面骨組構造の弾性解析により行った。設計荷重および解析法の概要を表 6.13に示す。

表6.13 (1) 設計荷重および解析法

荷 重 図	1. 波荷重				
	沖側		杭列 No.		岸側
			①	②	③
					
波 浪 条 件	波高 Hmax	7.1 m	波 力 計 算 結 果	$P_4 = 1.20 \text{ tf/m}^2$ (合田式 $\times \lambda$)	
	周期 T	10.0 秒		$P_1 = 2.32 \text{ tf/m}^2$ (合田式 $\times \lambda$)	
	合田波力 低減係数	$\lambda = 0.36$		$P_3 = 1.88 \text{ tf/m}^2$ (合田式 $\times \lambda$)	
	揚圧力係数	$\alpha = 0.2$		$P_M = 1.51 \text{ tf/m}^2$ (モリソン式, 0.402 tf/m/本)	
				$P_u = 1.46 \text{ tf/m}^2$ ($\alpha w_0 H$)	
荷 重 図	2. 地震時動水圧				
					
計 算 結 果	地震時動水圧 設計水平震度 $k_H = 0.1$	$P_5 = 0.210 \text{ tf}$ (集中荷重)			
		$P_6 = 0.403 \text{ tf}$ (集中荷重)			
		$P_7 = 0.484 \text{ tf}$ (集中荷重)			
		$P_y =$ 水深により変化, 最大 (ブロック下端) 0.187 tf/m			

備 考	1. 作用荷重	本構造は、岸沖方向については岸向波力作用時で決定され、沿岸方向については地震時で決まった。
	2. 波力低減係数	$\lambda : \lambda = \lambda_1 (1 - \varepsilon)$ ここに、 $\lambda_1 = 0.60$, $\varepsilon = 0.4$ 従って $\lambda = 0.36$
	3. 揚圧力	$P_u : P_u = \alpha w_o H$ ここに、 w_o : 海水の単位重量、 H : 設計波高 (7.1m) 実験より得られた揚圧力が、空隙を含めた水平板部の全投影面積に均等に作用するものとし、位相は考慮しない。 係数は実験より $\alpha = 0.20$ とする。
	4. 載荷位置	低減合田式波力およびモリソン式波力とも、波の当たる側のスリット壁にのみ合計して作用させた。
	5. 地震時動水圧	$P_y :$ 地震時動水圧 P_y の計算は、「本州四国連絡橋下部構造設計基準」に従った。なお検討は、荷重分担幅の大きい杭列 No. 2 の平面内に対して行った。また地震時における海底地盤の液状化は、資料不足のため検討しなかった。
	6. 杭の横方向 地盤反力係数	k : 地盤の平均 N 値 ($\bar{N} = 5$) より $k = 0.15 \bar{N} = 0.75 \text{ kgf/cm}^3$
	7. 解析法	コンクリート部材および鋼管杭の断面性能を考慮した平面骨組構造の弾性解析により断面力を計算。

(2) 極限支持力の算定

極限支持力の算定は、港湾の施設の技術上の基準・同解説に従って行った。ただし、粘性土の鋼管杭との付着力は、N値（=10）から粘着力（ $C_p = 7 \text{ tf/m}^2$ ）を想定し、同基準から $\bar{C}_a = 4.5 \text{ tf/m}^2$ とした。また、砂質土におけるN値の補正はしていない。極限支持力の算定結果を表 6.14に示す。

表6.14 極限支持力の算定

土質 条件	支持層	砂 質 土				粘 性 土		極 限 支持力 Ru (tf)	最 大 引抜力 Rut (tf)
		杭先端地盤のN値 N	杭の先端面積 A_p (m^2)	平均N値 $\bar{N}$	杭周の全表面積 A_s (m^2)	平均付着力 $\bar{C}_a$ (tf/m^2)	杭周の全表面積 A_s (m^2)		
ケース1	T.P.-25m N値30の 砂質土	28.4	0.5	17.5	35.2	—	—	691.2	123.2
ケース2	T.P.-54m N値20の 砂質土	16.3	0.5	8.3	75.4	4.5	32.7	598.4	272.4

(3) 支持力の検討

基礎杭の支持力に対する検討結果を表 6.15に示す。

表6.15 支持力に対する検討結果

		作用荷重	杭列No.	杭反力R(tf)	許容支持力Ra(tf)	土質条件
支 持 力	引 抜 側	岸向波荷重 作用時	1	31.8	41.1	ケース1
					90.8	ケース2
	押 込 側	岸向波荷重 作用時	3	142.7	276.5	ケース1
					239.4	ケース2

(4) 杭の算定

基礎杭の応力算定結果を表 6.16 に示す。

表 6.16 杭基礎の応力算定結果

杭 列 No.	設 計 断 面 力		発 生 応 力 度 $\sigma_s(\text{kgf/cm}^2)$	許 容 応 力 度 $\sigma_{sa}(\text{kgf/cm}^2)$	備 考
	軸 方 向 力 $N(\text{tf})$	曲 げ モーメント $M(\text{tfm})$			
3	141.6	157.3	1,835	1,900	$\phi 800$, $t=25\text{mm}$ SKK50, 腐食 3mm 海中部
3	142.7	31.9	1,129	1,400	$\phi 800$, $t=12\text{mm}$ SKK41, 腐食 1mm 地中部
備 考 ① 座屈長が小さいので、許容応力度の低減は行わない。 ② 継手による許容応力度の低減は行わない。					

(5) 主要部材の算定

主要部材断面の検討結果を表 6.17 に示す。

表6.17 主要部材断面の検討結果

部材位置図			
部 材	断 面 力	断 面 形 状	備 考
①柱	$M = 104.8 \text{ tfm}$ $N = 35.2 \text{ tf}$ $S = 47.5 \text{ tf}$ $P_e = 435.2 \text{ tf}$ (有効プレストレスカ)	プレキャスト柱ブロック φ1600/φ1300 PC鋼棒 φ32 n=8本 鋼管 φ800 中詰コンクリート	- 岸向波力作用時。 - P C 鋼棒 φ32 (B 種 2 号) 8 本/柱。 - コンクリートと鋼管杭の合成断面に対しフルプレストレス状態として設計。 - すべてのプレストレスのロスが発生した後の状態に対して検討。 - せん断力は鋼管で受け持つものとする。
②梁 (岸沖方向)	$M = 136.8 \text{ tfm}$ $N = 25.2 \text{ tf}$ $S = 55.6 \text{ tf}$	1600 1000 $A_s = A_s' = D32 \times 15 \text{ 本 } 119.1 \text{ cm}^2$	- 岸向波力作用時。 - 鉄筋量の算定には、安全のため軸圧縮力を無視した。(コンクリートの圧縮応力度には充分余裕がある)
③梁 (沿岸方向)	$M = 56.6 \text{ tfm}$ $N = 1.4 \text{ tf}$ $S = 30.9 \text{ tf}$	1600 800 $A_s = A_s' = D19 \times 15 \text{ 本 } 43.0 \text{ cm}^2$	地震時
④梁 (沿岸方向)	$M = 18.2 \text{ tfm}$ $N = 2.9 \text{ tf}$ $S = 12.7 \text{ tf}$	1600 700 $A_s = A_s' = D19 \times 8 \text{ 本 } 22.9 \text{ cm}^2$	地震時
⑤水平板 (張出部)	$M = 1.0 \text{ tfm}$ $S = 2.0 \text{ tf}$	250 $A_s = A_s' = D13 @ 200 6.34 \text{ cm}^2$	冲向波力作用時 (下向波力+自重)

6.3.4 施工概要

(1) 概 要

本構造物の施工に当たり、考慮された基本的な考え方とそれに基づく構造上の特徴を以下に示す。

① 陸上作業ヤードは、境港とし、ヤードに隣接する岸壁において、資機材の搬入・搬出が可能であり、鋼管杭、コンクリートブロック等の一次仮置ができることとした。

② コンクリートブロックの一体化を鋼管杭とブロック間の中詰コンクリート充填後としたことにより、ブロックの壁厚が薄くでき、また、P C鋼材によりブロックのみを緊張する場合に起こりうる破損の恐れもなく、上部定着金物に必要な反力受けも不要となった。

③ 鋼管杭の打設精度として非常に高い精度が要求されるので、精度と作業効率を高めるため、特別な導材工を製作し対応することとした(図 6.20 参照)。

④ 施工時の杭の仮固定のため、杭頭を仮結構する。

⑤ 土質条件が2 ケースあり、鋼管杭の打設長が、ケース 1 で16m、ケース 2 で45m と異なる。そのため杭打設工は、ケース 1 を杭打船 1 隻、ケース 2 を杭打船 2 隻で計画した。その他は、土質条件の違いによる構造の違いはなく、ケース 1、2 共全く同じである。

(2) 施工方法

本構造物の施工手順は、図 6.21 および図 6.22 に示すとおりである。以下に各工種の概略施工方法を述べる。

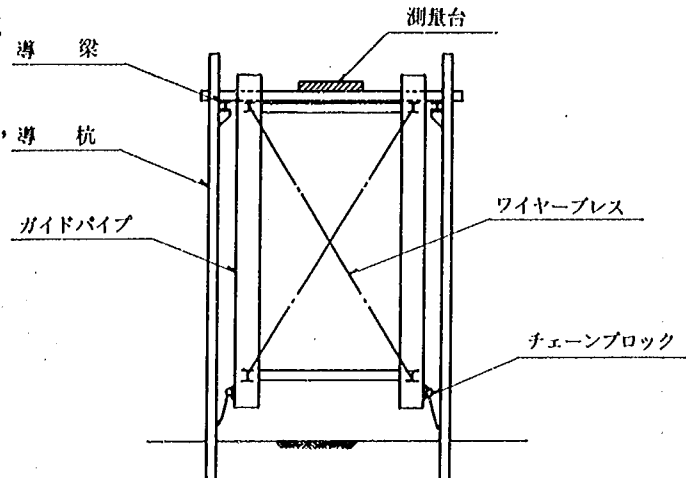


図6.20 導材工

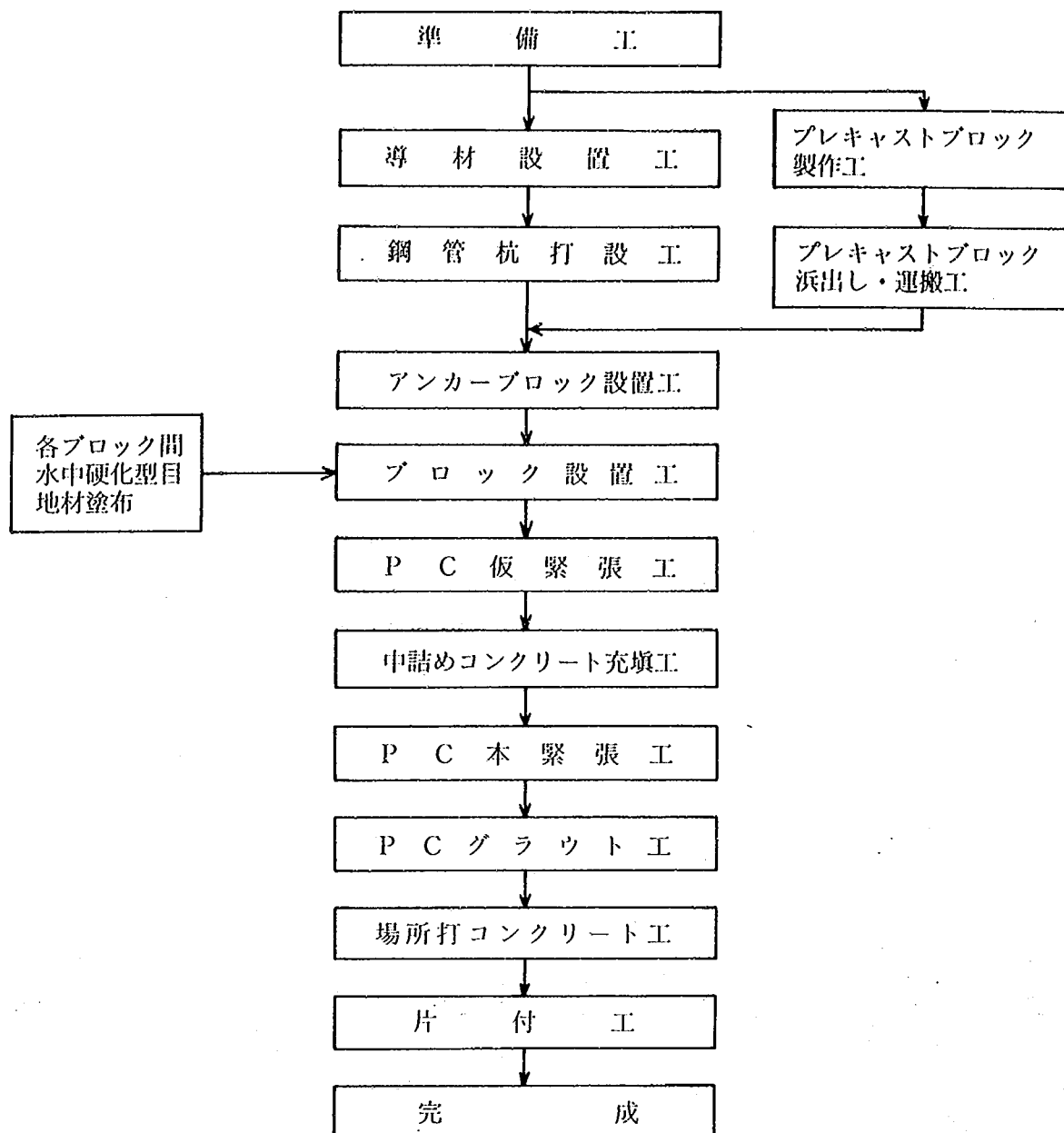


図6.21 施工フロー図

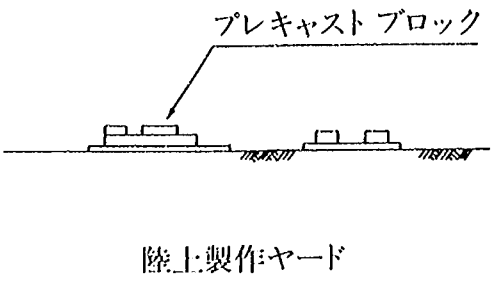
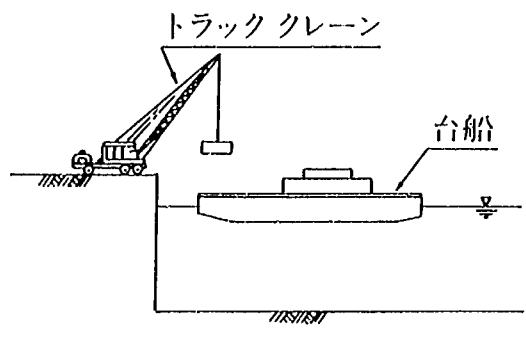
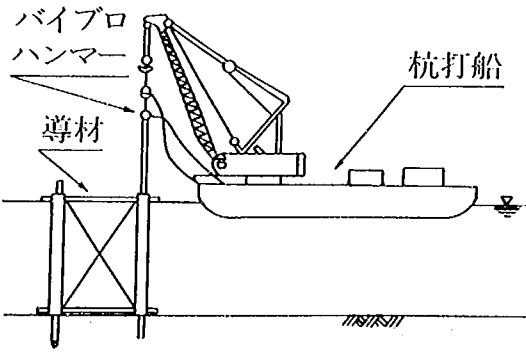
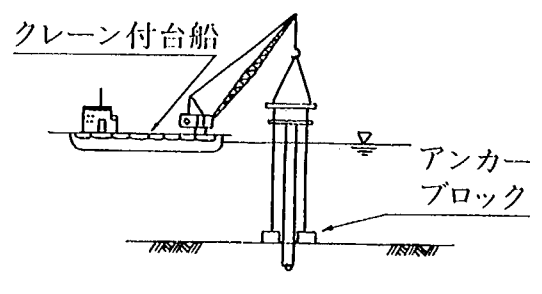
	①プレキャストブロック製作	②バ ー ジ へ 積 込 み
施 工 要 領 図	 プレキャストブロック 陸上製作ヤード	 トラッククレーン 台船
主 な 作 業 内 容	アンカーブロック、梁ブロック、柱ブロック および水平板付梁ブロックの製作。	プレキャストブロックおよび鋼管杭をトラッ ククレーンにより台船に積み込み。引船にて現 地まで曳航運搬する。
主 要 船 舶		台船 (100t積) 引船 (D40PS) 台船 (300t積) 引船 (D180PS)
	③ 杭 打 工	④ アンカーブロックP C 鋼材据付
施 工 要 領 図	 バイブロハンマー 導材 杭打船	 クレーン付台船 アンカーブロック
主 な 作 業 内 容	導材工のパイプに杭を杭打船にて挿入し、バ イブロハンマーにて地盤内へ杭を打設する。 なお、最終打止めはディーゼルハンマー使用。	P C 鋼材を埋め込んだアンカーブロックを杭 に挿入し、吊鉄筋を調整して杭頭で支持し、 所定の位置に吊るす。
主 要 船 舶	杭打船 (D70) 台船 (300t積) 引船 (D180PS) 揚錨船 (D15吊) 交通船 (D50PS) 潜水土船 (D30PS)	クレーン付台船 (100t吊) 台船 (100t積) 引船 (鋼D450PS) 引船 (鋼D40PS) 潜水土船 (D30PS)

図6.22 施工要領図(1)

	⑤ ブ ロ ッ ク 据 付	⑥ 中 詰 コ ン ク リ ー ト 充 填
施 工 要 領 図		
主 な 作 業 内 容	製作ヤードで製作した梁、柱、水平板付梁の各ブロックの接合面に水中硬化型目地材を塗布した後、各ブロックを所定の位置に積上げる。	PC鋼材を少量だけ緊張し、プレキャストコンクリートブロックを仮固定する。この状態で杭とブロックの間に中詰コンクリートを充填する。
主 要 船 舶	クレーン付台船 (100t吊) 台船 (100t積) 引船 (鋼D450PS) 引船 (鋼D40PS) 潜水士船 (D30PS)	非航起重機船 (25t吊) 台船 (200t積) 引船 (D100PS)
	⑦ PC 緊張工シース内グラウト注入	⑧ 上 部 コ ン ク リ ー ト 打 設
施 工 要 領 図		
主 な 作 業 内 容	中詰コンクリートの硬化後、PC鋼材をジャッキで緊張し、プレキャストブロックおよび中詰コンクリートにプレストレスを導入する。シース内をグラウト注入。	最上段の梁の場所打コンクリート部を打設し、完成する。
主 要 船 舶	モルタルフロント台船 (鋼300t) 引船 (D180PS) 潜水士船 (D30PS)	非航起重機船 (25t吊) 台船 (200t積) 引船 (D180PS)

図6.22 施工要領図(2)

① 準備工

プレキャストブロック製作ヤードは、整地された後、アンカーブロック、梁、柱ブロックの各製作エリアを初め、仮建物、資機材置場、その他仮設設備、ブロック仮置エリアに区画される。その区画配置は、海上でのブロック据付工程に合わせ、各ブロックが円滑に供給できるように考慮して決定される。

② プレキャストブロック製作工

各ブロックの型枠は、効率的な転用を考え、鋼製型枠とする。ブロックは、十分な品質管理のもとに製作する。又、ブロックの接合面は、その後の据付精度に影響を及ぼすので、特に注意して管理する。各ブロックの浜出しは、32t積トレーラーで行い、岸壁から100、50t吊トラッククレーンにて300～100t積台船に積み込み現地まで運搬する。

③ 杭打工

杭材は、工場で溶接一本化（ただし、土質条件ケース2では、3本つぎとする。）されたものを搬入し、岸壁に仮置する。その後、バージにより打設現場に運ぶ。杭打には、施工精度と杭打作業効率を高めるため、特別な導材工を用いる。この導材工は、導杭とそれに支えられる4本のガイドパイプを持つ導枠から成る。杭打に先立ち、所定の位置に導杭を打設し、頭部を結構する。その後、導枠をセットし、位置決めする。位置決めは、導枠上の測点を測量して行う。導枠は、上部が導杭の結構材に、下部がチェーンブロックで導杭下部にそれぞれ固定される。この導材工のガイドパイプへ杭を挿入し、最初の4本を打設する。杭打設は、パイプロハンマーで行い、最終打止め時にディーゼルハンマーを使用する。その後、導枠を外し2本のガイドパイプを既に打設された杭に挿入し、隣接する2本を打設する。この繰り返し作業で杭打を進める。

④ プレキャストブロック据付工、緊張工、および場所打コンクリート工

P C鋼材を埋め込んだアンカーブロックを杭に挿入し、吊筋を調整し杭頭で支持し所定の位置に吊るす。ブロック吊込時に、杭頭およびP C鋼材を保護し、吊込を容易にするため、杭頭に鋼製の据付用キャップを取り付ける。その後、梁、柱の各ブロックを所定の位置に積上げる。各ブロックの接合面には、水中硬化型目地材を塗布する。最上段の半断面プレキャストブロック梁をセット後、仮緊張してブロックを仮固定する。仮固定されたブロックと杭の間に中詰コンクリートを充填し、硬化後、本緊張する。最後に、シース内にグラウト注入し、最上段の梁の場所打コンクリート部を打設し完成する。本構造物の数量総括表、主要使用船舶・機械一覧表及び、工程表を表6.18～6.20に示す。

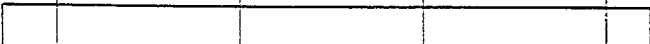
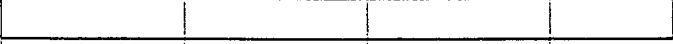
表6.18 数量総括表

種 類	単位	延長 2 0 0 m	備 考		
鋼 管 杭	t	7 8 6	土質条件ケース 1	SKK41	150本
		1 , 8 0 0	土質条件ケース 2	φ800×12t	
		2 8 7	土質条件ケース 1	SKK50	
		2 8 7	土質条件ケース 2	φ800×25t	
P C 鋼 材	t	8 5	φ32 B種 2号		
プレキャストコンクリート	m³	5 , 4 2 2	f'ck=400kgf/cm²		
場 所 打 コ ン ク リ ー ト	m³	2 7 8	f'ck=400kgf/cm²		
中 詰 コ ン ク リ ー ト	m³	1 , 2 6 8	f'ck=400kgf/cm²		
杭 充 填 コ ン ク リ ー ト	m³	9 0	f'ck=240kgf/cm²		
鋼 材	t	1 2 5	SS41		
鉄 筋	t	8 8 0	SD30		

表6.19 主要使用船舶・機械一覧表

船 舶 ・ 機 械 名	仕 様	台 数	
		土質条件 ケース 1	土質条件 ケース 2
杭打船	D-70用	1	2
クレーン付台船	1000t 積, ジブ旋回式100t 吊	2	
非航起重機船	ジブ旋回式25t 吊	1	
モルタルプラント台船	鋼300t	1	
台船	鋼300t	1	2
	鋼200t	3	3
	鋼100t	3	3
引船	D450PS	2	
	D180PS	2	
	D40PS	2	
潜水士船	D30PS (3tウインチ付)	2	
揚錨船	鋼D15t 吊	1	
交通船	D50PS	1	
ディーゼルハンマー	D-70	1	2
バイプロハンマー	90KW	1	2
トラッククレーン	100t 吊, 50t 吊	各 1	
	20t 吊, 10t 吊	各 2	
クローラクレーン	50t 吊, 35t 吊, 25t 吊	各 1	
トレーラー	32t 積	4	
トラック	10t 積	4	
コンクリートポンプ車	30m ³ /hr (随時)	2	

表6.20 工程表

項 目		4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月
準 備 工	一 式	15日 							
ブロック製作工	1,070個			135日					
鋼管杭打設工*	150本				60日				
ブロック据付工	1,070個				110日				
中詰コンクリート工	150ヶ所					110日			
P C 緊 張 工	150ヶ所						110日		
上部コンクリート工	一 式						110日		
片 付 工	一 式								30日 
備 考	*鋼管杭打設は、土質条件ケース1では杭打船1隻、土質条件ケース2では杭打船2隻で行う。								

6.3.5 今後の課題

水平板付スリット型Ⅰは、水平板と鉛直スリットの各々の水理特性を持ち合わせている。その特性は、61年度、62年度の共同研究で行われた規則波、不規則波水理実験によって明らかにされている。実験結果から、本構造の主な特徴は、他の類似構造物に比べ、同等の消波効果を持ちながら比較的波力が小さいことである。ただし、この波力は、非碎波時の規則波による全波力から推定されたものであり、今後、長周期、碎波を含む大波高に対する全波力、部材波力の特性を明らかにし、設計波力の算定法を確立する必要がある。その他、実海域への適用にあたっては、構造物の設置による周辺環境への影響（例えば、洗掘、漂砂、流れなど）、および構造物自身の漂砂制御、侵食防止効果も十分検討しなければならない。また、今回は、土質資料不足により、地震時液状化の検討は行わなかったが、海底地盤が軟弱砂層であるので、実施設計時には十分な検討が必要と考える。

構造上の特徴は、鋼管杭とブロック間の中詰コンクリート硬化後にP C鋼材によって緊張一体化する構造にある。これにより、ブロックの壁厚を薄くでき、中詰部を広くできることによりモルタル注入からコストの安いコンクリート充填への変更が可能となった。更に緊張時の上部反力板も簡単なものでよくなり、コストダウンが図れた。しかしながら、杭打設誤差によって発生する柱体の偏心モーメントに対する対策やプレキャストブロック部と中詰コンクリートとの充分な一体化の方法等、今後研究を進め設計・施工面に反映していかなければならない事項も残されている。これらの検討課題を整理すると表 6.21 となる。

表6.21 水平板付スリット型Ⅰ（ブロックと杭）の現状の技術レベルと今後の課題

項 目	現状の技術レベル	今 後 の 課 題
1. 水理特性 ① 消波効果 ② 波力 ③ 漂砂・洗掘	61, 62年度の規則波, 不規則波実験で透過率0.6, 反射率0.5を満足する基本的な構造諸元を見出した。 非砕波時の全波力について検討した。 未検討。	長周期, および砕波を含む大波高に対する全波力, 部材波力を検討し, 設計波力の算定法を確立する必要がある。 構造物設置による周辺環境への影響を調べるとともに, 漂砂制御や侵食防止効果について検討する必要がある。
2. 構造設計 ① 設計体系 ② 構造部材	「港湾の施設の技術上の基準」に従い, 許容応力度設計法による。また, 最大波高に対して常時扱いで検討している。 PC柱, RCまたはSRC梁を採用している。	限界状態設計法の適用を考え, 適切な安全性の検討方法を確立する。 杭とコンクリートブロックの一体構造物の施工法に合った適切な設計法を開発する。
3. 施工 ① 杭打ち ② ブロック積み	杭打ち精度に課題がある。 海上工事の稼働率が低い。 ブロック間の接合部は, ゴムパッキンまたは水中硬化型目地材を使用している。 ブロックの製作誤差により施工性が悪い。	杭打ち精度が問題とならない構造を開発する。 杭打ち精度を更に上げる杭打設工法や, 適切な導材工の開発を行う。 稼働率を向上させる施工法を開発する。 緊張時, ブロックに偏荷重が作用しない最適な強度, 接着性, 硬化時間を有する材料を開発する。 ブロック製作精度を改善するとともに, ブロックの大型化を図る。

6.4 水平板付スリット型Ⅱ（ブロックと杭）*

6.4.1 構造概要

本構造は、沖側の空隙率を大きくした3枚の鉛直スリット壁と静水面付近に設置した水平板スリットよりなる消波構造モデルを鋼管杭とプレキャストブロックを用いて実用化したものである。

(1) 構造の概要

① 沖側の空隙率0.4の鉛直スリット壁、中央部および岸側の空隙率0.25の2枚の鉛直スリット壁、および各々の鉛直スリット壁をつなぐ梁部材によって構成されている。このうち、汀線方向の上部側の梁は水面直下に配置され、空隙率0.2の水平板の機能も合わせ持っている。3枚の鉛直スリット壁と水平板との複合した消波機能により堤体は低天端でも所定の消波機能を満足する。

② 柱部材は、鋼管杭、プレキャストブロック、P C鋼材および鋼管杭とプレキャストブロック間の中詰コンクリートよりなる合成構造である。設計有義波高の作用時に柱部材に引張力が生じない程度にプレストレスを導入する。また、梁部材はプレキャストブロックによるR C構造である。

③ 堤体は、 $\phi 1000$ の鋼管杭12本で1ユニットを構成している。堤体の汀線直角方向の梁は堤体の下部、中央部および上部に配置され、いずれも3本の杭を同時に連結する。下部の梁は堤体の安定上できるかぎり下方に設置するのが効果的であり、P C鋼材を定着するアンカーブロックのすぐ上に梁ブロックを配置している。堤体の汀線方向の梁は堤体の下部と上部に配置され、いずれも4本の杭を同時に連結する。

プレキャストブロックの1個の重量は施工時の運搬を考慮し、60 t未満となっている。

(2) 特徴

本構造の特徴は次の通りである。

- ① ブロック構造としているため、施工時に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 鋼管とコンクリートの合成構造であり、耐腐食性に優れている。
- ④ 静水面付近の梁部材が堤体の安定性の保持と水平板としての消波機能の両方を果たしており、水理、構造の両面で合理的な構造となっている。

以下に鳥瞰図を図6.23に、構造一般図を図6.24および図6.25に示す。またプレキャストブロック構造図を図6.26に示す。

*執筆：岡 幸夫（飛鳥建設株式会社総合企画本部技術開発部）

岡本 浩（飛鳥建設株式会社総合企画本部技術開発部）

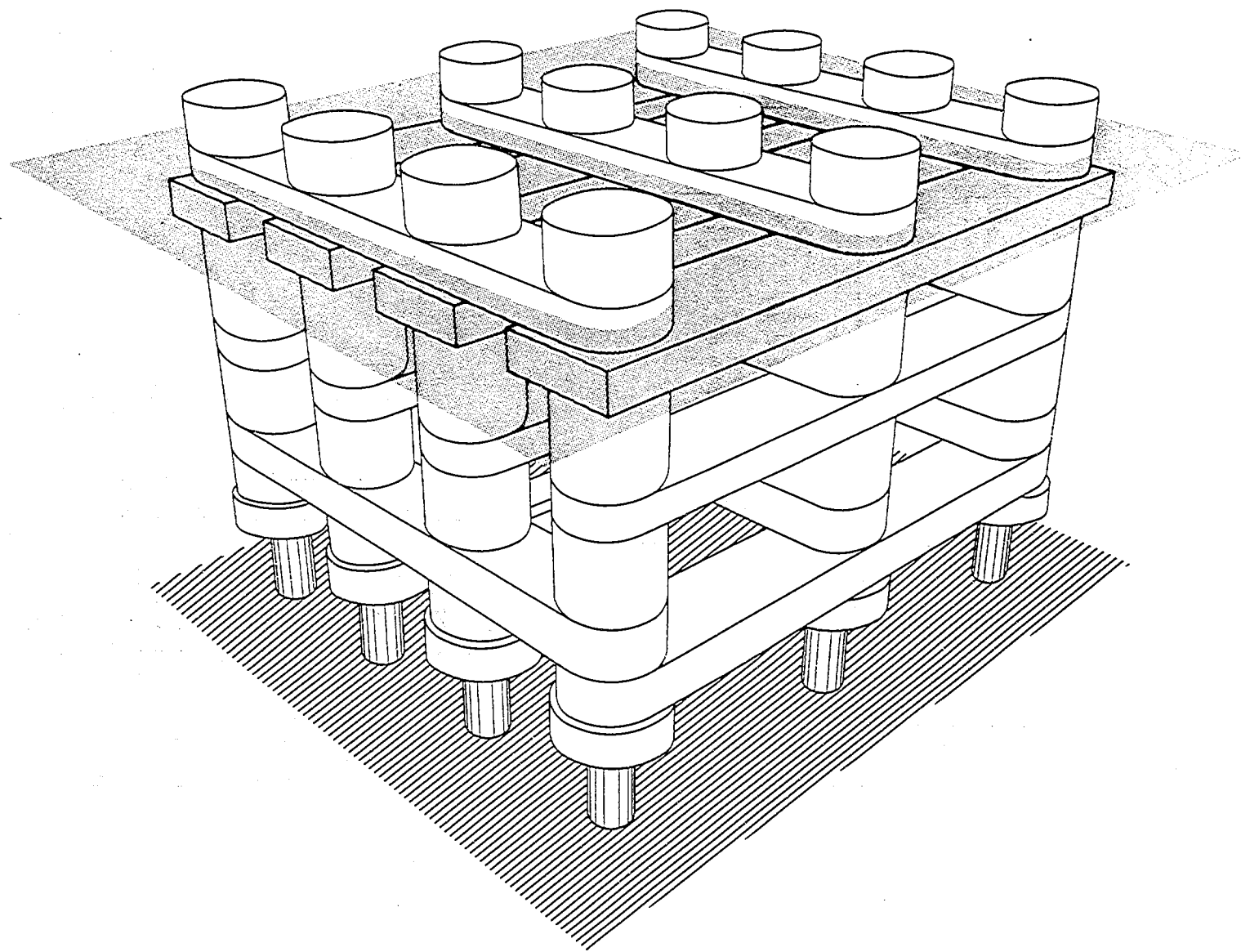
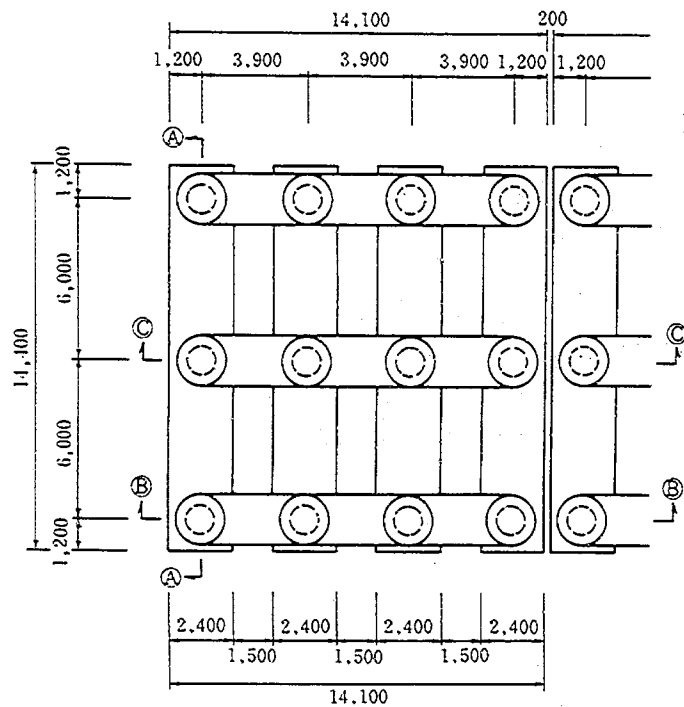


図6.23 水平板付スリット型Ⅱ（ブロックと杭）の鳥瞰図

平面図



①-①

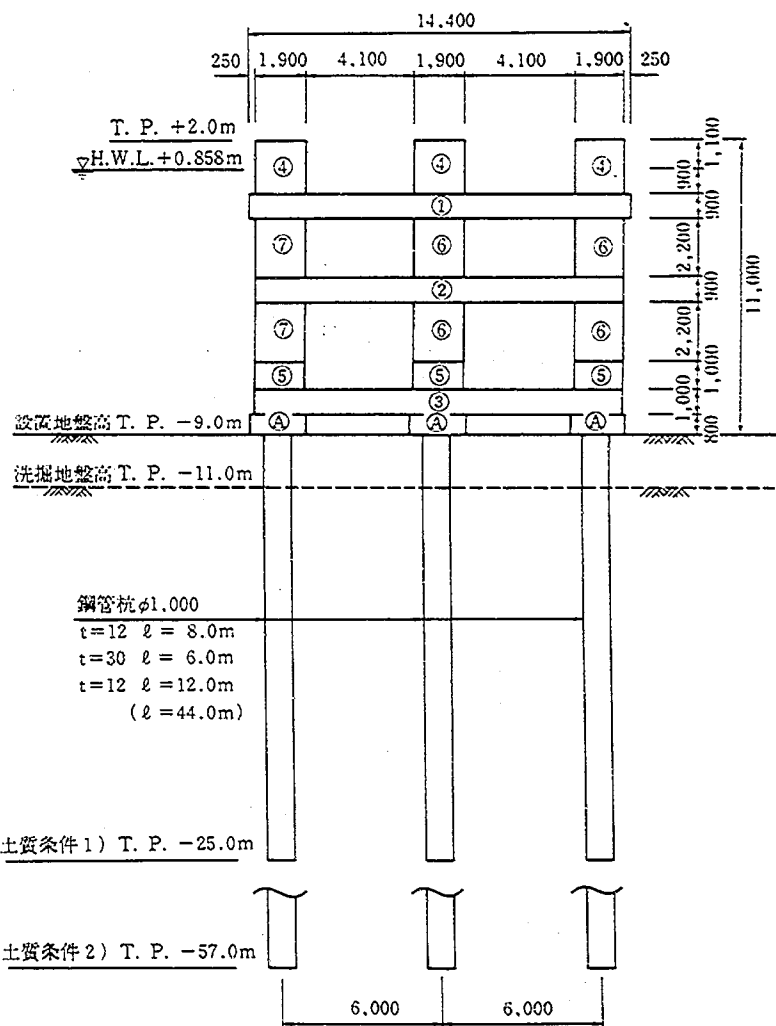
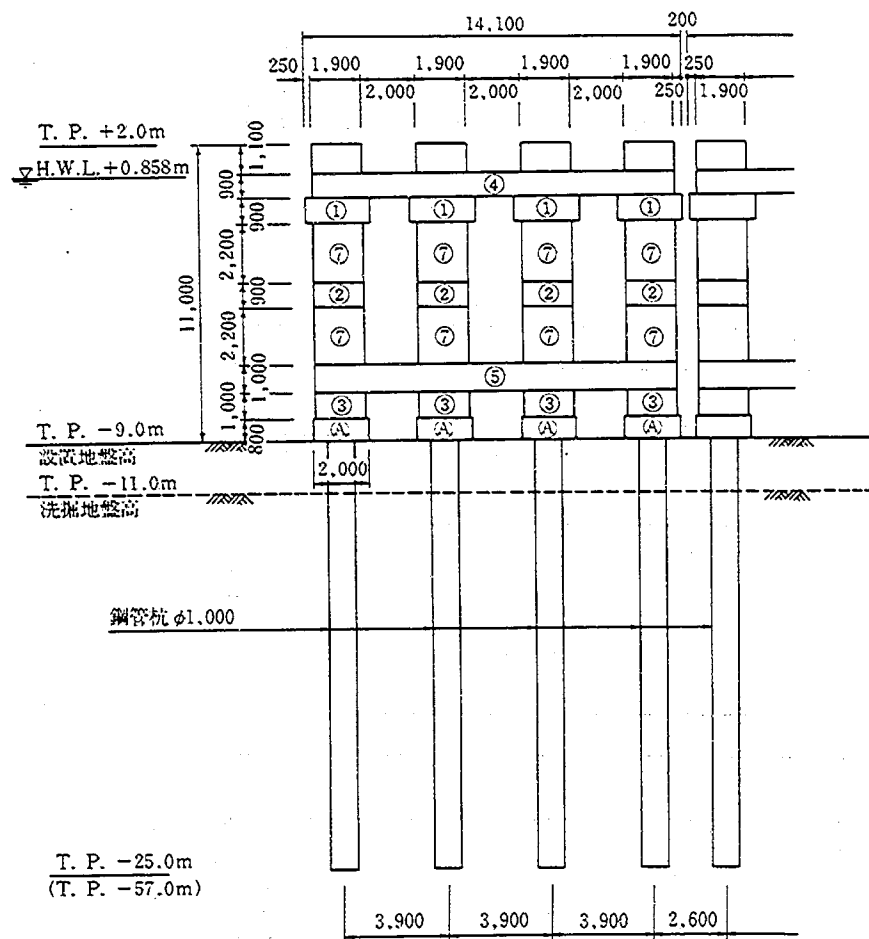


図6.24 構造一般図(1)

Ⓑ-Ⓑ



Ⓒ-Ⓒ

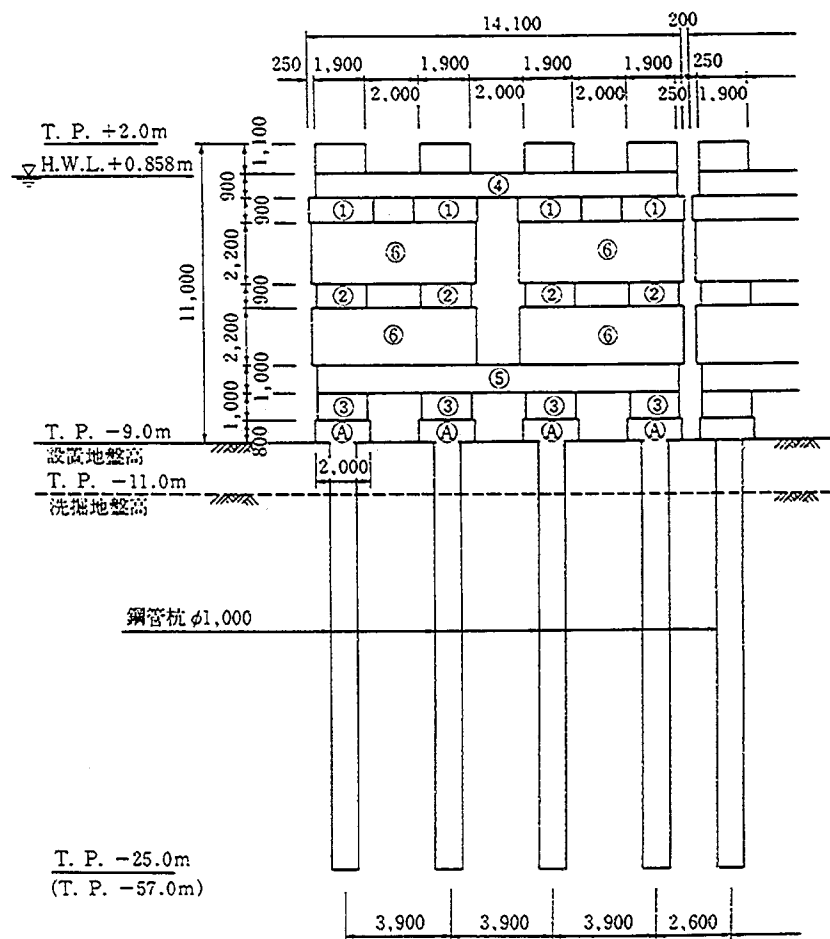


図6.25 構造一般図(2)

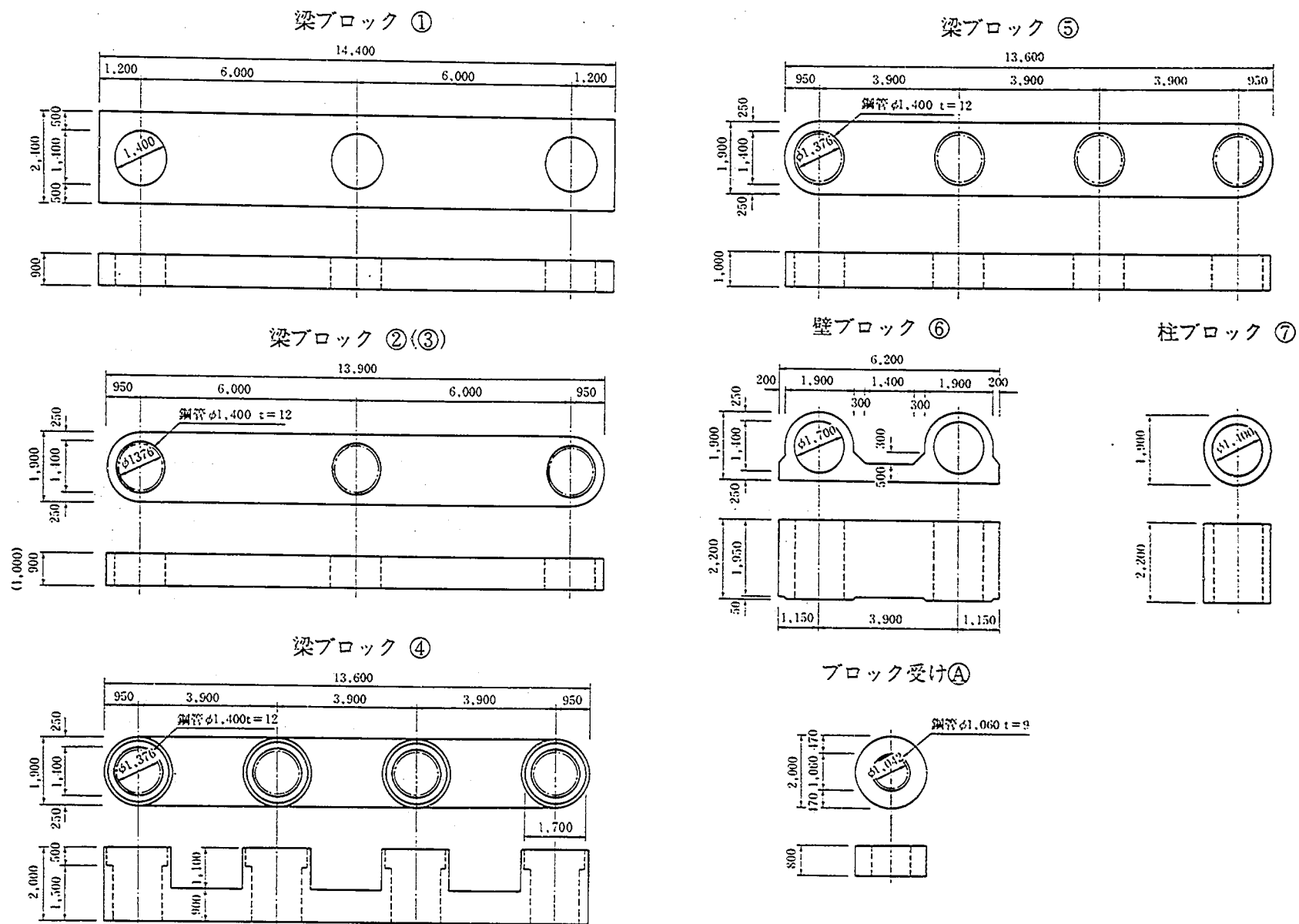


図6.26 プレキャストブロック構造図

6.4.2 構造諸元

3枚の鉛直スリット壁の空隙率がそれぞれ沖側から順番に $\epsilon_{v1}=0.4$, $\epsilon_{v2}=0.25$, $\epsilon_{v3}=0.25$ で、水平板の空隙率が $\epsilon_H=0.2$ の場合の K_T , K_R と B/L の関係を図 6.27 および図 6.28 に示す。

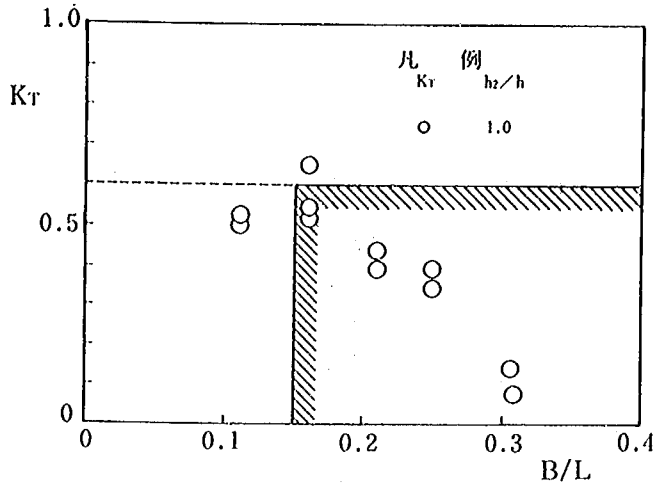


図6.27 K_T と B/L の関係

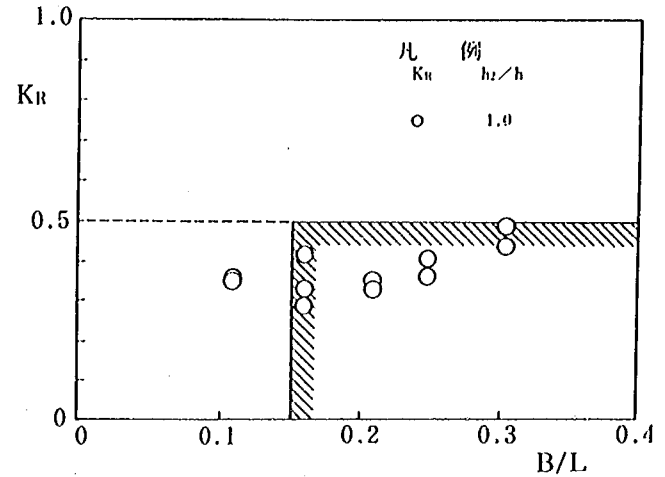


図6.28 K_R と B/L の関係

水深を $h=9.379\text{m}$, 吃水比を $h_2/h=1.00$, 堤体幅を $B=13.9\text{m}$ とすると与えられた波浪条件に対して, 入射波長 L と相対幅 B/L の関係は次のようになる。

$$L \leq 90\text{m} \quad (T=10\text{sec}, \quad h=9.379\text{m} \text{ のとき } L=90\text{m})$$

$$B/L \geq 0.15 \quad (B=13.9\text{m})$$

図 6.27 および図 6.28 より $B/L \geq 0.15$ に対して透過率 $K_T \leq 0.6$, 反射率 $K_R \leq 0.5$ が満足されることがわかる。以上のことから図 6.29 に示すような構造諸元を選定した。

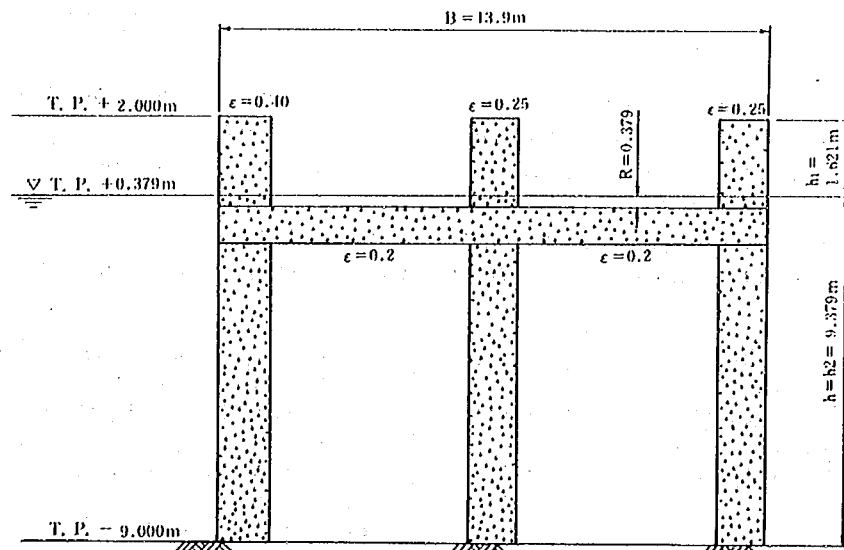


図6.29 選定した構造諸元

6.4.3 設計計算

(1) 設計荷重及び解析法

設計荷重および解析法の概要を表 6.22 に示す。

表 6.22 設計荷重および解析法

荷 重 図																										
波 浪 条 件	波高 H_{max}	7.1 m	波力計算結果 (奥行き 1 m 当り)	$p_1 = 3.87 \text{tf/m}^2$ (合田式 $\times \lambda$)																						
	周期 T	10.0 秒		$p_3 = 3.13 \text{tf/m}^2$ (合田式 $\times \lambda$)																						
	波力低減係数 λ	0.60		$p_4 = 3.18 \text{tf/m}^2$ (合田式 $\times \lambda$)																						
				$p_u = 0.73 \text{tf/m}^2$ ($0.10 w_0 H_D$)																						
				$p_m = 0.55 \text{tf/m}^2$ (モリソン式による 0.55tf/m/本)																						
備 考	1. 低減係数 λ: $\lambda = \lambda_1 (1 - \epsilon)$ ここに, $\lambda_1 = 0.8, \epsilon = 0.25$ $\therefore \lambda = 0.60$ 2. 揚圧力 p_u: $p_u = 0.1 w_0 H_D$ w_0: 海水の単位体積重量, H_D: 設計波高 (H_{max}) 水平波力の最大時に水平部材に作用する揚圧力は, 骨組構造と水平板を組み合わせた既往の実験結果⁴⁾を参考にして, 空隙を含めた全投影面積に対して, 一様に揚圧力 $p_u = 0.1 w_0 H_D$ を作用させた。 3. 横方向地盤反力係数 K_h: $K_h = 0.15 N$ ここに, N: N 値 N 値は以下に示す値を用い, それぞれの土層ごとに横方向地盤反力係数を算定した。																									
	<table> <tr> <th>土質条件 1</th><th>地 盤 高</th><th>N 値</th></tr> <tr> <td></td><td>T.P. - 11.0 ~ T.P. - 18.0</td><td>5</td></tr> <tr> <td></td><td>T.P. - 18.0 ~ T.P. - 25.0</td><td>30</td></tr> </table>	土質条件 1	地 盤 高	N 値		T.P. - 11.0 ~ T.P. - 18.0	5		T.P. - 18.0 ~ T.P. - 25.0	30	<table> <tr> <th>土質条件 2</th><th>地 盤 高</th><th>N 値</th></tr> <tr> <td></td><td>T.P. - 11.0 ~ T.P. - 32.0</td><td>5</td></tr> <tr> <td></td><td>T.P. - 32.0 ~ T.P. - 39.0</td><td>15</td></tr> <tr> <td></td><td>T.P. - 39.0 ~ T.P. - 52.0</td><td>10</td></tr> <tr> <td></td><td>T.P. - 52.0 ~ T.P. - 57.0</td><td>20</td></tr> </table>	土質条件 2	地 盤 高	N 値		T.P. - 11.0 ~ T.P. - 32.0	5		T.P. - 32.0 ~ T.P. - 39.0	15		T.P. - 39.0 ~ T.P. - 52.0	10		T.P. - 52.0 ~ T.P. - 57.0	20
	土質条件 1	地 盤 高	N 値																							
		T.P. - 11.0 ~ T.P. - 18.0	5																							
	T.P. - 18.0 ~ T.P. - 25.0	30																								
土質条件 2	地 盤 高	N 値																								
	T.P. - 11.0 ~ T.P. - 32.0	5																								
	T.P. - 32.0 ~ T.P. - 39.0	15																								
	T.P. - 39.0 ~ T.P. - 52.0	10																								
	T.P. - 52.0 ~ T.P. - 57.0	20																								
4. 解析方法: 平面骨組構造解析 (弾性計算)																										

(2) 極限支持力の算定

極限支持力の算定結果を表 6.23 に示す。

表6.23 極限支持力の算定

	支 持 層	砂 質 土				粘 性 土		極限 支持力 Ru (tf)	最大 引拔力 Rut (tf)
		杭先端地盤のN値 N	杭の先端面積 A_p (m^2)	平均N値 $\bar{N}$	杭周の全表面積 A_s (m^2)	平均粘着力 $\bar{C}_a$ (tf/ m^2)	杭周の全表面積 A_s (m^2)		
土質条件 1	T.P.-25m N値30の砂質土	26	0.78	17	43.9	—	—	960.4	149.2
土質条件 2	T.P.-57m N値20の砂質土	15	0.78	6	144.4	—	—	641.2	173.2

(注) 砂質土と粘性土では、最大せん断強度の発現時期が異なると考え、粘性土の付着力を無視して極限支持力および最大引拔力を算定した。

(3) 支持力に対する検討結果

杭基礎の支持力に対する検討結果を表 6.24 に示す。

表6.24 支持力に対する検討結果

			杭 列 NO.	抗 反 力 R (tf)	許 容 支 持 力 Ra (tf)
支 持 力	土質条件 1	引拔側	1	37.4	49.7
		押込側	3	197.5	384.0
	土質条件 2	引拔側	1	23.4	57.7
		押込側	3	203.1	256.0

(4) 杭基礎の応力算定結果

杭基礎の応力算定結果を表 6.25 に示す。

表6.25 杭基礎の応力算定結果

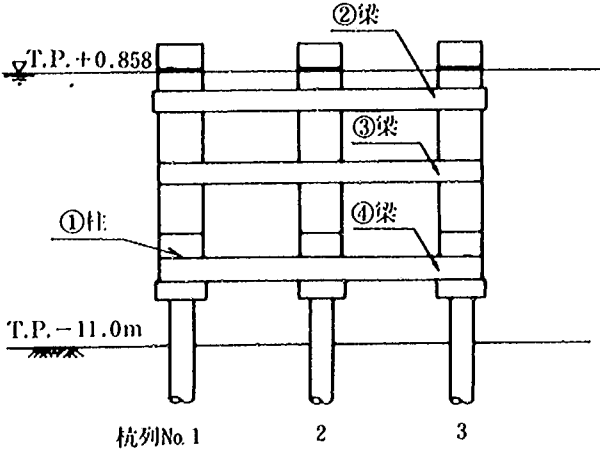
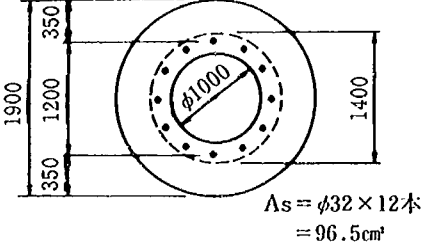
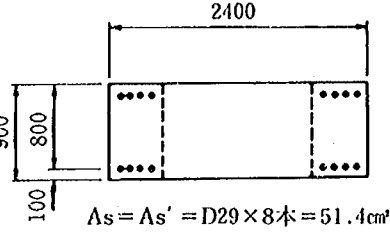
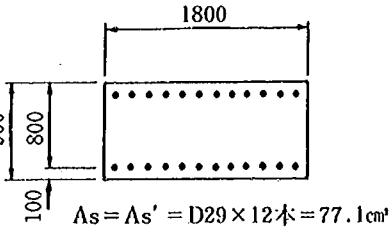
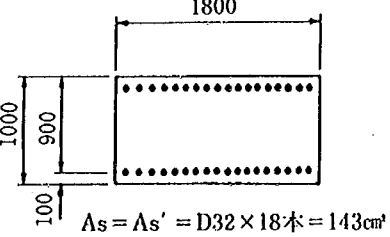
	杭列 NO.	設 計 断 面 力		発生応力度 σ_s (kgf/ cm^2)	許容応力度 σ_{sa} (kgf/ cm^2)	備 考
		軸 方 向 力 N (tf)	曲げモーメント M (tfm)			
土質条件 1	3	188.2	212.8	1317	1400	• T.P.-8.2m(海中中部) • $\phi 1,000$, $t=30$, SKK41 • 腐食代3.0mm
土質条件 2	3	185.1	196.3	1228	1400	• T.P.-8.2m(海中中部) • $\phi 1,000$, $t=30$, SKK41 • 腐食代3.0mm

(注) 座屈長は小さく許容応力度の低減はない。

(5) 主要部材の算定

主要部材断面の検討結果を表 6.26 に示す。

表6.26 主要部材断面の検討結果

 杭列No. 1 2 3			
部 材	断 面 力	部 材 断 面 形 状	備 考
①柱	土質条件 1 M = 231.4tfm N = -48.4tf (軸圧縮力) S = 39.7tf	 $A_s = 32 \times 12 \text{ 本} = 96.5 \text{ cm}^2$	- 骨組部材 - 据付誤差を考慮し、外形から25mm幅差し引いた断面を有効円環断面とした - PRC構造として検討 有効プレストレス量 (土質条件1 -300tf) (土質条件2 -275tf) を軸力として考慮し、RC断面として常時で検討を行った。
	土質条件 2 M = 214.8tfm N = -43.1tf (軸圧縮力) S = 39.8tf		
②梁	土質条件 1 M = 73.6tfm N = 16.3tf (軸圧縮力) S = 24.4tf	 $A_s = A_{s'} = D29 \times 8 \text{ 本} = 51.4 \text{ cm}^2$	- 骨組部材 - 安全を考慮して軸圧縮力は無視して断面算定を行った
	土質条件 2 M = 73.1tfm N = 16.9tf (軸圧縮力) S = 24.2tf		
③梁	土質条件 1 M = 100.3tfm N = 6.9tf (軸圧縮力) S = 38.4tf	 $A_s = A_{s'} = D29 \times 12 \text{ 本} = 77.1 \text{ cm}^2$	同 上
	土質条件 2 M = 98.8tfm N = 7.4tf (軸圧縮力) S = 37.9tf		
④梁	土質条件 1 M = 209.0tfm N = 23.2tf (軸圧縮力) S = 72.7tf	 $A_s = A_{s'} = D32 \times 18 \text{ 本} = 143 \text{ cm}^2$	同 上
	土質条件 2 M = 201.0tfm N = 22.1tf (軸圧縮力) S = 70.1tf		

6.4.4 施工概要

(1) 概 要

本構造の施工に当たっては、海象条件の厳しさや施工精度を考慮し、特に以下の点に配慮する。

- ① 水中での作業を極力減らす。
- ② 杭打精度を確保するために、H鋼による導棒を用いる。

(2) 施工方法

本構造の施工手順は図 6.30、図 6.31 (1)、図 6.31 (2) に示す通りである。以下に各工種の概略施工方法を述べる。

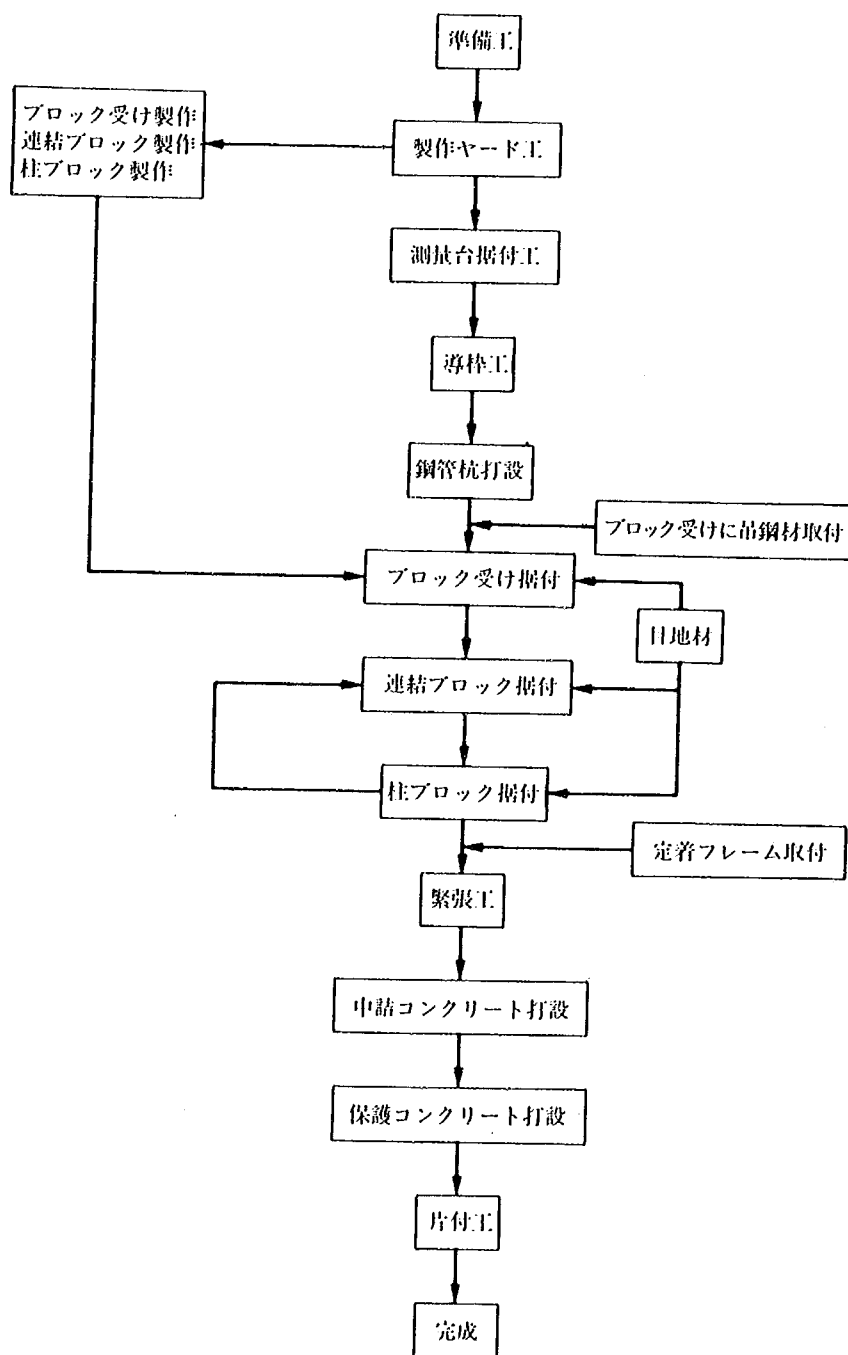


図6.30 施工フロー図

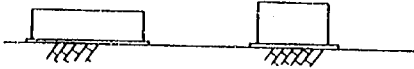
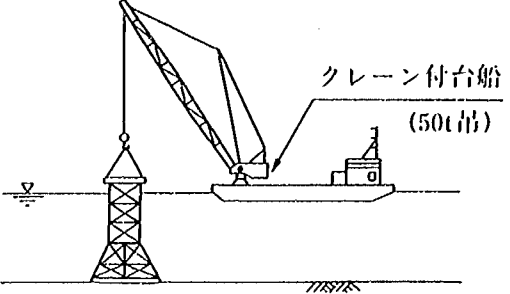
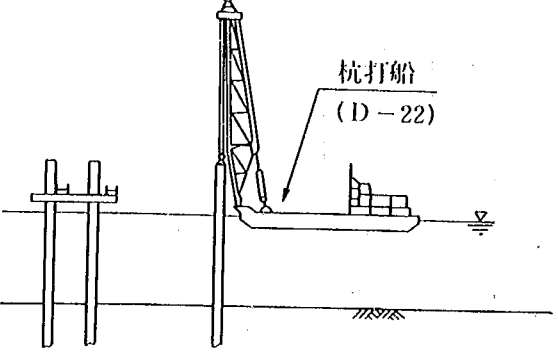
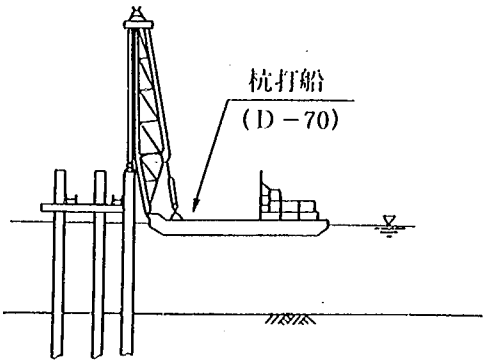
工法	①プレキャストブロック製作	②測量台設置
施工要領図		
主な内容作業	アンカーブロック、梁ブロック、柱ブロックの製作。	杭打設の位置出しのために測量台を設置する。
使用船舶		クレーン付台船(全旋回50t吊), 引船(300PS) 潜水士船(3tウインチ付, 30PS)
工法	③導 樁 打 設	④鋼 管 杭 打 設
施工要領図		
主な内容作業	杭の施工のための導材としてH鋼による導樁を打設する。	ディーゼルハンマーにより鋼管杭を打設する。
使用船舶	杭打船(D22), 引船(250PS) 揚錨船(5t吊, 90PS), 台船(300t積)	杭打船(D70), 引船(800PS), 揚錨船(20t吊, 360PS), 台船(1000t積)

図6.31 施工要領図(1)

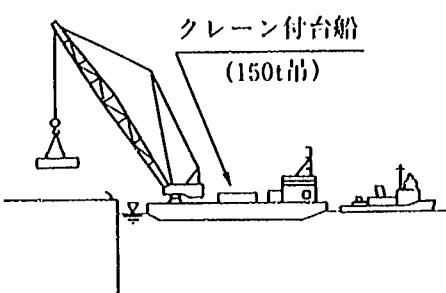
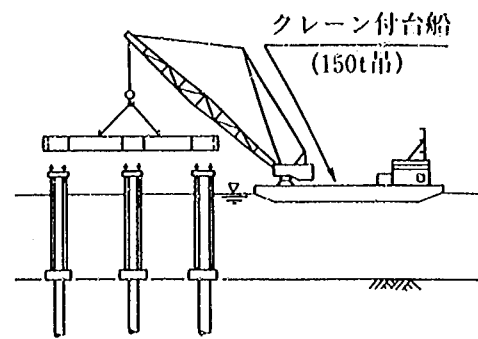
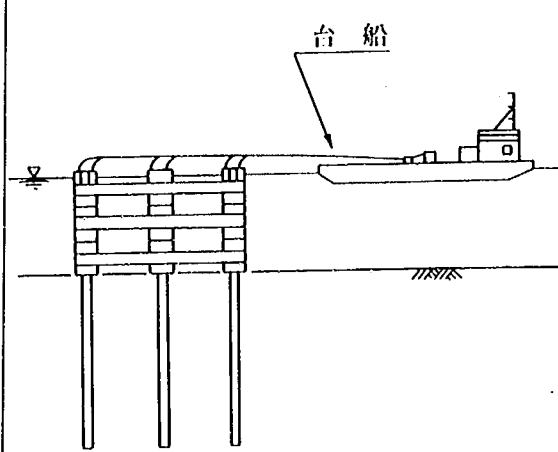
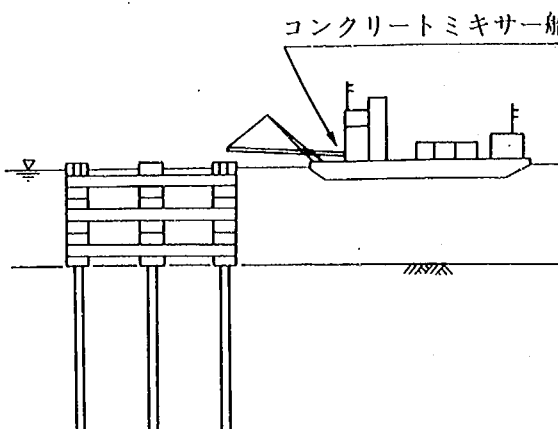
工程	⑤ブ ロ ッ ク 積 込	⑥ブ ロ ッ ク 据 付
施 工 要 領 図		
主 な 内 容 作 業	プレキャストブロックを積み込み運搬する。	アンカーブロック設置後、プレキャストブロックを順次据え付ける。
使 用 船 舶	クレーン付台船(全旋回, 150t), 引船(800PS) 揚錨船(15t吊, 240PS), 台船(500t積) 潜水士船(3tウィンチ付, 30PS)	クレーン付台船(全旋回, 150t), 引船(800PS) 揚錨船(15t吊, 240PS), 台船(500t積) 潜水士船(3tウィンチ付, 30PS)
工程	⑦緊 張	⑧中 詰 コ ン ク リ ー ト 打 設
施 工 要 領 図		
主 な 内 容 作 業	プレキャストブロックの据付け完了後、PC鋼棒をセンターホールジャッキで緊張する。	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。
使 用 船 舶	台船(200t積), 引船(180PS)	コンクリートミキサー船(1.0m³強制練), 引船(800PS), 揚錨船(20t吊, 360PS) 潜水士船(3tウィンチ付, 30PS)

図6.31 施工要領図(2)

