

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 (3) — 第1 グループF. S. 調査報告書 —

昭和62年 7 月

建設省土木研究所
河川部海岸研究室

Copyright © (1987) by P. W. R. I.

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

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の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 (3) 第1 グループF.S. 調査報告書

建設省土木研究所 河川部海岸研究室長	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	大河原重昭
〃 〃	岡 幸夫
〃 〃	横山 育起
五洋建設(株)技術本部技術部	緒方 一成
〃 〃 技術研究所	国栖 広志
〃 〃 技術部	近藤 浩右
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
〃 〃	大山 巧
〃 土木本部設計部	畑山 義人
大成建設(株)土木本部設計部	米山 英明
〃 〃	小山 文男
〃 土木本部土木部	岡村 義昭

要 旨 乱れと反射を利用した各種構造物について、計画条件を設定して試設計および施工の検討を行い、実用化および改善・改良のための今後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，技術的課題，共同研究

目

次

1. はじめに	1
2. F.S.のための計画条件	2
2.1 構造タイプ	2
2.2 設計条件	2
2.3 施工条件	15
3. 設計・施工検討	16
3.1 スリット型（ブロックと杭）	16
3.2 多重スリット型（ブロックと杭）	34
3.3 水平板付きスリット型1（ブロックと杭）	51
3.4 水平板付きスリット型2（ブロックと杭）	68
3.5 水平板付きスリット型3（ブロックと杭）	81
3.6 スリット型（ケーソンと杭）	94
3.7 透過水平板付きスリット型（ケーソンと杭）	111
3.8 中詰型（ケーソンと杭）	127
3.9 改良空気密閉型（ブロックと杭）	143
4. 設計・施工法の比較	160
4.1 ブロック構造の設計・施工法の比較	163
4.2 ケーソン構造の設計・施工法の比較	165
5. 今後の課題	166
6. あとがき	167

1. はじめに

近年、生活空間、レクリエーション空間および生産空間等として、外海に面した海域の利用のニーズが高まりつつある。自然環境の保全を図りながらこれらの海域を有効に利用するためには、水深の大きいところでも建設が可能で、波浪、流れおよび漂砂を制御するとともに外海との通水性を阻害しない透過性構造物の開発が必要である。静穏な海域を創出するための透過性構造物としては多くのタイプのものが考えられるが、消波機能や構造形式に注目すると、構造物はスリット壁やカーテン壁等による乱れと反射を利用した消波構造物、潜堤等の没水型消波構造物等が考えられる。

本報告書は、乱れと反射を利用した消波構造物の各種構造タイプについて、計画条件を設定して試設計および施工の検討を行い、建設の技術的可能性を調査したものである。構造物の水理特性については、土木研究所で実施した実験結果等を参考にしており、それに基づき設計を行った。さらに、各構造タイプの設計・施工法に関する特徴を明らかにし、実用化あるいは、改善、改良のための今後の技術的課題を明確にした。

2. F. S. のための計画条件

2.1 構造タイプ

設計・施工の検討を行った9タイプの消波構造および構造概要を表2.1.1に示す。各タイプとも、水理実験結果(建設省土木研究所: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, pp. 47~88, 1987)をもとに2.2.3に示す消波性能を満足する構造となっている。今回の検討では、洗掘による堤体の沈下がなく、かつ、構造物を大型化、重量化することなく波力に抵抗できることなどを考慮して、すべて杭式構造で検討を行った。もちろん海域制御構造物としてはほかにジャケット式、重力式、根入れを持った重力式など種々の構造形式が考えられるが、それらについては除外した。

2.2 設計条件

2.2.1 構造条件

施設名称	透過型消波離岸堤
離岸堤延長	150m
離岸堤天端高	T. P. + 3.50 m
設置地盤高	T. P. - 7.00 m
洗掘時地盤高	T. P. - 9.00 m

構造物の安定性の検討は洗掘時地盤高(T. P. - 9.00 m)で行う。

2.2.2 自然条件

① 潮位

朔望平均満潮位(H. W. L.)	T. P. + 0.68 m
計画高潮位	T. P. + 1.66 m

② 波浪

沖波波高	$H_0 = 9.0 \text{ m}$
沖波周期	$T_0 = 14.0 \text{ sec}$

③ 海底勾配

$$i = 1/70$$

④ 洗掘深

2.0 m

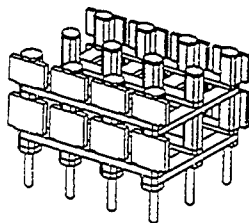
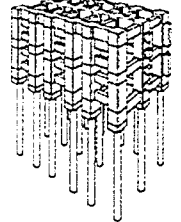
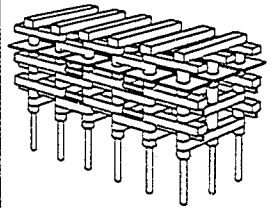
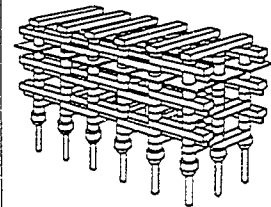
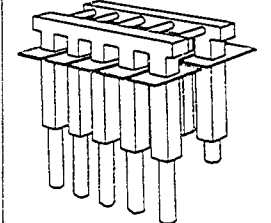
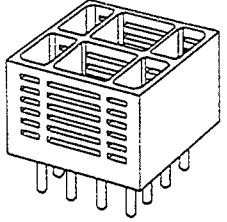
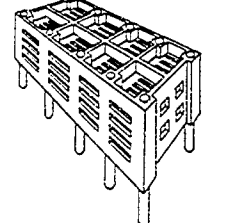
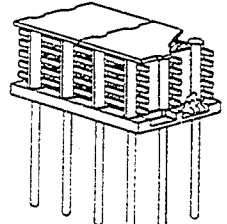
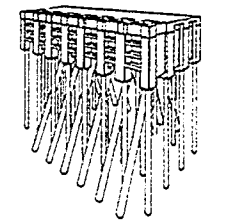
洗掘は局所洗掘とし、洗掘による水深変化で波の変形は生じないものとする。

⑤ 地震震度

波力による荷重が大きいので地震時については特に検討しない。

⑥ 土質条件

表 2.1.1 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（すべて杭基礎）
1	スリット型	- 同一の空隙率を有する複数の鉛直スリット壁の組合せにより消波する。 - 同一の堤体幅では、スリット壁が2枚の場合と3枚の場合では消波効果にほとんど差がみられない。	 堤体：プレキャストブロック構造 柱（SRC）、梁（RC） 空隙率：沖側 $\epsilon = 0.20$ 中央 $\epsilon = 0.35$ 岸側 $\epsilon = 0.20$
2	多重スリット型	3枚の鉛直スリット壁よりなり、スリット壁の空隙率は沖側が大きく、岸側が小さくなっている。 - 同一の空隙率の3枚壁より反射を低減できる。	 堤体：プレキャストブロック構造 柱（PC（フルプレストレス）） 梁（SRC、RC） 空隙率：沖側 $\epsilon = 0.30$ 中央 $\epsilon = 0.22$ 岸側 $\epsilon = 0.10$
3	水平板付き スリット型1	2枚の鉛直スリット壁と静水面付近に設置した水平板の反射と乱れにより消波する。 - 水平板による消波効果のため鉛直スリット壁の空隙率を大きくできる。 - 水平板による反射が大きくなる場合には水平板に空隙を持たせ反射を低減できる。	 堤体：プレキャストブロック構造 柱（PC（フルプレストレス）） 梁（RC） 空隙率：鉛直壁 $\epsilon_v = 0.40$（2枚） 水平板 $\epsilon_H = 0.10$
4	水平板付き スリット型2	3に同じ	 堤体：プレキャストブロック構造 柱（PC（フルプレストレス）） 梁（RC） 空隙率：鉛直壁 $\epsilon_v = 0.40$（2枚） 水平板 $\epsilon_H = 0.10$
5	水平板付き スリット型3	3に同じ	 堤体：プレキャストブロック構造 柱（SRC） 梁（鋼管） 空隙率：鉛直壁 $\epsilon_v = 0.33$（2枚） 水平板 $\epsilon_H = 0.10$
6	スリット型	1に同じ	 堤体：ケーソン構造 （杭は底版で結合） 空隙率：沖側 $\epsilon = 0.2$ 中央 $\epsilon = 0.2$ 岸側 $\epsilon = 0.2$
7	透過水平板付き スリット型	3枚の鉛直スリット壁と静水面付近に設置したスリット型の水平板による乱れにより消波する。 - ケーソンタイプであり、不透過性の底版を有する。 - 基本構造の天端は静水面上にあり、堤体下端は海底面上にある。	 堤体：ケーソン構造（没水型） （杭はケーソン側壁、隔壁部で結合） 空隙率：鉛直壁 $\epsilon_v = 0.25$ 水平版 $\epsilon_H = 0.18$
8	中詰型	- スリット壁の内部に消波ブロックを中詰めしたタイプである。中詰め消波ブロックにより乱れと反射で消波する。 - 中詰め消波ブロックの天端を静水面下にして潜堤のような効果を与えることもできる。	 堤体：ケーソン構造 （杭はケーソン側壁、隔壁部で結合） （中詰材を上床版まで設置） 空隙率：沖側 $\epsilon = 0.27$ 中央 $\epsilon = 0.27$ 岸側 $\epsilon = 0.27$
9	改良 空気密閉型	カーテンウォールと密閉された空気の効果により消波する構造で、そのままでは若干反射率が高くなるため堤体上への越波と戻り流れ、および沖側壁面に透過水平板を取り付け反射を低減している。	 堤体：プレキャストブロック構造 柱（RC）、梁（RC） 空隙率：水平板 $\epsilon_H = 0.18$ 空気室 $\epsilon = 0.0$ 杭：直杭と斜杭を使用

土質条件を表 2.2.1 に示す。表中の第 1 層上端が構造物設置地盤高 (T.P. - 7.0 m) である。

表 2.2.1 土質条件

	標 高	層 厚 (m)	平均 N 値	土 質
第 1 層	T. P. - 7.0 m ~ T. P. - 12.5 m	5.5	25	砂 質 土
第 2 層	T. P. - 12.5 m ~ T. P. - 18.0 m	5.5	35	砂 質 土
第 3 層	T. P. - 18.0 m ~ T. P. - 21.0 m	3.0	45	砂 質 土
第 4 層	T. P. - 21.0 m 以下		50	砂 質 土

2.2.3 消波性能

対象波浪は、 $T \leq 10.0 \text{ sec}$, $0.02 \leq H_0 / L_0 \leq 0.04$ とする。

ここに、 H_0 : 沖波波高(m), T : 周期 (sec), L_0 : 沖波波長(m)

H_0 / L_0 : 沖波波形勾配

消波性能としては、対象波浪に対し以下の条件を満足するのを標準とする。

$$K_T = H_T / H_i \leq 0.6$$

$$K_R = H_R / H_i \leq 0.5$$

ここに、 K_T : 透過率 K_R : 反射率 H_T : 透過波高 H_i : 入射波高 H_R : 反射波高

消波性能は水理実験結果に基づく。また、消波性能を検討するにあたっての潮位は朔望平均満潮位 (T.P. + 0.68 m) とし、海底面は構造物設置地盤高 (T.P. - 7.0 m) とする。

2.2.4 適用示方書・基準書類

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

その他関連基準書

2.2.5 使用材料

表 2.2.2 使用材料

使 用 材 料		規 格	備 考
鋼 材	鋼管杭	SKK 41, SKK 50, SM 50 Y	
	構造用鋼材	SS 41, SM 50	
	鉄筋	SD 30, SR 24	
	PC 鋼材	SBPR, SBPD	SBPD は相当品
コン ク リ ー ト	普通コンクリート	$f'_{ck} = 240 \sim 400 \text{ kgf/cm}^2$	
	セメントモルタル	$f'_{ck} = 240 \sim 400 \text{ kgf/cm}^2$	
	水中コンクリート	$f'_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2$	スリット型(ケーソンと杭)
捨 石		50 ~ 100 kgf/個	"
消波ブロック		テトラポッド 1 t 型	中詰型

2.2.6 材料の単位体積重量

鉄筋コンクリート $\gamma_c = 2.45 \text{ tf/m}^3$

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 $W_s = 1.03 \text{ tf/m}^3$

2.2.7 材料の許容応力度

① コンクリート

表 2.2.3 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 2.2.4 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

全面載荷の場合は次式による。

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

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

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，次式でこれを求める。

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

ただし， $\sigma_{ca} \leq 0.5 f'_{ck}$

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

ただし， $\sigma_{ca} \leq 0.4 f'_{ck}$

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。

② 鉄筋

表 2.2.5 許容引張応力度 σ_{sa} (kgf/cm²)

鉄筋の種類	SR 24	SR 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

③ PC鋼材

表 2.2.6 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} : PC鋼材の引張強さ (kgf/cm ²) σ_{py} : PC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ング直後	$0.7 \sigma_{pu}$ 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	

④ 構造用鋼材

表 2.2.7 許容応力度 (kgf/cm²)

鋼 種	SS 41 SM 41 SMA 41	SS 50	SM 50	SM 50 Y SM 53 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	1,700	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 鋼杭材

表 2.2.8 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 $20 < \frac{l}{r} < 93$ $1,400 - 8.4 \left(\frac{l}{r} - 20 \right)$ $\frac{l}{r} \geq 93$ $\frac{12,000,000}{6,700 + (l/r)^2}$	$\frac{l}{r} \leq 15$ 1,900 $15 < \frac{l}{r} < 80$ $1,900 - 13 \left(\frac{l}{r} - 15 \right)$ $\frac{l}{r} \geq 80$ $\frac{12,000,000}{5,000 + (l/r)^2}$	$\frac{l}{r} \leq 14$ 2,100 $14 < \frac{l}{r} < 76$ $2,100 - 15 \left(\frac{l}{r} - 14 \right)$ $\frac{l}{r} \geq 76$ $\frac{12,000,000}{4,500 + (l/r)^2}$
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 $\sigma_t + \sigma_{bc} \leq \sigma_{ta}$ かつ $-\sigma_t + \sigma_{bc} \leq \sigma_{ba}$ (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_t, 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_{bt}, 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_{ta}, 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)

2.2.8 鋼材の防食

鉄筋およびPC鋼材はコンクリートあるいは塗装による被覆工防食を考える。鋼管杭は海底面付近が露出するに過ぎないので腐食代を考慮した防食とする。鋼材の腐食速度は、表2.2.9に準じる。

表2.2.9 鋼材の腐食速度

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

2.2.9 耐用年数

耐用年数は30年とする。

表2.2.9より鋼管杭の腐食代 Δt は以下ようになる。

$$\text{H.W.L.と海底間} \quad \Delta t = 0.1 \times 30 = 3.0 \text{ mm}$$

$$\text{海底泥層中} \quad \Delta t = 0.03 \times 30 = 0.9 \text{ mm}$$

2.2.10 杭の支持力

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、砂地盤に対する以下の式を用いる。

$$R_u = 40 \cdot N \cdot A_p + \frac{\bar{N} \cdot A_s}{5} \quad (2.1)$$

$$R_{ut} = \frac{\bar{N} \cdot A_s}{5} \quad (2.2)$$

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

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 (FS) の値を下記に示す。また、施工法等による支持力の低減は各構造タイプごとに考慮する。

基準軸方向許容支持力 (押し込み) $F_s = 2.5$

基準許容引き抜き力 $F_s = 3.0$

2.2.11 設計波

波浪の推算は「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に基づく。波浪の推算にあたっては洗掘深は考慮しない。沖波の諸元は次のとおりである。

沖波波高 $H_o = 9.0 \text{ m}$

沖波周期 $T_o = 14.0 \text{ sec}$

これより、構造物設置位置までの屈折係数を0.74と考え、設計波を表2.2.10のように定めた。

① 設計波の諸元

設計波の諸元を表2.2.10に示す。

表2.2.10 設計波の諸元

有義波高	$H_{1/3}$	5.61 m	$h = 8.66 \text{ m}$
最高波高	$H_{\max}$	7.56 m	$h_b = 9.06 \text{ m}$
周期	T	14.0 sec	
波長	L	125 m	$h = 8.66 \text{ m}$
波向		汀線直角方向	入射角 $\beta = 0$

※ h は構造物前面の水深。 h_b は沖合 $5 \cdot H_{1/3}$ 離れた地点での水深。

2.2.12 構造物に作用する波力

構造物の安定性の検討に用いる設計波力についての考え方を以下に示す。

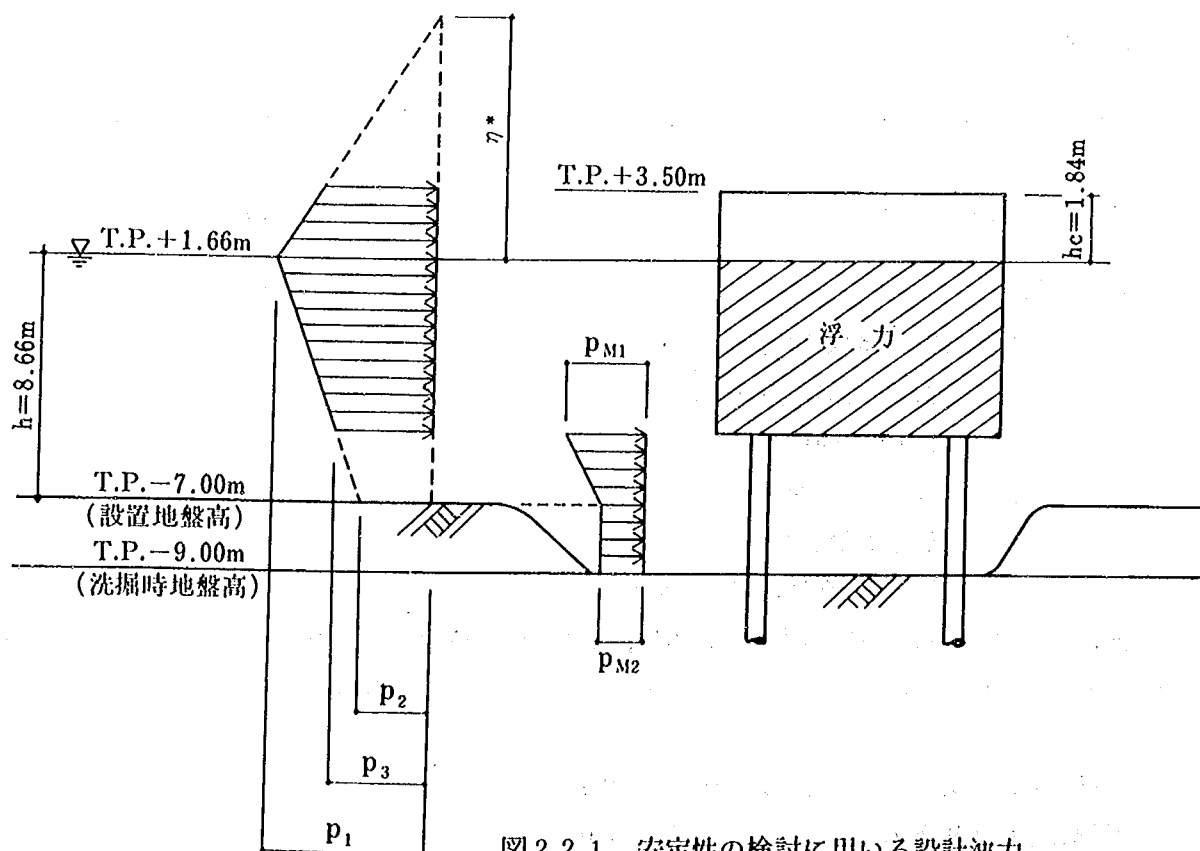


図2.2.1 安定性の検討に用いる設計波力

① 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各構造形式ごとに波力を低減する。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適用されている。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る。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しており、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。

② 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（Morison）式により求める。設計地盤高を海底面として計算し洗掘部分（2.0 m）については海底面に働く波力が一様にかかるものとする。

③ 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各構造形式ごとに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、堤体下端から天端までの直立壁とし、静水面上波圧の作用高さ、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。

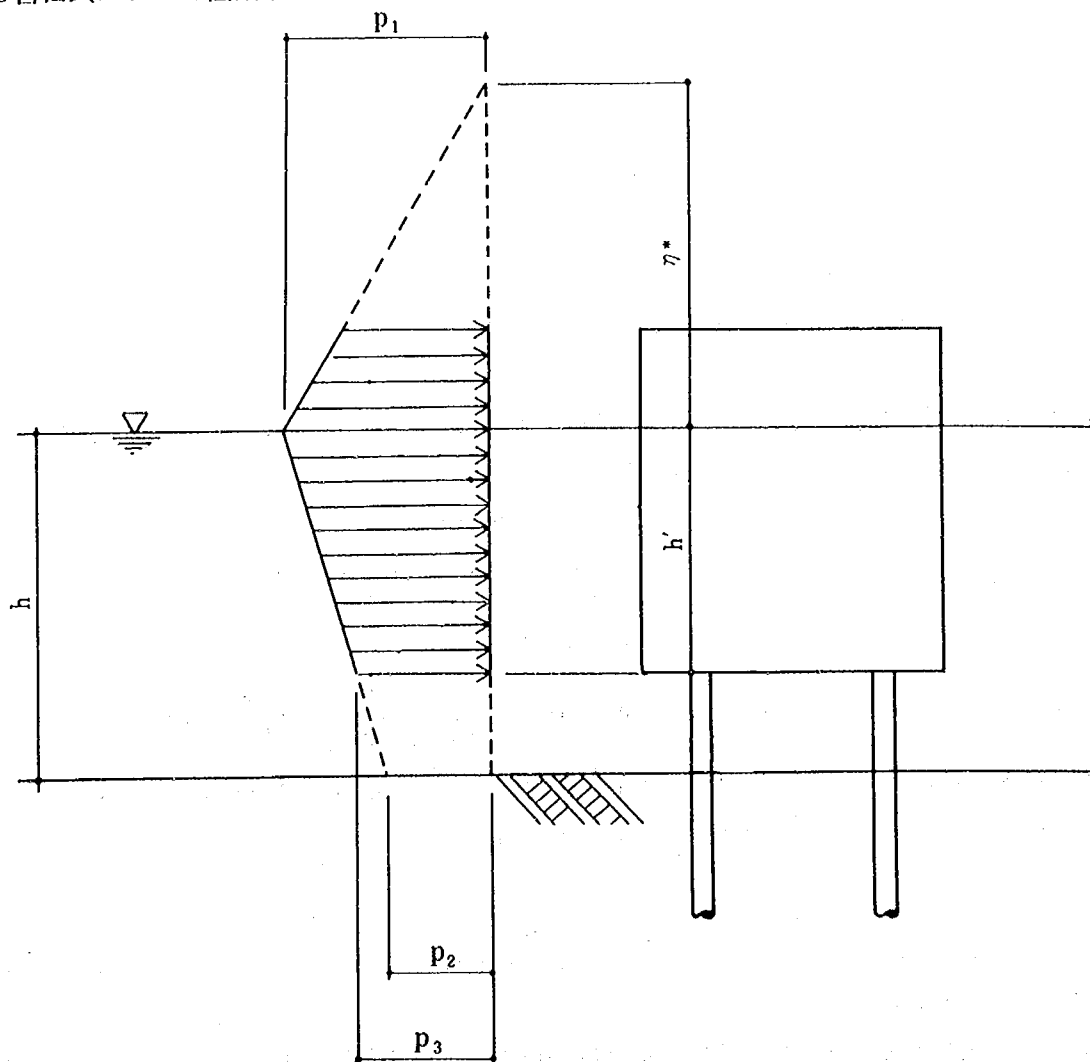


図 2.2.2 堤体に働く水平波力

水平波力の算定式を以下に示す。

$$\eta^* = 0.75 \cdot (1 + \cos \beta) \cdot \lambda \cdot H_D = 1.5 \lambda \cdot H_D \quad (2.3)$$

$$p_1 = \frac{1}{2} \cdot (1 + \cos \beta) \cdot \lambda \cdot \alpha_1 \cdot W_s \cdot H_D = \lambda \cdot \alpha_1 \cdot w_o \cdot H_D \quad (2.4)$$

$$p_2 = \frac{p_1}{\cosh(2\pi h/L)} \quad (2.5)$$

$$p_3 = \alpha_3 \cdot p_1 \quad (2.6)$$

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left[\frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right]^2 \quad (2.7)$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h'}{h} \cdot \left[1 - \frac{1}{\cosh(2\pi h/L)} \right] \quad (2.8)$$

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 ：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、構造タイプごとに適切に定めるものとする。今回の設計では水理実験結果に基づき λ_1 は表 2.2.11 の値を用いる。

表 2.2.11 波圧の低減率

構 造 タ イ プ	ϵ	λ_1	λ	備 考
スリット型	0.20	0.80	0.64	
多重スリット型	0.20	0.80	0.64	ϵ は 3 枚のスリット壁 ($\epsilon_1 = 0.1$, $\epsilon_2 = 0.2$, $\epsilon_3 = 0.3$) の平均値を用いた。
水平板付きスリット型	0.40	0.60	0.36	ただし、水平板付きスリット型 3 は $\epsilon = 0.33$
透過水平板付きスリット型	0.25	0.80	0.60	
改良空気密閉型	0.0	0.80	0.80	
中詰型	0.0	0.80	0.80	

(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 (Morison) 式を用いる。

以下にモリソン式を示す。

$$dF = \frac{w_0}{2g} C_D u |u| ds + \frac{w_0}{g} C_M \frac{du}{dt} dv \quad (2.9)$$

ここに、 dF : 部材の単位長さ当りの波力 (tf/m)

w_0 : 海水の単位体積重量 (1.03 tf/m³)

g : 重力加速度 (9.8 m/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。

$$dF_{\max} = \begin{cases} (F_D)_{\max} + \frac{(F_M)_{\max}^2}{4(F_D)_{\max}}, & 2(F_D)_{\max} \geq (F_M)_{\max} \text{ のとき} \\ (F_M)_{\max}, & 2(F_D)_{\max} < (F_M)_{\max} \text{ のとき} \end{cases} \quad (2.10)$$

$$\text{ここに, } (F_D)_{\max} = \frac{1}{2} \frac{W_0}{g} C_D u_{\max}^2 ds \quad (2.11)$$

$$(F_M)_{\max} = \frac{W_0}{g} C_M \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)_{\max} dv \quad (2.12)$$

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わされる。

$$u_{\max} = \frac{\pi H}{T} \sqrt{1 + \alpha \left(\frac{H}{h} \right)^{1/2} \left(\frac{s}{h} \right)^3} \cdot \frac{\cosh ks}{\sinh kh} \quad (2.13)$$

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

ここに、 H : 波高 (設計波高) (m)

s : 海底面 (T.P. -7.0 m) 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 2.2.12 で与えられる係数

表 2.2.12 最大水粒子速度算定のための係数 $\alpha^{1)}$

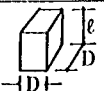
h/L	α	h/L	α
0.03	1.50	0.2	0.68
0.05	1.50	0.3	0.47
0.07	1.43	0.5	0.25
0.10	1.25	0.7	0.27
0.14	0.97		

抗力係数 C_D および質量係数 C_M はそれぞれ表 2.2.13, 表 2.2.14 のように表わされる。

表 2.2.13 定常流中における抗力係数 (C_D) の値²⁾

物体の形状	基準面積	抗力係数
円柱 —  (積面) — $-Dl-$	Dl	1.0 ($l \gg D$)
角柱 — 	Bl	2.0 ($l \gg B$)
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 2.2.14 質量係数 (C_M) の値²⁾

物体の形状	基本体積	質量係数
円柱 — 	$\frac{\pi}{4} D^2 l$	2.0 ($l \gg D$)
正角柱 — 	$D^2 l$	2.19 ($l \gg D$)
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

2.3 施工条件

建設地点	海岸線より約 150 m 沖合の T.P. - 7 m の海域
建設規模	延長 150 m
工 期	海洋工事については 11 月～翌年 3 月までの 5 カ月
稼働率	40 % (海洋工事について)

(ブロックタイプで施工する場合の条件)

ブロック製作ヤード面積	20,000 m ²
ブロック製作ヤードから岸壁までの距離	200 m
岸壁から建設地点までの距離	3 km

(ケーソンタイプで施工する場合の条件)

ケーソン製作を行った港湾から建設地点までの距離	30 km
-------------------------	-------

3. 設計・施工検討

3.1 スリット型（ブロックと杭）*

3.1.1 構造概要

本構造は同じ空隙率の2枚の鉛直スリット壁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 岸側および沖側の空隙率0.2の鉛直スリット壁と、構造を保持するための中央部の柱部材を主とした空隙率0.35の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。

② 柱部材は、鋼管杭、プレキャストブロック、PC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。梁部材はプレキャストブロックによるRC構造である。

③ 堤体はφ700の鋼管杭12本で1ユニットを構成している。岸沖方向の梁は堤体の下部と中央部に配置され、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、PC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。堤体の法線方向の梁は堤体の下部と中央部に配置され、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、60t未満となっている。

(2) 特徴

① ブロック構造にしているため、施工時に大規模な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製作であるため、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。