① プレキャストブロック製作

陸上製作ヤードにおいてプレキャストブロックを製作する。ブロックの接合面は特に精度が要求されるため、十分な品質管理を行う。

② 測量台設置

構造物設置地点は岸より400m離れており、正確な位置出しを行うため構造物設置予定位置（延長200m）の四隅に測量台を設置する。

③ 導枠打設

杭打精度を確保し、海上での杭打時間を短縮するためH鋼を打設し、導枠を製作し、鋼管杭の打設位置を決定する。

④ 鋼管杭打設

導枠に沿ってディーゼルハンマーにより杭打ちを行う。

⑤ ブロック積み込み

プレキャストブロックを陸上製作ヤードから岸壁まで運搬し、クレーン付台船(150t吊)に積み込む。

⑥ ブロック据付

P C鋼材を吊材としてブロック受けを設置する。ブロック受けおよびP C鋼棒は支持金具により杭頭で支持される。ブロック受けの上へ順次梁ブロック・柱ブロックを据え付ける。このとき、コンクリートと同等以上の強度を有する水中硬化型の目地材を塗布する。

⑦ 緊 張

センターホールジャッキを用いてP C鋼棒を緊張する。

⑧ 中詰コンクリート打設

コンクリートミキサー船を用いてトレミー工法により鋼管とブロックの間に中詰コンクリートを打設する。同時に、P C鋼棒保護のために頂部にコンクリートを打設して構造物が完成する。

本構造物の数量総括表、主要使用船舶・機械一覧表を表 6.27～ 6.28に示す。

表6.27 数量総括表

種 類		単位	延長 200.0 m	備 考
鋼 管 杭	土質条件 1	t	1705	$\phi 1000 \times 12t \sim 30t$ (SKK41) 本数168本
	土質条件 2		3275	
プレキャスト ブロック	コンクリート	m ³	7431	$f'_{ck} = 300 \text{ kgf/cm}^2$
	鉄 筋	t	1188	SD30
	鋼 材	t	294	SS41相当品
中 詰	コンクリート	m ³	1229	$f'_{ck} = 300 \text{ kgf/cm}^2$
	P C 鋼 棒	t	136	SBPD 95/110相当品
場 所 打	コンクリート	m ³	191	$f'_{ck} = 300 \text{ kgf/cm}^2$
	鉄 筋	t	38	SD30
	鋼 材	t	133	SS41

表6.28 主要使用船舶・機械一覧表

船 船 ・ 機 械 名	仕 様	台 数
クローラークレーン	40t吊	4
トラック	4 t	4
杭打船	D-70用 (非航式) D-22用 (非航式)	2 2
ディーゼルハンマー	D-70 D-22	2 2
クレーン付台船	全旋回150t吊 (非航式) 全旋回 50t吊 (非航式)	2 1
台船	1000t 積 500t 積 300t 積 200t 積	4 2 2 4
引船	D800PS D300PS D250PS	4 1 2
潜水土船	D30PS (3tウィンチ付)	2
揚錨船	鋼D20t吊360PS 鋼D15t吊240PS 鋼D 5t吊 90PS	2 2 2
交通船	D50PS	2
センターホールジャッキ	50t用	24
ラムチェアー	50t用	24
分岐バルブ	4 連式	8
油圧ポンプ	50t用12連式	2
発電機	16KVA	2
コンクリートミキサー船	1.0m ³ 強制練	2

また、土質条件1および土質条件2の場合の工程表をそれぞれ表6.29、6.30に示す。なお、土質条件2の場合の工程については鋼管杭打設工の日数が大きくなるために海上作業時期としては5月も含めて検討している。このとき、5月の海上工事の稼働率は波高出現確率に基づき、70%とした。

表6.29 工程表（土質条件1）

項	目	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
準備工	1式	30日									
ブロック製作工	644個				150日						
測量台設置工	4台				8日						
導枠工	14ユニット				20日						
鋼管杭打設工	168本					17日					
ブロック据付工	644個						45日				
緊張工	168セット							24日			
中結コンクリート工	168セット								24日		
片付工	1式									7日	

表6.30 工程表（土質条件2）

項	目	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
準備工	1式	30日									
ブロック製作工	644個				150日						
測量台設置工	4台				8日						
導枠工	14ユニット				20日						
鋼管杭打設工	168本					47日					
ブロック据付工	644個						49日				
緊張工	168セット							24日			
中結コンクリート工	168セット								24日		
片付工	1式									7日	

6.4.5 構造物の適用性と今後の課題

水平板付スリット型消波構造物のうち、3枚の鉛直スリット壁の空隙率を沖側から $\epsilon_{v1}=0.40$ 、 $\epsilon_{v2}=0.25$ 、 $\epsilon_{v3}=0.25$ 、水平板スリットの空隙率を $\epsilon_H=0.20$ とした消波構造モデルについてプレキャストブロックと鋼管杭を用いて実用化した場合の計画事例を示した。本構造は、3枚の鉛直スリット壁をつなぐ静水面下の梁部材が骨組構造部材であるとともに全体として水平板付スリットとしての消波機能を有している合理的な構造である。また、沖側の鉛直スリット壁の空隙率を大きくしているために反射率の低減に対しても有効である。

構造設計上の大きな特徴は、水深が比較的大きく波浪条件も厳しいため、設計有義波高程度の波浪に対して柱部材に引張力が生じないようにプレストレスを導入してひび割れを制限し、耐久性の高い構造にしているところである。ただし、構造物の耐久性に対する考え方は現状では明確でなく、どのような波浪に対して柱部材にひび割れを生じさせない構造にするかは今後の課題である。

今回の設計波力は砕波状態での検証を十分に行ったものでなく耐波設計上は砕波領域での全波力、部材波力の特性を水理実験等により明確にしなければならない。また、構造物の平面配置にともなう波浪や流れの状況の把握や漂砂制御の検討が必要である。上記の課題を合わせて本構造の今後の検討課題を表 6.31に示す。

表6.31 水平板付スリット型Ⅱ（ブロックと杭）の現状の技術レベルと今後の課題

項 目	現 状 の 技 術 レ ベ ル	今 後 の 課 題
1. 水理特性		
①消波効果	・周期6 sec～10sec, 波高1 m～4 mの波に対する透過率・反射率が水理模型実験により求められている。 ・梁部材を水面付近に設置することにより梁部材に水平板的な消波効果を持たせている。	
②波力	・非碎波時の規則波による全波力が水理模型実験により求められている。	・長周期（10sec以上）、大波高（波高10m以上）に対する全波力、部材波力の特性を明らかにする。 ・碎波時の衝撃波圧の特性を明らかにする。
③漂砂・洗掘	・検討していない。	・構造物の平面配置による流れ、波浪および堆砂の特性を検討する。
2. 構造設計		
①設計体系	・許容応力度法による。 ・最大波高に対して常時扱いで検討。	・限界状態設計法により構造の検討を行う。
②構造部材	・P R C柱（設計有義波高に対して引張力が生じないようにプレストレスを導入）、R C梁。	・設計波高と安全率の考え方を明確にする。 ・ひび割れ、疲労強度など耐久性に関する検討。
3. 施 工		
①杭打ち	・杭打ち精度に課題有り。	・杭打ち精度を向上させる工法の開発。

6.5 透過水平板付スリット型 (ケーソンと杭)*

6.5.1 構造概要

本構造は前面、中間、背面の3ヶ所に3枚の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消波ケーソンである。

(1) 構造の概要

- ① 鉛直スリット壁及び水平スリット壁は、それぞれ水理実験に基づく所定の空隙率を有している。
- 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、本体ケーソンを支える杭は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とガイド管による2重構造となっている。
- ③ 杭は鋼管とガイド管の間のモルタルにより固定されている。ケーソン1函の寸法は、延長20m、幅7.5m、高さ9.8mである。また、鋼管杭は1函当たり8本である。

(2) 特 徴

- ① 海上施工を極力減らしたことにより急速施工が可能であり、杭打、中詰工のみが海上施工の中心となる。
- ② 2重鋼管構造による剛性の高いケーソン構造である。
- ③ ケーソン据付後ガイド管内に杭を打つので、杭の位置決めが不要である。
- ④ ケーソン函体と杭の接合に特別の対策をたてる必要がない。

本構造物の鳥瞰図を図6.32に示す。また、構造一般図を図6.33～6.37に示す。

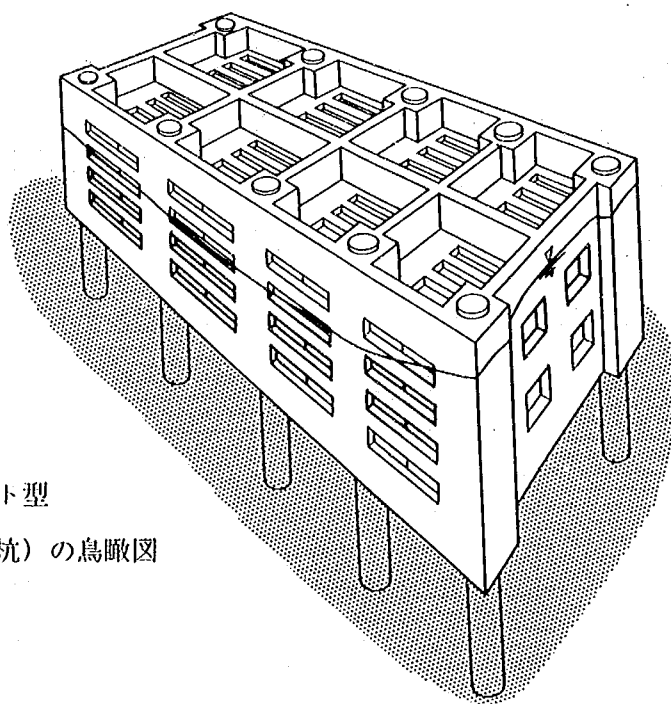


図6.32 透過水平付スリット型
(ケーソンと杭)の鳥瞰図

* 執筆：近藤浩右（五洋建設株式会社技術本部技術部）

小山文男（大成建設株式会社技術研究所）

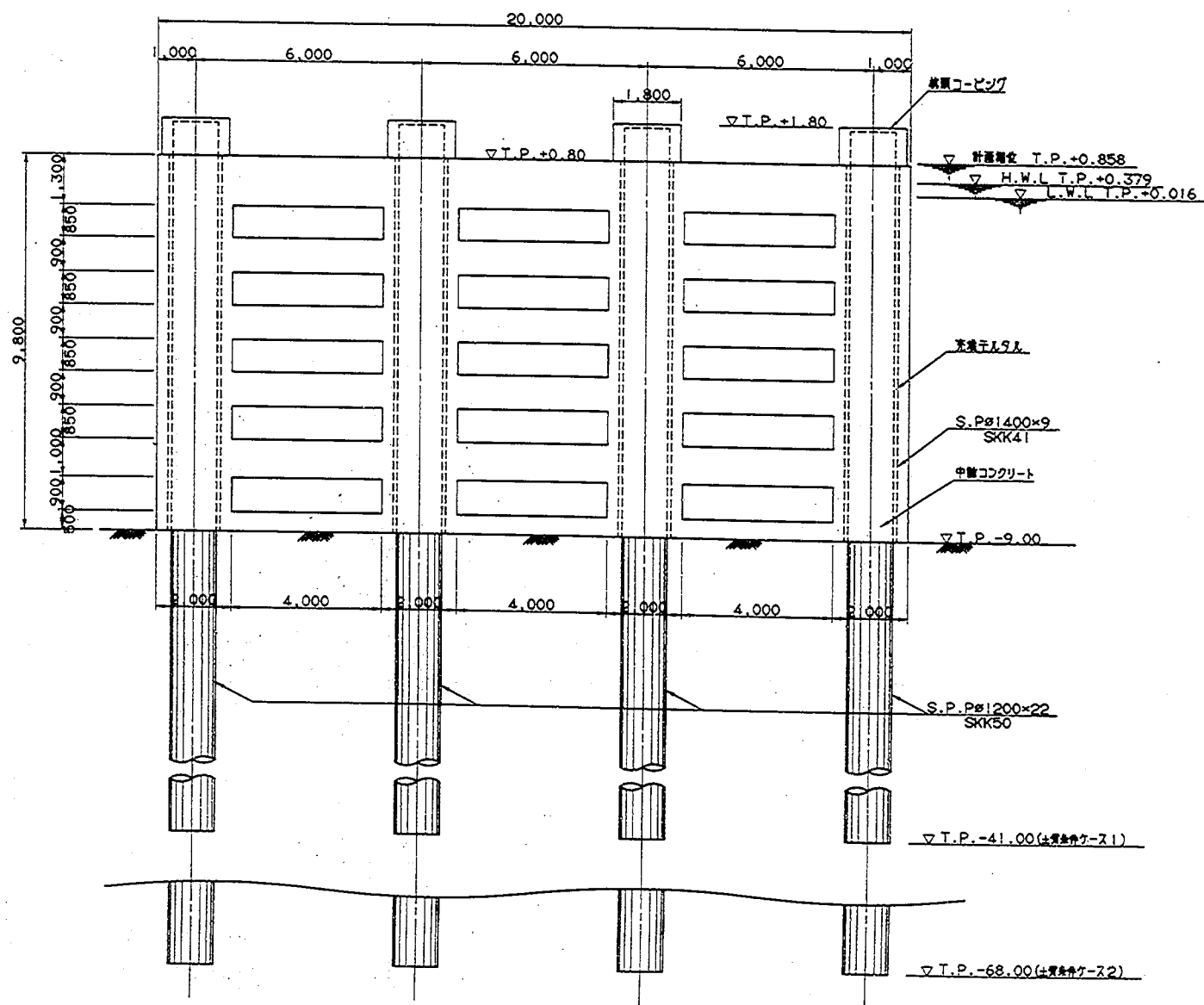


図6.33 正面図

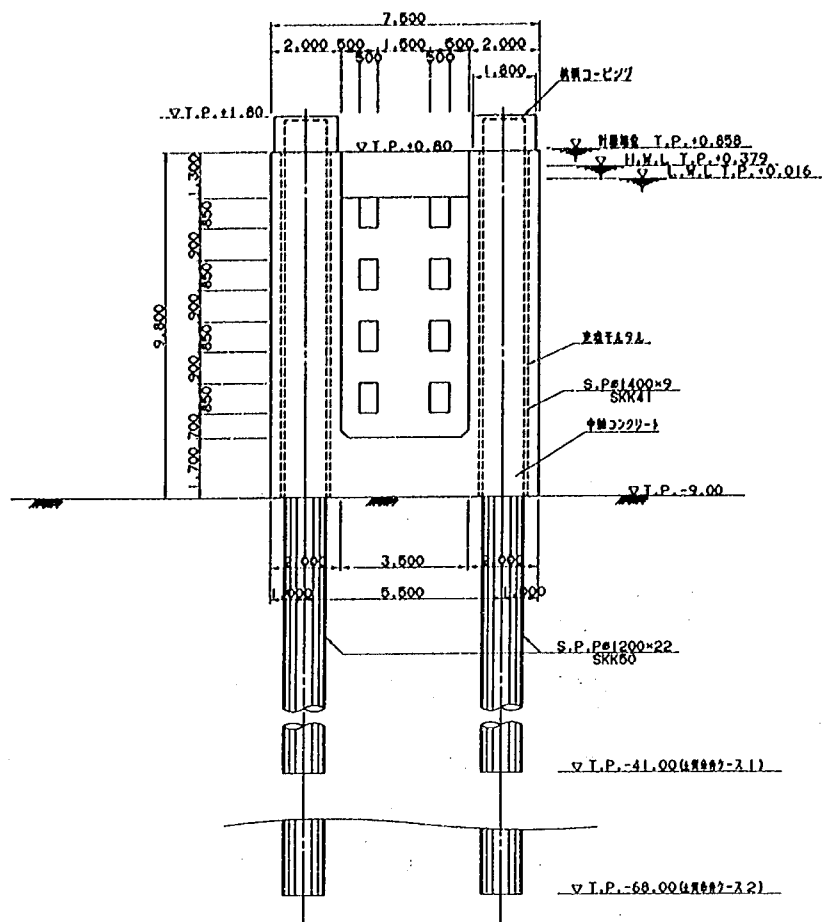


図6.34 側面図

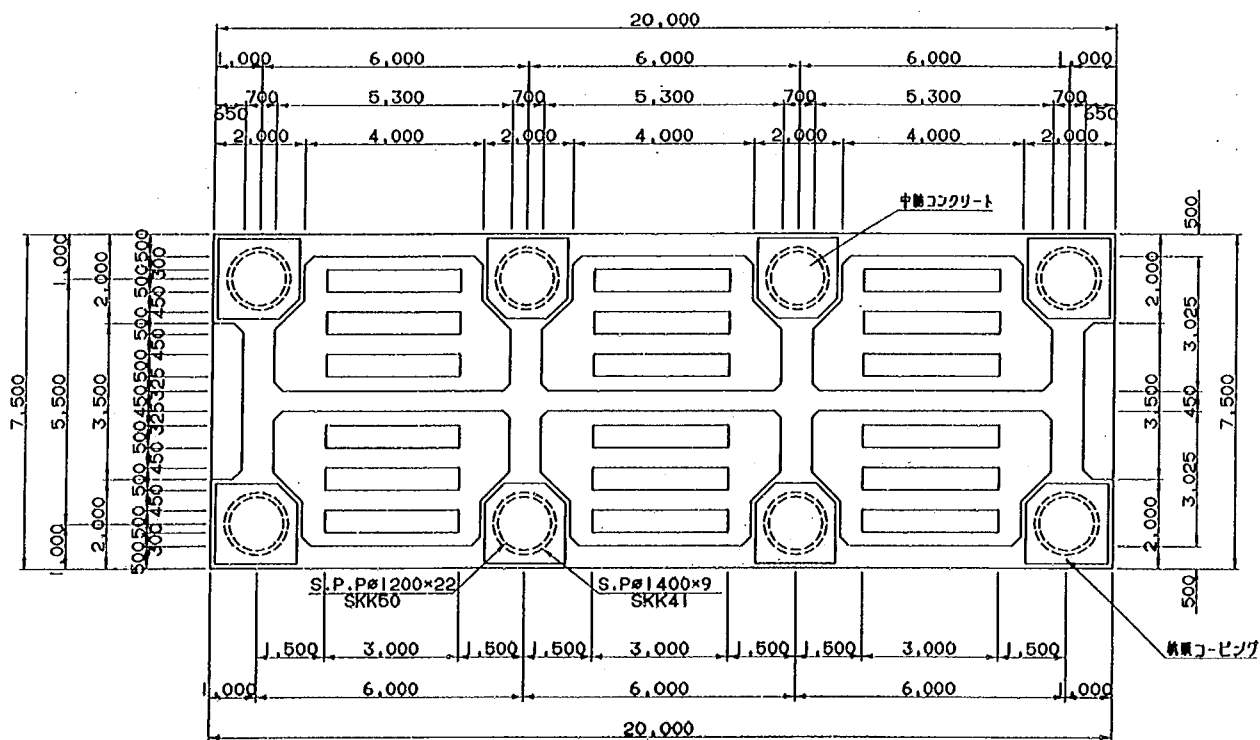


図6.35 平面図

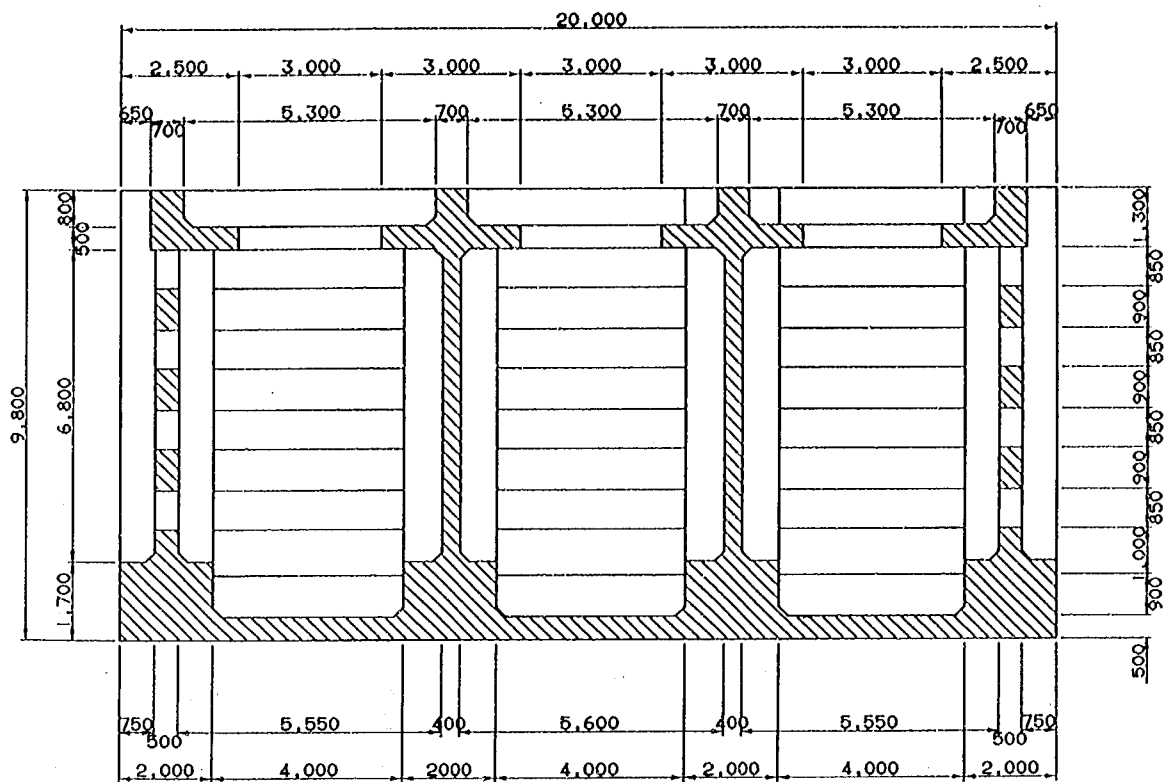


图6.36 縱隔壁断面图

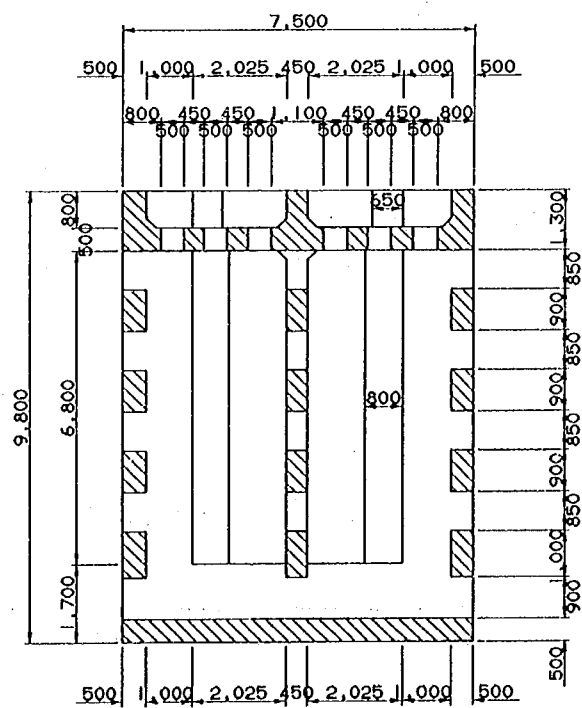


图6.37 横隔壁断面图

6.5.2 構造諸元

スリット壁の空隙率、枚数、位置などの構造物の諸元は水理模型実験に用いたものを基本とし表6.32のように決定した。

表6.32 構造諸元

鉛直スリット壁		水平スリット壁	
空隙率 ϵ_U	0.26	空隙率 ϵ_H	0.18
枚数 N_U	3	枚数 N_H	1
天端高 h_2/h	0	没水深 R/h	0.08

消波性能に関する水理模型実験結果（図6.38）を参考に、堤体幅 B は7.5mとした。このとき対象波浪に対する消波性能は表6.33のとおりであり、消波性能を十分満足する。

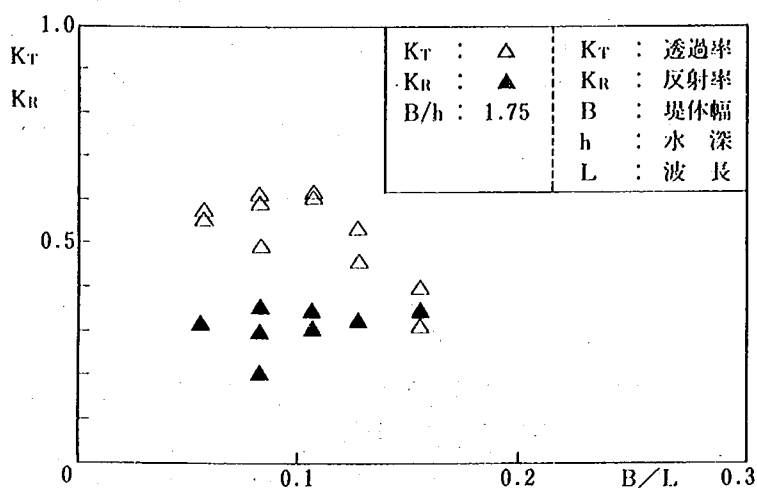


図6.38 K_T , K_R と B/L の関係

表6.33 消波特性

対象波浪		消波性能	
周期 T	10 sec	透過率 K_T	0.55
波長 L	92 m	反射率 K_R	0.30
B/L	0.08	エネルギー損失率 K_L^2	0.61
B/h	0.77		

6.5.3 設計計算

(1) 設計荷重および解析法

設計荷重および解析法を表6.34に示す。

表6.34 設計荷重および解析法

荷 重 図					
波 浪 条 件	波高 Hmax	7.1m	波力計算結果 奥行1m当り	$P_1 = 3.87 \text{tf/m}^2$	合田式 $\times \lambda$
	周期 T	10.0sec		$P_3 = 3.13 \text{tf/m}^2$	"
	波力低減係数 λ	0.6		$P_U = 1.56 \text{tf/m}^2$	"
				$P_M = 0.68 \text{tf/m/本}$	モリソン式杭1本当り
備 考	• 低減係数 ; $\lambda = \lambda_1 (1 - \epsilon)$ ここに, $\lambda_1 = 0.8$ $\epsilon = 0.25$ $\lambda = 0.6$ • 揚圧力 ; 合田式$\times \lambda$の揚圧力を等分布換算した。 • 部材荷重 ; $P_{Bi} = \alpha_{Bi} w_0 H_{max}$ w_0 ; 海水の単位体積重量(t/m^3) H_{max} ; 設計波高(m) α_{B1} (スリット壁) = 0.75 α_{B2} (前壁上部, 頂版) = 1.0 α_{B3} (中間スリット) = 0.5 ただし, α_{B3}は2重横スリットの文献を参考にした。 • 横方向地盤反力係数k_h ; $k_h = 0.75 \text{kgf/cm}^3$ • 解析方法 ; 杭頭剛結, 突出長のある平面組杭で解く。 • ケーソン1函 ($7.5^B \times 20^L \times 9.8^H$) に作用する外力 ΣH (水平力) = 686tf ΣM (モーメント) = 3480tfm ΣV_0 (鉛直力) = 621tf				

(2) 極限支持力の算定

杭の極限支持力の算定結果を表 6.35 に示す。

表6.35 極限支持力の算定

	支持層	砂 質 土				粘 性 土		極限 支持力 Ru (tf)	最大 引拔力 Rut (tf)
		杭先端地盤のN値 N	杭の 先端面積 Ap (m ²)	平均N値 N	杭周の 全表面積 As (m ²)	平均 粘着力 Ca (tf/m ²)	杭周の 全表面積 As (m ²)		
土質 条件 1	T.P.-29m N値30の 砂質土	30	1.13	24.2	113.1	—	—	1357.2	547.4
土質 条件 2	T.P.-52m N値20の 砂質土	20	1.13	11.6	214.9	—	—	904.8	498.6

(注) 砂質土と粘性土では、最大せん断強度の発現時期が異なると考え、粘性土の付着力を無視して極限支持力および最大引拔力を算定した。

(3) 支持力の検討

杭の支持力に対する検討結果を表 6.36 に示す。ただし、鋼管杭の打設による周面摩擦力の低減は考慮していない。

表6.36 支持力に対する検討結果

土 質 条 件			杭 列 番 号 NO.	杭 反 力 R (tf)	許 容 支 持 力 Ra (tf)
支持力	ケース 1	引拔側	1	180	182
		押込側	2	335	543
	ケース 2	引拔側	1	162	166
		押込側	2	317	362

(4) 杭の算定

杭基礎の応力算定結果を表 6.37 に示す。座屈長が大きいので許容応力度の低減を行う必要がある。A P I の基準によれば、海中に打設したモルタルと鋼管の許容付着応力度 τ として 1.88kgf/cm^2 (26.7p.s.i) が保証されている。この値に基づく杭 1 本当たりの許容付着力は 695tf と算定され、杭に発生する最大軸力に比べて十分大きい。

表6.37 杭基礎の応力算定結果

土質条件	杭列番号	設計断面力		発生応力度 σ_s (kgf/cm ²)	許容応力度 σ_{sa} (kgf/cm ²)	備 考
		軸方向力 N (tf)	曲げモーメント M (tf)			
ケース1	1	180	273	1603	1851	φ1200 t=22mm SKK50 腐食代3.0mm
	2	335	273	1824	1851	
ケース2	1	162	224	1339	1851	
	2	317	224	1561	1851	

(5) 主要部材の算定

主要部材断面の検討結果を表 6.38に示す。

表6.38 主要部材断面の検討結果

				部 材 名	設計断面力	部 材 断 面 形 状	備 考
				④ 中央部	$M=14.6\text{tfm/m}$		荷重 $q=1.0\text{ }w_0\text{ }H$ 計算 単純バリ $l=3.0\text{m}$
				④ 端部	$M=15.9\text{tfm/m}$ $S=12.8\text{tf/m}$		荷重 $q=1.0\text{ }w_0\text{ }H$ 計算 両端固定 $l=6.0\text{m}$
① スリット壁	$M=7.3\text{tfm/m}$ $S=11.0\text{tf/m}$		荷重 $q=0.75\text{ }w_0\text{ }H$ 計算 両端固定 $l=4.0\text{m}$	⑤ 底版	$M=13.1\text{tfm/m}$ $S=13.1\text{tf/m}$		荷重 $q=0.5\text{ }w_0\text{ }H$ 計算 両端固定
② 中間スリット壁	$M=5.7\text{tfm/m}$		荷重 $q=0.5\text{ }w_0\text{ }H$ 計算 単純バリ $l=4.0\text{m}$	⑥ 下部ハリ			ハリ—SRC構造 $H-912\times 302\times 18\times 34$
③ 柱			ひびわれ防止	⑦ 上部ハリ			ハリ—SRC構造 $H-488\times 300\times 11\times 18$

6.5.4 施工概要

(1) 概 要

外洋における急速施工を可能とし、かつ施工時の信頼性を向上するため、本構造物の施工方法は以下のように工夫されている。

① 設置位置での海上施工を極力減らし、ケーソン据付工、杭打工、中詰工のみで完成断面まで仕上がる。

② ケーソンと杭との接合が単純である。

③ 杭打設はケーソン本体のガイド管を利用した直杭打設である。

(2) 施工方法

本構造物の施工手順は、図 6.39 および図 6.40 に示すとおりであり、以下に各工種の概略施工方法を述べる。

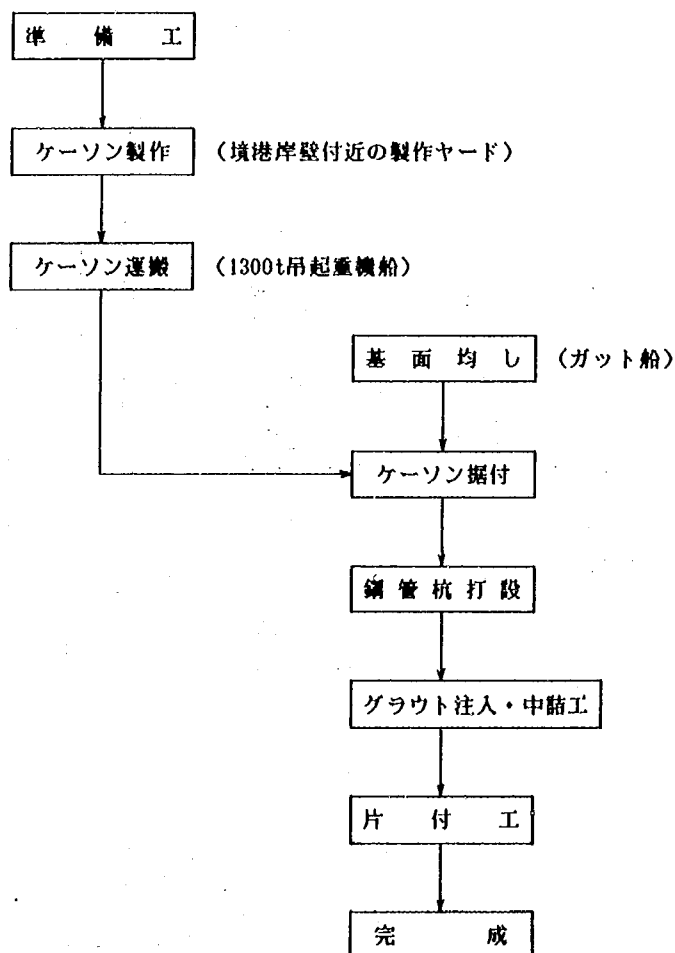


図6.39 施工フロー図

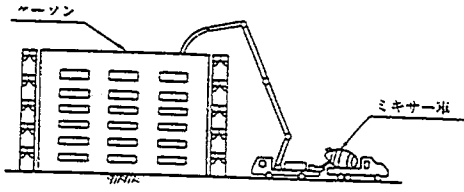
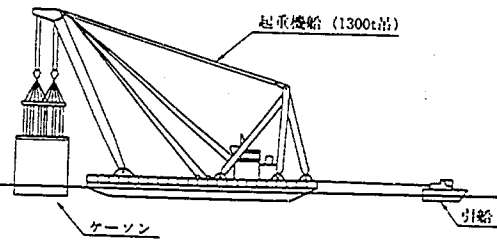
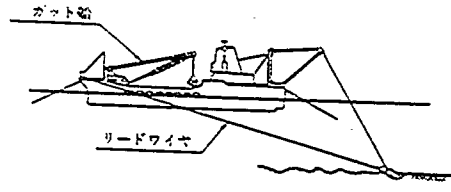
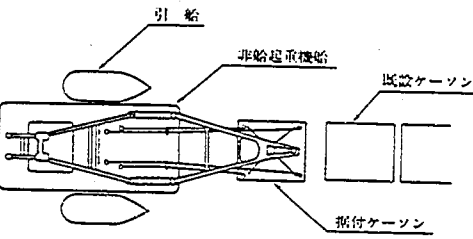
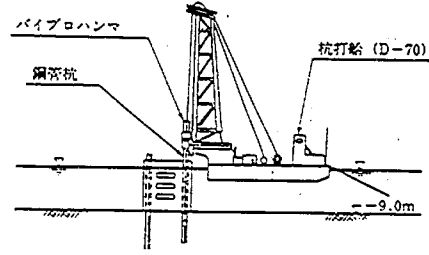
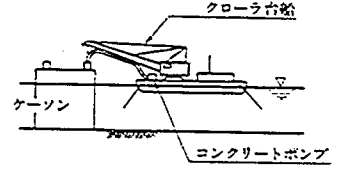
① ケーソン製作 (境港岸壁)	② ケーソン運搬	③ 基面均し
施工要領図 	起重機船 (1300t吊) 	
主 業 内 容	・ケーソン製作 (型枠、鉄筋組立、コンクリート打設)	・ケーソン吊上げ (吊枠、ワイヤーセット) ・ケーソン運搬
使用船船	・引船 (2000PS) ・揚錨船 (20t吊) ・非航起重機船 (1300t吊)	・ガット船 (199GT) ・潜水士船 (3t吊) ・測量船 (100PS)
④ ケーソン据付	⑤ 鋼管杭打設	⑥ グラウト注入・中詰工
施工要領図 		
主 業 内 容	・ケーソン据付 (位置決め、引き寄せ、据付)	・杭打設 (杭積込、運搬、打設)
使用船船	・非航起重機船 (1300t吊) ・引船 (2000PS) ・揚錨船 (20t吊) ・交通船 (100PS)	・潜水士船 (3t吊) ・警戒船 (125PS)
	・引船 (600PS, 800PS) ・杭打船 (D-70) ・揚錨船 (15t吊) ・クレーン付台船 (25t吊)	・台船 (1000t積) ・警戒船 (125PS)
		・クレーン付台船 (25t吊) ・引船 (120PS, 180PS) ・揚錨船 (15t吊) ・ミキサー台船 (18m³積)

図6.40 施工要領図

① ケーソン製作

ケーソンは、境港の岸壁背後地で製作できるものとし、コンクリートの打設は形状を考慮して5段打ちとする。

② ケーソン運搬

ケーソンは、起重機船（1300t吊）にて吊上げて、現地（境港より13km程度）まで曳航し据え付ける。また、引船は2000psを2隻とする。

③ 基面均し

ケーソン据え付け位置の基盤面をガット船により敷均し、潜水士が確認する。

④ 鋼管杭打設

ケーソン据え付け後、杭打船（D-70）を使用し、バイプロハンマーにて杭を打設する。杭打設後、杭頭部を固定する。

⑤ グラウト注入および鋼管杭内中詰工

鋼管杭打設後、グラウト（無収縮モルタル）をクレーン付台船（簡易プラント搭載）にて注入する。鋼管内中詰めは、エアリーフトで管内土砂を排除した後、コンクリートを打設する。

本構造物の数量総括表、使用船舶・機械一覧表および工程表を表6.39～表6.41に示す。なお、工程表については杭打船などの数量の調整により、土質条件ケース1とケース2は同一となっている。

表6.39 数量総括表

種 類		単位	延長 200m	備 考
鋼 管	土質条件 ケース1	t	1965	本数72本 S.K.K.50 $\phi 1200$ L=42.7m
	土質条件 ケース2	t	3207	本数72本 S.K.K.50 $\phi 1200$ L=69.7m
場 所 打	コンクリート	m ³	4185	f'ck=240kgf/cm ²
	鉄 筋	t	502	SD30
	ガイド管	t	224	$\phi 1400$ L=9.8m S.K.K.41
中 詰	中詰コンクリート	m ³	882	f'ck=240kgf/cm ²
	グラウトセメントモルタル	m ³	297	f'ck=240kgf/cm ²
	杭頭コンクリート	m ³	225	f'ck=240kgf/cm ²

表6.40 主要使用船舶・機械一覧表

船 舶 ・ 機 械 名	仕 様	数 量	
		ケース 1	ケース 2
杭打船	D-70	1 隻	2 隻
非航起重機船	1300t 吊固定	1 隻	1 隻
クレーン付台船	200t 積, 25t 吊	1 隻	1 隻
引 船	D2000PS	2 隻	2 隻
	D180PS	2 隻	2 隻
	D800PS	1 隻	2 隻
	D600PS	1 隻	2 隻
	D120PS	1 隻	1 隻
ガット船	199GT	1 隻	1 隻
自航揚錨船	鋼D20t 吊	1 隻	1 隻
	鋼D15t 吊	1 隻	2 隻
	鋼D5t 吊	1 隻	1 隻
潜水士船	D30P S, 3t 吊	1 隻	1 隻
交通船	D125PS	1 隻	1 隻
測量船	D100PS	1 隻	1 隻
台船	鋼1000t 積	1 隻	2 隻
トラッククレーン	80t 吊	2 台	2 台
バイブロハンマー	360kw	1 台	2 台
発電機	450kVA	2 台	4 台
	125kVA	1 台	1 台
ミキサー台船	18m³ 積	2 隻	2 隻
グラウトポンプ	350~400ℓ/min	1 台	1 台
グラウトミキサー	600 ℓ	1 台	1 台
水中ポンプ	φ100mm	1 台	1 台
コンクリートポンプ	35m³/h	1 台	1 台

表6.41 工程表

項 目		12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月
準 備 工	1 式	30日 										
ケーソン製作・仮置工	9 函		178日 									
基 面 均 し 工	1900m³							18日 				
ケーソン据付工	9 函							65日 				
鋼 管 杭 打 設 工	72本							65日 				
グラウト・中詰工	1404m³							65日 				
後 片 付 工	1 式									10日 		

6.5.5 構造物の適用性と今後の課題

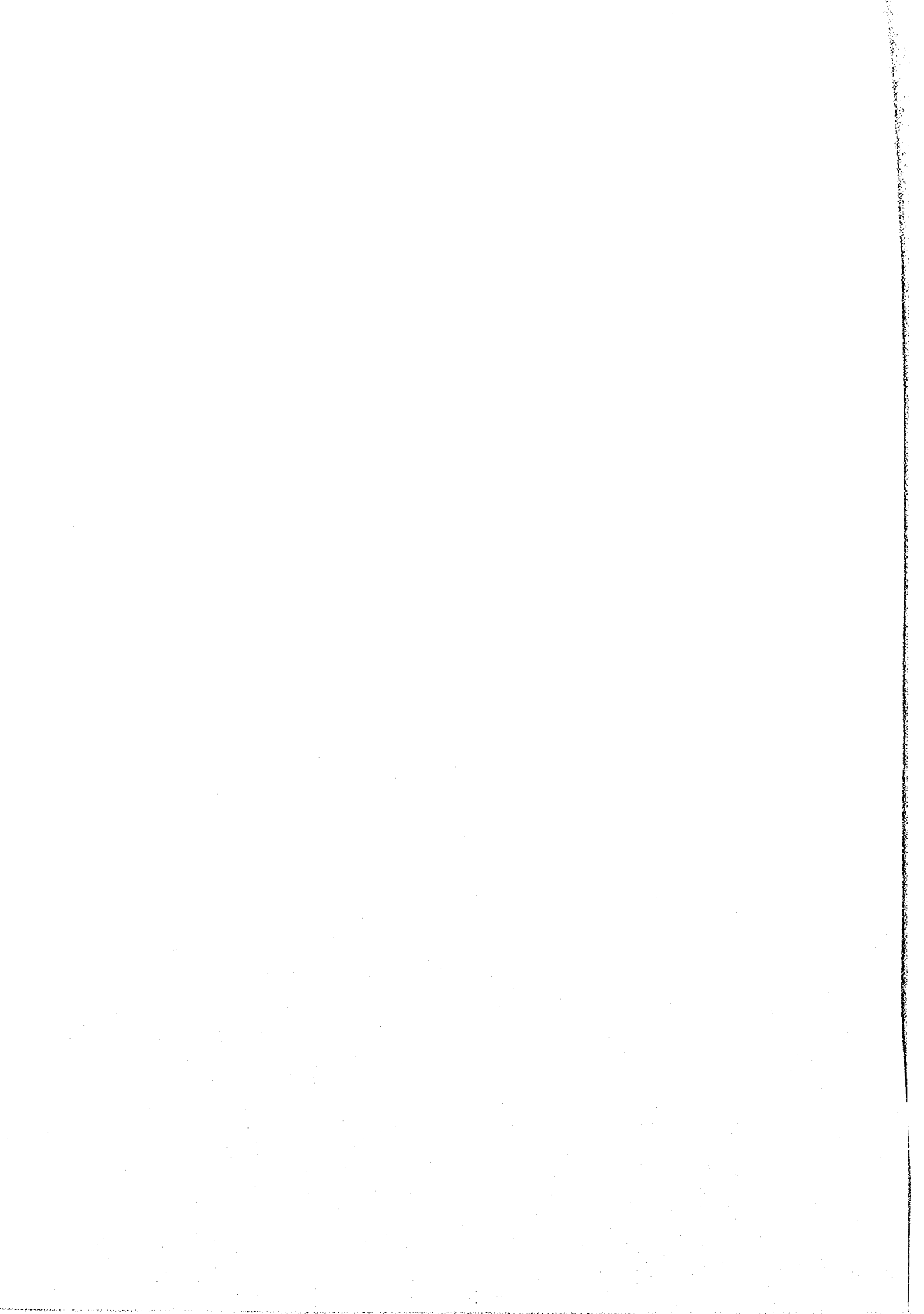
透過水平板付スリット型消波構造物は、構造上すぐれた消波機能をもつとともに、杭基礎により洗掘後も安全性がそこなわれないうように設計されている。また、施工上、とくに外洋における海上作業を安全、迅速かつ信頼性高く行うため、海上施工を極力減らすとともに、杭とケーソンとの接合を単純化した上で十分安全性をもつように工夫されている。従って、これらにより計画地点の事例では、施工性、経済性に優れた構造形式と考えられる。表6.42に示すように、構造物に作用する波力（部材波圧等）、構造物前面の洗掘および構造物設置に伴う背後域の漂砂特性などについても現在検討中であり、今後これらの研究成果を活かして、杭・ケーソン体の耐久性の検討、洗掘対策工法の検討など本構造物の現地適用上の検討を進めることが必要である。

表6.42 透過水平板付スリット型（ブロックと杭）の現状の技術レベルと今後の課題

項 目	現 状 の 技 術 レ ベ ル	今 後 の 課 題
1. 水理特性 ① 消 波 特 性 ② 波 力 ③ 漂砂・洗掘	61年度の実験で透過率0.6, 反射率0.3を満足する基本的な構造諸元を見出した。 非砕波時の全波力については検討済。 現在, 検討中。	長周期, 大波高に対する衝撃的な全波力および部材波力を明らかにし, 設計波力の算定方法を決定する必要がある。 構造物設置による背後の海浜形状の変化や構造物周辺の洗掘状況を明らかにし, 漂砂制御や侵食防止効果について検討する必要がある。
2. 構造設計 ① 設 計 体 系 ② 構 造 部 材	「港湾の施設の技術上の基準」に従い, 許容応力度設計法で設計。最大波高に対して常時扱いで検討。 R C 構造の版または梁。	限界状態設計法の適用。 洗掘後の杭・ケーソン体の耐久性（疲労・劣化等）の検討。
3. 施 工	現有海上施工技術レベルで十分に対応可能。	洗掘対策工法の検討。

第7章 レンズマウンド型

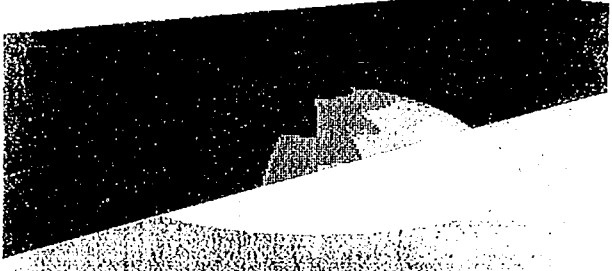
東洋建設(株)	土木本部技術研究所長	大音	宗昭
	土木本部技術部	倉田	克彦
	土木本部技術研究所	松永	博史



7.1 構造概要

本構造は砂、捨石、および被覆ブロックにより構成され、全体が水中に没した球面浅瀬（レンズマウンド）となっている。レンズマウンドの消波構造および構造概要を表7.1に示す。

表7.1 設計・施工検討を行う構造形式

消波タイプ	消波構造・消波特性	構 造 概 要
レンズマウンド型	- 球面状の浅瀬上で、入射波を屈折、集中させ、碎波を強制的に起こさせることにより波エネルギーの消散を図る。 - 入射波の周期（波長）、波高に応じて堤体幅、天端水深を変えることにより所要の透過率を得ることができる。 - 反射率は0.2以下と小さい。	 堤体：被覆石、被覆ブロック、捨石、中詰砂よりなるレンズマウンド 砂：シルト分15%以下 捨石(1)：10～200kgf/個 捨石(2)：200～400kgf/個 被覆ブロック：オルサーブロック2t型 被覆石：1000kgf/個以上

(1) 構造の概要

- ① 堤体は中詰部と被覆層より成る。中詰部は砂から捨石へと徐々に粒径の粗いものを使用し、被覆層からの砂の吸出しを防止する。
- ② 堤頂部では、波が集中し、碎波するため、作用波力が大きくなるので、被覆ブロック（オルサー）2t型を一層整積みとする。
- ③ 堤頂部以外は、ブロックと同じ層厚で1t/個以上の石により被覆する。
- ④ 法尻部に洗掘防止マウンドを設ける。

(2) 特 徴

- ① 主要材料は、砂、石などであるが、中詰材には建設廃材の利用も可能である。
- ② 工種は、盛砂、捨石、均し、ブロック据付けと数少なく、従来の実績のある施工技術で十分対応できる。
- ③ 陸上ヤードは、被覆ブロックの製作、仮置のみで、小さくてすむ。
- ④ 少ない工種の連続作業であるため、安全、かつ迅速に施工できる。
- ⑤ 被覆部が若干散乱したとしても、被覆ブロックまたは被覆石を追加投入するだけで良く、維持管理が容易である。本構造物の鳥瞰図を図7.1に示す。また、構造一般図を図7.2に示す。

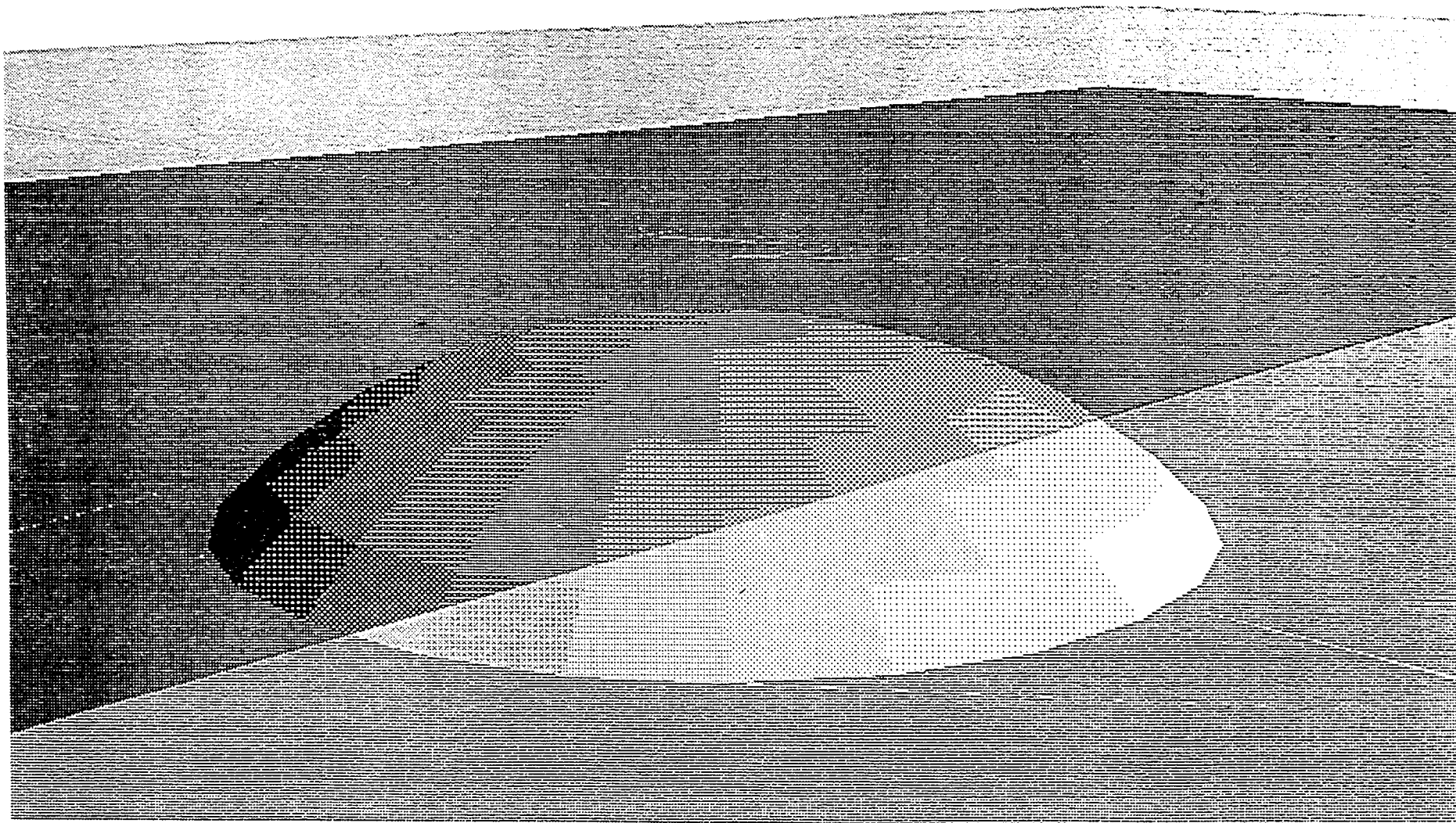


図7.1 レンズマウンド型消波構造物

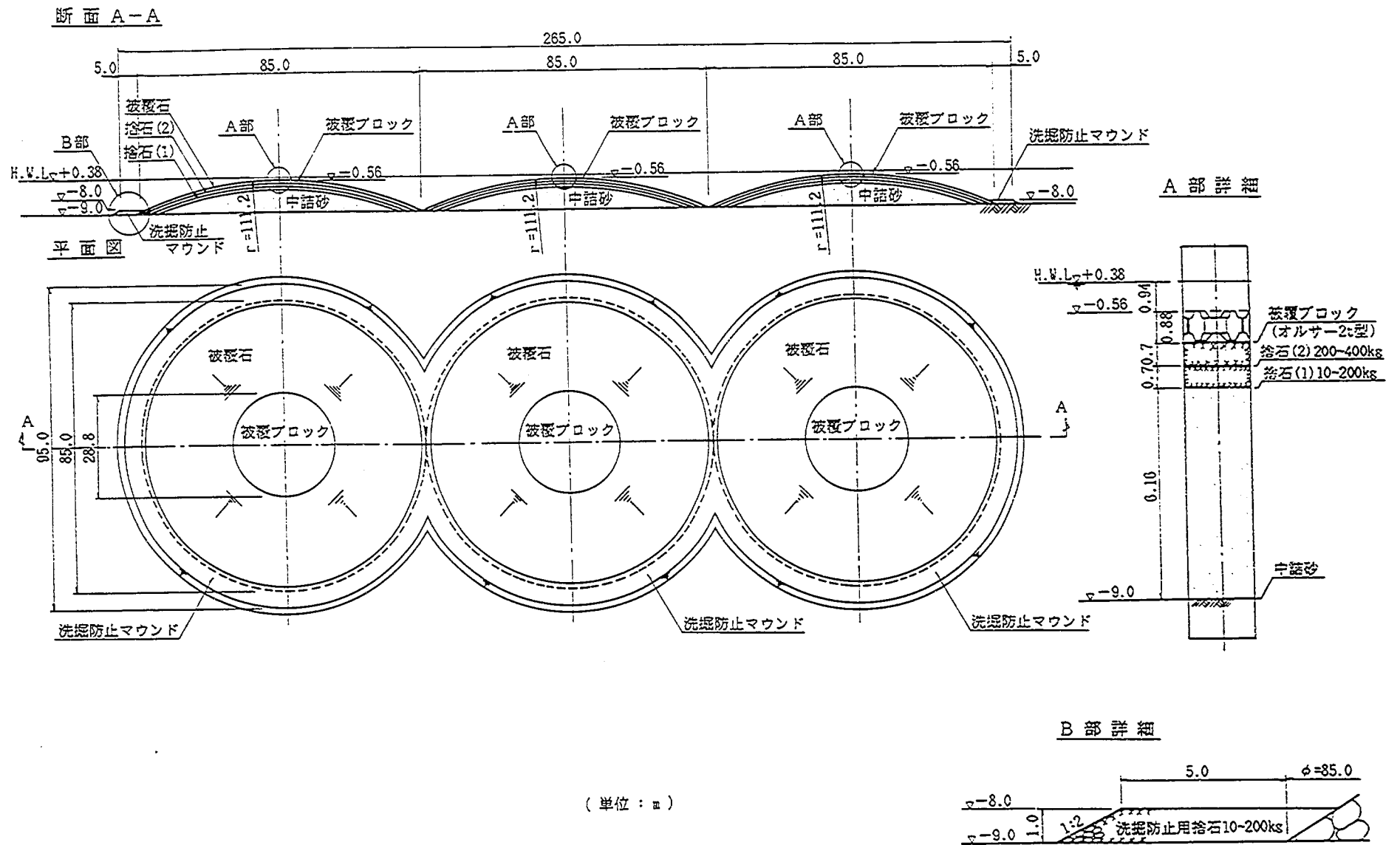


図7.2 構造一般図

7.2 構造諸元

レンズマウンドの構造諸元は、水理模型実験の結果を用いて決定した。実験は図7.3に示す天端水深 R ，堤体幅 B を変えて行った。実験で得られた天端水深比 R/h ，堤体幅波長比 B/L と透過率，反射率との関係を図7.4，7.5

に示す。図によると， $R/h=0.1$ ， $B/L \geq 0.9$ とすれば，透過率 $K_T \leq 0.6$ ，反射率 $K_R \leq 0.5$ を満足することがわかる。この実験結果から皆生海岸での設計条件で構造諸元を決めると図7.6に示す諸元となった。

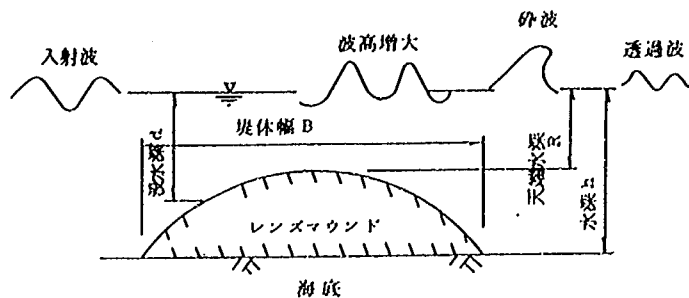


図7.3 記号説明図

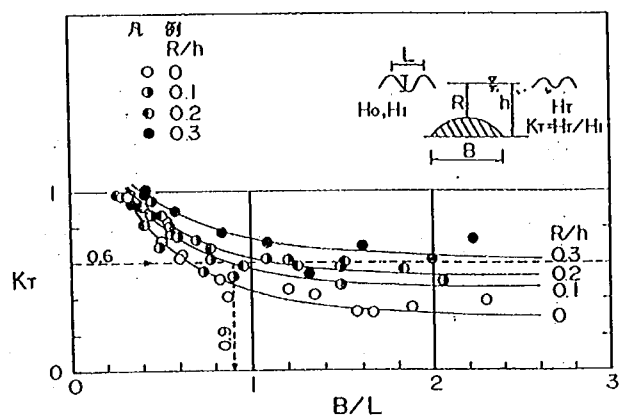


図7.4 透過率

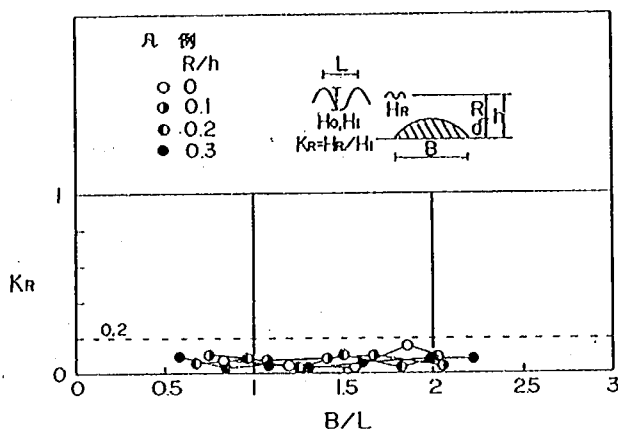
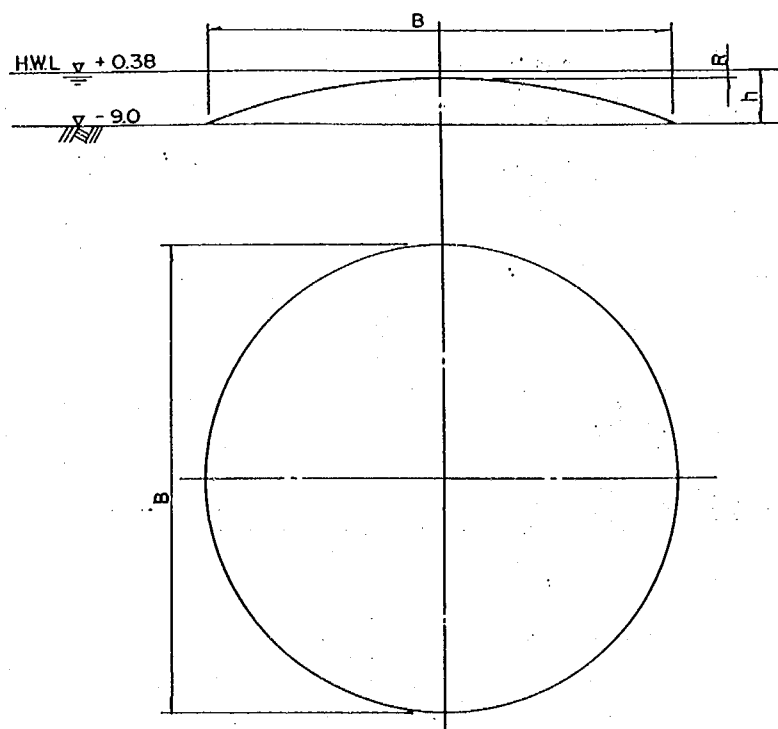


図7.5 反射率



$$\begin{aligned}
 &L = 89.8^{\text{m}} \\
 &R/h = 0.1, h = 938^{\text{m}} \rightarrow R = 94^{\text{m}} \\
 &K_T \leq 0.6 \quad \text{cf. FIG. 7.4} \quad B/L > 0.9 \\
 &B > 80.8^{\text{m}} \rightarrow B = 85.0^{\text{m}}
 \end{aligned}$$

図7.6 構造諸元

7.3 設計計算

レンズマウンドは、主に石材で構成される。堤体の安定性は暴風時の波浪が作用する場合について検討し、地震時については行っていない。

(1) 波浪条件

被覆石および被覆ブロックの安定重量算定のための設計波は、潮位を朔望平均潮位 (H. W. L.) T.P.O. 379mとして5.13節の計画波浪と同様にして求めた。結果を表7.2に示す。これより設計波として以下の値を用いた。

波高 $H_{1/3} = 4.14\text{m}$

周期 $T = 10.0\text{sec}$

表7.2 設計波の諸元

有義波高 ($H_{1/3}$)	4.14m
最高波高 ($H_{\max}$)	7.16m
周 期 (T)	10.0sec
波 長 (L)	89.8m

(2) 捨石などの所要重量算定式

レンズマウンドの被覆石および被覆ブロックの所要重量は、図7.3に示す没水深 d (被覆材の設置水深) と水深 h の比 (d/h) により人工リーフ堤体材料の所要重量算定式 ($d/h > 0.2$)、または法面における表面捨石等の所要重量算定式 ($d/h \leq 0.2$) を用いる。

① 没水深比 $d/h > 0.2$ の場合

$$W = \frac{K_D \gamma_w^3 R^3}{\gamma_d^2 \cos^3 \alpha} \quad (7.1)$$

ここに、

W : 捨石、ブロックの所要重量 (tf)

γ_w, γ_d : 海水、堤体材料の単位体積重量 (tf/m³)

α : 法面と水平のなす角度

K_L : 堤体材料の形状や揚力係数に係わる定数

K_L の値は既往の研究や安定実験を参考にすると0.5程度にすれば良いと考えられる。このときの d は計画潮位時のものを用いる。

② 没水深比 $d/h \leq 0.2$ の場合

$$W = \frac{\gamma_d \cdot H_D^3}{K_D (\gamma_d / \gamma_w - 1)^3 \cot \alpha} \quad (7.2)$$

ここに、

W : のり面における表面捨石などの重量 (tf)

γ_d : 捨石などの空中単位体積重量 (tf/m³)

γ_w : 海水の単位体積重量 (tf/m³)

α : 斜面が水平面となす角度 (度)

K_D : 捨石などの種類によって決まる係数

H_D : 斜面の法先における進行波の波高 (m)

ここに、波高 H_D は構造物設置水深での有義波高 $H_{1/3}$ である。

なお、波力の集中する波の取れん部あるいは堤端部等においてはあらかじめ5割程度重量を割増しておくことが望ましい。堤頂をL. W. L. 付近に有する潜堤の場合には、さらに重量を割増してお

くことが望ましい。

(3) 使用材料、材料の比重と単位体積重量

使用する材料およびその比重、単位体積重量を、表7.3および7.4に示す。

表7.3 使用材料

使用材料	規 格	備 考
砂	シルト分15%以下	中詰砂
捨 石 (1)	10~200kgf/個	中詰雑石、洗掘対策用捨石
捨 石 (2)	200~400kgf/個	吸出し防止用捨石
被 覆 石	1000kgf/個以上	
普通コンクリート	$f'_{ck} = 180\text{kgf/cm}^2$	被覆ブロック製作

表7.4 材料の比重と単位体積重量

名 称	比 重	単位体積重量 (tf/m ³)
砂	2.65	1.8
石 材	2.65	1.8
普通コンクリート	2.3	
海 水	1.03	

(4) 被覆層の安定重量

① 没水深比 $d/h \leq 0.2$ の場合

式(7.1)により安定重量を捨石と被覆ブロックについて算定した結果を表7.5に示す。

ここで、表7.5の安定重量は堤体頂部であることより5割の割増しをしている。重量が1 tf以上の被覆石は入手が困難であるので、2 t型の被覆ブロック（オルサー）を用いる。

② 没水深比 $d/h > 0.2$ の場合

式(7.2)より安定重量を捨石と被覆ブロックについて算定した結果を表7.6に示す。この結果より1 tf/個以上の被覆石を用いる。

表7.5 堤頂部 ($d/h \leq 0.2$) の安定重量

捨 石	4.02tf/個
被覆ブロック	1.47tf/個

表7.6 $d/h > 0.2$ の安定重量

捨 石	0.52tf/個
被覆ブロック	0.72tf/個(1)

7.4 施工概要

(1) 概 要

本構造物の施工は、陸上作業と海上作業に大別される。陸上作業としては被覆ブロックの製作、仮置きのみで、ほとんどが海上作業となる。海上作業の主なものとしては、中詰砂および捨石の投入、均しであるが、これらは従来のガット船、潜水士船によるものとした。作業船の稼働率は作業限界波高を0.5mとし、表5.12、表5.13の波高出現頻度より6月～8月で70%、9月～11月で30%とした。

(2) 施工方法

本構造物の施工手順を図7.7、7.8に示す。以下に各工種の概略施工方法を述べる。

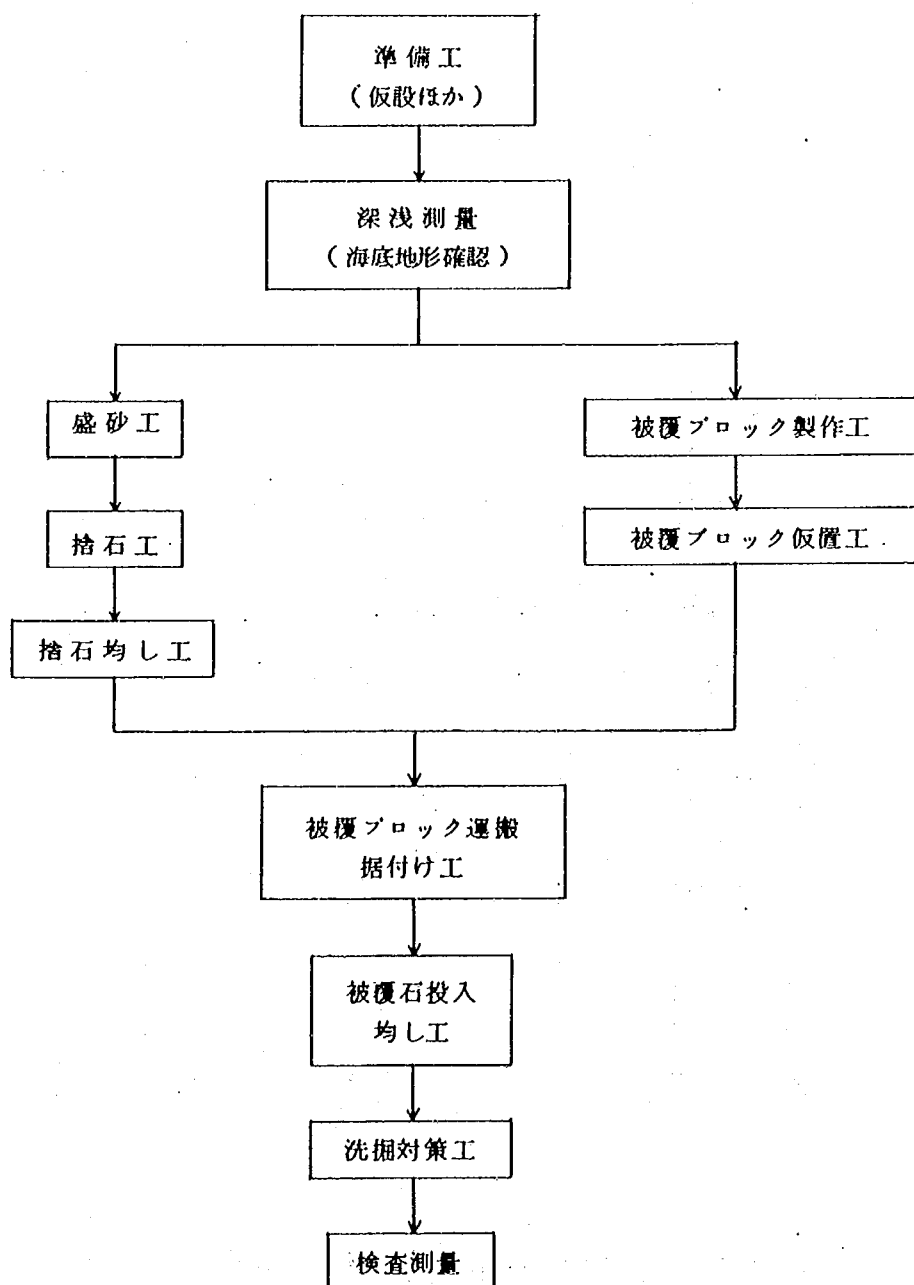


図7.7 施工フロー

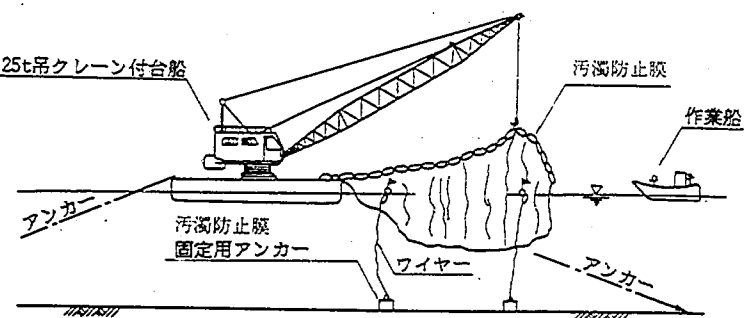
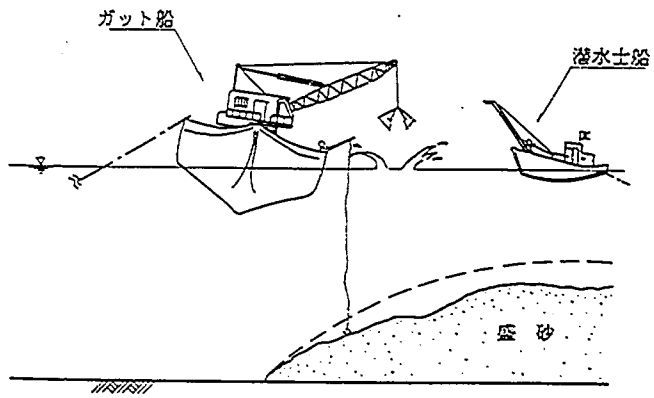
工種	海水汚濁防止工	盛 砂 工
施 工 要 領 図		
主 な 作 業 内 容	あらかじめクレーン付台船により汚濁防止膜固定用アンカーを所定位置に設置する。 クレーン付台船により汚濁防止膜を設置する。 作業船により汚濁防止膜固定用アンカーと汚濁防止膜を連結する。	ガット船により採取した砂を運搬投入する。 潜水土船による投入指示。 均し精度は±30cmとする。
使 用 船 舶 機 械	クレーン付台船 (25t吊) 作業船 (鋼D25ps)	ガット船 (グラブ容量2m³、公称泥艀650m³積) 自航潜水土船 (4.9t、3tウィンチ付)