以下に図3.1.1に鳥瞰図を、構造一般図を図3.1.2、図3.1.3に示す。またプレキャストブロック構造図を図3.1.4に示す。

* 執筆：岡 幸夫（飛島建設株式会社 総合企画本部技術開発部）

横山育起（飛島建設株式会社 総合企画本部技術開発部）

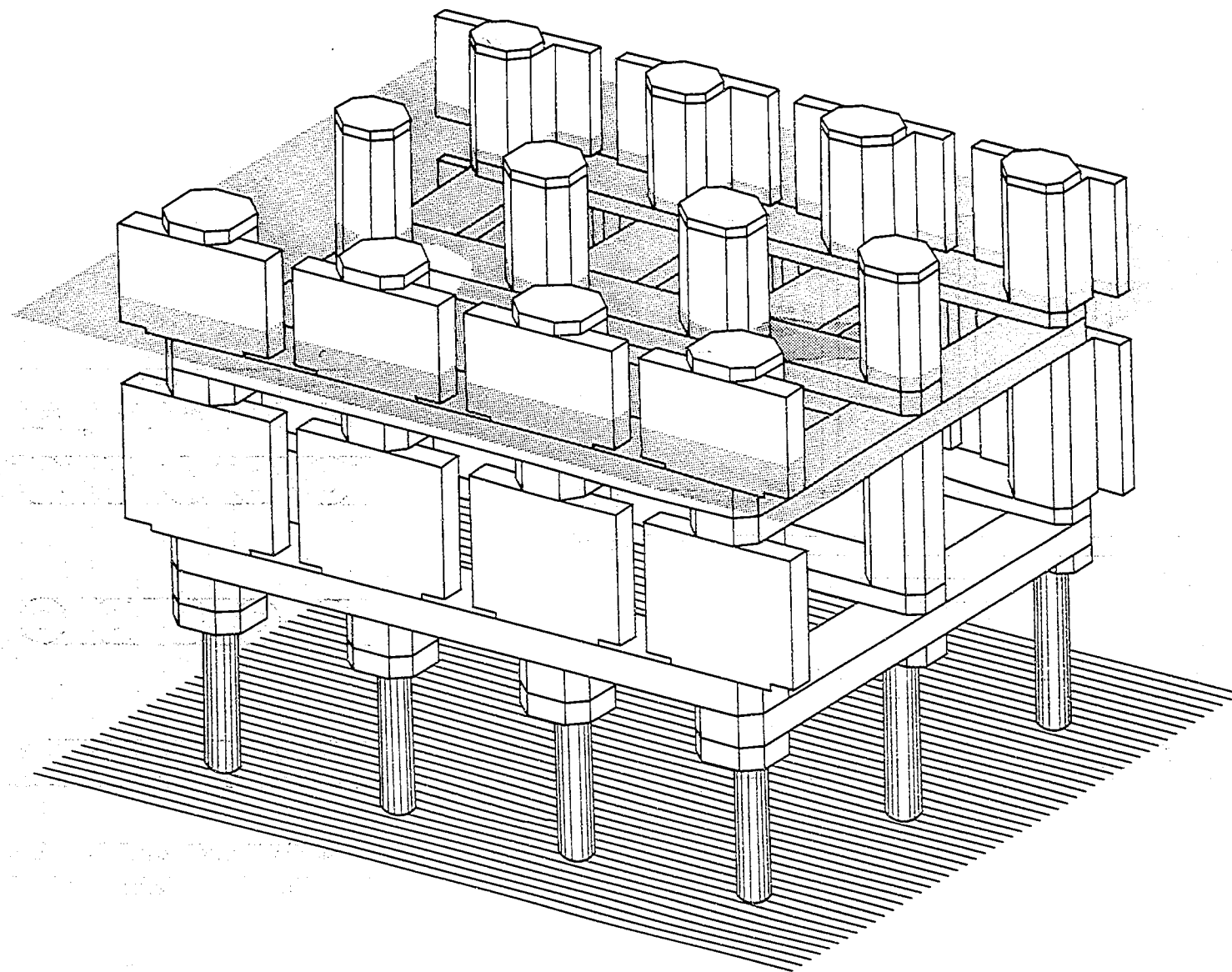
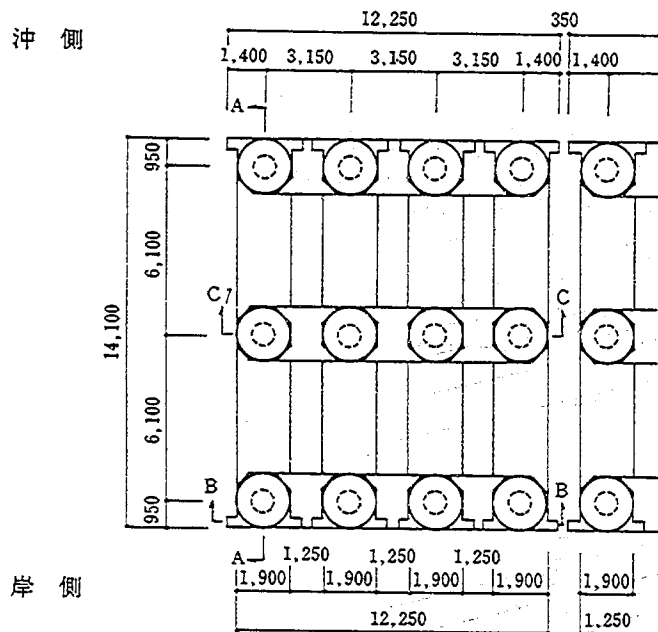


図 3.1.1 スリット型（ブロックと杭）の鳥瞰図

平面图



A-A 断面图

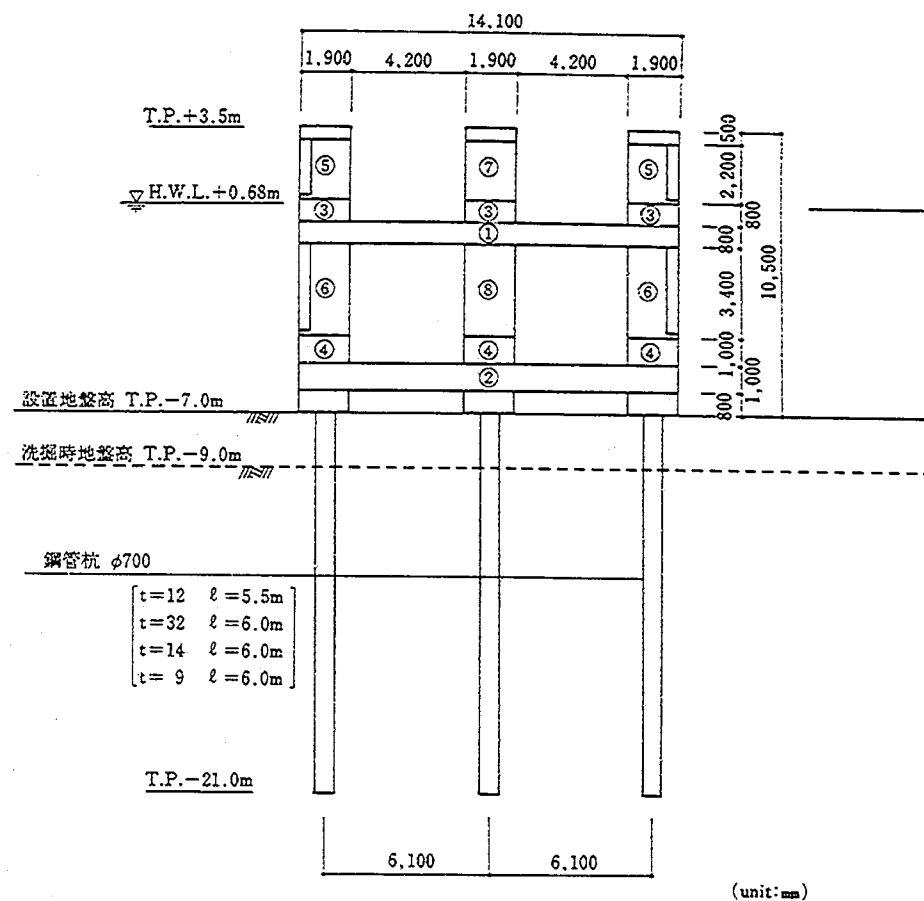
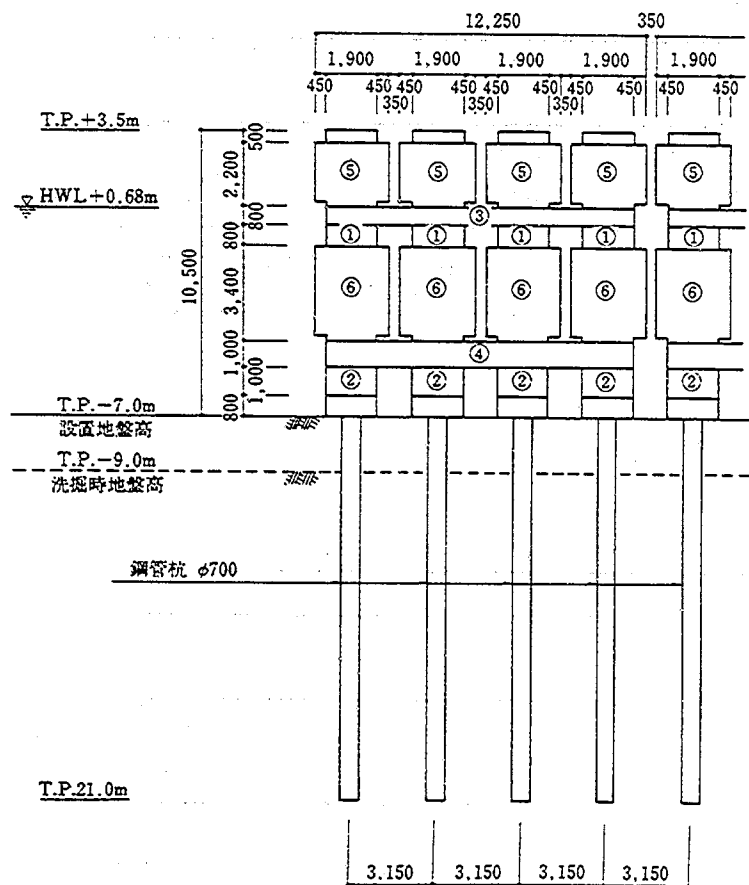


图 3.1.2 構造一般図(1)

B-B 断面图



C-C 断面图

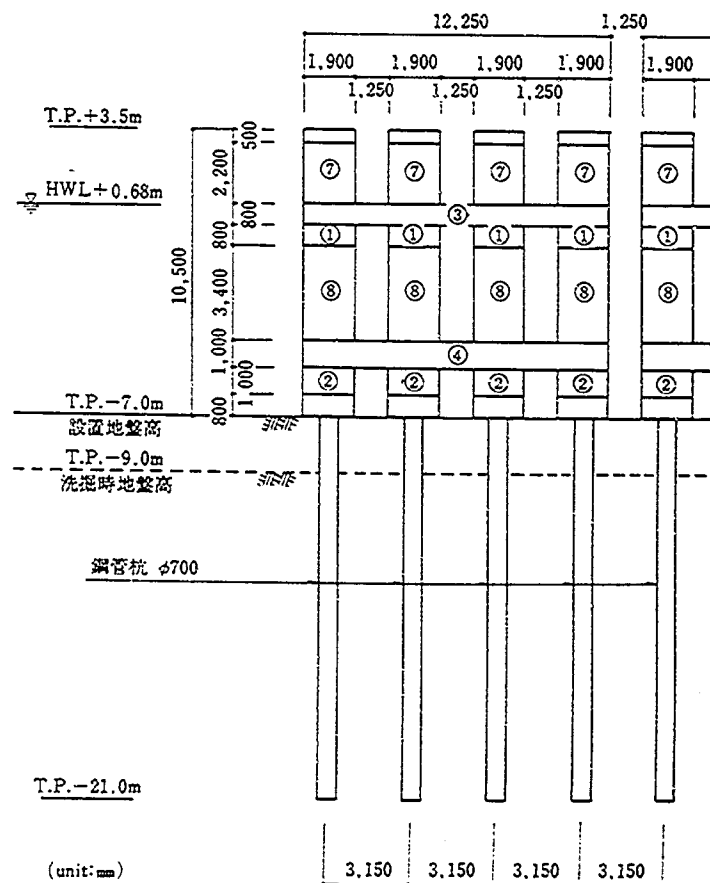
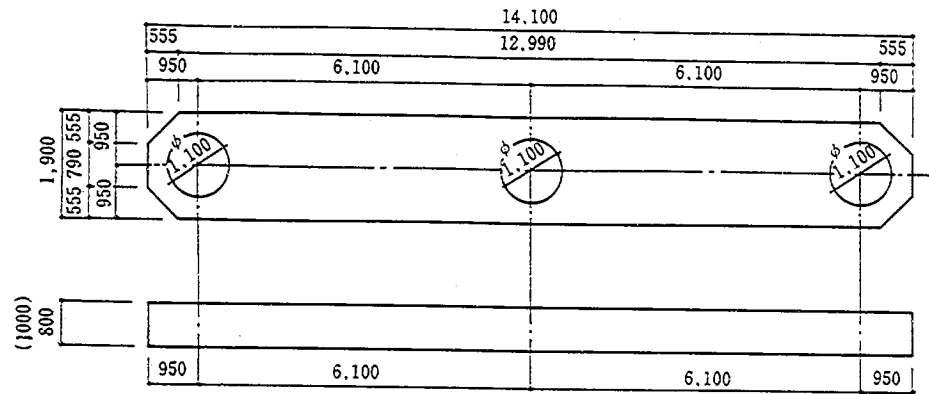
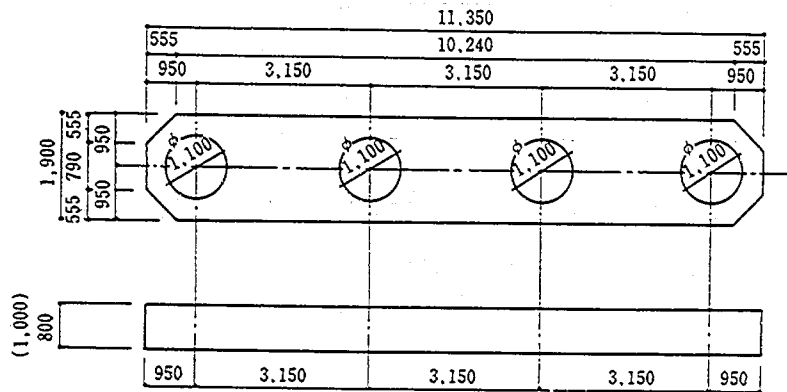


图 3.1.3 構造一般图(2)

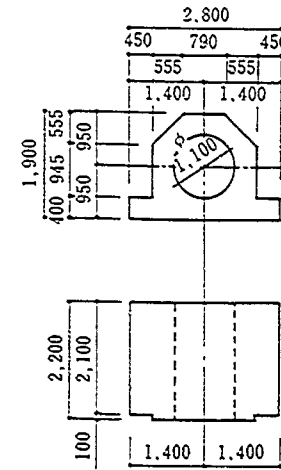
梁ブロック① (②)



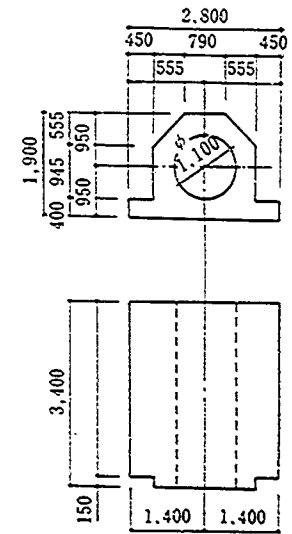
梁ブロック③ (④)



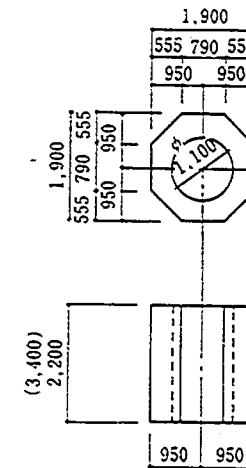
スリット壁⑤



スリット壁⑥



柱ブロック⑦ (⑧)



(unit : mm)

図 3.1.4 プレキャストブロック構造

3.1.2 構造諸元

土木研究所が行った2枚スリット型 $\epsilon=0.2$, $h_2/h=0.7$ の場合の実験結果に基づき 2.2.3 に示した消波性能を満足する構造諸元を次のように決定した。

空隙率	$\epsilon = 0.2$
水深	$h = 7.68 \text{ m}$
吃水比	$h_2/h = 1.00$
スリット幅	$B = 14.1 \text{ m}$

構造諸元を図 3.1.5 に示す。

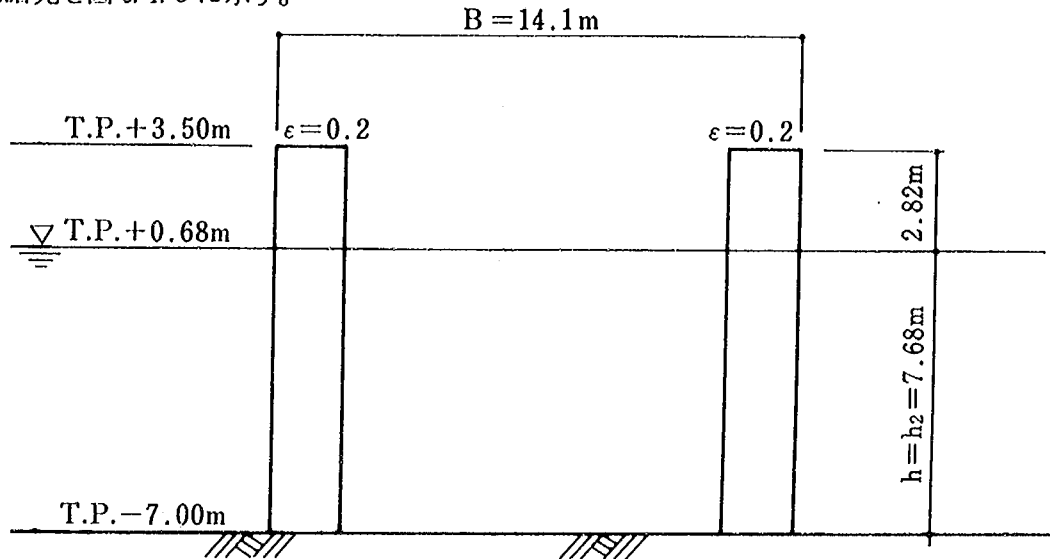


図 3.1.5 構造諸元

K_T , K_R と B/L の関係を図 3.1.6, 図 3.1.7 に示す。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。

$$L = 82 \text{ m} \quad (T = 10 \text{ sec}, h = 7.68 \text{ m} \text{ のとき } L = 82 \text{ m})$$

$$B/L \geq 0.17 \quad (B = 14.1 \text{ m})$$

図 3.1.6, 図 3.1.7 より, スリット幅を $B = 14.1 \text{ m}$ とすれば, 消波性能を満足する。吃水比は大きくなれば消波性能は向上するので問題はないと考えられる。

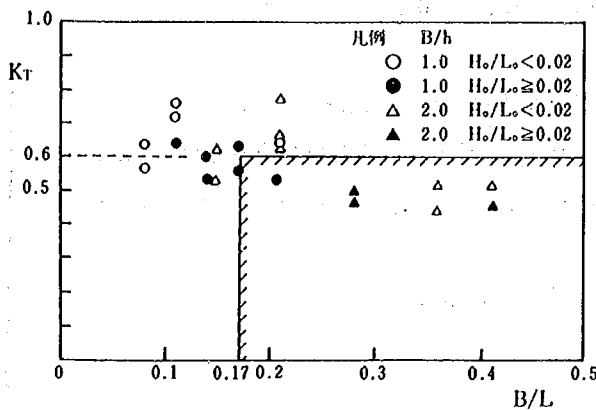


図 3.1.6 K_T と B/L の関係 ($h_2/h=0.7$, $N=2$, $\epsilon=0.2$)

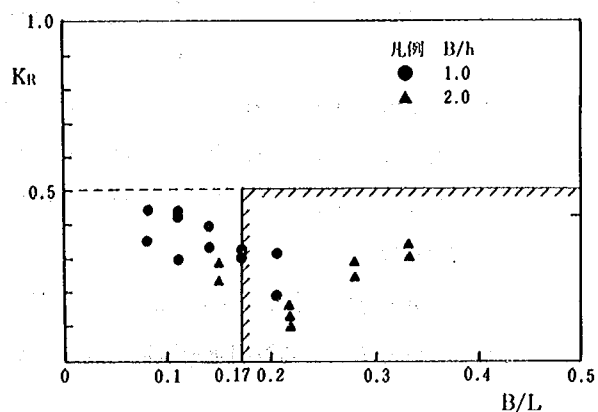


図 3.1.7 K_R と B/L の関係 ($h_2/h=0.7$, $N=2$, $\epsilon=0.2$)

3.1.3 設計計算

(1) 設計荷重及び解析法

杭列 No. 1 2 3

T.P. +3.50m

▽T.P. +1.66m

T.P. -7.00m

T.P. -9.00m

6100 6100 (unit: mm)

24500

波浪条件	波高 H_{max}	7.56m	波力 計算結果 (奥行き 1m当り)	$p_1 = 4.94 \text{ tf/m}^2$ (合田式 $\times \lambda$)	
	周期 T	14.0 秒		$p_3 = 4.50 \text{ tf/m}^2$ (合田式 $\times \lambda$)	
	波力低減係数 λ	0.64		$p_4 = 3.69 \text{ tf/m}^2$ (合田式 $\times \lambda$)	
備考				$p_U = 0.78 \text{ tf/m}^2$ ($0.10 W_s H_D$)	
				$p_M = 0.76 \text{ tf/m}^2$ (モリソン式による 0.53 t/m/本)	

1. 低減係数 λ ; $\lambda = \lambda_1 (1 - \epsilon)$ ここに, $\lambda_1 = 0.8$, $\epsilon = 0.2$

$$\lambda = 0.64$$

2. 揚圧力 : $0.1 w_o H_D$ w_o : 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を参考にして³⁾, 空隙を含めた全投影面積に対して, 一様に $p_U = 0.1 w_o H_D$ 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

4. 解析方法 : 平面骨組構造解析 (弾性計算)

考

(2) 支持力の検討

		杭 列 No	杭 反 力 R (tf)	許容支持力 Ra (tf)
支 持 力	引 抜 側	1	26	42
	押 込 側	3	164	222

(3) 杭の算定

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)			
3	157.3	156.7	1,880	1,900	$\phi 700$, $t=32$, SKK50 腐食代 3.0mm 海中部

(注) 座屈長は小さく許容応力度の低減はない。

(4) 主要部材の算定

部 材	断 面 力	部 材 断 面 形 状 (unit:mm)	備 考
① 柱	$M = 178.6 \text{ tfm}$ $N = 32.5 \text{ tf}$ $S = 69.7 \text{ tf}$		- 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 - SRC構造
② 柱	$M = 182.1 \text{ tfm}$ $N = 155.2 \text{ tf}$ $S = 50.8 \text{ tf}$		同 上
③ 梁	$M = 99.2 \text{ tfm}$ $N = 27.1 \text{ tf}$ $S = 36.9 \text{ tf}$		- 骨組部材 - 束ねて配筋する
④ 梁	$M = 223.8 \text{ tfm}$ $N = 23.7 \text{ tf}$ $S = 75.8 \text{ tf}$		同 上

3.1.4 施工概要

(1) 概要

本構造物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、特に以下の点を配慮する。

- 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、ジャケット式の導材を用いる。

(2) 施工方法

本構造物の施工手順は図 3.1.8, 図 3.1.9 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 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, ③ ジャケット導材積み込み・打設

杭打精度を確保し、海上での導材設置工の時間を短縮するため 4 本足のジャケットを製作し、建設地点まで運搬し所定の位置に設置する。

④ 杭打ち

ディーゼルハンマーにより杭打ちを行う。4 本の打設が終了すればジャケットを次の位置に移動し、再び杭を打設する工程を繰り返す。

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、非航起重機船（ジブ旋回式 150t 吊）で台船に積み込む。

⑥ ブロック据付

PC 鋼棒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 PC 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を据え付ける。このとき、ブロック間の接合面にはコンクリートブロックと同等以上の強度を有する目地材を取り付ける。

⑦ 緊張

センターホールジャッキを用いて PC 鋼棒を緊張する。緊張力はブロックのなじみをよくすることおよび中詰等施工中にブロックが波によってずれたりすることがない程度とし、プレキャストブロックの断面積に対して 5 kgf/cm^2 程度の導入量とする。

⑧ 中詰コンクリート打設

非航起重機船で生コンを運搬し、ポンプ車を用いてトレミー工法により鋼管とブロック管の間に中詰コンクリートを打設する。PC 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。

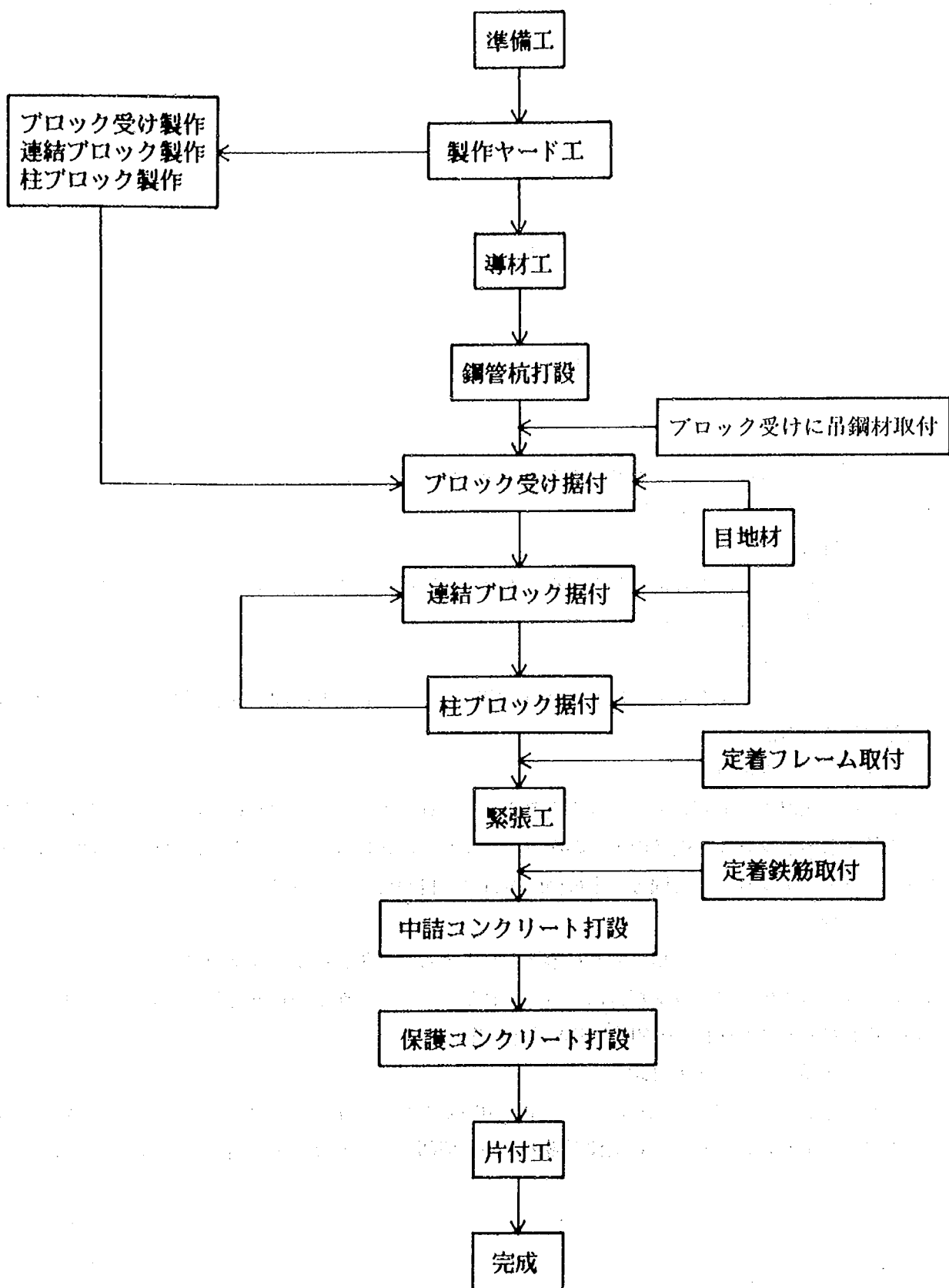


図 3. 1. 8 施工フロー

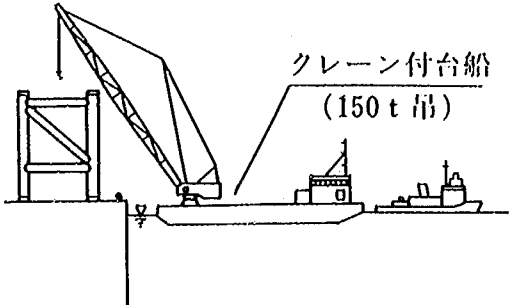
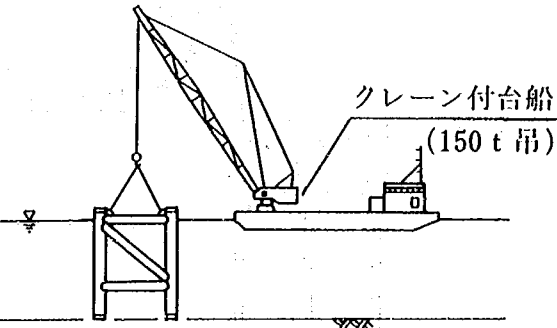
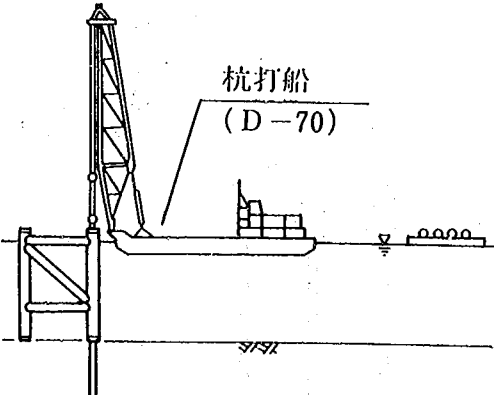
工種	① プレキャストブロック製作	② ジャケット導材積込
施 工 要 領 図		
主 な 作 業	アンカーブロック、梁ブロック、柱ブロックの製作	杭打ち精度を良くする目的でジャケット導材を用いる。
使 用 船 舶		クレーン付台船 (1500 t 積, 150 t 吊) 引船 (D800 PS), 揚錨船 (鋼 D10 t 吊) 交通船 (D50 PS) 潜水土船 (D30 PS)
工種	③ ジャケット導材据付	④ 杭 打 ち
施 工 要 領 図		
主 な 作 業	所定の位置にジャケット導材を設置する。 ジャケットの根入れはパイロハンマーによる。	パイロハンマーにより、鋼管杭を打設する。 打ち止めはディーゼルハンマーによる。
使 用 船 舶	クレーン付台船 (1500 t 積, 150 t 吊) 引船 (D800 PS), 揚錨船 (鋼 D10 t 吊) 交通船 (D50 PS) 潜水土船 (D 30 PS)	杭打船 (D-70 用), 引船 (D800 PS, D250 PS) 台船 (鋼 300 t) クレーン付台船 (1500 t 積, 150 t 吊) 揚錨船, 潜水土船, 交通船

図 3.1.9 (1) 施工要領図

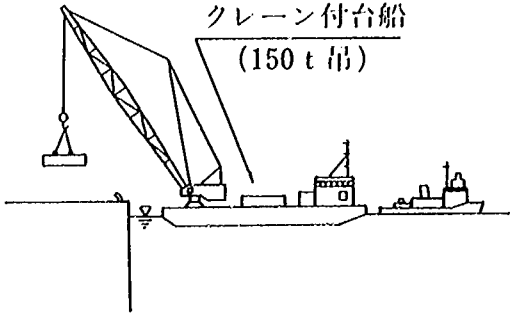
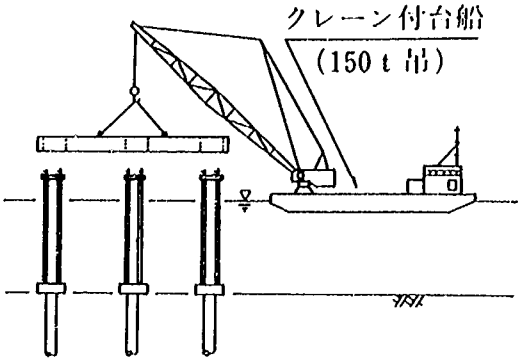
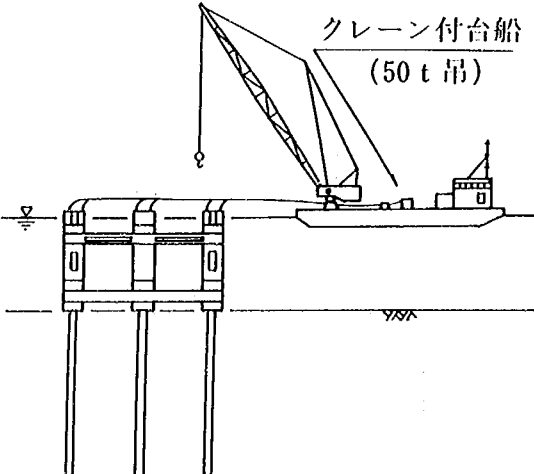
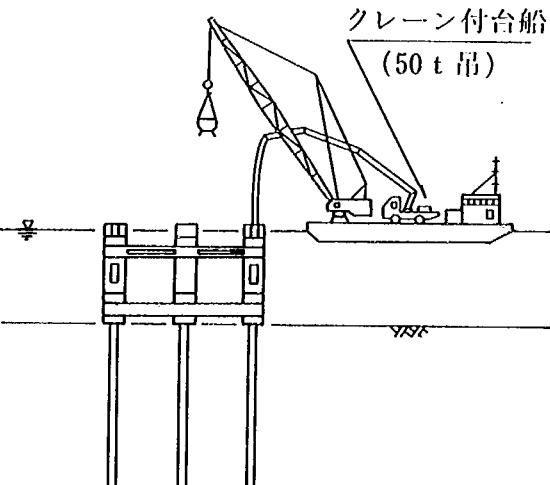
工種	⑤ ブ ロ ッ ク 積 込	⑥ ブ ロ ッ ク 据 付
施 工 要 領 図		
主 な 容 作 業	プレキャストコンクリートブロックを積み込み運搬する。	ブロック受け設置後プレキャストコンクリートブロックを順次据え付ける。
使 用 船 舶	クレーン付台船 (1500t積, 150t吊) 引船 (800PS), 揚錨船 (鋼D10t吊) 交通船 (D50PS) 潜水土船 (D30PS)	クレーン付台船 (1500t積, 150t吊) 引船 (D800PS), 交通船 (D50PS) 潜水土船 (D30PS) 揚錨船 (鋼10t吊)
工種	⑦ 緊 張	⑧ 中 詰 コンクリート打設
施 工 要 領 図		
主 な 容 作 業	プレキャストコンクリートブロックの据え付け完了後、PC鋼棒をセンターホールジャッキにて緊張し、ブロック間のなじみを良くする。	プレキャストコンクリートブロックと鋼管杭の間に、中詰めとしてコンクリートを打設する。
使 用 船 舶	クレーン付台船 (500t積, 50t吊) 引船 (D300PS), 交通船 (D50PS) 潜水土船 (D30PS) 揚錨船 (鋼D2t吊)	クレーン付台船 (1500t積, 150t吊, 500t積, 50t吊), 揚錨船 (鋼D10t吊) 潜水土船 (D30PS) 引船 (D800PS), 交通船 (D50PS)

図 3.1.9(2) 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 3. 1. 1～表 3. 1. 3 に示す。

表 3. 1. 1 数量総括表

種 類		単位	延長 150 m	備 考
鋼 管 杭		t	499	$\phi 700 \times 9$ t～14 t SKK41 本数144本
			455	$\phi 700 \times 32$ t SKK50 本数144本
プ レ ブ キ ロ ッ ス ク	コ ン ク リ ー ト	m ³	5426	$f'_{ck} = 300 \text{ kgf/cm}^2$
	鉄 筋	t	1085	SD30
	鋼 材	t	101	SS41
中 詰	コ ン ク リ ー ト	m ³	777	$f'_{ck} = 300 \text{ kgf/cm}^2$
	P C 鋼 棒	t	57	SD30
	鉄 筋	t	155	SS41
場 所 打	コ ン ク リ ー ト	m ³	216	$f'_{ck} = 300 \text{ kgf/cm}^2$
	鉄 筋	t	43	SD30
	鋼 材	t	150	SS41

表 3.1.2 主要使用船舶・機械一覧表

船 舶 ・ 機 械 名	仕 様	台 数
ク ロ ー ラ ー ク レ ーン	40t 吊	2
ト ラ ッ ク	4t	2
杭 打 船	D-70用	2
デ ィ ー ゼ ル ハ ン マ ー	D-70	2
バ イ ブ ロ ハ ン マ ー	150KW	2
ク レ ーン 付 台 船	1500t 積, 150t 吊	1
	500t 積, 50t 吊	1
台 船	鋼300t	2
引 船	D800PS, D300PS	各2
	D250PS	
潜 水 士 船	D30PS	1
揚 錨 船	鋼2t 吊	各2
	鋼D10t 吊	
交 通 船	D50PS	各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	6
油 圧 ポ ン プ	50t 用 12 連式	2
バ ケ ッ ト	6 m ³	12
発 電 機	16KVA	1
ポ ン プ 車	ブーム式	1

表 3.1.3 工程表

項 目		7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月
準 備 工	1 式	30日 □									
ブロック製作工	504 個		150日 □								
鋼管杭打設工	144 本					60日 □					
ブロック据付工	504 個							60日 □			
緊 張 工	144 セット								30日 □		
中詰コンクリート工	1 式									30日 □	
片 付 工	1 式										10日 □

3.1.5 構造物の適用性と今後の課題

スリット型構造物をブロックタイプで計画し、設計・施工の検討を行った。設計上の大きな特徴は柱・梁接合部の設計に「鋼管コンクリート構造計算規準・同解説」（日本建築学会）を用いて、プレストレスを導入しないブロックタイプとして検討したことにある。したがって柱部材の設計には累加強さ式を用い、接合部は、梁の鉄筋コンクリートの許容耐力の半分の耐力を柱の鉄筋コンクリート部分が有する設計となっている。ブロックタイプ（中詰めコンクリートは一体）への上記設計手法の適用にあたっては、いくつかの実験を行い、設計法の妥当性を確認している。

構造設計上の大きな特徴は、柱部材をSRC構造（鋼管コンクリート構造）、梁部材をRC構造としていることである。柱部材はブロックを結合したものであり、一体ものの構造に比べて若干の剛性の低下が生じるのを構造実験により確認している。設計ではこの剛性の低下を考慮しており、通常の一体構造に比べて若干変位が大きくなるため、変位が許容できる構造に適している。一方、耐波設計上、構造は鉛直スリット壁をつなぐ梁部材が多数必要であり、梁部材に消波機能を持たせることにより、さらに合理的な構造にすることも考えられる。また、構造物の天端を下げる事が可能であれば、構造物に作用する波力を低減できると考えるため、天端を下げた場合の消波機能について今後検討の必要がある。本構造の今後の課題を表3.1.4に示す。

表 3.1.4 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 消波効果	周期 6 sec~10 sec, 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。	耐波構造のためには、スリット壁間に多くの梁部材を必要とする。梁部材を水面付近に設置することにより梁部材に透過水平板的な消波効果を持たせることができると考えられ、それらを検討する必要がある。
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（10 sec 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。
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。 設計波高と安全率の考え方を明確にする。
② 構造部材	S R C 柱, R C 梁	ひび割れ、疲労強度など耐久性に関する検討。
3. 施 工		
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。

3.2 多重スリット型（ブロックと杭）*

3.2.1 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PC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PC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杭頭へ伝える。

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。3段の梁のうち、中段、下段の梁はSRC、上段はRC部材である。鉄骨及び鉄筋は、柱部中のスチフナープレートを通じ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。なお、下段の梁にはメインPCケーブルのデッドアンカーが埋め込まれている。

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接合される。

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ユニットを構成し、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る。）

(2) 特徴

① 主要構造部材のほとんど陸上で製作するため、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。

④ インナーケーブル方式の採用により、終局耐力を大きくできること、杭打設誤差に起因するプレストレス力による偏心モーメントを排除できること、各ブロックを精度良く接合できることなどの利点が得られている。

⑤ 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3.2.1に示す。また、構造一般図を図3.2.2～3.2.3、プレキャストブロック構造図を図3.2.4、詳細図を図3.2.5に示す。

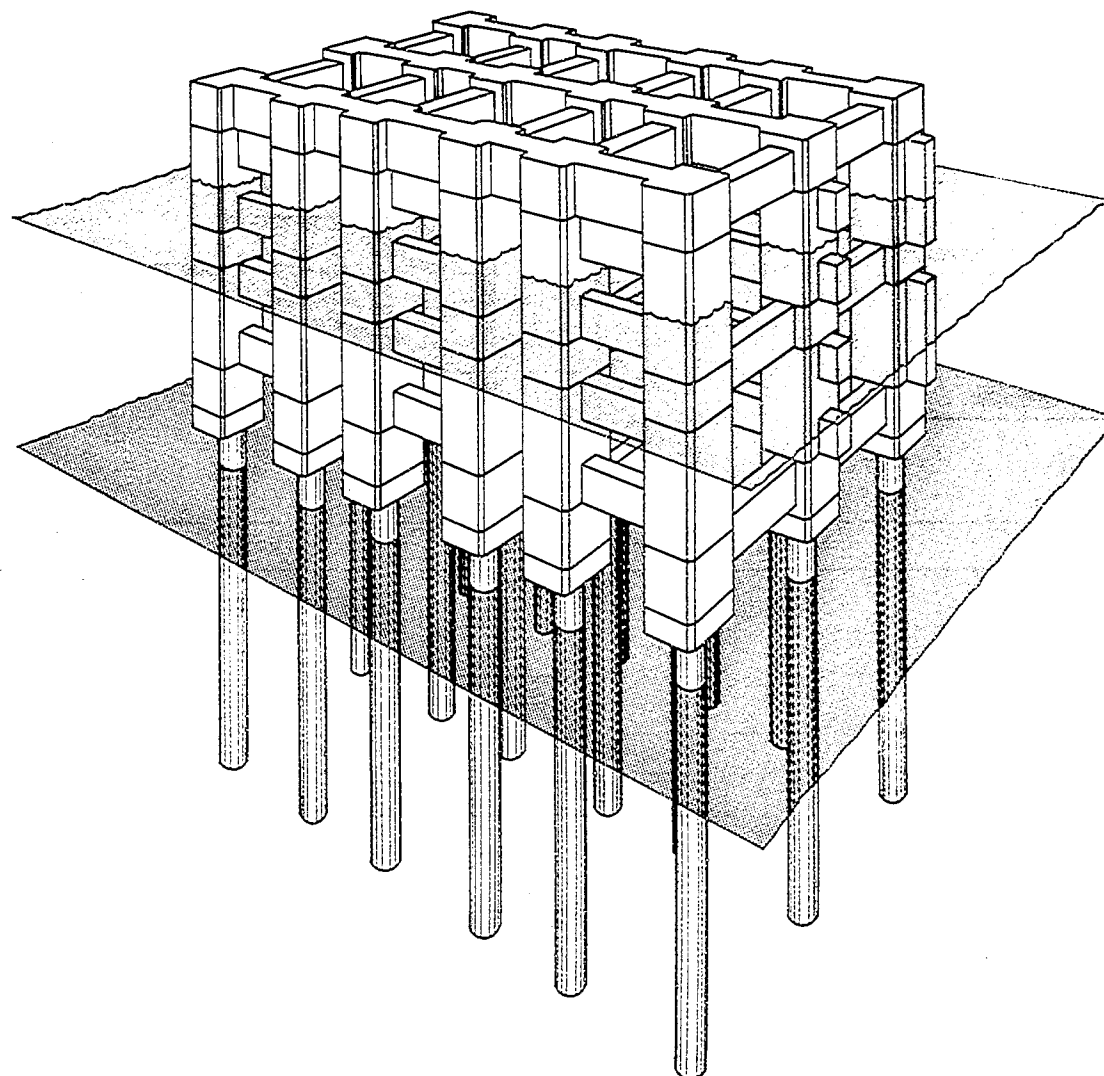
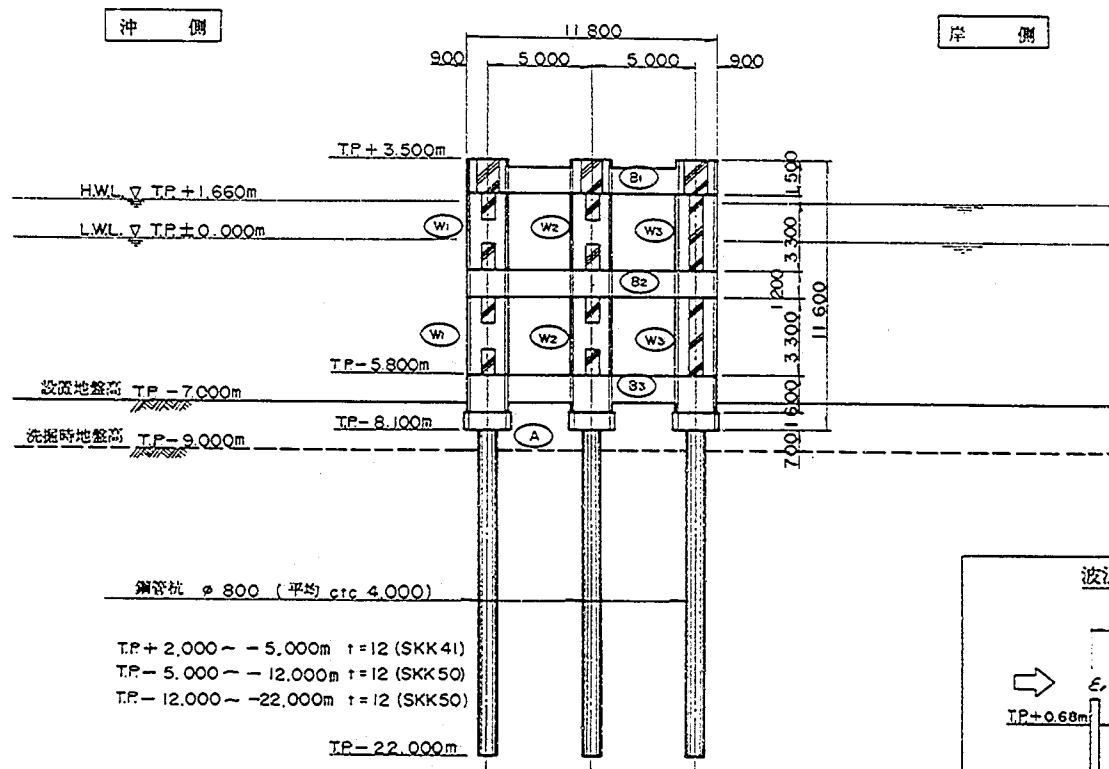


図 3.2.1 多重スリット型（ブロックと杭）の鳥瞰図



注) ○ はプレキャスト・ブロック名を示す。
 なお +2.000 以上の法線平行方向突は
 現場打ちとする。

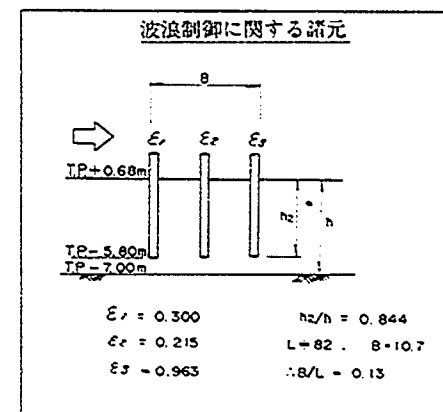


図 3.2.2 構造一般図(1)

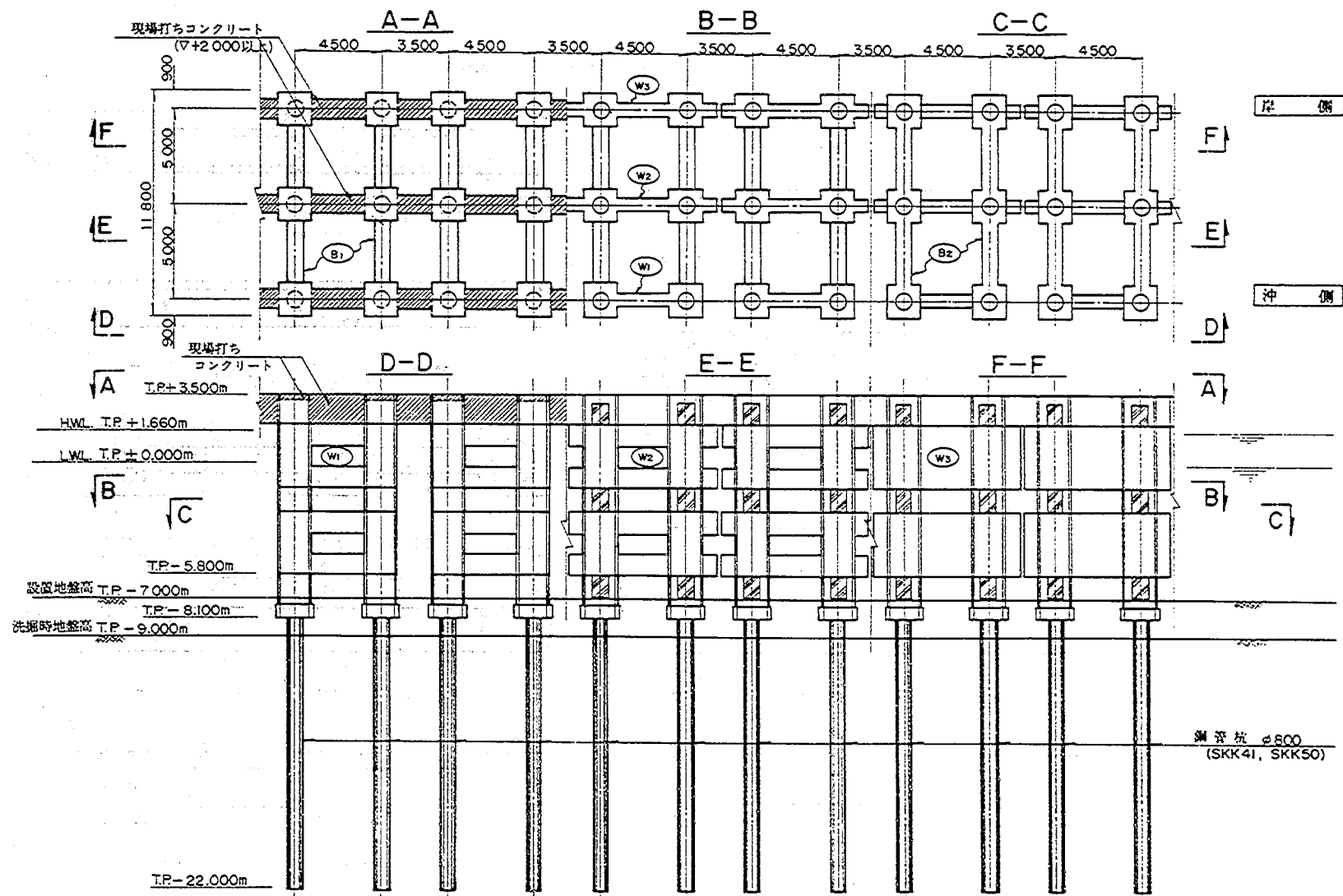


図 3.2.3 構造一般図(2)

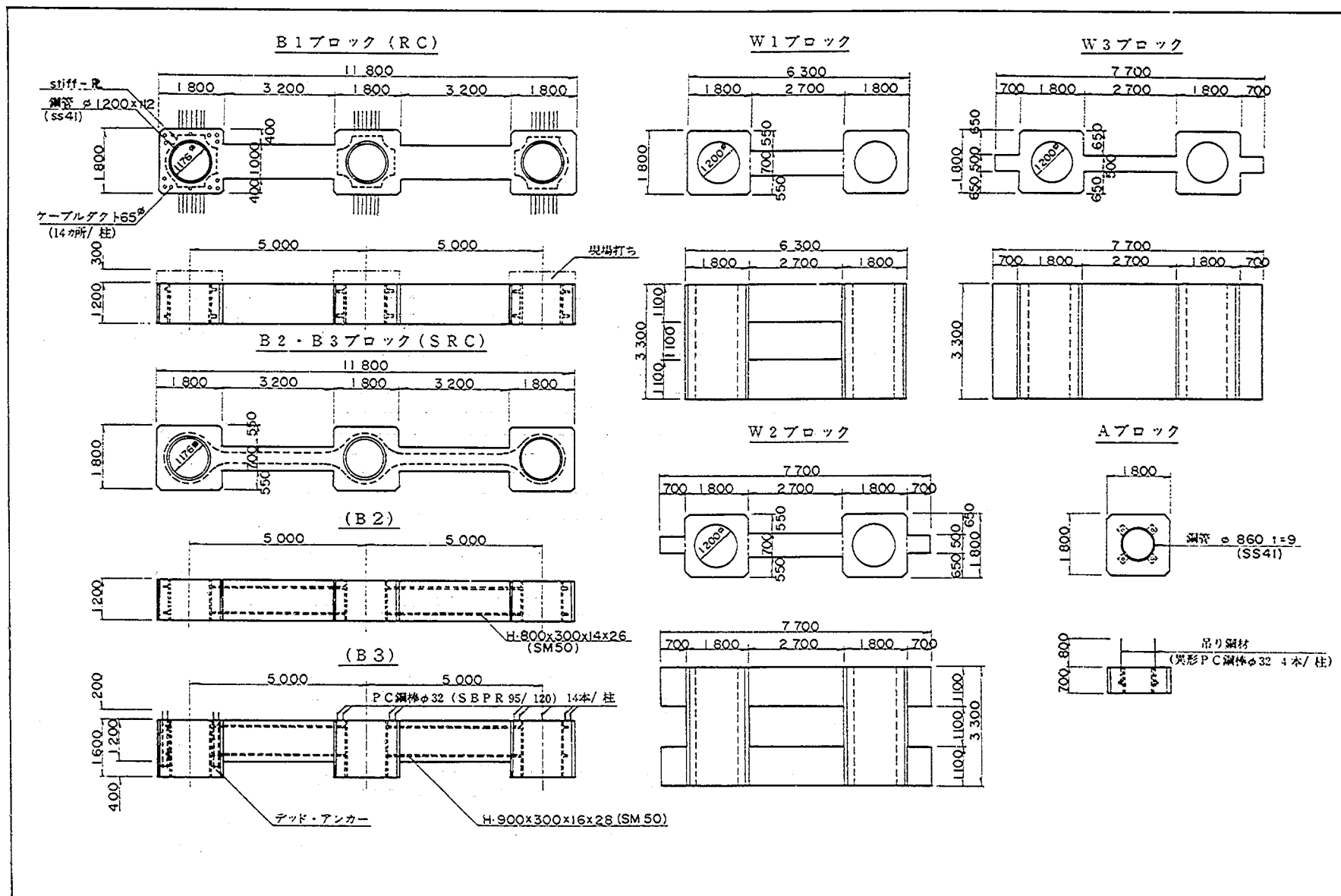
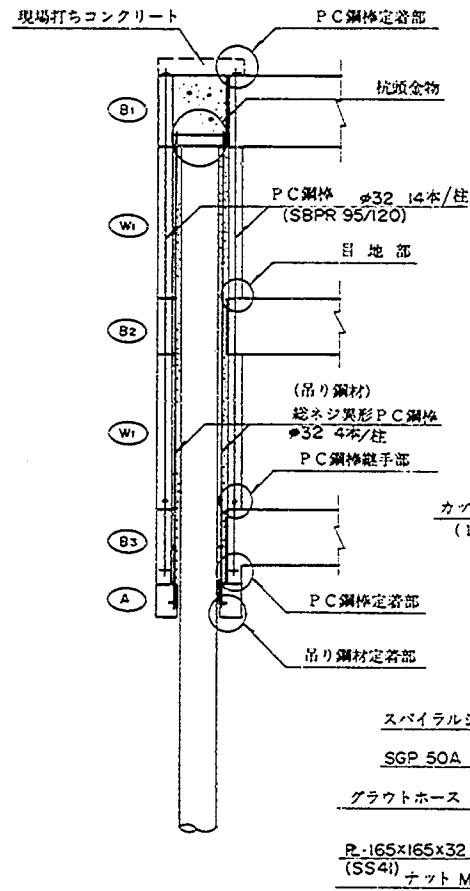


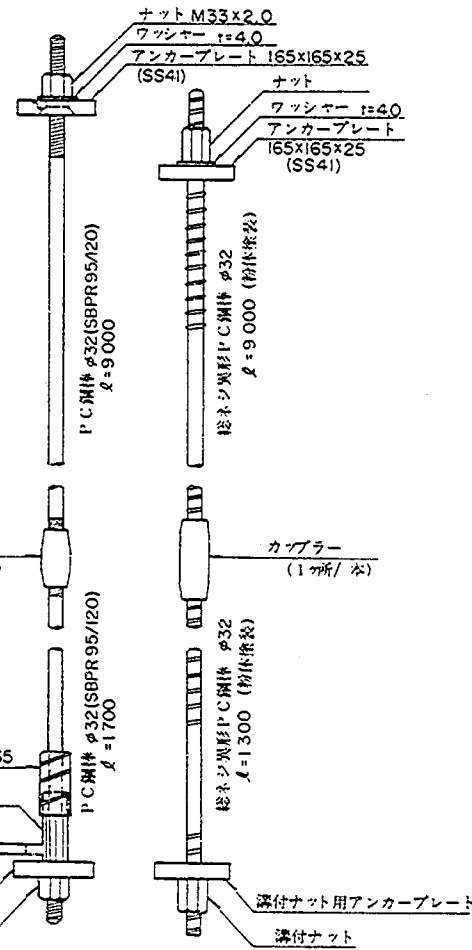
図 3.2.4 プレキャストブロック構造図

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)

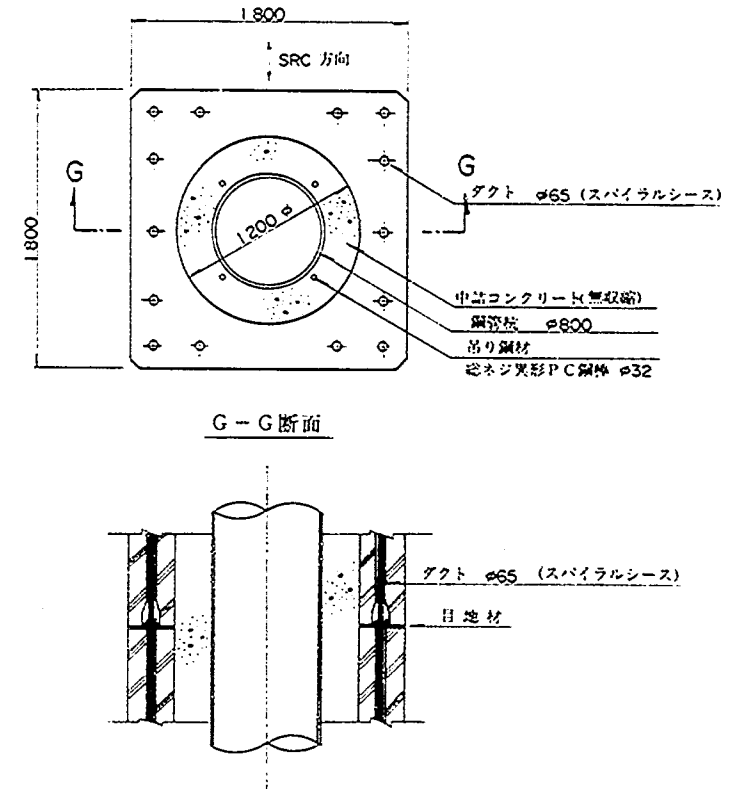


図 3.2.5 詳細図

3.2.2 構造諸元

図 3.2.6 に示す水理模型実験結果から、スリット壁の枚数 $N = 3$ の場合にはスリット壁の空隙率を沖側から順番に $\varepsilon_1 = 0.3$, $\varepsilon_2 = 0.2$ および $\varepsilon_3 = 0.1$ にとり、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 $K_R \leq 0.5$ を満足する構造諸元が得られる。今回の消波機能が要求される波浪条件に上述の実験結果をあてはめることにより、図 3.2.7 に示すような構造諸元を決定した。

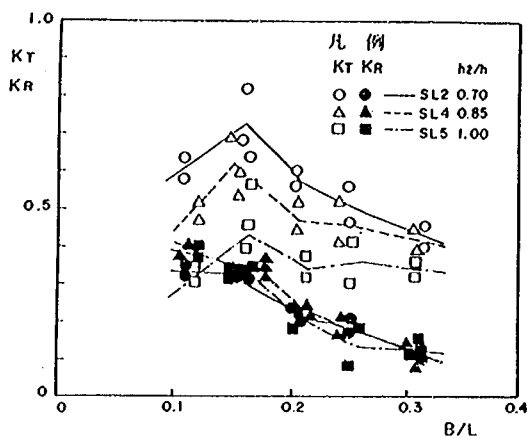


図 3.2.6 スリット型 (SL2, SL4, SL5) の K_T , K_R と B/L の関係 ($B/h = 1.5$, $N = 3$, $\varepsilon_1 = 0.3$, $\varepsilon_2 = 0.2$, $\varepsilon_3 = 0.1$)

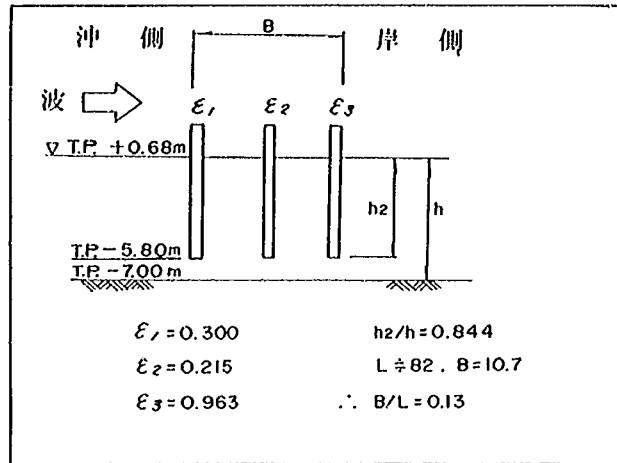


図 3.2.7 構造諸元

* 執筆：萩原運弘（清水建設株式会社技術研究所）
畑山義人（清水建設株式会社土木本部設計部）

3.2.3 設計計算

(1) 設計荷重及び解析法

荷 重 図					
	波 浪 条 件	波高 Hmax	7.56 m	波 力 計算結果 (奥行き 1 m 当り)	$P_1 = 4.95 \text{ tf/m}^2$ (合田波力 $\times \lambda$)
		周期 T	14.0 秒		$P_2 = 4.57 \text{ tf/m}^2$ (")
		波力低減係数	$\lambda = 0.64$		$P_4 = 4.15 \text{ tf/m}^2$ (")
					$P_M = 0.40 \text{ tf/m}^2$ (モリソン式による 1.61 tf/m 1 本)
備 考	1. 波力低減係数の算定式: $\lambda = \lambda_1 (1 - \epsilon)$ ここに, $\lambda_1 = 0.8$, $\epsilon = 0.2$ (空隙率 $\epsilon_1 = 0.3$, $\epsilon_2 = 0.2$, $\epsilon_1 = 0.1$ の平均) 従って, $\lambda = 0.64$ 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。なお, 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力を除き, 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 $k_h = 0.15 \text{ N (kgf/cm}^3\text{)}$ として推定する。				