図7.8(1) 施工要領

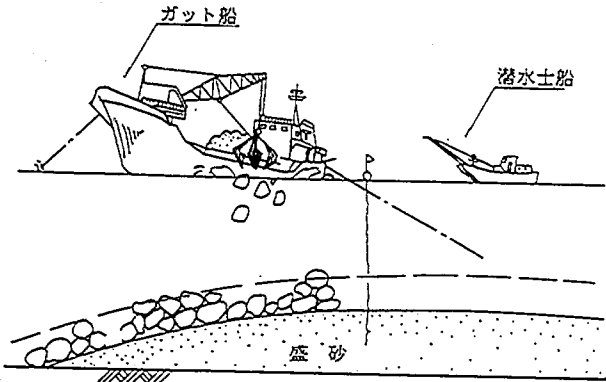
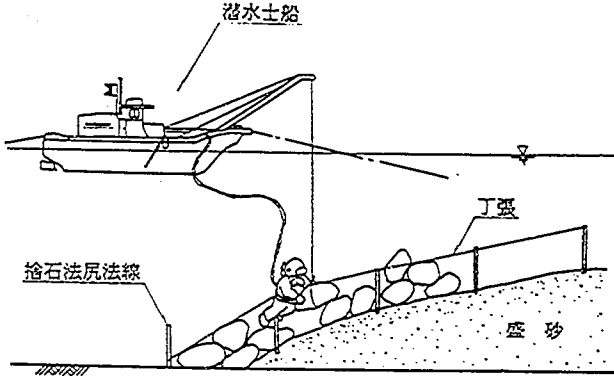
工種	捨 石 工	捨石工および被覆石均し工
施 工 要 領 図		
主 な 作 業 内 容	ガット船により積込、運搬した捨石を潜水土士の指示により投入を行う。	レベル、トランシットにより捨石均し面の丁張を潜水土士により設置する。 丁張に基づき潜水土士による均しを行う。 均し精度は 荒均し $\pm 30\text{cm}$ 表面均し $\pm 20\text{cm}$ (被覆ブロック下)
使 用 船 舶 機 械	ガット船 (2 m³、650 m³積) 潜水土船	潜水土船 (4.9 t、3 tウィンチ付)

図7.8(2) 施 工 要 領

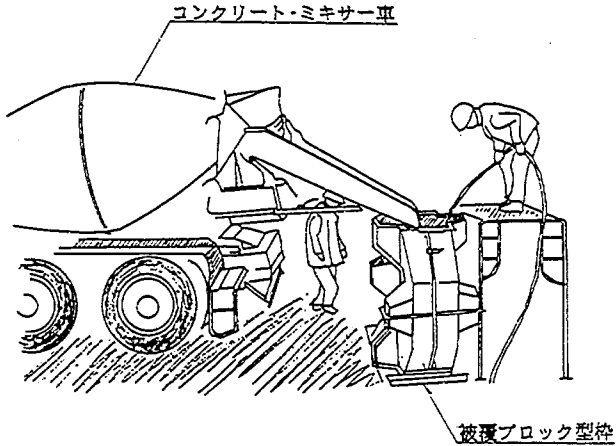
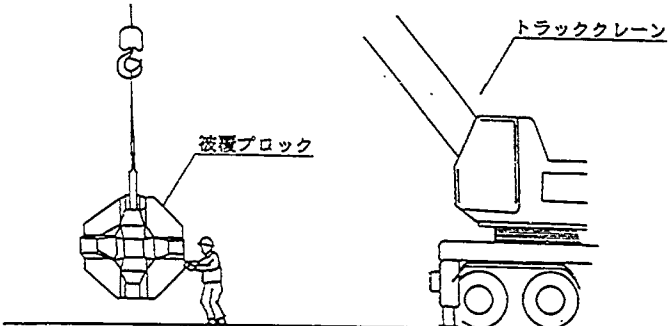
工種	被覆ブロック製作工	被覆ブロック仮置工
施工要領図	 Concrete mixer truck (コンクリート・ミキサー車) is shown pouring concrete into a mold (被覆ブロック型枠). A worker is standing next to the mold.	 A truck crane (トラッククレーン) is lifting a covered block (被覆ブロック) using a hook.
主な作業内容	型枠組立 コンクリート打設、打設後天端均し、スペーシングを行い、気泡、水抜きを行う。 養生	製作されたブロックは養生後、所定の強度を確認して、トラッククレーンにより転置、仮置きを行う。
使用船舶機械	コンクリートミキサー車 バイブレーター	トラッククレーン (15～16t吊)

図 7.8(3) 施工要領

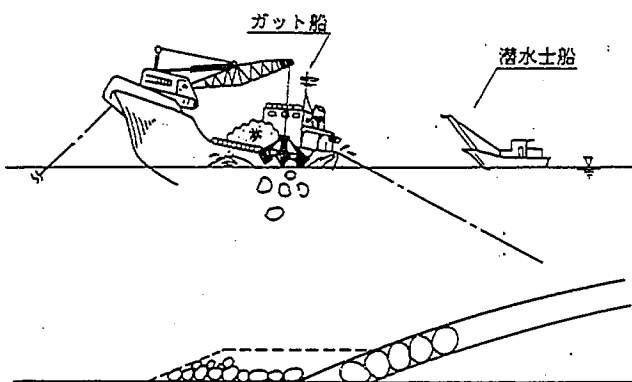
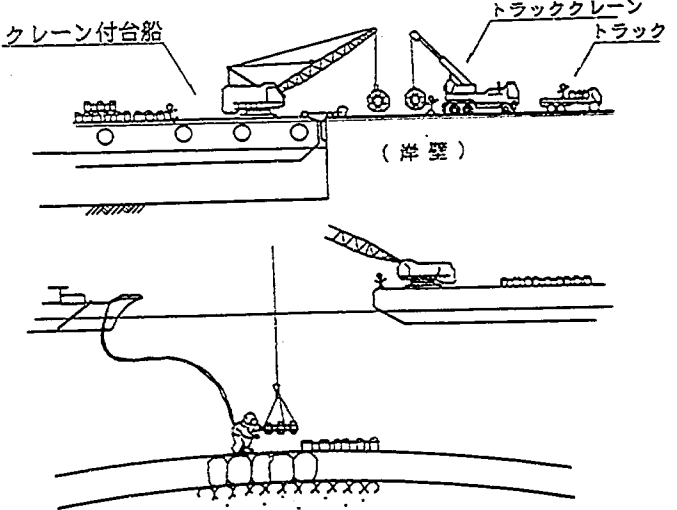
工種	洗掘防止対策工（捨石投入、荒均し）	被覆ブロック運搬据付工
施工要領図		
主な作業内容	捨石投入に準ずる。 均し精度は±50cm	被覆ブロック運搬：ブロック製作ヤードより陸上運搬されたブロックは、クレーン付台船により積込み、海上運搬する。 被覆ブロック据付：クレーン付台船によりブロックを所定の位置に吊降し、潜水土により据付ける。
使用船舶機械	ガット船（2m³、655m³） 潜水土船（4.9t、3tウィンチ付）	トラッククレーン（15～16t吊） トラック（10t車） クレーン付台船（25t吊） 潜水土船（4.9t、3tウィンチ付） 曳船（150ps）

図7.8(4) 施工要領

工種	検 測	
施 工 要 領 図		
主 な 作 業 内 容	各々の工種についてレベルによる基準高の検測を行う。	
使 用 船 舶 機 械	潜水土船	

図 7.8(5) 施 工 要 領

① 準備工

測量台の設置、および陸上測点の設置、現地盤線の水深測量を行う。また、海水汚濁防止膜を設置する。

② 盛砂工

ガット船（グラブ容量 2 m³、公称泥艀650m³積）により採取した砂を運搬投入する。

均しは自航潜水土船（4.9 t、3 tウインチ付）により施工する。

③ 捨石工

岸壁に積出された捨石をガット船（2 m³、650m³積）により運搬、自航潜水土船（4.9 t、3 tウインチ付）の支持で投入する。

④ 捨石均し工

投入された捨石をレベルを用いて基準高管理しながら自航潜水土船により均す。

⑤ 被覆ブロック製作工

被覆ブロックは陸上ヤードにおいて製作する。

⑥被覆ブロック仮置工

製作されたブロックは養生後、所定の強度を確認して、トラッククレーン（15～16 t吊）により横持ち仮置する。

⑦ 被覆ブロック運搬据付工

仮置ヤードから積出しヤードまでトラック（11 t積）で運搬する。トラッククレーン（15～16 t吊）で積おろしを行う。

岸壁に積出されブロックをクレーン付台船（25 t吊）により自積し、引船（150ps）を用いて据付け、現地まで曳航する。

曳航されたブロックをクレーン付台船（25 t吊）、自航潜水土船（4.9 t）により据え付ける。

⑧ 被覆石投入均し工

岸壁に積出された被覆石をガット船（2 m³、650m³積）により運搬し、自航潜水土船の指示で投入する。投入された被覆石をレベルにより基準高管理をしながら、自航潜水土船により均しを行う。

⑨ 洗掘対策工

岸壁に積み出された捨石を、ガット船（2 m³、650m³積）により運搬し、自航潜水土船の指示で投入する。

(3) 数量総括表

本構造物の数量総括表、主要使用船舶機械一覧表、および工程表を表 7.7, 7.8, 7.9 に示す。

表7.7 数量総括表

種 類	単位	($\phi=85\text{m}$) 3 基当り	備 考
準 備 工	式	1	
盛 砂	m ³	49,656	
同 上 均 し	m ²	12,640	
捨 石 (1)	m ³	12,327	
同 上 均 し	m ²	14,197	荒均し
捨 石 ((2))	m ³	11,314	
同 上 均 し	m ²	1,963	表面均し
同 上 均 し	m ²	13,731	荒均し
被覆ブロック製作	個	837	2 t/個
同 上 横 持	個	837	
同 上 運搬据付	個	837	
被 覆 石	m ³	14,400	
同 上 均 し	m ²	15,732	
洗 掘 対 策 工	m ³	5,484	捨石投入, 荒均し
跡 片 付 工	式	1	

表7.8 主要使用船舶機械一覧表

名 称	規 格	単位	数量	備 考
ガ ッ ト 船	2.0m ³ , 650m ³ 積	隻	6	盛砂工時
自 航 潜 水 士 船	4.9t, 3tウィンチ付	隻	16	9/10~9/20の期間 被覆ブロック据付 2 隻 被覆石 4 隻, 同均し 10隻
トラッククレーン	15~16t吊	台	2	被覆ブロック運搬時
クレーン付き台船	25t吊	隻	2	被覆ブロック据付時
引 船	150ps	隻	2	同 上
交 通 船	3.0t, 30ps	隻	1	

表7.9 工 程 表

種 別	名 称	単位	数量	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月
準 備 工								
	深浅測量	式	1					
	水質汚濁防止工	式	1					
盛 砂 工		m³	49,656					
同 上 均 し		m²	12,640					
捨 石 (1)		m³	12,327					
同 上 均 し	荒均し	m²	14,197					
捨 石 (2)		m³	11,314					
同 上 均 し	表面均し	m²	1,963					
同 上 均 し	荒均し	m²	13,731					
被覆ブロック製作		個	837					
同 上 横 持		個	837					
同 上 運搬据付		個	837					
被 覆 石		m³	14,400					
同 上 均 し		m²	15,732					
洗 掘 対 策 工	捨石投入, 荒均し	m³	5,484					
跡 片 付 け		式	1					

(4) 構造物の適用性と今後の課題

今後検討すべき課題として、より効果的な（消波性能、施工性、経済性）レンズマウンドの形状を見いだすとともに、被覆材の安定重量を詳査し、さらに岸側の海浜変形などについて検討することが必要である。

主な検討課題を現状の技術レベルとともに表 7.10 にとりまとめた。

表 7.10 今後の検討課題

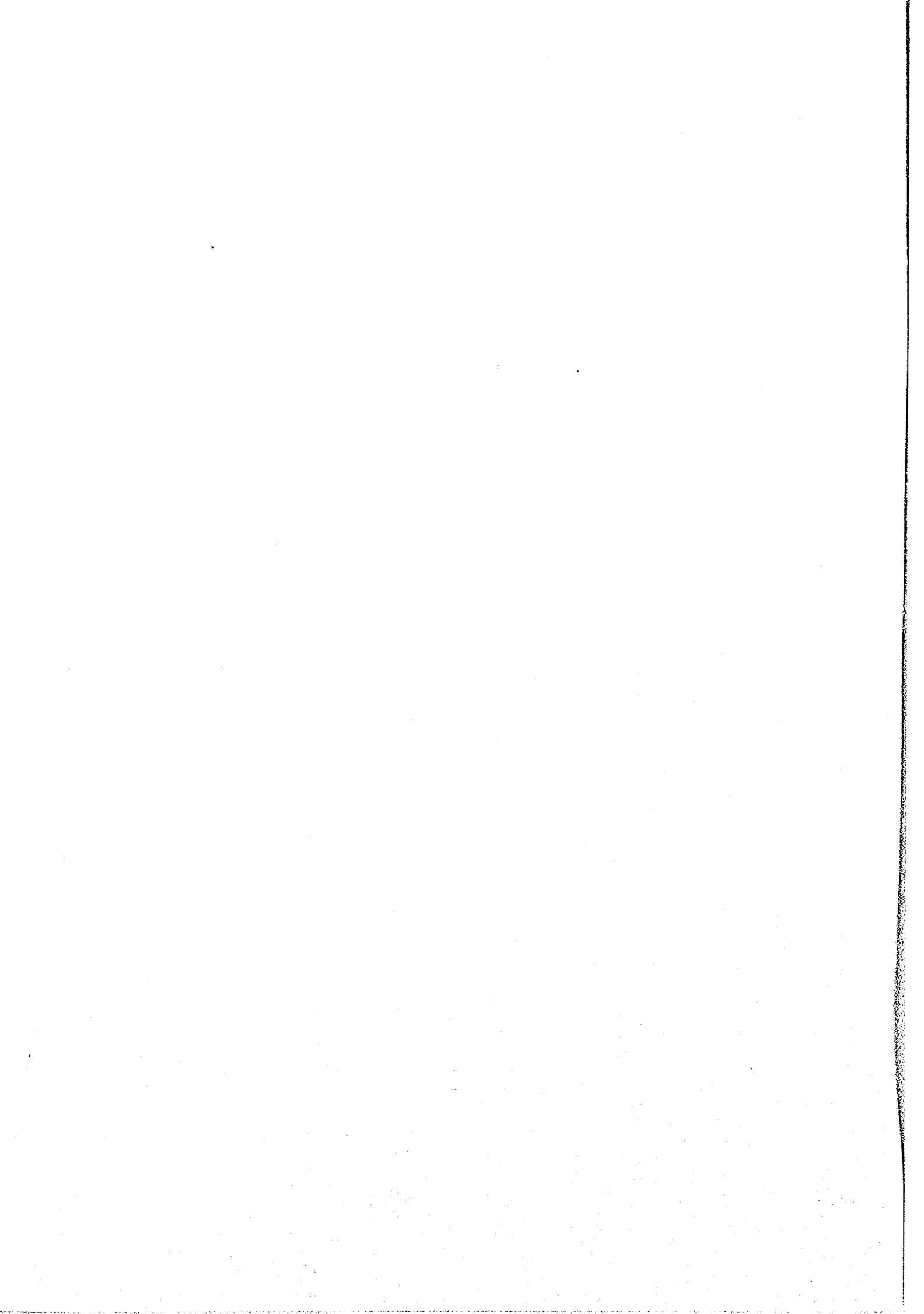
項 目	現 状 の 技 術 レ ベ ル	今 後 の 課 題
1. 水理特性		
① 消波効果	基本的な球面での消波特性を確認し、 $K_T \leq 0.6$, $K_R \leq 0.5$ となる断面を見いだした。	最適な断面形を検討する。
② 水中部材の安定重量	設計断面について安定性を検討した。	ハドソン公式、改訂海岸保全施設築造基準による式の適用条件の検討、あるいは新たな算定式を検討する。
③ 漂砂、洗掘	未検討。	構造物設置による岸側の波浪状況の変化、海浜形状の変化などを明らかにし、漂砂制御や侵食防止効果について検討する。また、流況の変化による海水交換、堤体法尻部の洗掘などを検討する。
④ 粗度の効果	粗度による消波性能の差異を検討した。	表面の粗度による消波性能、安定性への影響、ならびに捨石均し精度とハドソン公式の安定定数との関係を検討する。
2. 構造設計		
① 構造材料	地震時、津波時の断面部材の安定性については検討していない。	津波に対する安定を検討する。
② 構造部材	中詰材の検討を行った。	建設廃材の利用を検討する。
3. 施 工		
① 土砂投入	底開式バージによる施工法を検討した。	堆積形状の予測と投入パターンを検討する。
② 均し	捨石の均し精度を検討した。	潜水土によらない機械化施工を検討する。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所河川部海岸研究室：海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(2)，土木研究所資料第2510号，1987。

第8章 複列透過潜堤

日本テトラポッド株式会社	応用水理研究所	遠藤 泰司
〃	〃	野口 雄二
〃	〃	山本 方人
〃	〃	錦織和紀郎
〃	大 阪 支 店	下山 士郎
〃	〃	伊藤 雅文



8. 透過性複列潜堤*

8. 1 構造概要

透過性複列潜堤は無底スリット函体（以下スリットセルラーと称する）に6.3t型テトラポッドを中詰材とした潜堤を岸沖方向に2列設置した構造である。

8. 1. 1 構造概要

① 複列潜堤は沖側・岸側の二つの潜堤から成る。沖側潜堤の天端水深は設置水深の0.3倍、岸側の天端水深は静水面（本検討ではT. P. +0.4m）とする。

② 沖側潜堤は、1ブロック当たり幅20m、延長20m、岸側潜堤は幅14m、延長20mのスリットセルラーで構成されており、このセルラーを沖側・岸側共に10函ずつ設置することにより、延長200mの複列潜堤を構築する。

③ スリットセルラーの前・後壁、側壁および隔壁は空隙率0.4のスリット壁とする。隔壁は、沖側・岸側潜堤共延長方向に2列とし、沖側潜堤の岸沖方向の隔壁は2列、岸側潜堤は1列である。

④ スリットセルラー内には中詰材として6.3型テトラポッドを用いる。

⑤ スリットセルラーは2m厚のマウンド上に設置し、マウンドは800kgの捨石で被覆する。

⑥ 沖側および岸側潜堤の設置間隔は45mである。

8. 1. 2 特 徴

① 複列潜堤間の反復反射による位相干渉効果のため、消波機能が向上する。

② 大波浪時は沖側潜堤で碎波させることにより、岸側潜堤に作用する波力が減少するので耐波安定性が良い。

③ マウンドを有する透過性潜堤であるため、地盤が洗掘される可能性は少なく、たとえ洗掘されても洗掘深は小さい。

④ スリットセルラーは陸上ヤードで製作するため、品質管理が容易であり、精度の良い潜堤を構築できる。

本複列潜堤の鳥瞰図を図8.1に、また構造一般図を図8.2～図8.4に示す。

*執筆：山本 方人（日本テトラポッド株式会社応用水理研究所）

錦織和紀郎（ ” ” ）

伊藤 雅文（ ” ” 大 阪 支 店）

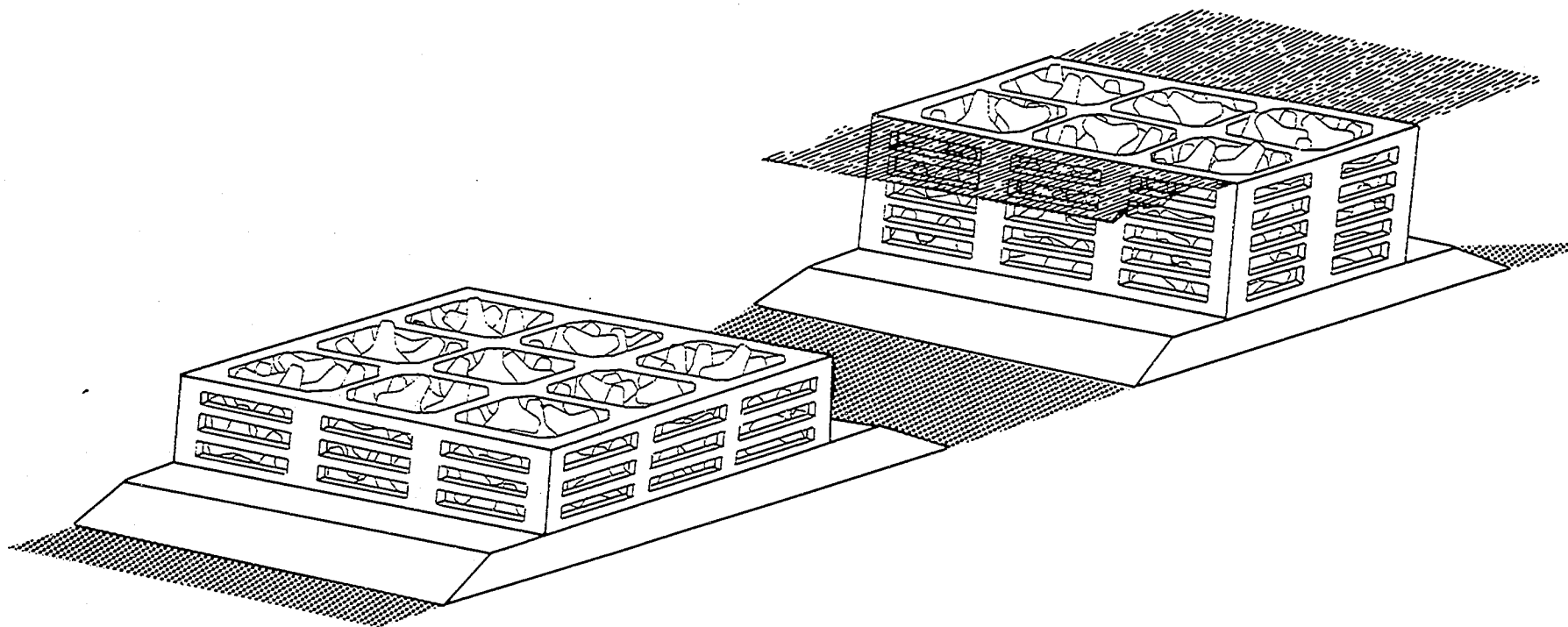
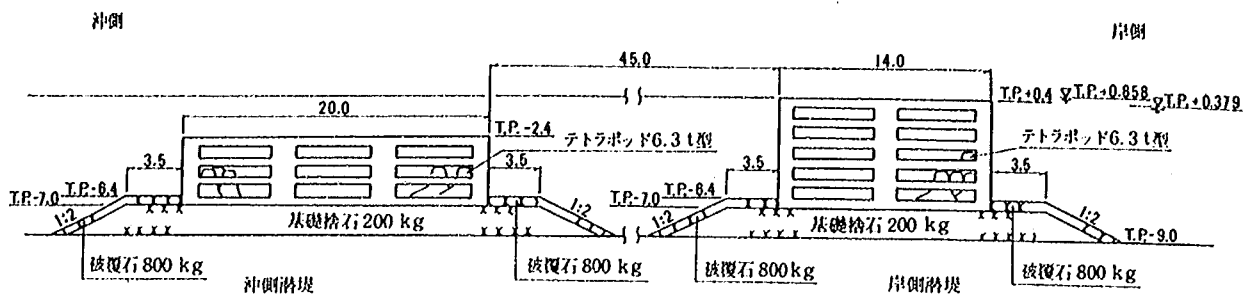
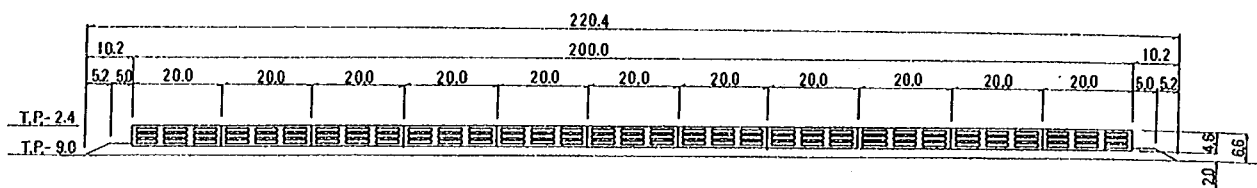


図8.1 複列潜堤の鳥瞰図

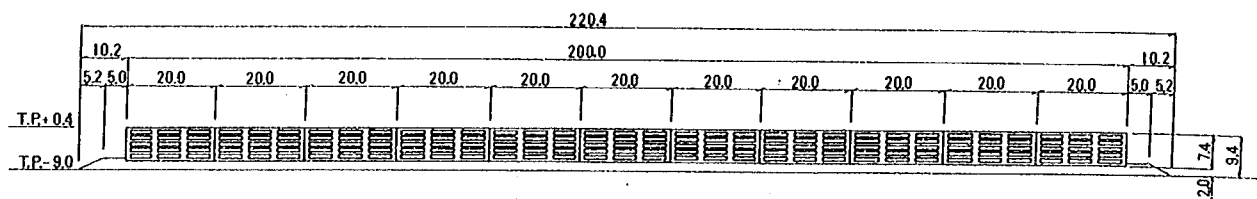


単位 : m

図8. 2 構造一般図(1) (標準断面)



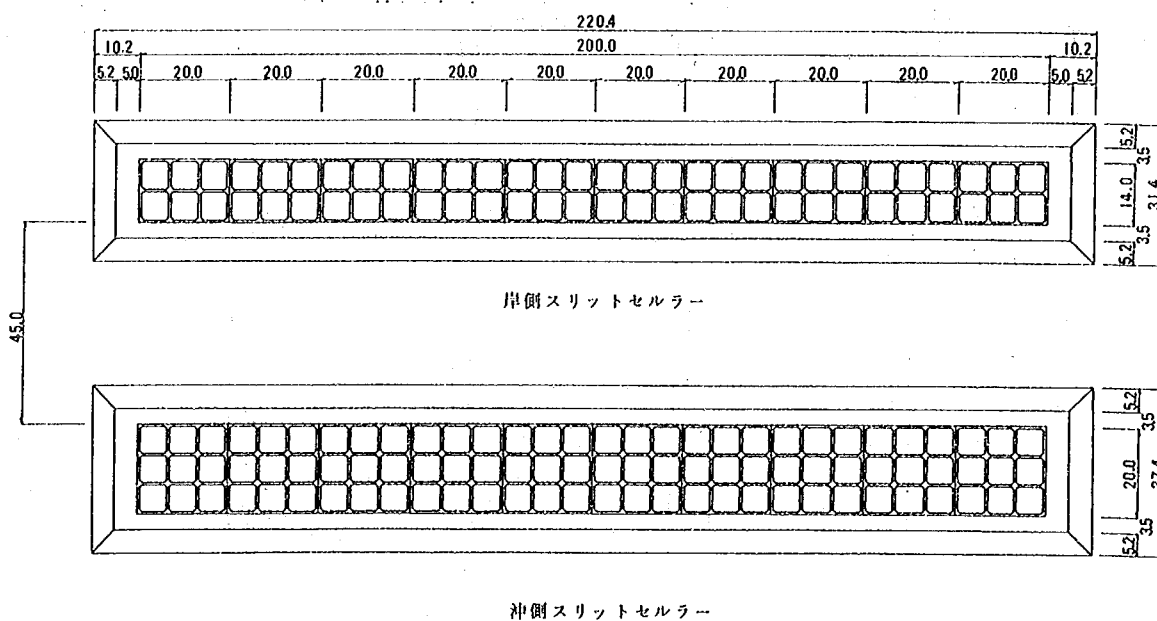
沖側スリットセラー



岸側スリットセラー

単位 : m

図 8. 3 構造一般図(2) (縦断面)



沖側スリットセラー

単位 : m

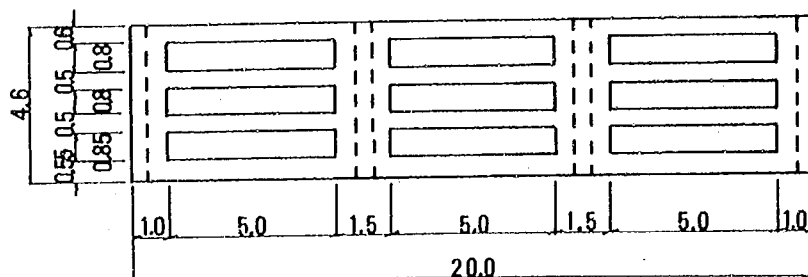
図8. 4 構造一般図(3) (平面図)

8.1.3 構造諸元

$K_T \leq 0.6$, $K_R \leq 0.5$ を満足するように水理模型型実験の結果¹⁾より構造諸元を表8.1のように決定した。構造諸元を図8.5～8.10に示す。 K_T , K_R と ℓ/L (ℓ : 沖・岸潜堤間隔)の関係を図8.11に示す。

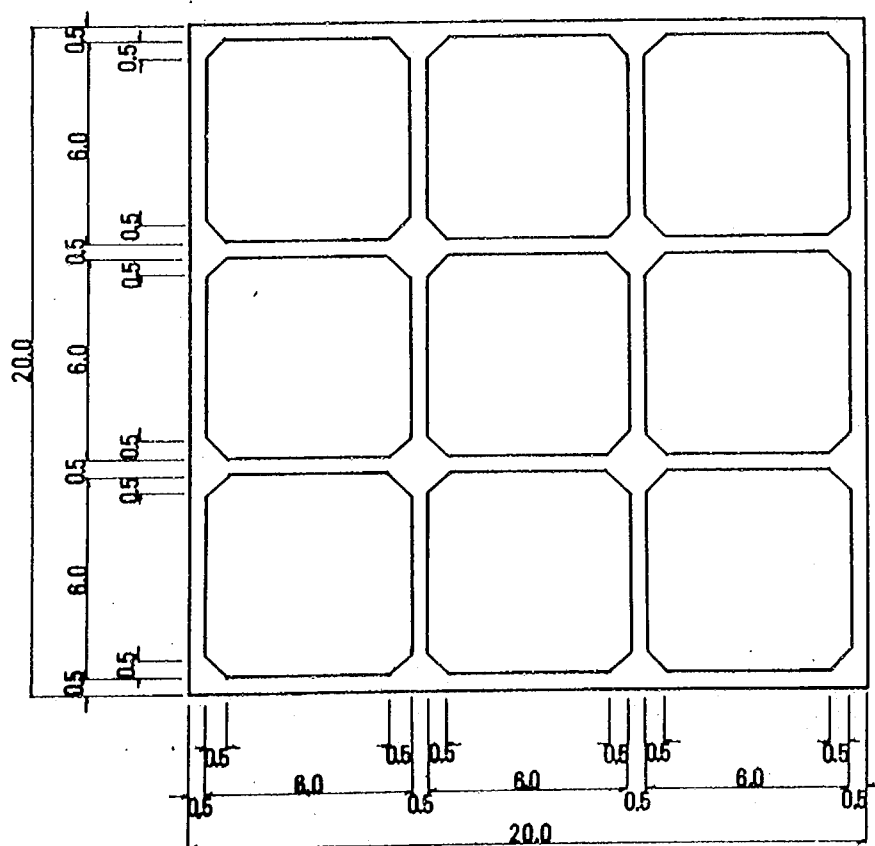
表8.1 構造諸元

	沖側潜堤	岸側潜堤
スリット空隙率 ϵ	0.4	0.4
水深 h	9.38m	9.38m
没水深比 R/h	0.3	0.0
堤幅 B/h	2.13	1.49
中詰材(テトラポッド)	6.3t型	6.3t型
潜堤間隔 ℓ	45m	



単位：m

図8.5 沖側スリットセルラー側面図



単位：m

図8.6 沖側スリットセルラー平面図

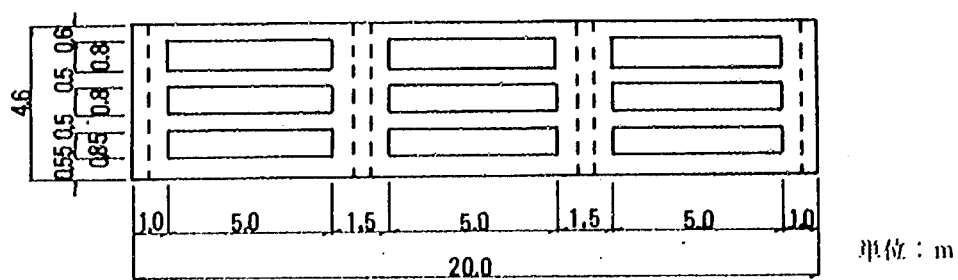


図8.7 沖側スリットセルラー正面図

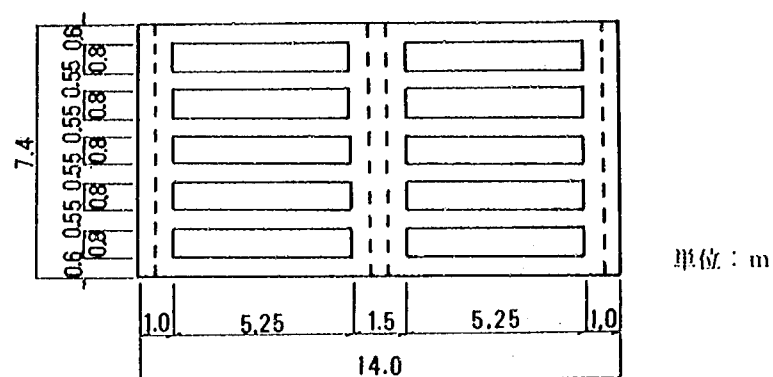


図8.8 岸側スリットセルラー側面図

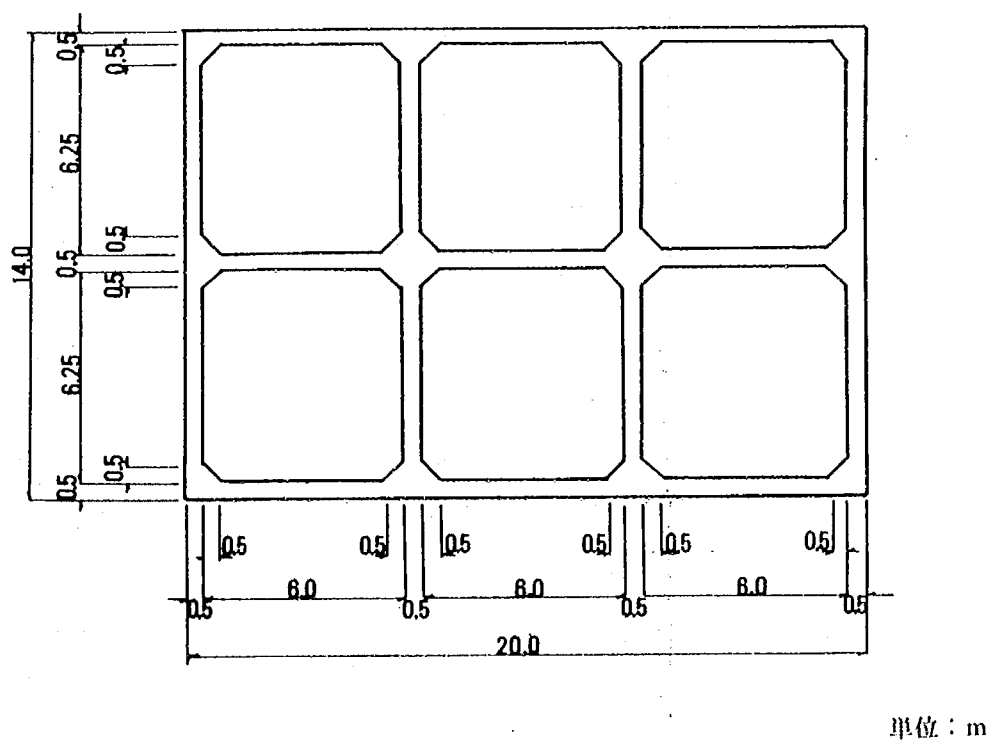


図8.9 岸側スリットセルラー平面図

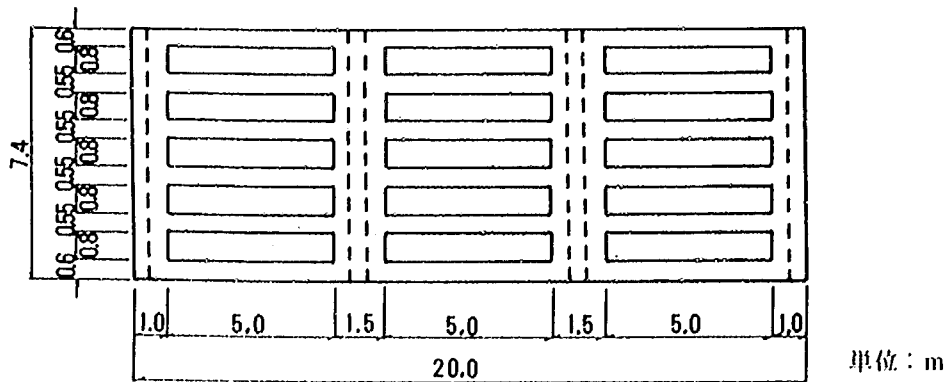


図8.10 岸側スリットセルラー正面図

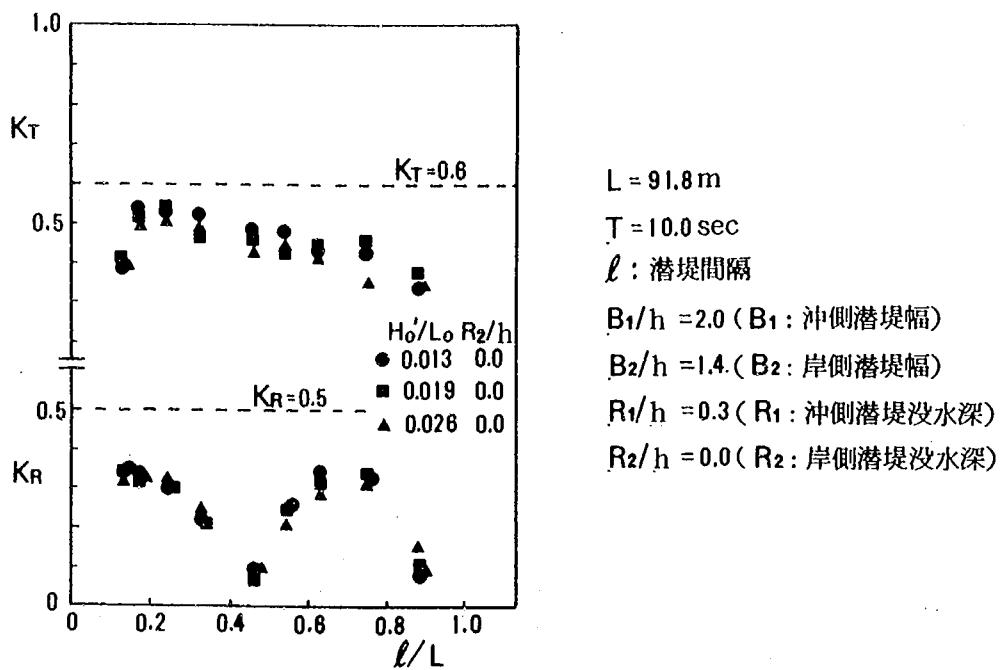
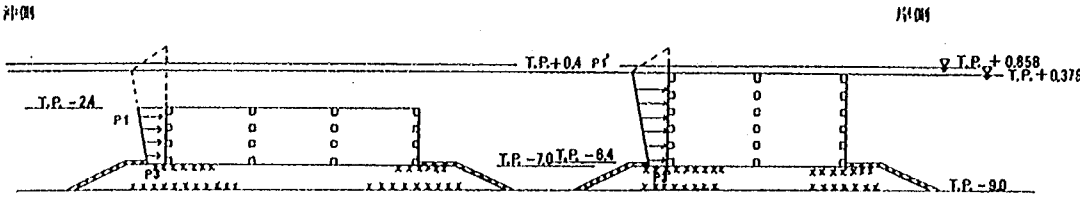


図8.11 複列潜堤の K_T , K_R と l/L の関係

図8.11より K_T , K_R はそれぞれ目標値を満足するものの l/L により変化している。 K_T は l/L に対する変化が緩やかであるが、 K_R は極大・極小値が交互に現れている。 $T = 10.0 \text{ sec}$ の波に対しては $l/L = 0.45 \sim 0.5$ で K_R は極小値となっているので、ここでは $l/L \approx 0.5$, $l = 45 \text{ m}$ とした。

8.2 設計計算

8.2.1 設計荷重および解析方法

荷重図	沖側  岸側			
	(単位：m)			
波浪条件	波高 H_{max}	7.1m	単位奥行き 1 m 当り	$p_1 = 4.83$ (合田式 $\times \lambda$)
	周期 T	10.0sec	波力計算結果	$p_3 = 4.37$ (合田式 $\times \lambda$)
	波力低減係数 λ	0.8	(tf/m ²)	$p_1' = 5.11$ (合田式 $\times \lambda$)
	設計潮位	T.P. + 0.858 m		$p_3' = 4.37$ (合田式 $\times \lambda$)
耐波安定性の検討	条件の厳しい岸側潜堤について検討した。			
	潜堤に作用する水平合波力 $p = 35.08 \text{tf/m}$			
	揚圧力は無視 $p_u = 0.0 \text{tf/m}$ (備考(4)参照)			
	潜堤の水中重量 (全鉛直力) $w = 68.60 \text{tf/m}$			
	摩擦係数 $f = 0.7$			
	滑動に対する安全率は式(5.6)より $S.F. = \frac{f \cdot w}{p} = 1.37 > 1.2$ となる。			
	転倒に対する安全率は式(5.7)より $S.F. = \frac{w \cdot l}{p \cdot h} = 3.57 > 1.2$ となる。			
	h : 潜堤下端から合波力 p の作用線までの距離 (3.84 m)			
	l : 潜堤に作用する全鉛直力の合力の作用線から潜堤後趾までの距離 (7.0 m)			
	施工途中時の安定性			
	スリットセルラーのみ設置した場合			
	$T = 7.0 \text{sec}$ の波に対して $H = 4.5 \text{m}$ まで安定			
	$T = 10.0 \text{sec}$ の波に対して $H = 3.5 \text{m}$ まで安定			
	スリットセルラーに 2 m 厚の中詰を設置した場合			
	$T = 7.0 \text{sec}$ の波に対して $H = 5.0 \text{m}$ まで安定			
	$T = 10.0 \text{sec}$ の波に対して $H = 4.0 \text{m}$ まで安定			

備 考	1. ケーソンに働く全波力は合田式を準用し、中詰材による低減率$\lambda=0.8$を掛けた値とする。低減率は港湾基準に準じ消波ブロック被覆堤の場合と同じとした。 2. 設計波は沖側潜堤上で砕波し、波高が減少して岸側潜堤に当るが、現段階ではその波高が不明であるため、ここでは設計波が作用するものとして安定性を検討した。 3. 施工途中時のスリットセルラーのみの安定性検討においては、波力低減係数λ_1は$\lambda_1=\lambda(1-\epsilon)=0.8\times0.6=0.5$とした。 4. 揚圧力については、本スリットセルラーが無底であることと上床版がない場合の直立消波ケーソンや曲面スリットケーソンに働く揚圧力の実験結果を参考にし、これを無視する。 5. 中詰有スリットセルラーには上記波力以外に自重と浮力が働き、沖側潜堤の場合自重は110.15tf/m、浮力は48.58tf/mであり、岸側潜堤では自重122.69tf/m、浮力54.09tf/mである。 6. テトラポッドと捨石マウンドとの摩擦係数は漁港構造物標準設計法に準じ0.7とした。 7. スリット壁の構造解析は、以下の仮定で行った。 ・解 析 三径間および二径間連続梁（軸力は考慮しない） ・作用荷重 最下段以外の法線方向スリット壁：等分布水平波力 最下段法線方向スリット壁：等分布水平波力および三角形分布揚圧力 最下段法線直角方向スリット壁：三角形分布揚圧力

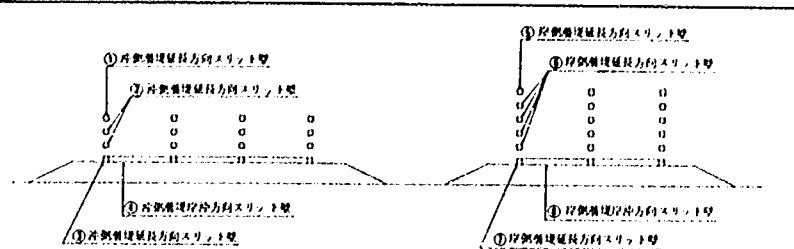
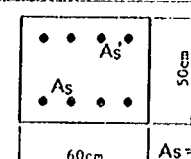
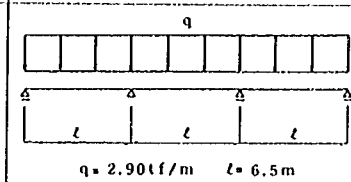
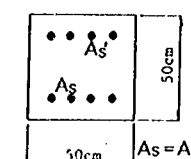
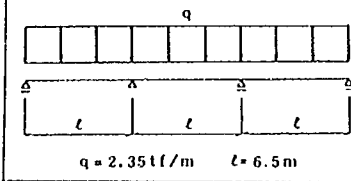
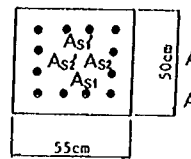
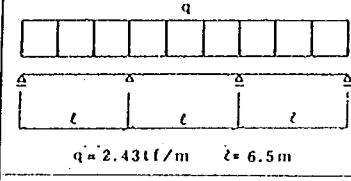
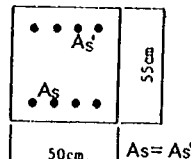
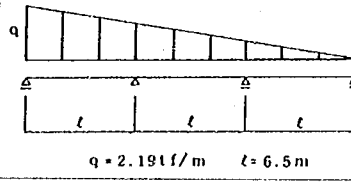
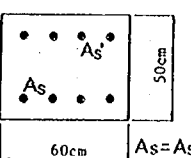
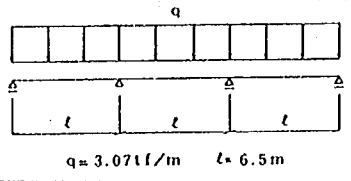
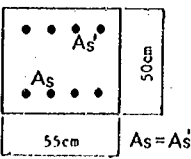
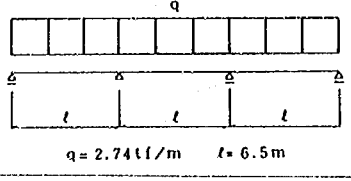
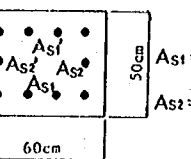
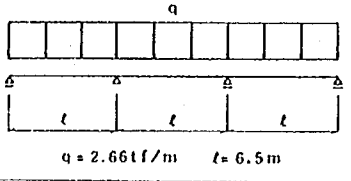
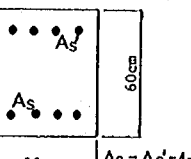
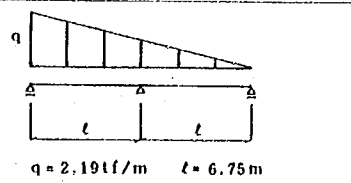
8.2.2 基礎の支持力に対する検討

基礎に作用する波力作用時の最大応力度と許容支持力の検討結果を表8.2に示す。この検討は岸側潜堤について、8.2.1と同じ条件で行った。

表8.2 基礎の支持力検討結果

最大応力度	許容支持力
9.35tf/m ²	18.34tf/m ²

8.2.3 主要部材の算定

			
部 材 名	設計断面力	部 材 断 面 形 状	備 考
①沖側潜堤延長方向 スリット壁	$M = 11.03 \text{ tfm}$ $S = 11.31 \text{ tf}$	 $As = As' = 4-D25$	 $q = 2.90 \text{ tf/m} \quad l = 6.5 \text{ m}$
②沖側潜堤延長方向 スリット壁	$M = 8.92 \text{ tfm}$ $S = 9.15 \text{ tf}$	 $As = As' = 4-D22$	 $q = 2.35 \text{ tf/m} \quad l = 6.5 \text{ m}$
③沖側潜堤延長方向 スリット壁	$M = 9.26 \text{ tfm}$ $S = 9.49 \text{ tf}$	 $As1 = As1' = 4-D22$ $As2 = As2' = 4-D22$	 $q = 2.43 \text{ tf/m} \quad l = 6.5 \text{ m}$
④沖側潜堤岸沖方向 スリット壁	$M = 6.49 \text{ tfm}$ $S = 6.63 \text{ tf}$	 $As = As' = 4-D19$	 $q = 2.19 \text{ tf/m} \quad l = 6.5 \text{ m}$
⑤岸側潜堤延長方向 スリット壁	$M = 11.67 \text{ tfm}$ $S = 11.97 \text{ tf}$	 $As = As' = 4-D25$	 $q = 3.07 \text{ tf/m} \quad l = 6.5 \text{ m}$
⑥岸側潜堤延長方向 スリット壁	$M = 10.40 \text{ tfm}$ $S = 10.67 \text{ tf}$	 $As = As' = 4-D25$	 $q = 2.74 \text{ tf/m} \quad l = 6.5 \text{ m}$
⑦岸側潜堤延長方向 スリット壁	$M = 10.11 \text{ tfm}$ $S = 10.37 \text{ tf}$	 $As1 = As1' = 4-D25$ $As2 = As2' = 3-D25$	 $q = 2.66 \text{ tf/m} \quad l = 6.5 \text{ m}$
⑧岸側潜堤岸沖方向 スリット壁	$M = 6.68 \text{ tfm}$ $S = 5.84 \text{ tf}$	 $As = As' = 4-D19$	 $q = 2.19 \text{ tf/m} \quad l = 6.75 \text{ m}$

8.3. 施工概要

8.3.1 概 要

- ① 本構造物の計画検討地点は、秋期～冬期にかけて海上工事の稼働率が低いため、スリットセラーおよびテトラポッドの製作は、海上工事に最適な夏期に据付、設置作業ができるように計画する。
- ② スリットセラーは積込み作業を考慮し、岸壁に近い埠頭用地で製作するよう計画するが、陸上の仮置ヤードはその広さと作業性の面から困難であるため、岸壁に近い水中に仮置するものとする。
- ③ 限られたヤード面積のため、テトラポッドは2段積みで仮置する。

8.3.2 施工方法

本構造物の施工手順および施工要領はそれぞれ図8.12、8.13に示す。以下は各工種の施工方法の概要を記したものである。

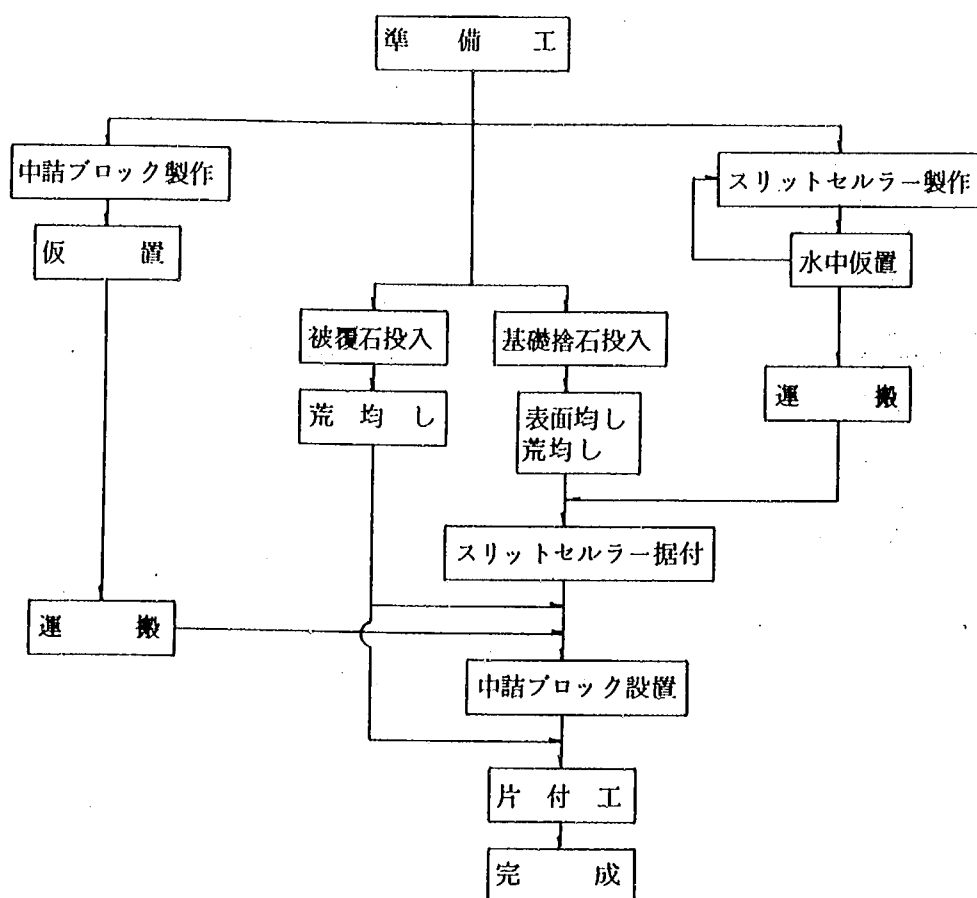


図8.12 施工フロー図

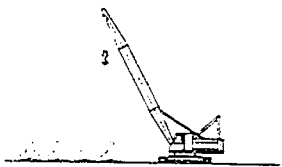
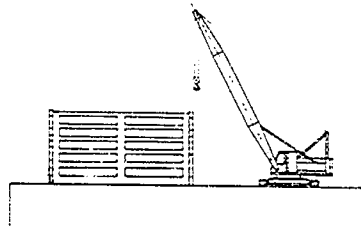
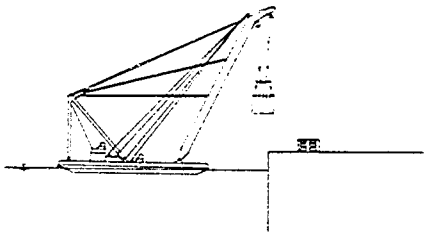
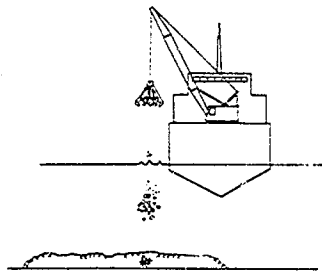
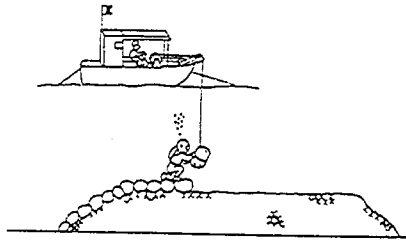
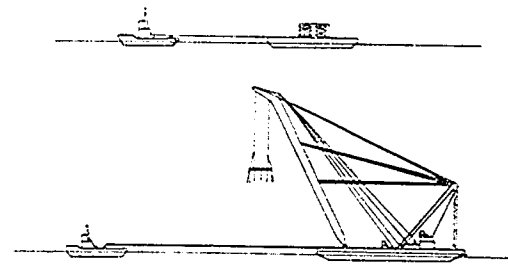
工種	①中詰用テトラポッド製作（製作ヤード）	②スリットセルラー製作（製作ヤード）	③スリットセルラー水中仮置
施工要領図			
主な作業内容	中詰用ブロックの製作	スリットセルラー製作	スリットセルラーを製作ヤード近隣の水中へ仮置する。
使用機械船	クローラークレーン（22t吊）	クローラークレーン（35t吊） ポンプ車	起重機船（1000t吊） 曳船（2000ps） 揚錨船（35t）
工種	④基礎捨石・被覆石投入	⑤表面均しおよび荒均し	⑥スリットセルラー積込みおよび運搬
施工要領図			
主な作業内容	石材の投入	スリットセルラー据付面の表面均しおよび被覆石の荒均しを行う。	仮置場より起重機船により台船に積込み、据付現地まで曳航運搬する。
使用機械船	ガット船（499t級） 潜水士船	潜水士船	起重機船（1000t吊） 台船（700t積） 曳船（2000ps） 揚錨船（35t） 曳船（800ps） 警戒船

図8.13 (1) 施工要領

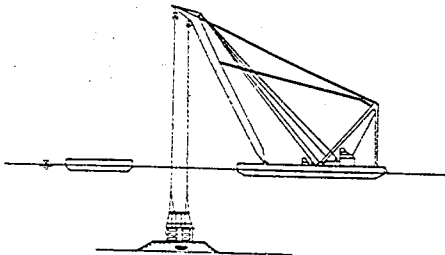
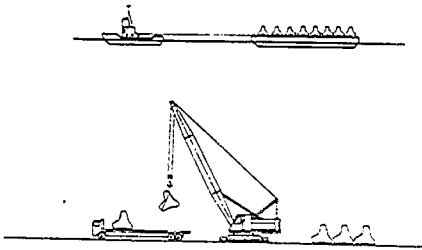
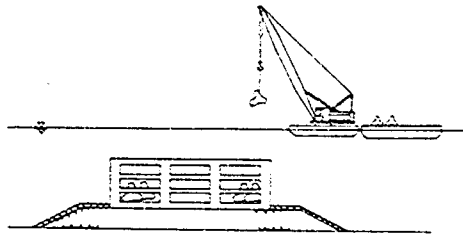
工種	⑦スリットセルラー据付	⑧中詰用テトラポッドの積込および運搬	⑨中詰用テトラポッドの設置
施工要領図			
主な内容作業	現地へ運搬されたスリットセルラーを起重機船を使用して吊り上げ、所定の位置へ据付ける。	テトラポッドを仮置ヤードより岸壁まで運搬し、クレーンを利用して台船に積込み、これを設置位置まで曳船運搬する。	現地へ運搬されたテトラポッドをクレーン付台船を使用し、スリットセルラー内に設置する。
使用機械船舶	起重機船 (1000t吊) 台船 (800t積) 曳船 (2000ps) 曳船 (800ps) 揚錨船 (35t) 潜水土船	クローラークレーン (22t吊) トラック (11t積) 台船 (200t積) クローラークレーン (35t吊) 曳船 (150ps)	クレーン付台船 (25t吊) 潜水土船 台船 (200t積) 曳船 (150ps)

図8.13(2) 施工要領

① 中詰用テトラポッド製作

テトラポッドは製作ヤードにおいて製作する。横持ちしたテトラポッドは、強度発現を待ち2段積みして仮置する。

② スリットセルラー製作

製作ヤードで製作する。打設高さやその形状を考慮し、岸側のセルラーは3段打ち、沖側のものは2段打ちとする。

③ スリットセルラー水中仮置

製作ヤードで完成したスリットセルラーは、所定の強度に達した後、起重機船（1000 t 吊）を使用して岸壁近隣へ水中仮置する。

④ 基礎捨石・被覆石投入

潜水士の指示に基づきガット船にて石材を投入する。

⑤ 表面均しおよび荒均し

スリットセルラーの接地する捨石は表面均しを行い、その他の面は荒均しとする。また、被覆石は荒均しを行うが、スリットセルラーの据付後、順次その均し作業を実施する。

⑥ スリットセルラー積み込み運搬

仮置場より起重機船（1000 t 吊）で台船に積み込み、据付する地点まで曳航運搬する。

⑦ スリットセルラー据付

現地へ運搬したスリットセルラーを起重機船で吊り上げ所定の位置へ据付ける。

⑧ 中詰用テトラポッドの積み込みおよび運搬

仮置ヤードよりトラック（11 t 積）で岸壁まで運搬し、クローラークレーン（35 t 吊）で台船に積み込んだ後、この台船を設置地点へ曳航する。

⑨ 中詰用テトラポッドの設置

運搬された台船上のテトラポッドをクレーン付台船（25 t 吊）にてスリットセルラー内に設置する。

本構造物の数量総括表、使用船舶機械一覧表および工程表を表 8.3 ～ 8.5 に示す。

表8.3 総括数量表

種 類	単位	数量 (200m)	備 考
中詰テトラポッド	個	6,060	6.3t型
スリットセルラ---	沖	10	B111, 20m×4.6m×20m
	岸	10	B111, 14m×7.4m×20m
基礎捨石	m³	25,960	200kg/個
被 覆 石	m³	5,540	800kg/個 内外
表 面 均 し	m²	3,411	
荒 均 し	m²	12,774	
鉄 筋	t	575	SD30

表8.4 主要使用船舶機械一覧

船 舶 機 械 名	仕 様	台 数
非 航 起 重 機 船	1000t吊	1
ク レ ー ン 付 台 船	25t吊	4
台 船	700t積 200t積	1 9
曳 船	2000ps 800ps 150ps	1 1 6
揚 錨 船	35t	1
ガ ッ ト 船	499t級	3
潜 水 士 船	D30ps 4.9GT	4
警 戒 船	D100ps 130GT	1
クローラークレーン	35t吊 22t吊	4 4
ト ラ ッ ク	11t積	6
コンクリートポンプ車		2

表8.5 工程表

工 程	形 状 寸 法	単位	数量	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月
準 備 工		式	1		20日								
中詰ブロック製作工	6.3t型	個	6.060					180日					
スリットセルラー 製作・仮置工	B H L 20m×4.6m×20m 14m×7.4m×20m	函	10 10 20				120日						
基 礎 捨 石 工	200kg/個	m³	25.960					55日					
被 覆 石 工	800kg/個内外	m³	5.540						70日				
基礎捨石表面均し工		m²	3,411					70日					
捨 石 荒 均 し 工		m²	12,774					110日					
スリットセルラー 運搬・据付工		函	20						2日 2日 2日 2日 2日				
中 詰 ブ ロ ッ ク 運搬・据付工		個	6.060						100日				
片 付 工		式	1									20日	

なお、捨石投入は波高1.0m以下で工事可能、その他の海上工事は50cm以下で作業可能であるとした。

また、その場合の稼働率は表 5.12～表 5.13に示してある値を用いた。

表8. 6 現在の技術レベルと今後の課題

項 目	現在の技術レベル	今 後 の 課 題
1. 水理特性 ①消波特性 ②波 力 ③漂砂・洗掘	61年度の実験では周期6.0sec～14.0sec、波高1～4mの規則波に対して透過率0.6以下かつ反射率0.5以下となる基本的構造諸元を見出した。 検討していない。 検討していない。	複列潜堤の特徴である大波浪の消波性能および、波力の検討を行う必要がある。特に、中詰材とスリットセルラ一部材との衝突による部材応力と波による部材応力の特性を明らかにする必要がある。 構造物の平面配置による流れおよび漂砂の特性を把握する。
2. 構造設計 ①設計体系 ②構造部材	許容応力度法による最高波に対して常時扱いで検討。 スリットセルラは鉄筋コンクリート、中詰ブロックは無筋コンクリート。	限界状態設計法により検討を行う。くり返し応力による疲労強度、ひび割れなど耐久性の検討。
3. 施 工 ①スリットセルラ据付 ②中詰ブロック設置 ③マウンド製作	現在の技術レベルで施工可能。 同上 捨石投入等の施工期間が長い。	各種形状の中詰ブロックを開発し、海上工事の施工工期の短縮を図る。 水中作業を少なくする工法の開発。

8. 4 構造物の適用性と今後の課題

本構造物はマウンドを持つ重力式の潜堤でありかつ透過構造であるため、全面的洗掘は少ないと考えられる。また、高波浪は沖側潜堤により強制碎波させることにより、岸側潜堤に及ぼす波力は減少させる。また施工面では現在の技術で十分対応できる構造物である。しかしながら現在の技術レベルでは、表 8. 6 に示すように中詰式の無底スリットセルラ潜堤に作用する波力、中詰ブロックのロッキングによるスリット壁に働く衝撃力、背後の砂の移動特性等が不明であり、今後これらを研究するとともに、各種形状の中詰材の開発、海上工事の後期の短縮化を図る工法の検討が必要である。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所海岸研究室：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，No2510，pp. 7～17，1987.