(2) 支持力の検討

		杭 列 No	杭反力R (tf)	許容支持力 Ra (tf)
支持力	引 抜 側	1	7 2	7 8
	押 込 側	3	2 4 5	4 1 5

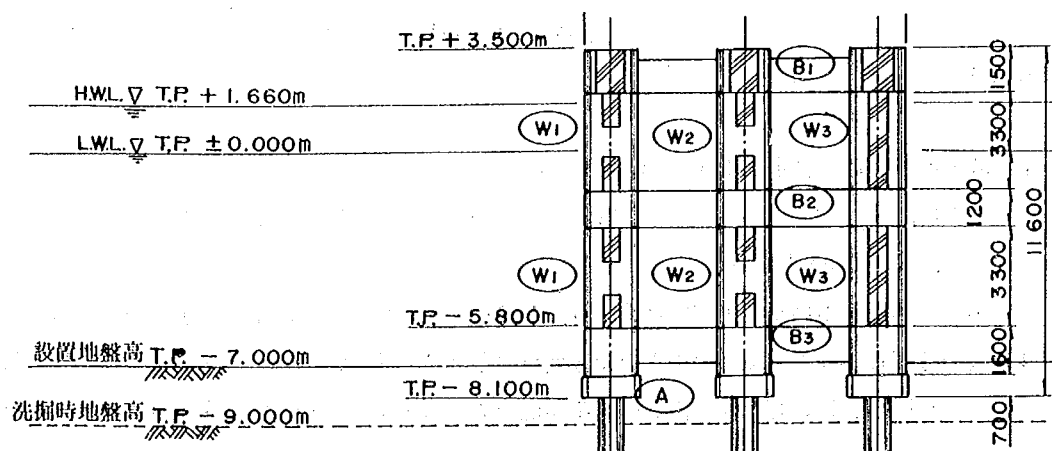
(3) 杭の算定

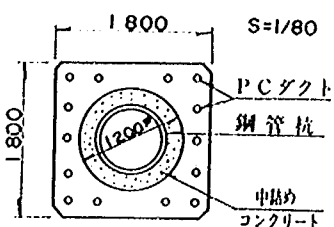
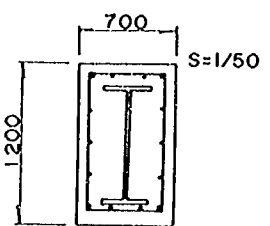
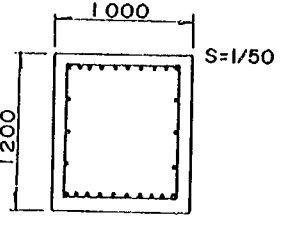
杭列No	設 計 断 面 力		発生応力度 σ_s (kgf/cm ²)	許 容 応 力 度 σ_{sa} (kgf/cm ²)	備 考
	軸 方 向 力 N (tf)	曲げモーメント M (tfm)			
3	245.1	146.3	1893	1900	-7.4 部軸力最大 $\phi 800 \times 22$ (SKK 50) 腐食代なし

(注) 1. -7.4 m 以上についてはRCリングと鋼管との合成構造として考える。

2. 座屈長が小さく、許容応力度の低減はない。

(4) 主要部材の算定



部材名	設計断面力	部材断面形状	備 考
ポストテンション PC柱	$M = 206.0 \text{ tfm}$ $N = -71.9 \text{ tf}$ (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. - 6.4 m 部にて決定。 - PC鋼棒 $\phi 32$ (SBPR 95/120) 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。 - プレストレッシング直後、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。
SRC梁 (B3)	$M = 202.4 \text{ tfm}$ $N = 5.3 \text{ tf}$		- H - 900 × 300 × 16 × 28 (SM50) 及び主筋 4 - D22。 - 累加強度方式にて照査。 - B2 梁は H - 800 × 300 × 14 × 26 (SM50)。
RC梁 (B1)	$M = 84.5 \text{ tfm}$ $N = -45.2 \text{ tf}$ $S = 38.7 \text{ tf}$		3列目のスリット壁に全波力を載荷して解析したため軸引張力が大きく算出されているが、安全のためこれを考慮して設計する。 (主筋 10 - D29)

3.2.4 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製作する陸上作業（ヤード内工事）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、以下のとおりである。

① プレキャスト部材の陸上製作ヤードからの浜出し方法としては、ステップ移動台車（レール式）の上にプレキャスト部材を載せてウィンチにより岸壁まで引出す方法とした。

② 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、予じめ導材を設けておき、鋼管杭の打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。

③ プレキャストブロックの一体化を図るためのPC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（対称位置）ずつ緊張・定着する事とした。

(2) 施工方法

本構造物の施工手順は、図3.2.8、図3.2.9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 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浜出し・運搬工

プレキャストブロックの浜出しは、ステフ移動台車（64 t 積）により行う。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（100 t 吊）により行い、台船（3,000 t 積）に積込み、現地で運搬する。

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 m）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（150 kw）で打設していき、打止めは、ディーゼルパイルハンマー（D-70）により行う。打設完了した鋼管杭から、順次杭頭部を仮固定する。

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（100 t 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の隙間をコンクリートミキサー船（60 m³/hr）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/hr）により打設する。

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 3.2.1 ～ 3.2.3 に示す。

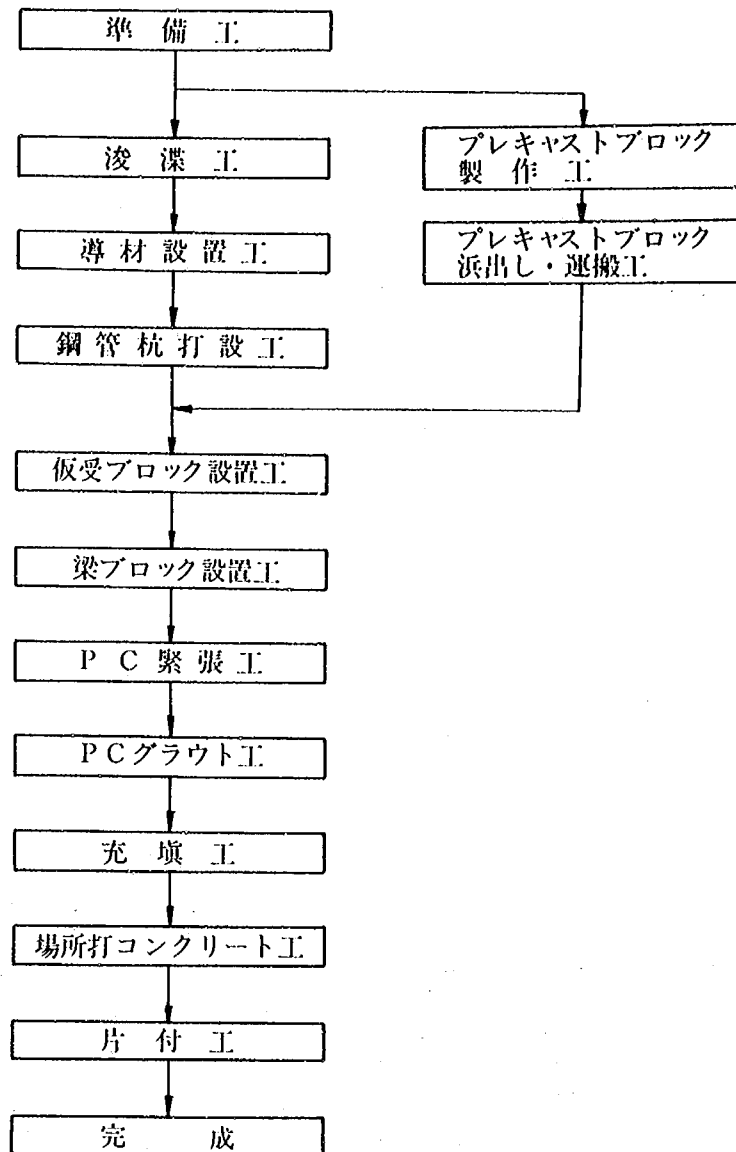


図 3.2.8 施工フロー図

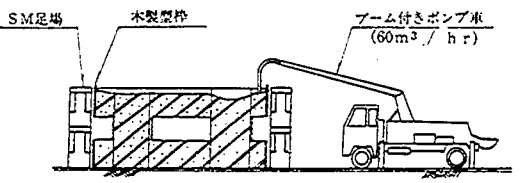
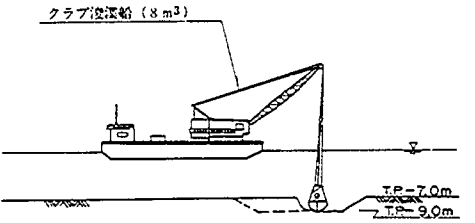
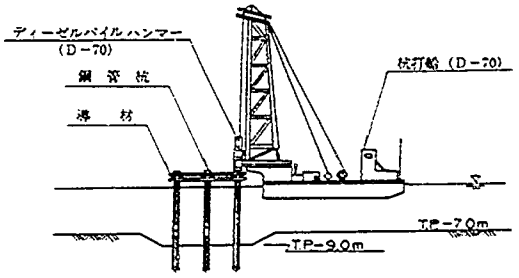
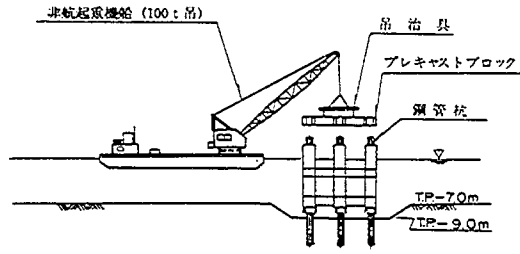
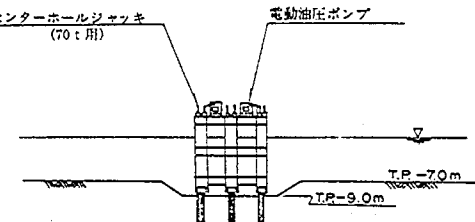
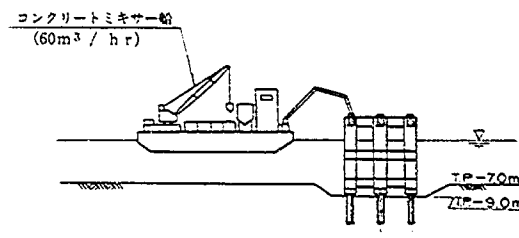
工種	① プレキャストブロック製作工	② 浚 渫 工	③ 鋼 管 杭 打 設 工
施 工 要 領 図			
主 要 作 業 内 容	1) プレキャストブロックは陸上作業ヤードにおいて作業する。 2) スリット付ブロックの製作は、2ロットに分けてコンクリート打設する。 3) 上記以外のブロックの製作は、一度にコンクリート打設する。	1) 当該構造物設置位置を所定深度までグラブ浚渫船により浚渫する。	1) 鋼管杭打設に先立って、打設精度を高くする目的で導材を設置する。 2) 鋼管杭は、バイルハンマー(150km)で打設していき、打止め(1m範囲)はディーゼルバイルハンマー(D-70)により行う。
使用船舶		グラブ浚渫船 (8 m³) 揚 錨 船 (20t 吊) 引 船 (800 PS) 土 運 船 (800 m³)	杭打船 (D-70用) 台 船 (1,500 t 積) 引 船 (800PS) 非航クレーン付台船 (25 t 吊) 揚錨船 (20 t 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 要 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の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) 緊張定着後、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 (100 t 吊) 台 船 (3,000 t 積) 引 船 (800PS) 潜水士船 (30 PS) 揚 錨 船 (20 t 吊)	プラント用台船 (鋼 300 t 積) コンクリートミキサー船 (60m³/hr) 引 船 (800 PS) 引 船 (200 PS) 揚 錨 船 (20 t 吊) 潜水士船 (30PS)	コンクリートミキサー船 (60m³/hr) 引 船 (800PS) 非航クレーン付台船 (25 t 吊) 揚 錨 船 (20 t 吊) 引 船 (200 PS)

図 3.2.9 施工要領図

表 3.2.1 数量総括表

種 類		単 位	延 長 150 m	備 考
鋼 管		t	788	L=2,736 m, 本数114本
P C 鋼 棒	P C 鋼 棒	t	107	L=17,077 m, 本数1,596本
	吊 P C 鋼 棒	t	31	L=4,696.8 m, 本数456本
ブレ キャスト	コンクリート	m³	4,150	$f'_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2$
	鉄 筋	t	397	S D 30
	鋼 材	t	155	S S 41
中詰グラ ウトコン クリート	注入モルタル	m³	41	
	間詰コンクリート	m³	625	
場 所 打 コンクリート		m³	634	
浚 渫		m³	11,761	

表 3.2.2 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)	1
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 m³/hr	1
プ ラ ン ト 用 台 船	鋼300 t 積	1
グ ラ ブ 浚 渫 船	8 m³	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 m³	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
ス テ フ 移 動 台 車	64 t 積	10
バ イ ブ ロ ハン マ ー	150 kw	1
ディーゼルパイルハンマー	D-70	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 3.2.3 工程表

項 目			8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
準 備 工	1 式		30 日			15 日							
プレキャストブロック製作工	342個			92 日									
プレキャストブロック浜出し・運搬工	342個				110 日								
浚 渫 工	11,761m ³					15 日							
導 材 設 置 工	1 式						51 日						
鋼 管 杭 打 設 工	114本						36 日						
仮受ブロック設置工	114個						45 日						
梁ブロック設置工	342個						55 日						
P C 鋼材設置・緊張工	1,596本							60 日					
P C グラウト工	40.844m ³							65 日					
充 填 工	624.7m ³							65 日					
場所打コンクリート工	634.2m ³									30 日			
片 付 工	1 式										30 日		

3.2.5 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ファ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形式」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いくつかの不確定事項が存在した。そのうち最も大きなものは「波力」の算定方法である。これに対しては2.2.12に述べてあるように1/25模型を用いた波力実験結果より推定したが、今回の波浪条件に適合するかどうかは明らかではない。また、「波力」以外の不確定事項は「疲労強度」や「施工精度」など、主として構造設計と施工に関するものであるが、これらに対しては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、その分はコスト的に不利な要素となっている。機能的に、そして経済的により洗練された構造物を目指すに当たって、なお表3.2.4のような課題を指摘することができる。なお、この形式の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この消波形式を実現させる構造として考えられる。上記の課題と合わせ、今後研究を進める価値があると思われる。

表 3.2.4 多重スリット型（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 消波効果 ② 波力 ③ 漂砂・洗掘	61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見出した。 非砕波時の全波力についての検討。 検討を行っていない。	現実的な構造形状に対する消波項目の確認。 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	許容応力度設計法による。 最大波高に対して常時扱いで検討。 PC柱, RCまたはSRC 構造の梁。	限界状態設計法により, それぞれの限界状態にとって最も適切な安全性の検討方法を確立する。特に, ・波力の特性値 ・RC, PC水中部材の疲労強度 ・耐海水性（主にひびわれに対して） 新素材を用い, 軽量化（かぶり小）と曲げ耐力・耐腐食性の増大を図る。
3. 施 工 ① 杭打ち ② ブロック積	杭打ち精度に課題有り。 海上工事の稼働率の低さ。 ブロック間の接合部は, 水中硬化型接着モルタルを使用。 ブロックの製作誤差による施工の悪さ。	杭打ち精度を上げる杭打設工法の開発及び適切な導材工の開発。 稼働率の向上。 緊張時, ブロックに偏荷重が作用しないよう最適な強度, 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。 ブロックの大型化による施工法の改善を図る。

3.3 水平板付きスリット型1（ブロックと杭）*

3.3.1 構造概要

本構造は、1枚の水平板と2枚のスリットを持つ消波構造物であり、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、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P C鋼材により緊張する新しい方法を提案している。

(1) 構造の概要

① 構造体は、鋼管杭と梁・柱・水平板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P C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、予め、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（P C鋼材）と、柱にプレストレスを導入するためのシース付きP C鋼材が埋め込まれている。

③ 岸沖方向の中段・下段梁ブロックは、3本の杭を同時に連結する構造となっている。一方、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 沿岸方向の梁ブロックは、消波性能上必要とされる空隙率を確保するための壁を有し、隣り合う2本の杭をつなぐ。なお、中列は、消波に効果がないことから、構造上最上段の梁のみとした。

⑤ 水平板ブロックは、柱ブロックに消波性能上必要とされる水平板を取り付けたブロックで、据付後のブロック間の隙間は、消波実験結果から決定した。

⑥ 梁ブロックの柱部分、水平板ブロック及び、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P C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より接合される。

⑦ 堤体は、杭6列、30mを1ユニットとし、5ユニット、150m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3.3.1に示す。また、構造一般図を図3.3.2～3.3.4に、プレキャストブロック構造図を図3.3.5に、詳細図を図3.3.6に示す。

* 執筆：高木春生（三井建設株式会社土木本部土木技術部）

吉川雅人（三井建設株式会社土木本部土木技術部）

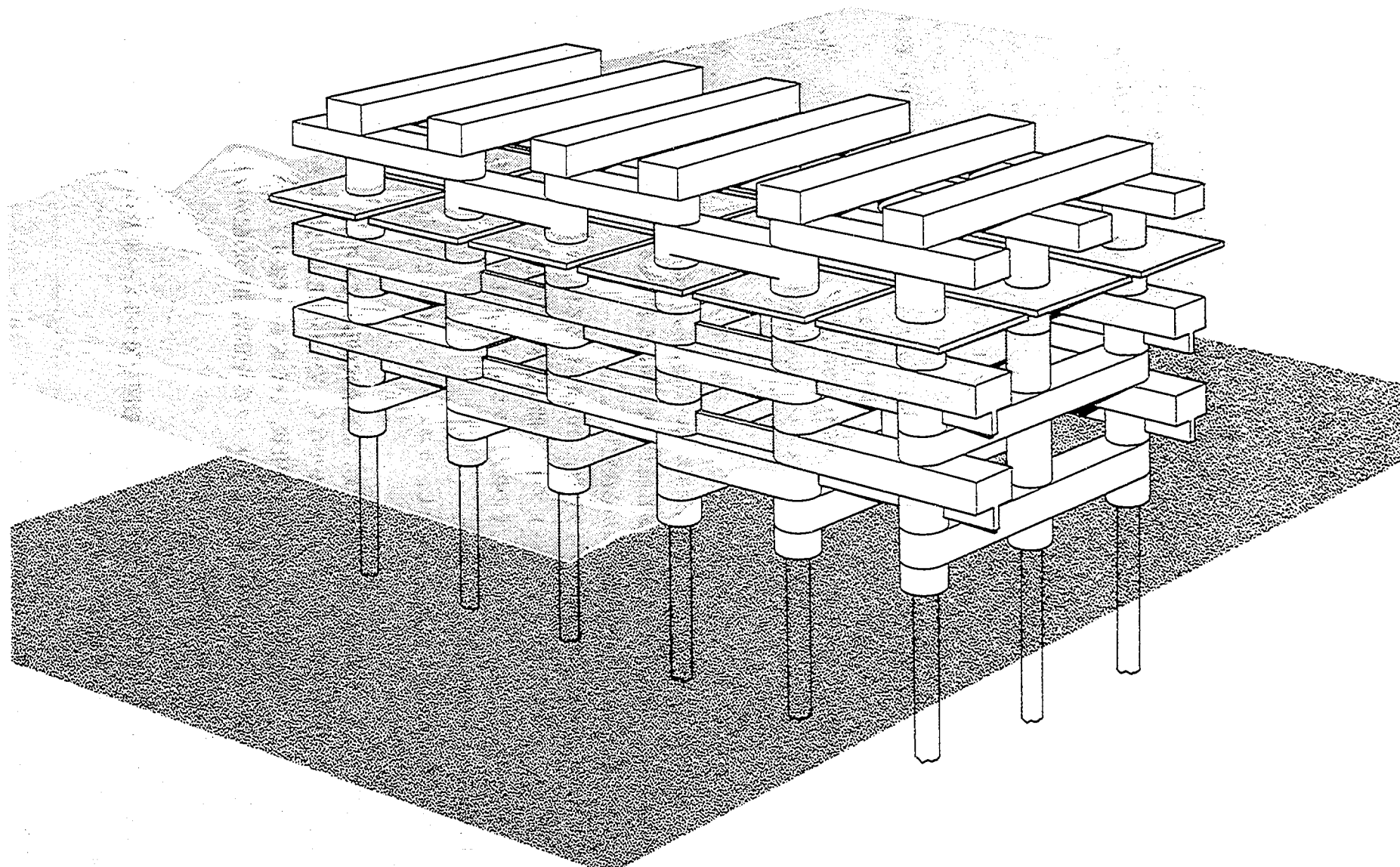


図 3.3.1 水平板付きスリット型1 (ブロックと杭) の鳥瞰図

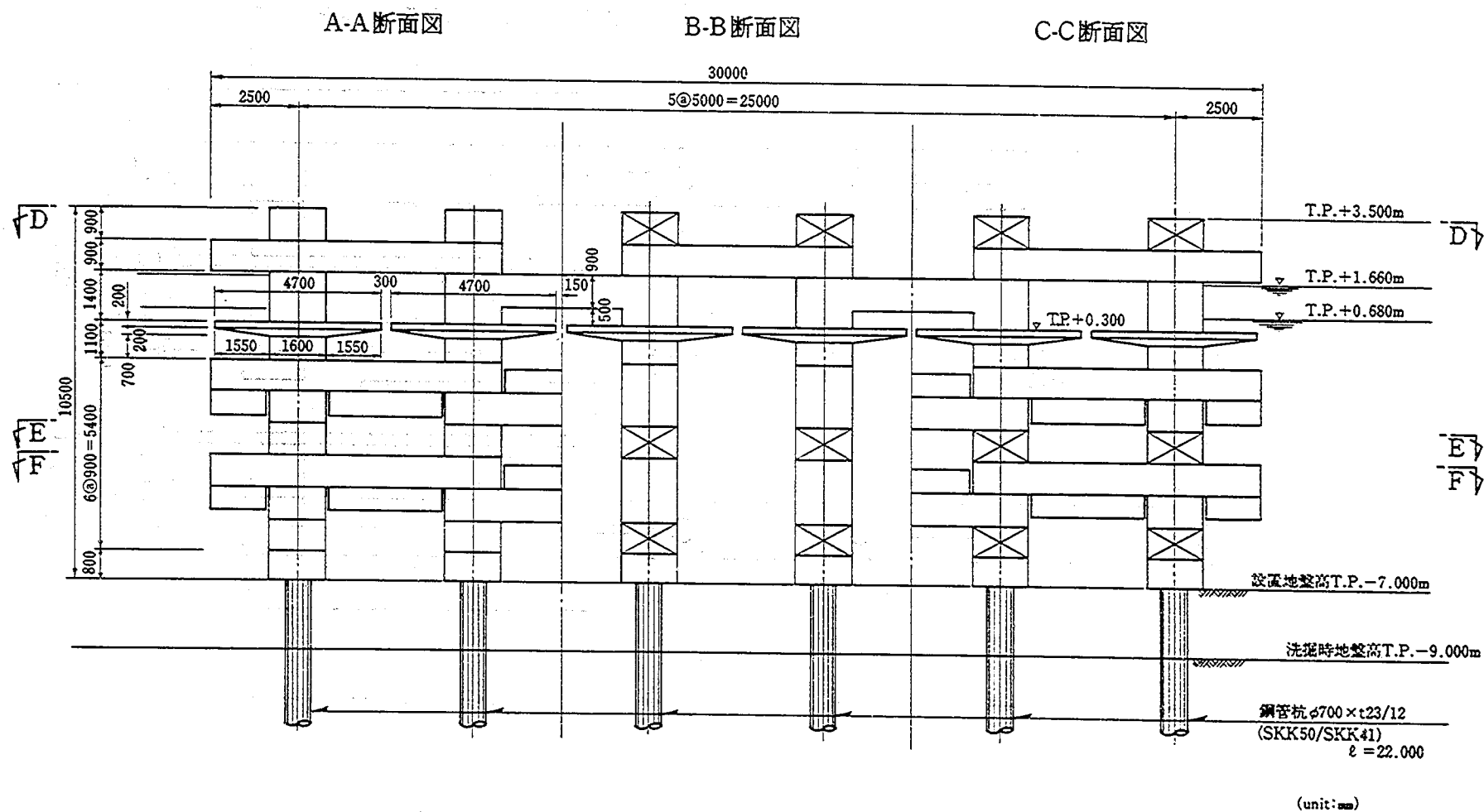


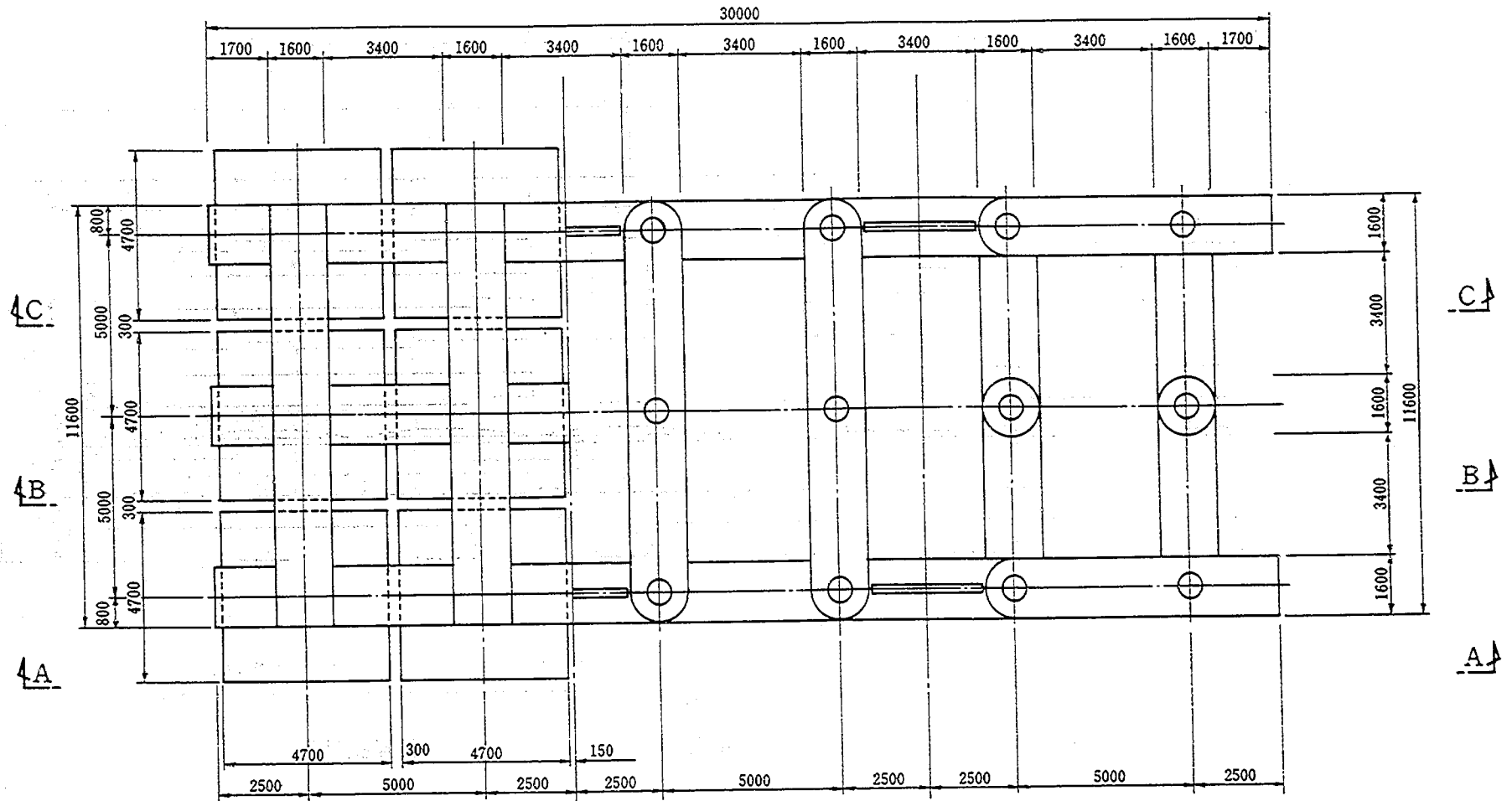
図 3.3.2 構造一般図(1)

D-D断面図

E-E断面図

F-F断面図

沖側



岸側

図 3.3.3 構造一般図(2)

(unit : mm)

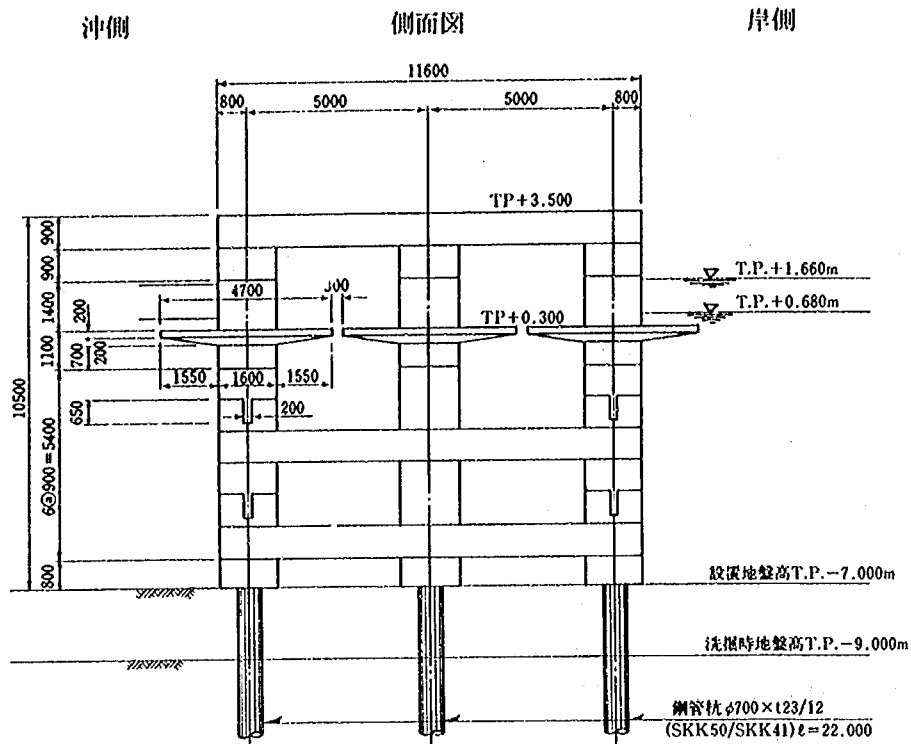
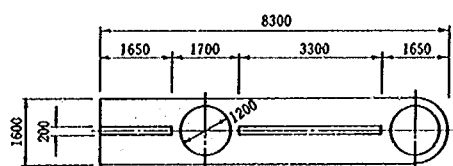
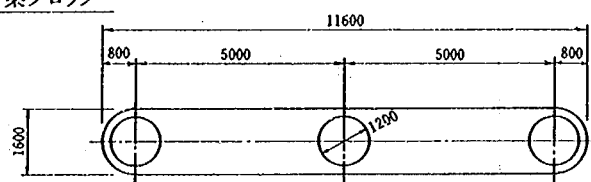
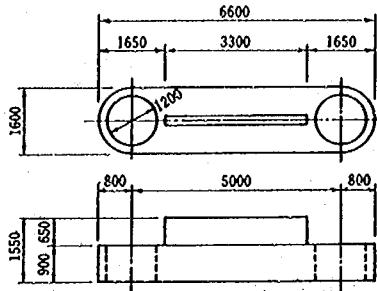
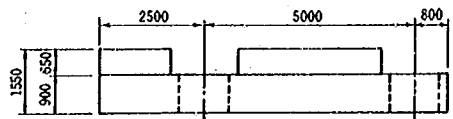