第 9 章 斜板消波潜堤

大成建設(株)	技術本部技術研究所	茗ヶ原義彦
〃	〃	勝井 秀博
〃	〃	小山 文男
〃	〃	中塚 健司
〃	〃	清水 正巳
〃	土木本部設計部	吉田 明
〃	〃	秋里乃武宏
〃	土木本部土木技術部	小林 峯男
〃	〃	上出 章
(株) 間 組	土木本部海洋土木部	湊 隆次郎
〃	〃	本田 陽一
〃	技術本部技術研究所	沖 正和
東急建設(株)	施工本部土木技術部	蜷川 洋二
〃	〃	村松栄二郎
〃	〃	藤川 富夫
〃	〃	渡会 英明

9.1 構造型式

斜板消波潜堤は、重力式の没水型コンクリートケーソンである（図9.1）。ケーソンの天端面は勾配が1／10の斜板になっており、入射波エネルギーを水面付近に集中させ、碎波を促進して消波を行う機能を有している。

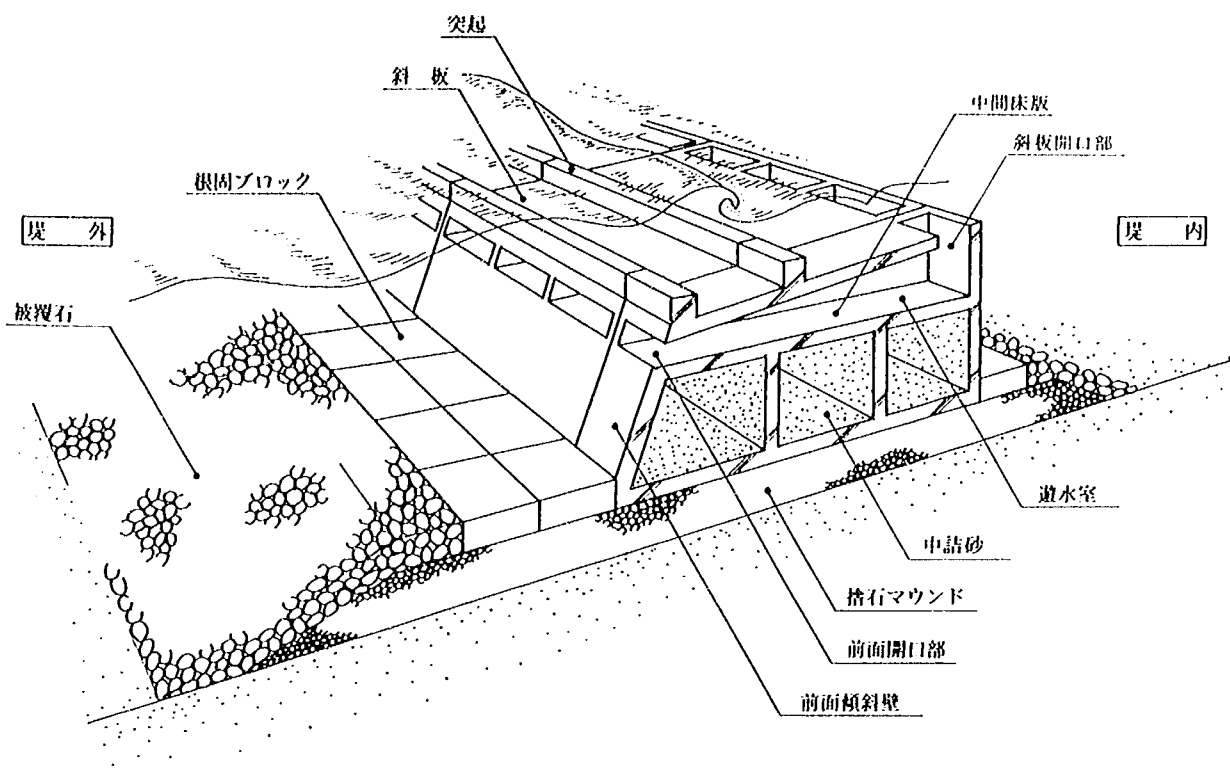


図9.1 斜板消波潜堤概念図

この斜板の沖側と中央部に位置する突起は、碎波および乱れを促進することを目的としている。また、斜板と前面傾斜壁に設けられた開口部はケーソン内の遊水室に通じており、斜板上で碎波した水塊が堤体背後に落ち込むことを防止すると共に、波の位相差消波を図ることをねらいとしている。堤体は、洗掘防止用のマウンド上に設置され、マウンドの捨石とコンクリート底版の摩擦により滑動に対して安定を保つ。また、堤体の安定性を増すために、堤体には底版から中間床版まで砂を中詰する。

9. 2 構造諸元と特徴

9.2. 1 構造諸元

本構造は、捨石マウンドとコンクリートケーソンから構成されている。構造諸元を以下に示す。

① 捨石マウンドは、天端幅27.0m、高さ1.5mである。このマウンド上にケーソンを設置し、ケーソンの沖側および岸側のマウンド表面には、重さ20tfの根固ブロックおよび重さ約1tfの被覆石を敷き詰める。

② ケーソン1函あたりの寸法は、天端幅14.0m、底版幅16.0m、高さ7.0m、長さ15.0mである。ケーソン天端の勾配は1/10で、この傾斜面の沖側と中央部には幅1.0m、高さ0.9mの突起を有する。ケーソンの前面傾斜壁は傾斜角72°である。

③ ケーソンの内部は遊水室と中詰砂部で構成されている。遊水室には前面傾斜壁および斜板の開口部を通して海水が出入りできる。前面傾斜壁と斜板には1函あたり開口部がそれぞれ3ヶ所あり、開口率はいずれも10%である。

④ 斜板中央部の突起と斜板後部の天端レベルはいずれもT. P. -0.5mである。堤体の没水深はL. W. L.時には約0.5m、H. W. L.時には約0.9mである。

9.2. 2 特 徴

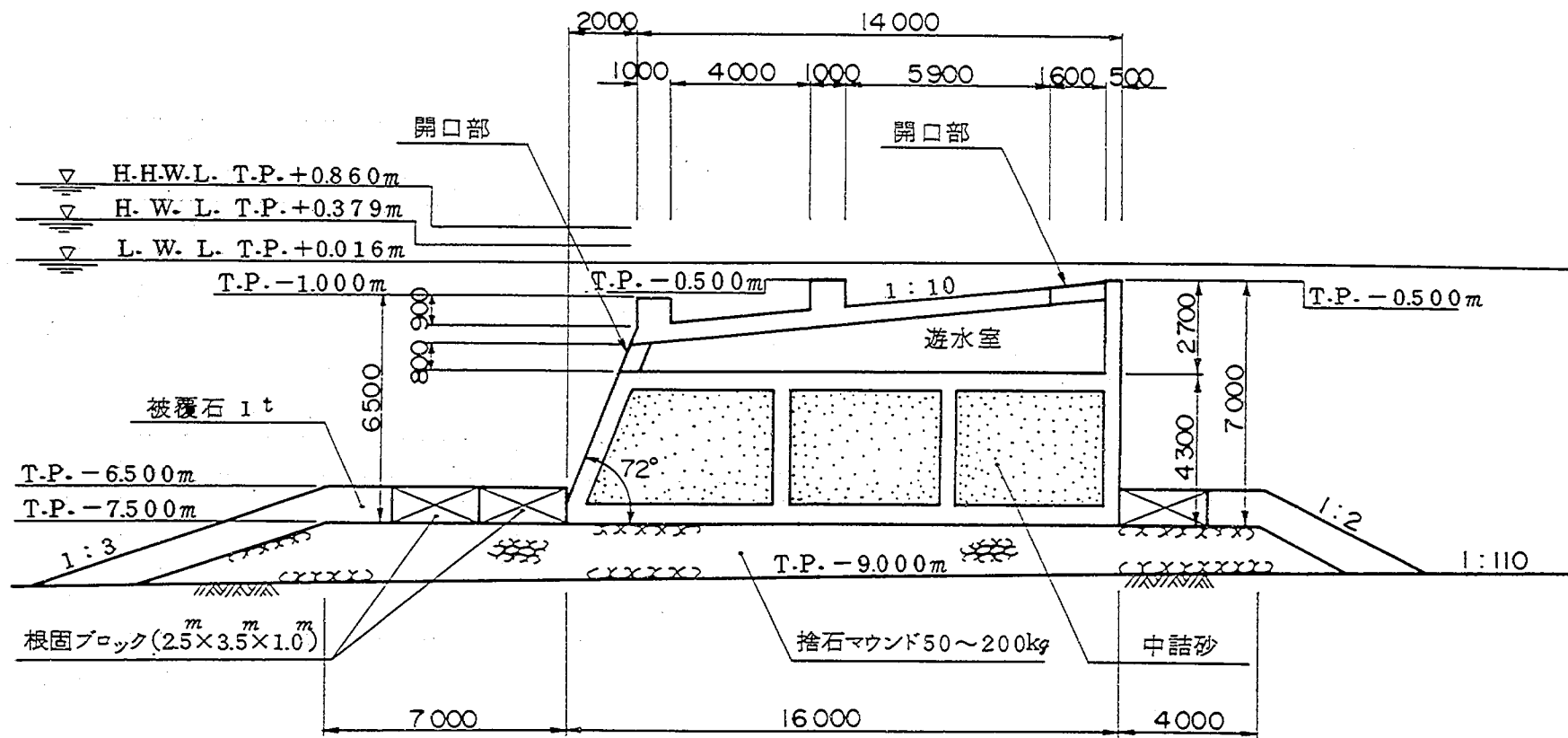
本構造物の構造上の特徴を以下に示す。

① 堤体天端の斜板は碎波を促進して消波を行う機能を有している。突起は、碎波および乱れを促進することを目的として配置されている。

② 本構造物は没水型であるため、直立防波堤に比べて波力の低減を図ることができる。

③ 本構造物は直接基礎構造である。このため、堤体の安定は堤体底面と捨石マウンドの摩擦抵抗によって保たれる。したがって、杭を打設してその水平抵抗を期待する必要がない。構造物全体の安定機構が単純であるため、実験により容易にその安定性を確認することができる。

④ 基礎地盤の砂の吸い出しを防止するために、捨石マウンドの下層0.5mにはフィルター層を構築する。フィルター層は粒径40～80mmの碎石で構成され、マウンド内の浸透流速を低減する効果を有する。フィルター層の上には、重さ50～200kgf/個（粒径30～50cm）の碎石層を1.0m構築する。本構造物の構造一般図を図9.2～9.6に示す。



単位: m

図9.2 標準断面図

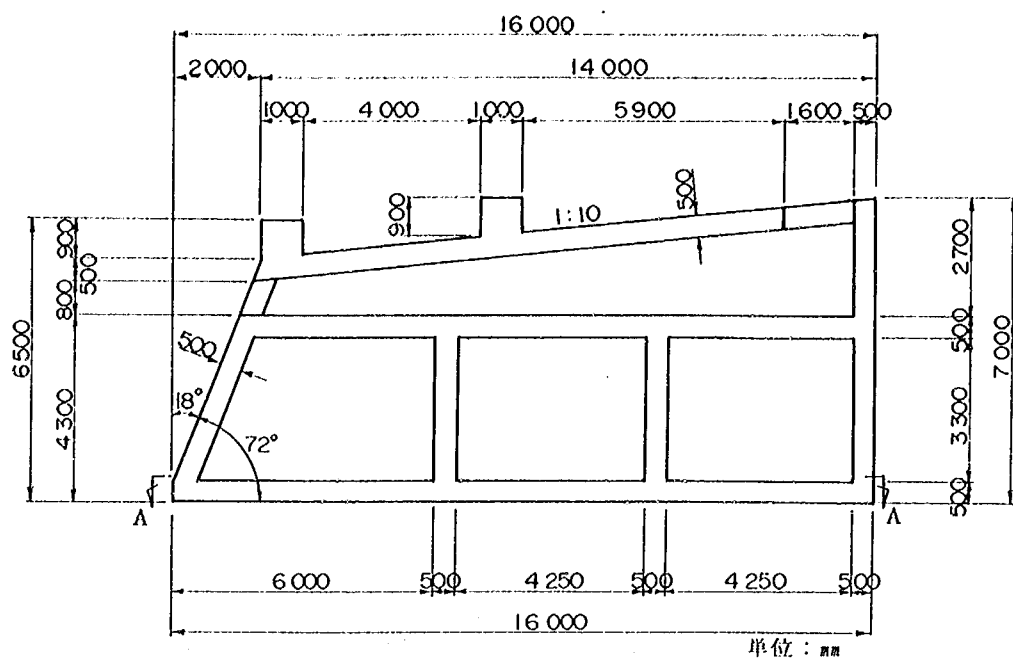


図9.3 ケーソン断面図

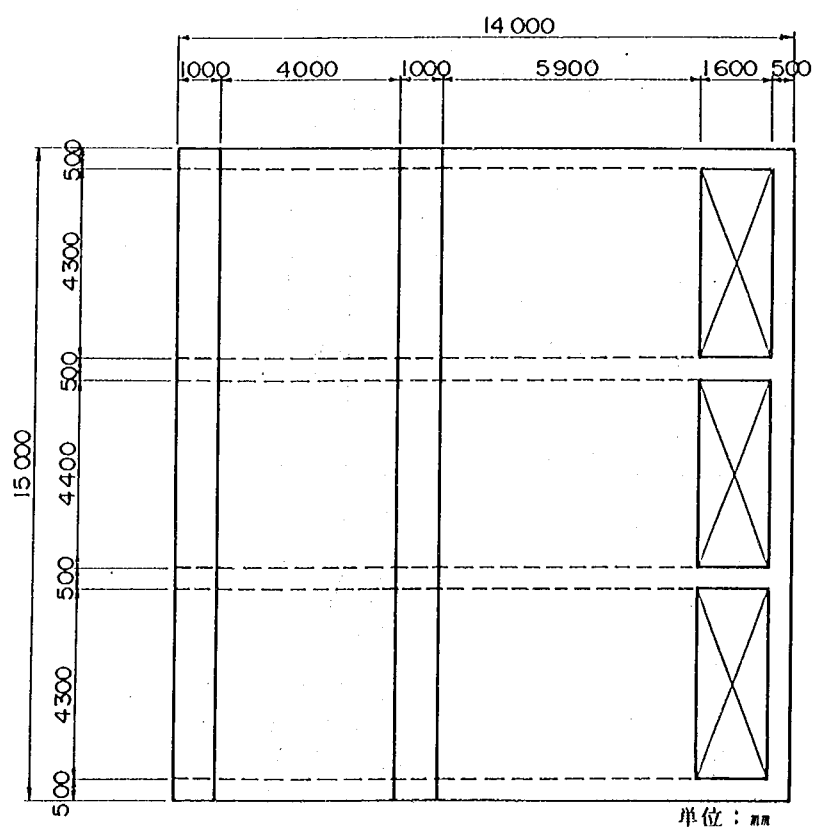


図9.4 ケーソン平面図

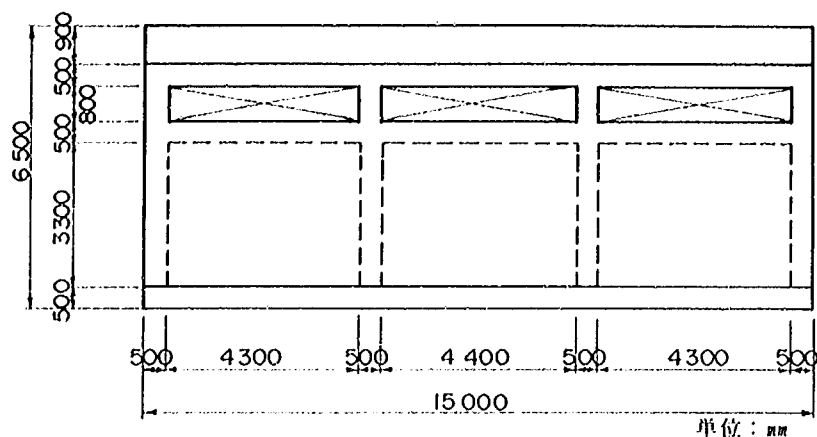


図9.5 ケーソン正面図

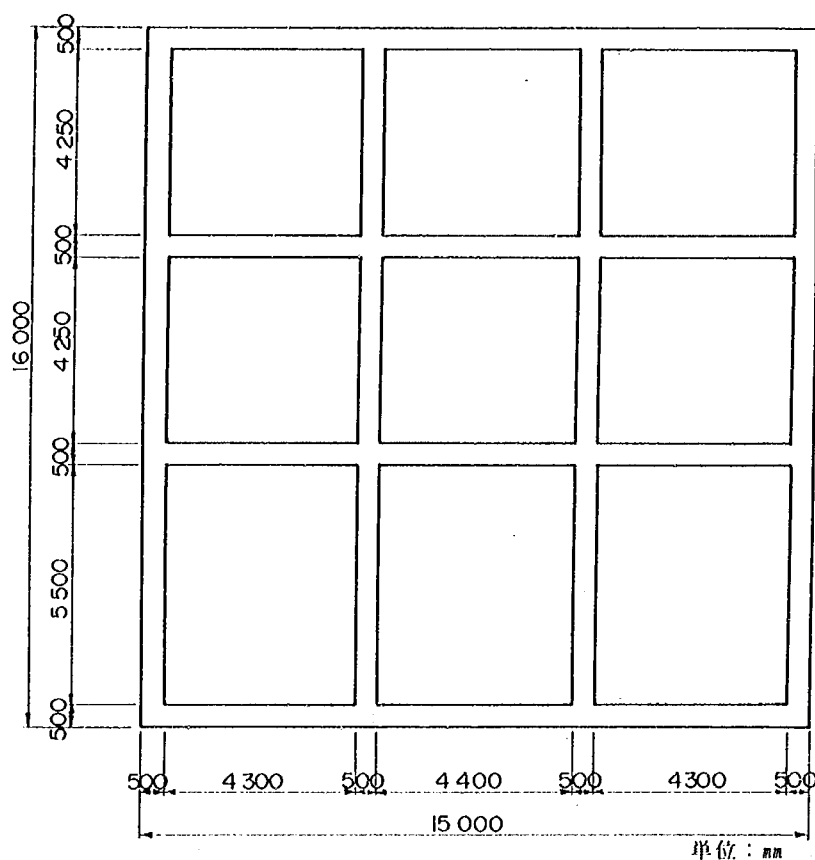


図9.6 A-A断面図

9.3 構造物の消波性能

斜板消波潜堤の消波性能は前報¹⁾により既に明らかにした。前報では周期が $T \leq 14.0 \text{ sec}$ ，沖波波形勾配が $0.02 \leq H_o/L_o \leq 0.04$ の波浪に対して，透過率 $K_T \leq 0.6$ ，反射率 $K_R \leq 0.5$ を満足するように斜板幅 B_1 を20mに決定した。今回の設計条件では， $T \leq 10.0 \text{ sec}$ ， $0.02 \leq H_o/L_o \leq 0.04$ の波浪に対して上記の消波性能を満足することが要求されているため，実験結果を参考にして $B_1 = 14.0 \text{ m}$ とした。

図9.2に示すように，今回の設計では波力に対する構造物の安定性を向上させるために，前報の構造断面を変更した。変更箇所は前面壁と遊水室である。前面壁は直立壁であったものを 72° の傾斜壁

とし、遊水室は堤体底版から斜板まで全範囲あったものを、中間床板から斜板までとした。これらの影響により、消波性能が前報の実験結果と多少異なることが予想されたため、波浪条件および水深を今回の設計条件に一致させ、図9.2の構造断面に対して縮尺1/25の消波実験を行った。図9.7～9.8は水深 h および沖波波形勾配 H_0/L_0 をパラメータとし、相対幅 B_1/L_0 と K_T 、 K_R の関係を示したものである。表9.1に構造諸元を示す。

斜板消波潜堤は、対象波浪 $T \leq 10.0\text{sec}$ 、 $0.02 \leq H_0/L_0 \leq 0.04$ に対して $K_T \leq 0.6$ 、 $K_R \leq 0.5$ を満足することがわかる。

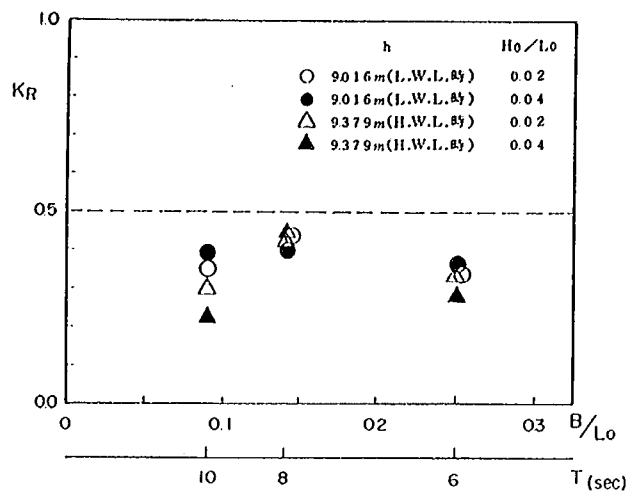
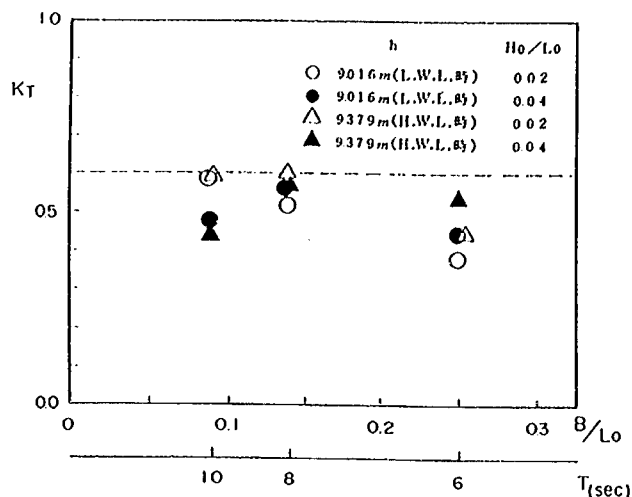


図9.7 斜板消波潜堤の透過率 K_T ($B_1=14.0\text{m}$)

図9.8 斜板消波潜堤の反射率 K_R ($B_1=14.0\text{m}$)

表9.1 構造諸元

諸元		実 験	現 地	記 号
斜 板 幅 B_1		56cm	14m	
没 水 深 R		2.06, 3.52cm	0.516, 0.879m	
突起	S_1	3.6cm	0.9m	
	S_2	4.0cm	1.0m	
斜 板 勾 配 i_s		1/10	1/10	
前壁開口率 ϵ_1		10%	10%	
斜板開口率 ϵ_2		10%	70°	
前壁傾斜角 θ		10%	72°	
水 深 h		36, 37.5cm	9.016, 9.379m	

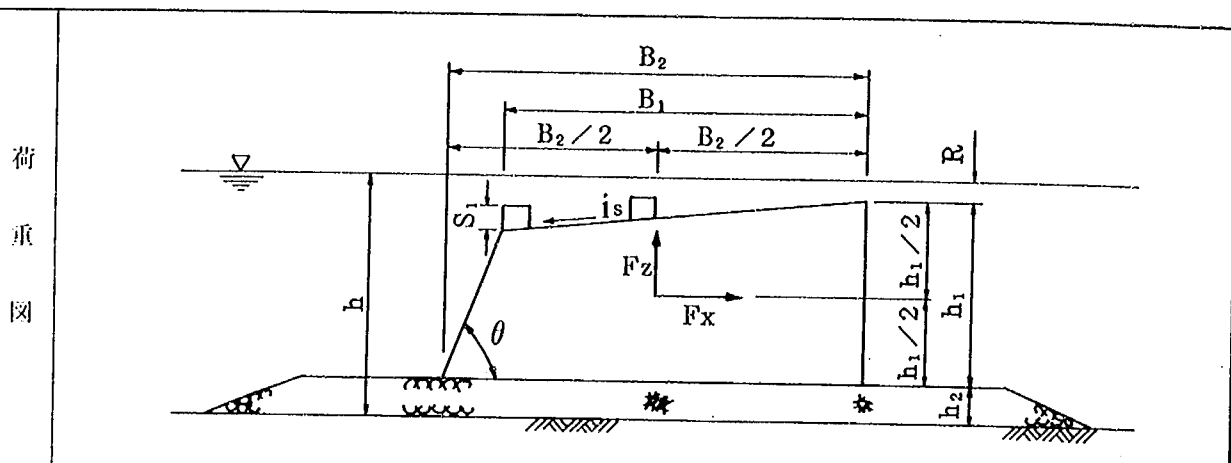
注) 水深 h はL.W.L.時とH.W.L.時に相当する。

9.4 堤体の安定性の検討

9.4.1 設計荷重

(1) 波力作用時

波力実験の結果より堤体に作用する波力は以下のように設定した（資料参照）。



構 造 諸 元	斜 板 幅 B_1	14.0m	波 浪 条 件	最高波高 H_{max}		7.1m
	底 版 幅 B_2	16.0m		周 期 T		10.0sec
	堤 体 高 h_1	7.0m		波 向 β_0		0° (構造物に直角)
	マウンド高 h_2	1.5m	波 力	鉛直上向き力 最 大 時	水平力 F_x	17.2tf/m
	水 深 h	9.016m (L, W, L時)			鉛直力 F_z	59.3tf/m
	没 水 深 R	0.516m (L, W, L時)		鉛直上向き力 最 大 時	水平力 F_x	-14.6tf/m
	前壁傾斜角 θ	72°			鉛直力 F_z	-24.8tf/m
	突 起 高 さ S_1	0.9m		水平力最大時	水平力 F_x	26.4tf/m
斜 板 勾 配 i_s	1 / 10	鉛直力 F_z			-21.7tf/m	
備 考	・ F_xの作用位置は底版より $h_1/2$, F_zの作用位置は堤体前趾より $B_2/2$ である。 ・ 滑動および転倒に対する安定性の検討は、鉛直上向き力最大時と水平力最大時について行う。 - 地盤の支持力の検討は、鉛直下向き力最大時と水平力最大時について行う。 ・ 波力実験の結果より、水深は波力が最大となるL, W, L, 時を対象とする。					

(2) 地震時

堤体に作用する地震時の慣性力および動水圧は以下のように設定した。

荷重図			
震度	水平震度 K_h	0.1	
	鉛直震度 K_v	0.0	
地震時水平力	慣性力	コンクリート F_{H1}	9.8tf/m
		中詰砂 F_{H2}	7.6tf/m
		遊水室の海水 F_{H3}	1.8tf/m
	動水圧	堤体前面 P_{dw1}	3.9tf/m
		堤体背面 P_{dw2}	3.9tf/m
	合計 F_H		27.0tf/m

- ・堤体に作用する地震時の慣性力は、コンクリート、中詰砂および遊水室内の海水について考慮した。
- ・動水圧の算定はウェスターガードの式によった。
- ・水深は動水圧が最大となるH.W.L. ($h=9.379m$) を対象とした。
- ・慣性力の作用位置は底版より2.9mとし、動水圧の合力の作用位置は底版より3.0mとした。

9.4.2 滑動に対する安定性の検討

堤体の滑動に対する安定性の検討結果を表9.2に示す。滑動に対する安全率はいずれも許容安全率を満足している。

表9.2 滑動に対する安全率

		作用水平力 P (tf/m)	抵抗力 R (tf/m)	安全率 R/P	許容安全率 F
波力作用時	鉛直上向き力 最大時	17.2	21.4	1.24	1.2
	水平力最大時	26.4	71.9	2.72	1.2
地震時		27.0	57.0	2.11	1.2
備考		・堤体重量; $W_c=174\text{tf/m}$ (空中重量) $W_c=95\text{tf/m}$ (水中重量) ・抵抗力 ; $(W_c-F_z) \times f$ ここに、 F_z は鉛直力、 f は堤体底面と捨石の摩擦係数で0.6とする。			

9.4.3 転倒に対する安定性の検討

堤体の転倒に対する安定性の検討結果を表9.3に示す。

表9.3 転倒に対する安全率

		転倒モーメント M (tf・m/m)	抵抗モーメント M_R (tf・m/m)	安全率 M_R/M	許容安全率 F
波力作用時	鉛直上向き力 最大時	534.6	716.3	1.34	1.2
	水平力最大時	92.4	914.7	9.90	1.2
地震時		79.1	716.3	9.06	1.1

転倒モーメントおよび抵抗モーメントは堤体後趾のまわりのモーメントである。転倒に対する安全率はいずれも許容安全率を満足している。

9.4.4 地盤の支持力の検討

マウンドおよび基礎地盤の支持力の検討結果を以下に示す。

荷 重 図

The diagram illustrates a cross-section of a mound and its foundation. The mound has a top width of 16.0 m, divided into two 8.0 m segments. The total height of the mound is 9.016 m. The foundation is 16.0 m wide. The diagram shows various forces: horizontal force F_x , vertical force $W_c' - F_z$, and bearing pressures P_1 , P_2 on the mound top and P_1' , P_2' on the foundation. A water level symbol is shown on the left.

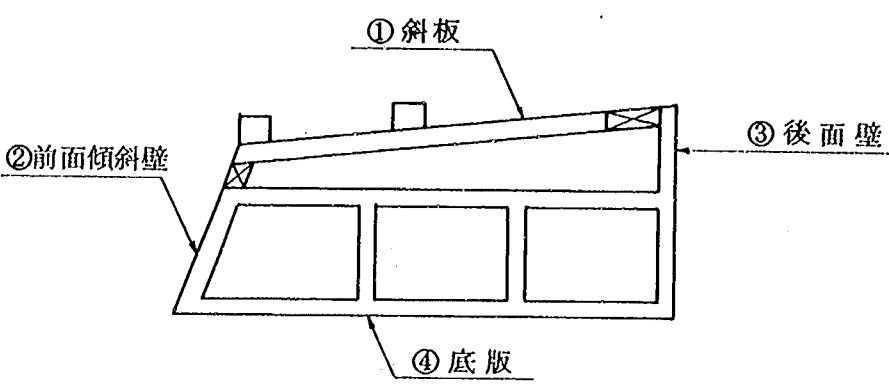
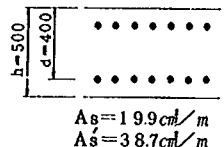
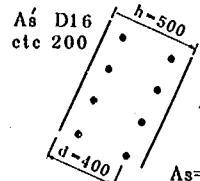
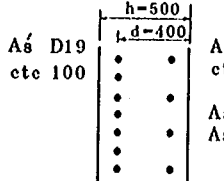
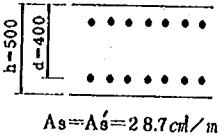
		鉛直下向き力 最 大 時	水平力最大時	許容支持力 q_a (tf/m ²)
マウンド上面 の端趾圧	P_1 (tf/m ²)	6.4	9.2	40.0
	P_2 (tf/m ²)	8.6	5.4	
基礎地盤面の 端趾圧	P_1' (tf/m ²)	7.2	9.7	20.3
	P_2' (tf/m ²)	9.2	6.3	

備 考

- ・ 堤体に作用する水平力は水平波力 F_x 、鉛直力は堤体の水中重量 W_c' および鉛直波力 F_z である。ここで、 $W_c'=95\text{tf/m}$
- ・ マウンド上面の端趾圧の算定は「港湾の施設の技術上の基準・同解説」のpp. 4-10~4-11によった。
- ・ マウンドの許容支持力は「港湾の施設の技術上の基準・同解説」のpp. 5-8~pp. 5-9によった。
- ・ 基礎地盤の砂の内部摩擦角 ϕ の算定はグナムの式 $\phi = \sqrt{12N} + 20$ より算定し、 $\phi=25^\circ$ とした。ここで、 $N=5$ 。

9.5 主要部材の構造計算

各部材に作用する波力より各部材断面を以下のように算定した（資料参照）。

			
部 材 名	作用波力	断 面 力	部 材 断 面 形 状
① 斜 板	$P_a = 6.2 \text{ tf/m}^2$ $P_b = -3.6 \text{ tf/m}^2$	$M_U = 16.6 \text{ tf/m}$ $M_L = 6.9 \text{ tf/m}$	 $A_s = 19.9 \text{ cm}^2/\text{m}$ $A_s' = 38.7 \text{ cm}^2/\text{m}$
② 前面傾斜壁	$P_a = 3.8 \text{ tf/m}^2$ $P_b = -3.8 \text{ tf/m}^2$	$M_U = 4.0 \text{ tf/m}$ $M_L = 4.0 \text{ tf/m}$	 $A_s = A_s' = 9.9 \text{ cm}^2/\text{m}$
③ 後 面 壁	$P_a = 7.3 \text{ tf/m}^2$ $P_b = -1.9 \text{ tf/m}^2$	$M_U = 14.2 \text{ tf/m}$ $M_L = 6.5 \text{ tf/m}$	 $A_s = A_s' = 28.7 \text{ cm}^2/\text{m}$
④ 底 版	$P_a = 1.9 \text{ tf/m}^2$ $P_b = -3.3 \text{ tf/m}^2$	$M_U = 14.9 \text{ tf/m}$ $M_L = 5.8 \text{ tf/m}$	 $A_s = A_s' = 28.7 \text{ cm}^2/\text{m}$
備 考	・ P_a, P_b の符号は波の進行方向または鉛直下向きを正とした。 ・ 底板には上記波力以外に地盤反力 $q = 7.3 \text{ tf/m}^2$ を考慮した。 ・ M_U は版の上側または前側が最大となるモーメントを表わし、M_L は版の下側または後側が最大となるモーメントを表わしている。		

9.6 施工概要

9.6.1 概 要

本構造物の施工上の特徴を以下に述べる。

① ケーソンは陸上ヤードにおいて場所打一体製作を行う。したがって、ケーソンは一体性に富み、剛性の高い構造物となる。

② 砂の中詰には、陸上でケーソン製作時に行う方法と、ケーソン設置後海上で行う方法がある。今回は海水汚濁、充填の確実性、工期の短縮および経済性を考慮して陸上で砂の中詰する方法を採用した。

③ ケーソンの曳航には、起重機船を用いてケーソンを吊り上げ曳航する方法と、ケーソンを浮上させ引船を用いて曳航する方法がある。両者の優劣は、現地条件や経済性の観点により異なるため詳細な検討が必要であるが、今回は施工の確実性を優先し、ケーソンを起重機船により吊り上げ曳航する方法を採用した。

9.6.2 施工方法

本構造物の施工手順を図9.9および図9.10に示す。

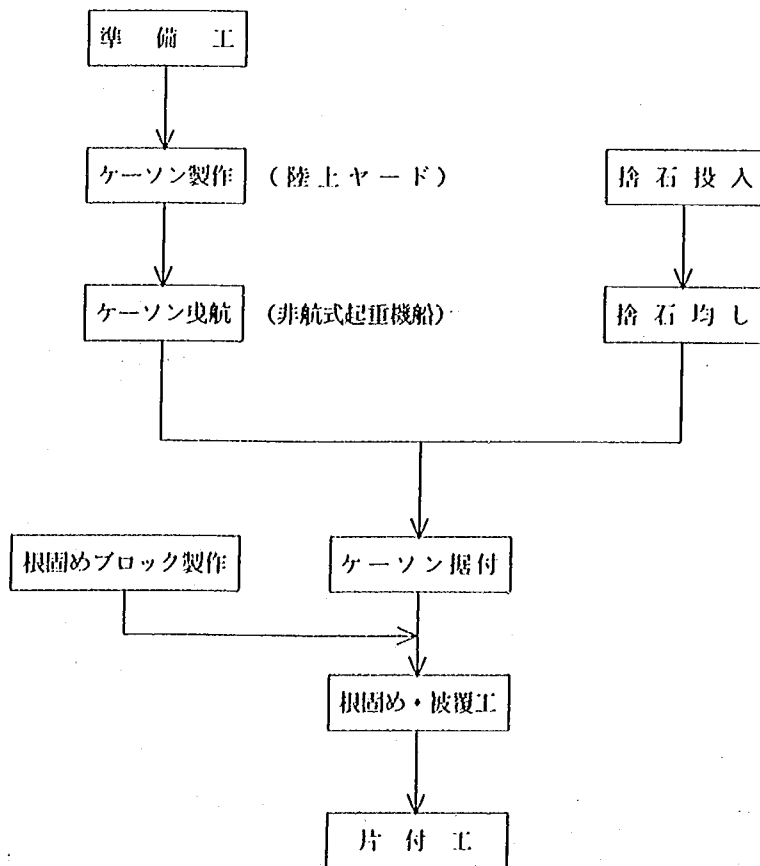


図9.9 施工フロー図

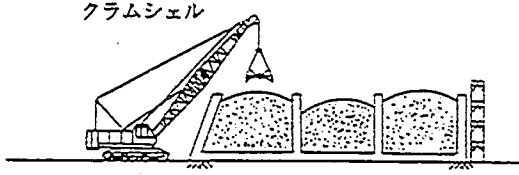
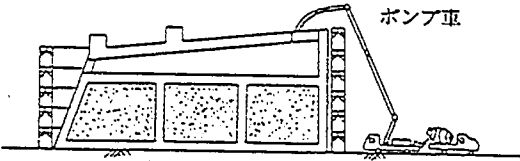
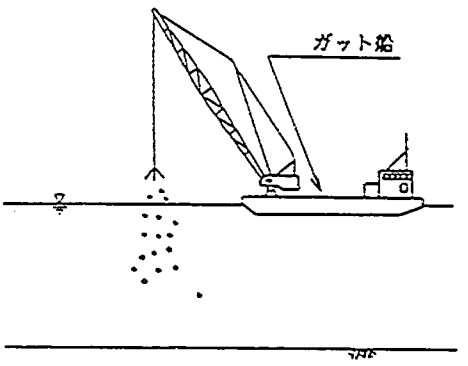
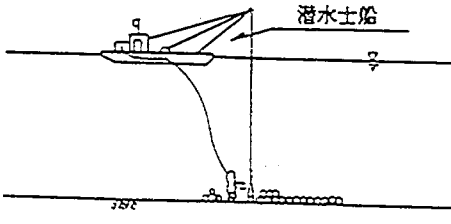
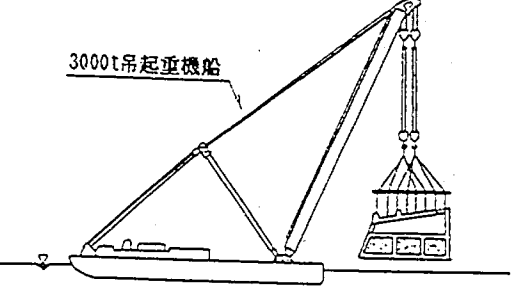
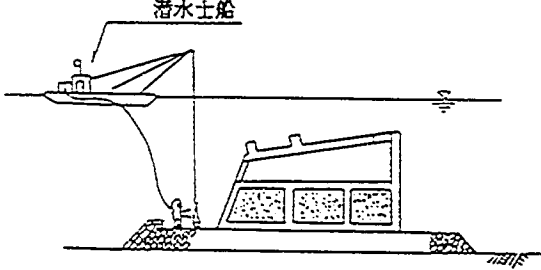
工種	① ケーソン製作（下部工）	② ケーソン製作（上部工）	③ 捨石投入
施工要領図			
主業内容	ケーソン下部コンクリート打設。 中詰砂を投入する。	ケーソン上部コンクリート打設。	ガット船により捨石を投入する。
工種	④ 捨石均し	⑤ ケーソン曳航・据付	⑥ 根固め・被覆工
施工要領図			
主業内容	潜水土により捨石均しを行う。	起重機船で運んだケーソンを所定の位置へ沈設する。	潜水土により根固めブロック・被覆石を据え付ける。

図9.10 施工要領図

以下に各工程の概略施工方法を述べる。

① ケーソン製作

ケーソン製作は、ケーソン設置位置から約13km離れた境港内の4万tバースの一部(340×60m)を用いて行う。製作数量は、底版幅16.0m、長さ15.0m、高さ7.0mのケーソンを14函とする。ケーソンは、最初に底版および底版上面から3.3mまでの側壁と隔壁のコンクリート打設を行う。次に、クラムシェルを用いて砂を中詰し、締固めを行った後、残りのコンクリートを打設する。

② 捨石投入・均し

捨石は、ガット船を用いて投入する。基盤地盤の砂の吸い出しを防止するために、捨石マウンドの下層0.5mには粒径40～80mmの砕石を投入し、その上の1.0mには重さ50～200kgf/個(粒径30～50cm)の砕石を投入する。捨石投入後、潜水士がマウンド表面の荒均し、本均しを行う。

③ ケーソン曳航

捨石の投入および均しが完了した後、陸上製作ヤードで製作したケーソン(1函あたりの空中重量2600t)を非航式起重機船(ジブ固定式3000t吊)で吊り上げ、引船を用いてケーソン設置位置まで曳航する。

④ ケーソン据付

起重機船をアンカーで固定した後、ケーソンを所定の位置に沈設する。

⑤ 根固め工

根固ブロック(20t型)は陸上ヤードで製作する。ケーソン据付後、台船を用いて根固ブロックをケーソン設置位置まで運搬し、クレーン船を用いて据え付ける。

⑥ 被覆工

ケーソンの根固が完了した後、クレーン船を用いて被覆石(約1t/個)を据え付ける。

9.6.3 総括数量

本構造物を延長200m建設するために必要な材料の数量を表9.4に示す。

表9.4 数量総括表

種 類	延長 200m	備 考
ケーソンコンクリート	8000m ³	f'ck=240kgf/cm ² 1函あたり 600m ³
ケーソン鉄筋	960t	SD30 1函あたり 72t
ケーソン中詰砂	7640m ³	1函あたり 573m ³
マウンド捨石	9300m ³	50～200kg/個
マウンド根固ブロック	170個	20t型 (2.5m×3.5m×1.0m)
マウンド被覆石	7300m ³	約1t/個

9.6.4 使用船舶・機械

本構造物の建設に必要な主要船舶・機械を表9.5に示す。

表9.5 使用船舶・機械一覧表

工 種	船 舶 ・ 機 械 名	仕 様	数 量
ケーソン製作および 中詰砂投入	トラッククレーン	10t 吊	2 台
	コンクリートポンプ車	ブーム式	1 台
	クラムシェル	2 m ³ バケット	1 台
	トラクタショベル		1 台
捨石投入	潜水士船	D 100PS	2 隻
	交 通 船	D 150PS	1 隻
捨石均し	潜水士船	D 100PS	12隻
	交 通 船	D 150PS	1 隻
ケーソン曳航	非航式起重機船	ジブ固定式3000 t 吊	1 隻
	引 船	D 4000PS	1 隻
	引 船	D 3000PS	2 隻
	揚 錨 船	D 80 t 吊	1 隻
	交 通 船	D 150PS	1 隻
ケーソン据付	非航式起重機船	ジブ固定式3000 t 吊	1 隻
	引 船	D 4000PS	1 隻
	引 船	D 3000PS	2 隻
	揚 錨 船	D 80 t 吊	1 隻
	潜水士船	D 100PS	4 隻
	交 通 船	D 150PS	1 隻
根固め工	クローラクレーン	100 t 吊	1 台
	起重機船	非航施回70 t 吊	1 隻
	台 船	500 t 積	1 隻
	引 船	D 450PS	2 隻
	潜水士船	D 100PS	2 隻
	交 通 船	D 150PS	1 隻
被 覆 工	潜水士船	D 100PS	10隻
	交 通 船	D 150PS	1 隻

9.6.5 工 程

本構造物を延長200m建設するための工事工程を表9.6に示す。ただし、海洋工事の施工期間は6月から10月までの5ヶ月間とした。また、表9.6に示すように、海洋工事の各工種の作業限界波高は、捨石投入については1.0m、その他の工種については0.5mとした。したがって、波高出現確率より捨石投入の稼働率を80%とし、その他の工種の稼働率については、6月から8月までを60%、9月から10月までを30%に設定した。

表9.6 工程表

項 目		作業限界波高 (m)	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
準備工	一式	—	10日								
ケーソン製作 中詰砂投入	14函	—		170日							
捨石投入	9300m ³	1.0					10日				
捨石均し	本均し4900m ² 荒均し2200m ²	0.5					70日				
ケーソン曳航・ 据付	14函	0.5						40日			
根固め工	170個 (20t/個)	0.5		製作 136日					据付け50日		
波覆工	被覆石7300m ³ 均し3700m ³	0.5							65日		
片付工	一式	—									10日

9.7 構造物の適用性と今後の課題

最初に構造上の適用性について述べる。斜板消波潜堤の消波機構は斜板での碎波によるものである。これは、自然海岸での消波機構に基づく優れた消波方法である。また、没水型であるため構造物の存在を感じさせず、景観を損なうことがない。本構造物は、外力に対して堤体底面と捨石マウンドの摩擦抵抗により安定が保たれる。このため、杭を打設してその水平抵抗に期待する必要がなく、構造物全体の安定機構が単純である。また、実験により波浪に対する安全性を容易に確認することができるため、信頼性の高い構造物を構築することができる。

次に、施工上の適用性について述べる。ケーソンの製作は陸上で行われるので、海上での主な作業はマウンドの構築、ケーソンの曳航・沈設および被覆工のみである。したがって、本構造物は海上作業期間が短いため急速施工が可能となる。また、本構造物のようにマウンド上にケーソンを設置する

直接基礎構造物は、過去の施工例が豊富であり、多くの設計・施工技術が蓄積されている。これらの技術と今回検討を行った設計・施工技術により本構造物は十分実現が可能である。今後は、構造物周辺の洗掘、構造物の設置に伴う海浜変形および漂砂制御について検討する必要がある。

表9.7 現状の技術レベルと今後の課題

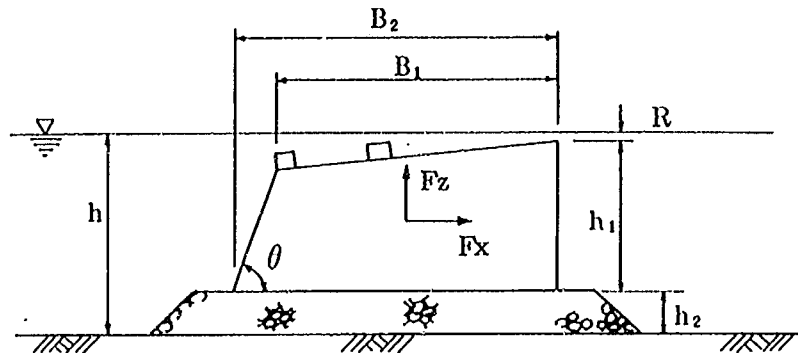
項 目	現状の技術レベル	今 後 の 課 題
1. 水理特性		
①消波特性	61, 62年度の実験で透過率 0.6、反射率 0.5 を満足する基本的な構造諸元を決定した。	
②波 力	62年度の実験で非碎波時から碎波時までの全波力及び部材波圧を求めた。また、滑動実験により衝撃碎波が作用する場合の堤体の必要重量を求めた。	
③漂砂・洗掘	洗掘に関しては、現状で考えられる洗掘防止工を施工する。 漂砂については、検討していない。	構造物の設置による構造物周辺の洗掘、背後の海浜変形及び漂砂制御について検討する必要がある。 洗掘防止工の効果の確認
2. 構造設計	「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に準拠して検討。 現状の設計手法で問題はない。	
3. 施 工	現状の海洋工事の技術で可能である。	

参考文献

- 1) 建設省土木研究所河川部海岸研究室：海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(2)，土木研究所資料第2510号，pp. 111～123，1987.
- 2) 建設省土木研究所河川部海岸研究室：海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(4)，土木研究所資料第2577号，pp. 103～132，1988.

資 料

本計画に用いた波力値と波力実験結果の関係

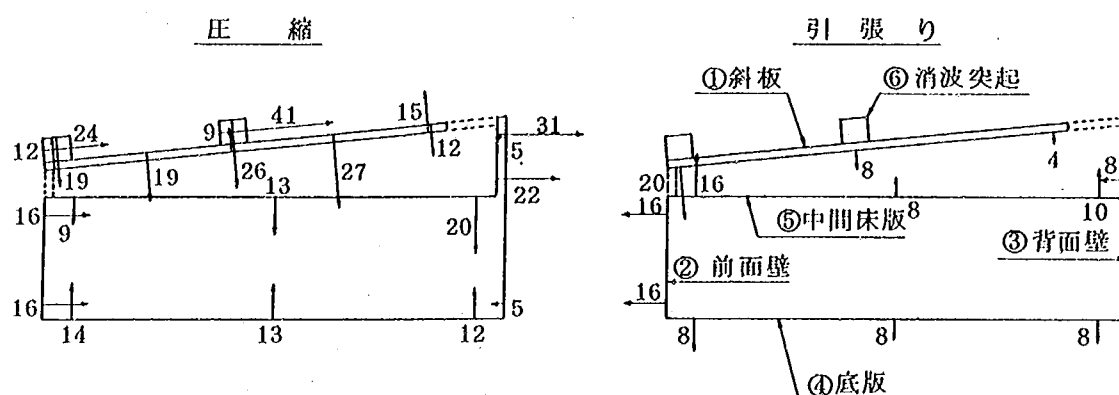


項 目			波 力 実 験		本 計 画
			縮尺 1 / 25	現地換算	
波 高 H			30cm	7.5m	7.1m
周 期 T			2.0sec	10.0sec	10.0sec
斜 板 幅 B ₁			80cm	20.0m	14.0m
底 版 幅 B ₂			80cm	20.0m	16.0m
堤 体 高 h ₁			36cm	9.0m	7.0m
マウンド高 h ₂			0 cm	0 m	1.5m
没 水 深 R			0 cm	0 m	0.516～0.879m
前面壁傾斜角 θ			90°	90°	72°
水 深 h			36cm	9.0m	9.016～9.379m
波 力	揚圧力最大時	水平力 F _x	37.3kgf/m	23.3tf/m	17.2tf/m
		鉛直力 F _z	125.3kgf/m	78.3tf/m	59.3tf/m
	鉛直力最大時	水平力 F _x	-31.7kgf/m	-19.8tf/m	-14.6tf/m
		鉛直力 F _z	-52.3kgf/m	-32.7tf/m	-24.8tf/m
	水平力最大時	水平力 F _x	57.3kgf/m	35.8tf/m	26.4tf/m
		鉛直力 F _z	-46.0kgf/m	-28.7tf/m	-21.7tf/m
備 考			● F _x 、F _z の値は、付図 1 分力計測定記録より読み取った。 ● 波力実験では海底勾配 1 = 1 / 10、本計画では 1 = 1 / 110であるが、安全側である波力実験の値を用いた。 ● 本計画のF _x 、F _z は現地換算のF _x 、F _z の値に投影面積比と波高比を乗じた値である。 ● 前面壁傾斜角θは本計画では72°である。これは、波力実験のθより小さいが、安全側である波力実験の値を用いた。		

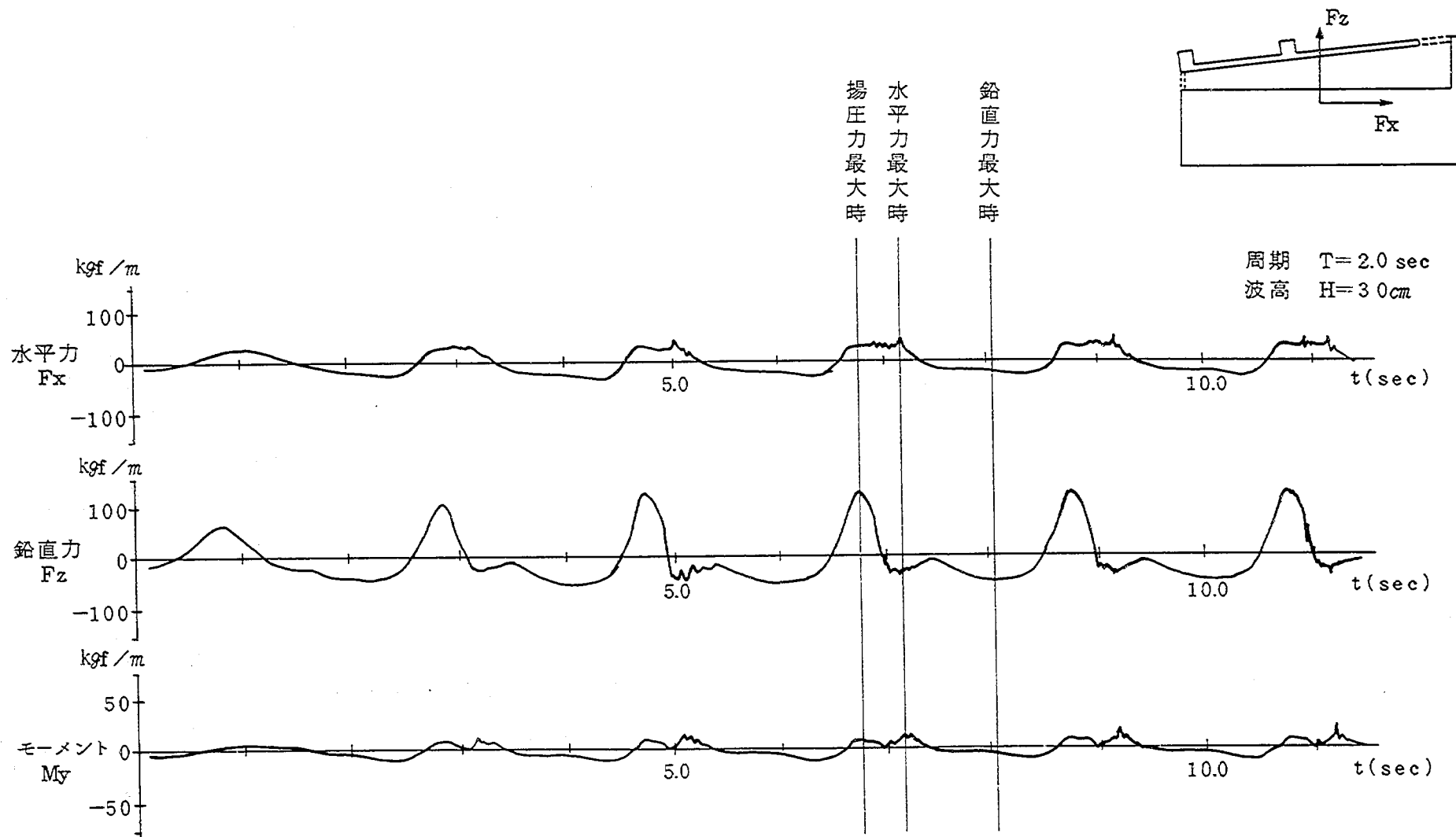
本設計に用いた部材波圧値と波力実験結果の関係

項 目	波 力 実 験		本 計 画
	縮尺 1/25	現 地 換 算	
波 高 H	30cm	7.5m	7.1m
周 期 T	2.0sec	10.0sec	10.0sec
① 斜 板	+26gf/cm ²	+6.5 tf/m ²	+6.2 tf/m ²
	-15gf/cm ²	-3.75tf/m ²	-3.55tf/m ²
② 前 面 壁	+16gf/cm ²	-4.0 tf/m ²	+3.79tf/m ²
	+16gf/cm ²	-4.0 tf/m ²	-3.79tf/m ²
③ 後 面 壁	+31gf/cm ²	+7.75tf/m ²	+7.33tf/m ²
	-8gf/cm ²	-2.0 tf/m ²	-1.90tf/m ²
④ 底 版	+8gf/cm ²	+2.0 tf/m ²	+1.90tf/m ²
	-14gf/cm ²	-3.50tf/m ²	-3.31tf/m ²
⑤ 中 間 床 版	+20gf/cm ²	+5.0 tf/m ²	+4.75tf/m ²
	-10gf/cm ²	-2.5 tf/m ²	-2.37tf/m ²
⑥ 消 波 突 起	+41gf/cm ²	+10.25tf/m ²	+9.70tf/m ²

波力実験 (縮尺 1/25) 波圧測定値 (最大値) 単位 ; gf/cm²



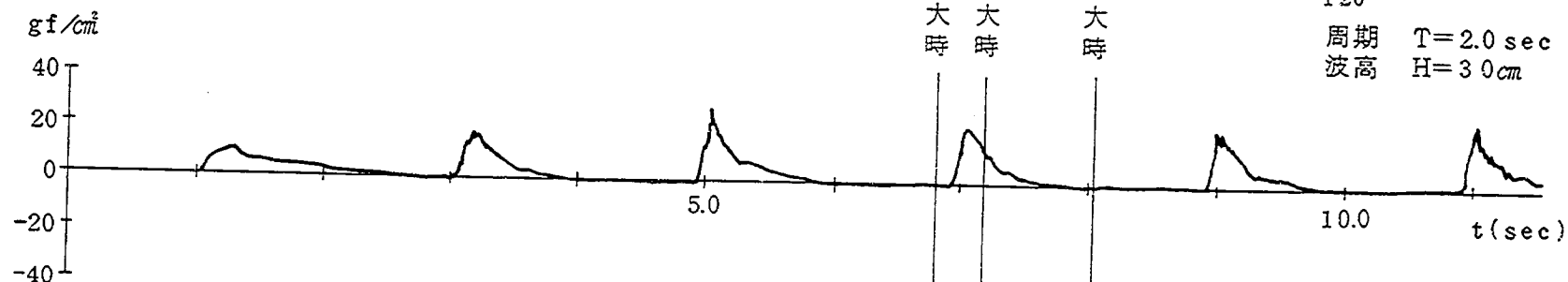
- 波圧測定値は、付図 2, 3 よりそれぞれ読み取った。
- 本計画の波圧値は、現地換算の波圧値に波高比を乗じた値である。
- 符号は、波の進行方向および鉛直下向きを正とする。



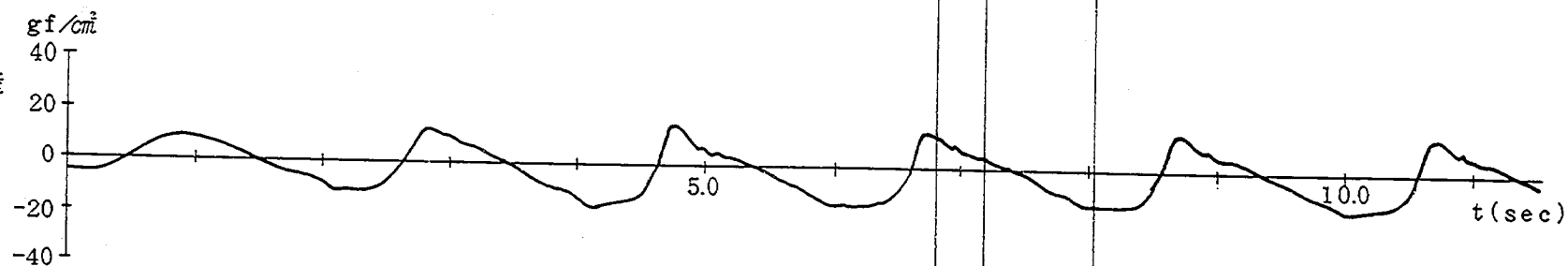
注) 水平力の符号は、波の進行方向を正、鉛直力の符号は上向きを正とし、
モーメントは波の進行方向の水平力によるモーメントを正とする。

付図1 分力計測定記録

①斜板
P6



②前面壁
P17

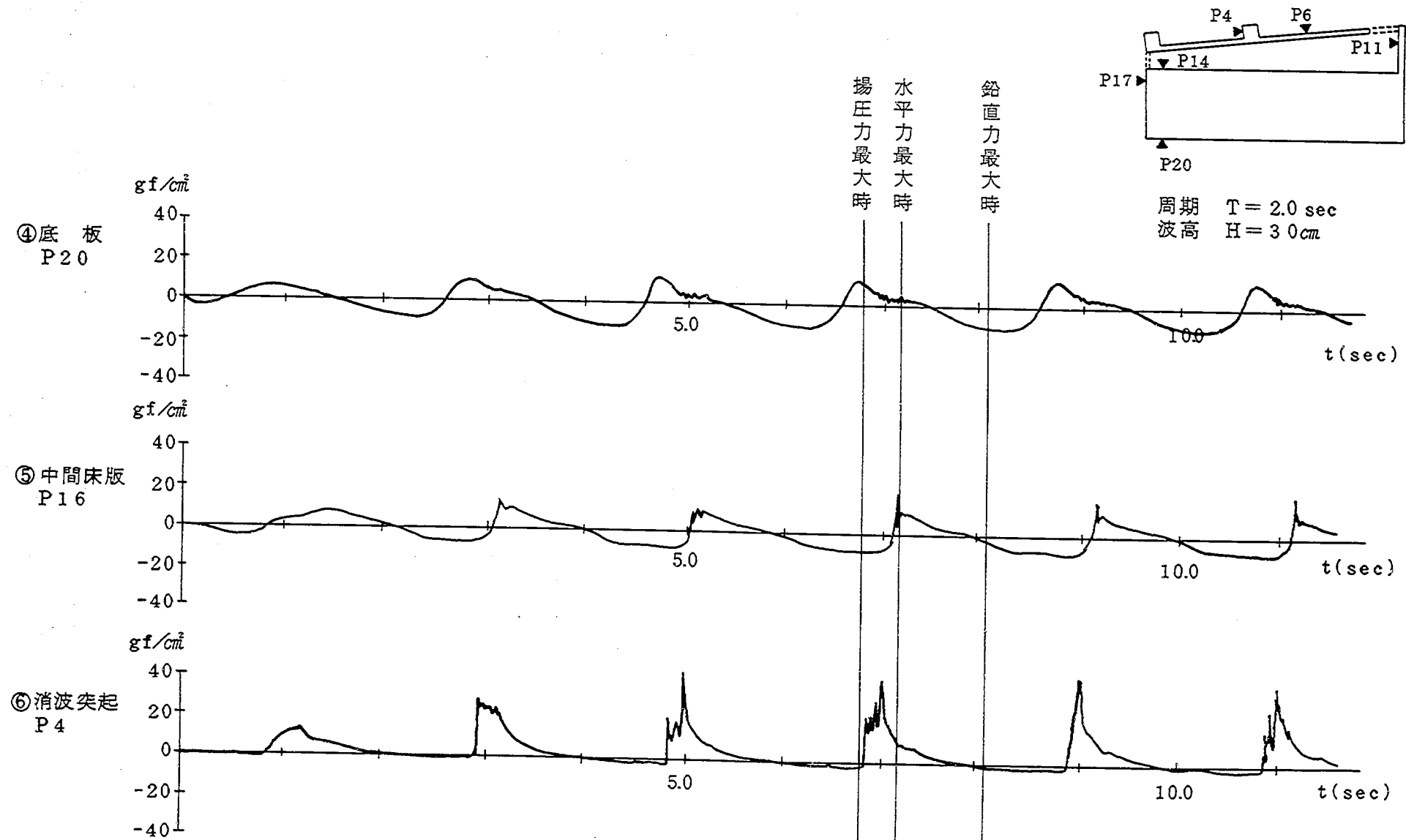


③後面壁
P11



付図2 波圧計測定記録(1)

注) 符号の正は、水圧計の圧縮、負は引張りを示す。

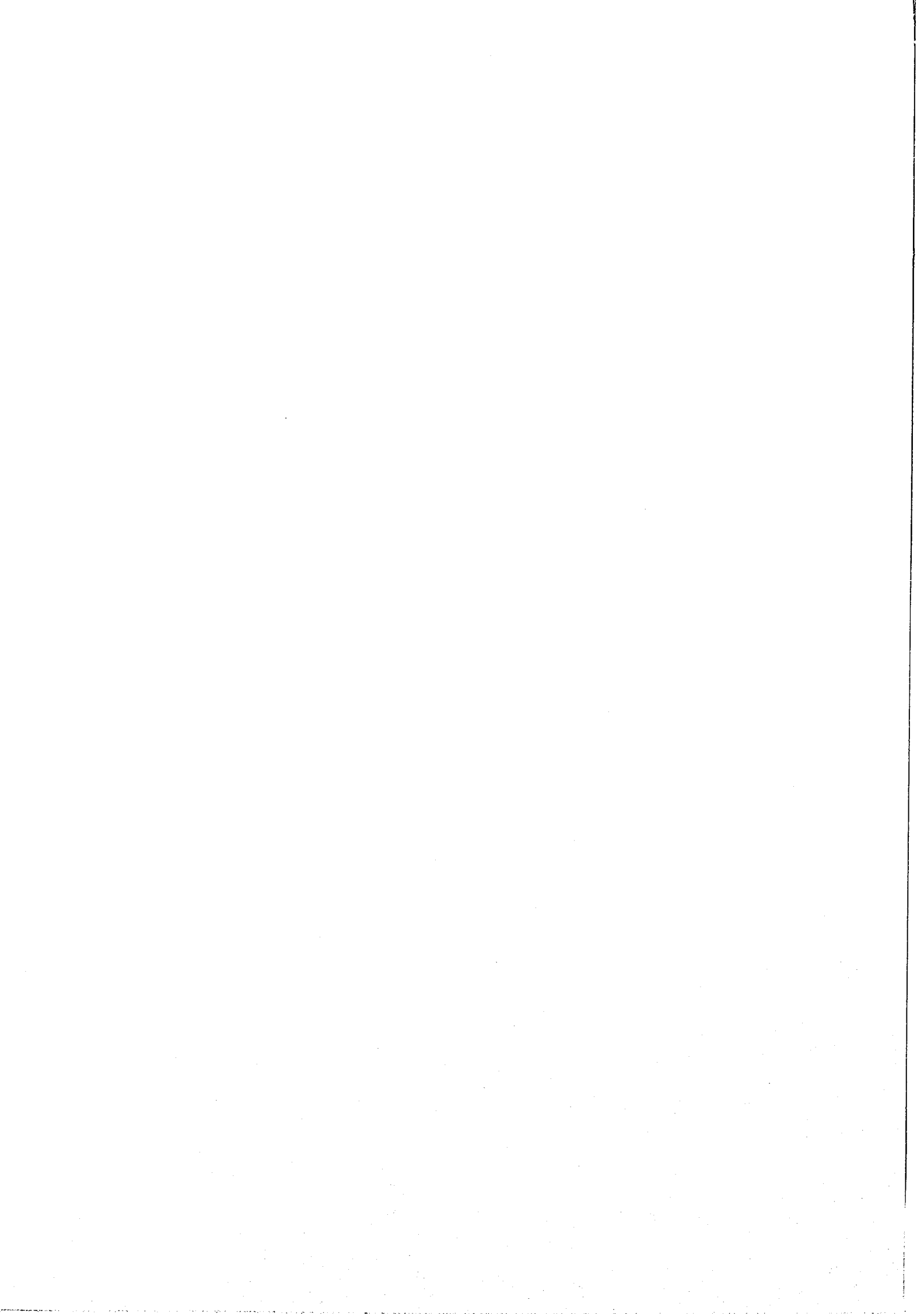


注) 符号の正は、水圧計の圧縮、負は引張りを示す。

付図3 波圧計測定記録(2)

第10章 ハイブリッド式構造物

戸田建設株式会社	土木技術開発室	北村律太郎
〃	〃	梅田 宏
〃	〃	添田 弘基
〃	〃	西牧 均
〃	〃	佐藤 敏文
新日本製鐵株式会社	鉄構海洋事業部	山本 諄
〃	〃	盛高 裕夫
〃	〃	木村 哲夫
〃	〃	高橋 陽一



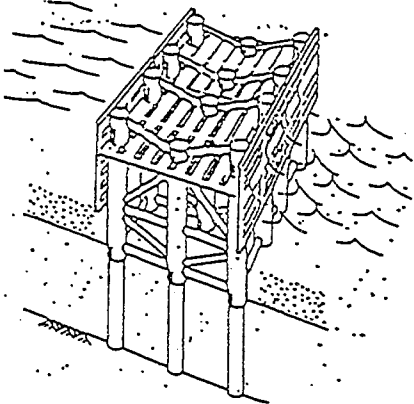
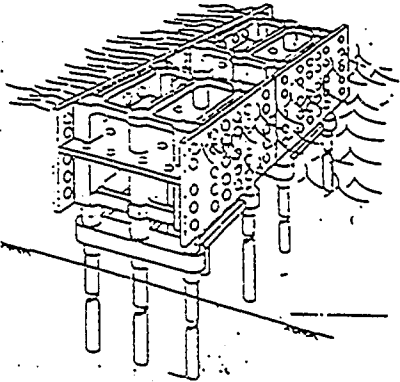
10.1 概 要

設計・施工検討を行ったハイブリッド式消波構造物 2 タイプの消波構造および構造概要を表10.1に示す。ハイブリッド式消波構造物は鋼管杭で支持するラーメン構造または鋼製ジャケット構造を基本構造とし、波力が大きく、海底地盤が軟弱な地点においても建設が容易な構造形式である。その消波構造部は円孔またはスリットの空隙部を持つ鉛直消波板と水平消波板を組み合わせた複合消波板である。空隙部の形状、吃水比などの構造諸元は水理実験結果¹⁾ ²⁾ ³⁾ をもとに決定され、次のような特徴を持つ。

- ① 支持構造が骨組みで、下部に開口部をもつため外海との通水性を保つ透過性構造物である。
- ② 支持構造は一体で陸上ヤードで製作され、現地海底に設置した後、杭を打設するため施工管理が容易である。
- ③ 主構造部材、接合部は陸上で製作されるため高い精度で製作できる。

ラーメン構造、鋼製ジャケット構造ともに空隙部の形状は円孔、スリットの 2 種が選択できるが、本報告においては表10.1に示す、①空隙部の形状がスリットのものと同鋼製ジャケット構造の組み合わせ、②空隙部の形状が円孔のものとラーメン構造の 2 ケースについて検討した。

表10.1 設計・施工検討を行う構造タイプ

No.	消波タイプ	消波構造・消波特性	構造概要
1	複合消波板 空隙部：スリット	1. 鉛直消波板と水平消波板の組合せにより消波する。 2. 鉛直板の吃水比は $h_2/h=0.7$ 、水平板の設置水深比は $h_{2p}/h=0.2$ 。 3. スリット幅により透過率、反射率はほとんど変化しない。	 堤体：鋼製ジャケット構造 空隙率：前 面 $\varepsilon_f=0.20$ 背 面 $\varepsilon_r=0.20$ 水平板 $\varepsilon_p=0.10$
2	複合消波板 空隙部：円孔	1. 鉛直消波板と水平消波板の組合せにより消波する。 2. 鉛直板の吃水比は $h_2/h=0.7$ 、水平板の設置水深比は $h_{2p}/h=0.2$ 。 3. 空隙部孔径を小さくすると、透過率は減少し、反射率は増加する。	 堤体：ラーメン構造 空隙率：前 面 $\varepsilon_f=0.20$ 背 面 $\varepsilon_r=0.20$ 水平板 $\varepsilon_p=0.10$

10.2 計画条件

ここではフィージビリティスタディを行うために必要な計画条件のうち5章で述べられていない項目を述べる。

10.2.1 消波性能

6月～11月の波高出現頻度（表5.12, 5.13）によれば $H_{1/3} \leq 2.0\text{m}$ の出現がほとんどの割合を占め、この傾向は全年の場合も変わらない。これにより、消波対象波高 H は2.0m以下とする。

10.2.2 適用示方書、基準書類

「5.4 適用示方書・基準書類」に加え、鋼製ジャケット構造の場合、ジャケット格点部、鋼管杭とジャケットレグの付着力の照査に①を適用する。また、ラーメン構造の場合、鋼管杭とケーシング鋼管の付着力の照査に①、SRC造のせん断力の分担、軸引張力の照査に②を適用する。

- ① API-RP2A（海洋構造物の設計、加工、施工のための指針）：アメリカ石油協会（1987）
- ② 鉄骨鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説：日本建築学会，1975

10.2.3 使用材料

使用材料は表10.2に示す。

表10.2 使用材料

使 用 材 料		規 格	備 考
鋼 材	鋼 管 杭	SKK41, SKK50	
	構 造 用 鋼 材	SS41, SM50, STK41	
	鉄 筋	SD30, SD35, SR24	
コ ン ク リ ート	普通コンクリート	$f'_{ck} = 240\text{kgf/cm}^2$	
	セメントモルタル	$f'_{ck} = 240\text{kgf/cm}^2$	構造体と杭間

10.2.4 材料の許容応力度等の補足

鋼管とモルタルの許容付着応力度は「API-RP2A」より $1.4\text{kgf}/\text{cm}^2$ とする。

10.2.5 鋼材の防食

ジャケット部のうち、干満帯以深より海底間は流電陽極方式による電気防食とし、飛まつ帯は、重防食塗装とする。洗掘された部分と海底泥層中の鋼管杭は腐食代で対応する。鋼材の腐食速度は表5.10に準じる。また鉄筋についてはコンクリートによる被覆工防食と考える。

10.2.6 地盤のバネ定数

(1) 水平方向

道路橋示方書に基づき、次式により推定した。

$$K_o = \alpha \cdot E_o \cdot D^{-3/4} \quad (10.1)$$

$$\alpha = 0.2 \quad (\text{N値より求めるときの係数}) \quad (10.2)$$

$$E_o = 28\text{N}' \quad (10.3)$$

ここに、 K_o : 設計地盤面の変位量 1 cmの時の横方向地盤反力係数 (kgf/cm^2)

D : 杭径 (cm)

N : 表5.1, 表5.2に示す各地層のN値

また、任意の設計地盤面の変位量に対する k 値は、次式より求める。

$$k = k_o \cdot y^{1/2} \quad (10.4)$$

ここに、 y : 設計地盤面の変位量 (cm)

(2) 鉛直方向

道路橋示方書に基づき、次式により推定した。

$$K_u = 2 \frac{A_o \cdot E_o}{\ell} \quad (10.5)$$

$$a = 0.027 (\ell / D) + 0.20 \quad (10.6)$$

ここに、 K_u : 杭軸方向バネ定数 (kgf/cm)

A_o : 杭の純断面積 (cm^2)

E_o : 杭体の弾性係数 (kgf/cm^2)

ℓ : 杭長 (cm)

D : 根入れ長 (cm)

10.2.7 構造物に作用する波力

構造物の安定性検討に用いる設計波力についての考え方を以下に示す。

(1) 消波体に作用する水平波力

現行の波力算定法は合田波力が一般的であるため、設計波力として合田波力を用いるものとする。しかし、合田波力は直立の不透過堤を対象にしており、本構造物が透過性であるという点が異なる。このため、空隙の影響を低減率 λ で考慮する。奥園・牛房の実験⁹⁾によれば有孔壁防波堤に作用する碎波力は不透過堤に比べて空隙率分をさし引いた値よりも大きく低下し、空隙率0.196の有孔壁に作用する碎波力は不透過堤に比べて0.7倍以下であった。一方本構造の空隙率も0.2とほぼ同様であるため、低減率を0.7とする。水平波力の算定式を以下に示す（図10.1参照）。

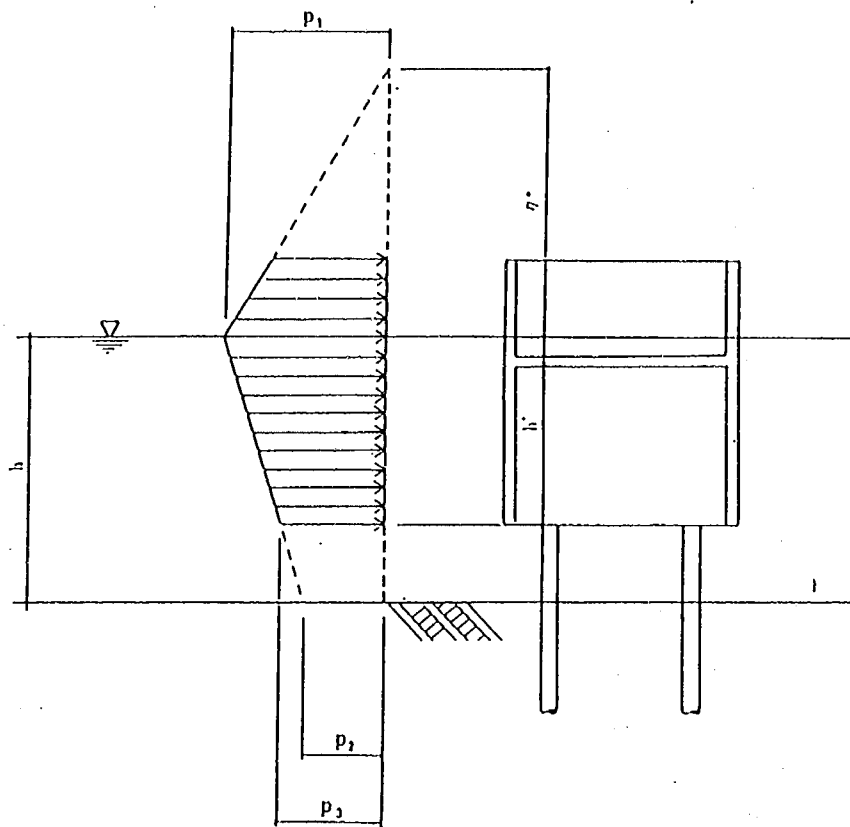


図10.1 堤体に働く水平波力

$$\eta^* = 0.75 \cdot (1 + \cos \beta) \cdot \lambda \cdot H_D = 1.5 \cdot \lambda \cdot H_D \quad (10.7)$$

$$p_1 = \frac{1}{2} \cdot (1 + \cos \beta) \cdot \lambda \cdot \alpha_1 \cdot W_0 \cdot H_D$$

$$= \lambda \cdot \alpha_1 \cdot W_0 \cdot H_D \quad (10.8)$$

$$p_2 = \frac{p_1}{\cosh(2\pi h/L)} \quad (10.9)$$

$$p_3 = \alpha_3 \cdot p_1 \quad (10.10)$$

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left[1 - \frac{4 \pi h / L}{\cosh \cdot (4 \pi h / L)} \right]^2 \quad (10.11)$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h'}{h} \cdot \left[1 - \frac{1}{\cosh \cdot (2 \pi h / L)} \right] \quad (10.12)$$

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/m²)

p_2 : 海底面における波圧強度 (tf/m²)

p_3 : 構造物底面における波圧強度 (tf/m²)

h : 鉛直壁前面における水深 (m)

h' : 構造物底面の水深 (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)

β : 波の入射角 ($= 0^\circ$)

λ : 波力の低減率 ($= 0.7$)

(2) 消波体に作用する鉛直波力

設計鉛直波力は、水理実験³⁾により求めた重複鉛直波力 (鉛直波力強度係数) に割増率を乗じて求めることとする。(1)で算定した設計水平波力が実験の重複水平波力の約1.4倍であることから、鉛直波力の場合もこの値を適用し重複波力から碎波力への割増率を1.4とする。鉛直波力の算定式を以下に示す。

$$P_U = \lambda' \cdot \alpha \cdot W_0 \cdot H_D \quad (10.13)$$

ここに,

P_U : 消波体に作用する鉛直波力 (tf/m²)

λ' : 割増率 ($= 1.4$)

α : 鉛直波圧強度係数 ($= 0.2$)