図 3.3.4 構造一般図(3)

梁ブロック



柱ブロック



(unit: mm)

図 3.3.5 プレキャストブロック構造図

PC 鋼棒配置図

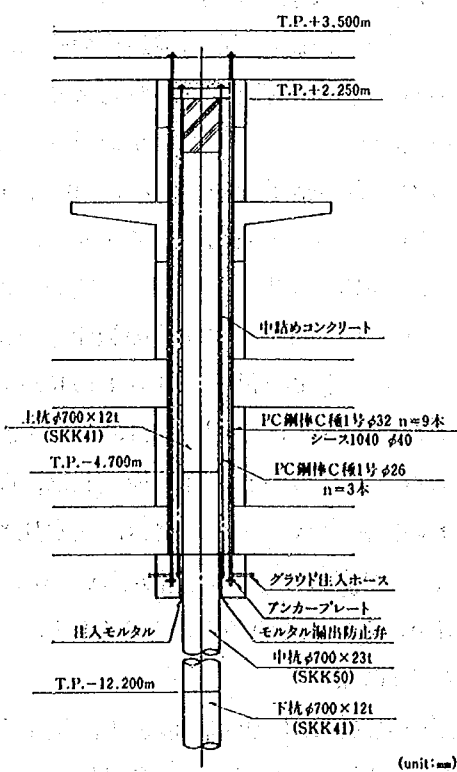


図 3.3.6 詳細図

3.3.2 構造諸元

波浪制御に関する構造諸元の決定にあたり、先に行った水平板付きスリット構造の水理模型実験結果の中のPLS4を参考にした。PLS4は、図3.3.7に示す形状である。

水平板枚数 1枚, 空隙率 0.1
 水平板位置 水深比 $R/h = 0.05$
 吃水比 $h_2/h = 0.7$
 鉛直壁 3枚, 空隙率 0.4

その実験結果を図3.3.8に示す。図中、長周期の波に対して透過率が0.6を越えている。これを低減するには、鉛直スリットの消波効果が高めることが有効である。具体的方法として、鉛直スリット壁の空隙率を小さくするか、吃水比を大きくすることが考えられる。

ここで、鉛直スリットの空隙と、構造体と海底面の間の空隙の和を水深で割って空隙率 ϵ' を定める。

$$\epsilon' = \epsilon_v \cdot h_2/h + (1 - h_2/h) \quad (3.3.1)$$

ここに、 ϵ' は水深に対する空隙率、 ϵ_v は鉛直スリット壁の空隙率、 h_2 は構造体の吃水、 h は水深である。土木研究所で行われたスリットに関する消波実験結果と、今回の水平板付きスリットに関する消波実験結果の中で $B/L = 0.1$ における K_T の値を縦軸に、 ϵ' を横軸として示すと、図3.3.9となる。図中、スリットに関する実験値と水平板付きスリットに関する実験値の範囲を包絡線で示す。そこで、水平板付きスリットの K_T が0.6以下となるためには、ほぼ $\epsilon' \leq 0.4$ の条件を満たす必要があることがわかる。言い換えれば、①鉛直スリットの空隙率 $\epsilon_v = 0.3$ の場合、吃水比 $h_2/h \geq 0.85$ 、②鉛直スリットの空隙率 $\epsilon_v = 0.4$ の場合、吃水比 $h_2/h = 1.0$ の条件のどちらかを満たさなければならない。

上記の検討結果に加え、構造上、施工上の条件を考慮し、以下の構造諸元を決定した。

鉛直壁 2枚, 空隙率 = 0.4, 吃水比 = 1.0

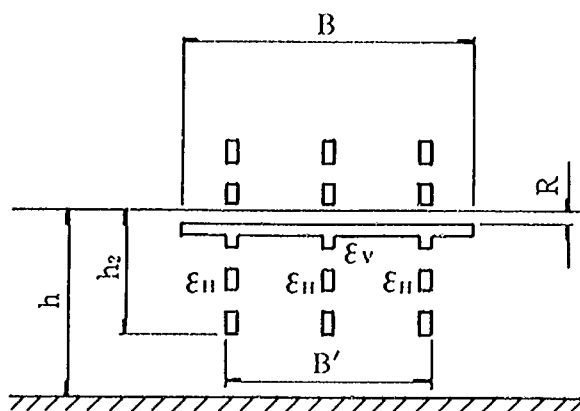


図3.3.7 構造諸元

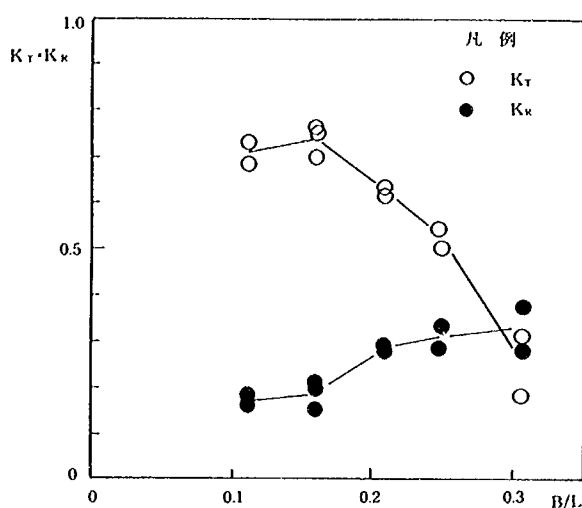


図3.3.8 $K_T \cdot K_R$ と B/L の関係

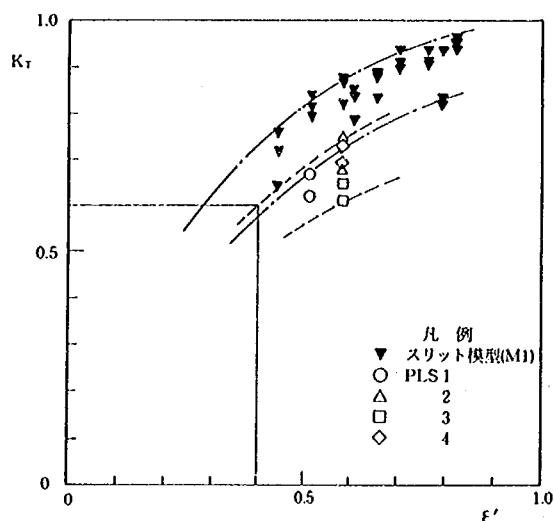


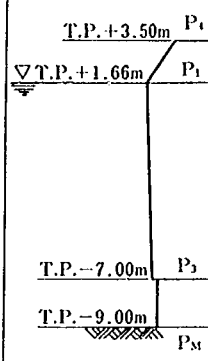
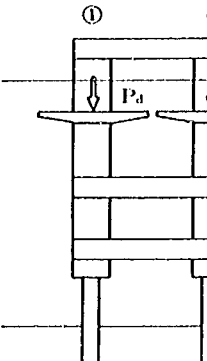
図3.3.9 水深に対する空隙率(ϵ')と透過率(K_T)の関係 ($B/L = 0.1$)

水平板 1 枚, 空隙率 = 0.1, $B/L \geq 0.18$, 位置 $R/h = 0.05$

ここに, L は入射波長であり, 2.2.3 で与えられた波浪条件から $L \leq 82$ m (水深 $h = 7.68$ m 周期 $T \leq 10$ sec.) である。また, 鉛直スリット枚数を 2 枚としたのは, スリット枚数が 3 枚の場合と消波効果に変わりがないことによる。吃水比が増加したことで反射率が増加することが予想されるが, 概ね消波条件を満足していると考ええる。

3.3.3 設計計算

(1) 設計荷重および解析法

荷 重 図	岸 向 (case 1) 杭列No 				沖 向 (case 2) 杭列No 			
波 浪 条 件	波 高 H_{max}		7.56 m	波 力 計 算 結 果	$P_4 = 1.53$	$P_4' = 0.14$	合田式 $\times \lambda$ or λ' (tf/m ²) 奥行 1 m 当たり	
	周 期 T		14.0 秒		$P_1 = 2.78$	$P_1' = 1.39$		
	合田式波力	λ	0.36		$P_3 = 2.54$	$P_3' = 1.27$		
	低減係数	λ'	0.18		$P_M = 2.29$	$P_M' = 1.14$	モリソン式 (tf/m ²) (tf) (集中荷重)	
	鉛直方向	α	0.20		$P_U = 38.17$	$P_d = 38.17$		
	波圧強度係数	α'	0.20					
備 考	1. 低減係数 $\lambda_1 = 0.60, \lambda_2 = 0.30$ (先に土木研究所で行った水理実験より) $\lambda = \lambda_1 (1 - \epsilon) \quad \epsilon = 0.4$ より $\lambda = 0.36$ $\lambda' = \lambda_2 (1 - \epsilon) \quad \epsilon = 0.4$ より $\lambda' = 0.18$							
	2. 鉛直波力 実験より得られた波圧が, 水平板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 $\alpha = \alpha' = 0.20$ とする。							
	3. 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。鉛直波力については, 水平板は 1 本の杭にそれぞれ 1 枚ずつ独立して設置されているため, 水平板 1 枚当たりの鉛直力を合計して, 集中荷重として作用させた。(水平板の断面力については, 主要部材の算定の所で検討している)							
	4. 杭の横方向 地盤反力係数 地盤の平均 N 値より $k_h = 15$ N (kgf/cm ³)							
	5. 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ラーメン計算。							

(2) 支持力の検討

		波 力	杭列No	杭反力R (tf)	許容支持力Ra (tf)
支持力	引 抜 側	case 1	1	42.9	51.1
	押 込 側	case 2	1	156.4	308.1

① ジェット使用による周面摩擦力の低減は、考慮していない。

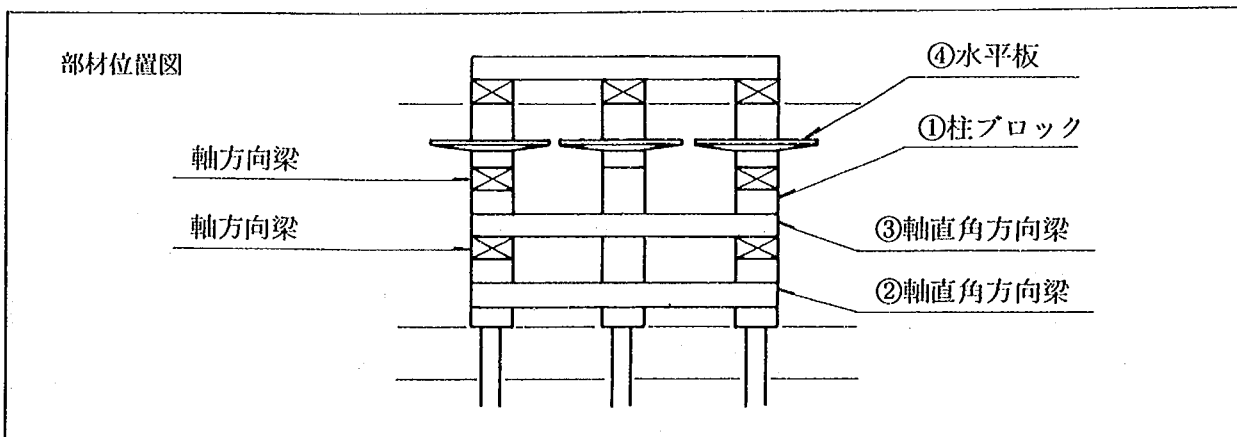
(3) 杭の算定

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)			
3	132.9	126.2	1846	1900	$\phi 700$, $t=23$ mm SKK 50, 腐食無し 堤体内

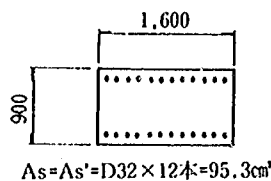
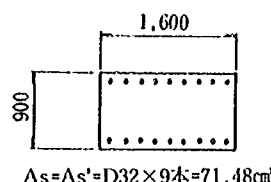
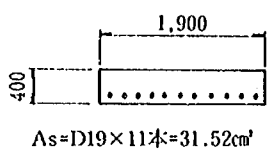
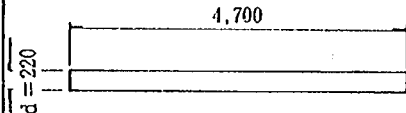
① 座屈長が小さいので、許容応力度の低減は行わない。

② 杭は工場溶接するものとし、継手による許容応力度の低減は行わない。

(4) 主要部材の算定



部 材	断 面 力		断 面 形 状	備 考
①柱ブロック	荷重	M = 126.2 tfm N = 132.9 tf Pe = 535.5 tf S = 40.1 tf	Pe: 有効プレストレス プレキャスト 柱ブロック $\phi 1600/\phi 1200$ PC鋼棒 $\phi 32$ n=9 鋼管$\phi 700$ 中詰コンクリート	荷重 1 $\sigma_{c1} = 73.7$ kgf/cm ² $\sigma_{c2} = 8.5$ kgf/cm ²
	1			荷重 2 $\sigma_{c1} = 59.9$ kgf/cm ² $\sigma_{c2} = 0.3$ kgf/cm ²
	2	M = 115.4 tfm N = -44.8 tf Pe = 535.5 tf S = 26.7 tf		荷重 3 $\sigma_{c1} = 56.5$ kgf/cm ² $\sigma_{c2} = 28.3$ kgf/cm ²
	荷重	M = 54.5 tfm N = 154.5 tf Pe = 535.5 tf S = 19.1 tf		- せん断力は鋼管で受け持つものとする。 - 断面力はラーメン計算による - フルプレストレスとする
	3			

部 材	断 面 力	断 面 形 状	備 考
②軸直角方向 梁（下段）	M= 115.2 tfm N= 0 S= 48.1 tf	 As=As'=D32×12本=95.3cm²	・断面力はラーメン計算による ・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軸直角方向 梁（中段）	M= 82.9 tfm N= 0 S= 38.0 tf	 As=As'=D32×9本=71.48cm²	同 上
④水平板	M= 15.0 tfm N= 0 S= 14.0 tf	 As=D19×11本=31.52cm²  d=220	・断面力は i 鉛直方向波力と ii 浮力を考慮した自重の合成荷重が作用する片持梁として求めた値 ・曲げモーメントおよびせん断力に対するそれぞれの設計断面の決め方は、フーチングの場合と同様とした。

- ① 沿岸方向梁に関しては、地震時の断面力で配筋が決まると考えられるが、地震時荷重の算定を行っていないため、今回は岸沖方向梁と同程度の配筋をするものとした。
- ② プレキャストブロックと中詰コンクリートは、充分一体となっているものとする。
- ③ 柱ブロックの応力度算定は、すべてのプレストレスのロスが生じた後の有効プレストレス状態に対して行った。

3.3.4 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 陸上作業ヤードから 200 m の位置にある岸壁において、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 3.3.10 参照）
- ④ 施工時の杭の仮固定のため、杭頭を仮結構する。

(2) 施工方法

本構造物の施工手順は、図 3.3.11 及び、図 3.3.12 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 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、柱および水平板ブロックの各製作エリアを始め、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トレーラーで行い、岸壁から50t吊トラッククレーンにて100t積台船に積み込み現地まで運搬する。

③ 杭打工

杭材は、工場で溶接一本化されたものを搬入し、岸壁に仮置する。その後、バージにて打設現場に運ぶ。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、ジェット併用のバイブロハンマーで行い、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。

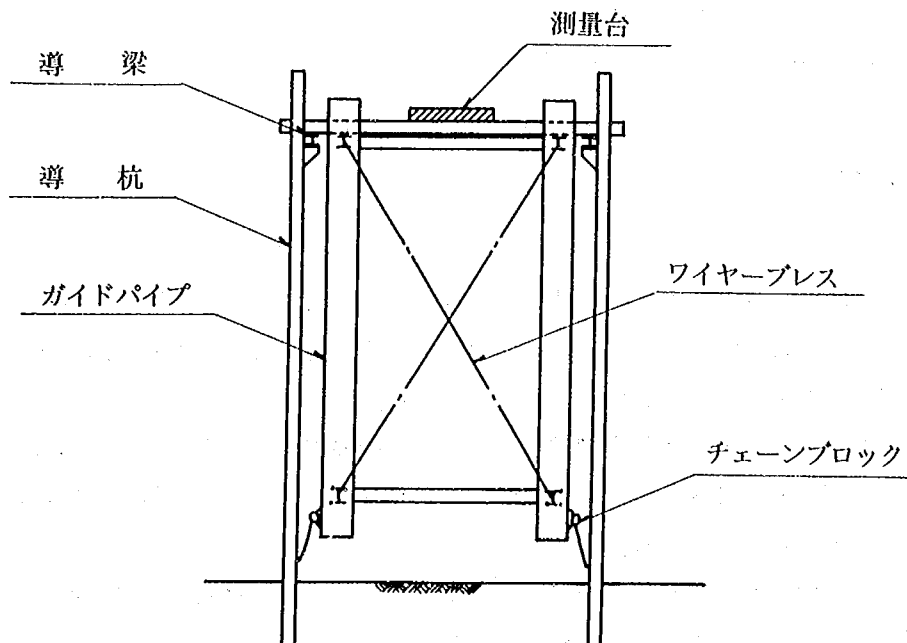


図 3.3.10 導材工

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

PC鋼材を埋め込んだアンカーブロックを杭に挿入し、吊筋用PC鋼材を調整し杭頭で支持し所定

の位置に吊るす。杭とアンカーブロックの間は、グラウト注入する。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、水平板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3.3.1～3.3.3に示す。

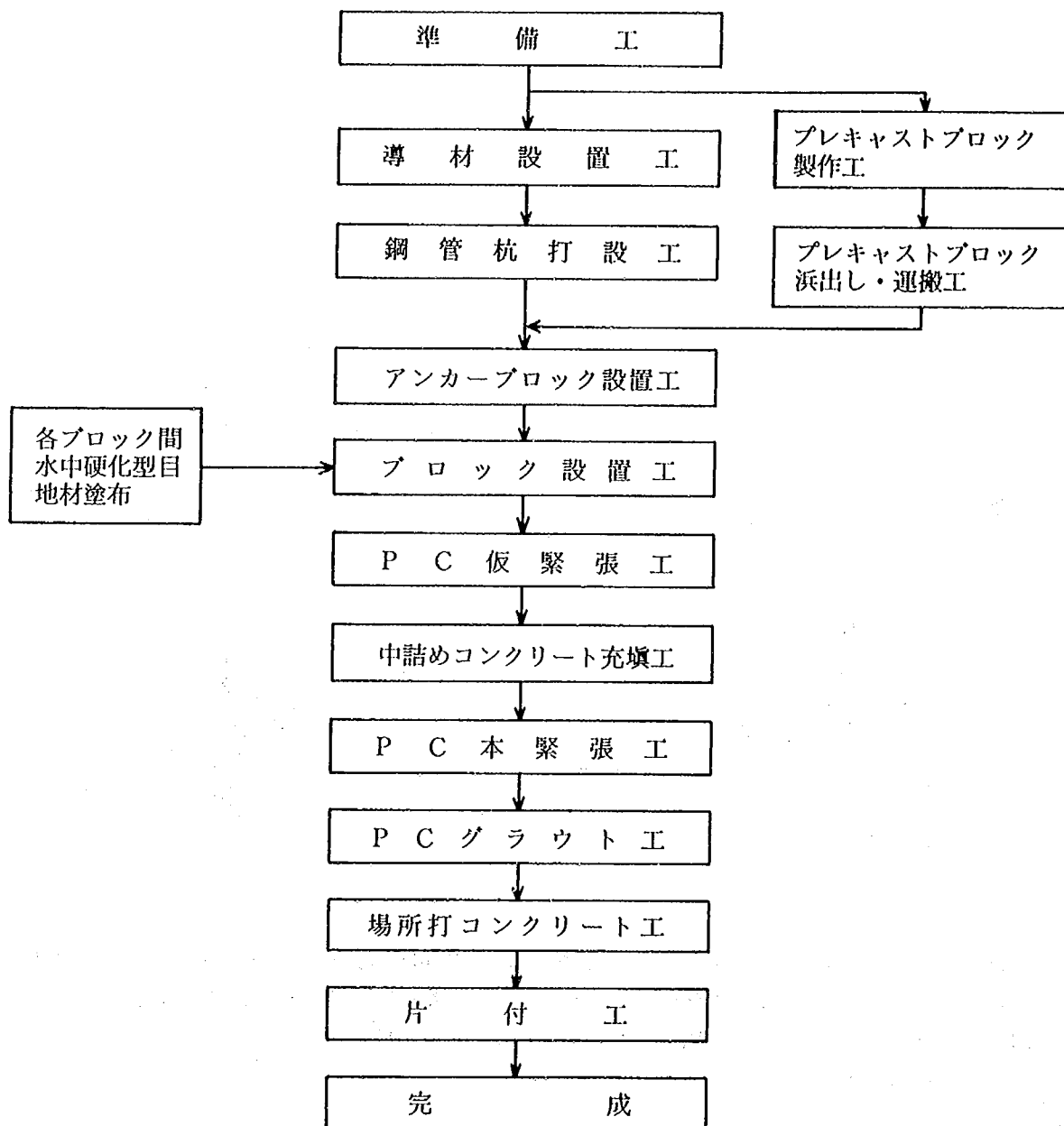


図 3.3.11 施工フロー図

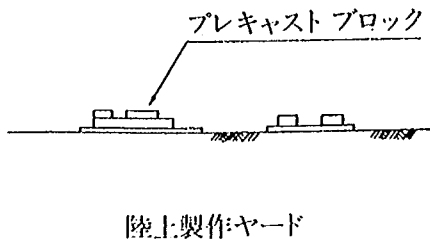
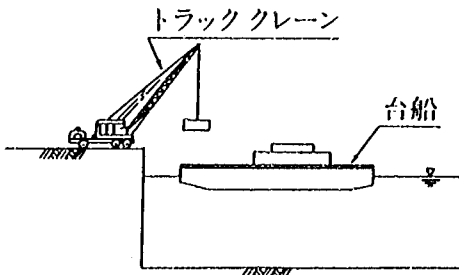
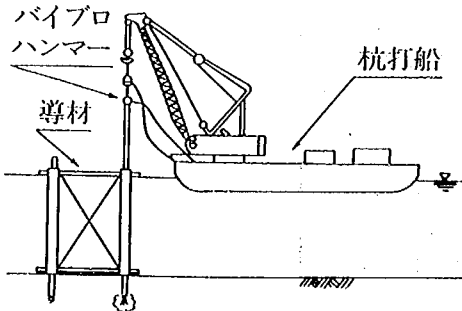
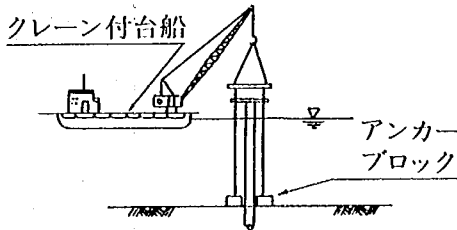
	① プレキャストブロック製作	② バージへ積み込み
施工要領図		
主な作業内容	アンカーブロック、梁ブロック、柱ブロックおよび水平板ブロックの製作。	プレキャストブロックおよび鋼管杭をトラッククレーンにより台船に積み込み、引船にて現地まで曳航運搬する。
主要船舶		台船（100 t積） 引船（鋼D40PS） 台船（300 t積） 引船（D180PS）
	③ 杭打工	④ アンカーブロックPC鋼材据付
施工要領図		
主な作業内容	導材工のガイドパイプにジェット配管をした杭を杭打船にて挿入し、ジェットおよびバイプロハンマーにて地盤内へ杭を打設する。なお、最終打止めはディーズルハンマー使用。	PC鋼打を埋め込んだアンカーブロックを杭に挿入し、吊筋用PC鋼材を調整し、杭頭で支持し、所定の位置に吊す。
主要船舶	杭打船（D70） 台船（300 t積） 引船（D180PS） 揚錨船（D15吊） 交通船（50PS） 潜水土船（D30PS）	クレーン付台船（100 t吊） 台船（100 t積） 引船（鋼D450PS） 引船（鋼D40PS） 潜水土船（D30PS）

図 3.3.12(1) 施工要領図

	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 (100 t 吊) 台船 (100 t 積) 引船 (鋼 D 450 PS) 引船 (鋼 D 40 PS) 潜水士船 (D 30 PS)	非航起重機船 (25 t 吊) 台船 (200 t 積) 引船 (D 180 PS)
	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及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	モルタルプラント台船 (鋼 300 t) 引船 (鋼 D 180 PS) 潜水士船 (D 30 PS)	非航起重機船 (25 t 吊) 台船 (200 t 積) 引船 (D 180 PS)

図 3.3.12(2) 施工要領図

表 3.3.1 数量総括表

種 類	単 位	延 長 150 m	備 考
鋼 管 杭	t	276	SKK 41 $\phi 700 \times 12$ t
		259	SKK 50 $\phi 700 \times 23$ t
P C 鋼 材	t	54	$\phi 32$ C種1号 (緊 用)
		11	$\phi 26$ C種1号 (吊 用)
プレキャストコンクリート	m ³	3,400	$f'_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2$
場 所 打 コンクリート	m ³	268	$f'_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2$
中 詰 コ ン ク リ ー ト	m ³	603	$f'_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2$
杭 充 填 コンクリート	m ³	35	$f'_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2$
鋼 材	t	172	SKK 41
		68	SS 41
鉄 筋	t	517	SD 30

表 3.3.2 主要使用船舶・機械一覧表

船 舶 ・ 機 械 名	仕 様	台 数
杭 打 船	D-70 用	1
ク レ ー ン 付 台 船	1000 t 積, ジブ回転式 100 t 吊	2
非 航 起 重 機 船	ジブ回転式 25 t 吊	1
モルタルプラント台船	鋼 300 t, 鋼 50 t	各 1
台 船	鋼 300 t	1
	鋼 200 t	3
	鋼 100 t	4
引 船	D 450 PS	2
	D 180 PS	2
	D 40 PS	2
潜 水 士 船	D 30 PS (3 t ウインチ付)	2
揚 錨 船	鋼 D 15 t 吊	1
交 通 船	D 50 PS	1
ディーゼルハンマー	D-70	1
バイプロハンマー	90 kw	1
ウォータージェット	125 PS	3
ト ラ ッ ク ク レ ー ン	50 t 吊	1
	20 t 吊, 10 t 吊	各 2
ク ロ ー ラ ク レ ー ン	50 t 吊, 35 t 吊, 25 t 吊	各 1
ト レ ー ラ ー	32 t 積	4
ト ラ ッ ク	10 t 積	4
コンクリートポンプ車	30 m ³ /hr (随時)	2

表 3.3.3 工程表

項 目		9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月
準 備 工	一 式	15日 □							
ブロック製作工	635 個	□	□	105日 □	□				
鋼管杭打設工	90 本			80日 □	□				
ブロック据付工	635 個			80日 □	□				
中詰コンクリート工	90ヶ所				80日 □	□			
P C 緊 張 工	90ヶ所					80日 □	□		
上部コンクリート工	一 式					80日 □	□		
片 付 工	一 式								30日 □ □

3.3.5 構造物の適用性と今後の課題

(1) 水平板付きスリット構造

水平板付きスリット構造は、水平板とスリットの各々の特性を持ち合わせている。つまり、長周期の波に対しては鉛直スリットによる乱れと反射が、比較的短周期の波に対しては水平板上部の進行波（砕波後の流れを含む）と、水平板下部の進行波（流れ）の位相差による乱れと反射が消波に効果的な働きをしている。実際の海の波は、様々な波高、波長、周期の波の重ね合わせであり、その分布も海域によって異なる。本構造は、水平板とスリット構造を対象海域の消波対象波の条件に適切に対応させ、最適な組み合わせを提供できる優れた構造である。但し、今回の試設計では、先に行われた限られた水理実験結果を参考にしているため、消波効果、波力について十分なデータのもとに検討されたわけではない。よって、今後更に、実海域条件に合った実験的研究を進め、最適構造を検討する必要がある。その他、実海域への適用に当たっては、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。構造設計について今回の試設計では、波力が卓越することから地震時の検討は行わなかった。しかし波力に比べ地震力が卓越する場合には、構造物の軽量化等の対策も必要となってくる。更に地盤条件によっては、地震時液状化の問題も重要で、基礎杭を始め構造全体に大きな影響を与えることが予想される。

(2) 水平板付きスリット型1（ブロックと杭）構造

本構造の最大の特徴は、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、構造上の検討事項がないわけではなく、例えば、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3.3.4となる。

表 3.3.4 水平板付きスリット型 1 (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年度の実験では、規則波(周期 6 sec ~ 10sec 波高 1 m ~ 4 m) に対する水平板付きスリット型消 波堤の透過、反射率が 1/25 縮尺 模型で実験的に解析された。 全波力について上記模型にて実験 検討せず。	実際の建設場所での消波対象の波に対する 実施構造物の消波特性を把握する。例えば 潮位差によって起こる水平板の相対位置の 変化による消波性能の変化や、構造物の吃 水の違いによる消波性能の変化を調べる。 実際の建設場所の設計波による全波力及び 各構造部材上の波圧分布を把握する。 漂砂制御効果、洗掘の検討を例えば 3 次元 水槽実験で調べる。
2. 構造設計	「港湾の施設の技術上の基準」に 従い最大波高に対して検討する。	限界状態設計法を適用する。 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 と一体化	杭打ち精度に課題有り。 海上工事の稼働率の低さ。 ブロック間の接合部は、ゴム緩衝 材または、水中硬化型目地材を使 用。 ブロックの製作誤差による施工性 の悪さ。	杭打ち精度が問題とならない構造を開発す る。 杭打ち精度を上げる杭打設工法や適切な導 材工の開発を行う。 稼働率の向上。 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。 ブロック製作精度の改善。 ブロックの大型化による施工性の改善。