W_0 : 海水の単位体積重量 (tf/m³)

H_D : 設計波高 (m)

(3) 消波体に作用する波力の作用条件

実験によれば鉛直波力は水平波力と位相差をもって作用するが、入射波周期が長くなると位相差がなくなることが明らかになっている。このことにより、消波体に作用する荷重が最大になる場合を考え、水平波力と鉛直波力の最大値が同時に作用するものとする。

(4) 支持構造および杭に作用する水平波力

支持構造に加わる波力は波の位相を考慮し、部材波力の和が最大となる位相の波を作用させ、モリソン式で波力を求めるものとする。設計地盤高を海底面として計算し、洗掘部分 (2.0m) については海底面に作用する波力が一様にかかるものとする。算定方式を以下に示す。

$$dF = \frac{W_o}{2g} \cdot C_D \cdot u \cdot |u| \cdot ds + \frac{W_o}{g} \cdot C_M \cdot \frac{du}{dt} \cdot dv \quad (10.14)$$

ここに、

dF : 部材の単位長さ当たりの波力 (tf/m)

W_o : 海水の単位体積重量 (1.03tf/m³)

g : 重力加速度 (9.8m/sec²)

C_D : 抗力係数 (円柱の長さが円柱の直径に比べて非常に大きい場合 : 1.0)

C_M : 質量係数 (円柱の長さが円柱の直径に比べて非常に大きい場合 : 2.0)

u : 水粒子速度 (m/sec)

du/dt : 水粒子加速度 (m/sec²)

ds : 部材の単位長さ当たりの流速方向への投影面積 (m²/m)

dv : 部材の単位長さ当たりの体積 (m³/m)

10.2.7 海上工事の稼働率および作業稼働率

稼働率は表 5.12, 5.13 に示す波高頻度より、作業限界波高を 50cm とし、以下に示す値とした。

稼働率 70% (6月～8月)

30% (9月～10月)

なお、現場作業効果は運輸省港湾積算基準の「普通」に該当する値を用いる。

10.3 構造形式

10.3.1 消波構造諸元

複合消波板の水理実験結果³⁾から、設計条件に示した消波性能を満足する消波構造諸元を決定する。消波板の空隙率を $\epsilon_f = \epsilon_r = 0.2$, $\epsilon_p = 0.1$ にとり、吃水比を $h_2/h = 0.7$ に、水平板設置水深比を $h_{2P}/h = 0.2$ に選べば、図 10.2 に示す K_R , K_T と B/L の関係から相対幅が $B/L > 0.11$ の範囲で要求された消波性能を満足する。また、構造物の幅 B は入射波長 $L = 90\text{m}$ ($T = 10\text{sec}$, $h = 9.379\text{m}$) より 10m と決まる。

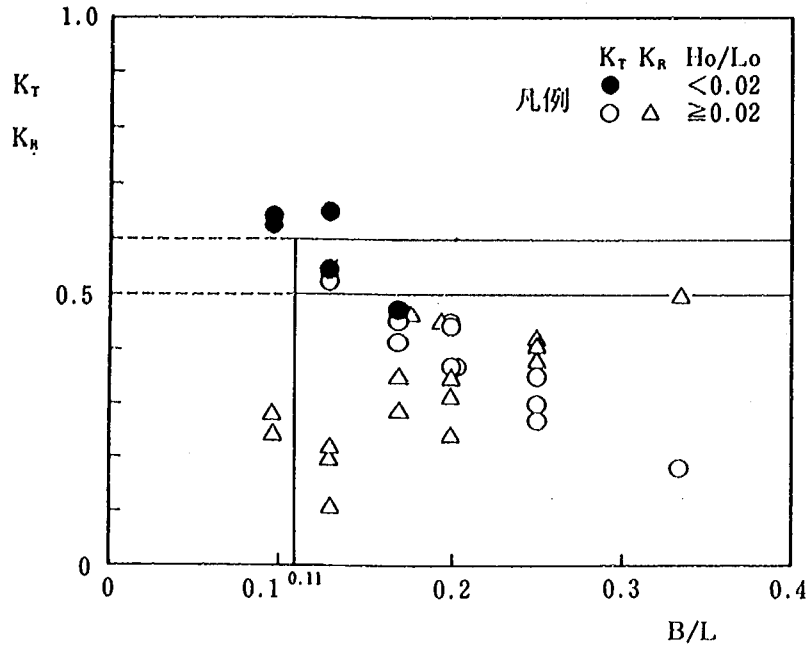


図10.2 B/L と K_T , K_R の関係 ($h_2/h=0.7$, $h_{2P}/h=0.2$, $\epsilon_r=\epsilon_l=0.2$, $\epsilon_p=0.1$, $b/D=0.83$)

天端高 h_t は、入射波高 H の0.35倍とする。これは、天端高を低くして越波する構造（越波モデル）と越波しない構造（非越波モデル）の消波性能を比較した実験から、 h_t が H の0.35倍までは両者の消波性能が変わらないことによる。天端高は消波対象波高が2.0m以下であることから、 $h_t=0.7$ mとした。

空隙形状が円孔と横スリットの場合、形状の違いにより消波性能はほとんど変化しない（図10.3）。

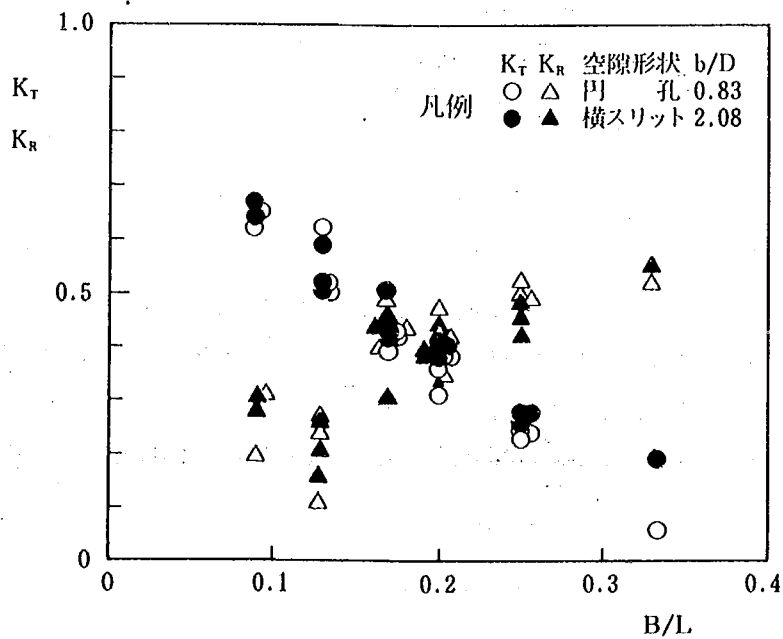
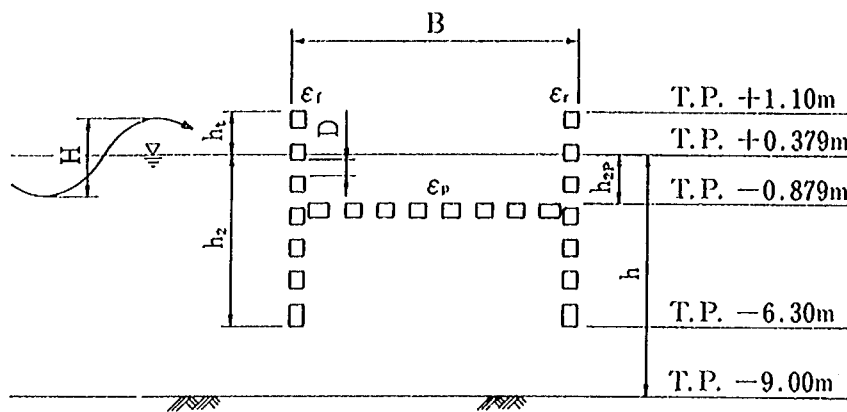


図10.3 空隙形状が円孔の場合と横スリットの場合の比較 ($h_2/h=0.7$, $h_{2P}/h=0.2$, $\epsilon_r=\epsilon_l=0.2$, $\epsilon_p=0.1$)

したがって、空隙形状として円孔、横スリットのどちらを選択してもよい。ここではラーメン構造には円孔、ジャケット構造には横スリットを適用した。また、孔径およびスリット幅は、同図の条件より、各々75cm、30cmを目安とした。以上の水理実験結果により、図10.4に示す構造諸元を決定した。



$\epsilon_r = \epsilon_r = 0.2, \epsilon_p = 0.1$
$h = 9.379\text{m}$
$h_2/h = 0.7$
$h_{2p}/h = 0.2$
$h_1 = 0.35 H$
$B = 10.0 \text{ m}$
鉛直消波板
$D = 80\text{cm}$ (円孔)
$= 30\text{cm}$ (横スリット)
水平消波板
$D = 75\text{cm}$ (円孔)
$= 17\text{cm}$ (横スリット)

図10.4 構造諸元

10.3.2 全体構造

(1) ジャケット構造

本構造はプレキャスト製の鉛直消波板と水平消波板を鋼製ジャケットと鋼管杭で支持したものである。ここでは鉛直消波板と水平消波板の空隙形状はスリットとした。構造の概要を以下に列挙する。

① 消波構造物の1ユニットの汀線方向の長さは9.9mであり、6本の鋼管杭で支持する。これを20ユニット設置し、全長200mの離岸堤を構築する。

② 鋼管杭はジャケットレグを通して打設し、杭とジャケットレグはグラウトを注入して一体化する。

施工上の特徴を列挙すると以下のようである。

① 消波板をプレキャスト製としたため、起重機船の能力により、消波板の事前取付けも可能な構造とした。

② ジャケットを据付け後に杭を打設するため、杭の位置決めが不用である。

③ 主構造部はすべて陸上で製作するため、品質管理が容易で、精度のよい構造体を築造できる。

ケース1、2の土質条件による全体構造における差異は、鋼管杭の海底面下への根入れ深さのみである。鳥瞰図を図10.5に、構造一般図を図10.6～10.9に示す。

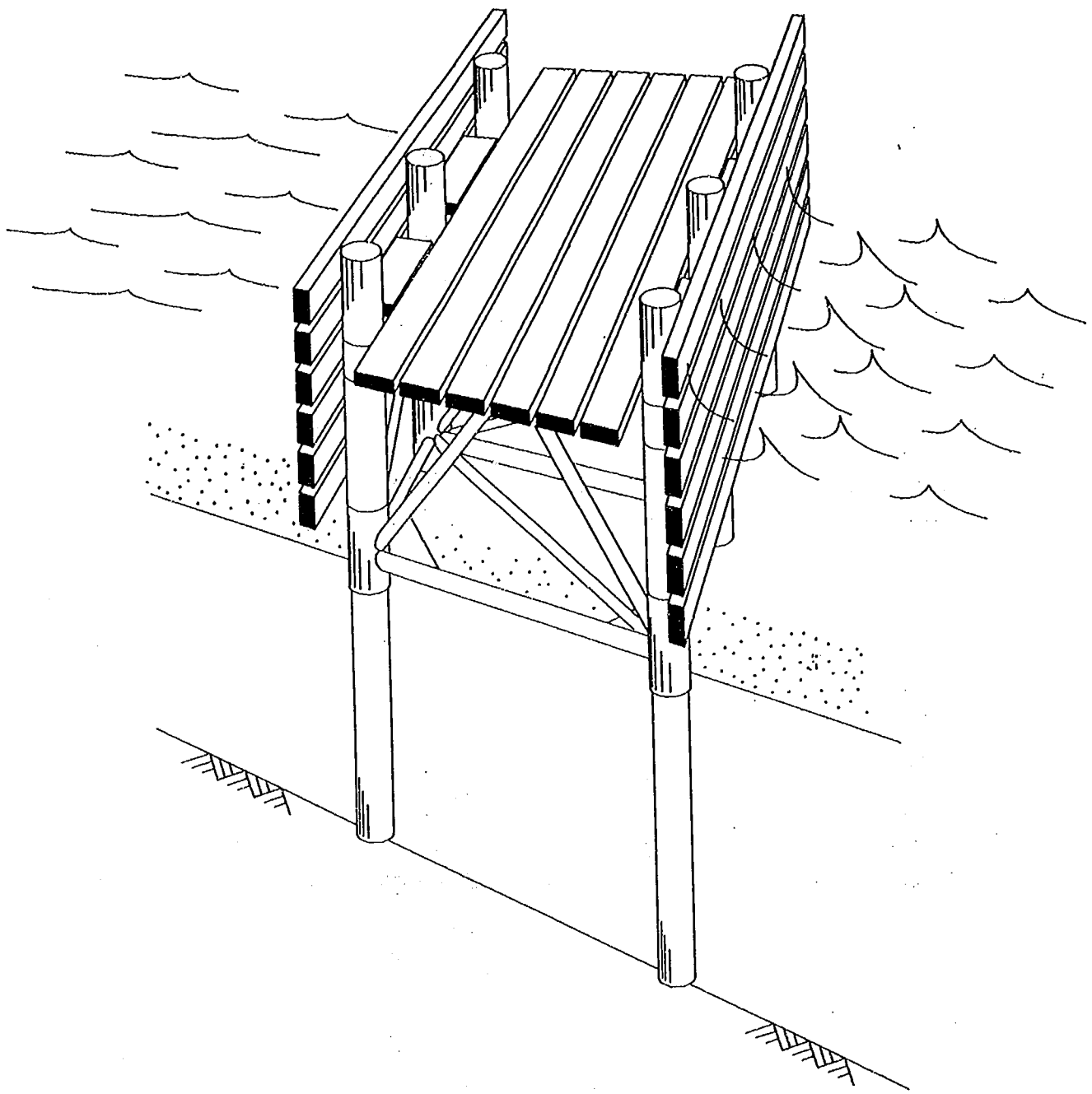


図10.5 鳥瞰図（スリットタイプ+ジャケット構造）

図10.6 構造一般図(1)

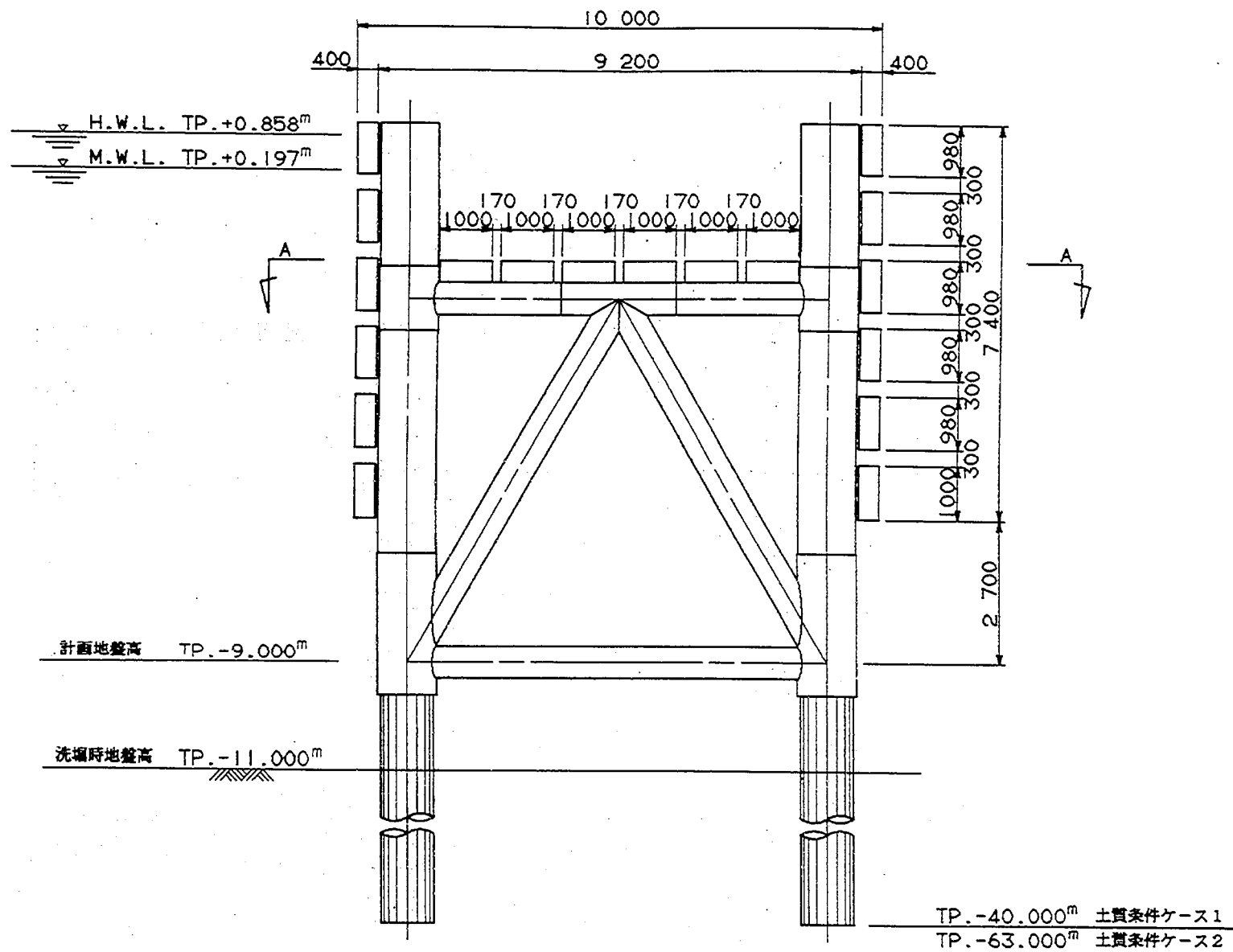


図10.7 構造一般図(2)

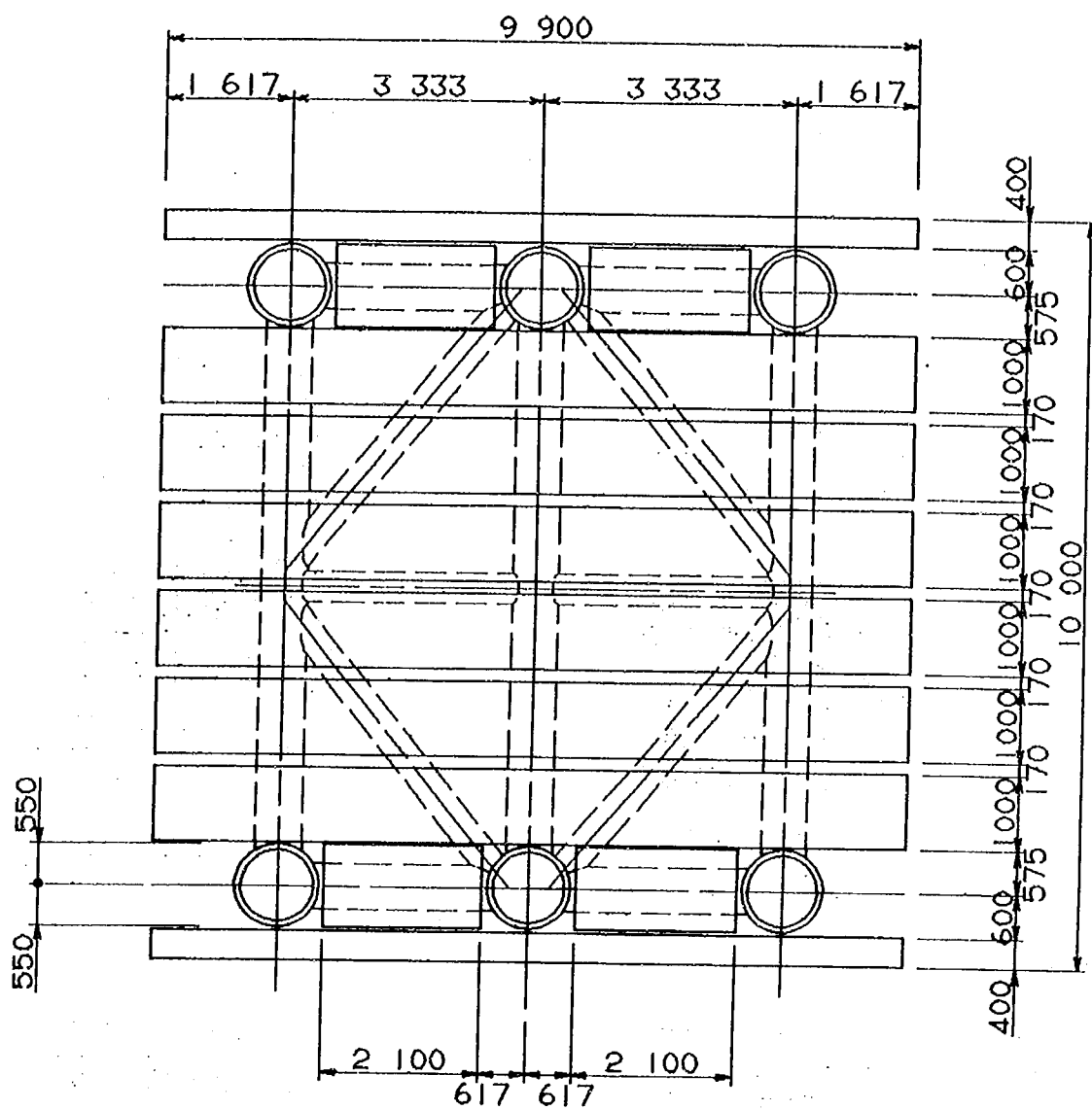


图10.8 構造一般図(3)

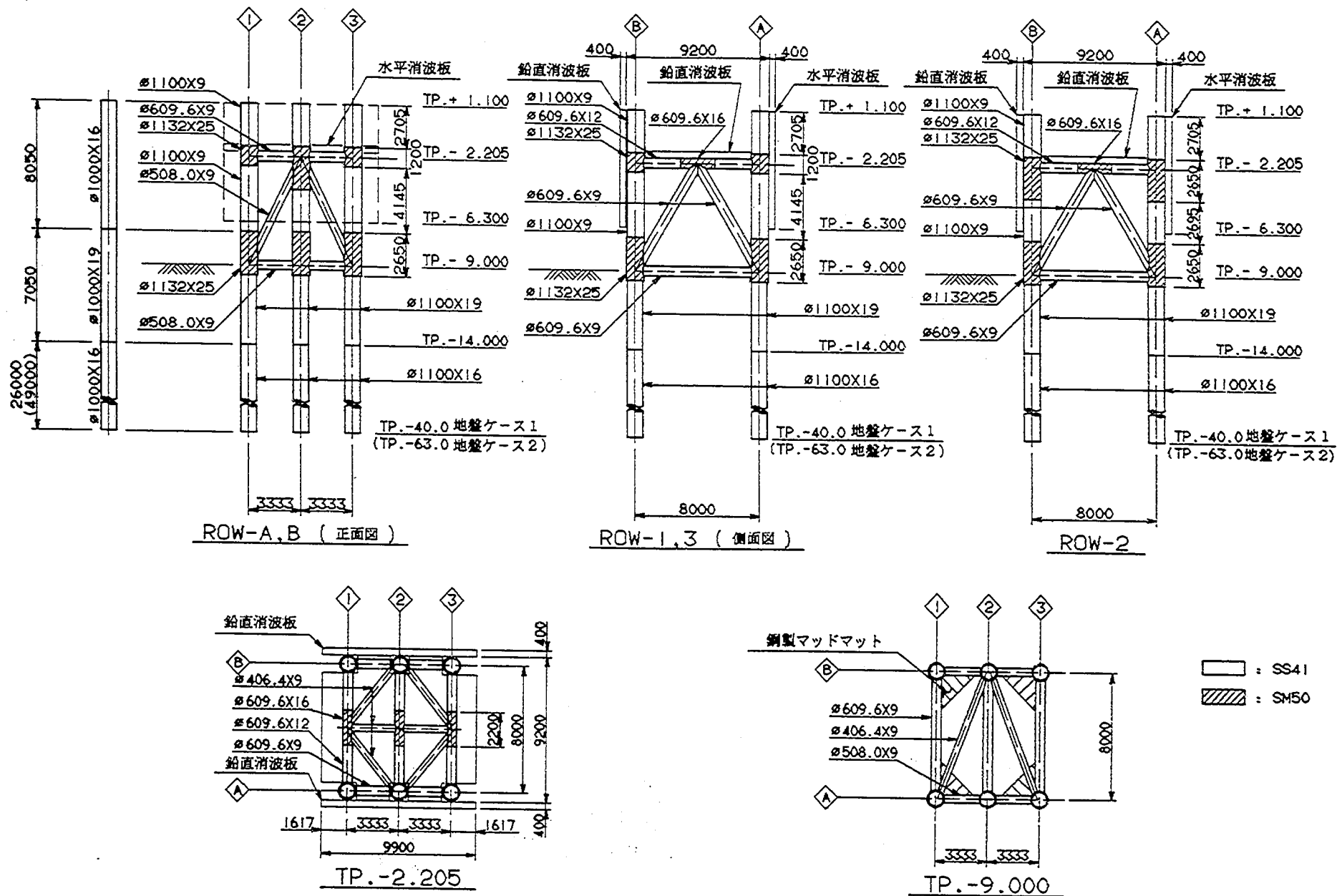


図10.9 ジャケット構造図

(2) ラーメン構造

本構造は、RC構造の2枚の鉛直消波板と1枚の水平消波板を鋼管杭とSRCラーメン構造を用いて支持したものである。ここでは鉛直消波板と水平消波板の空隙形状は円孔とした。構造の概要を以下に列挙する。

① 消波構造物1ユニットの汀線方向の長さは9.9mであり、これを20ユニット設置することにより全長200mの離岸堤を構築する。土質条件ケース1の場合、6本の鋼管杭（根入れ長46m）で支持する。土質条件ケース2の場合は土質条件が悪いために、最下段梁長を16mと長くとして、杭を構造物の外側にも設置し、8本の鋼管杭（根入れ長46m）で支持する。これにより、引き抜き力の低減を図っている。

② ラーメン構造における柱部材は鋼管を、梁部材はH鋼を用いたSRC構造である。

③ 鋼管杭は、柱部材の鋼管をケーシングとして用い、杭とケーシングとの間にグラウトを注入して一体化する。

④ 鋼管杭は、設置地盤より上側に中詰めコンクリートを充填し杭にかかる引抜き力を低減する。施工上の特徴を列挙すると以下のようである。

① 海上工事を極力減らしているため急速施工が可能である。

② 消波構造物を据付け後に杭を打つため、杭の位置決めが不用である。

③ ラーメン構造をSRCとしているため曳航および設置時の重量を少なくできる。

④ 消波構造物を陸上ヤードで一体化して構築するため品質管理が容易であり、精度の良い構造物を築造できる。

⑤ 杭基礎のため定着式に比べ海底面の洗掘に対する影響が少ない。

土質条件ケース1の場合の鳥瞰図を図10.10に、構造一般図を図10.11～10.13に、中間柱構造図を図10.14に示す。また土質条件ケース2の場合の鳥瞰図を図10.15に、構造一般図を図10.16～10.18に、柱構造図を図10.19に示す。

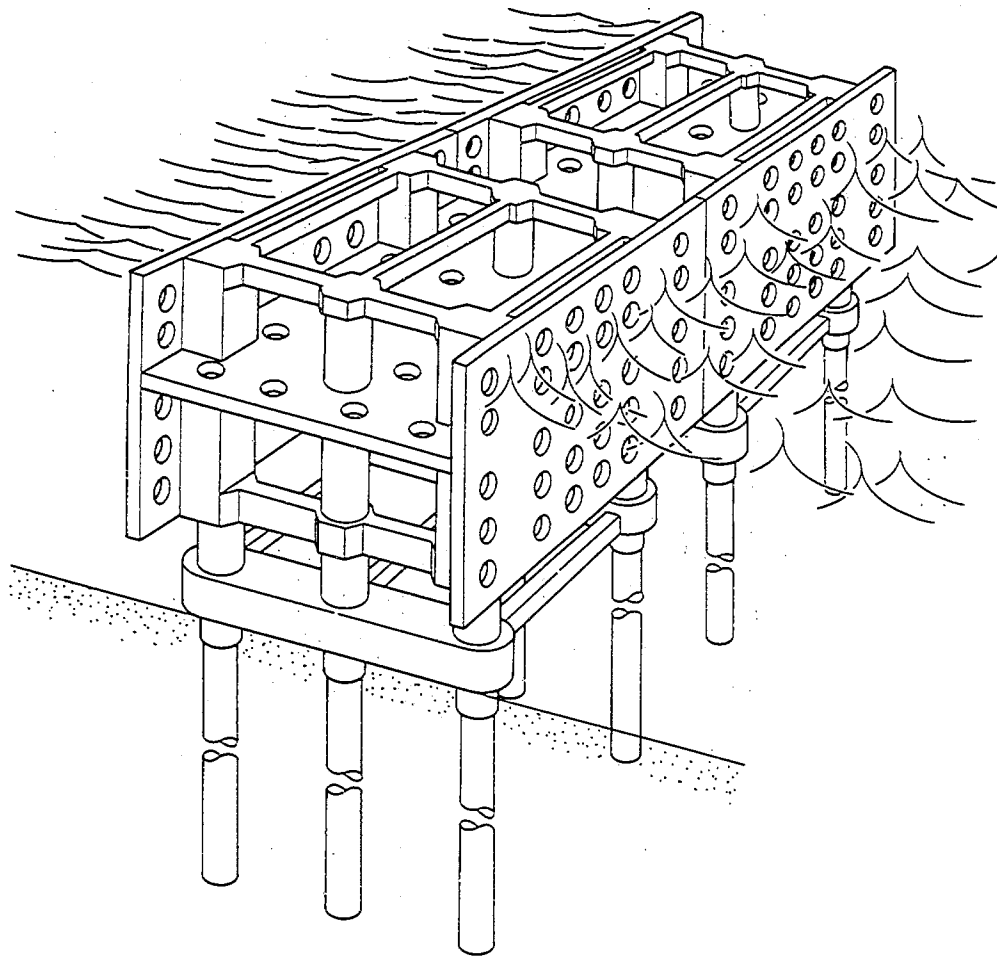
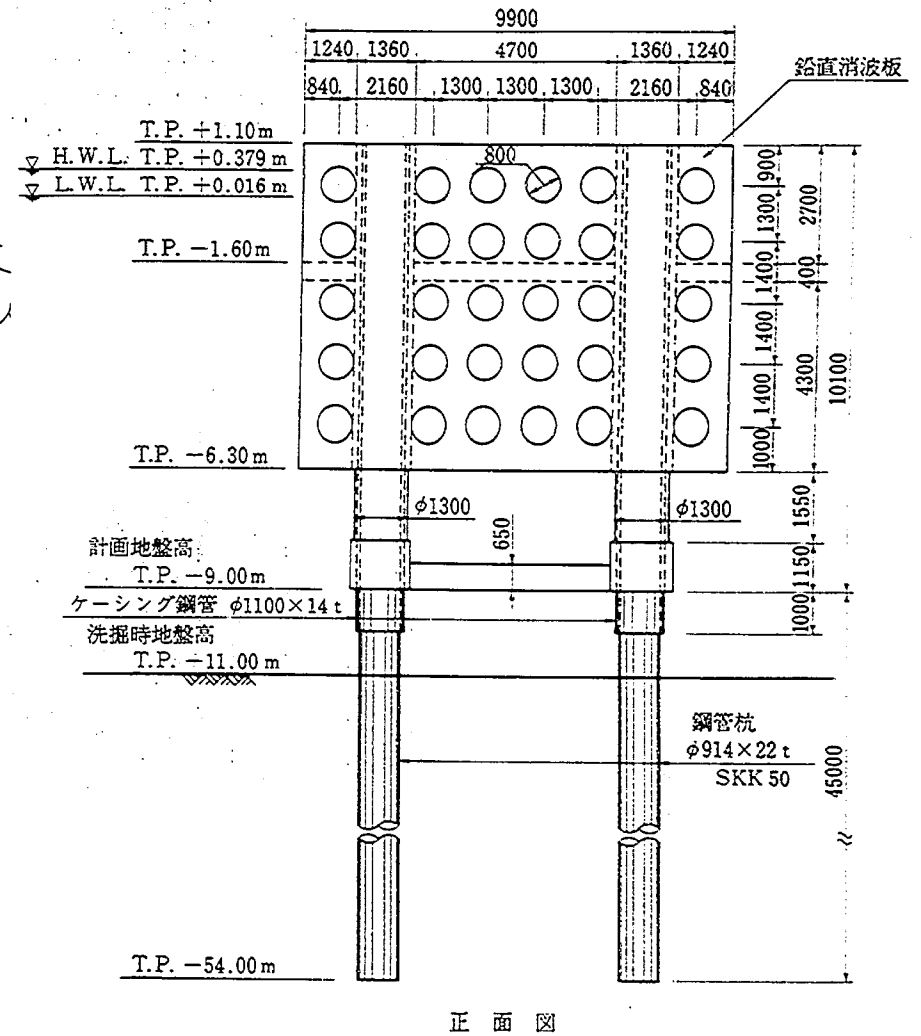


図10.10 鳥瞰図（円孔タイプ+ラーメン構造 ケース1）



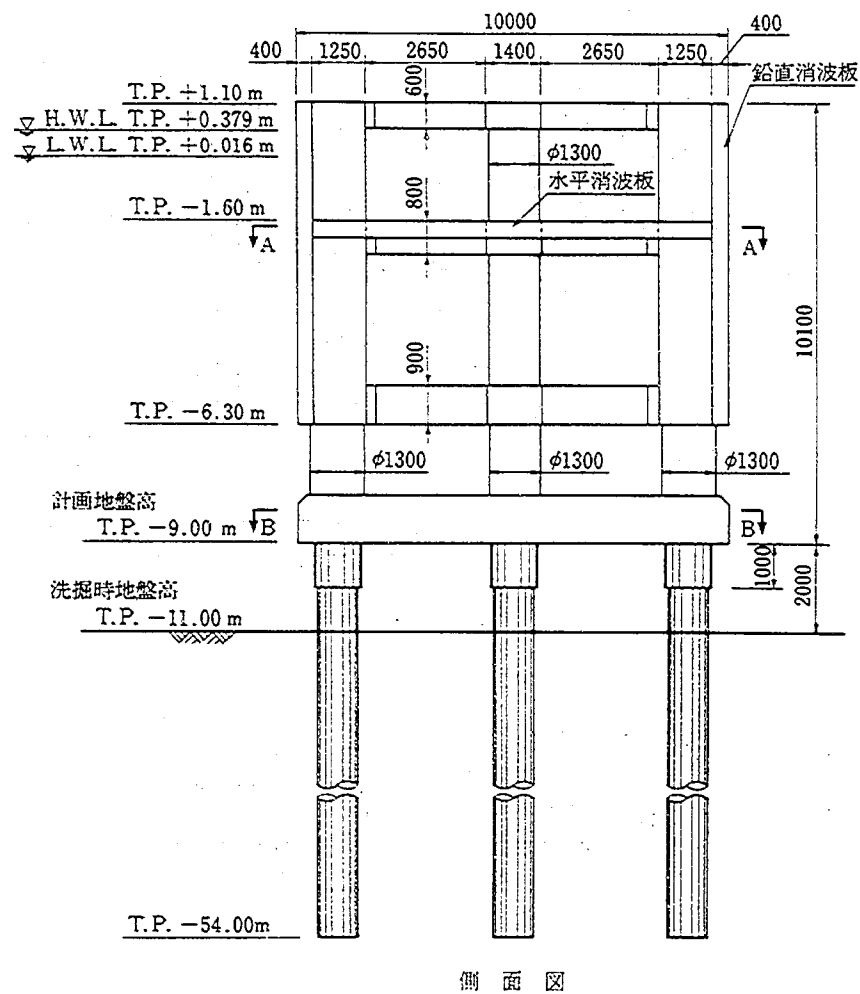


図10.12 ケース1 構造一般図(2)

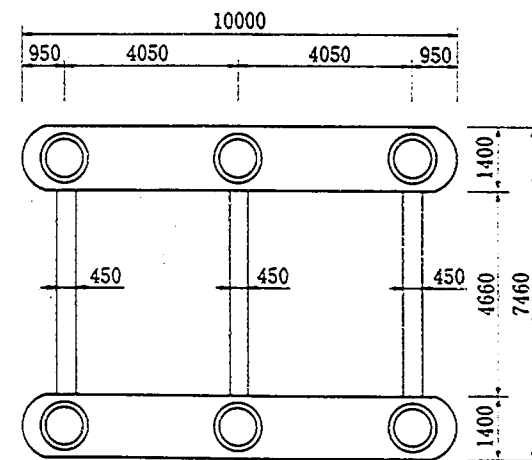
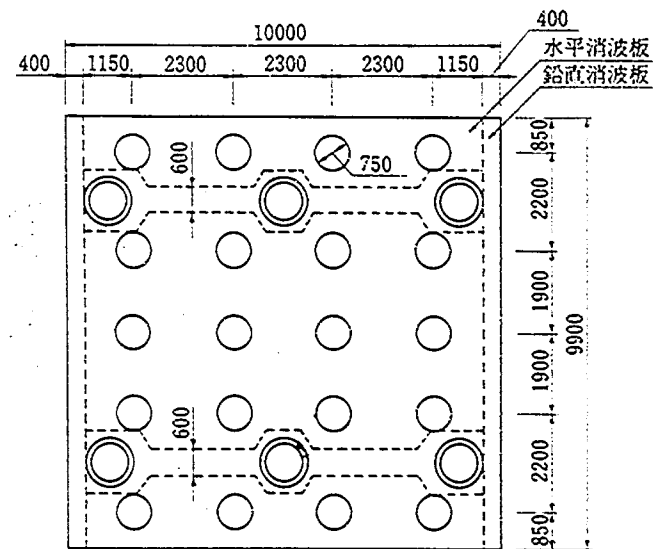


図10.13 ケース1 構造一般図(3)

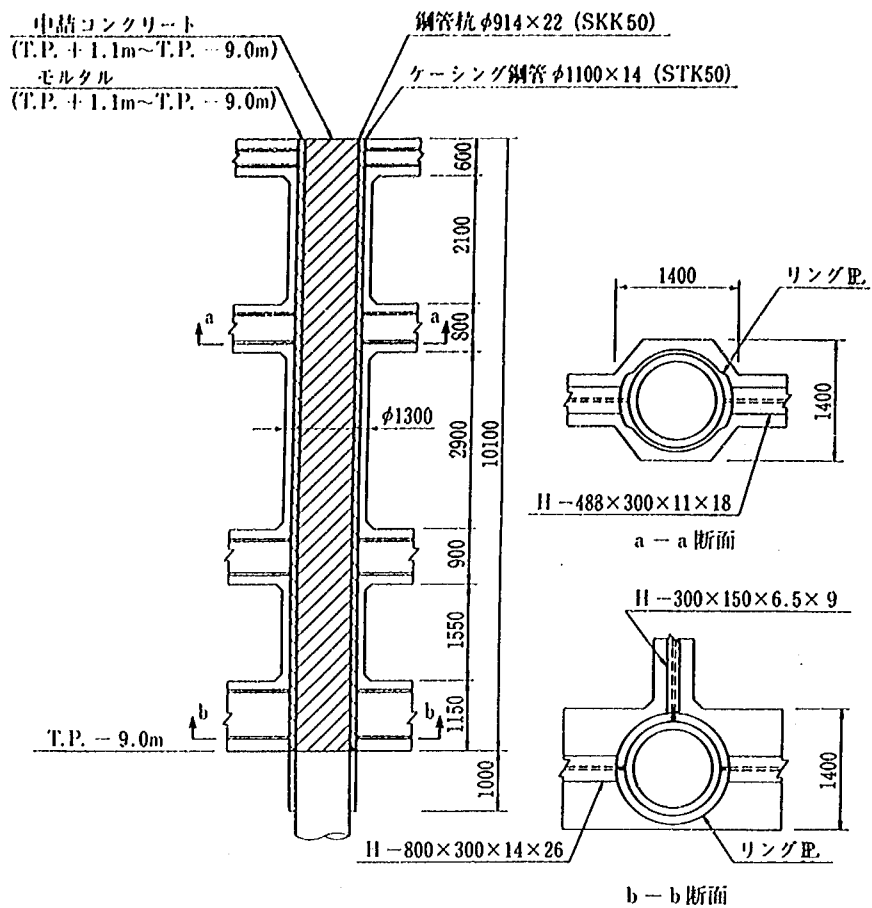


図10.14 中間柱構造図

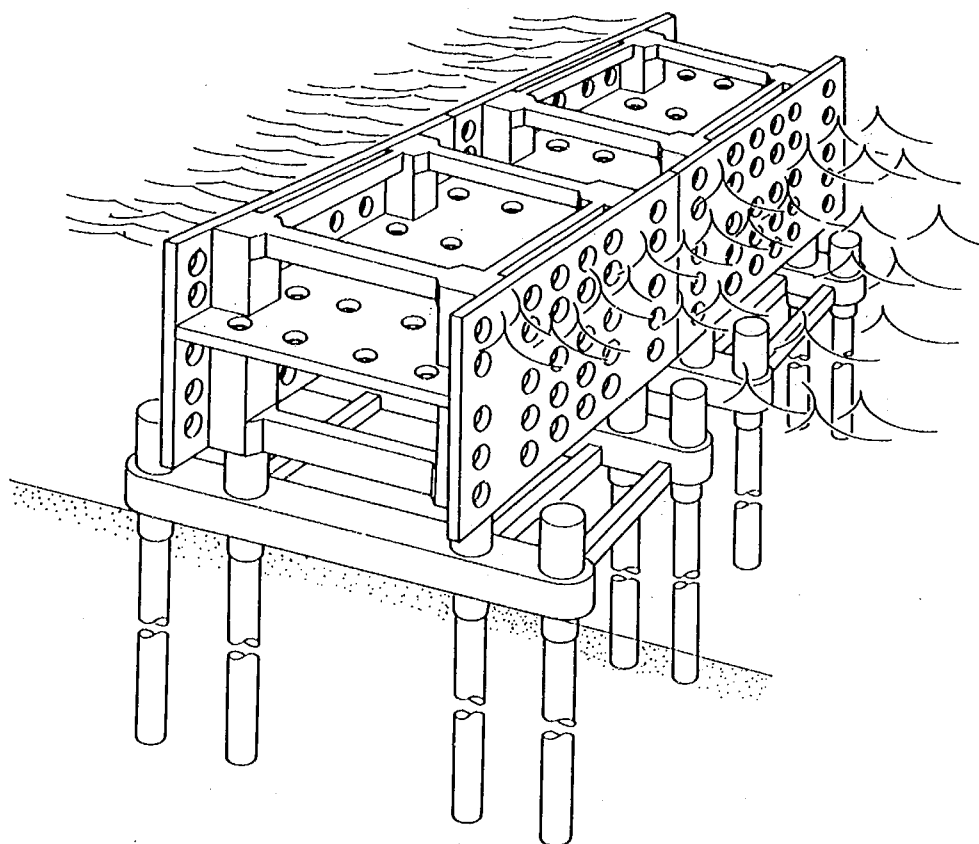
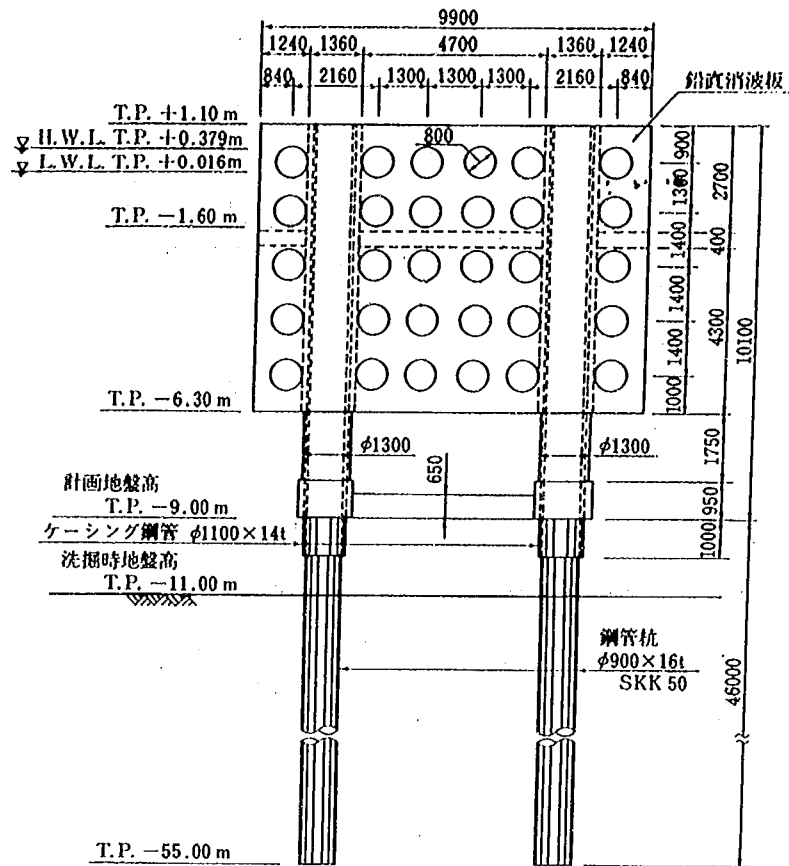
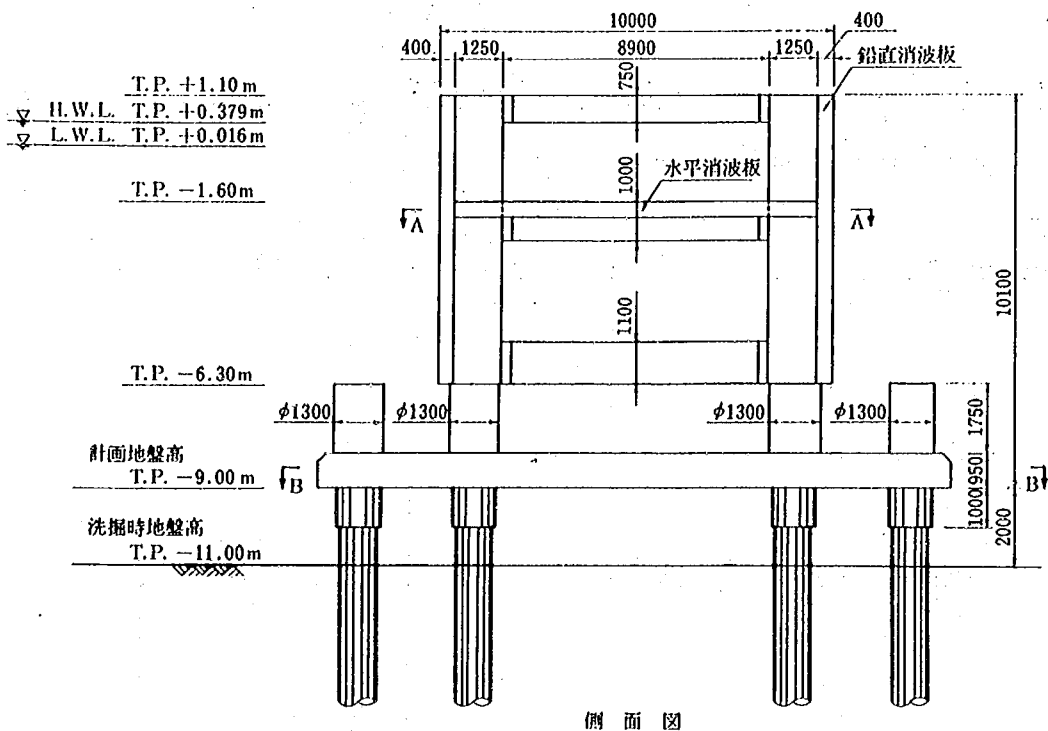


図10.15 鳥瞰図 (円孔タイプ+ラーメン構造 ケース2)



正面図

図10.16 ケース2構造一般図(1)



側面図

図10.17 ケース2構造一般図(2)

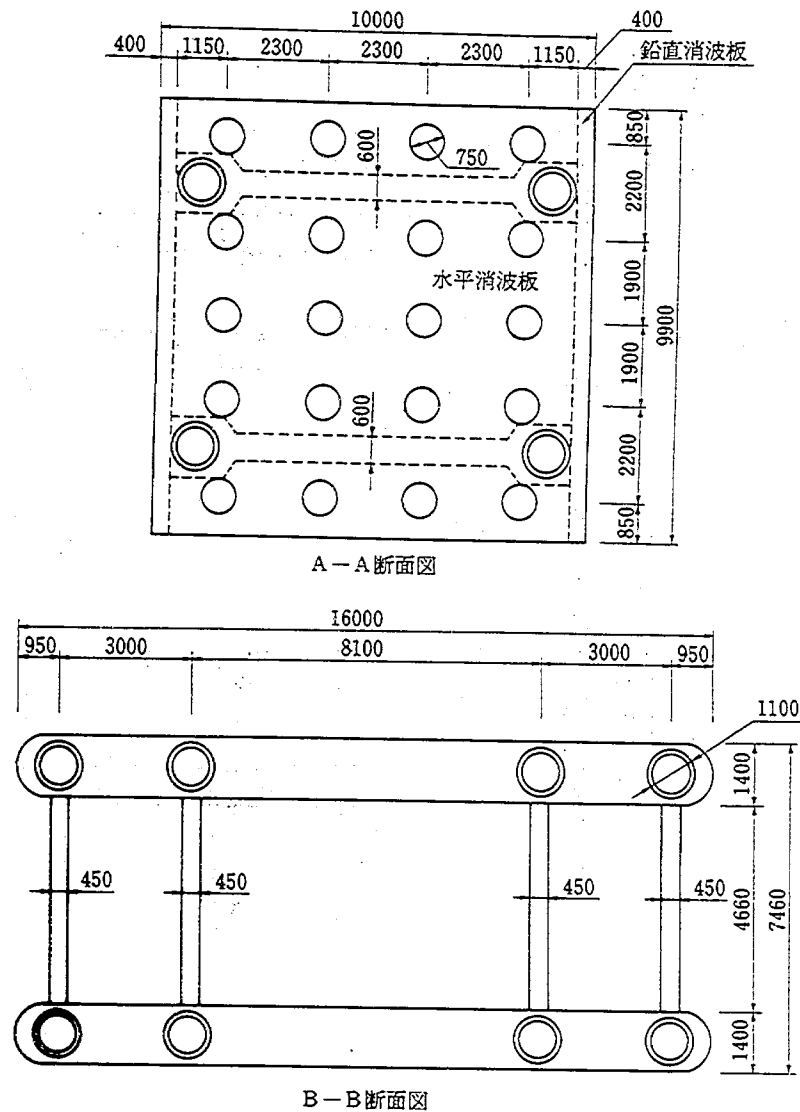


図10.18 ケース2構造一般図(3)

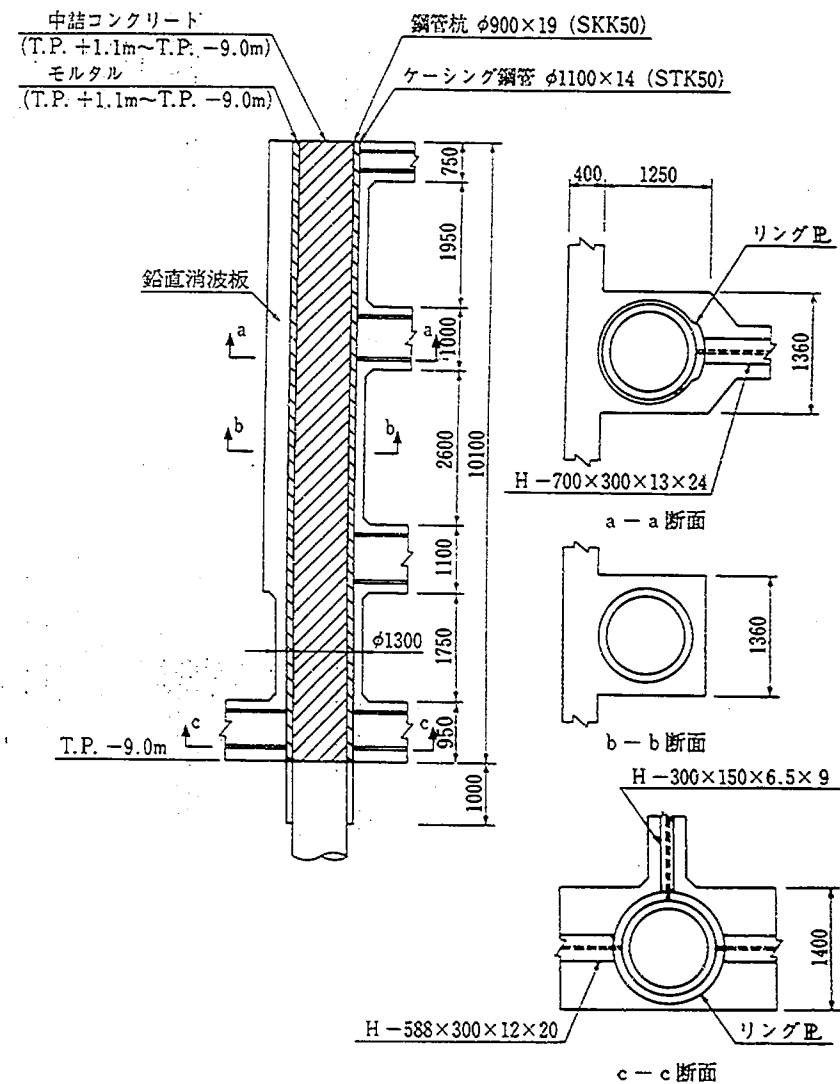


図10.19 柱構造図

10.4 設計・施工検討

10.4.1 スリットタイプ+ジャケット構造

(1) 設計計算

表10.3に示す設計荷重および解析法により解析した結果を図10.20の曲げモーメント図，図10.21の軸力図に示す。

表10.3 設計荷重及び解析法

荷 重 図						
荷 重 条 件	自重及び浮力	鋼材重量	各点部間長さから計算される重量の5%増しとする。			
		グラウト	ジャケットレグと杭の隙間に充填するグラウトは2.15g/cm ³ とする。			
		消波板重量	空隙部を考慮した実重とする。			
		浮力	水面をTP+0.858としこれ以下の部材の浮力を考慮する。			
	波浪条件	波高 H _{max}	7.1m	(奥行き1m当り) 波力計算結果	P ₁ =4.50tf/m ² (合田式×λ)	
		周期 T	10秒		P ₃ =3.95tf/m ² (合田式×λ)	
		水平波力低減係数	λ=0.7		P ₄ =4.40tf/m ² (合田式×λ)	
		鉛直波圧強度係数	α=0.2		P _U =2.05tf/m ² (P _U =λ'・α・W ₀ H)	
		鉛直波圧割増し係数	λ'=1.4		P ₅ =0.53tf/m ² (モリソン式)	
					P _j OJDSプログラムで自動算定	
備 考	1. 鉛直波力		実験での水平板の波圧分布より、鉛直波圧は水平板に等分布に作用するものとし、位相は考慮しない。			
	2. ジャケット部材に作用する波力		ストークス5次波を用い最大波力を与える位相の波を各部材に作用させ、モリソン式で自動算出する。			
	3. 杭に作用する波力		計画地盤高から洗掘深までの杭に加わる波力は計画地盤高でモリソン式で求めた波力を一様に作用させる。			
	4. 解析方法		ジャケット部：地盤を非線形バネとした構造物と杭の一体解析 消波板：単純梁解析			

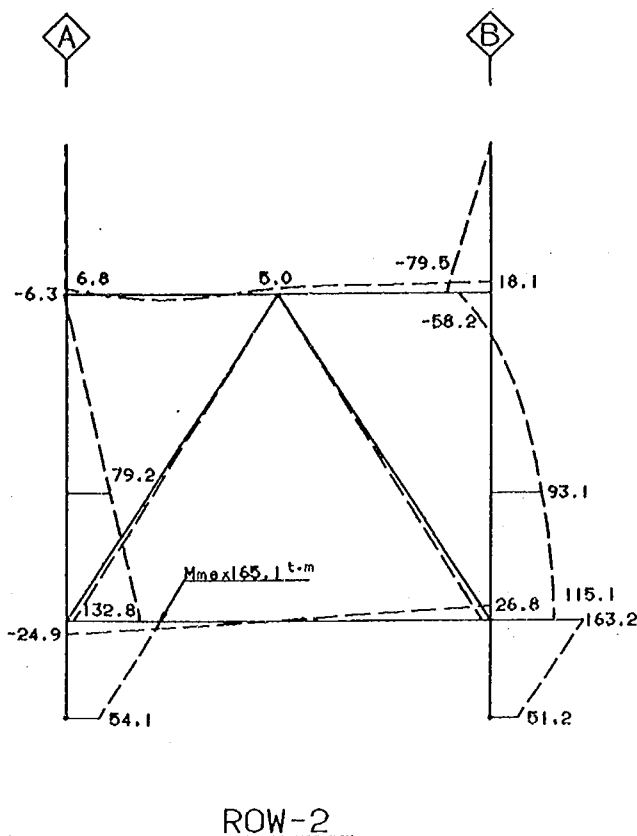


図10.20 曲げモーメント図

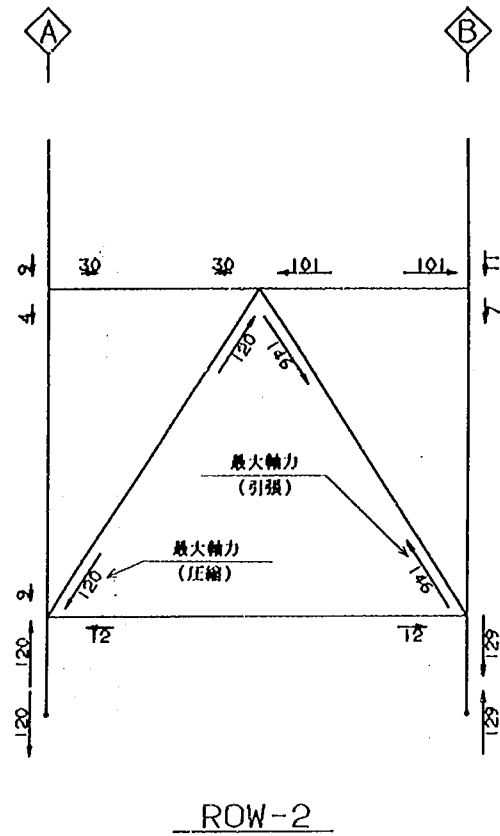


図10.21 軸力図

杭の極限支持力の算定結果、支持力の検討結果を表10. 4、10. 5に示す。また、杭の算定結果を表10. 6に示す。杭とジャケットはその空隙部に充填されるグラウトの付着力で支持する。付着力の検討結果を表10. 7に示す。

主要部材の算定結果を表10. 8に示す。

表10.4 極限支持力の算定

	支持層	砂 質 土				粘 性 土		極限 支持力 R_u (tf)	最大 引抜力 R_{ut} (tf)
		杭先端地 盤のN値 N	杭の 先端面積 A_p (m^2)	平均N値 N	杭周の 全周面積 A_s (m^2)	平均 粘着力 C_a (tf/m^2)	杭周の 全表面積 A_s (m^2)		
土質条件 1	T.P.-40m N値25の 砂質土	15	0.05	20	91.1	—	—	394.4	364.4
土質条件 2	T.P.-65m N値20の 砂質土	31	0.05	11	91.1	—	—	420.6	358.6

(注) 杭先端面積は、先端閉塞が不完全と考え、杭の純断面積のみを考慮した。

表10.5 支持力の検討

土質条件	支持力	杭列番号	根入れ長 (m)	杭反力 R (tf)	許容支持力 R _a (tf)
ケース1	引 抜	B-1	31.0	117.9	122
	押 込	A-2	31.0	132.6	158
ケース2	引 抜	B-2	54.0	109.8	120
	押 込	A-2	54.0	139.9	168

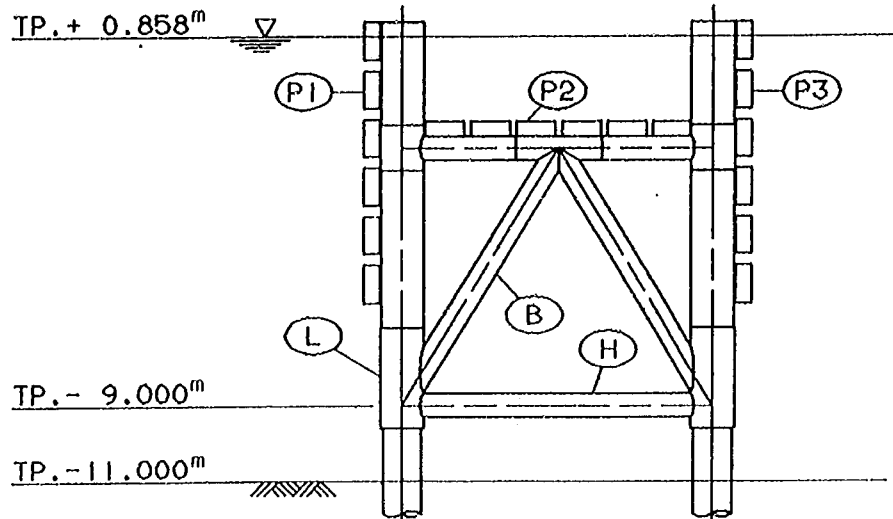
表10.6 杭の算定

土質条件	杭列 番号	設計断面力		発生応力度 σ_s (kgf/cm ²)	許容応力度 σ_{sa} (kgf/cm ²)	備 考
		軸 力 N(tf)	曲げモーメント M(t・fm)			
ケース1	2	128.1	80.8	997	1,400	φ1000×19t, SKK41 腐食代0mm 最大応力度の発生位置 は海中部
ケース2	2	127.7	77.4	966	1,400	φ1000×19t, SKK41 腐食代0mm 最大応力度の発生位置 は海中部

表10.7 杭とジャケットとの付着力の検討

土質条件	杭列番号	設計最大軸力 N(tf)	許容付着力 (tf)	備 考
ケース1 ケース2	3	128.9	395.8	φ=914, 付着長10m グラウトと鋼管の許容付着力は API基準より 14tf/m ²

表10.8 主要部材の算定



ジャ ケ ッ ト 部	部 材	断 面	応力度 (kgf/cm ²)		応 力 度 比	備 考
			軸	曲 げ		
	レ グ (L)	$\phi 1,100 \times 9$ $\phi 1,000 \times 16$	10	573	0.43	二重管
	水平材 (H)	$\phi 609.6 \times 12$	547	638	0.85	
	斜 材 (B)	$\phi 609.6 \times 9$	895	406	0.93	
消 波 板	部 材	断 面 力	断 面 形 状			備 考
	前面消波板 (P1)	$M = 6.3' m$ $S = 7.5'$				
	背面消波板 (P2)	$M = 3.2' m$ $S = 3.8'$				
	水 平 板 (P3)	$M = 2.9' m$ $S = 3.4'$				

(2) 施工概要

本構造の施工に当たっては以下の点に特に配慮した。

- ① 運搬を考慮し、消波板をプレキャスト製として1ブロック当たりの重量を約10tとした。
- ② プレキャスト消波板は、陸上ヤードでジャケットに事前に取り付けが可能な構造とした。

本構造物の施工手順を図10.22, 10.23に示す。また、以下に主要作業の概略施工方法を述べる。なお、土質条件により施工方法の差異はない。

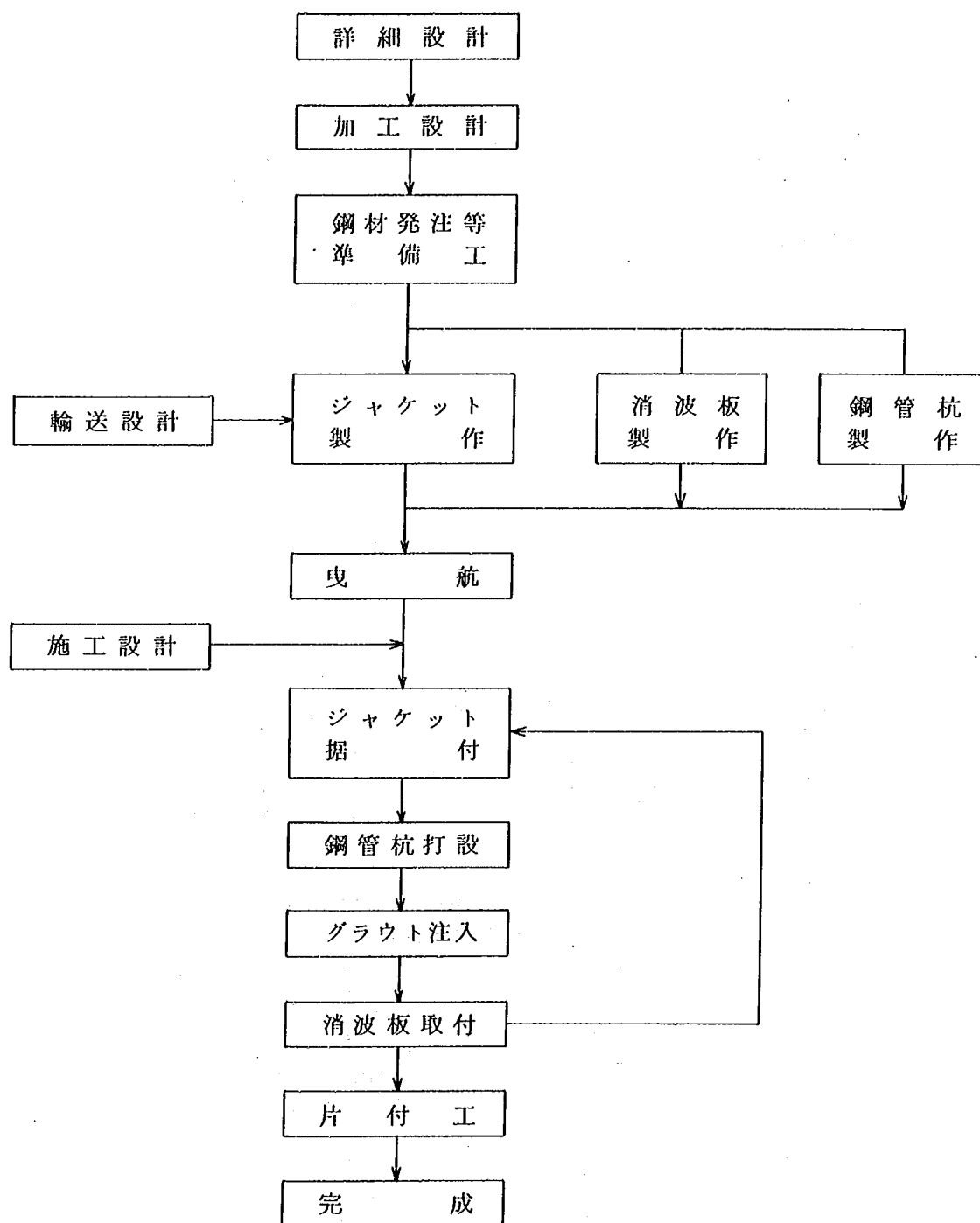


図10.22 施工フロー

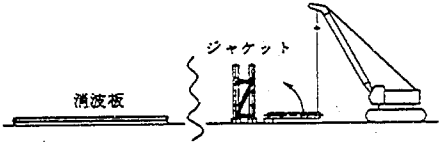
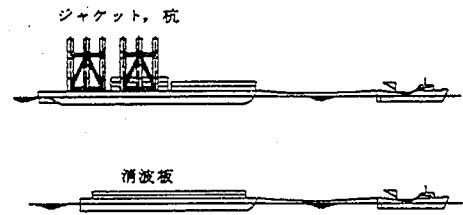
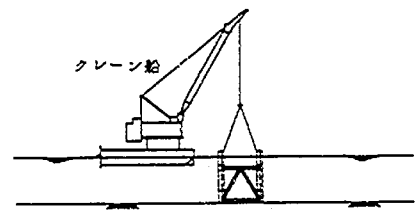
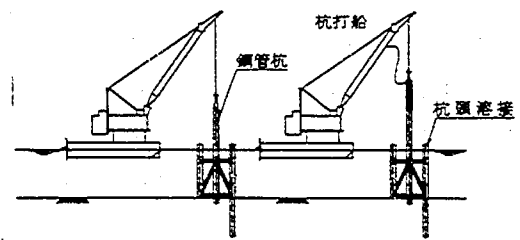
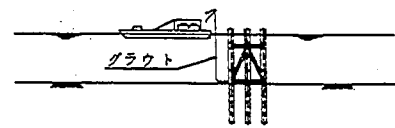
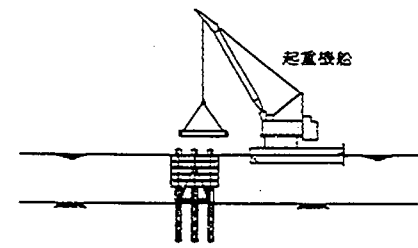
工種	① ジャケット、消波版製作	② ジャケット構造物海上輸送	③ ジャケット据付
施工要領図			
主 業 内 容	・製作ヤードにて、ジャケット及び消波版を製作する。	・製作ヤードにて、クレーン船等によりバージに積込み固縛する。 ・タグボートにより現地近くの仮係留地点へ曳航してくる。	・ジャケットをクレーン船にて吊り上げる。 ・測量台からの距離測定等により位置出しをし、正確な位置にジャケットを誘導し、据付ける。
使用船舶		・起重機船 (150'吊) ・揚 錨 船 (35'吊) ・引 船 (500,3000PS) ・交通船 (D50PS) ・台 船 (300',6000'積)	・起重機船 (非自航・旋回150'吊) ・揚 錨 船 (35'吊) ・引 船 (500PS) ・交 通 船 (D50PS) ・台 船 (300'積) ・潜 水 士 船 (D30PS)
工種	④ 鋼管杭打設／杭頭溶接	⑤ グラウト注入	⑥ 消波版取り付け
施工要領図			
主 業 内 容	・鋼管杭を建込み、杭打船により打込む。 ・杭を建込み、溶接、検査後再度所定の深さまで打ち込む。 ・杭とジャケットは、シムプレートを使用して溶接固定。	・ジャケットと杭の間は、グラウトする。	・起重船にて、消波版を吊りボルトで締めつける。
使用船舶	・杭打船 (D-70用) ・揚 錨 船 ・引 船 (500PS) ・交 通 船 ・台 船 (300'積) ・潜 水 士 船	・起重機船 (非自航・旋回150'吊) ・揚 錨 船 ・台 船 (300'積) ・交 通 船 ・引 船 (500PS) ・潜 水 士 船	・起重機船 (非自航・旋回150'吊) ・揚 錨 船 ・台 船 (300'積) ・交 通 船 ・引 船 (500PS) ・潜 水 士 船

図10.23 施工概要図

① ジャケットおよび消波板製作

陸上製作ヤードにおいてまず3平面を製作し、立て起こした後に、相互を連結する立体ブレース（斜材）を取付ける。ジャケットはほぼすべて溶接接合であり、非破壊検査によって、十分な品質管理を行う。同じく陸上ヤードにおいて、消波板（プレキャストコンクリートブロック）を製作する。ジャケットとの取付けは特に精度が要求されるため、十分な品質管理を行う。

② 曳航

陸上製作ヤードにおいて、完成したジャケットを起重機船により吊上げ、またはスライド方式で岸壁に横付けした台船に積み込み、曳船により施工地点まで曳航する。

③ ジャケット据付け

起重機船を台船に横付けし、ジャケットを吊上げ、測量で指定された位置の海面に降ろす。

④ 鋼管杭打設

所定の根入れまで、ハンマーで打設する。土質が軟弱で、深い根入れが必要となる場合には、杭を分割する。杭の接合部は溶接とする。

⑤ グラウト注入

完全に杭打ちが完了した後に、杭頭とレグを溶接し、杭とジャケットの空隙部にグラウトを注入する。

⑥ 消波板取付け

潜水夫と起重機船により消波板をボルトによってジャケットに取付ける。起重機船の能力を大きくすれば（300t吊）、陸上製作ヤードにおいて事前に取付けが可能で工期を2カ月程度短縮できる。

土質条件ケース1の場合の数量総括表、主要使用船舶・機械一覧および工程表を表10.9～10.11に示す。また、土質条件ケース2の場合の数量総括表および工程表を表10.12、10.13に示す。なお、使用船舶・機械は土質条件ケース1と同じである。

表10.9 数量総括表（土質条件ケース1）

種 類		単位	延長 200m	備 考
ジャケット		t	704	鋼管 SS41
		t	425	鋼管 SM50
鋼 管 杭		t	390	φ1000×19t, SKK41, 120本
		t	1586	φ1000×16t, SKK41, 120本
中詰モルタル		m ³	175	
消波板	コンクリート	m ³	1347	f' _{ck} =180kgf/cm ²
	鉄 筋	t	124	D29, D19, D13 (SD30)
	ボルト・ナット	セット	1760 2880	M20×450 l M30×600 l

表10.10 主要使用船舶・機械一覧表

船舶・機械名	仕様	台数
非航起重機船	非自航・旋回150t吊	1隻
台 船	6000t 300t	2隻 2隻
引 船	3000PS 500PS	1隻 2隻
潜水士船	D30PS	1隻
揚 錨 船	15t吊	1隻
交 通 船	50PS	1隻
ディーゼルハンマー	D70	1台
発 電 機	16KVA	1台
クローラークレーン	40t吊	2台
グラウトミキサーポンプ車	ブーム式	1台
溶 接 機		10台

表10.11 工程表（土質条件ケース1）

項 目		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
ジャケット製作 (材料発注含む)	20基			180日										
鋼管杭製作	120本					60日								
消波板製作	440個					75日								
積込み・固結	一式					35日								
輸 送	一式					35日								
ジャケット据付	20基					15日								
鋼管杭打設	120本					60日								
消波板取り付け	440個							90日						
片 付 工	一式										10日			

表10.12 数量総括表（土質条件ケース2）

種 類		単 位	延長200m	備 考
ジ ャ ケ ッ ト		t	704	鋼 管 S S 41
		t	425	鋼 管 S M 50
鋼 管 杭		t	390	φ 1000×19t, SKK41, 120本
		t	2657	φ 1000×16t, SKK41, 120本
中 詰 モ ル タ ル		m ³	175	
消 波 板	コ ン ク リ ー ト	m ³	1347	f'ck=180kgf/cm ²
	鉄 筋	t	124	D29, D19, D13 (SD30)
	ボルト・ナット	セット	1760 2880	M20×450/ M30×600/

10.4.2 円孔タイプ+ラーメン構造

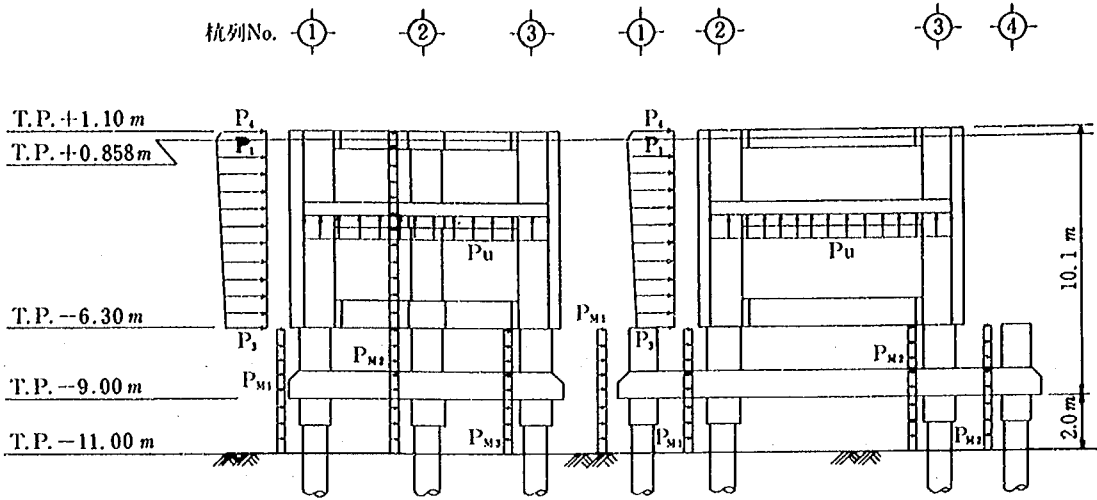
(1) 設計計算

表10.14に示す設計荷重及び解析法により解析した結果を図10.24の曲げモーメント図, 図10.25のせん断力図に示す。

表10.13 工程表 (土質条件ケース2)

項 目		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
ジャケット製作 (材料発注含む)	20基	180日												
鋼管杭製作	120本					60日								
消波板製作	440個					75日								
積み込み・固縛	一式					35日								
輸 送	一式					35日								
ジャケット据付	20基					45日								
鋼管杭打設	120本					60日								
消波板取り付け	440個							90日						
片 付 工	一式											10日		

表10.14 設計荷重及び解析法

荷 重 図	杭列No. ① ② ③ ① ② ③ ④  土質条件ケース1 土質条件ケース2			
波 浪 条 件	波 高 Hmax	7.1 m	波 力 計 算 結 果 (奥行き1m当り)	$P_1 = 4.50 \text{ tf/m}^2$ (合田式 $\times \lambda$)
	周 期 T	10秒		$P_3 = 3.95 \text{ tf/m}^2$ (")
	水平波力低減係数	$\lambda = 0.7$		$P_4 = 4.40 \text{ tf/m}^2$ (")
	鉛直波圧強度係数	$\alpha = 0.2$		$P_u = 2.05 \text{ tf/m}^2$ ($P_u = \lambda' \cdot \alpha \cdot W_0 \cdot H$)
	鉛直波圧割増し係数	$\lambda' = 1.4$		$P_{M1} = 0.37 \text{ tf/m}^2$ (モリソン式)
				$P_{M2} = 0.31 \text{ tf/m}^2$ (モリソン式)
			$P_{M3} = 0.22 \text{ tf/m}^2$ (モリソン式)	
備 考	1. 鉛 直 波 力 実験での水平板の波圧分布より、鉛直波圧は水平板に等分布に作用するものとし、位相は考慮しない。			
	2. 柱に作用する波力 モリソン式により求めるが、消波構造内部の柱の算出には、実験結果より波高を20%減じて用いる。			
	3. 横方向地盤反力係数 設計地盤面 (T.P. -11.0 m) の変位量に応じて変える。			
	4. 解 析 方 法 柱・梁・杭・地盤：地盤を線形バネとして平面骨組解析 消 波 板：交差ばり解析			

杭の極限支持力の算定結果，支持力の検討結果を表10.15，10.16に示す。また，杭の算定結果を表10.17に示す。杭とケーシングの付着力の検討結果を表10.18に示す。土質条件ケース1，土質条件ケース2の主要部材の検討結果をそれぞれ表10.19，10.20に示す。

表10.15 極限支持力の算定

土質条件	支持層	砂 質 土				粘 性 土		極 限 支 持 力 Ru (tf)	最 大 引 抜 力 Rut (tf)
		杭先端地盤のN値 N	杭の先端面積 Λ_p (m^2)	平均N値 $\bar{N}$	杭周の全表面積 Λ_s (m^2)	平均粘着力 C_2 (tf/ m^2)	杭周の全表面積 Λ_s (m^2)		
ケース1	T.P.-54m N値30の砂質土	19	0.051	21	123.4	—	—	557.1	518.3
ケース2	T.P.-55m N値30の砂質土	15	0.044	10	124.5	—	—	275.4	249.0

(注) 杭先端面積は，先端閉塞が不完全と考え，杭の純断面積のみを考慮した。

表10.16 支持力の検討

土質条件	支持力	杭列番号	根入れ長 (m)	杭反力 R (tf)	許容支持力 Ra (tf)
ケース1	引 抜	1	45.0	171.3	173
	押 込	3	45.0	219.4	228
ケース2	引 抜	1	46.0	75.4	83
	押 込	4	46.0	102.4	110

表10.17 杭の算定

土質条件	杭列番号	設計断面力		発生応力度 σ_s (kgf/cm ²)	許容応力度 σ_{sa} (kgf/cm ²)	備 考
		軸力 N (tf)	曲げ モーメント M (tf・m)			
ケース 1	3	219.4	201.3	1,858	1,900	$\phi 914 \times 22t$, SKK 50 腐食代 0mm 最大応力度の発生位置は 海中部
ケース 2	4	102.5	138.6	1,668	1,900	$\phi 900 \times 16t$, SKK 50 腐食代 0mm 最大応力度の発生位置は 海中部

(注) T.P.-9.0m~T.P.-11.0mの間は、砂による杭の摩耗と腐食を防ぐために、10mmの鋼板を杭に取り付ける。
取り付ける。

表10.18 杭とケーシングとの付着力の検討

土質条件	杭列番号	設計最大軸力 N (tf)	許容付着力 (tf)	備 考
ケース 1	3	219.4	402.0	$\phi = 914$, 付着長 10m グラウトと鋼管の許容付着力は A P I 基準 より 14 tf/m ²
ケース 2	1	102.5	106.9	$\phi = 900$, 付着長 2.7m グラウトと鋼管の許容付着力は A P I 基準 より 14 tf/m ²

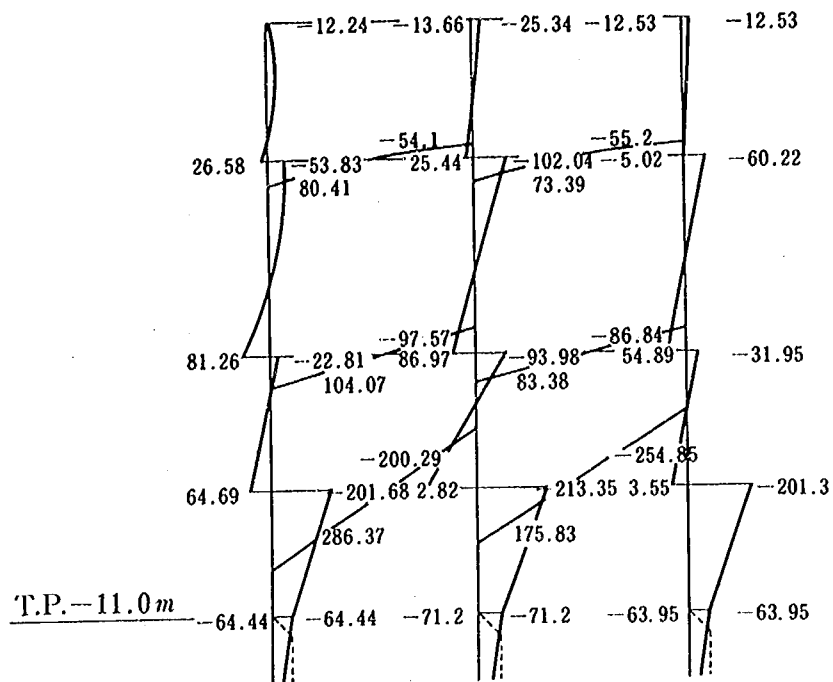
表10.19 主要部材の算定 (土質条件ケース1)

T.1 T.P.+0.858 m T.1 T.P.-9.00 m T.1 T.P.-11.00 m			
部 材 名	断 面 力	部 材 断 面 形 状	備 考
柱 (P1)	$M = 162.8 \text{ tf} \cdot \text{m}$ $N = 0.68 \text{ tf}$ $S = 97.4 \text{ tf}$		- 断面力は骨組解析による - ケーシング鋼管のみで断面力を負担
SRC 梁 (B3)	$M = 104.0 \text{ tf} \cdot \text{m}$ $N = 47.9 \text{ tf}$ $S = 48.6 \text{ tf}$		- 断面力は骨組解析による - 鉄骨と鉄筋コンクリートは累加構造として計算 - B1梁はH-294x200x8x12 (SM50) - B2梁はH-488x300x11x18 (SM50)
SRC 梁 (B4)	$M = 266.4 \text{ tf} \cdot \text{m}$ $N = -20.1 \text{ tf}$ $S = 100.6 \text{ tf}$		- 断面力は骨組解析による - 鉄骨と鉄筋コンクリートは累加構造として計算
鉛直板 (PL1)	$M = -4.62 \text{ tf} \cdot \text{m}$ $N = 0 \text{ tf}$ $S = 5.90 \text{ tf}$		- 固定条件は、梁・水平板で剛結合とした。 - 断面力は交差ばり理論より2方向のはりの荷重分担を求め算出した。
水平板 (PL2)	$M = 9.63 \text{ tf} \cdot \text{m}$ $N = 0 \text{ tf}$ $S = 10.51 \text{ tf}$		- 固定条件は、梁・鉛直板で剛結合とした。 - 断面力の算出は、鉛直板と同じ

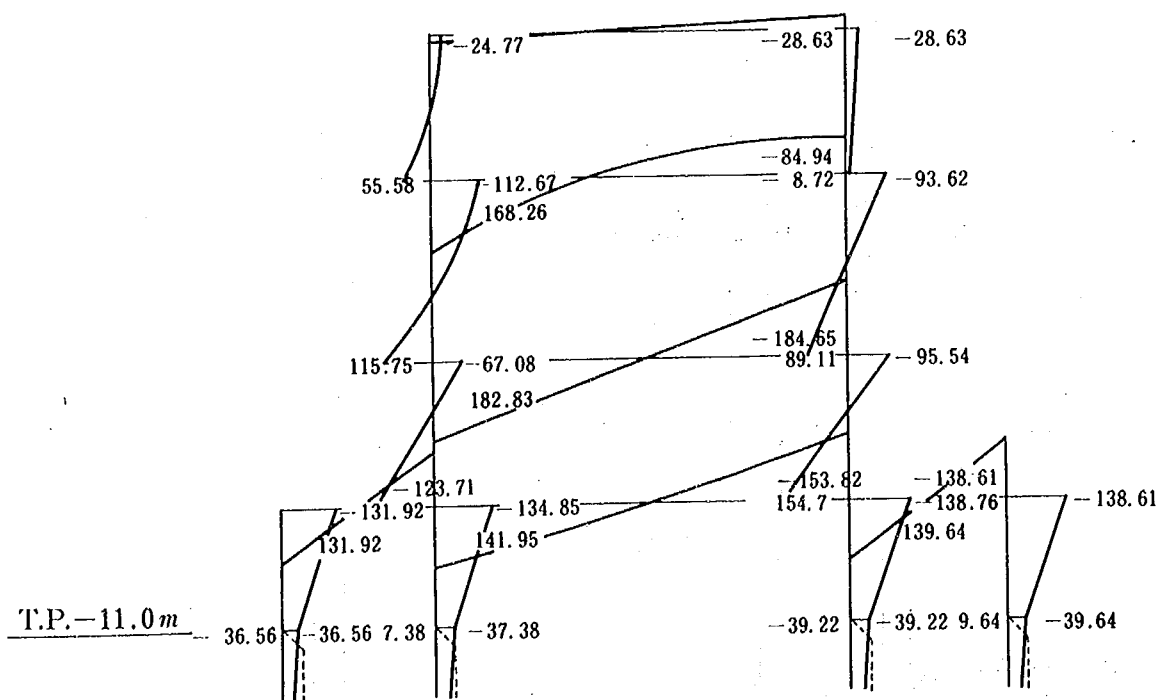
表10.20 主要部材の算定（土質条件ケース2）

部 材 名	断 面 力	部 材 断 面 形 状	備 考
柱 (P1)	$M = 154.7 \text{ tf} \cdot \text{m}$ $N = 92.4 \text{ tf}$ $S = 88.2 \text{ tf}$		- 断面力は骨組解析による - ケーシング鋼管のみで断面力を負担
SRC 梁 (B3)	$M = -184.6 \text{ tf} \cdot \text{m}$ $N = 37.3 \text{ tf}$ $S = 48.9 \text{ tf}$		- 断面力は骨組解析による - 鉄骨と鉄筋コンクリートは累加構造として計算 - B1梁はH-450×200×9×14 (SM50) - B2梁はH-700×300×13×24 (SM50)
SRC 梁 (B4)	$M = 153.8 \text{ tf} \cdot \text{m}$ $N = -7.50 \text{ tf}$ $S = 43.8 \text{ tf}$		- 断面力は骨組解析による - 鉄骨と鉄筋コンクリートは累加構造として計算

(注) 鉛直板(PL1), 水平板(PL2)はケース1と同じ

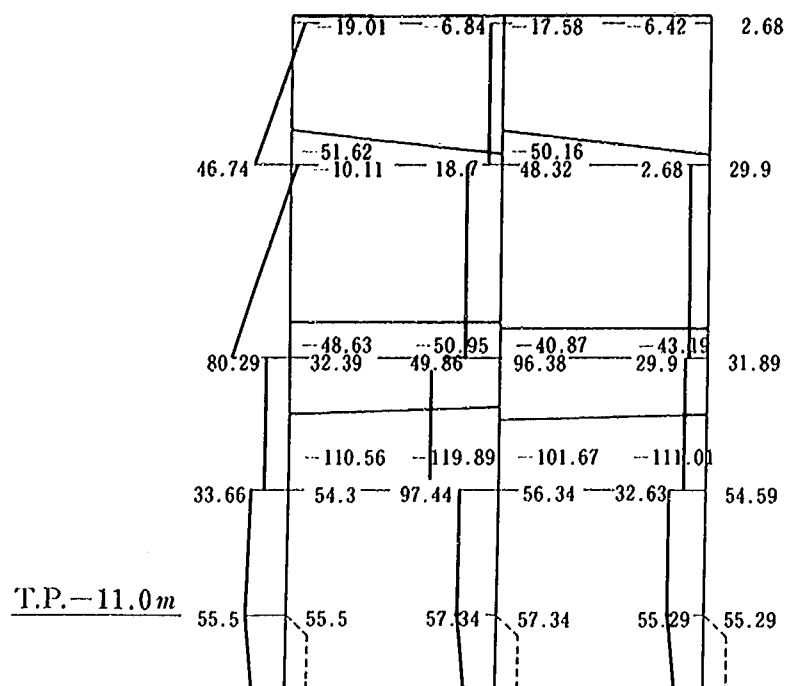


土質条件ケース 1

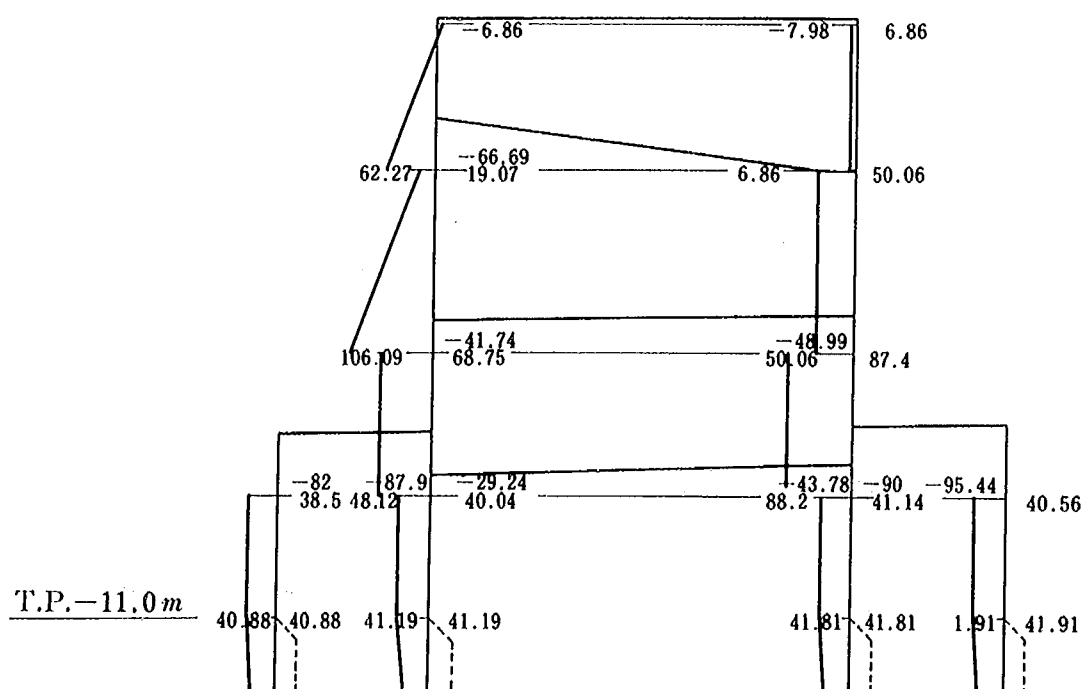


土質条件ケース 2

図10.24 曲げモーメント図



土質条件ケース 1



土質条件ケース 2

図10.25 セン断力図

(2) 施工概要

本消波構造の施工に当たり、考慮した基本的な考え方を以下に示す。

① 海上作業を減らすために、また外洋での急速施工を目的として、構造物は陸上の製作ヤードで製作する。

② 構造物自重が表層地盤の地盤支持力より大きいため、構造物を据付ける時は構造物にフロートを取付け、所定の位置に軟着する。

③ 鋼管杭は構造物のケーシング鋼管を導材として打設する。

④ 鋼管杭の打設は計画位置の地盤が砂質土であるため、バイプロハンマーにより行い、必要に応じウォータージェットによる補助工法を併用する。ただし打止め時はバイプロハンマーのみにより打設する。

⑤ 構造物の現地据付けは中央部のユニットから開始し、両サイドへ延長する。

本構造物の施工手順は図10.26、10.27に示すようである。以下に、土質条件ケース1の場合の各工種の概略施工方法を述べる。

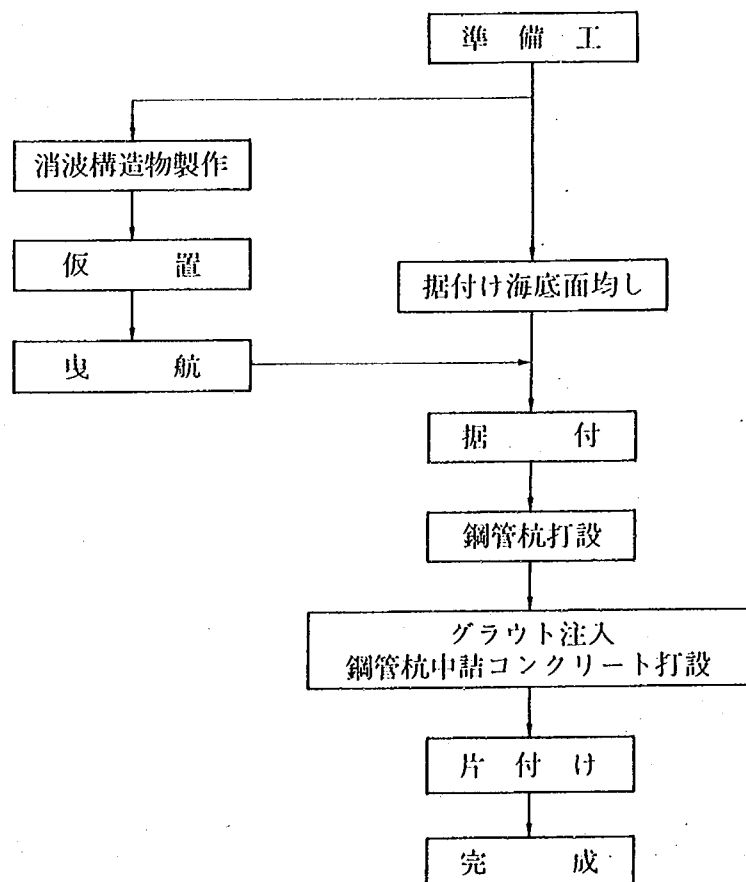


図10.26 施工フロー

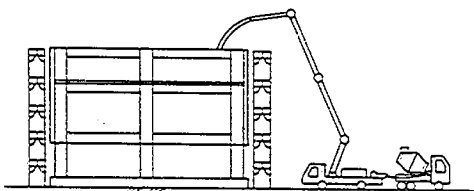
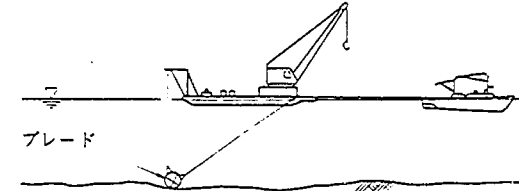
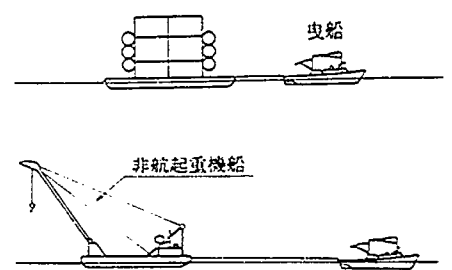
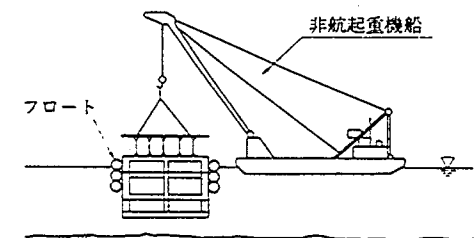
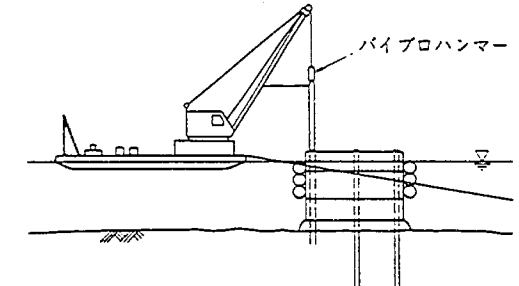
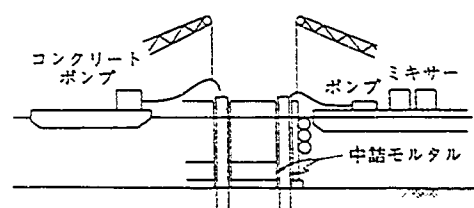
工種	① 消波構造物製作	② 据付け海底面均し	③ 曳 航
施 工 要 領 図			
主業 な 内 作 容	・製作ヤードで、消波構造物を製作する。	・非航起重機船にブレードを吊り下げ、据付け海底面を均す。	・起重機船により、消波構造物を台船に積み込み現地まで運搬する。
使船 用船		起重機船 (150 t 吊旋回式) 引 船 (800 PS) 潜水土船	起重機船 (600 t 吊) 揚錨船 (20 t) 台 船 (800 t 積) 交通船 引 船 (1500 PS, 800 PS)
工種	④ 据 付	⑤ 鋼管杭打設	⑥ グラウト注入・鋼管杭中詰コンクリート打設
施 工 要 領 図			
主業 な 内 作 容	・フロートを取付けた消波構造物を起重機船で吊り、所定の位置へ据付ける。 ・必要に応じ、仮留め用のアンカーを設置する。	・パイプロハンマーで鋼管杭を打設する。 ・打設後、杭頭とケーシング鋼管を溶接して固定する。	・ケーシング鋼管と杭との間にグラウトを注入する。 ・鋼管杭の中詰コンクリートを船により打設する。
使船 用船	起重機船 (600 t 吊) 揚錨船 (20 t) 台 船 (800 t 積) 交通船 引 船 (1500 PS, 800 PS) 潜水土船	起重機船 (150 t 吊旋回式) 揚錨船 (5 t) 引 船 (800 PS, 250 PS) 潜水土船 台 船 (300 t 積) 交通船	クレーン付き台船 (300 t 積35 t 吊) 交通船 引 船 (800 PS) 潜水土船 揚錨船 (5 t)

図10.27 施工概要図

① 消波構造物の製作

構造物は1ユニットあたり、幅10m、長さ9.9m、高さ10.1mのものを5ユニットごとに4回製作する。1ユニットのコンクリートの打設と打設高さおよび形状を考慮して4ロッド（1段目1.15m、2段目以降2.45、3.80、2.70m）に分けて行う。製作した構造物は600t吊り起重機船により、製作ヤードから仮置場へ移動する。

② 据付海底面均し

非航起重機船にブレードを吊下げ構造物を据付ける海底面を均す。

③ 積込みおよび曳航

4週強度が得られた構造物にフロートを取付けたのち、起重機船により台船に積込み、据付現地まで運搬する。

④ 据 付

フロートを取付けた構造物を起重機船により吊り、所定の位置へ据付ける。なお必要に応じ施工中の構造物の安定を保つために構造物の外周にアンカーを設置する。

⑤ 鋼管杭打設

構造物のケーシング鋼管の中へ鋼管杭をクレーン船により吊込み、打設する。最初に外杭4本を荒打ちし、その後残り2本と4本の仕上げ打ちを行う。打設後杭頭とケーシング鋼管を溶接により固定する。

⑥ グラウト注入および鋼管杭中詰工

構造物のケーシング鋼管と杭の間に早強性無収縮モルタルをクレーン付台船により注入した後、フロートに注水して取外し鋼管内に中詰コンクリートを打設する。

数量総括表、使用船舶機械一覧表および工程表を表10.21～10.23に示す。

表10.21 数量総括表（土質条件ケース1）

種 類	単位	延長200m	備 考
鋼 管 杭	t	3,200	SKK50, $\phi 914$, $t=22\text{mm}$, 120本
ケ ー シ ン グ 鋼 管	t	500	STK41, $\phi 1100$, $t=14\text{mm}$, 120本
鋼 材	t	190	SM50, H鋼, 補強材
鉄 筋	t	176	SD35, SD30
コ ン ク リ ー ト	m ³	3,262	$f'_{ck}=240\text{kg/cm}^2$
グラウトセメントモルタル	m ³	319	$f'_{ck}=240\text{kg/cm}^2$
杭 中 詰 コ ン ク リ ー ト	m ³	720	

表10.22 主要使用船舶・機械一覧表

船舶・機械名	仕様	台数
非航起重機船	600t吊 旋回式150t吊	各1隻
クレーン付き台船	300t積35t吊	1隻
台船	600t積, 300t積	各1隻
引船	1500PS, 250PS 800PS	各1隻 2隻
揚錨船	20t吊, 5t吊	各1隻
潜水士船	90PS	1隻
交通船	200PS	2隻
バイプロハンマー	120KW	1台
発電機	600KVA	1台
クローラクレーン	40t吊	1台

表10.23 工程表 (土質条件ケース1)

項目		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
準備工	1式		30日			5日					
消波構造物製作工	20ユニット			144日							
構造物運搬・据付工	20ユニット						102日				
海底面均し工	2500m ²						100日				
鋼管杭打設工	120本						104日				
グラウト注入工	319m ³						102日				
コンクリート中詰工	720m ³									15日	
片付工	1式										10日

土質条件ケース2の場合の施工手順は概ね土質条件ケース1と同じであり、以下に土質条件ケース1と異なる点について概略施工方法を述べる。

①～④は土質条件ケース1に同じ。

⑤ 鋼管杭打設

最初に内側4本の鋼管杭の荒打ちを行い、その後本打ちを行う。

⑥ グラウト注入

内側4本のケーシング鋼管と杭の間にモルタルを注入した後、フロートを取外す。

⑦ 鋼管杭打設

外側4本のケーシング鋼管は短いため構造物上部にガイド管を設置し、鋼管杭を打設する。

⑧ グラウト注入および鋼管杭中詰工

外側4本のケーシング鋼管と杭の間にモルタルを注入し、全部の鋼管内に中詰コンクリートを打設する。

数量総括表および工程表を表10.24、10.25に示す。なお、使用船舶・機械は土質条件ケース1と同じである。

表10.24 数量総括表（土質条件ケース2）

種 類	単位	延長200m	備 考
鋼 管 杭	t	2,926	SKK50, $\phi 900$, $t=16\text{mm}$, 160本
ケ ー シ ン グ 鋼 管	t	444	STK50, $\phi 1100$, $t=14\text{mm}$, 160本
鋼 材	t	261	SM50, H鋼, 補強材
鉄 筋	t	196	SD35, SD30
コ ン ク リ ー ト	m ³	3,516	$f_{ck}=240\text{kg/cm}^2$
グラウトセメントモルタル	m ³	269	$f_{ck}=240\text{kg/cm}^2$
杭 中 詰 コ ン ク リ ー ト	m ³	604	

表10.25 工程表（土質条件ケース2）

項 目		2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月
準 備 工	1 式	30日				5日				
消波構造物製作工	20ユニット			148日						
構造物運搬・据付工	20ユニット						110日			
海 底 面 均 し 工	3800m ²						112日			
鋼 管 杭 打 設 工	160本						117日			
グ ラ ウ ト 注 入 工	269m ³						115日			
コンクリート中詰工	604m ³									15日
片 付 工	1 式									10日

10.5 検討結果のまとめと今後の課題

2枚の鉛直消波板の間に水平消波板を持つハイブリッド式消波構造物について、鋼製ジャケット構造、ラーメン構造の2種を取り上げ、設計、施工の検討を行った。両者の構造に共通する大きな特徴は、主構造部材を陸上で一体加工し、海上での工事を容易にしたことである。また主構造部材は支持杭を打ち込む際のガイドを兼ねているため、海象条件に左右される事なく精度の高い杭打ち工が可能である。

今回の検討によりいずれも大水深波浪制御構造物として十分実現可能で、経済的な構造形式であることが分かった。鋼製ジャケット、ラーメン構造ともに現状の海洋工事の技術レベルで十分対応可能と考えられるが、検討を行ううえでいくつかの不確定要素があった。そのうちの一つは波力に関するものである。設計に用いた波力は水理実験および既往の実験⁴⁾によって求めたものであり、今回の条件に適合するかどうかは明らかではない。このため実際の海域への適用に際しては、波力に関する詳細な検討を加えると共に、平面配置、漂砂、海浜変形等にも検討を加える必要がある。設計、施工に関しては現状の基準、施工技術によって検討を進めたため、安全側ではあるが、若干不経済な構造となっている箇所もある。これらは、今後の研究開発によって、ハイブリッド式消波構造物に適した設計体系、施工方法の検討を進める必要がある。本構造の今後の課題を表10.26に示す。

表10.26 ハイブリッド式消波構造物の現状の技術レベルと今後の課題

項 目	現 状 の 技 術 レ ベ ル	今 後 の 課 題
1. 水理特性 ① 消波機能 ② 波力 ③ 洗掘, 海浜変形	これまでの実験で透過率0.6以下, 反射率0.5以下を満足する構造諸元が得られた。 非碎波時の全波力, 各消波板に作用する波力が得られた。 既往の観測データより杭は2.0m洗掘を考慮。	碎波時の全波力, 部材波力を明らかにし, 設計波力の算定法を確立する。 波力を低減するために, 消波性能が低下しない範囲で更に低い天端高を求める。 消波構造物を設置したことによる海底面の洗掘, 背後の海浜変形の状況を明らかにし, 必要に応じその対策工を検討する。
2. 構造, 基礎 ① 設計体系 ② 構造 ③ 基礎	許容応力度設計法により, 最大波高が常時に作用すると仮定。 S, RCまたはSRC造の柱, 梁および消波板を使用。 鋼管杭を使用。	限界状態設計法を適用する。 S, RC, SRC部材の疲労強度, 杭の押込引抜き時の支持力の評価。 碎波等による衝撃波力を低減する構造の検討。 疲労を考慮した接合部の検討。 構造の軽量化の検討。 複合支持構造の検討。 地盤, 海象条件に応じた合理的な基礎構造の選定。 洗掘防止工の検討。
3. 施 工	現状の海洋工事の技術レベルで対応可能。	更に効率化を図る必要がある。 急速施工の検討。 地盤, 海象条件に応じた合理的な施工方法の選定。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所河川部海岸研究室：海域制御構造物に関する共同研究報告書(1)，土木研究所資料，No.2454，PP・107～PP・119，PP・121～PP・131，1987.
- 2) 建設省土木研究所河川部海岸研究室：海域制御構造物に関する共同研究報告書(2)，土木研究所資料，No.2510，PP・83～PP・90，1987.
- 3) 建設省土木研究所河川部海岸研究室：海域制御構造物に関する共同研究報告書(4)，土木研究所資料，No.2577，pp・183～pp・198，1988.
- 4) 奥蘭英明・牛房幸光：有孔壁における水撃圧の低減効果に関する実験的研究，第27回海岸工学講演会論文集，PP・312～PP・314，1980.

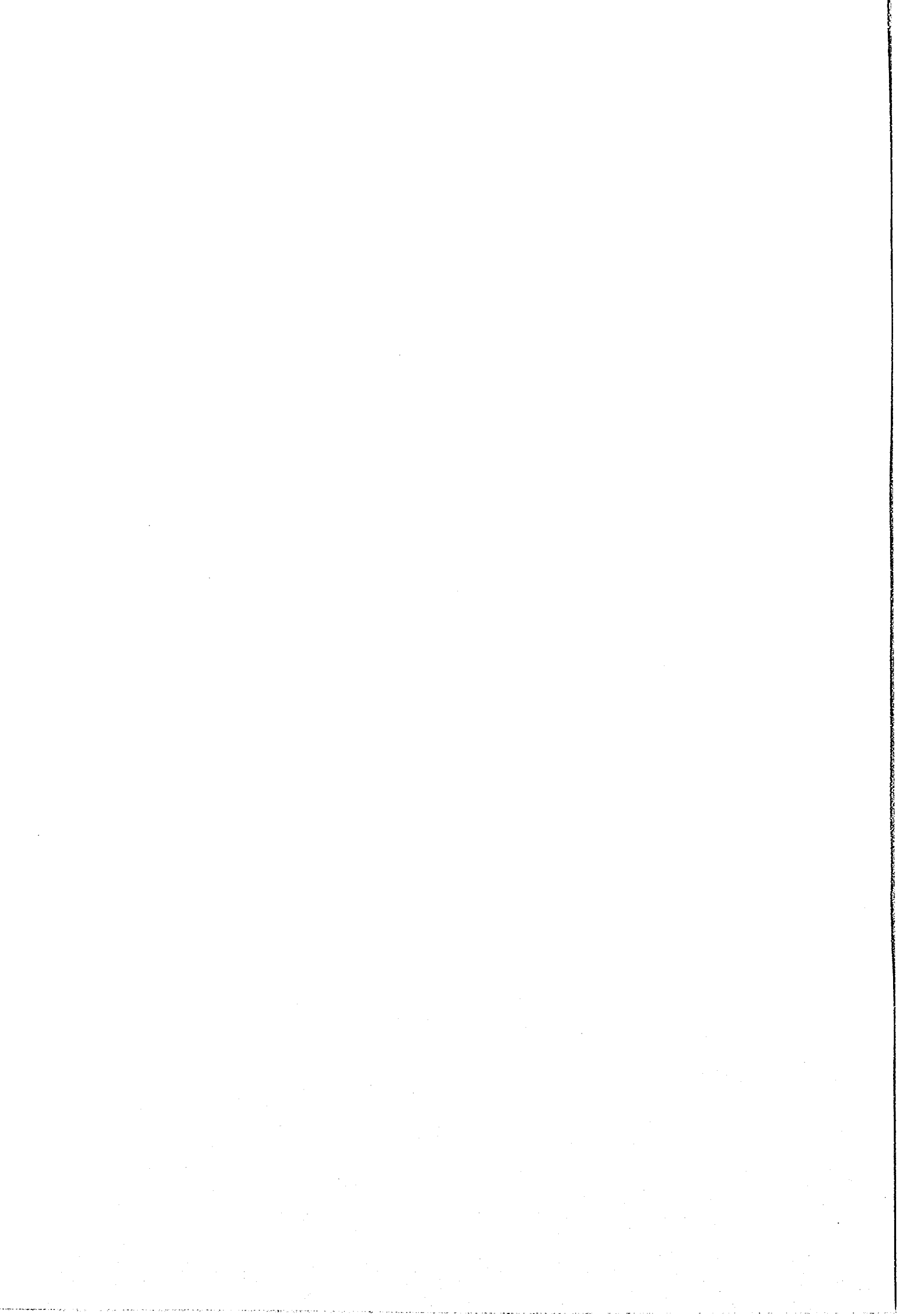
第11章 複合消波型構造物

株式会社大林組 土木本部設計部 増井 直樹

//

//

小林 真



11.1 構造概要

本構造は、Y型垂直壁と水平板を用いて波浪を流れと渦とに変換する複合消波機能を有する。その構造・施工概要は次のようである。

① 本構造物は、Y型垂直壁と水平板からなる上部工、および、同連結支持梁、支柱、底版からなる下部工とが一体に構成されたRC構造物である。

② 海底表層地盤の軟質土を、予想洗掘以深まで除去、浚渫し、捨石による置換えを行うとともに堤体底版上面を海底地盤レベルに据付ける。

③ 堤体は延長18mを1ユニットとし、11ユニット、200mで1ブロックを形成する。なお、斜め入射波の来襲頻度が大きい場合、両端堤頭部に補強として従来型のコンクリートケーソン構造を設置すること等も考慮する。

④ 海底地盤条件が、5.2.6節に示す土質ケース1、2いずれの場合も堤体構造形状・寸法は同一として良い。その理由は、堤体の安定性は海底面下5～6m付近までの表層地盤のせん断抵抗力により支配されるが、土質ケース1、2ともに、表層土はN値が5程度の砂質土であって同一のせん断抵抗力を有するためである。

複合消波構造物の特徴は次のようである。

① 堤体全体を陸上ヤードにおいて製作するため、高精度、高品質のコンクリート構造物を構築することができ、耐久性に優れている。

② 海上作業として、浚渫工、捨石工、堤体据付工が実施されるが、堤体は現地への運搬、据付けの単純作業により、直ちに十分な安定性が確保されるため、堤体工事の手戻りが避けられ、施工の安全性、信頼性が高い。

③ 予想洗掘以深までの海底表層土の浚渫、捨石置換えおよび堤体底版上面を海底レベルと同一に据付けることにより、海底付近の海水の流れの阻害を低減し、たとえ、周辺海底地盤が洗掘されても堤体の安定性は確保される。

④ 鋼杭等を使用しないため、耐腐食性に優れており、さらに、RC構造は鋼構造に比べ波浪等の繰返し载荷に対する耐疲労性にも優れている。

構造物の鳥瞰図を図11.1に、また構造一般図を図11.2、11.3に示す。さらに、当構造物に用いる各材料を表11.1にとりまとめた。

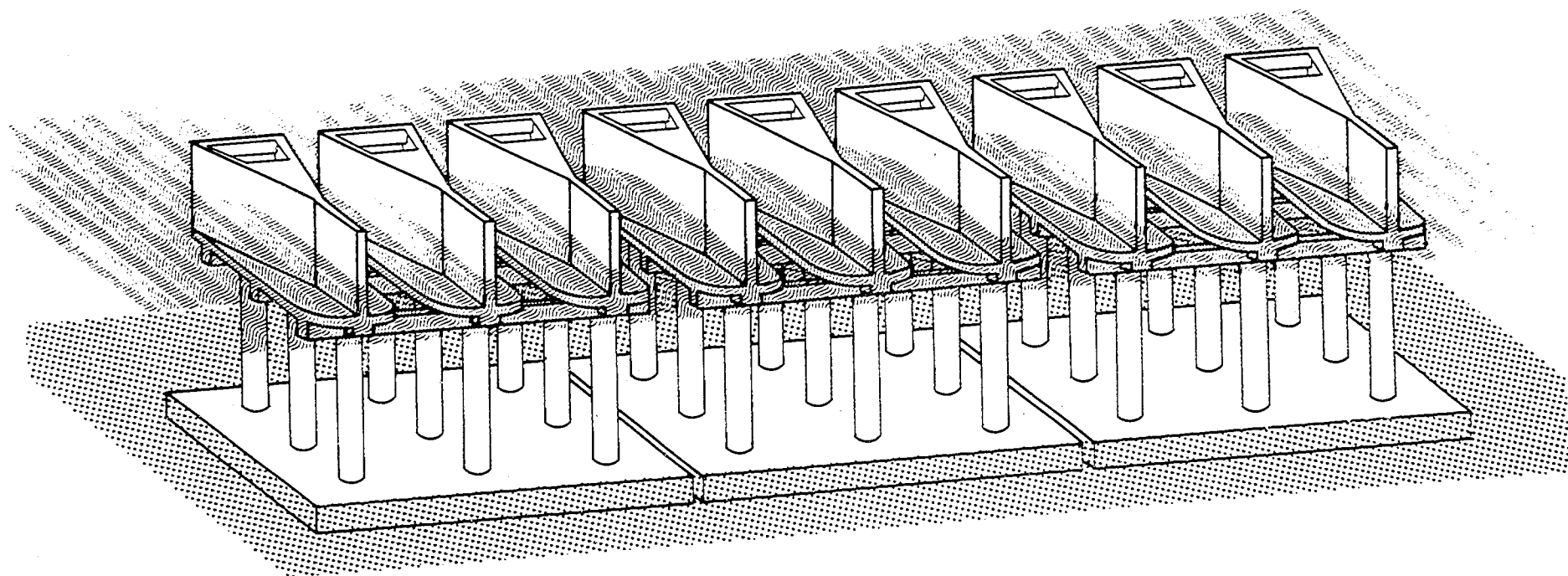


図11.1 複合消波型の鳥瞰図

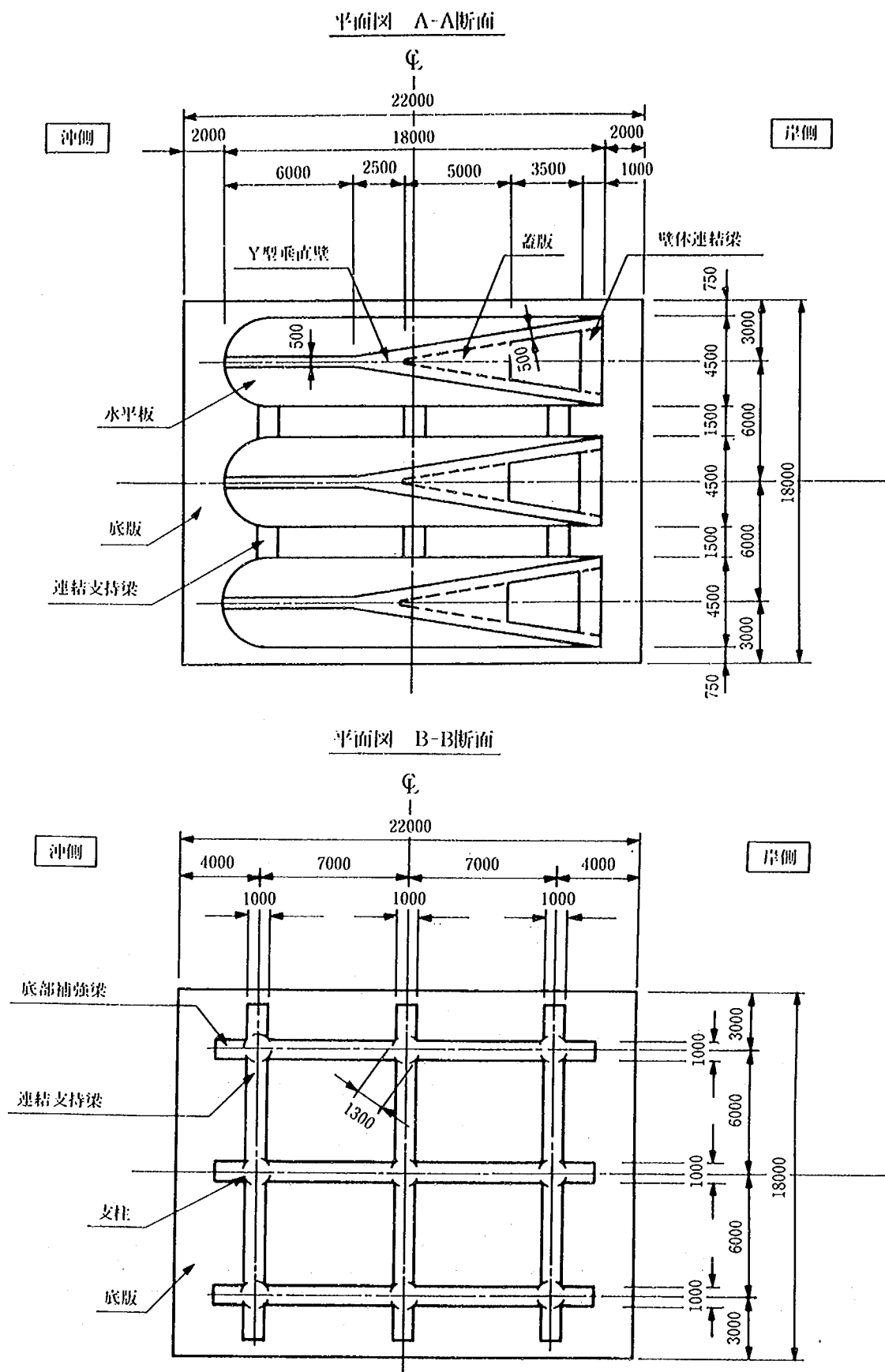


图11.2(1) 构造一般图

(Unit:mm)

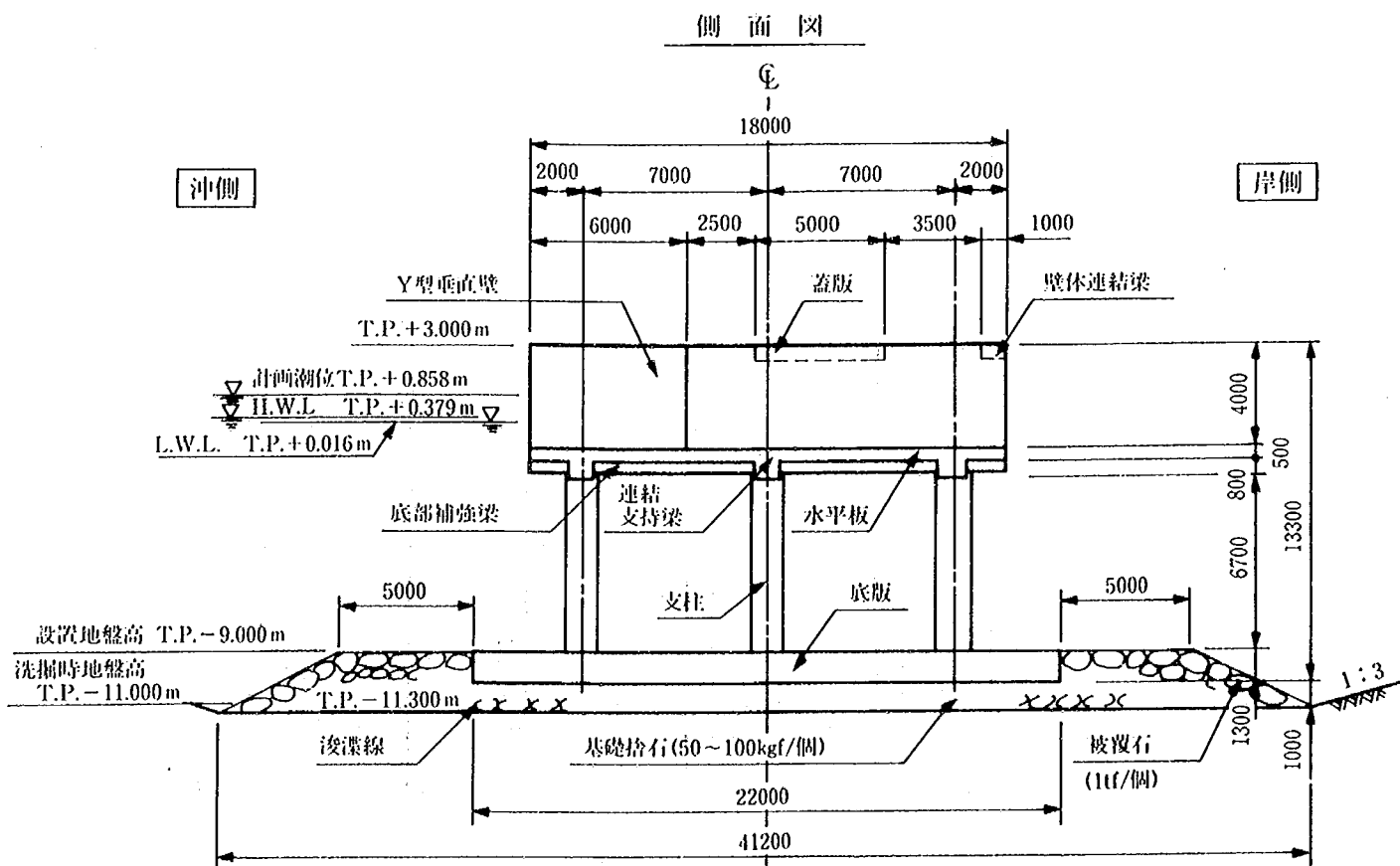
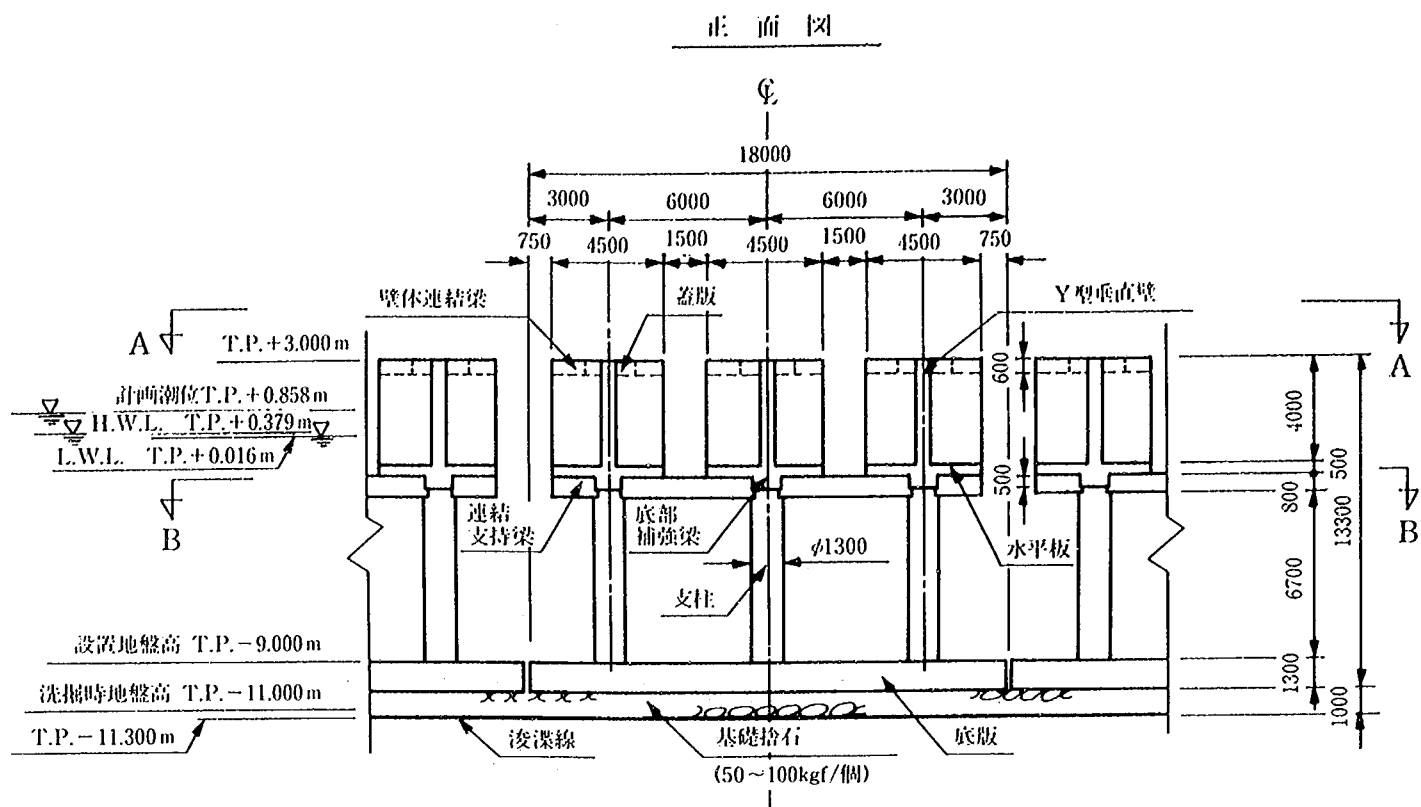


図11.3(2) 構造一般図

(Unit:mm)

表11.1 使用材料

使 用 材 料		規 格	備 考
鋼 材	鉄 筋	S D35	-----
コ ン ク リ ー ト	普通コンクリート	$f_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2$	-----
捨	石	50~100kgf/個	-----
被 覆	石	1 tf/個	堤頭部のみ1.5tf/個

11.2 構造諸元

昭和61年度の水理実験結果¹⁾に基づき、所定の消波性能（透過率 $K_T \leq 0.6$ および反射率 $K_R \leq 0.5$ ）を満足する構造諸元を図11.4に示すように定めた。図11.5に K_T 、 K_R と B/L の関係を示しており、 $0.1 \leq h_2/h \leq 0.2$ の場合、 $B/L \geq 0.20$ とすれば所要の消波性能を得ることができる。

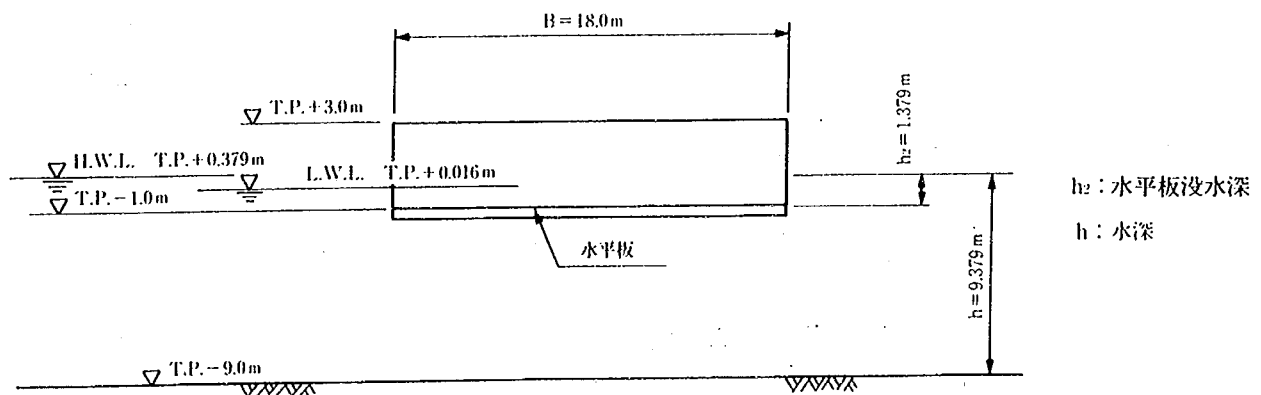


図11.4 構造諸元

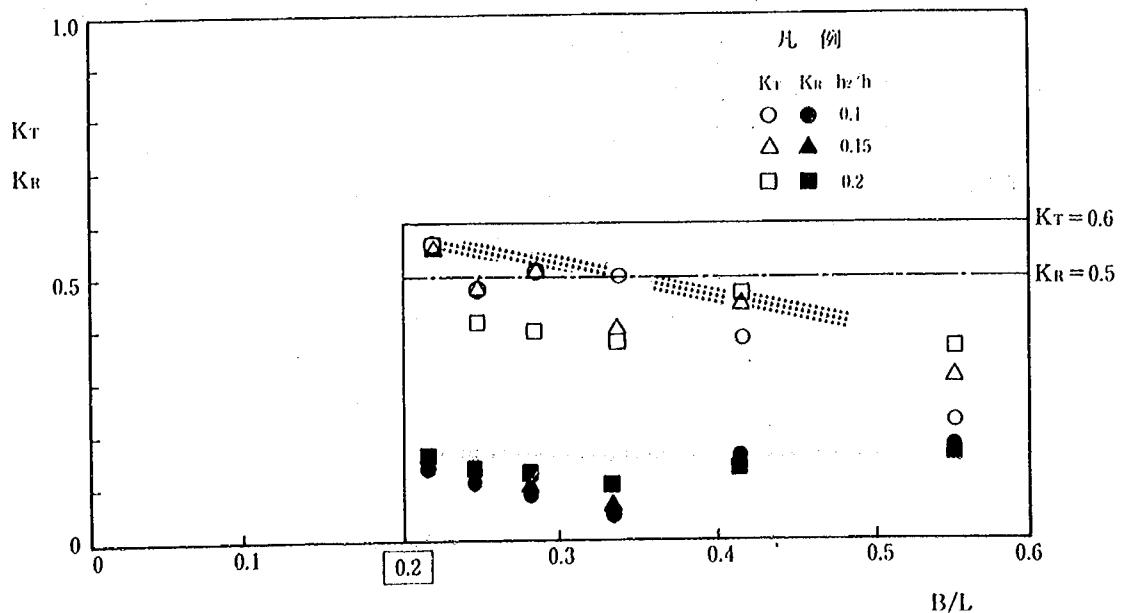


図11.5 K_T 、 K_R と B/L との関係

表11.2 消波性能を満足する構造物幅の評価

潮 位	水 深 h	水平板没水深 h ₂	h ₂ /h	波 長 L	所要構造物幅 B
H.W.L.(T.P.+0.379m)時	9.379m	1.379m	0.147	90m	≥18.0m
L.W.L.(T.P.+0.016m)時	9.016	1.016	0.113	88	≥17.6

消波性能の検討に用いる潮位は、H.W.L.のみならずL.W.L.をも含めており、表11.2より、所要の消波性能を満足する構造物幅として18.0mを採用した。

離岸堤天端高は「海岸保全施設築造基準解説」に基づき次式により設定する。

$$\text{天端高} = \text{H.W.L.} + \text{Max} \{0.5 \times \text{設置水深における進行波の有義波高, } 1.5\text{m}\} + \text{沈下量} \quad (11.1)$$

5.13節より、設置水深における進行波の有義波高は4.5mであり、沈下量は0.2m～0.3mと想定されることから、天端高としてT.P.+3.0mを採用する。

11.3 構造物に作用する波力

11.3.1 設計波力推算手法

昭和62年度水理実験および皆生海岸用海域制御構造物について、構造諸元および波浪条件など波力に影響を及ぼす因子の比較を行い、水理実験より得られた波力の当該構造物への適用性について検討を行う。その検討結果に基づき、設計波力を推算する。

(1) 構造諸元の比較

図11.6に水理実験モデルと皆生海岸用海域制御構造物の比較を示す。また、表11.3において波力特性に影響を及ぼす構造諸元の比較を行う。図11.6に示すように底版は、海底地盤面下に埋設されることから水理実験モデルには含まれていない。しかし、底版に作用する鉛直波力は、構造物の安定性に影響を及ぼすと考えられるので、実験モデル直下の水槽床面に作用する鉛直波圧の計測結果に基づき推定した。他方、底版に作用する水平波力は、Y型垂直壁に作用する水平波力等に比べはるかに小さいと考えられることより、以下の計算では無視している。

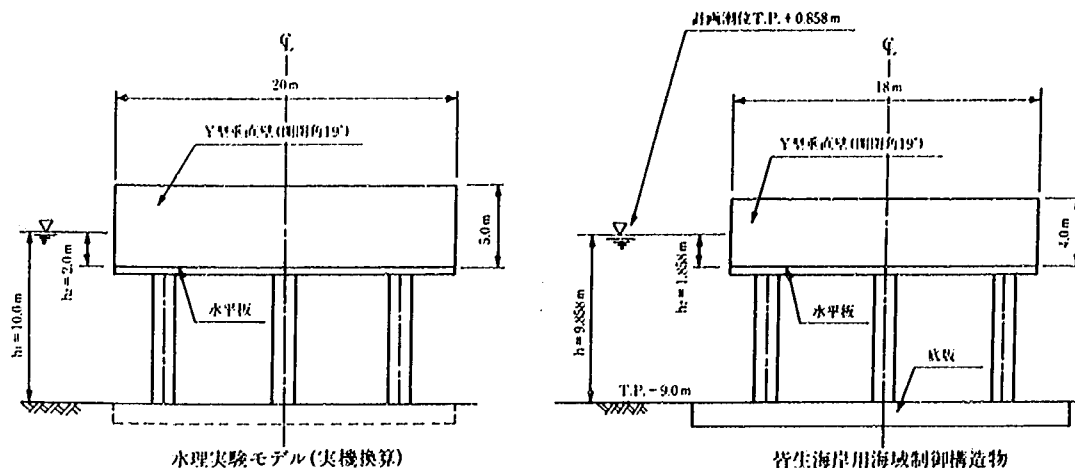


図11.6 実験モデルと構造物との比較図

表11.3 波力特性に影響を及ぼす構造諸元の比較

比較項目	水理実験モデル	皆生海岸用構造物
水深 h	10.0m	9.858m
水平板没水深 h_2	2.0m	1.858m
h_2/h	0.20	0.19
Y型垂直壁開閉角	19°	19°
Y型垂直壁乾舷高 [注]	3.0m	2.142m

[注] 水理実験モデルのY型垂直壁乾舷高は、皆生海岸用海域制御構造物に比べ、1 m程度高いため、より大きな水平波力が作用すると考えられる。ここでは、安全を考慮して水理模型実験より得られた水平波力をそのまま用いることとする。

既に明らかにした図11.6および表11.3によれば波力特性に影響を及ぼす構造諸元は、両者ではほとんど同一であることから、水理実験結果に基づき波力推算を行うこととする。

(2) 波浪条件の比較

表11.4に示すように、実験で用いた波周期および波力推算用パラメータ B/L は、当該海域の波浪条件を包含している。ただし、波高が波力に及ぼす影響については以下の推定を行う。つまり、二次元水理実験では、波高2 mおよび4 mについて波力および波圧の計測を行っているから、この波高変化が波力係数 $(F/w \cdot (H/2) \cdot B^2)$ ここに、 F : 波力、 w : 海水密度、 H : 波高、 B : 構造物幅

表11.4 波浪条件の比較

波浪条件	三次元水理実験	皆生海岸
波高 H	4 m	7.1 m
周期 T	6 ~ 11 sec	10 sec
B/L [注]	0.19 ~ 0.55	0.196

[注] B : 構造物幅 L : 波長

に及ぼす影響に基づき設計波高（ $H_{\max}=7.1\text{m}$ ）作用時の波力係数を推定する。

11.3.2 構造物安定検討用設計波力

構造物に直角入射（正面入射）する波浪による設計全体波力を求める。

(1) 全体水平波力

図11.7より波高4m時の水平波力係数を求め、波力係数の基準値とする。

$$\text{押波： } F_x / w \cdot (H/2) \cdot B^2 = 0.20 \quad (11.2)$$

$$\text{引波： } F_{x'} / w \cdot (H/2) \cdot B^2 = 0.12 \quad (11.3)$$

ここに、 F_x ， $F_{x'}$ ：全体水平波力

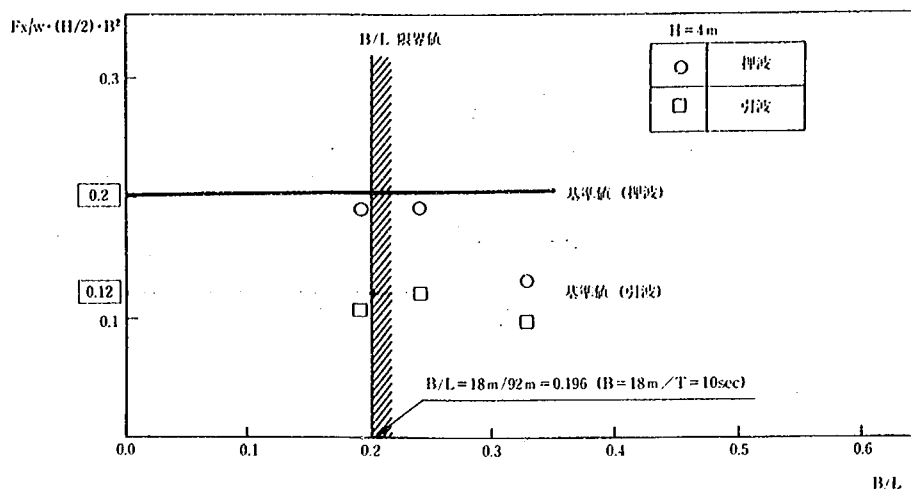


図11.7 水平波力係数（三次元水理実験）

図11.8より波高が2mから4mに増加した場合の水平波力係数の変化を照査し、設計波高7.1m時の水平波力係数を推定する。

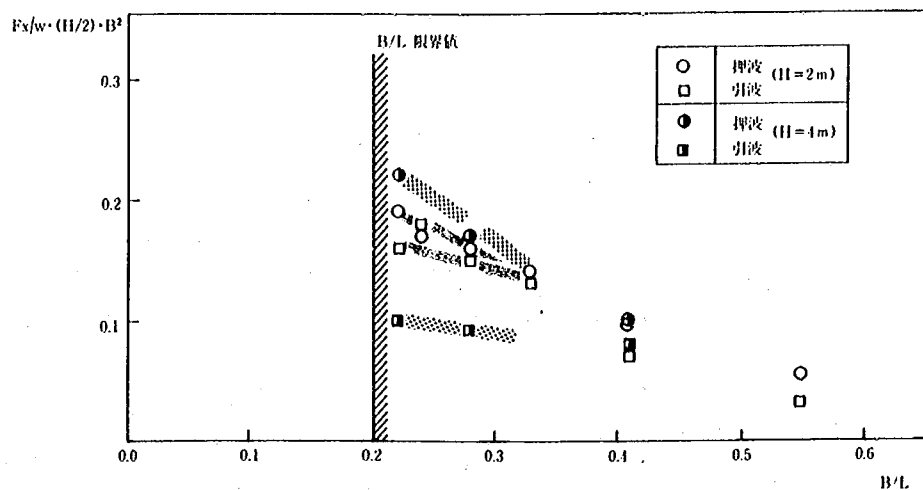


図11.8 水平波力係数（二次元水理実験）

表11.5 水平波力係数の推算

波力の向き	波力係数基準値 (波高 4 m)	波高による波力係数の変化		設計波力係数 (波高7.1m)
		2 m→4 m	4 m→7.1 m	
押 波	0.20	10%程度増加	[注1] 15%程度増加	0.23
引 波	0.12	40%程度減少	[注2] 変化なし	0.12

[注1] 図11.8より波高が2倍になったとき、波力係数は10%程度増加する。従って、波高が4mから7.1mになった場合の波力係数の増加も10%程度と思われるが、設計波（碎波限界波高）における波形の非線形性等を考慮し、15%増加と安全側に推定する。

[注2] 安全を考慮して、波力係数の低減は行わないこととする。

表11.5より設計全体水平波力 F_x は以下のように求められる。

$$\text{押波 } F_x = 0.23 \cdot w_0 \cdot (H/2) \cdot B^2 = 275 \text{tf} \quad (11.4)$$

$$\text{引波 } F_{x'} = 0.12 \cdot w_0 \cdot (H/2) \cdot B^2 = 145 \text{tf} \quad (11.5)$$

ここに、 w_0 ：海水密度 (1.03 tf/m³)

H ：設計波高 (7.1m)

B ：構造物幅 (18.0m)

(2) 全体鉛直波力

全体鉛直波力は、水平板に作用する鉛直波力と底版に作用する鉛直波力の合計値より成るが、ここでは三次元および二次元水理実験より得られた水平板に作用する鉛直波力を全体鉛直波力として用いる。その理由は次のようである。まず、水平板に上向き鉛直波力が作用するとき、底版上面には下向き鉛直波圧が生ずる。すなわち、両部材に作用する鉛直波力の向きは逆になっている。したがって、安全を考慮して底版に作用する鉛直波力を無視する。