3.4 水平板付きスリット型2（ブロックと杭）*

3.4.1 構造概要

本構造は、水平板付きスリット型 1（ブロックと杭）と同じ基本構造であるが、ブロックの一体化の方法として、ブロックを P C 鋼材により緊張一体化し、その後、鋼管杭とブロックの間にモルタルを充填する方法を採用している点が異なる。

(1) 構造の概要

① 鋼管杭にくさび受け（ＰＣ鋼材のアンカー埋め込み）と外くさび・内くさびから成る格点装置を挿入し、水中格点を形成する。ＰＣ鋼材の上端部は、杭頭に支持され、その後積み重ねられるコンクリートブロックの自重を杭頭へ伝える。

② 岸沖方向の中段・下段梁ブロックは、2本の杭をつなぐ構造とする。

③ 梁ブロックの柱部分、水平板ブロック及び、その間を埋める柱ブロックで構成される柱は、これらのプレキャストブロックの据付後、これを反力としてP C鋼材を緊張することにより固定され、その後、杭とブロック間にモルタルを充填し、一体化される。

(2) 特 徴

① 将来の洗掘に備え、洗掘予想深までスリット構造体が構築されている。

② 栈橋、ドルフィン等で施工実績がある。

本構造物の鳥瞰図を図 3.4.1 に示す。また、構造一般図を図 3.4.2 ～ 3.4.4 に、プレキャストブロック構造図を図 3.4.5 に、詳細図を図 3.4.6 に示す。

3.4.2 構造諸元

本構造の波浪制御に関する構造諸元の決定法は、「水平板付きスリット型1（ブロックと杭）」と同様である（3.3.2 構造諸元参照）。但し、将来の広範囲な洗掘に備え、予想される洗掘（2 m）後も消波性能を有するように、下記の構造諸元とした。

鉛直壁 2枚, 空隙率 = 0.35 (洗掘前), 吃水比 = 1.0
0.40 (洗掘後)

水平板 1 枚, 空隙率 = 0.1, $B/L \geq 0.18$ (洗掘前)
0.16 (洗掘後)

位置 $R/h = 0.05$ (洗掘前)
 0.03 (洗掘後)

ここに、 λ は入射波長であり、2.2.3で与えられた波浪条件から

洗掘前—水深 $h = 7.68 \text{ m}$ ，周期 $T \leq 10 \text{ sec}$ ，波長 $L \leq 82 \text{ m}$

洗掘後一水深 $h = 9.68 \text{ m}$ ，周期 $T \leq 10 \text{ sec}$ ，波長 $L \leq 91 \text{ m}$ である。

* 執筆：高木春生（三井建設株式会社土木本部土木技術部）

吉川雅人（三井建設株式会社土木本部土木技術部）

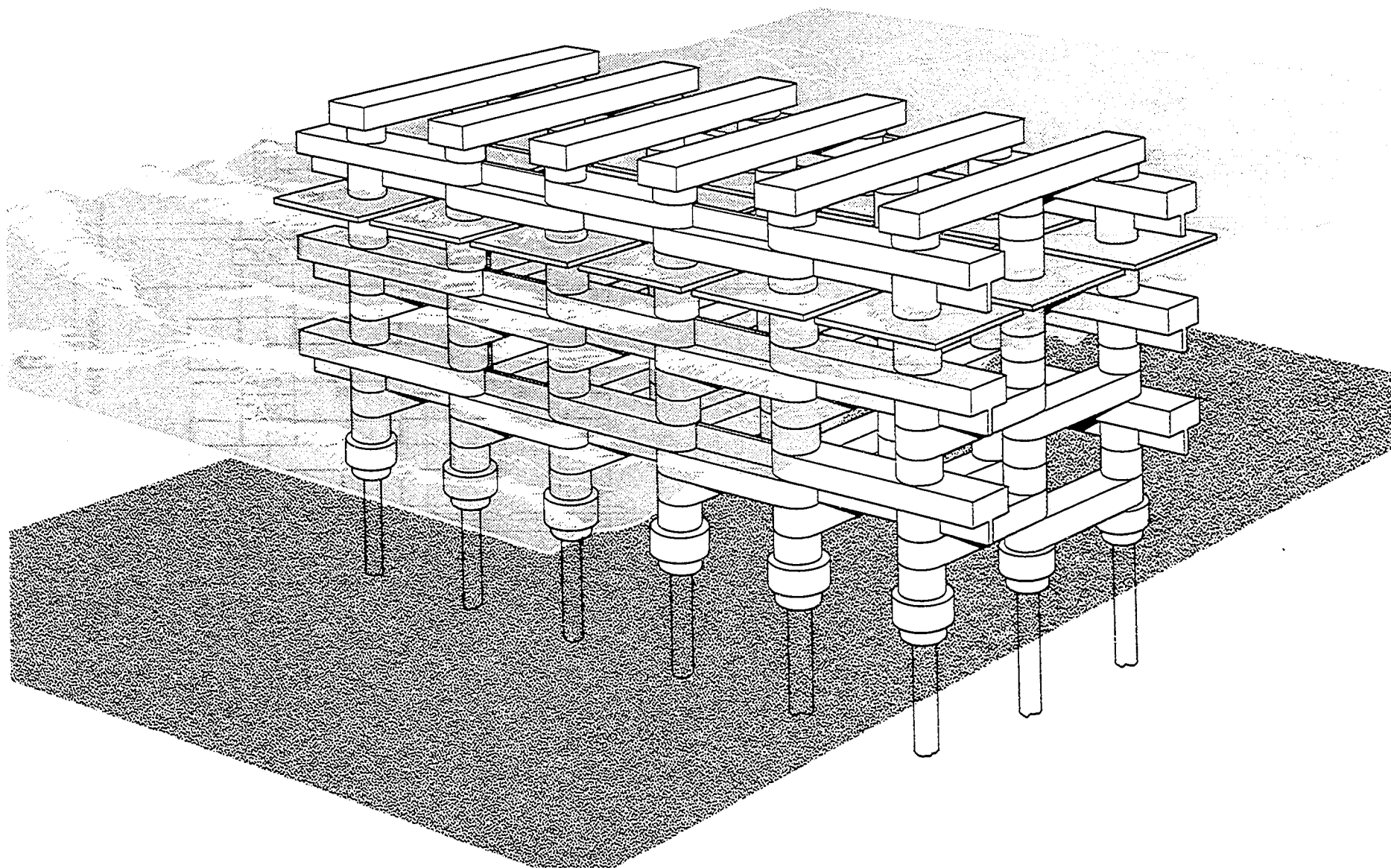


図 3.4.1 水平板付きスリット型2（ブロックと杭）の鳥瞰図

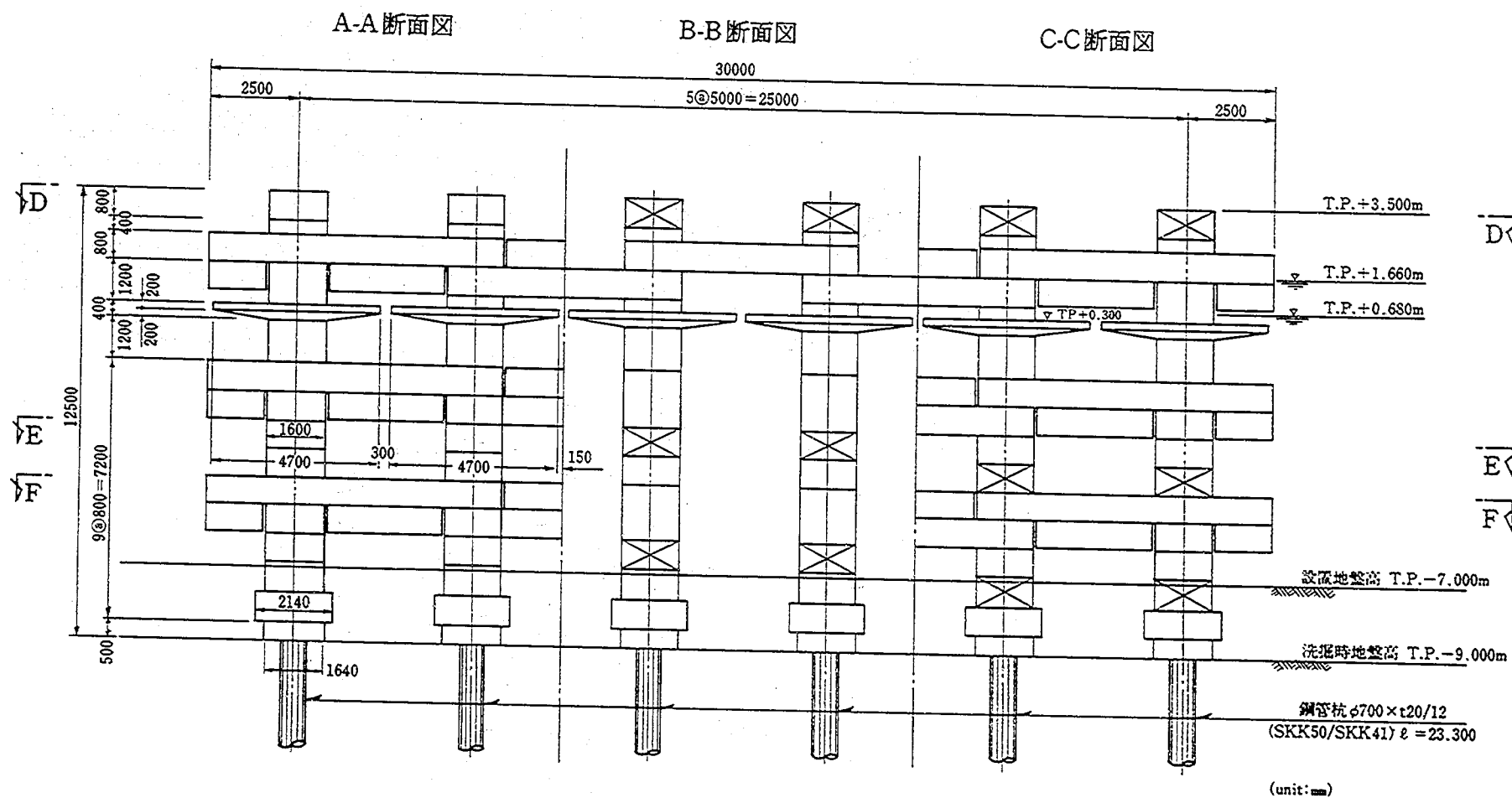


図 3.4.2 構造一般図(1)

D-D断面图

E-E断面图

F-F断面图

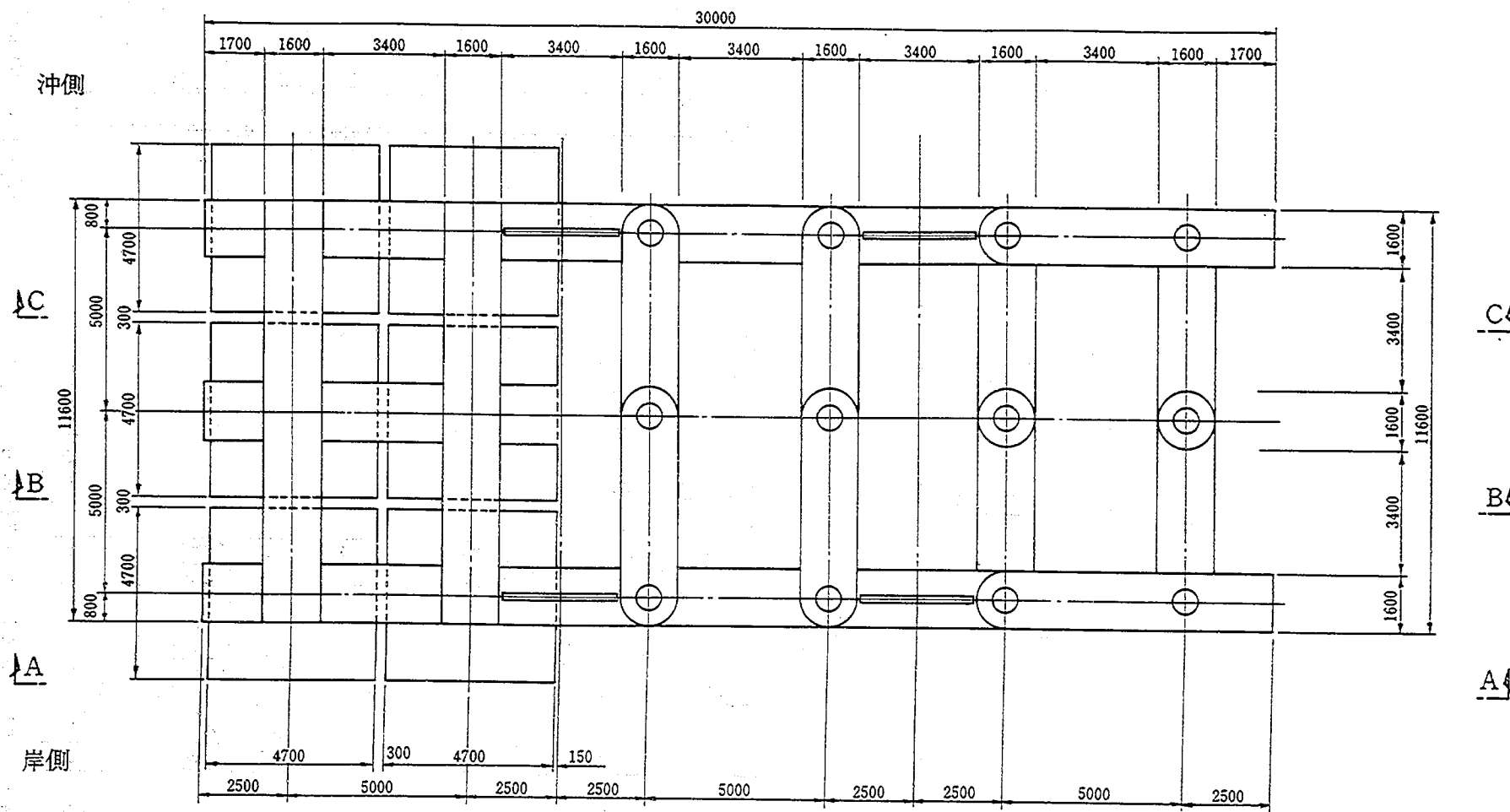


图 3.4.3 構造一般図(2)

(unit:mm)

側面図

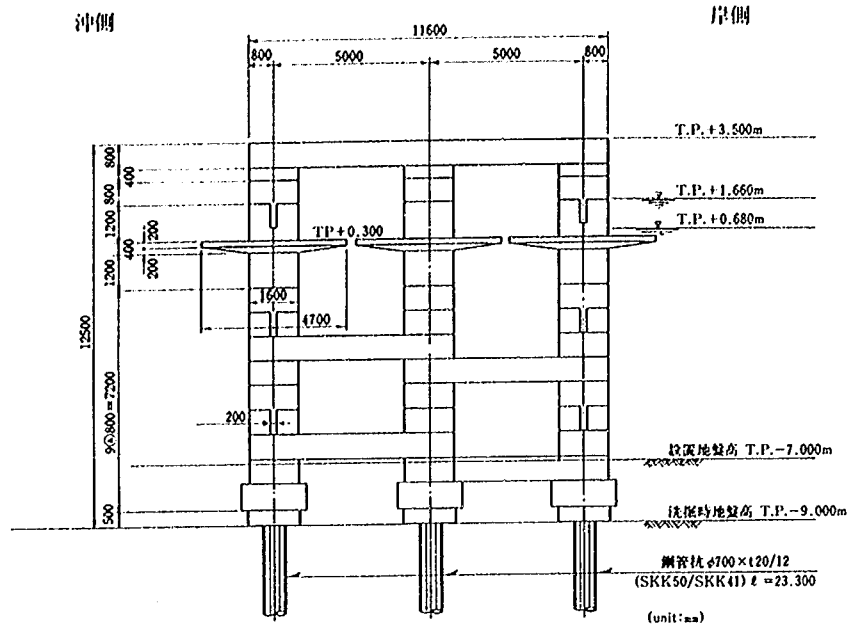


図 3.4.4 構造一般図(3)

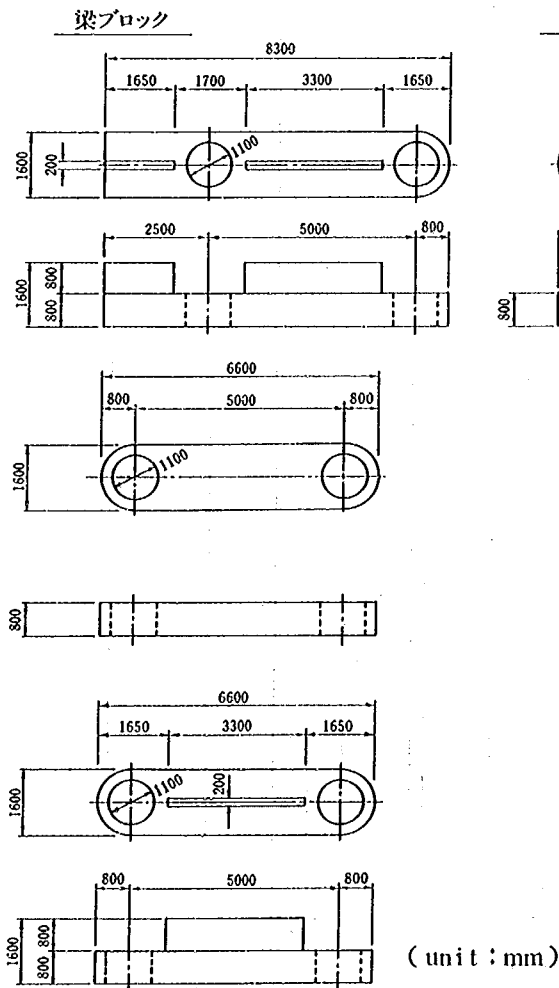


図 3.4.5 プレキャストブロック構造図

PC 鋼棒配置図

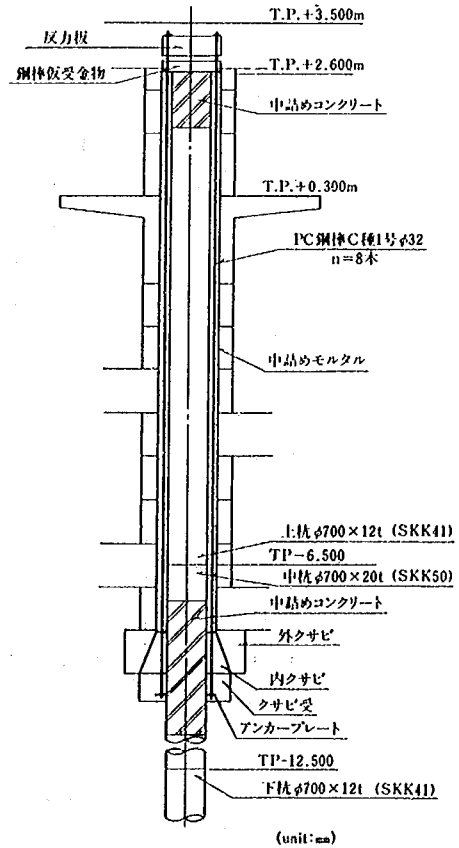


図 3.4.6 詳細図

3.4.3 設計計算

(1) 設計荷重および解析法

荷 重 図	岸 向 (case 1) 杭列No 沖 向 (case 2) 杭列No						
波 浪 条 件	波 高 H_{max}		7.56 m	波 力 計 算 結 果	$P_4 = 1.53$	$P_4' = 0.14$	合田式 $\times \lambda$ or λ' (tf/m ²) 奥行 1 m 当たり
	周 期 T		14.0 秒		$P_1 = 2.78$	$P_1' = 1.39$	
	合田式波力	λ	0.36		$P_3 = 2.48$	$P_3' = 1.24$	
	低減係数	λ'	0.18		$P_u = 38.17$	$P_d = 38.17$	
	鉛直方向	α	0.20				(tf) (集中荷重)
	波圧強度係数	α'	0.20				
備 考	1. 水平板付きスリット型1 (ブロックと杭) に同じ。 (3.3.3(1)参照)						

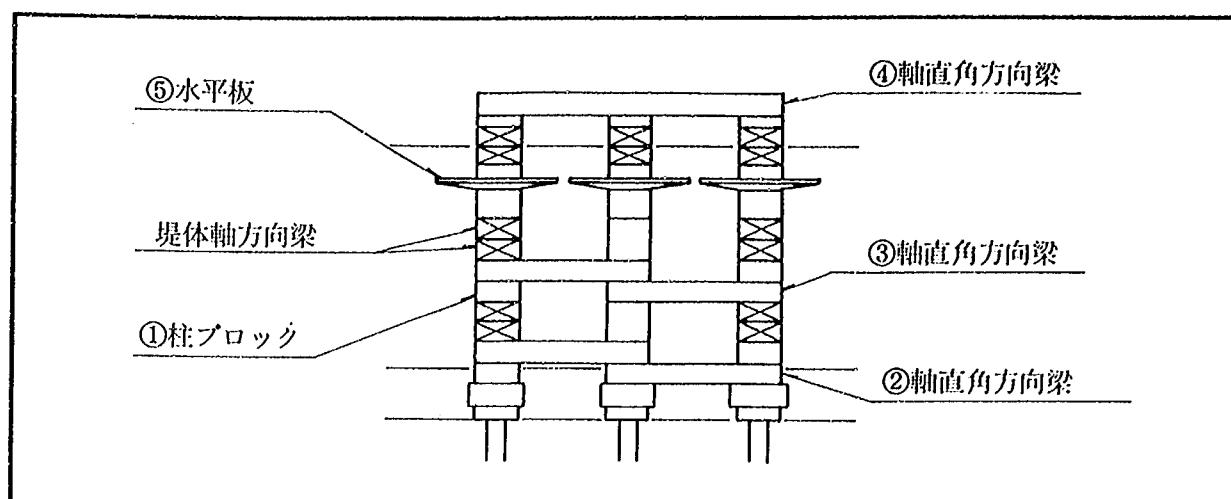
(2) 支持力の検討

		波 力	杭列No	杭反力R (tf)	許容支持力Ra (tf)
支 持 力	引 抜 側	case 1	1	53.8	59.8
	押 込 側	case 2	1	169.2	318.0

(3) 杭の算定

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)			
3	156.2	82.4	1 616	1 900	$\phi 700$, $t = 20\text{mm}$ SKK 50, 腐食代 1 mm 地中部

(4) 主要部材の算定



部 材	断 面 力	断 面 形 状	備 考
①柱ブロック	荷重 1 $M = 123.5 \text{ tfm}$ $N = 151.6 \text{ tf}$ $Pe = 476.0 \text{ tf}$ $S = 51.4 \text{ tf}$ 荷重 2 $M = 123.0 \text{ tfm}$ $N = 61.4 \text{ tf}$ $Pe = 476.0 \text{ tf}$ $S = 20.1 \text{ tf}$ 荷重 3 $M = 67.6 \text{ tfm}$ $N = 161.6 \text{ tf}$ $Pe = 476.0 \text{ tf}$ $S = 21.3 \text{ tf}$	Pe: 有効プレストレス プレキャスト柱ブロック $\phi 1600/\phi 1100$ PC鋼棒 $\phi 32 \quad n=8$ 鋼管$\phi 700$ 中詰 モルタル	荷重 1 $\sigma_{c1} = 93.8 \text{ kgf/cm}^2$ $\sigma_{c2} = 24.6 \text{ kgf/cm}^2$ 荷重 2 $\sigma_{c1} = 73.6 \text{ kgf/cm}^2$ $\sigma_{c2} = 4.6 \text{ kgf/cm}^2$ 荷重 3 $\sigma_{c1} = 79.0 \text{ kgf/cm}^2$ $\sigma_{c2} = 41.2 \text{ kgf/cm}^2$ - せん断力は鋼管で受け持つものとする - 断面力はラーメン計算による - フルプレストレスとする
②軸直角方向梁 (下段)	$M = 126.1 \text{ tfm}$ $N = 0$ $S = 52.3 \text{ tf}$	$As=As'=D32 \times 15 \text{ 本} = 119. \text{ cm}^2$	- 断面力はラーメン計算による - 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軸直角方向梁 (中段)	$M = 95.6 \text{ tfm}$ $N = 0$ $S = 40.9 \text{ tf}$	$As=As'=D32 \times 12 \text{ 本} = 95.3 \text{ cm}^2$	同 上
④軸直角方向梁 (上段)	$M = 55.1 \text{ tfm}$ $N = 0$ $S = 27.3 \text{ tf}$	$As=As'=D22 \times 13 \text{ 本} = 50.3 \text{ cm}^2$	②部材と同様
⑥水平板	$M = 15.0 \text{ tfm}$ $N = 0$ $S = 14.0 \text{ tf}$	水平板付きスリット型 1 と同様	水平板付きスリット型 1 と同様

3.4.4 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は、水平板付きスリット型（ブロックと杭）と同じであるが、以下の相違点がある。

- ① コンクリートブロックの一体化は、ブロックのみをP C鋼材で緊張する方法を採用した。その後、中詰モルタルを充填し鋼管杭との一体化を図る。
- ② 洗掘予想深（海底面下2 m）まで構造物を構築する。

(2) 施工方法

本構造物の施工手順は、図3.4.7及び、図3.4.8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 準備工

水平板付きスリット型1（ブロックと杭）に同じ。但し、アンカーブロックに代わって、くさび受け、内くさびおよび外くさびの製作ヤードが必要である。

② プレキャストブロック製作工

水平板付きスリット型1（ブロックと杭）に同じ。

③ 浚渫工

杭打工に先立ち、洗掘予想深（海底面下2 m）まで浚渫する。

④ 杭打工

水平板付きスリット型1（ブロックと杭）に同じ。

⑤ 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鋼材を埋め込んだくさび受けに内くさびをセットし、杭に挿入し、P C鋼材を調整して杭頭で支持し、所定の位置に吊るす。その後、外くさびを内くさびに外接するように取り付ける。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。梁、柱、水平板の各ブロックを外くさび上の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。外くさびにブロック荷重がかかることにより、水中格点ができあがる。最上段の半断面プレキャストブロック梁をセットした後、反力板を取り付け緊張する。最後に、ブロックと杭の間に中詰モルタルを充填し、最上段の梁の場所打コンクリート部を打設し完成する。なお、浚渫部分の埋め戻しは、特に行わないこととした。つまり局所的な浚渫であり、浚渫されていない他の海底と同様にそれ以後洗掘されとは考えられないからである。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3.4.1～3.4.3に示す。

3.4.5 構造物の適用性と今後の課題

本構造は、設計、施工の実績があり構造上の課題も少ないが、杭打設誤差が柱体に偏心モーメントを発生させる原因となることは水平板付きスリット型1（ブロックと杭）と同じである。現状では、厳しい杭打精度が要求されている。今後、この偏心モーメントを極力小さくするようなP C鋼材の配置方法の研究が必要である。また他の技術面においても水平板付きスリット型1（ブロックと杭）と同様の現状であり、同じような今後の課題を持っている（表3.3.4参照）。

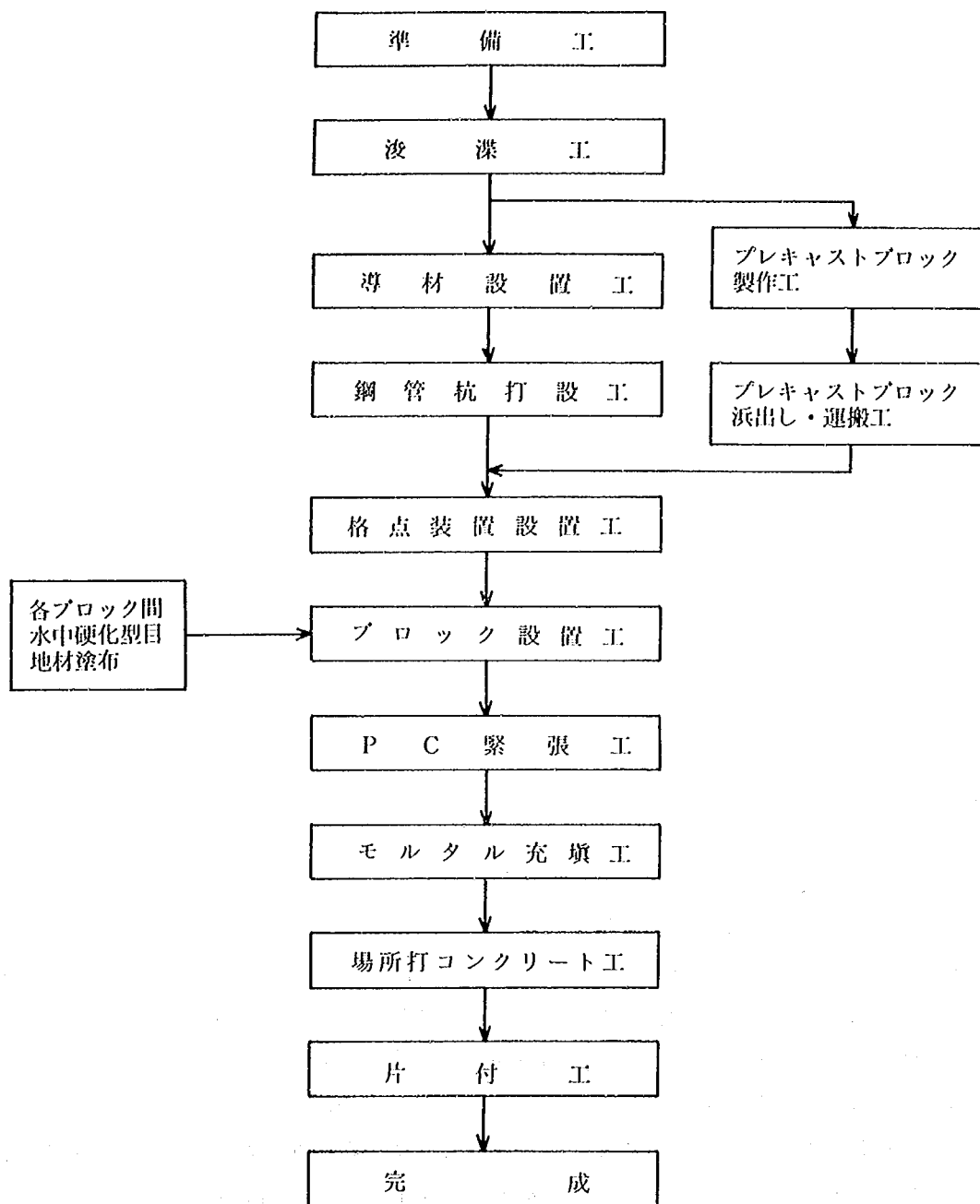


図 3.4.7 施工フロー図

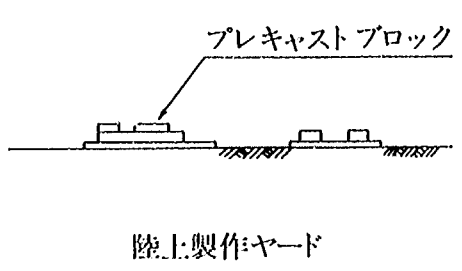
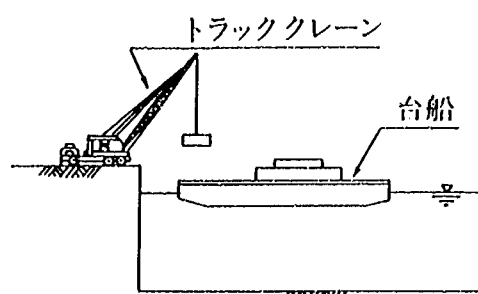
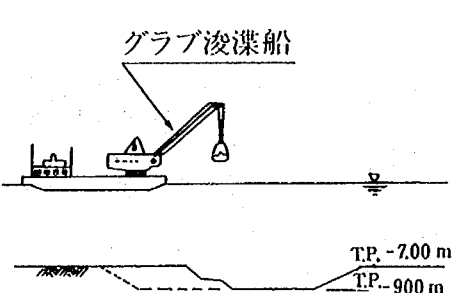
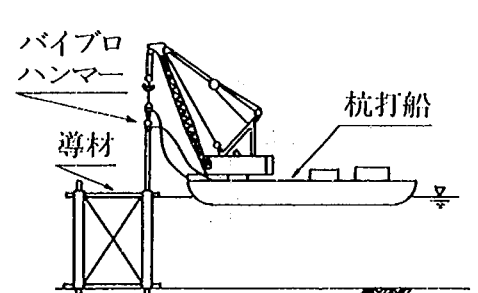
	① プレキャストブロック製作	② バージへ積み込み
施工要領図	 プレキャストブロック 陸上製作ヤード	 トラッククレーン 台船
主な作業内容	くさび受け、内くさび、外くさび、梁ブロック、柱ブロックおよび水平板ブロックの製作	プレキャストブロックおよび鋼管杭をトラッククレーンにより台船に積み込み、引船にて現地まで曳航運搬する。
主要船舶		台船 (300 t積) 台船 (100 t積) 引船 (D 180 PS) 引船 (D 40 PS)
	③ 浚 渫 工	④ 杭 打 工
施工要領図	 グラブ浚渫船 TP. -7.00 m TP. -9.00 m	 パイプロハンマー 導材 杭打船
主な作業内容	打込工に先立ち、グラブ浚渫船にて洗掘予想深（海底面下 2 m）まで浚渫する。	導材工のガイドパイプにジェット配管をした杭を、杭打船にて挿入し、ジェットおよびパイプロハンマーにて地盤内へ杭を打設する。 最終打止めは、ディーゼルハンマーを使用
主要船舶	グラブ浚渫船 (8 m ³ バケット) 土運船 (200 m ³) 揚錨船 引船 (D 鋼 250 PS)	杭打船 (D70) 揚錨船 (D 15 t吊) 台船 (300 t積) 交通船 (50 PS) 引船 (D 180 PS) 潜水土船 (D 30 PS)