全体鉛直波力の計算手法は、全体水平波力の場合と同様である。まず、図11.9より鉛直波力係数の基準値を求める。

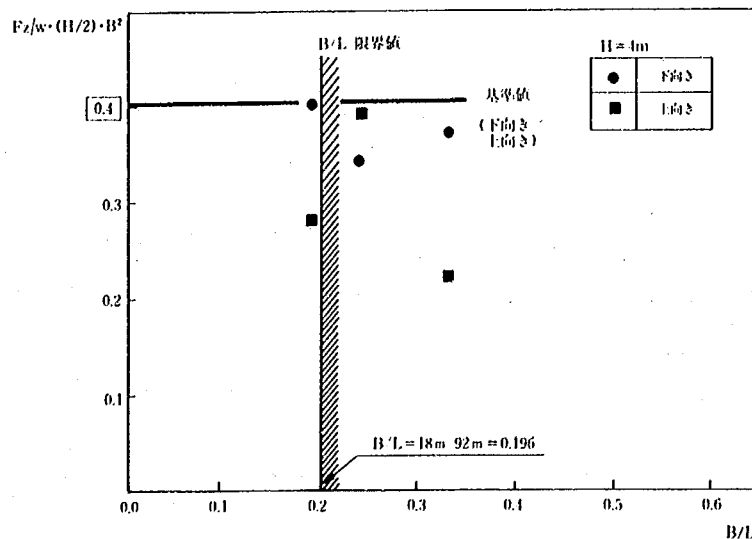


図11.9 鉛直波力係数（三次元水理実験）

$$\text{上向き} : F_z / w_o \cdot (H/2) \cdot B^2 = 0.40 \quad (11.6)$$

$$\text{下向き} : F_z' / w_o \cdot (H/2) \cdot B^2 = 0.40 \quad (11.7)$$

ここに、 F_z 、 F_z' : 全体鉛直波力

図11.10により波高変化が波力係数に及ぼす影響を照査し、設計波作用時の波力係数を推定する。

表11.6より設計全体鉛直波力は以下のように求められる。

$$\text{上向き} F_z = 0.40 \cdot w_o \cdot (H/2) \cdot B^2 = 475 \text{tf} \quad (11.8)$$

$$\text{下向き} F_z' = 0.40 \cdot w_o \cdot (H/2) \cdot B^2 = 475 \text{tf} \quad (11.9)$$

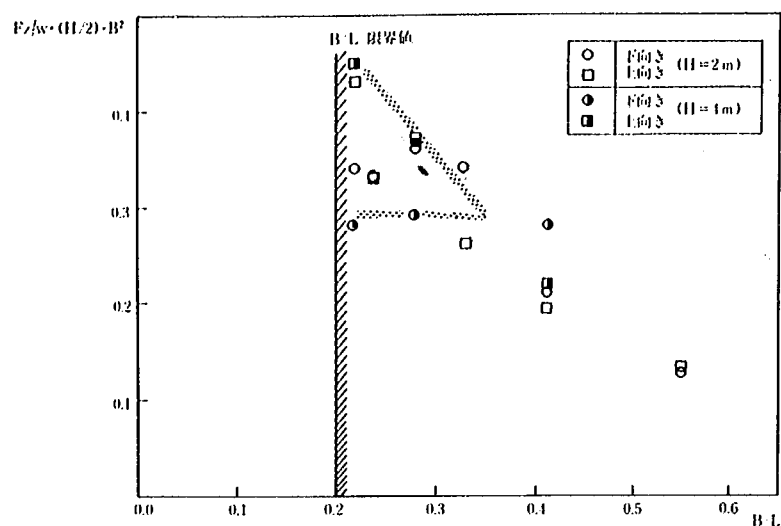


図11.10 鉛直波力係数 (二次元水理実験)

表11.6 鉛直波力係数の推算

波力の向き	波力係数基準値 (波高4m)	波高による波力係数の変化		設計波力係数 (波高7.1m)
		2m→4m	4m→7.1m	
上向き	0.40	変化なし	変化なし	0.40
下向き	0.40	15%程度減少	変化なし ^[注]	0.40

[注] 安全を考慮して、波力係数の低減は行わないこととする。

(3) 設計全体波力のまとめ

三次元および二次元水理実験結果より、押波水平波力と上向き鉛直波力が同時に発生することが確認されていることから、表11.7に示す2ケースを以降の設計において考慮する。

表11.7 構造物安定検討用設計波力のまとめ

ケース	水平波力	鉛直波力
1	275tf (押波)	475tf(上向き)
2	145tf (引波)	475tf(下向き)

11.3.3 構造部材解析用設計波圧

形状寸法が局所波圧により支配されると考えられる Y 型垂直壁および水平板について水理実験結果に基づき設計波圧を求める。

(1) Y 型垂直壁

設計波圧として、壁体両側面に作用する同時差圧の最大値を考慮する。正面入射の場合、Y 型垂直壁に面外圧力はほとんど作用しない。ここでは、波浪入射角 30° 時の実験結果より波圧を求めた。

$$\text{設計波圧} = 1.0 \cdot w_0 \cdot (H/2) \quad (11.10)$$

ここに、 w_0 : 海水密度

H : 設計波高

(2) 水平板

前項で求めた全体鉛直波力は、水平板に作用する波圧の合計値であると考えられることより、設計鉛直波力を水平板全面積で除することにより平均波圧を求め、波圧の不均等分布を考慮して平均波圧の 50% 割増しを設計波圧とする。

$$\text{設計波圧} = 1.5 \cdot 0.4 \cdot w_0 \cdot (H/2) \cdot (B^2/A) = 0.9 \cdot w_0 \cdot (H/2) \quad (11.11)$$

ここに、 B : 構造物幅 (18.0m)

A : 水平板全面積 (238m²)

11.4 設計計算

11.4.1 設計荷重および解析法

波浪時、地震時における設計荷重および解析法を各々図 11.11, 11.12 に示す。

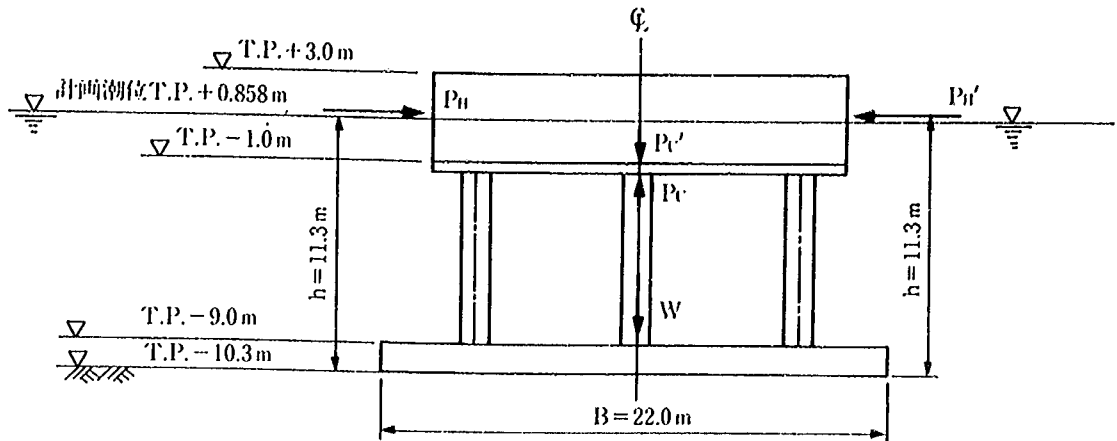
荷重図（波力）	 〔注1〕 W：構造物有効重量（1540tf） 〔注2〕 P_Hと P_U、p_H'と p_U'は各々同時載荷				
	波高 H_{max}	7.1m	波力計算結果 （1ユニット 幅18m）当り）	押波	$P_H=275\text{tf}$ 、 $P_U=475\text{tf}$
周期 H	10sec	引波		$P_H'=-145\text{tf}$ 、 $P_U'=-475\text{tf}$	
備考	1 安定解析				
	● 「港湾の施設の技術上の基準・同解説」第7編2.7節、第8編4.5節に準拠した。 ● 安定解析用基準面は、洗掘防護工を考慮して構造物底面（T.P. -10.3m）とした。 ● P_Hと P_Uが作用する押波時の検討結果を以下に示す。引波時も同様とする。 滑動：式（5.6）および摩擦係数（$f=0.6$）より、 発生安全率$=f \cdot (W - P_U) / P_H = 2.3 > 1.2$（所要安全率） 転倒：式（5.7）より、 発生安全率$=W \cdot 0.5B / (P_H \cdot h + P_U \cdot 0.5B) = 2.0 > 1.2$（所要安全率） 支持力：荷重分散法および式（5.8）より、 発生地盤反力$=\frac{(W - P_U)}{A} \cdot (1 + \frac{2e}{B}) = 4.9\text{tf/m}^2$ ここに、A：堤体底面積（396m^2）、e：偏心量（2.9m） 許容支持力$=\beta \cdot \gamma \cdot B \cdot N_r / F = 23\text{tf/m}^2 > 4.9\text{tf/m}^2$ 2 構造解析 ● 各部材を2次元骨組構造とし、弾性解析により断面力を算定する。 ● 設計荷重として全体波力および局所波圧の他、吊り上げ荷重等の施工時荷重等をも考慮する。				

図11.11 波浪時設計荷重および解析法

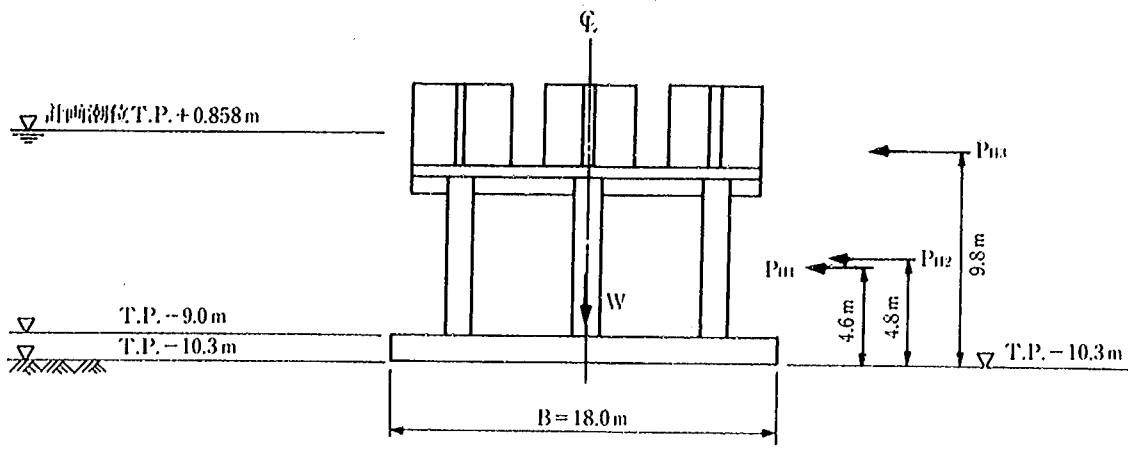
荷重図 (地震力)	 (注) P_m : 慣性力 P_{n2} : 柱に作用する動水圧 (付加質量係数 $C_M=1.0$ として動水圧を求めた) P_{n3} : Y型垂直壁に作用する動水圧 (道路橋示方書に示される、壁状構造物に作用する動水圧算定式を用いた)			
地震条件	地震震度	$k_h=0.12$	地震力算定結果 (1ユニット (幅18m) 当り)	$P_m=288\text{tf}$ $P_{n2}=11\text{tf}$ $P_{n3}=64\text{tf}$
備考	1 地震力の算定方法 ● 構造物の固有周期が0.6sec程度と極めて短いことにより、静的解析である震度法を適用した。 ● Y型垂直壁に作用する動水圧が大きくなる法線方向について地震力を求めた。 ● 地震力作用時の潮位として、安定上最も不利となる計画潮位を用いた。 2 安定解析/構造解析 ● 波浪時と同一手法を用いた。			

図11.12 地震時設計荷重および解析法

11.4.2 安定の検討

(1) 安定の検討結果

図11.11, 11.12に示すように波浪時および地震時の安定検討を行い、その結果を表11.8にとりまとめた。

表11.8 安定検討結果一覧表

荷重状態		滑 動		転 倒		支 持 力	
		発生安全率	所要安全率	発生安全率	所要安全率	発生地盤反力	許容支持力
波浪時	押波	2.3	1.2	2.0	1.2	4.9tf/m ²	23tf/m ²
	引波	8.3	1.2	13.3	1.2	6.2	23
地震時		-----	-----	6.8	1.1	5.6	19

(2) 偏心傾斜荷重に対する支持力の補足検討

安定上最もクリティカルとなる押波波力作用時について斜面安定解析プログラムを用いてすべりに対する検討を行い、偏心傾斜荷重に対して地盤が十分な安全性を保有していることを確認した。プログラムは、地盤内にせん断崩壊面を仮定し、その面に沿ったせん断強度と外力によるせん断応力度との比較（極限平衡法）を行い、安全性の照査を行うものである。

図11.13に最小の安全率を与える崩壊面を示しており、そのときの安全率は2.4であることから地盤は十分な耐荷性能を有すると考えられる。

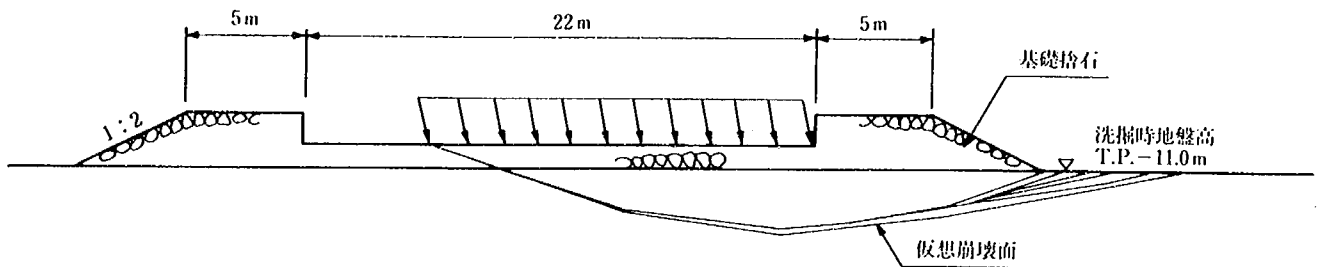


図11.13 偏心傾斜荷重に対する支持力の検討結果

(3) 土質種別が安定に及ぼす影響

5.2.6 節に示す土質条件によると、ケース1、2ともに表層地盤はN=5の比較的ゆるい砂質土より成る。当該表層地盤を構成する土質として細砂・シルトの場合および中砂の場合とが想定でき、このうち当F.S.では、土質柱状図より推して、細砂・シルトの場合を用いることとした。細砂・シルトの場合、沈下が問題となることが考えられる。つまり、構造物を当該地盤上に設置することにより有効上載圧が約3tf/m²程度増加するため、圧密沈下の発生が予想される。設置後の沈下による波浪制御効果の低下等の防止対策として、構造物直下の基礎捨石にあらかじめ余盛り等を行うことが挙げられる。しかし、当該土質の場合、地震時における間隙水圧の上昇はほとんど生じないことより、液状化の恐れはない。他方、中砂よりなる場合は、圧密沈下ではなく液状化が問題となることが考えられる。この場合、液状化防止対策として、地盤のN値を若干高める改良方法（例えば、サンドコンパクションパイル工法）の使用が考慮される。いずれの土質の場合でも沈下・液状化防止工は現有技術レベルで充分対応可能であり、今後堤体設置地点での詳細土質調査の結果に基づき、必要に応じて対策を講じることとする。

11.4.3 主要部材の検討

(1) 検討手法：許容応力度設計法に準拠。参考として限界状態設計法をも適用し、終局（耐力）および使用（ひびわれ）各限界状態を照査。限界状態設計法に用いる安全係数を表11.9に示す。

(2) 構造材料：コンクリート $f'_{ck}=240\text{kgf/cm}^2$

鉄筋 S D 35

(3) 検討部材位置：図11.14参照

(4) 検討結果：表11.10参照

表11.9 限界状態設計法に用いる安全係数（参考）

限界状態	安全係数						[注1] 構造物係数 γ_i
	材料係数		部材係数 γ_b	構造解析係数 γ_a	荷重係数 γ_f		
	コンクリート γ_c	鉄筋 γ_s			永久荷重	変動荷重	
終局	1.3	1.0	[注2] 1.15/1.3	1.0	1.1	1.3	1.0/1.3
使用 [注3]	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

[注1] 照査限界状態として終局および使用を考慮する。波浪の繰返し作用による疲労の影響が無視し得ない部材については、波浪による両振り繰返し荷重による水中部材の疲労照査手法が未だ充分確立されていないため、終局時の安全性を高めることにより疲労強度を確保することとした。従って、波浪荷重が支配的となる部材については、 $\gamma_i=1.3$ を用いる。

[注2] 曲げ耐力およびせん断補強鉄筋の負担するせん断耐力に対して $\gamma_b=1.15$ 、軸方向耐力およびコンクリートの負担するせん断耐力に対して $\gamma_b=1.3$ を用いる。

[注3] 使用限界状態照査に用いる設計変動荷重として、設計波が稀にしか作用しないことより、設計波による波浪荷重の0.5倍を用いる。

許容ひびわれ幅 $=0.0035C$ 但し、支柱および底板は $0.004C$ とする。（ C ：かぶり）

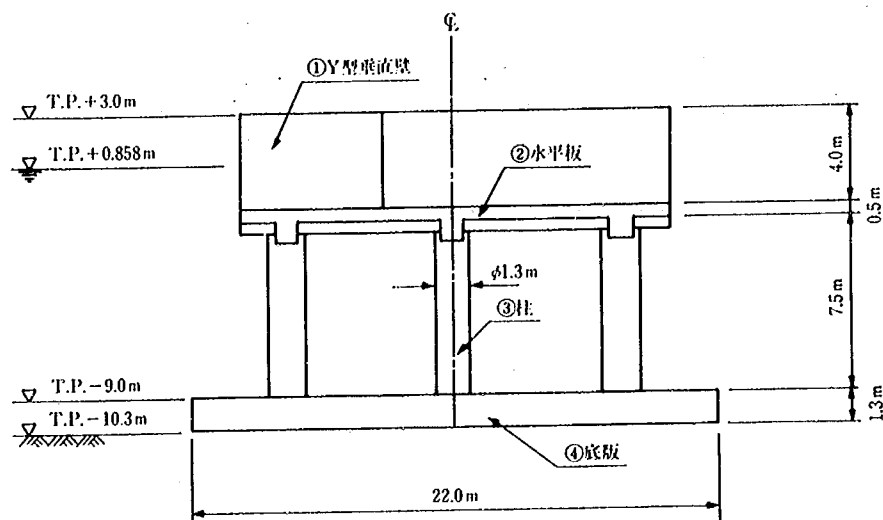
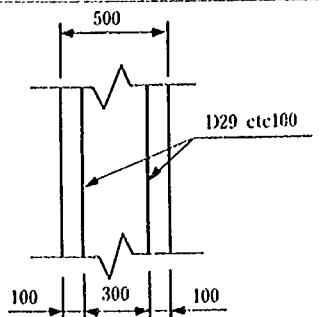
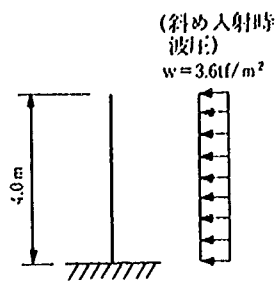
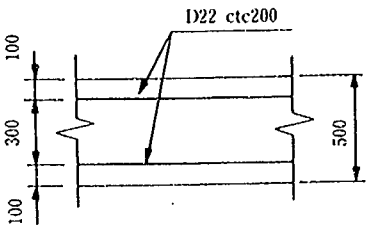
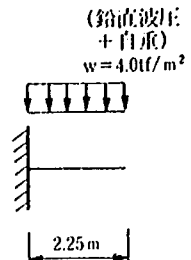
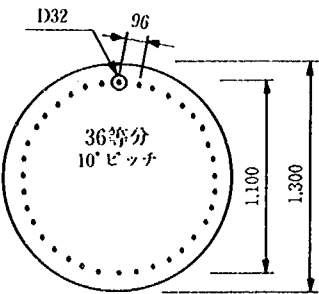
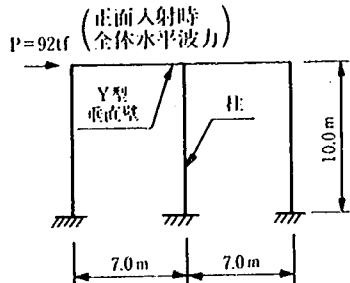
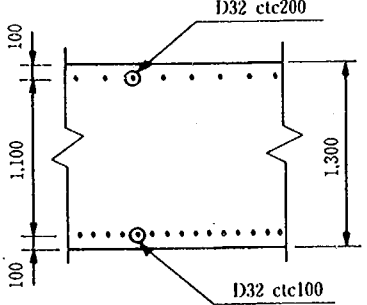
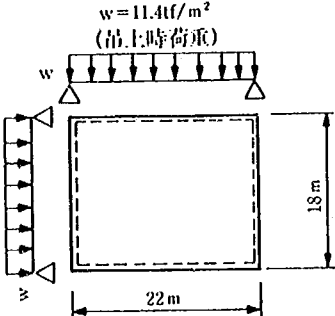


図11.14 検討部材位置図

表11.10 主要部材検討結果

部 材 名	設計断面力	部 材 断 面 形 状	備 考
① Y型垂直壁	$M = 29 \text{ tfm/m}$ $S = 14 \text{ tf/m}$		 (斜め入射時 波圧) $w = 3.6 \text{ tf/m}^2$
② 水 平 板	$M = 10 \text{ tfm/m}$ $S = 8 \text{ tf/m}$		 (鉛直波圧 + 自重) $w = 4.0 \text{ tf/m}^2$
③ 支 柱	$M = 152 \text{ tfm}$ $S = 31 \text{ tf}$ $N = -11 \text{ tf}$		 (正面入射時 全体水平波力) $P = 92 \text{ tf}$
④ 底 版	$M = 233 \text{ tfm/m}$ $S = 78 \text{ tf/m}$		 $w = 11.4 \text{ tf/m}^2$ (吊上時荷重)

11.5 施工概要

11.5.1 概 要

本構造物の施工上の特徴を以下に示す。

① 計画地点は、海象条件が厳しく稼働率が低いことから、堤体全体を陸上ヤードにて構築するこ

とにより施工の迅速性を向上させる。

② 堤体の現地据付後、直ちに安定した構造物が形成されるため、外洋における施工の安全性が高い。

③ 海上工事を含めてすべての工種は、現有施工技術レベルで充分対応でき、信頼性の高い施工が可能である。

11.5.2 施工方法

本構造物の施工手順は、図11.15、11.16に示すとおりである。以下に各工種の概略施工方法を述べる。

(1) 堤体製作工

堤体は陸上ヤードにて構築する。本堤体は版／柱／梁からなっており、以下の6ロットに分割し順次コンクリートを打設する。

a)底版 b)柱 c)柱頭部＋支持梁＋底部補強梁 d)水平板
e) Y型垂直壁下部 f) Y型垂直壁上 部＋蓋版＋壁体連結梁
なお、必要に応じて堤体製作ヤードの補強および舗装等を行う。

(2) 浚渫工

海底面下2.3mまで浚渫し、表部軟弱層を除去する。

(3) 基礎捨石設置工

堤体据付け基面高さまで基礎捨石を投入し、天端均しを行う。
堤体設置部は、特に入念に本均しを行う。

(4) 堤体運搬工

製作完了した堤体を3,000 t吊り起重機船を用いて据付現地まで吊り上げ運搬する。

(5) 堤体据付工

現地まで運搬された堤体を起重機船により所定位置に据付け
る。

(6) 被覆石設置工

基礎捨石表面へ洗掘防護用被覆石を設置する。

本構造物の数量総括表、使用船舶・機械一覧表および工程表を表11.11～11.13に示す。

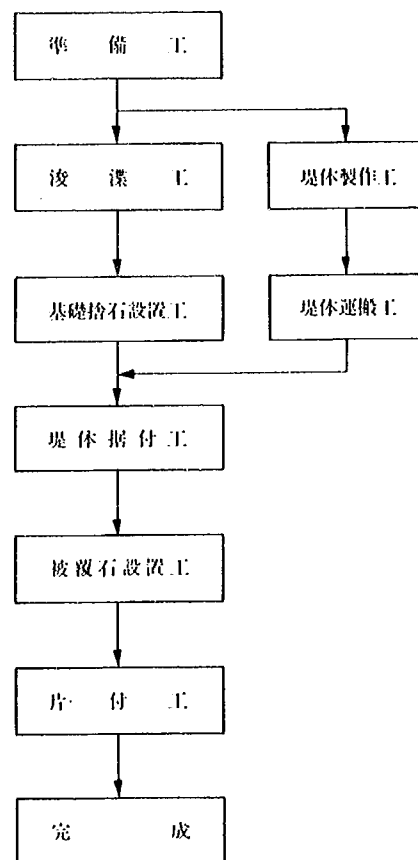


図11.15 施工フロー図

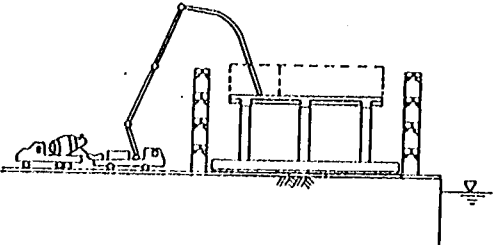
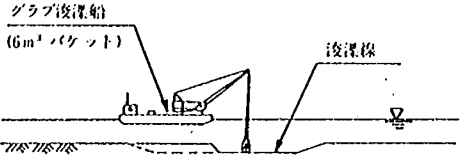
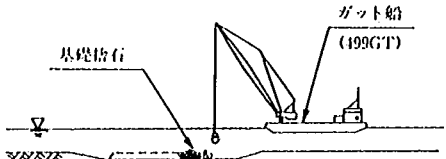
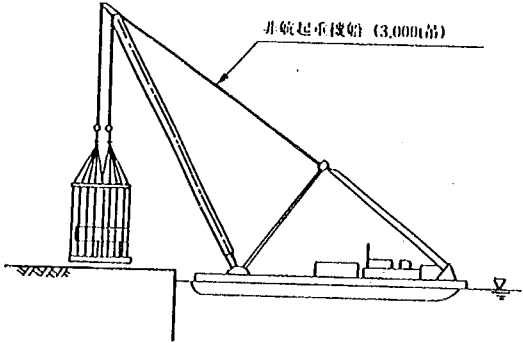
工 種	① 堤体製作工	② 浚 渫 工
施 工 要 領 図		
主 業 な 内 容	1) 陸上ヤードにて堤体製作を行う。 2) コンクリートは、6ロットに分割し、 打設する。	1) グラブ浚渫船により所定深度まで浚渫 する。
使 用 船 舶		グラブ浚渫船 (6m³バケット) 引 船 (D-1,000PS) 土 運 船 (800m³積) 揚 錨 船 (D-15t吊) 警 戒 船 (D-50PS)
工 種	③ 基礎捨石設置工	④ 堤体運搬工
施 工 要 領 図		
主 業 内 容	1) ガット船により捨石を投入する。 2) 潜水土により捨石均しを行う。	1) 起重機船により堤体を吊り上げ現地ま で運搬する。
使 用 船 舶	ガ ッ ト 船 (499GT) 潜 水 土 船 (D-30PS) 警 戒 船 (D-50PS)	非航起重機船 (3,000t吊) 引 船 (D-3,000PS, D-2,000PS) 揚 錨 船 (D-35t吊) 警 戒 船 (D-50PS)

図11.16(1) 施工要領図

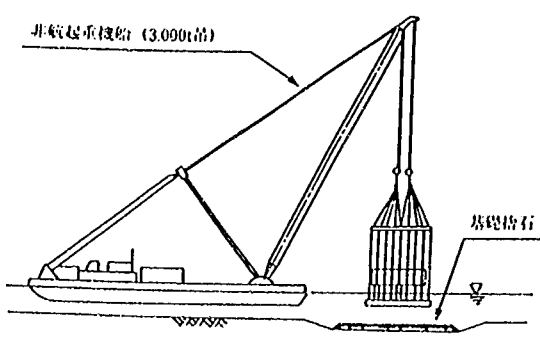
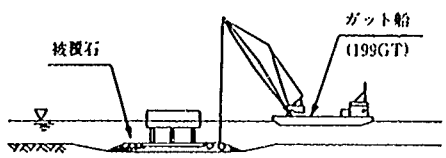
工 種	⑤ 堤体据付工	⑥ 被覆石設置工
施 工 要 領 図	 非航起重機船 (3,000t吊) 基礎捨石	 被覆石 ガット船 (199GT)
主 業 な 内 作 容	1) 現地まで運搬された堤体を起重機船により、基礎捨石上に据付ける。	1) 基礎捨石表面に被覆石を設置する。
使 用 船 舶	非航起重機船 (3,000t吊) 引 船 (D-3,000PS, D-2,000PS) 揚 錨 船 (D-35t吊) 潜水土船 (D-30PS) 警 戒 船 (D-50PS)	ガット船 (199GT) 潜水土船 (D-30PS) 警 戒 船 (D-50PS)

図11.16(2) 施工要領図

表11.11 数量総括表

種 類		単 位	延長 200m	備 考
浚 渫		m ³	25,100	浚渫深度 2.3m
基 礎 捨 石		m ³	8,250	50~100 kgf/個
同 上 均 し		m ²	8,200	-----
被 覆 石		m ³	4,900	1 tf/個以上、但し、 堤頭部は1.5tf/個以上
同 上 均 し		m ²	4,900	-----
プレキャスト コンクリート	コンクリート	m ³	10,780	f _{ck} =240 kgf/cm ²
	鉄 筋	t	1,672	SD 35

表11.12 主要使用船舶・機械一覧表

船舶・機械名	仕 様	台 数
非 航 起 重 機 船	3,000 t 吊	1
グ ラ ブ 浚 渫 船	6 m ³ バケット	1
土 運 船	800m ³ 積	1
引 船	D-3,000PS, D-2,000PS D-1,000PS	各 1
ガ ッ ト 船	199GT級, 499GT級	各 1
揚 錨 船	D-35 t 吊, D-15 t 吊	各 2
潜 水 士 船	D-30PS	4
警 戒 船	D-50PS	2
クローラクレーン	25 t 吊	4

表11.13 工 程 表

項 目		工 程									海 洋 工 事 稼 働 率		
		2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	作業限界 波高	夏 期	秋 期
												(6 ~ 8 月)	(9 ~ 10 月)
準 備 工	1 式	30日									—	—	—
堤 体 製 作 工	11箇				180 日						—	—	—
浚 渫 工	25,100m ³					45 日					H _{1/3} =0.6m	80%	—
捨 石 投 入 工	8,250m ³						75日				H _{1/3} =0.8m	85%	—
同 上 均 し 工	本均し						本均し	70日			H _{1/3} =0.6m	80%	40%
	5,200m ²							荒均し	50日				
	荒均し							合計	95日				
堤 体 運 搬 据 付 工	11箇							50日			H _{1/3} =0.4m	60%	25%
被 覆 石 投 入 工	4,900m ³								70日		H _{1/3} =0.8m	85%	50%
同 上 均 し 工	4,900m ²								70日		H _{1/3} =0.6m	80%	40%
片 付 工	1 式									10日	—	—	—

〔注〕海洋工事期間：6月～10月

11.6 構造物の適用性と今後の課題

本構造物は、Y型垂直壁と水平板を用いて波浪を流れと渦に変換する複合消波機能を有する。また、施工上、外洋における海上作業の安全性等を向上するため、堤体は現地への運搬、据付後、直ちに十分な安定性が確保される構造とした。さらに、堤体底版上面を海底レベルと同一とし、海底面付近の海水の流れを阻害せぬよう配慮するとともに、予想洗掘以深までの浚渫および捨石置換による積極的な洗掘防護工を実施した。本堤体基礎形式としては、地盤条件に応じて、直接基礎構造の他、杭式構造あるいは各種地盤改良工法との併用も可能で、広範な土質条件に対応できる。また、堤頭部の補強については、従来型のケーソンタイプとすること等も考えられる。構造物はすべて剛接合よりなり、不静定次数が高く、大波浪、大地震等に対する抵抗性に優れるとともに、波浪周期に比してはるかに短い固有周期を有することから、共振等による影響も少ない。

今後の検討課題としては、表11.14にとりまとめているように、61～62年度の波力・波圧特性実験成果に基づく長周期および大波高に対する全体波力・局所波圧の確認、および、固定床および移動床実験に基づいて構造物設置による堤体背後域の堆砂、洗掘特性を明確にすること等が必要と考えられる。

表11.14 複合消波型の現状の技術レベルと今後の課題

項 目	現状の技術レベル	今 後 の 課 題
1 水理特性 ① 消波効果 ② 波 力 ③ 漂砂・洗掘	61年度および62年度実験より、透過率0.6、反射率0.2を満足する基本構造諸元が求められている。 62年度実験より、周期5～11sec、波高2～4mの波浪に対する全波力および局所波圧測定成果が求められている。 62年度内に固定床および移動床実験実施予定。	63年度実施予定の長周期、大波高（碎波限界波高）に対する全波力および局所波圧測定実験による波力特性の再確認。 62年度内実施予定の固定床および移動床実験による構造物背後域の海浜変形の明確化。
2 構造設計 ① 設計体系 ② 安定解析 ③ 構造解析	許容応力度設計法に準拠しているが、適宜、限界状態設計法により検証する。 「港湾の施設の技術上の基準」に基づく。必要に応じて「道路橋示方書」参照。 「コンクリート標準示方書」に示される許容応力度設計法に基づいているが、適宜、限界状態設計法にて検証。	限界状態設計法の適用に際し、各限界状態に対応する波浪荷重、地震荷重等および安全係数の明確化。 波浪による繰返し載荷が地盤に及ぼす影響（間隙水圧の上昇等）の確認およびその影響を考慮した地盤安定性の検討。 限界状態設計法の適用に際し、使用および疲労限界状態照査用波浪荷重の設定手法並びに変形荷重を受ける水中RC部材の疲労耐力評価手法の明確化。
3 施 工	現状の施工技術レベルで十分対応可能。	捨石均し急速施工法の開発。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所河川部海岸研究室：海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(1)，土木研究所資料第2454号，pp・91～105，1987。

第12章 根入れ式鋼板セル

住友金属工業(株) 建設技術部 飯村 修

〃 〃 柳本 泰伴

〃 設計技術室 北村 卓也

東亜建設工業(株) 技術開発部 荻野 秀雄

12.1 概 要

設計・施工の検討を行った海域制御構造物の構造概要を図12.1に示す。その構造様式は、根入れ式鋼板セル工法を基本としたものであり、断続的に配置されたセル体の一部に縦スリット付き遊水室を設けた透過式海域制御構造物である。根入れを持つことにより構造物基部の洗掘による沈下がなく、また重力式構造物であるがその重量の大部分を砂等の安価な中詰材によるため、経済的にも優れた構造物であると考えられる。

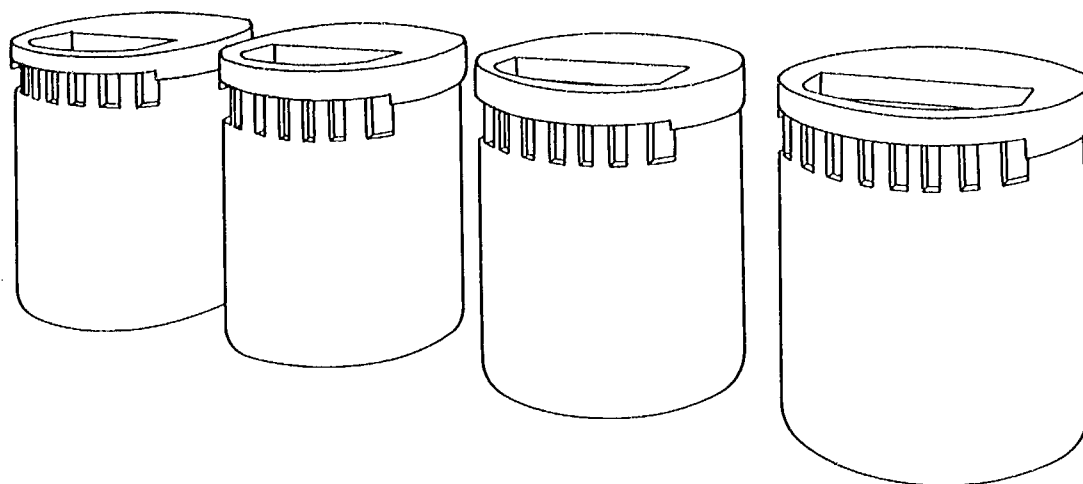


図12.1 海域制御構造物の概要

本構造は、スリット付き遊水室を設けることにより、水粒子がスリット壁を通過する際のエネルギー損失と反射波の位相差を利用して消波を図るもので、建設省土木研究所における水理実験により、5.3に示した消波性能を満足することが確認されている¹⁾。

ここでは、遊水室の構造として次の2タイプを考案し、それぞれについて設計・施工の検討を行った。

① コンクリート製スリット型

スリット部及び遊水室隔壁をコンクリート製とした構造。

② 鋼製スリット型

スリット部及び遊水室隔壁を鋼製とした構造。

12.2 設計条件

12.2.1 セル体の安定の検討方法

セル体の安定の検討は、「根入れ式鋼板セル設計指針」²⁾（以下においては「指針」と称する。）に準じて行う。検討の手順は図12.2に示す通りである。まず、設計海底面より上に作用する荷重によりセル体がせん断変形を起こさないことを確認する。その後、セル体を地盤に弾性支持された剛体とみなして図12.3、12.4に示すモデルにより解析を行い、得られた結果が、地盤支持力、滑り出し及びセル体の変位に関する安定条件を満たすかどうかのチェックを行う。各検討項目の安定条件を以下に示す。

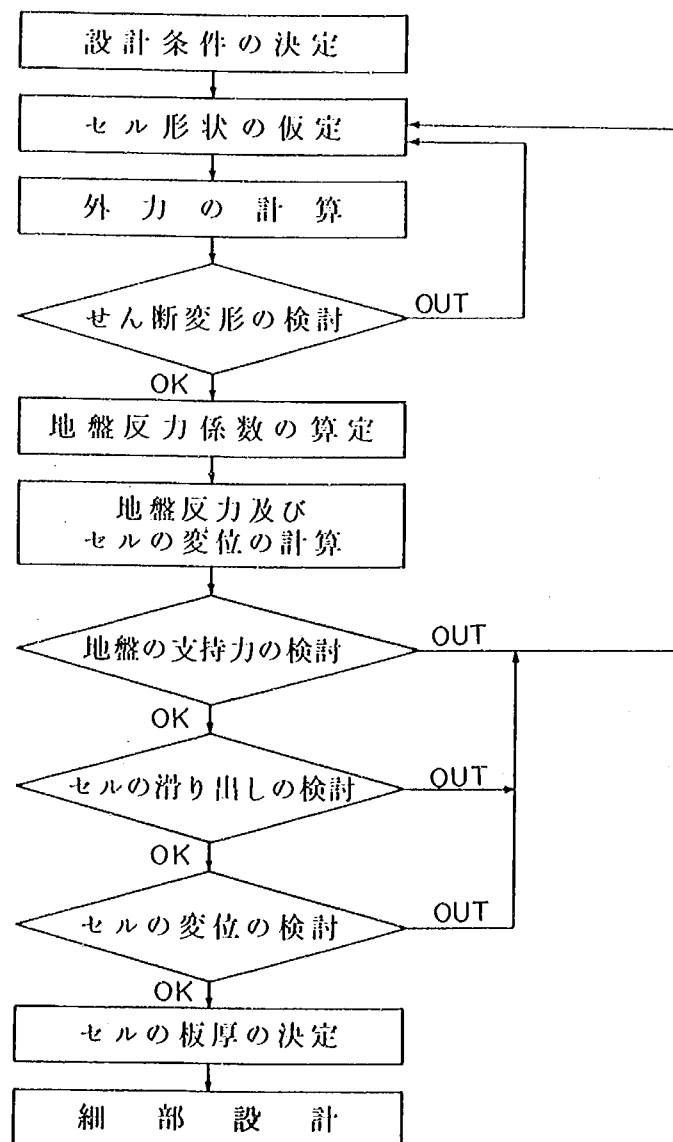


図12.2 セル体の安定の検討フロー

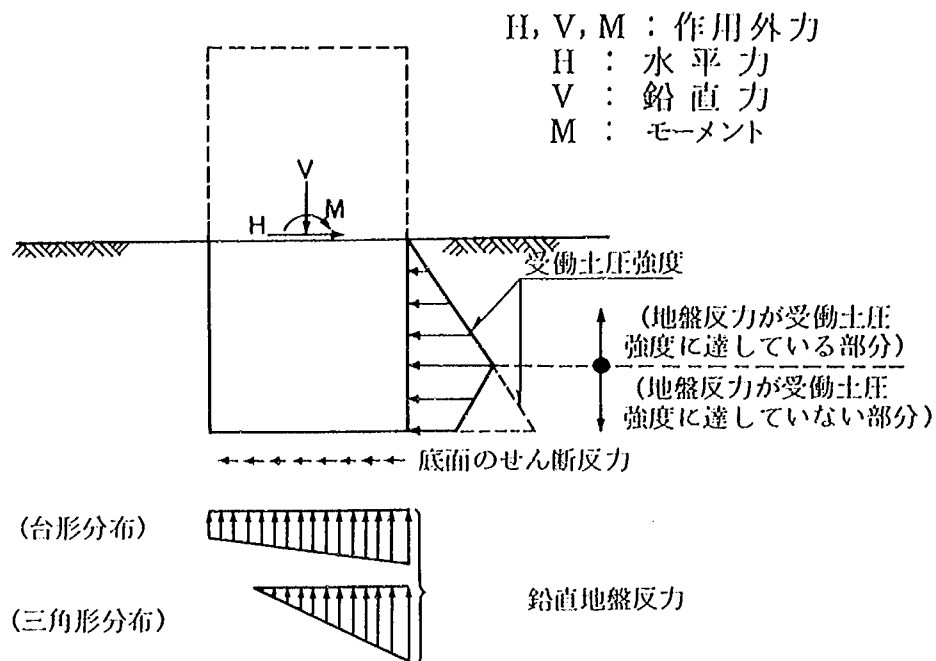
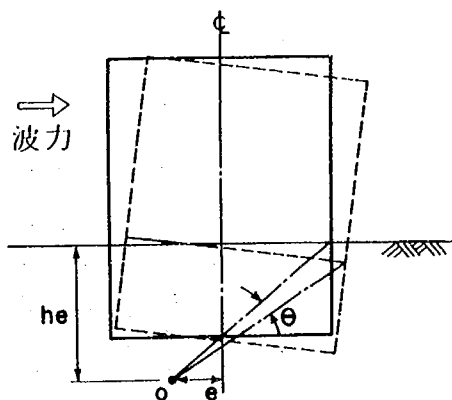
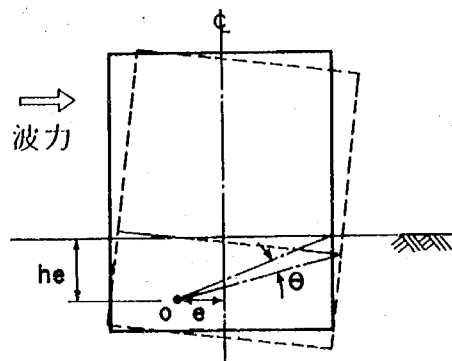


図12.3 解析モデル(1) [地盤反力分布]



(a) 回転中心がセル体外にある場合



(b) 回転中心がセル体内にある場合

図12.4 解析モデル(2) [セル体の変位モード]

(1) せん断変形に対する安定条件

変形モーメント : $M_d \leq$ 許容変形モーメント : M_{da}

ただし,

$$M_{da} = (1/6) \gamma_o H'd^3 R_d / F$$
$$R_d = \nu_d^2 (3 - \nu_d \cos \phi) \sin \phi \quad (12.1)$$

ここに,

M_{da} : 壁体の許容変形モーメント (tf・m/m)

$H'd$: せん断変形を検討する時の換算壁高 (m)

R_d : 変形抵抗係数

ν_d : せん断変形を検討する時の換算壁幅高比 $B/H'd$

B : 換算壁体幅 $\sqrt{3}D/2$ (m)

ϕ : 中詰の内部摩擦角 (度)

γ_o : 中詰の換算単位体積重量 (tf/m³)

F : 安全率

波浪時 1.0以上*

*「指針」は護岸及び岸壁を対象としており、裏込め土圧、残留水圧等の常時荷重による変形モーメントについて、せん断変形に対する安全率を1.2以上確保することとされている。それに対し、本構造物は離岸タイプであるため、裏込め土圧等の常時荷重による変形モーメントはほとんど発生しないが、安全を考慮し波浪時に対してせん断変形を検討を行うこととした。ただし、常時荷重と比較した場合、波圧の作用時間は比較的短期であること、及び構造物の使用目的上、護岸、岸壁に比べ多少の変形は許容されることが考えられること等を勘案して、安全率を1.0に設定した。

(2) 地盤の支持力に対する安定条件

セル底面の最大鉛直地盤反力 : $q_{max} \leq$ 許容鉛直支持力 : q_a

ただし,

$$q_a = (1/F) (\beta \gamma_1 D N_r + \gamma_2 L_D N_q) + \gamma_2 L_D \quad (12.2)$$

ここに,

q_a : 許容鉛直支持力 (水中部分の浮力を考慮した値) (tf/m²)

D : セル径 (m)

L_D : 根入れ長 (m)

γ_1 : セル体底面から下の地盤の土の単位体積重量
(水面下にある部分は水中単位体積重量) (tf/m³)

γ_2 : セル体底面から上の地盤の土の単位体積重量
(水面下にある部分は水中単位体積重量) (tf/m³)

N_r, N_q : 支持力係数 (図12.5参照)

β : 基礎の形状係数 (円形基礎 : $\beta = 0.3$)

F : 安全率

波浪時 1.5以上*

地震時 1.5以上

*「指針」では2.5以上となっているが、構造物の使用目的を勘案し、5.11のケーソンタイプに対する安全率と同様、1.5以上とした。

(3) 滑り出しに対する安定条件

セル体底面と地盤の間のせん断力 : $Q \leq$ 許容せん断抵抗力 : Q_a

ただし、

$$Q_a = (1/F)(W + P_v) \tan \phi \quad (12.3)$$

ここに、

Q_a : 許容せん断抵抗力 (tf)

W : セル体の重量 (tf)

P_v : 全面及び背面に作用する土圧の鉛直分力 (tf)

ϕ : セル底面における土の内部摩擦角 (度)

F : 安全率

波浪時 1.2以上

地震時 1.0以上

(4) セル体の変位に対する安定条件

セル天端の水平変位 : $\delta \leq$ 許容水平変位 : δ_a

ここに、

δ_a : 許容水平変位

セル壁高の1.5% (セル壁高 : 図12.6 参照)

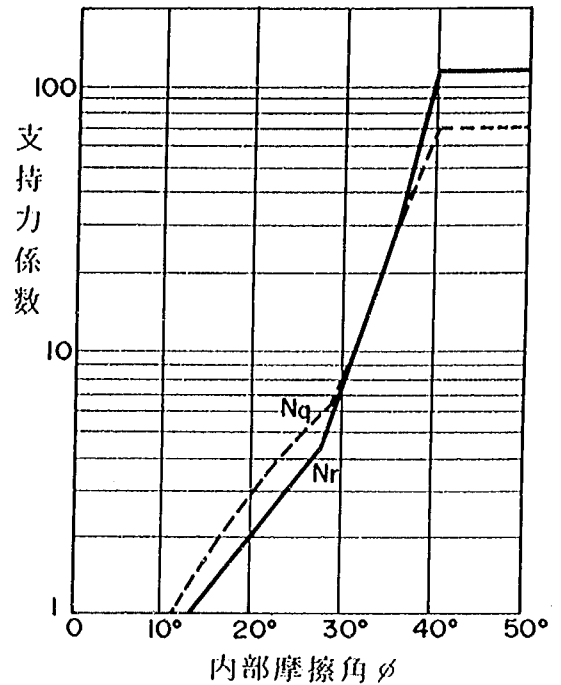


図12.5 支持力係数

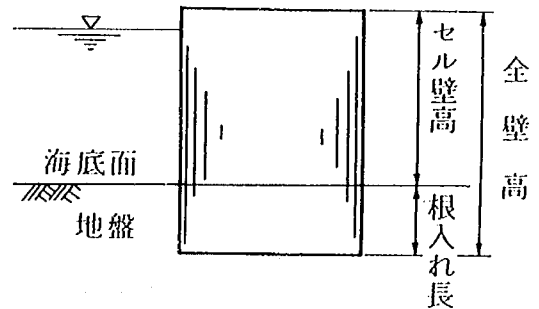


図12.6 壁体の部位の呼称

12.2.2 構造物に作用する波力

(1) 波力算定方法

セル体の安定の解析に用いる波力の算定は合田式を基本とし、実験結果を考慮して低減した値を用いる。合田波力は反射率がほぼ1の直立不透過壁を対象としたものであるのに対し、今回試設計を行う構造は反射率が1以下の透過式構造物である。しかし、水理実験によると水平波力は合田波力に低減係数を乗じたものとほぼ同じ傾向を示した。従って、設計波力として合田波力を低減したものを用いる。

なお、遊水室周辺部材の算定に用いる波力は合田波力を低減せずに用いることとする。

(2) セル体の安定の解析にもちいる波圧の低減係数

合田波力と構造物に作用する波力の関係について、土木研究所で行った実験結果¹⁾を図12.7に示す。模型に作用する最大水平波力と合田波力の比 F/F' 及び最大モーメントと合田波力によるモーメントの比 M/M' は、両者共に高々0.7であることより波圧の低減係数としては0.7を用いる。なお、実験結果によると、表12.1に示す設計波条件における F/F' 及び M/M' はそれぞれ0.50, 0.43程度の値であるが、実構造物の設計であることより安全を考慮して上記の値を採用した。

(3) 波圧強度

波圧強度の算定にあたっての潮位は計画潮位 (T. P. +0.858m) とし、海底面は構造物設置地盤高 (T. P. -9.0m)

とする。また、洗掘部分 (T. P. -9.0m~11.0m) については、図12.8に示すように、波圧分布を静水面から洗掘時地盤面まで直線分布と仮定して、静水面と海底面の波圧強度より外挿した値を用いた。

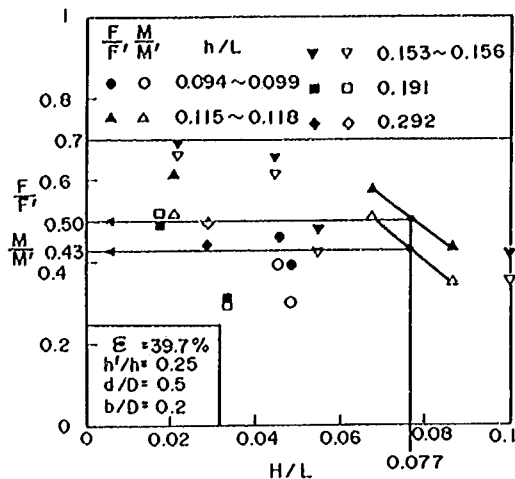


図12.7 最大水平波力/合田波力 (F/F') , 最大モーメント/合田式 (M/M') と波形勾配 (H/L) の関係

表12.1 設計波の諸元一覧

波 高 H_b	7.1m
周 期 T	10.0sec
波 長 L	92.6m
波 向 β	0° (離岸堤法線直角方向)
波形勾配 H_b/L	0.077
相対水深 h/L	0.11

(注) 水深 $h = 9.858\text{m}$ (構造物設置水深) の場合

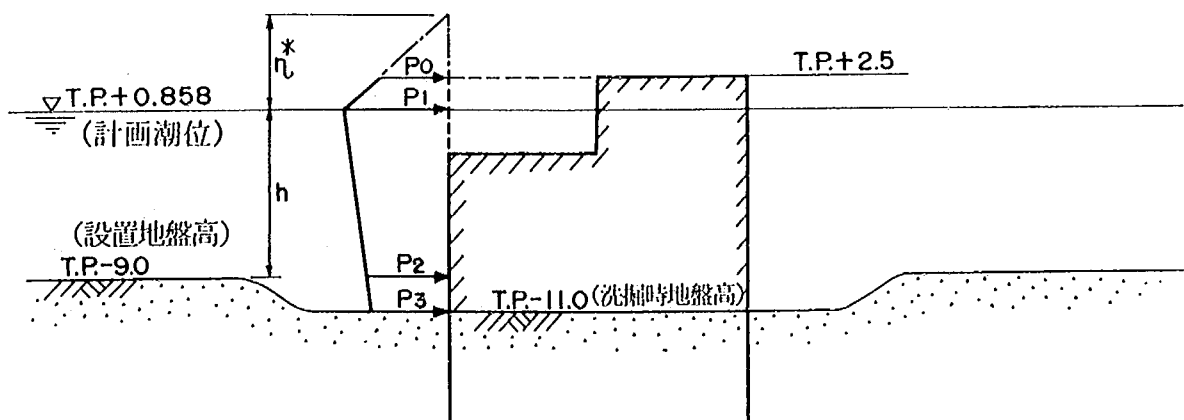


図12.8 波圧強度分布

波圧強度の算定式を以下に示す。

$$\eta^* = 1.5 H_D \quad (12.4)$$

$$P_1 = \lambda \alpha_1 W_0 H_D \quad (12.5)$$

$$P_2 = P_1 / \cosh(2\pi h/L) \quad (12.6)$$

$$P_3 = P_2 - (P_1 - P_2) s/h \quad (12.7)$$

$$\alpha_1 = 0.6 + (1/2) [(4\pi h/L) / \sinh(4\pi h/L)]^2 \quad (12.8)$$

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/m²)

P_2 : 海底面における波圧強度 (tf/m²)

P_3 : 洗掘時地盤面における波圧強度 (tf/m²)

h : 直立壁前面における水深 (m)

s : 洗掘深さ ($s = 2.0\text{m}$)

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 における設計計算に用いる波長 (m)

λ : 波圧の低減係数 ($\lambda = 0.7$)

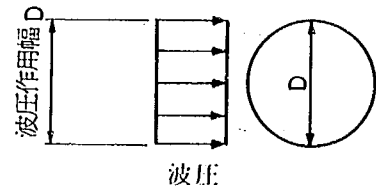


図12.9 波圧作用幅

なお、波圧の作用幅は、図12.9に示すようにセル直径とした。

12.2.3 所要消波性能を満たす構造諸元

土木研究所における鋼板セル海域制御構造物水理実験結果¹⁾に基づき、5.3に示した消波性能を満たす構造諸元を以下の通りとした。

開口率 $\epsilon = 0.4$

水深 $h = 9.379$ (H. W. L. 時)

遊水室水深 $h' = 2.379\text{m}$, $h'/h = 0.254$

セル間隙比 $b/D \approx 0.2$

遊水室奥行 $d = D/2$

構造諸元を図12.10に示す。

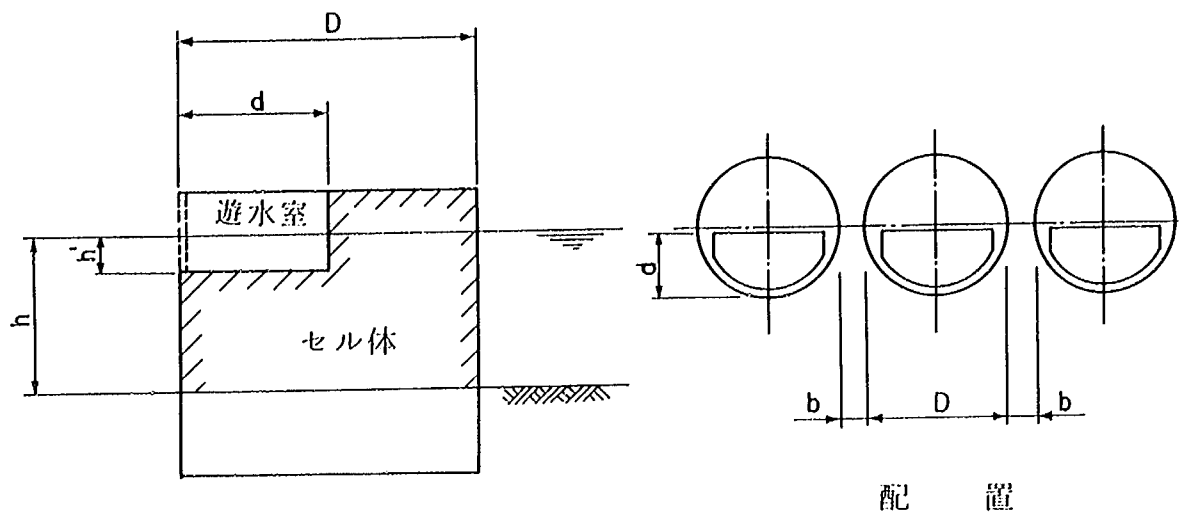


図12.10 構造諸元

上記諸元はほぼ同様の実験条件における K_T , K_R と h/L との関係を図12.11に示す。対象波浪条件 $T \leq 10\text{sec}$ より $h/L \leq 0.104$ となり、図12.11より $K_T \leq 0.6$, $K_R \leq 0.5$ は満たされる。

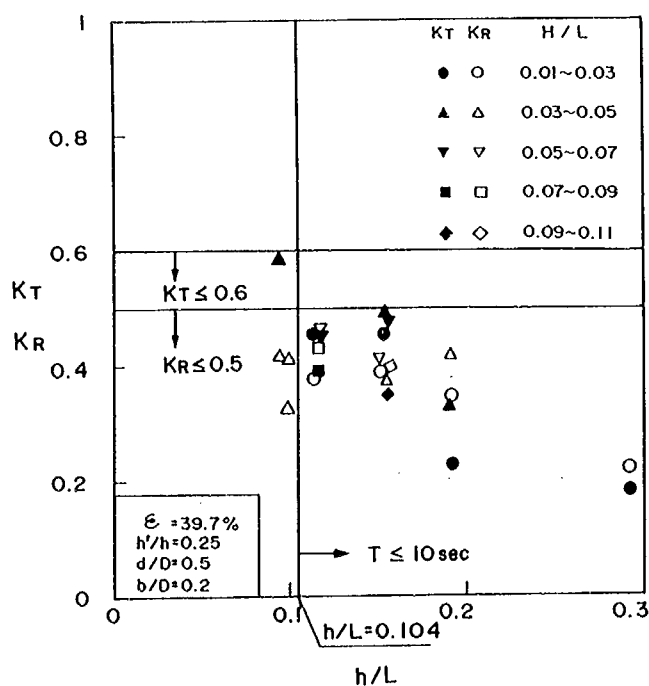


図12.11 消波性能

12.2.4 その他の設計条件

(1) 構造物の天端高

構造物の天端高は、周辺の既設離岸堤天端高にあわせ T. P. +2.50m とする。

(2) 洗掘深

対策工を行わないため 2 m の局所洗掘を考慮する。

(3) 鋼材の防食

鋼材の防食は、L.W.L.以深では腐食代を考慮することにより対応し、L.W.L.以浅については被覆工防食を行うものとする。被覆工としては、セル殻には防食コンクリート工を施し、その他構造部材には有機ライニングによる重防食工を実施する。

表12.2にL.W.L.以深に考慮した各部材の腐食代を示す。

表12.2 腐食代一覧

部 位	腐食代(mm)	適 用 部 材
海水中 (L.W.L.～海底面)	$0.1 \times 30 = 3.0$	セル殻外面、その他部材、海水側
土中 (残留水位以下)	$0.02 \times 30 = 0.6$	セル殻内面、その他部材、セル中詰

(4) 使用材料

使用材料は表12.3による。

表12.3 使用材料

使 用 材 料		規 格
鋼 材	鋼 矢 板	SY30
	構 造 用 鋼 材	SS41
	鉄 筋	SD30
コンクリート	普通コンクリート	$f'_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2$
	水中コンクリート	$f'_{ck} = 180 \text{ kgf/cm}^2$

12.3 コンクリート製スリット型

12.3.1 構造概要

本構造は縦スリット付き遊水室をセルラブロック（スリットブロック）で構築し、根入れ式鋼板セル構造物と一体化させることにより遊水室を有する鋼板セル海域制御構造物を建造するものである。

(1) 構造の概要

① 開口率0.4の縦スリット壁付き遊水室を設けた根入れ式鋼板セル構造物を、約0.2の間隙比をもって一列に配置した海域制御構造物である。

② 根入れ式鋼板セル構造物は、根入れを有する円筒形の重力式構造物であり、セル殻と中詰材により構成される。

③ 縦スリット付遊水室は陸上ヤードにおいて製作されたスリットブロックをセル内に設置することにより構築され、間詰コンクリートによりセル構造物と一体化される。

(2) 特 徴

① 中詰めには安価な材料を使用しており、経済的に優れた構造物である。

② 主要構造物部材は陸上製作であるため、品質管理が容易である。

③ 鋼板セルは大型機械装置により一気に打設されるため、急速施工が可能である。

本構造物の鳥瞰図を図12.12に示す。また構造一般図を図12.13、セル配置図を図12.14、セル殻構造図を図12.15、スリットブロック構造図を図12.16に示す。

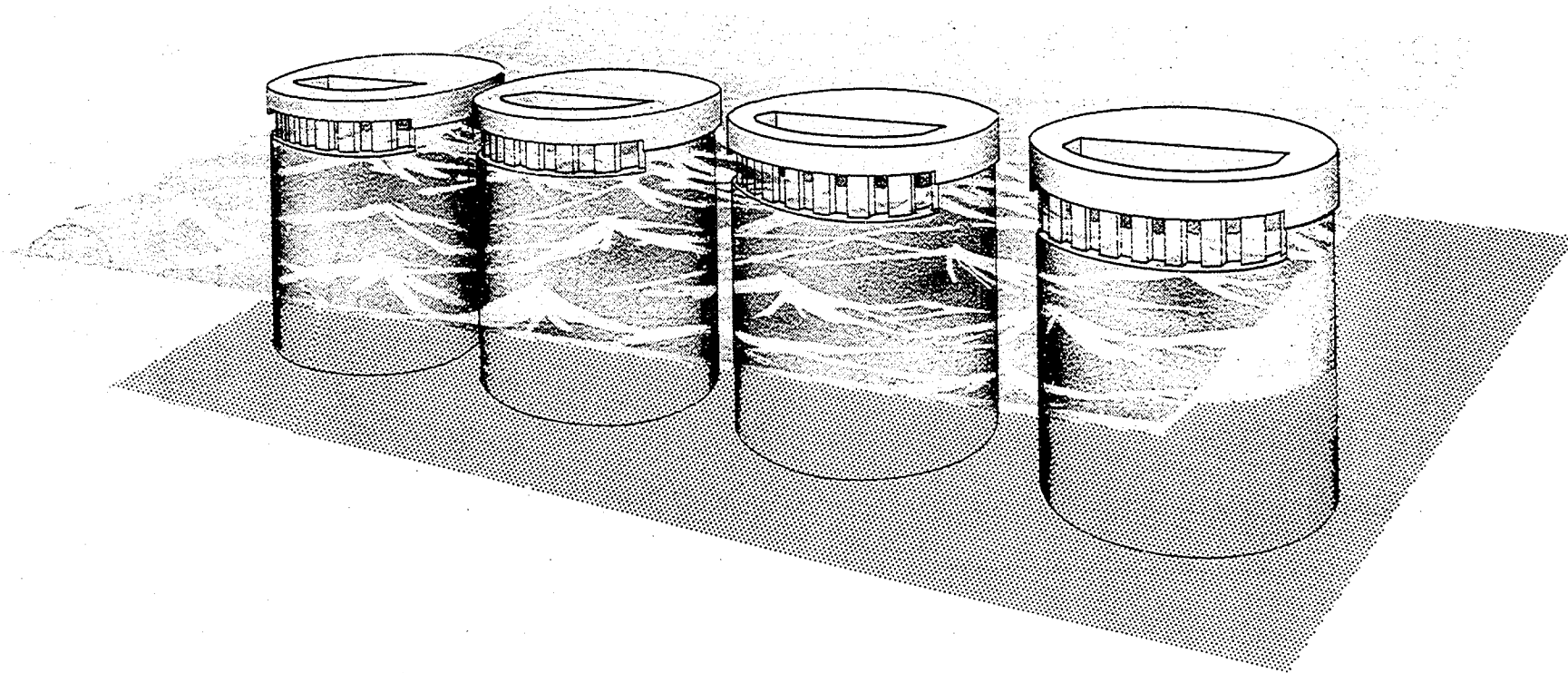
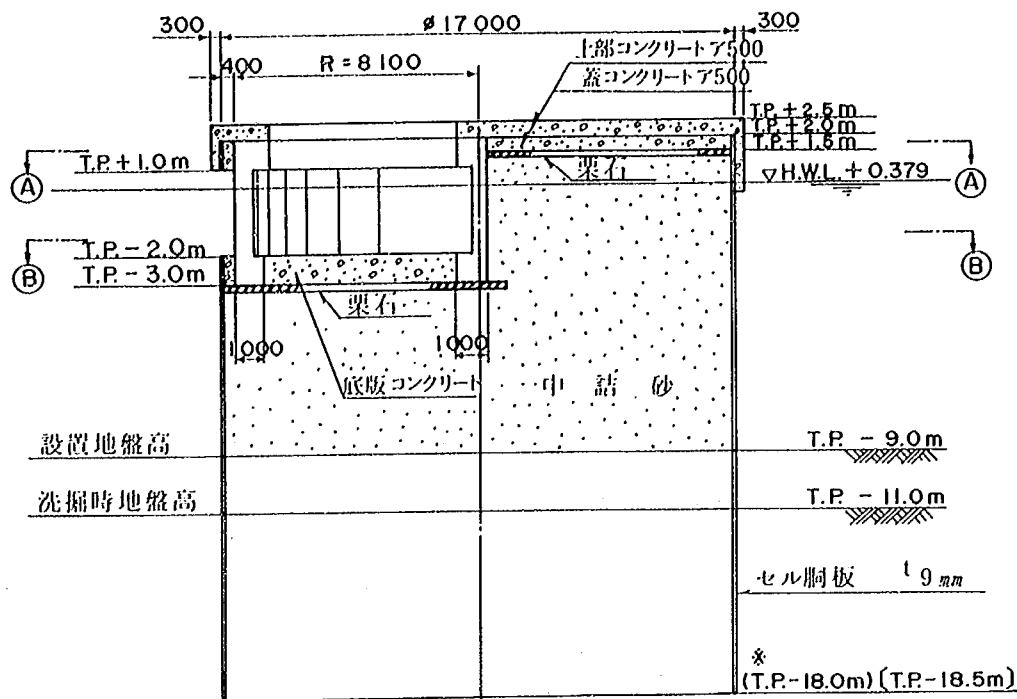


図12.12 鋼板セル式海域制御構造物鳥瞰図（コンクリート製スリット型）



③~③ 断面

※ () 内：土質条件ケース1
[] 内：土質条件ケース2

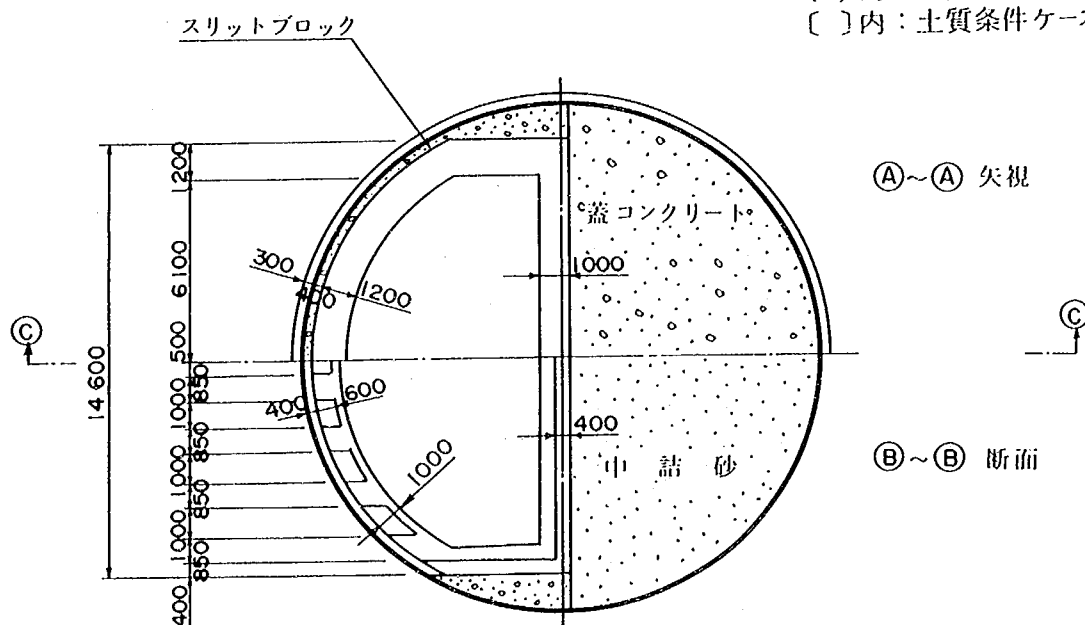


図12.13 構造一般図 (コンクリート製スリット型)