図 3.4.8 (1) 施工要領図

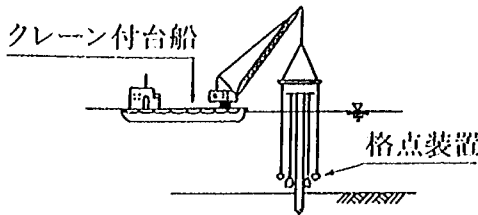
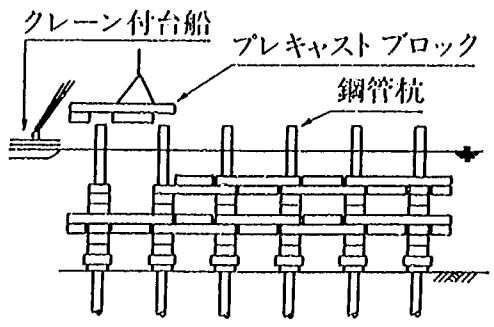
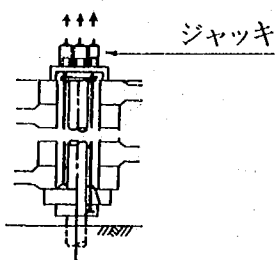
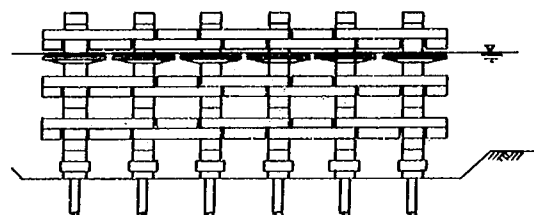
	⑤ 格点装置据付	⑥ ブロック据付
施工要領図		
主な作業内容	PC鋼材を埋め込んだクサビ受けに内クサビをセットし、杭に導入し、PC鋼材を調整して、杭頭で支持し、所定の位置に吊す。その後外クサビを内クサビに外接するように取付ける。	梁・柱・水平板の各ブロックの接合面に水中硬化型目地材を塗布した後、各ブロックを所定の位置に積上げる。
主要船舶	クレーン付台船（100 t吊, 1000 t積） 引船（鋼D 450 PS） 引船（鋼D 40 PS） 台船（100 t積） 潜水土船（D 30 PS）	クレーン付台船（100 t吊, 1000 t積） 引船（鋼D 450 PS） 台船（100 t積） 引船（鋼D 40 PS） 潜水土船（D 30 PS）
	⑦ P C 緊張工	⑧ 上部コンクリート打設
施工要領図		
主な作業内容	最上段のプレキャスト梁をセットした後、反力板を取り付け、PC鋼棒をジャッキで緊張し、プレキャストブロックにプレストレスを与える。	モルタルプラント台船にて杭とブロックの間に中詰めモルタルを充填し、最上段の梁の場所打コンクリート部を打設し、完成する。
主要船舶	台船（100 t積） 揚錨船（D 15 t吊） 引船（鋼D 40 PS）	モルタルプラント台船（鋼 300 t 積） 引船（鋼D 180 PS） 非航起重機船（25 t 吊） 台船（200 t積） 潜水土船（D 30 PS）

図 3.4.8 (2) 施工要領図

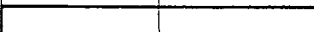
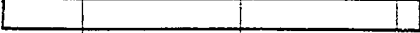
表 3.4.1 数量総括表

種 類	単 位	延 長 150 m	備 考
鋼 管 杭	t	318	SKK 41 $\phi 700 \times 12$ t
		181	SKK 50 $\phi 700 \times 20$ t
P C 鋼 材	t	60	$\phi 32$ C種 1号 緊張, 吊筋兼用
プレキャストコンクリート	m ³	3,582	$f'_{ck} = 400 \text{ kg f/cm}^2$
場所打コンクリート	m ³	334	$f'_{ck} = 400 \text{ kg f/cm}^2$
杭充填コンクリート	m ³	100	$f'_{ck} = 240 \text{ kg f/cm}^2$
中 詰 モ ル タ ル	m ³	632	$f'_{ck} = 400 \text{ kg f/cm}^2$
鋼 材	t	154	SKK 41
		339	S S 41
鉄 筋	t	563	S D 30
浚 渫	m ³	4,928	

表 3.4.2 主要使用船舶・機械一覧表

船 舶 ・ 機 械 名	仕 様	台 数
杭 打 船	D-70 用	1
ク レ ー ン 付 台 船	1000 t 積, ジブ旋回式 100 t 吊	2
非 航 起 重 機 船	ジブ旋回式 25 t 吊	1
モ ル タ ル プ ラ ン ト 台 船	鋼 300 t, 鋼 50 t	各 1
台 船	鋼 300 t	1
	鋼 200 t	3
	鋼 100 t	4
引 船	D 450 PS	2
	D 250 PS	1
	D 180 PS	2
	D 40 PS	2
潜 水 士 船	D 30 PS (3 t ウインチ付)	2
揚 錨 船	鋼 D 15 t 吊	1
交 通 船	D 50 t 吊	1
デ ィ ー ゼ ル ハ ン マ ー	D-70	1
バ イ ブ ロ ハ ン マ ー	90KW	1
ウ オ ー タ ー ジ ャ ッ ト	125 PS	3
ト ラ ッ ク ク レ ー ン	50 t 吊	1
	20 t 吊, 10 t 吊	各 2
ク ロ ー ラ ク レ ー ン	50 t 吊, 35 t 吊, 25 t 吊	各 1
ト レ ー ラ ー	32 t 積	4
ト ラ ッ ク	10 t 積	4
コンクリートポンプ車	30 m ³ /hr (随時)	2
グ ラ ブ 浚 渫 船	8 m ³ バケツ	1
土 運 船	200 m ³	2

表 3.4.3 工程表

項 目		8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
準 備 工	一 式	15日 							
ブロック製作工	885個			135日					
浚 渫 工	4928m ²				10日 				
鋼管杭打設工	90 本					80日			
ブロック据付工	885個					85日			
杭の中詰コンクリート工 (杭頭、格点部)	180ヶ所					60日			
P C 緊 張 工 中詰モルタル充填工	90ヶ所						80日		
上部コンクリート工	一 式						80日		
片 付 工	一 式								10日 

3.5 水平板付きスリット型3（ブロックと杭）*

3.5.1 構造概要

本構造は、杭とブロックを大型化することにより、海上工事を出来るだけ少なくし、急速施工を可能にした点に特徴を持つ。

(1) 構造の概要

- ① 構造体は、鋼管杭、水平板付き大型コンクリートブロック、杭とブロック間の中詰コンクリートおよび、頭部を連結する鋼管と場所打ちコンクリートからなる。
- ② 大型プレキャストコンクリートブロックは、水平板抜きボックス構造で、底部四隅に吊筋のアンカー定着部を有する。この吊筋は、ブロックが杭に吊り込まれた時、杭頭で支持され、据付高さ調整にも使われる。
- ③ 鋼管杭とコンクリートブロックとの一体化は、中詰コンクリートの充填により完成される。
- ④ 岸沖方向の架構は、単純な一層ラーメンであり、剛性の高い杭頭つなぎ梁を採用するとモーメントが集中するので、比較的剛性の小さい鋼管を採用した。
- ⑤ 沿岸方向の杭頭つなぎ梁は、スパンが短く、足場・支保工が簡単なものでよいので、場所打ちコンクリート梁とした。
- ⑥ 堤体は、杭5列、18.75mを1ユニットとし、8ユニット、150mで1ブロックを形成する。

(2) 特徴

- ① 杭とブロックを大型化したことで、急速施工が可能となった。
- ② 1コンクリートブロックの重量が50tonであり、PC緊張工もなく、高度な作業や特殊な作業船舶・機械の必要が無く、施工が容易である。
- ③ 海水に触れる部分が、陸上で一体製作された継ぎ目の無いコンクリートブロックなので、耐久性に優れている。

本構造物の鳥瞰図を図3.5.1に示す。また、構造一般図を図3.5.2～3.5.4に、詳細図を図3.5.5に示す。

3.5.2 構造諸元

本構造の波浪制御に関する構造諸元の決定法は、「水平板付きスリット型1（ブロックと杭）」と同様であるが、構造の違いにより、下記の構造諸元とした（3.3.2構造諸元参照）。

鉛直壁 2枚、空隙率=0.33、吃水比=1.0

水平板 1枚、空隙率=0.1、 $B/L \geq 0.17$ 、位置 $R/h = 0.05$

*執筆：高木春生（三井建設株式会社土木本部土木技術部）

吉川雅人（三井建設株式会社土木本部土木技術部）

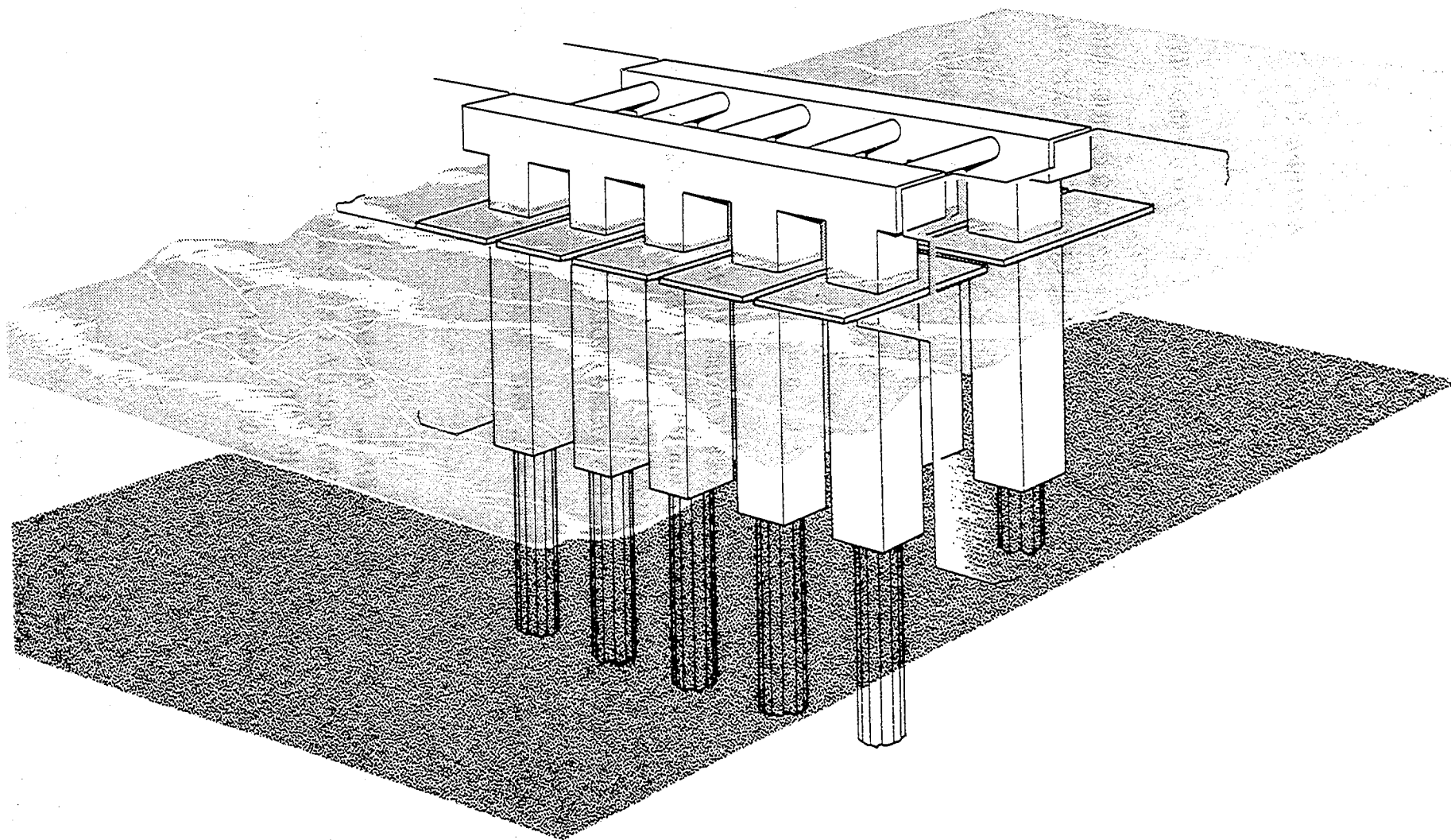
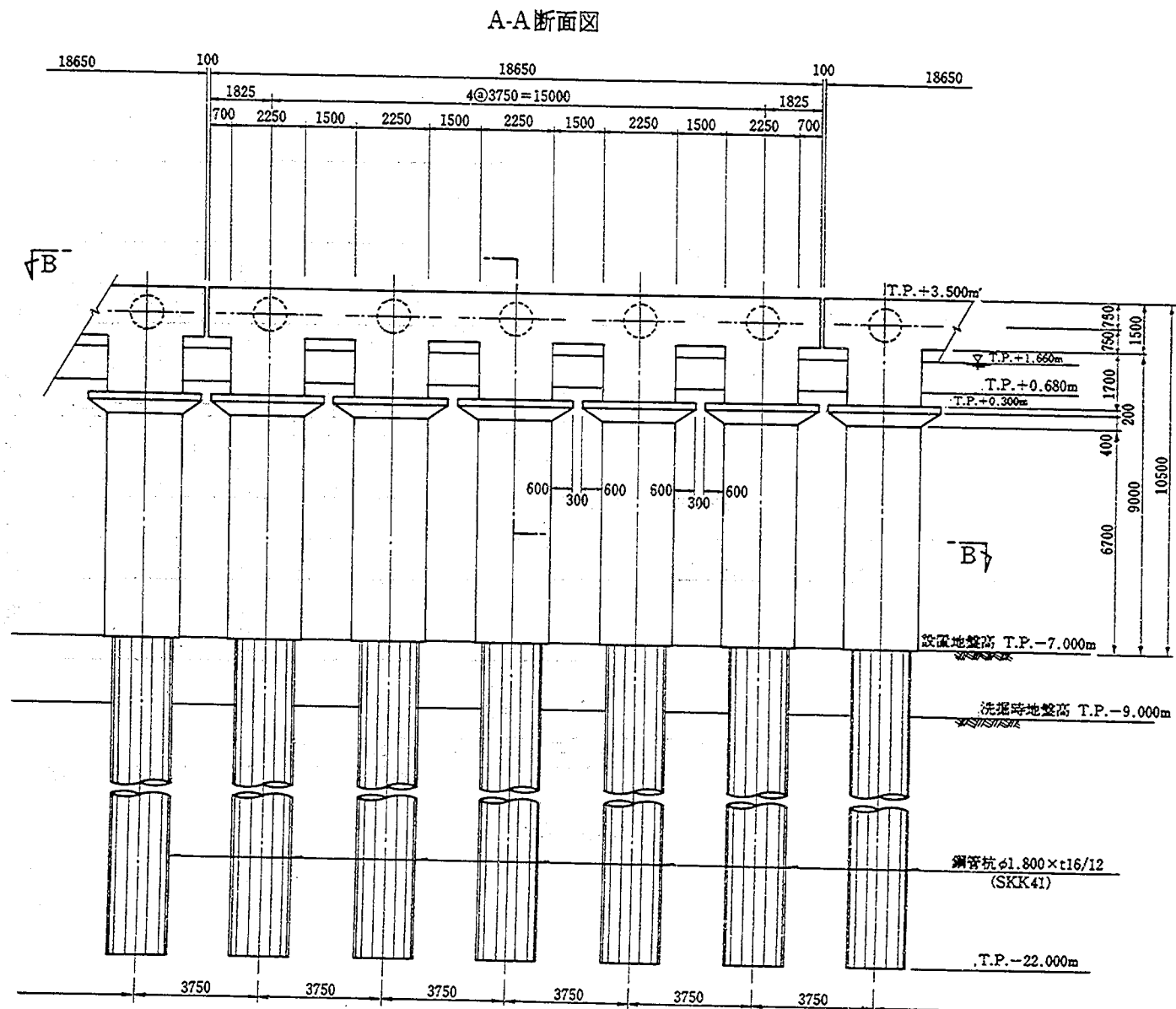


図 3.5.1 水平板付きスリット型3 (ブロックと杭) の鳥瞰図



(unit:mm)

図 3.5.2 構造一般図(1)

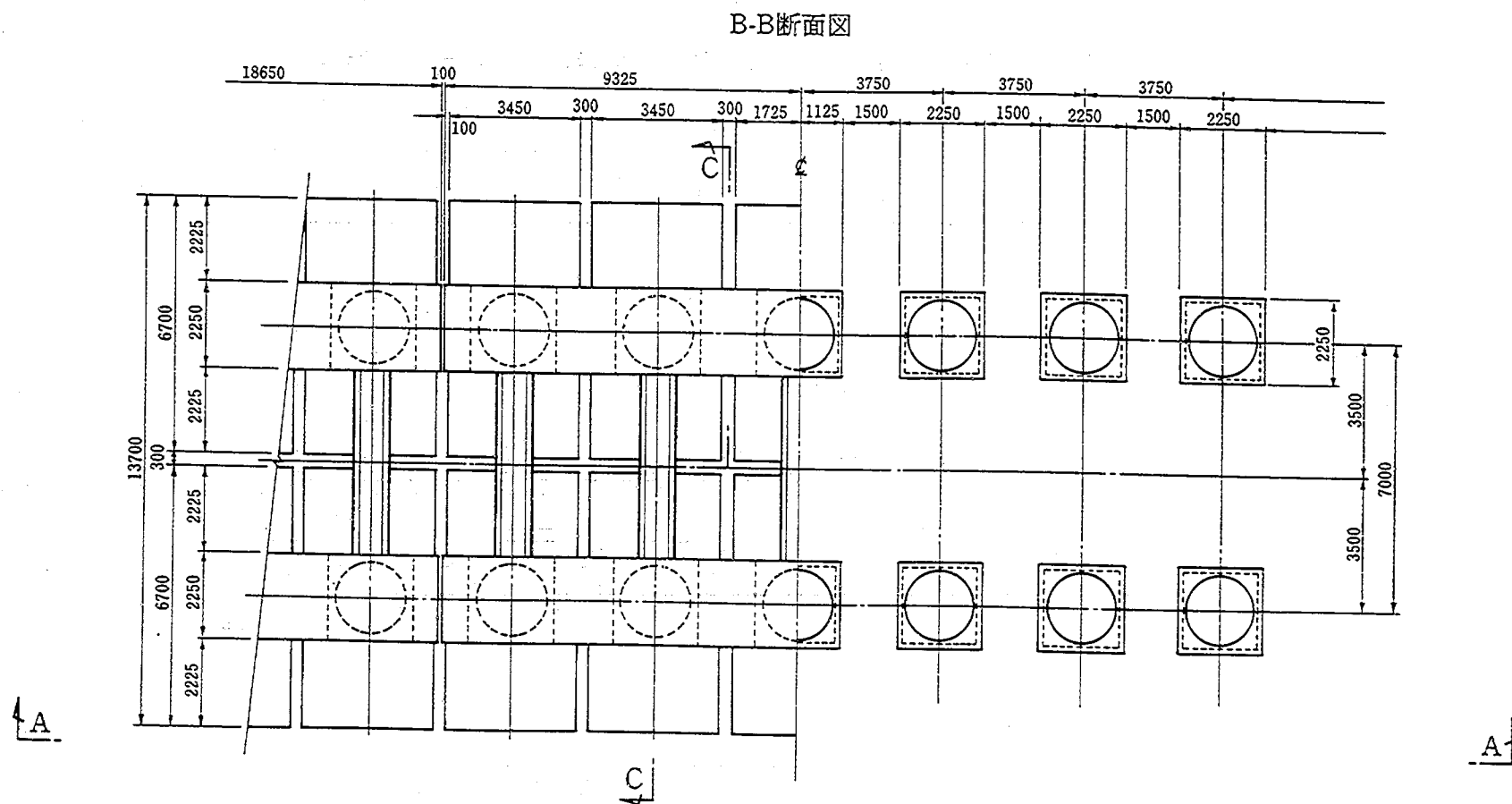


图 3.5.3 构造一般图 (2)

C-C断面図

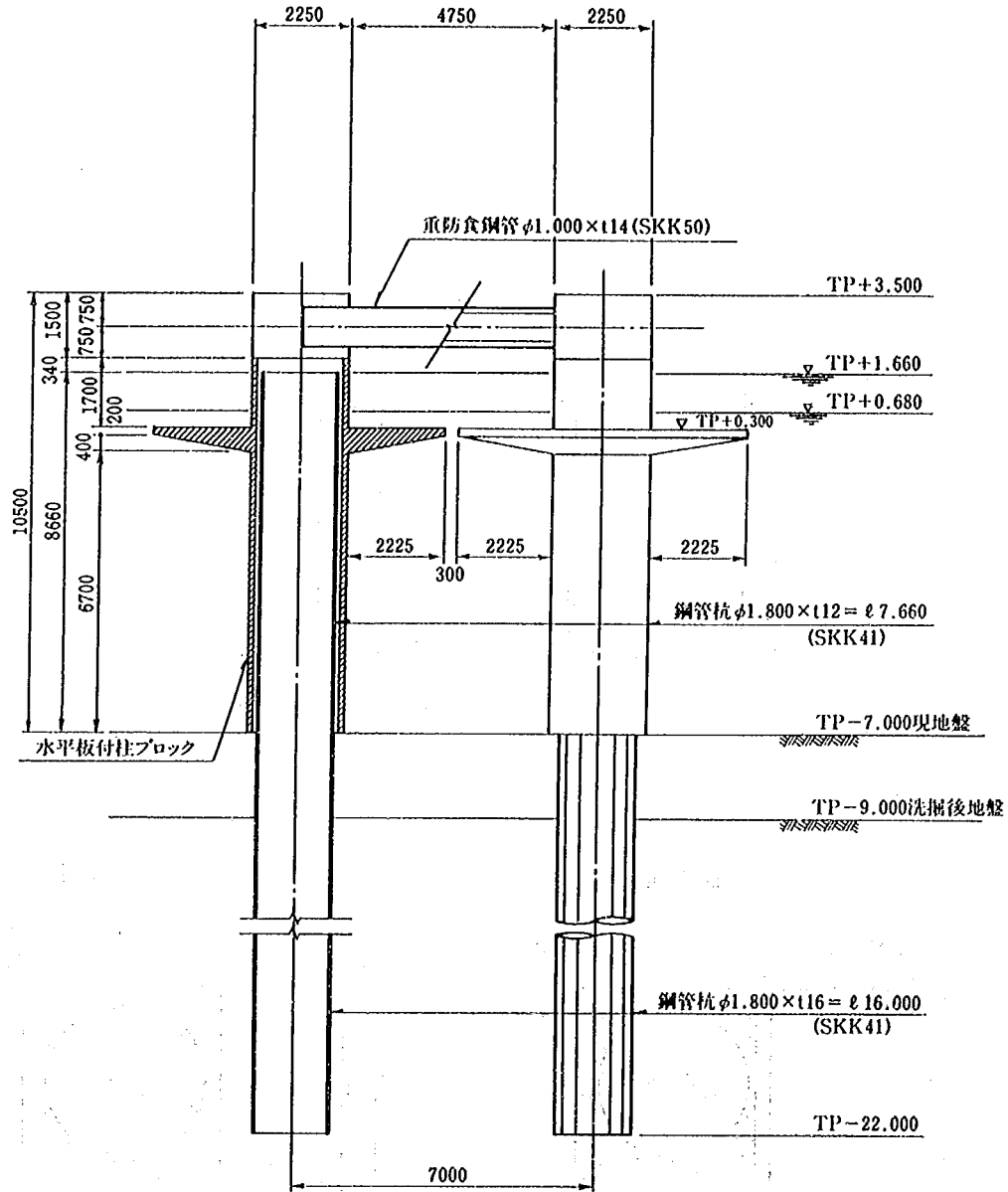
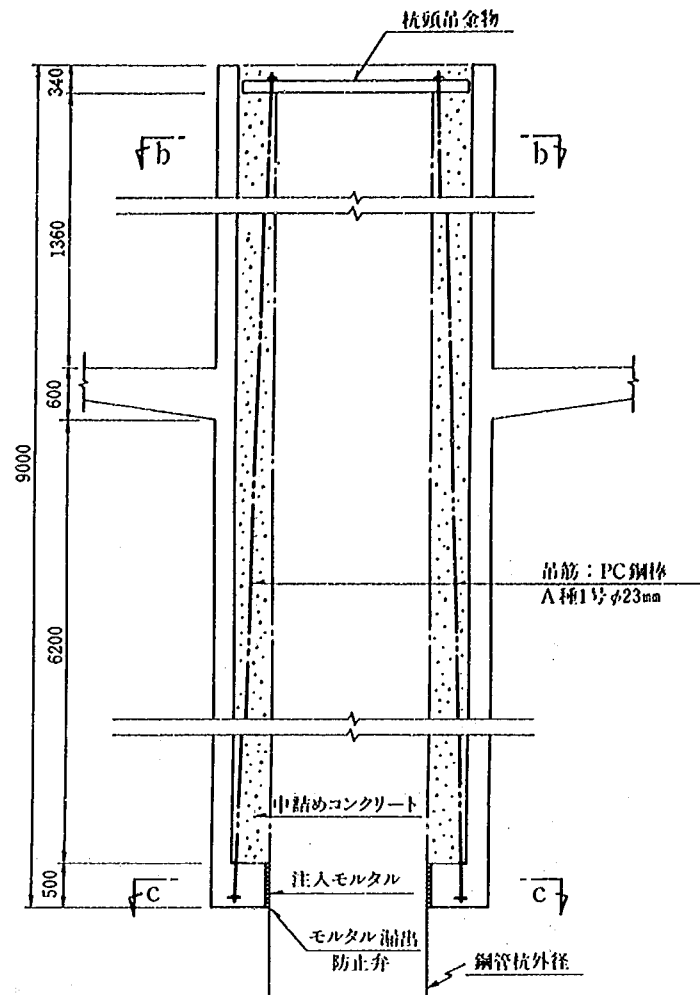
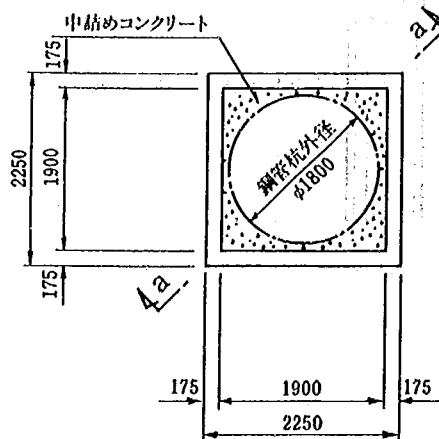