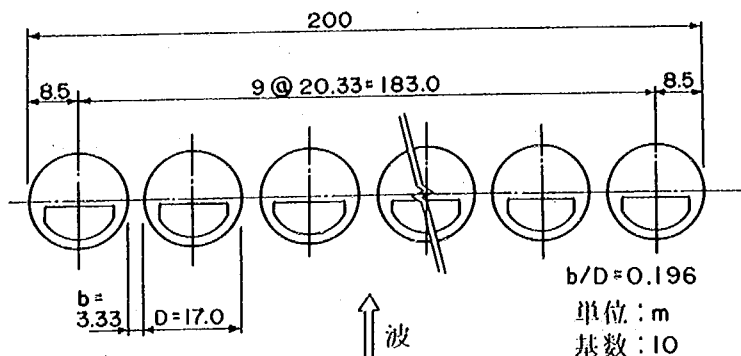


図12.14 セル配置図

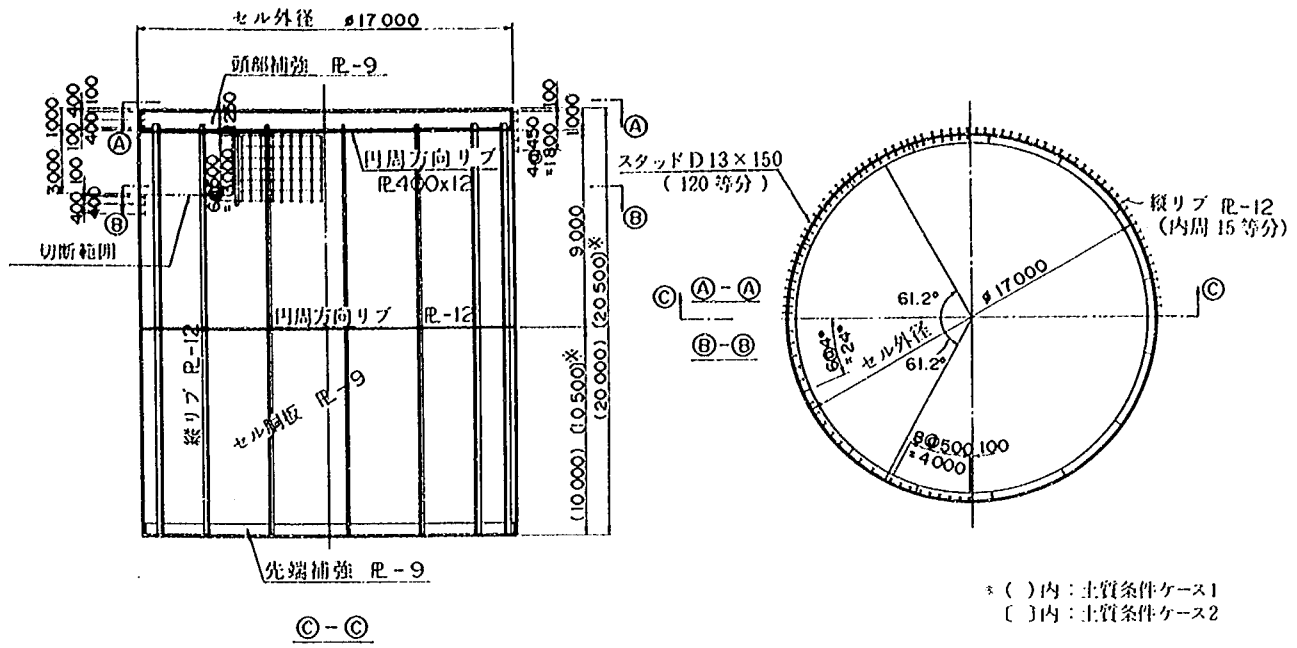


図12.15 セル殻構造図（コンクリート製スリット型）

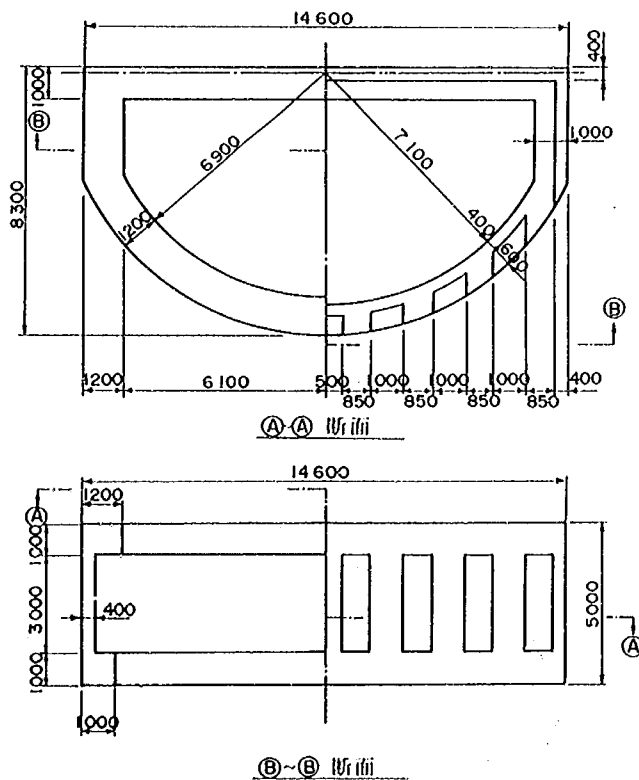


図12.16 スリットブロック構造図

12.3.2 設計計算

設計荷重及び解析法を表12.4に、セル体の安定の検討結果を図12.17、表12.5～12.8に、セル殻の板厚の算定結果を表12.9に、主要部材の算定結果を表12.10に示す。なお、セル殻の板厚及び主要部材の諸元は、土質条件によらず同一である。

表12.4 設計荷重及び解析法

荷 重 図	※ () 内：土質条件ケース1 [] 内：土質条件ケース2				
荷 重 (奥行き1m当り)		波 浪 作 用 時		地 震 時	
		波 力	※主働土圧	※慣性力	※主働土圧
	セル 検体の 用安定	$p_0=3.82\text{tf/m}^2$ $p_1=4.52\text{tf/m}^2$ $p_2=3.67\text{tf/m}^2$	$(p_a=2.63\text{tf/m}^2)$ $(p_a=2.46\text{tf/m}^2)$	$(p_E=45.9\text{tf/m})$ $(y_E=3.76\text{m})$ $(p_E=45.6\text{tf/m})$ $(y_E=3.85\text{m})$	$(p_a=3.90\text{tf/m}^2)$ $(p_a=3.64\text{tf/m}^2)$
部 材の 用	$p_0=5.46\text{tf/m}^2$ $p_1=6.46\text{tf/m}^2$ $p_3=6.11\text{tf/m}^2$				
備 考	1. 波浪条件 波高： $H_{max}=7.1\text{m}$ 周期： $T=10.0\text{秒}$				
	2. 設計震度 0.1				
	3. 設計波力 $P=\lambda P_G$ ここに P_G ：合田波力 λ ：低減係数 $\lambda=0.7$ (セル体の安定検討時) $\lambda=1.0$ (部材の検討時)				
	4. 横方向地盤反力係数 $K_h=0.2N$ N ：N値 (ケース1, 2共 $N=5$) 鉛直方向地盤反力係数 $K_v=0.2N$ (ケース1： $N=30$, ケース2： $N=5$) 水平せん断ばね定数 $K_s=1/3\cdot K_v$				
	5. セル体の安定の解析方法 弾性地盤上の剛体モデル (根入れ式鋼板セル設計指針による)				

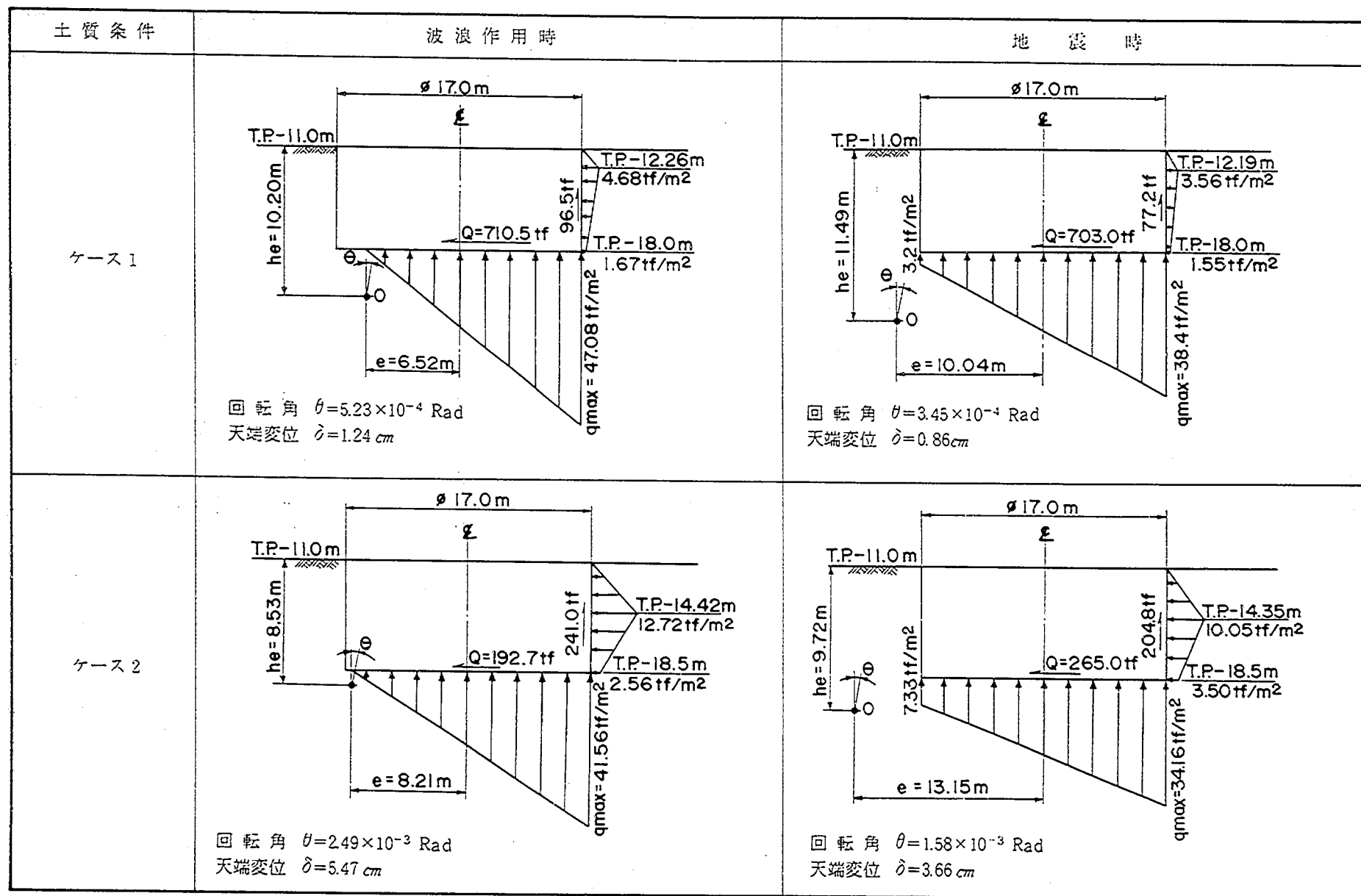


図12.17 地盤反力及びセルの変位計算結果

表12.5 せん断変形に対する検討結果 (単位：tf・m/m)

項 目	ケース 1, 2 共通 (波浪作用時)
変形モーメント Md	419.7
許容変形モーメント Mda	520.5

表12.6 地盤の支持力に対する検討結果 (単位：tf/m²)

項 目	ケース 1		ケース 2	
	波浪作用時	地震時	波浪作用時	地震時
最大鉛直地盤反力 q_{max}	47.1	38.4	41.6	34.2
※許容鉛直支持力 q_a	208.7	208.7	42.4	42.4

※支持地盤の内部摩擦角 ケース 1：35°(N値=30)、ケース 2：25°(N値=5)

表12.7 滑り出しに対する検討結果 (単位：tf)

項 目	ケース 1		ケース 2	
	波浪作用時	地震時	波浪作用時	地震時
セル体底面と地盤間のせん断力 Q	710.5	703.0	192.7	265.0
許容せん断力 Q_a	2,728.9	2,751.1	1,807.5	1,830.0

表12.8 セル体の変位に対する検討結果 (単位：cm)

項 目	ケース 1		ケース 2	
	波浪作用時	地震時	波浪作用時	地震時
セル天端の水平変位 δ	1.24	0.86	5.47	3.66
許容水平変位 δ_a	20.25	20.25	20.25	20.25

表12.9 セル殻板厚の算定結果 (ケース 1, 2 共通)

作用張力	発生応力度	許容応力度	記 事
71.7 tf/m	1,330 kgf/cm ²	1,400 kgf/cm ²	φ17.0mm, t9mm, SS41 腐食代 3.6mm

表12.10 主要部材の算定結果（コンクリート製スリット型，ケース1，2共通）

部 材	断 面 力	部材断面形状（単位：mm）	備 考
①スリット	$M=7.1\text{tf}\cdot\text{m/m}$ $N=14.1\text{tf}$ $S=9.5\text{tf}$	 $A_s=17.9\text{cm}^2$ $A_{s'}=17.9\text{cm}^2$ (D16×9本)	
②前面上梁	$M=188\text{tf}\cdot\text{m}$ $N=98.9\text{tf}$ $S=4.4\text{tf}$	 $A_s=86.1\text{cm}^2$ $A_{s'}=86.1\text{cm}^2$ (D25×17本)	
③背面上梁	$M=175\text{tf}\cdot\text{m}$ $N=-4.4\text{tf}$ $S=98.9\text{tf}$	 $A_s=141.3\text{cm}^2$ $A_{s'}=141.3\text{cm}^2$ (D29×22本)	
④ 隔 壁	$M=6.1\text{tf}\cdot\text{m}$ $N=5.1\text{tf/m}$ $S=7.2\text{tf/m}$	 $A_s=13.24\text{cm}^2/\text{m}$ $A_{s'}=13.24\text{cm}^2/\text{m}$ (D16, @ 150)	

12.3.3 施工概要

(1) 概 要

本構造は、根入れ式鋼板セルとスリットブロックの複合構造である。その施工法は根入れ式鋼板セルを打設し、中詰めした後スリットブロックを据付けて一体化するものである。

根入れ式鋼板セル工法は、あらかじめ陸上ヤードで製作された鋼板セルを起重機船で運搬した後、複数台のバイプロハンマーを同調運転させ、強大な振動力で海底地盤に直接打込み、中詰めを行って安定した構造体をつくる工法である。鋼板セルそれ自体は剛性の小さいものであり、中詰め未施工時には波の影響を受けやすい。その他、施工にあたっ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 水中作業は極力減らす。
- ③ 中詰め未施工期間をできるだけ短縮するため、スリットブロック据付けに伴う中詰め均し作業を、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には細心の注意をはらう。

(2) 施工方法

本構造の施工手順は図12.18、12.19に示すとおりである。以下に各工種の概略施工方法を示す。

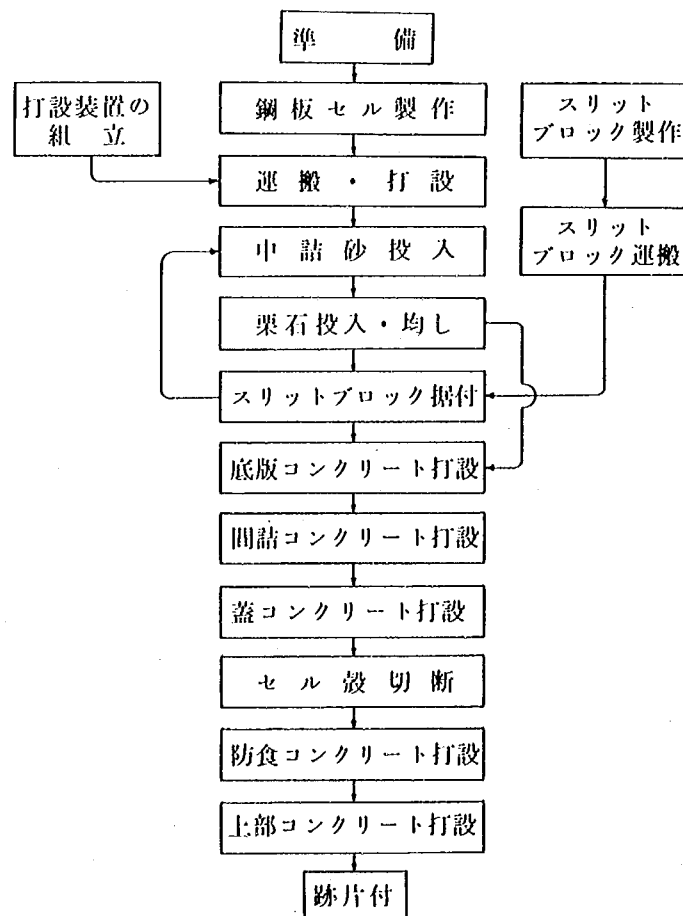


図12.18 施工フロー図

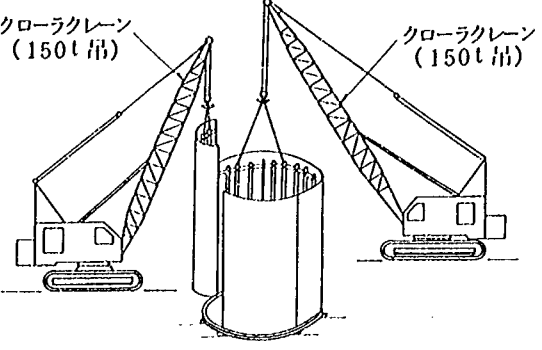
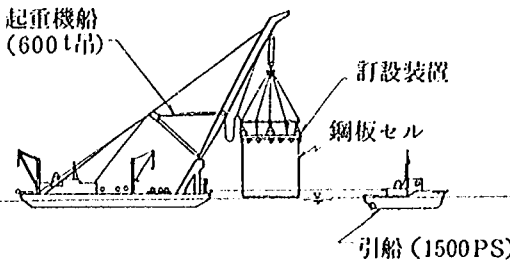
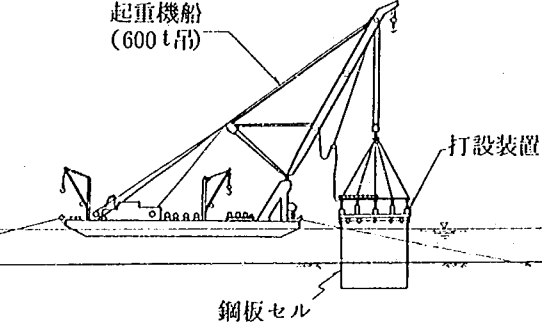
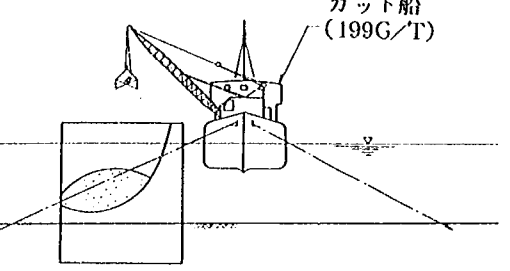
工 種	① 鋼板セル製作	② 鋼板セル運搬
施 工 要 領 図	 クローラークレーン (150t吊) クローラークレーン (150t吊)	 起重機船 (600t吊) 打設装置 鋼板セル 引船 (1500PS)
主 な 作 業 内 容	① 鋼板を溶接，胴板をつくる。 ② ジョイント金物，縦リブを溶接する。 ③ 曲げ加工台で横リブを取付け，ブロックをつくる。 ④ 4個のブロックを大組台に運搬，組立てて，溶接で一体化する。	① 岸壁に仮置。 ② 打設装置をチャッキング。 ③ 起重機船で吊ったまま建設地点まで引船で曳航。
使 用 船 舶		起重機船 (600t吊) 引 船 (D1500PS) 揚 錨 船 (D240PS) 交 通 船 (D125PS) 警 戒 船 (D50PS)
工 種	③ 鋼板セル打設	④ 中詰投入
施 工 要 領 図	 起重機船 (600t吊) 打設装置 鋼板セル	 ガット船 (199G/T)
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 バイプロハンマ運転，停止。	① ガット船のけい留。 ② 中詰砂，または中詰石の投入。 ③ 均し。
使 用 船 舶	起重機船 (600t吊) 引 船 (D1500PS) 揚 錨 船 (D240PS) 交 通 船 (D125PS) 警 戒 船 (D50PS)	ガット船 (199G/T) 潜水士船 (D30PS, 3tウィンチ付)

図12.19 (1) 施工要領図 (コンクリート製スリット型)

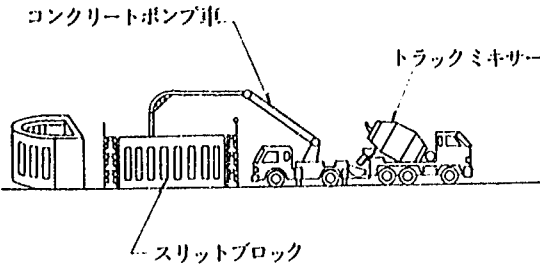
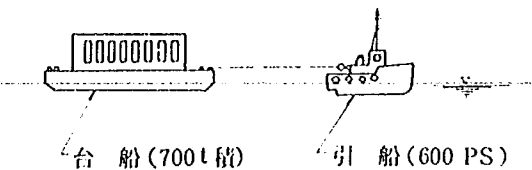
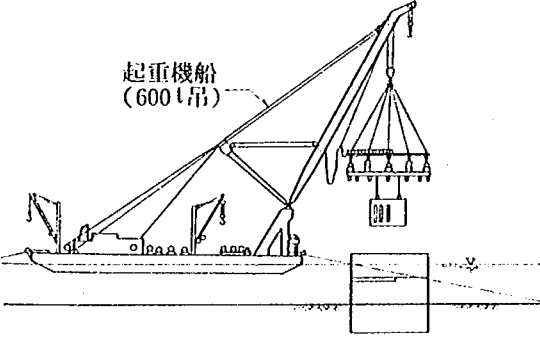
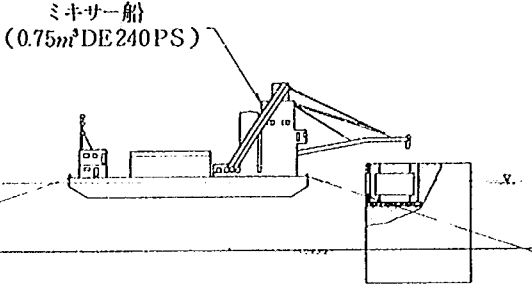
工 種	⑤ スリットブロック製作	⑥ スリットブロック運搬
施 工 要 領 図	 コンクリートポンプ車 トラックミキサー スリットブロック	 台 船 (700t 積) 引 船 (600 PS)
主 な 作 業 内 容	① 型枠の組立・解体。 ② 鉄筋加工・組立。 ③ コンクリートの打設。	① 起重機船による台船への積込み。 ② 引船による曳航。
使 用 船 舶		引 船 (700t 積) 台 船 (D600PS)
工 種	⑦ スリットブロック据付	⑧ 間詰コンクリート打設
施 工 要 領 図	 起重機船 (600t 吊)	 ミキサー船 (0.75m³ DE240PS)
主 な 作 業 内 容	① 中詰栗石の均し。 ② セル打設用起重機船で吊取り、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。
使 用 船 舶	起重機船 (600t 吊) 引 船 (D1500PS) 揚 錨 船 (D240PS) 交 通 船 (D125PS) 警 戒 船 (D50PS)	ミキサー船 (0.75m³ DE240PS) 引 船 (D250PS) 揚錨船 (D60PS) 起重機船 (10t 吊) 引 船 (D120PS) 潜水上船 (D30PS 3t ウィンチ付) 台 船 (100t 積)

図12.19(2) 施工要領図 (コンクリート製スリット型)

① 鋼板セル製作

鋼板セルの製作は、施工現場付近の陸上ヤードで行う。ヤード面積と水際線長は各々11,000m², 120mとする。

部材加工を行った鋼材をヤードへ搬入した後、鋼板セルは4分割工法により製作される。すなわち、まず、セル殻を4分割した円弧状の鋼殻ブロックを製作し、それらを建込んで溶接して円筒状の鋼板セルとする。製作手順の概要を図12.20に、製作要領を図12.21に、製作工程の概要を表12.11に示す。

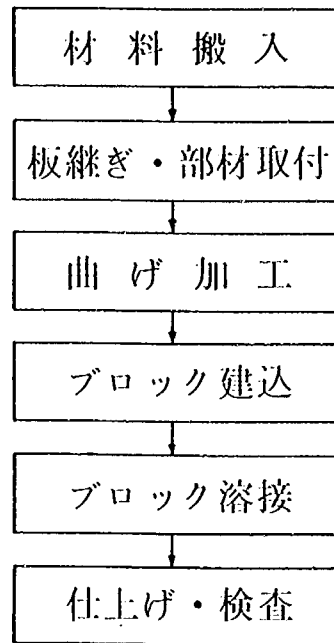


図12.20 鋼板セル製作手順の概要

表12.11 概略工程（鋼板セル製作）

項目 \ ケ月	1	2	3	4	記 事
準 備	■	■	■		材料手配、治具製作 ヤード整備
部 材 加 工			■		
鋼 板 セ ル 製 作			■	■	

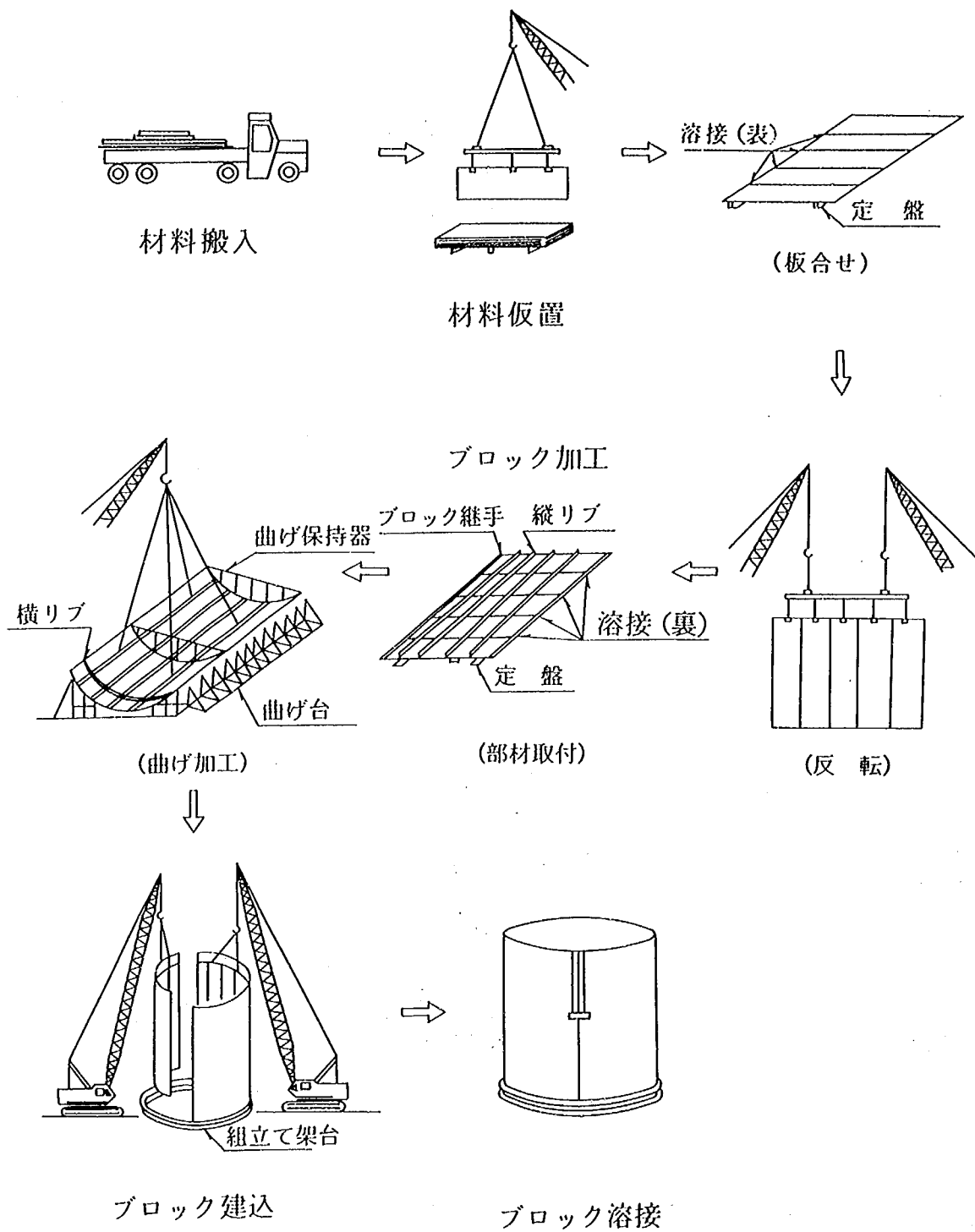


図12.21 鋼板セル製作要領

② 鋼板セルの運搬打設

陸上ヤード付近の水際線に仮置されている鋼板セルを打設用起重機船で吊上げ、建設地点に運搬する。鋼板セルの吊上げは、起重機船に取付けられた打設装置の油圧チャックで鋼板セルを直接把んで行う。

建設地点に運搬した鋼板セルを、起重機船をアンカーで固定した後、トランシット等の誘導により所定の位置に正しく打設する。振動打設においては、鋼板セルの位置のずれや傾斜及び異常振動によるセル殻の損傷等が生じないように、振動状況に十分な配慮を行いながら施工する。

③ 中詰材の投入・均し

鋼板セル打設後、第一段目の中詰めを行う。第一段目の中詰めは、スリットブロックの基礎となるもので、中詰砂投入、スリットブロック設置部分の荒均し、栗石投入、栗石均し等の順序で施工する。均し作業は潜水夫による水中均しとする。

スリットブロック据付け後、第二段目の中詰めを行う。中詰めに先だつてスリットブロックの左右に仕切りを設置し、土留壁とする。第二段目の中詰めはスリットブロックの背後に行うもので、中詰砂投入、荒均し、栗石投入、栗石均しの順序で行う。第二段目の均し作業は陸上均しとする。

中詰砂や栗石の投入はガット船で行うものとする。

④ スリットブロックの製作・運搬

スリットブロックは鋼板セル内に据付けるもので、底なしスリット付の構造である。スリット部には大きな波力が作用するのでその施工にあたっては十分な品質管理を行う。

スリットブロックは陸上ヤードで製作し、十分な養生を経た後、台船で建設地点に運搬される。

⑤ スリットブロックの据付

建設地点に運搬されたスリットブロックを鋼板セル打設用起重機船で吊上げ、あらかじめ仕上げられた鋼板セル内の栗石上に正しく据付ける。

スリットブロックの据付けに際しては、セル殻に損傷を与えないよう、またセル殻との間隔を正しく保持するよう十分な注意をはらう。

⑥ 間詰コンクリートの打設

間詰コンクリートはスリットブロックとセル殻とを一体化するためのものである。スリットブロックの差し筋が折れ曲がっているものは正しくのばし、コンクリートの打設は品質の低下をきたさないよう充分注意して行う。

底版コンクリートや水中部の間詰コンクリートには水中コンクリートを用いる。

⑦ 蓋コンクリート

蓋コンクリートは、上部コンクリート未施工時の波浪による中詰材の流出を防止するものである。中詰めが完了した後できるだけ早く施工する。

⑧ セル殻の切断撤去

スリットブロックのセル殻への定着が完了した後、スリット前面のセル殻を気中または水中切断により撤去する。水中切断は潜水夫によるアーク式の溶断で行う。切断された鋼板は起重機船で除去する。

⑨ 防食コンクリート

鋼板セル製作時に、あらかじめ取り付けられたスタッドに鉄筋を組立て、所定の間隔に型枠を施工した後、コンクリートを打設する。コンクリートは水中コンクリートとする。

⑩ 上部コンクリート

蓋コンクリート、防食コンクリートの施工後に仕上コンクリートとして上部コンクリートを打設する。コンクリートの表面は掃き目仕上げとする。

(3) 主要施工数量、船舶・機械

本構造物の主要施工数量表を表12.12に、主要使用船舶・機械一覧表を表12.13～12.15に示す。

表12.12 主要施工数量表

種 類		単 位	数 量 (延長 200m)	記 事
鋼 板 セ ル		両	10	ケース 1 : $\phi 17\text{m} \times \text{h}20.0\text{m}$ $\times \text{t} 9\text{mm}$ 重量 : 95t/両 ケース 2 : $\phi 17\text{m} \times \text{h}20.5\text{m}$ $\times \text{t} 9\text{mm}$ 重量 : 97t/両
中 詰	中 詰 砂	m^3	21,660	
	中 詰 栗 石	m^3	800	
ス リ ブ ブ ロ ッ ク	型 枠	m^2	4,000	10基分
	鉄 筋	kg	110,000	10基分
	コンクリート	m^3	1,200	10基分
底版コンクリート		m^3	950	水中コンクリート
間詰コンクリート		m^3	300	気中及び水中コンクリート
蓋コンクリート		m^3	630	気中コンクリート
防食コンクリート		m^3	330	気中及び水中コンクリート
上部コンクリート		m^3	800	気中コンクリート
セ ル 切 断		m	429	気中及び水中

表12.13 主要使用船舶・機械一覧表（鋼板セル打設工）

船 舶 ・ 機 械	規 格	数 量	単 位
起 重 機 船	600t吊	1	隻
引 船	1500PS	1	隻
揚 錨 船	240PS	1	隻
交 通 船	125PS	1	隻
警 戒 船	50PS	1	隻
バイプロハンマー	VM ₂ -25000A	5	台
発 電 機	450KVA	5	台
発 電 機	60KVA	1	台
油 圧 チ ャ ッ ク	VM ₂ -4000用	15	台
油 圧 ユ ニ ッ ト	45KW	1	台
ショックアブソーバ	50t用	5	台
ショックアブソーバ	25t用	5	台
連 動 装 置		4	式
同 時 起 動 盤		1	式
ベ ー ス リ ン グ	φ17.0m	1	基
吊 治 具	φ17.0m	1	基

表12.14 主要使用船舶・機械一覧表（鋼板セル製作，打設装置組立）

船 舶 ・ 機 械	規 格	数 量	単 位
クローラクレーン	150t吊	3	台
トラッククレーン	45t吊	2	台
高 所 作 業 車	20m級	4	台

表12.15 主要使用船舶・機械一覧表（鉄筋，型枠，コンクリート工）

船 舶 ・ 機 械	規 格	数 量	単 位
超 重 機 船	10t吊	1	隻
ミ キ サ ー 船	0.75m ³ , DE240PS	1	隻
引 船	125, 250, 600PS	3	隻
台 船	100, 700t積	2	隻
揚 錨 船	3t吊, 60PS	2	隻
潜 水 士 船	D30PS, 3tウインチ	3	隻
コンクリートポンプ車	45m ³ /Hr	1	台
コンクリートミキサー車	3.0~3.2m ³	数台	台

(4) 工 程

工程表を表12. 16に示す。なお，海上作業は6月～8月とし，その間の稼働率は表5. 12より70%とした。

表12.16 工 程 表

項 目		2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月
鋼 板 セ ル 製 作	10基							
打 設 装 置 製 作 ・ 組 立	1式							
スリットブロック製作	10基							
鋼 板 セ ル 打 設	10基							
スリットブロック据付	10基							
中 詰	22,460m ³							
底板・間詰コンクリート	1,250m ³							
蓋 コ ン ク リ ー ト	630m ³							
防食・上部コンクリート	1,130m ³							
セ ル 切 断	429m							

12.4 鋼製スリット型

12.4.1 構造概要

本構造は縦スリット付き遊水室を鋼製部材で構築するものであり、スリット部材及び遊水室隔壁があらかじめ一体化された鋼板セルを打設することにより、遊水室を有する鋼板セル海域制御構造物を建造するものである。ここでは遊水室隔壁構造として、次の2ケースについて設計を行った。

① 鋼板によるパネル壁構造

② 鋼矢板壁構造

(1) 構造の概要

① コンクリート製スリット型と同様の遊水室諸元、セル配置を有する根入れ式鋼板セル海域制御構造物である。

② 縦スリット壁及び遊水室隔壁はセル体とともに鋼材により製作され、現場打の底版コンクリートとともに遊水室を構成する。

(2) 特 徴

コンクリート製スリット型の特徴に加え、次の特徴を有する。

① 海底地盤中に鋼板セルを打設した後、直ちに全ての中詰材を投入することができ、急速かつ安定した施工が可能である。

本構造物の鳥瞰図を図12.22に示す。また遊水室隔壁を鋼板によるパネル壁とした場合の構造一般図及びセル殻構造図を図12.23、12.24に、鋼矢板壁とした場合の構造一般図及びセル殻構造図を図12.25、12.26にそれぞれ示す。セル配置図は図12.14と同様である。

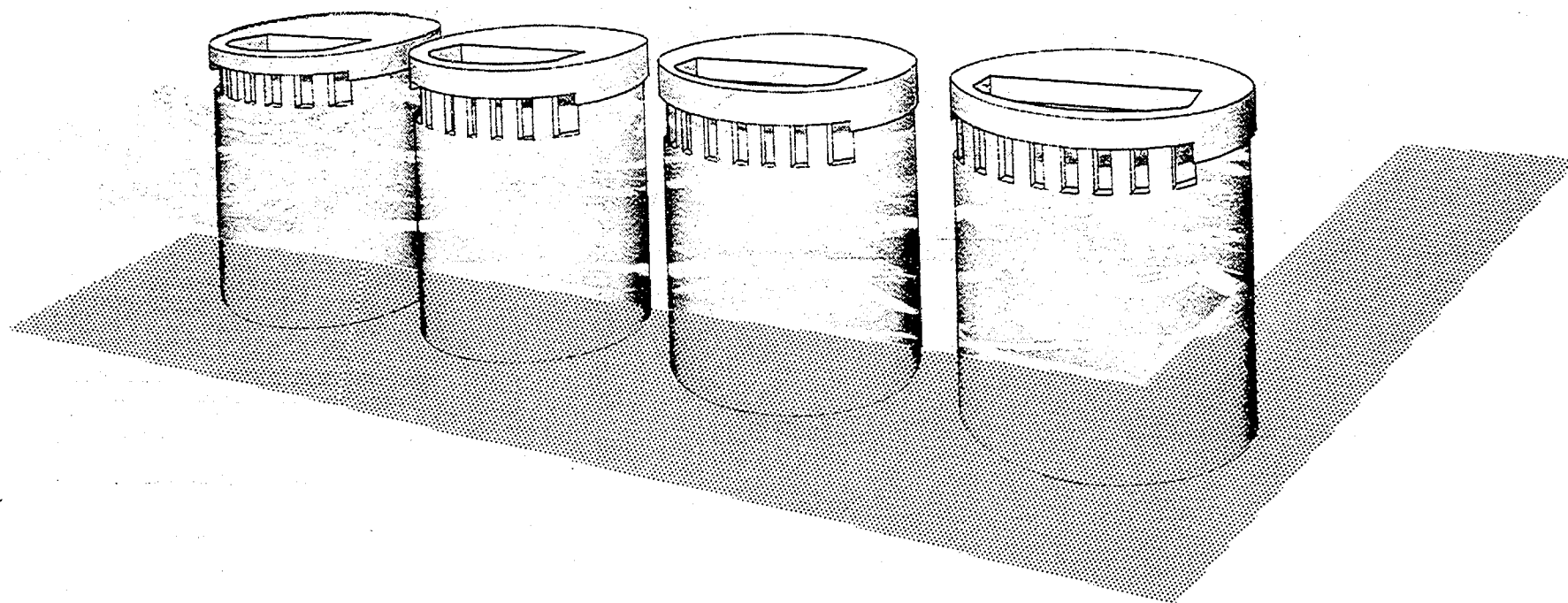


図12.22 鋼板セル式海域制御構造物鳥瞰図（鋼製スリット型）

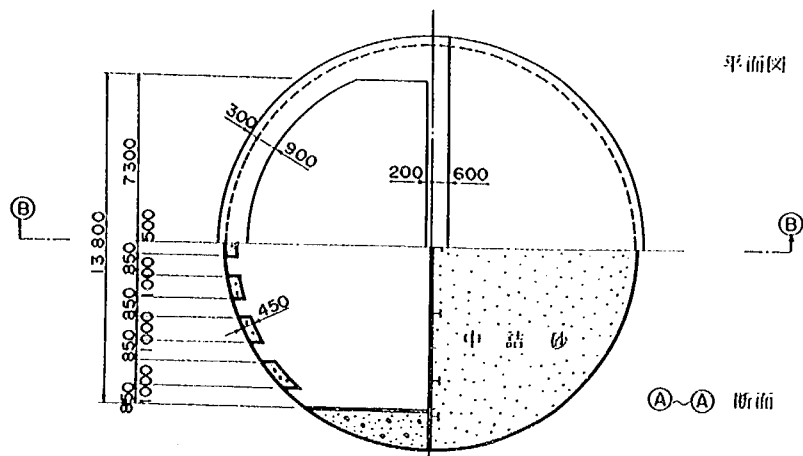
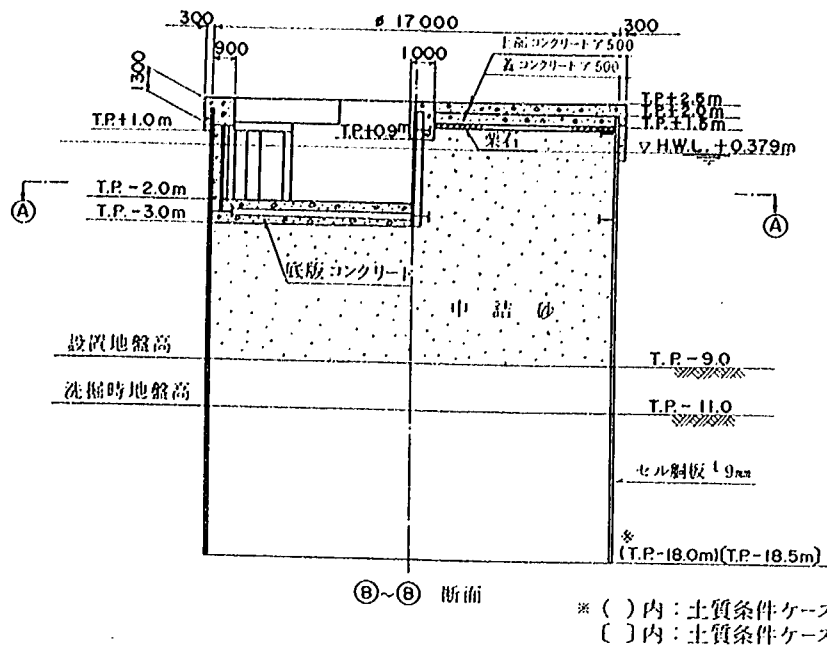


図12.23 構造一般図 (遊水室隔壁：鋼板パネル)

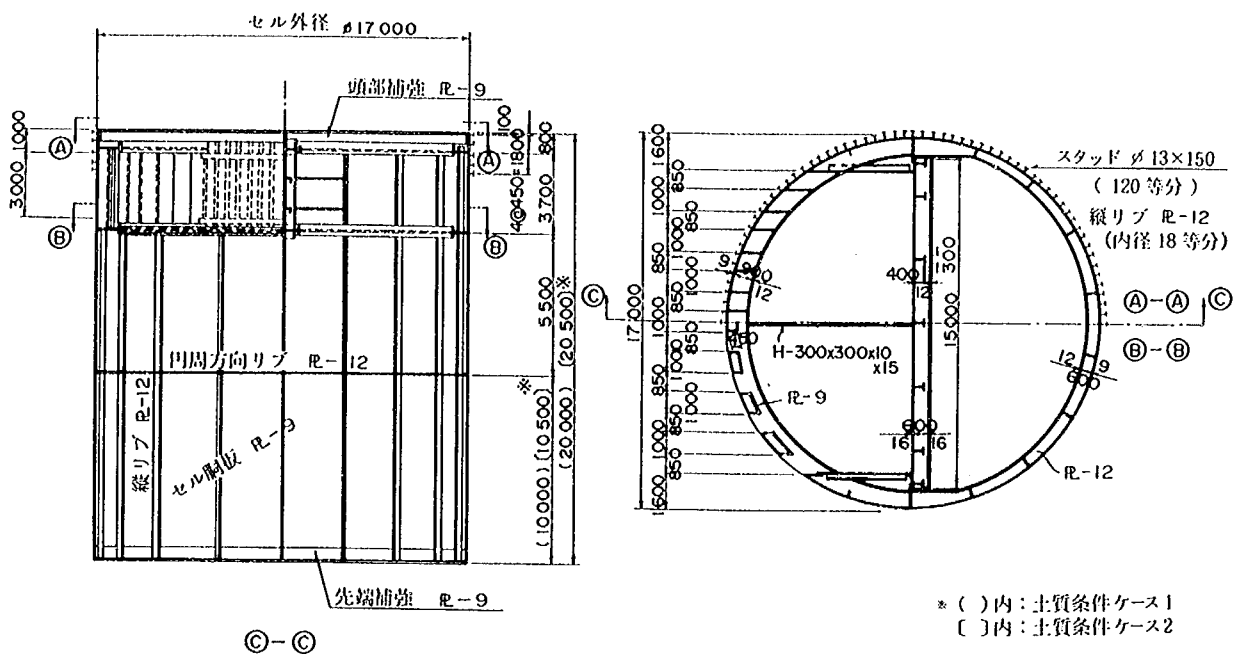


図12.24 セル殻構造図 (遊水室隔壁：鋼板パネル)

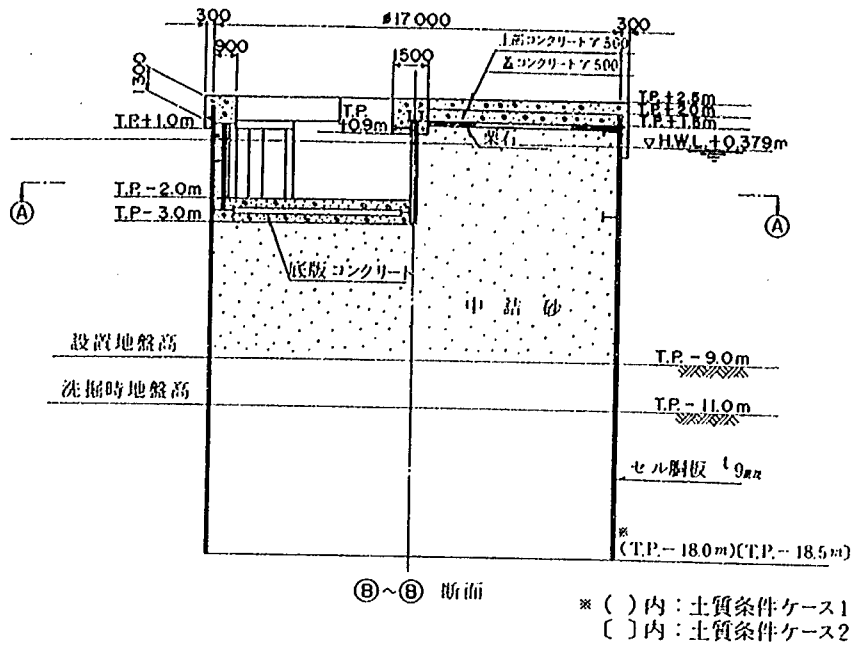


図12.25 構造一般図 (遊水室隔壁：鋼矢板)

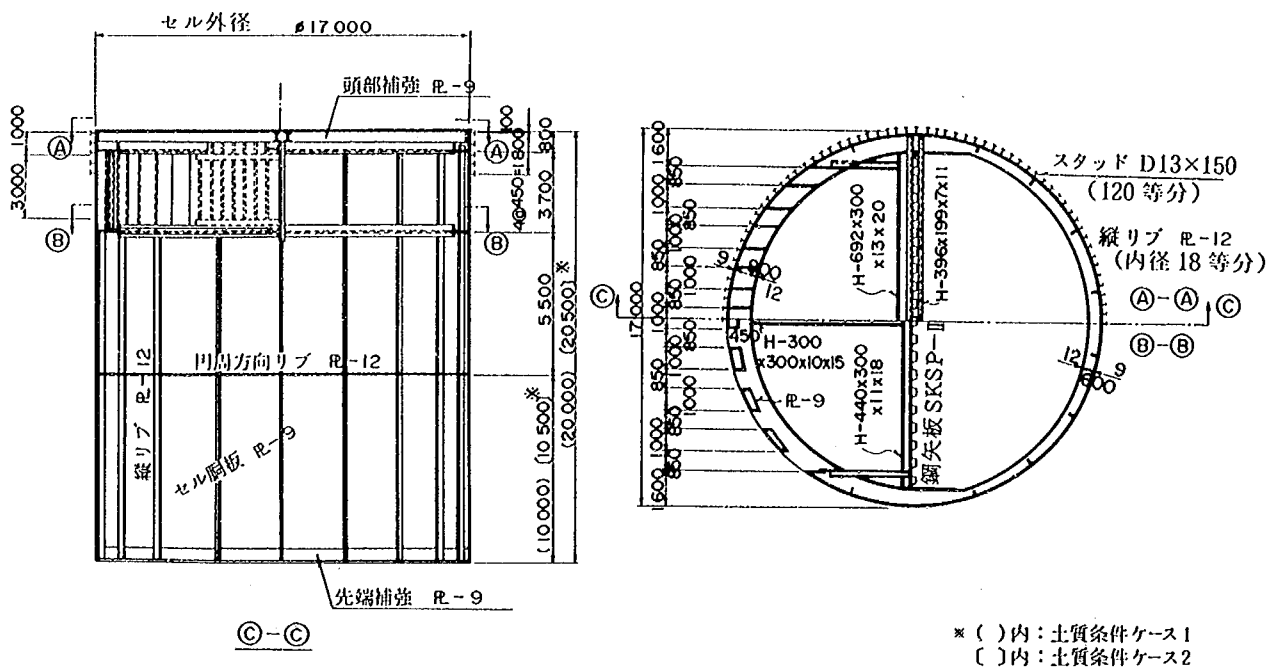


図12.26 セル殻構造図 (遊水室隔壁：鋼矢板)

12.4.2 設計計算

主要部材の算定結果を表12.17, 12.18に示す。ここで表12.17, 12.18はそれぞれ遊水室隔壁を鋼板パネル壁, 鋼矢板壁とした場合である。

なお, 設計荷重及び解析法, セル体の安定の検討結果及びセル殻の板厚の算定結果については12.3.2と同様であるため省略する。

表12.17 主要部材の算定結果（遊水室隔壁：鋼板パネル、 ケース1、 2 共通）

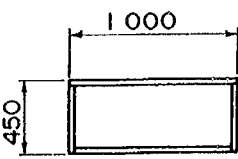
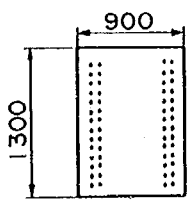
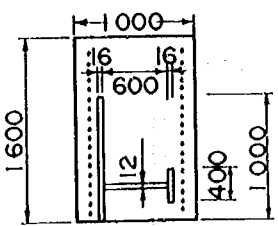
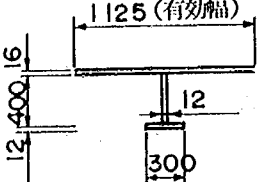
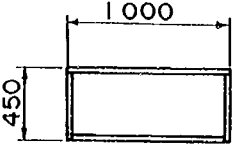
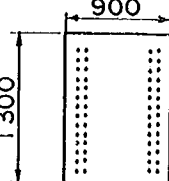
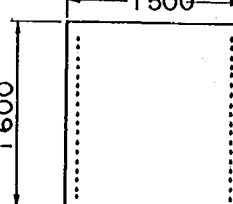
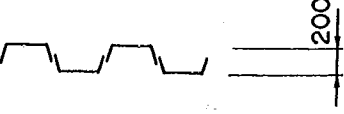
部 材	断 面 力	部材断面形状（単位：mm）	備 考
①スリット	$M=7.1\text{tf}\cdot\text{m}$ $N=7.1\text{tf}$	 1000 450 PL-9	コンクリート充填 腐食代 外側3.0mm
②前面上梁	$M=188\text{tf}\cdot\text{m}$ $N=98.9\text{tf}$ $S=4.4\text{tf}$	 900 1300 $A_s=179.9\text{cm}^2$ $A_s'=179.9\text{cm}^2$ (D29×28本)	
③背面上梁	$M=175\text{tf}\cdot\text{m}$ $N=-4.4\text{tf}$ $S=98.9\text{tf}$	 1000 1600 16 600 2 400 1000 $A_s=91.2\text{cm}^2$ $A_s'=91.2\text{cm}^2$ (D25×18本)	SRC部材 (累加強度方式で 照査)
④隔壁	$M=6.1\text{tf}\cdot\text{m}$ $N=3.9\text{tf/m}$	 1125 (有効幅) 16 12 400 300	鉛直リブ 腐食代 遊水室側：3mm 中 詰 側：0.6mm

表12.18 主要部材の算定結果（遊水室隔壁：鋼矢板，ケース1，2共通）

部 材	断 面 力	部材断面形状（単位：mm）	備 考
①スリット	$M=7.1\text{tf}\cdot\text{m}$ $N=7.1\text{tf}$	 1000 450 B-9	コンクリート充填 腐食代 外側3.0mm
②前面上梁	$M=188\text{tf}\cdot\text{m}$ $N=98.9\text{tf}$ $S=4.4\text{tf}$	 900 1300 $A_s=179.9\text{cm}^2$ $A_s'=179.9\text{cm}^2$ (D29×28本)	
③背面上梁	$M=175\text{tf}\cdot\text{m}$ $N=-4.4\text{tf}$ $S=98.9\text{tf}$	 1500 1600 $A_s=91.2\text{cm}^2$ $A_s'=91.2\text{cm}^2$ (D25×18本)	
④隔壁	$M=6.1\text{tf}\cdot\text{m}$ $N=5.9\text{tf/m}$	 200 II型鋼矢板	腐食代 遊水室側：3mm 中詰側：0.6mm

12.4.3 施工概要

(1) 概 要

本構造は鋼板セルの一部をスリット構造としたものであり、その施工は根入れ式鋼板セル工法で行う。

前節のコンクリート製スリット型の施工とほぼ同様の施工法であるが、スリット部材及び遊水室隔壁が鋼板セルと一体的に製作・打設されることにより、スリットブロックの製作、間詰めコンクリートの施工が不用となる。

(2) 施工方法

本構造の施工手順は図12.27、12.28に示す通りである。以下に各工種の概略施工方法を示す。

① 鋼板セル製作

鋼板セルの製作は、施工現地付近の陸上ヤードで行う。ヤード面積と水際線長は各々14,000m²、150mとする。

本型式（鋼製スリット型）においても鋼板セルの製作は、前記12.3.3(2)で述べたコンクリート製スリット型と同様、基本的に4分割工法で行う。なお遊水室隔壁は鋼板あるいは鋼矢板によりパネル状に製作した後、円筒状に組立てが完了した鋼板セルに取付ける。製作手順を図12.29に、製作工程の概要を表12.19に示す。

表12.19 概略工程（鋼製スリット型鋼板セル製作）

ケ月 項目	1	2	3	4	記 事
準 備					材料手配、治具製作 ヤード整備
部 材 加 工					
鋼板セル製作					

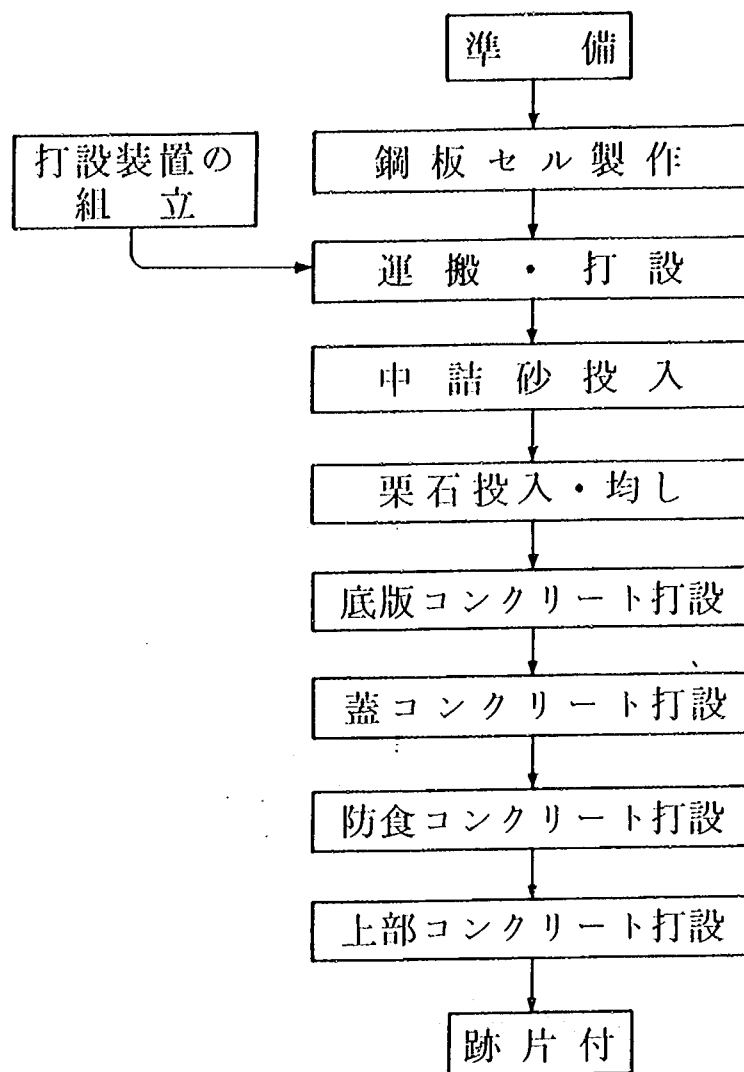


図12.27 施工フロー図

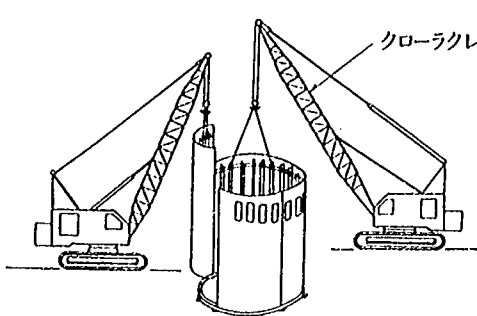
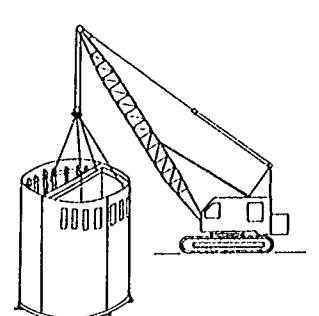
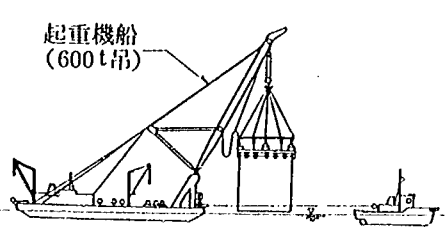
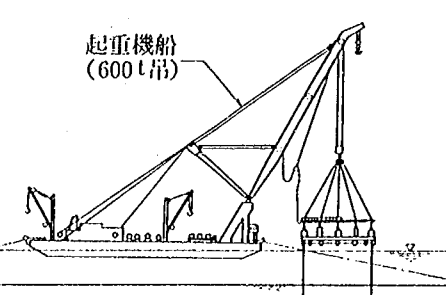
工 種	① 鋼板セル製作	② 鋼製隔壁の取付
施 工 要 領 図		
主 な 作 業 内 容	① 鋼板を溶接，胴板をつくる。 ② ジョイント金物，縦リブを溶接する。 ③ 曲げ加工台で横リブを取付け，4個のブロックをつくる。 ④ 4個のブロックを大組台に運搬，組立てて溶接一体化する。	① 鋼製隔壁を取付ける。
使 用 船 舶		
工 種	③ 鋼板セル運搬	④ 鋼板セル打設
施 工 要 領 図		
主 な 作 業 内 容	① 岸壁に仮置する。 ② 打設装置をチャッキング。 ③ 起重機船で吊ったまま建設地点まで引船で曳航。	① トランシット等による位置の誘導。 ② 傾斜のチェック，修正。 ③ 高さのチェック，打込み速度の調整。 ④ バイブロハンマの運転，停止。
使 用 船 舶	起重機船 (600t吊) 引 船 (D1500PS) 揚 錨 船 (D240PS) 交 通 船 (D125PS) 警 戒 船 (D50PS)	起重機船 (600t吊) 引 船 (D1500PS) 揚 錨 船 (D240PS) 交 通 船 (D125PS) 警 戒 船 (D50PS)

図12.28(1) 施工要領図 (鋼製スリット型)

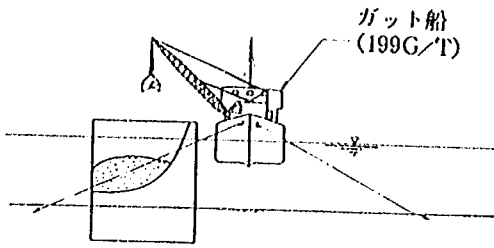
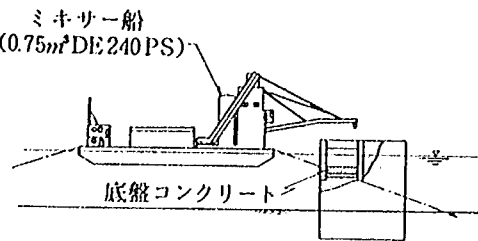
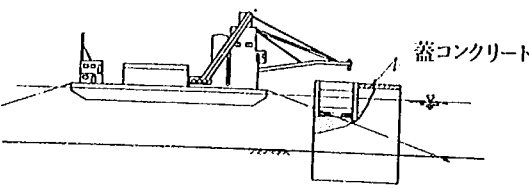
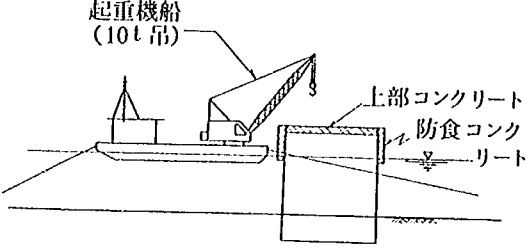
工 種	⑤ 中 詰 投 入	⑥ 底版及び中詰コンクリート打設
施 工 要 領 図		
主 な 作 業 内 容	① ガット船のけい留。 ② 中詰砂、または中詰石の投入。 ③ 均し。	① ミキサー船のけい留。 ② 潜水士の誘導によりコンクリート打設。水中コンクリートとする。 ③ スリット部材内にコンクリートを充填する。
使 用 船 舶	ガット船 (199G/T) 潜水士船 (D30PS 3tウィンチ付)	ミキサー船 (0.75m³ DE240PS) 揚 錨 船 (D60PS) 潜水士船 (D30PS 3tウィンチ付) 起重機船 (10t吊) 引 船 (D250PS) 台 船 (100t積) 引 船 (D120PS)
工 種	⑦ 蓋コンクリート打設	⑧ 防食及び上部コンクリート打設
施 工 要 領 図		
主 な 作 業 内 容	① ミキサー船のけい留。 ② コンクリートの打設。	① 鉄筋加工・組立。 ② 型枠組立。 ③ コンクリート打設。水中部は水中コンクリートとする。
使 用 船 舶	ミキサー船 (0.75m³ DE240PS) 引 船 (D250PS) 揚 錨 船 (3t吊 D60PS)	ミキサー船 (0.75m³ DE240PS) 引 船 (D250PS) 揚錨船 (D60PS) 起重機船 (10t吊) 引 船 (D120PS) 潜水士船 (D30PS 3tウィンチ付) 台 船 (100t積)

図12.18(2) 施工要領図 (鋼製スリット型)

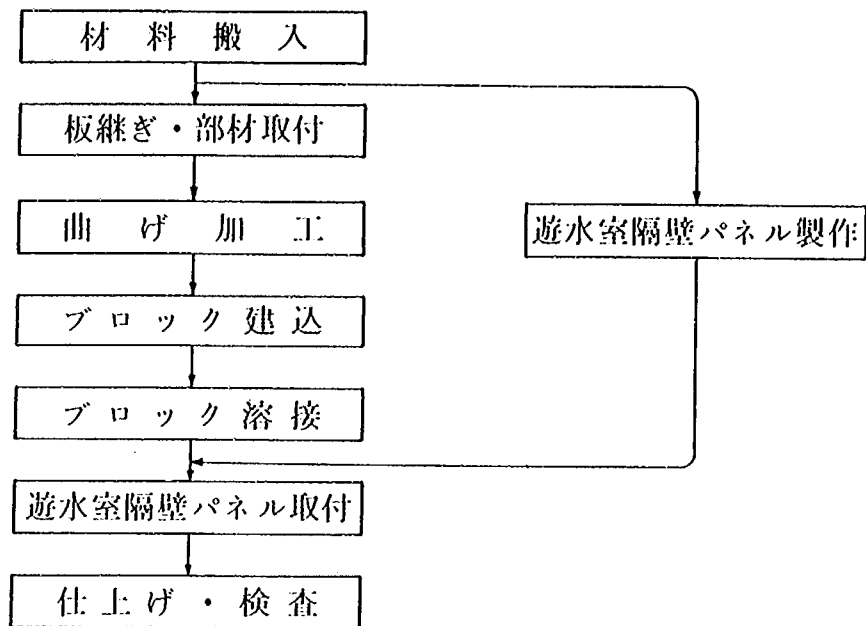


図12.29 鋼板セル製作手順の概要

② 鋼板セル運搬・打設

コンクリート製スリット型と同様であるが、特にスリット部の異常振動が生じないように注意して打設する。

③ 中詰材の投入・均し

鋼板セル打設後、直ちに中詰砂の投入を行う。

中詰砂はガット船で運搬、投入する。遊水室底部の中詰砂は水中で均した後、底版コンクリートを施工する。遊水室背面の中詰めは陸上均しを行い、栗石の投入・均しの後、蓋コンクリートを施工する。

④ その他の施工方法

底版コンクリート、蓋コンクリート、防食コンクリート、上部コンクリートはいずれもコンクリート製スリット型における施工方法と同様である。

(3) 主要施工数量、船舶・機械

本構造物の主要施工数量表を表12.20に、主要使用船舶・機械一覧表を表12.21～12.23に示す。

表12.20 主要施工数量表

種 類		単 位	数 量 (延長 200m)	記 事
鋼 板 セ ル		両	10	ケース 1 : $\phi 17\text{m} \times h20.0\text{m}$ $\times t 9\text{mm}$ 重量 : 130t/両 ケース 2 : $\phi 17\text{m} \times h20.5\text{m}$ $\times t 9\text{mm}$ 重量 : 132t/両
中	中 詰	m^3	22,0600	
詰	中 詰 栗 石	m^3	370	
底版コンクリート		m^3	1,250	水中コンクリート
中詰コンクリート		m^3	320	スリット部, 遊水室側壁部 充填
蓋コンクリート		m^3	620	気中コンクリート
防食コンクリート		m^3	380	気中及び水中コンクリート
上部コンクリート		m^3	1,140	気中コンクリート

表12.21 主要使用船舶・機械一覧表（鋼板セル打設工）

船 舶 ・ 機 械	規 格	数 量	単 位
起 重 機 船	600t吊	1	隻
引 船	1500PS	1	隻
揚 錨 船	240PS	1	隻
交 通 船	125PS	1	隻
警 戒 船	50PS	1	隻
バイプロハンマー	VM ₂ -25000A	6	台
発 電 機	450KVA	6	台
発 電 機	60KVA	1	台
油 圧 チ ャ ッ ク	VM ₂ -4000用	18	台
油 圧 ユ ニ ッ ト	45KW	1	台
ショックアブソーバ	50t用	6	台
ショックアブソーバ	25t用	6	台
連 動 装 置		5	式
同 時 起 動 盤		1	式
ベ ー ス リ ン グ	φ17.0m	1	基
吊 治 具	φ17.0m	1	基

表12.22 主要使用船舶・機械一覧表（鋼板セル製作，打設装置組立）

船 舶 ・ 機 械	規 格	数 量	単 位
クローラクレーン	150t吊	3	台
トラッククレーン	45t吊	2	台
高 所 作 業 車	20m 級	4	台

表12.23 主要使用船舶・機械一覧表（鉄筋，型枠，コンクリート工）

船 舶 ・ 機 械	規 格	数 量	単 位
起 重 機 船	10t 吊	1	隻
ミ キ サ ー 船	0.75m ³ , DE240PS	1	隻
引 船	125, 250, 600PS	3	隻
台 船	100t 積	1	隻
揚 錨 船	3t 吊, 60PS	2	隻
潜 水 士 船	D30PS, 3t ウインチ	3	隻

(4) 工 程

工程表を表12.24に示す。なお，海上作業の稼働率は70%とした。

表12.24 工程表

項 目		2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月
鋼 板 セ ル 製 作	10日							
打設装置製作・組立	1式							
鋼 板 セ ル 打 設	10日							
中 品	22,430m ³							
底板コンクリート	1,170m ³							
中品コンクリート	73m ³							
蓋コンクリート	620m ³							
防食・上部コンクリート	1,140m							

12.5 構造物の適用性と今後の課題

波浪，流れ及び漂砂を制御し静穏な海域を創出するための透過式海域制御構造物を，縦スリット付き遊水室を有する鋼板セルを離散配置したタイプで計画し，試設計と施工の検討を行った。本構造物は，水粒子がスリット壁を通過する際のエネルギー損失と，反射波の位相差を利用して消波を行うものであり，過去2年間にわたって行った一連の水理実験結果に基づき，対象海域の波浪条件において最も優れた消波効果が得られるよう構造諸元を決定した。前記水理模型実験では，本構造物の基本的

消波特性がすでに実設計上適用可能なレベルにまで明らかにされていると考えられるが、構造物周辺の洗掘及び背後域の漂砂特性などについては不明な点も残されており、今後の検討が必要である。構造物に作用する波力については、同じく水理模型実験により全波力、波圧分布とも確認されており、今回の試設計における設計外力の決定にもそれらの結果が反映されている。ただし、砕波領域での全波力と波圧及び砕波による衝撃波圧については未検討であり、今後さらに水理模型実験を行い確認することが望ましい。

鋼板セルを用いた海域制御構造物は、従来適用されている護岸構造物の場合と同様、基本的には中詰めのせん断抵抗を期待した重力式構造物であり、外力の評価や安全率の設定法など一部の点を除けば、すでに整備されている設計指針に基づき全体構造に関する安定性の検討を行うことができる。なお、部分構造、特にスリット部及び遊水室部については、外力作用時の力学的挙動に不明な点もあるため、今後は解析手法の検討などをすすめる、さらに合理的な設計法を確立していく必要がある。

施工面に関しては、すでに鋼板セルの打設などの基本技術が確立されているため、本構造物の設置についてもこれらの技術を活用することにより、充分対応可能である。スリット部及び遊水室部についても、基本的には既存の技術で施工可能である。しかし、中詰めの締固めや水中均しに関する急速施工法、沈下発生時の対処方法、あるいはコンクリートとセル殻等の鋼製部材との一体性の確保など、部分的には課題も残されているため今後さらにそれらについて検討を進める必要がある。

以上に述べた各項目についての今後の課題を整理すると、表12. 25のようになる。

表12. 25 遊水タイプ鋼板セル海域制御構造物の現状の技術レベルと今後の課題

項 目	現 状 の 技 術 レ ベ ル	今 後 の 課 題
1. 水理特性 ①消波効果	周期 6 sec～14sec、波高 1 m～6 mの波に対する透過率、反射率が、1/50 縮尺模型による水理模型実験により明らかとなった。	
②波 力	非砕波時の全波力、波圧分布について上記模型により実験検証。	砕波領域での全波力、波圧分布および砕波による衝撃波圧の検証。
③漂砂・洗掘	遊水室およびスリットのない基本タイプの鋼板セル離岸堤について模型実験を実施。	遊水タイプのものについての漂砂制御効果、洗掘の検証を模型実験により実施する。
2. 構造設計	「港湾の施設の技術上の基準・同解説」「根入れ式鋼板セル設計指針」「道路橋示方書・同解説」等に準拠。	全体構造安定解析における外力の算定法及び使用条件に適した安全率と許容変形量の設定。 スリット部および遊水室部の力学的挙動の解明と合理的設計法の確立。
3. 施 工	鋼板セルの打設など、基本的な施工技術がすでに確立されている。	スリットおよび遊水室部に関する合理的施工法の確立。たとえば、中詰の締固めと水中均しに関する急速施工法、沈下発生時の対処方法、あるいはコンクリートと鋼部材との一体化の技術など。
4. 維持・補修	未検討	耐用期間での維持・補修方法の検討。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所河川部海岸研究室：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，第2577号，pp・133～164，1988.
- 2) (財)沿岸開発技術研究センター：根入れ式鋼板セル設計指針，48p・，1985

第13章 あ と が き

皆生海岸を対象に各種海域制御構造物についてフィージビリティ・スタディを行った。ここで用いた設計法は許容応力度法である。しかしながら海域制御構造物の実海域での設計においては限界状態設計法の適用も考えられる。この設計法を用いればより経済的な設計が行える可能性がある。それ故今後においては、限界状態設計法を海域制御構造物の設計に適用する場合の種々の問題点について検討していく必要がある。

海域制御構造物の開発に関する
共同研究報告書(5)

ISSN 0386-5878
土研資料第2609号
昭和63年2月(1988)

要 旨

各種海域制御構造物について、皆生海岸を対象にして試設計および施工の検討を行い、今後の実用化および改良のための技術的課題を明確にした。

キーワード：海洋開発，海域制御構造物，計画条件，試設計，実用化，共同研究，皆生海岸



郵便はがき

四十円切手
をはって
下さい。

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
海岸研究室 行

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2609号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印