図 3.5.4 構造一般図 (3)

a-a断面図



b-b断面図



c-c断面図

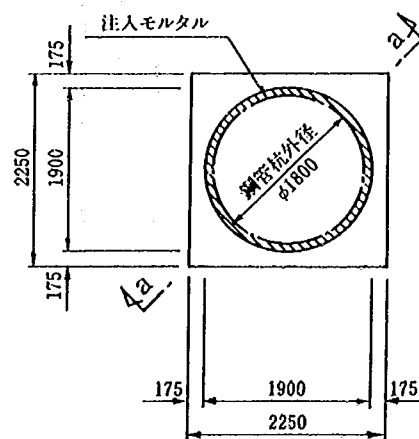
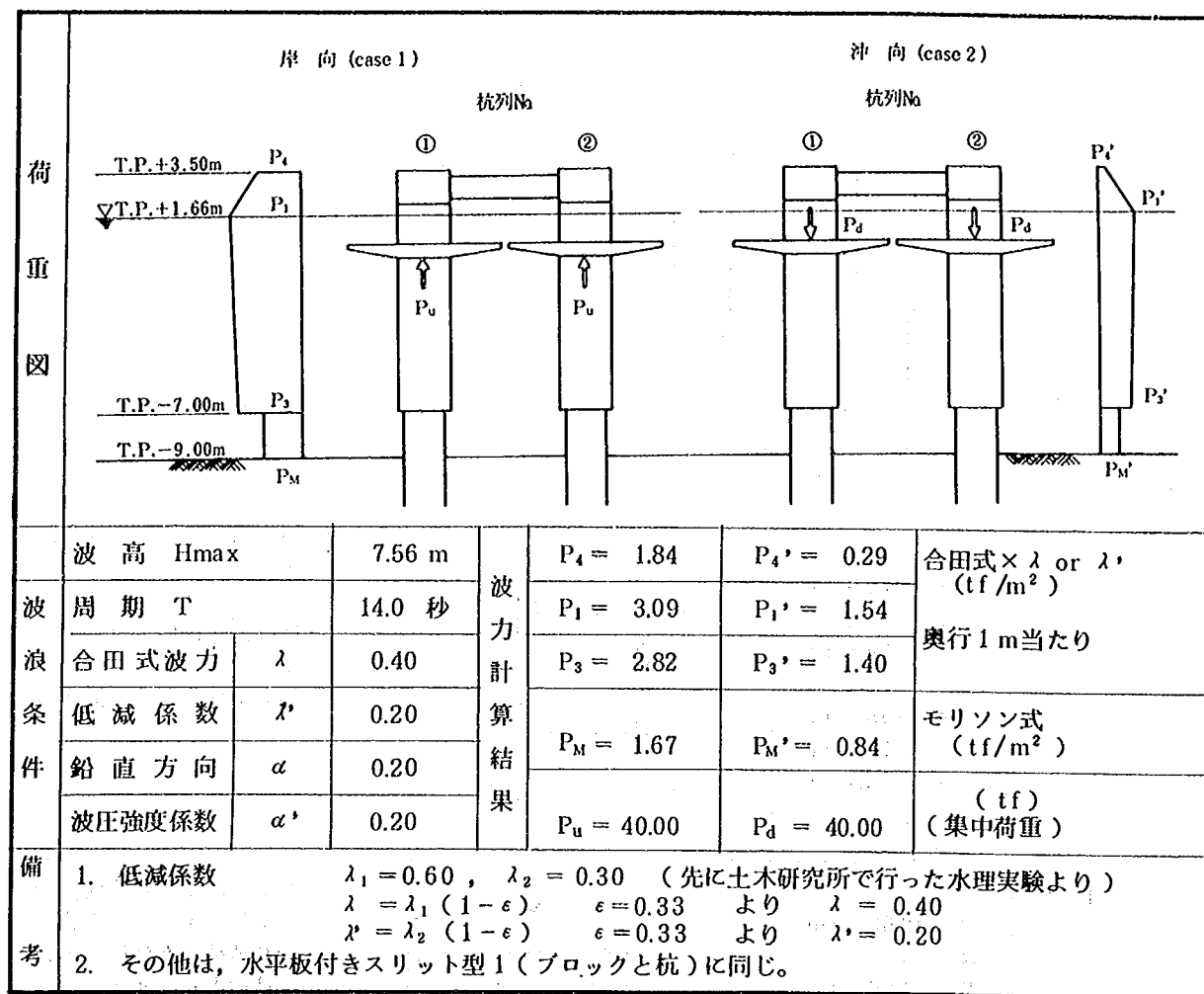


図 3.5.5 詳細図

3.5.3 設計計算

(1) 設計荷重および解析法



(2) 支持力の検討

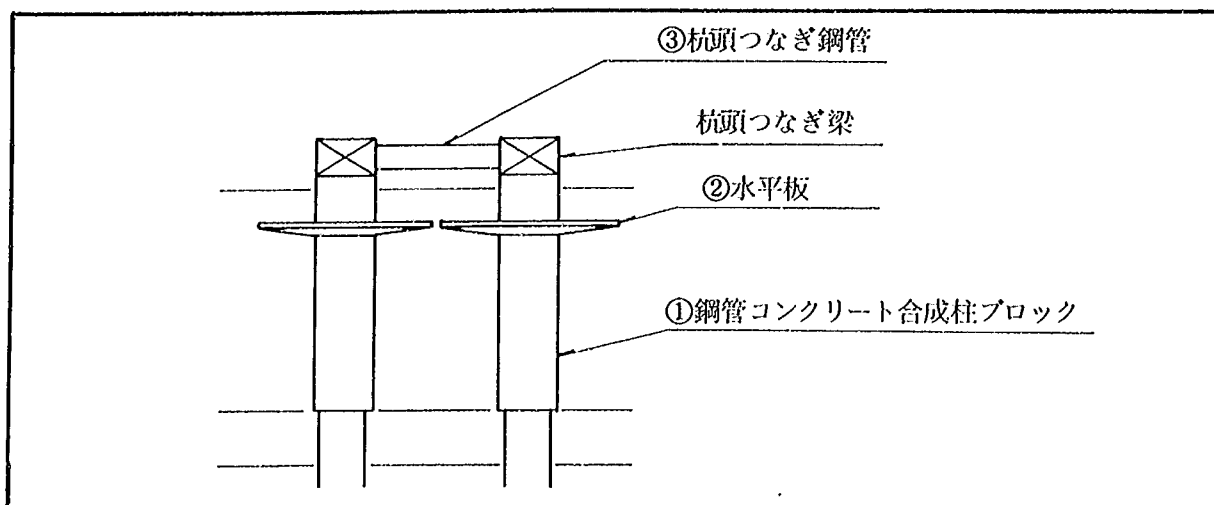
		波 力	杭 列 No	杭反力 R (tf)	許容支持力 R _a (tf)
支持力	引 抜 側	case 1	1	10.7	180.1
	押 込 側	case 2	1	140.5	262.9

① 支持力公式の A_p ; 杭先端面積は、杭径が大きいため先端閉塞が不完全と考え、杭の純断面積のみを考慮した。

(3) 杭の算定

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)			
2	93.4	230.2	845	1400	ϕ 1800, t = 16 mm SKK41, 腐食代 3 mm 海中部

(4) 主要部材の算定



部 材	断 面 図	断 面 形 状	備 考
① 鋼管・コンクリート合成柱ブロック	荷重 $M = 219.9 \text{ tfm}$ $N = -16.2 \text{ tf}$ $S = 74.1 \text{ tf}$ 荷重 $M = 215.0 \text{ tfm}$ $N = -39.9 \text{ tf}$ $S = 74.1 \text{ tf}$		- 断面力はラーメン計算による - 鋼管およびコンクリート柱は、剛比により外力を負担する - 軸引張は鋼管で負担する
② 水 平 板	$M = 12.53 \text{ tfm}$ $N = 0$ $S = 11.26 \text{ tf}$		断面力はⅠ鉛直方向波力とⅡ浮力を考慮した自重の合成荷重が作用する、片持梁として求めた値
③ 杭頭つなぎ鋼管	$M = 187.5 \text{ tfm}$ $N = 35.6 \text{ tf}$ $S = 52.3 \text{ tf}$		- 断面力はラーメン計算による - 座屈による許容応力度の低減はしない

① 杭頭つなぎ梁に関しては、地震時の断面力で配筋が決まると考えられるが、本設計計算では地震時荷重の算定を行っていない。

② プレキャストブロック、中詰コンクリートおよび鋼管は、十分に一体となり外力に対するものとする。鋼管部およびコンクリート部は剛比により外力を分担するとした。

③ 軸引張は、鋼管で負担するものとする。

3.5.4 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は、水平板付きスリット型（ブロックと杭）

と同じであるが、以下の相違点がある。

- ① 杭とコンクリートブロックを大型化して急速施工を目指した。
- ② 杭1本にブロックを1個取り付け、杭頭をつなぐだけの簡単な施工とし、PC緊張等の高度な作業や特殊な作業船舶・機械の必要をなくした。
- ③ 鋼管杭の打設精度は、構造上、それ程高い精度を要求されない。

(2) 施工方法

本構造物の施工手順は、図 3.5.6 及び、図 3.5.7 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 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、水平板ブロックおよび、水平板付き柱ブロックの各製作エリアを始め、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、プレキャスト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

水平板部分を先に製作し、それを取り付けるかたちで柱部のボックス構造を横にした状態で製作する。柱部の四隅に吊筋のアンカーが埋め込まれている。ブロックは、十分な品質管理のもとに製作する。ブロックの浜出しは、60tトレーラーで行い、岸壁から150t吊トラッククレーンにて500t積台船に積み込み現地まで運搬する。

③ 杭打工

杭材は、工場で溶接一本化されたものを搬入し、岸壁に仮置する。その後、バージにて打設現場に運ぶ。杭打に先立ち、導杭を所定の位置に打設し、導梁を結構する。測量により打設位置を決定し、杭を打設する。杭打は、ディーゼルハンマーで行う。

④ 水平板付き柱ブロック据付工および、場所打コンクリート工

水平板付き柱ブロックを杭に挿入する。ブロック内の吊筋により杭頭に支持し、位置調整する。ブロック頭部を、場所打コンクリート梁用の足場・支保工材および、杭頭つなぎ鋼管により、仮固定する。ブロックと鋼管杭の間に中詰コンクリートを充填し、杭頭つなぎコンクリート梁を打設して完成する。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 3.5.1～3.5.3 に示す。

3.5.5 構造物の適用性と今後の課題

本構造は、一層ラーメンという単純な構造であるため、施工が簡単であり、急速施工が要求される場合に最も適している。また、大規模な施工機械・船舶を必要としないことがコストダウンにもつながり、小規模な構造物にも適する。

構造上の課題は、柱ブロックと鋼管杭との一体化であり、中詰コンクリートによる付着を完全にするための接合面の構造研究が必要と考える。また、ブロックの大型化によって施工性の改善は図れたが、水理特性においては、水平板付きスリット型1（ブロックと杭）と同様の現状であり、同じような今後の課題を持っている（表 3.3.4 参照）。

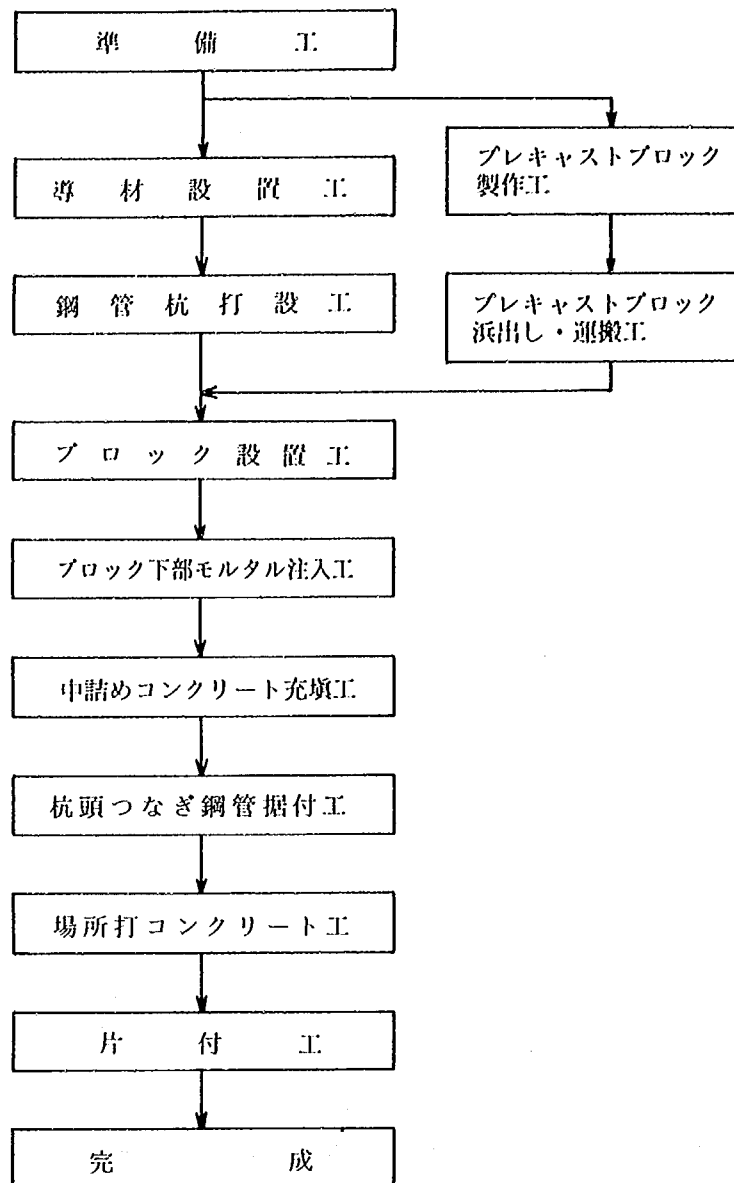


図 3.5.6 施工フロー図

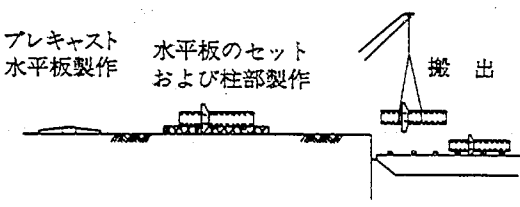
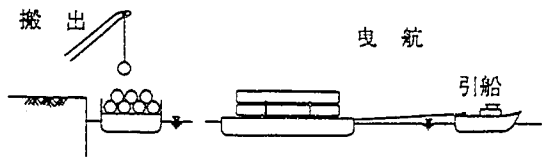
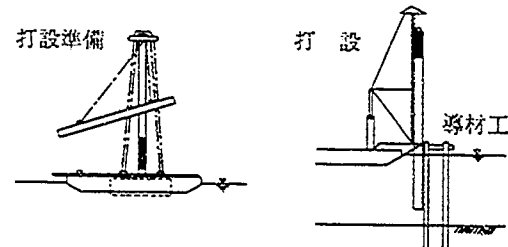
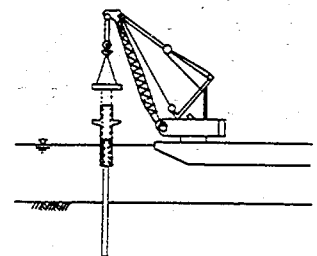
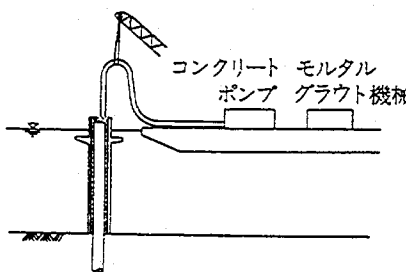
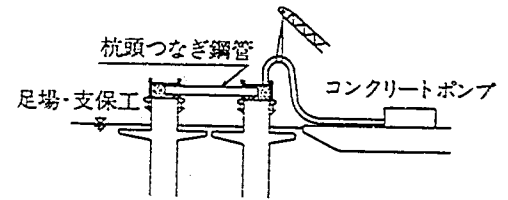
	① プレキャストブロック製作工	② 杭 搬 入	③ 杭 打 工
施 工 要 領 図			
主 業 な 内 容	水平板部の製作 水平板ブロックをセットし、柱部を製作 水平板付き柱ブロックの搬出	岸壁に一時仮置した杭材を施工現場に搬出	導材工を施工後、杭を打設する
主 船 要 舶	合船(500t積) 引船(800ps)	合船(500t積) 引船(1000ps)	杭打船(D70) クレーン付合船(40t吊) 合船(500, 300t積) 引船(1000ps), 揚錨船(250ps), 交通船(100ps)
	④ 水平板付柱ブロック据付	⑤ ブロック下部モルタル注入後中詰コンクリート充填	⑥ 杭頭つなぎ鋼管据付後杭頭つなぎ梁打設
施 工 要 領 図			
主 業 な 内 容	水平板付き柱ブロックの吊込み及び据付	ブロック頭部を仮結構後、中詰コンクリート充填	杭頭つなぎ梁打設
主 船 要 舶	クレーン船(非航120t吊, 自航 50t吊) 合船(500t積), 揚錨船(250ps), 引船(800ps), 交通船(100ps)	非航クレーン船120t吊(コンクリートおよびモルタル用資機材搭載), 揚錨船(250ps), 引船(800ps), 交通船(100ps)	

図 3.5.7 施工要領図

表 3.5.1 数量総括表

種 類	単 位	延長 150m	備 考
鋼 管 杭	t	1,226	SKK 41 ϕ 1,800 $\times$ 12t $\sim$ 16t 80本
P C 鋼 材	t	9	ϕ 23 A種 1号 (吊筋用)
プレキャストコンクリート	m ³	1,619	f' ck = 240 kgf/cm ²
場 所 打 コンクリート	m ³	942	f' k = 240 kgf/cm ²
中 詰 コンクリート	m ³	833	f' ck = 240 kgf/cm ²
鋼 材	t	95	SKK 50 ϕ 1,000 $\times$ 14t (重防食)
		37	SKK 41
鉄 筋	t	362	SD 30

表 3.5.2 主要使用船舶・機械一覧表

船 舶 ・ 機 械 名	仕 様	台 数
杭 打 船	D-70用	1
ク レ ー ン 付 台 車	500 t 積, ジブ旋回式 40 t 吊	1
非 航 ク レ ー ン 船	ジブ旋回式 120 t 吊	1
自 航 ク レ ー ン 船	ジブ旋回式 50 t 吊	1
コンクリートポンプ	40 m ³ / hr	1
グ ラ ウ ト ポ ン プ	30 l / min	1
台 船	鋼 500 t	3
	鋼 300 t	1
引 船	D 1000 PS	1
	D 800 PS	1
揚 錨 船	鋼D 15 t	1
交 通 船	D 100 PS	1
ディーゼルハンマー	D-70	1
トラッククレーン	150 t 吊	1
クローラクレーン	30 t 吊, 15 t 吊 20 t 吊	各 1 2
ト レ ー ラ ー	60 t 積	1
モーターグレーダー		1
コンクリートポンプ車	30 m ³ / hr (随 時)	2

表 3. 5. 3 工 程 表

項 目		10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
準 備 工	一 式	10日 []					
柱ブロック 製 作 工	80 個	[]	100日	[]			
鋼 管 杭 打 設 工	80 本		[]	100日	[]		
柱ブロック 据 . 付 工	80 個			[]	90日	[]	
中詰コンク リート充填工	80ヶ所			[]	90日	[]	
杭頭つなぎ コンクリート工	300m			[]	90日	[]	
片 付 工	一 式						10日 []

3.6 スリット型（ケーソンと杭）*

3.6.1 構造概要

(1) 構造の概要

本構造は基礎の鋼管杭と同じ空隙率 0.2 の 3 枚のスリット壁を有するケーソンを結合させたものである。スリット壁の枚数は 2 枚でも 3 枚でも消波効果はほとんど差がないことが実験により確かめられているが、構造の安定上、ケーソンの中央部にスリット構造の隔壁を配置し、結果的には 3 枚のスリット壁となっている。また、基礎の鋼管杭を水中で打ち止めし、底板のないケーソンを杭打設後に据え付け、水中コンクリートで鋼管杭とケーソンを結合している。ケーソン 1 函は $\phi 1000$ の鋼管杭 12 本で支えられている。

(2) 特 徴

本構造の特徴は以下の通りである。

- ① 堤体全体を均質なコンクリート構造にできる。
- ② ブロック構造に比べて堤体が引船・据え付けにより迅速に施工できる。
- ③ ブロック構造に比べて杭打設の精度を緩和できる。

鳥瞰図を図 3.6.1 に、構造一般図を図 3.6.2 ～図 3.6.5 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）

横山育起（飛鳥建設株式会社総合企画本部技術開発部）

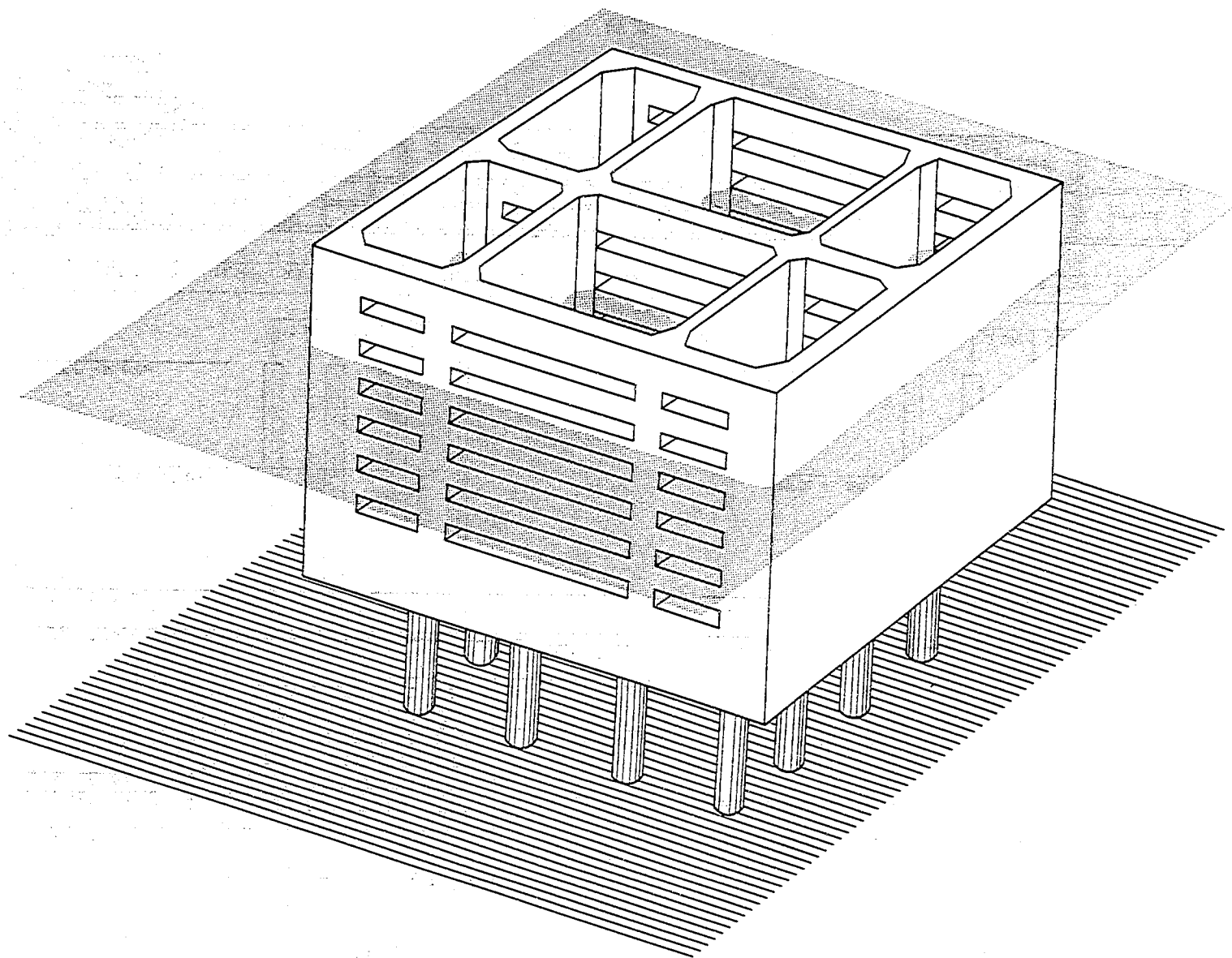


図 3.6.1 スリット型（ケーソンと杭）の鳥瞰図

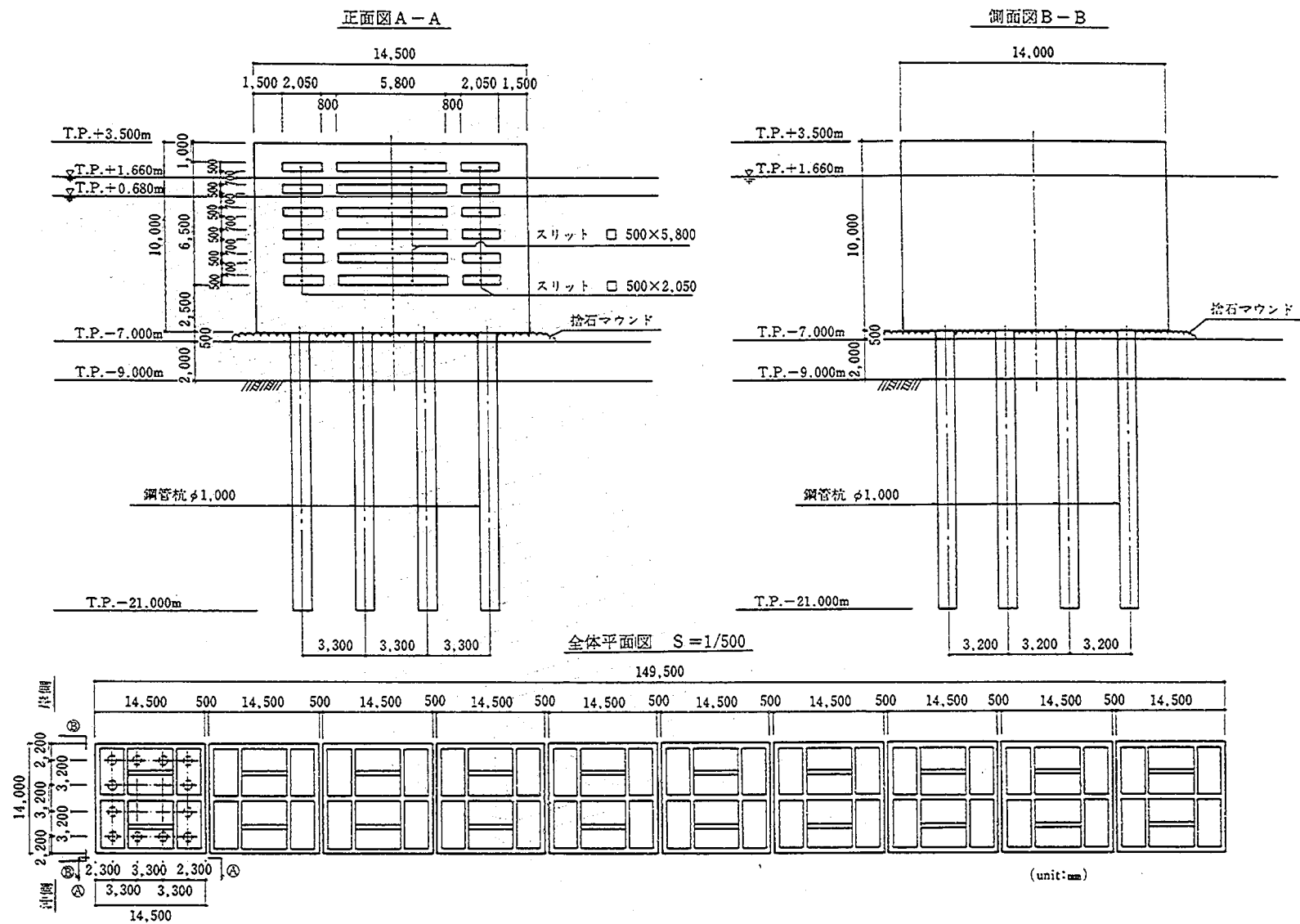


図 3. 6. 2 構造一般図 (1)

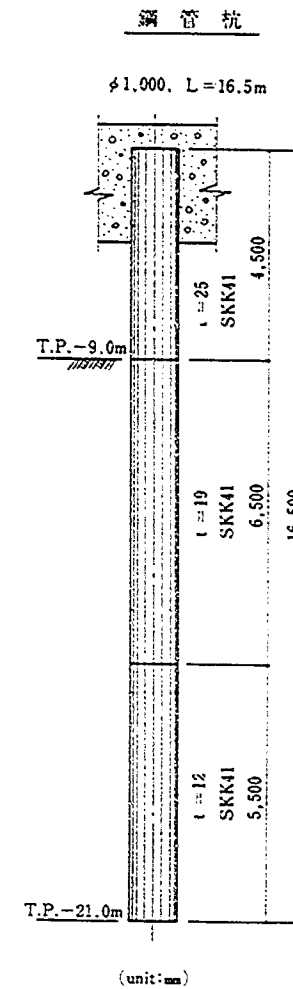
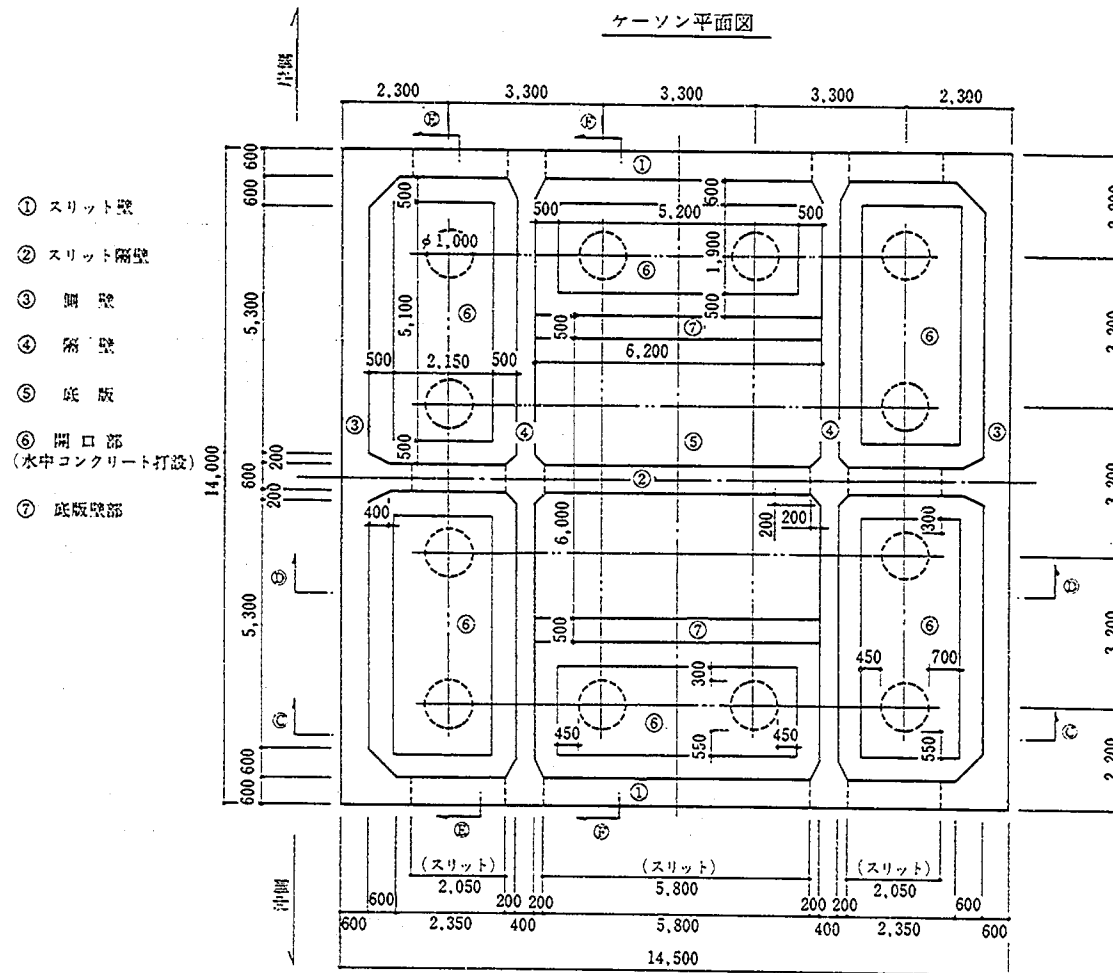
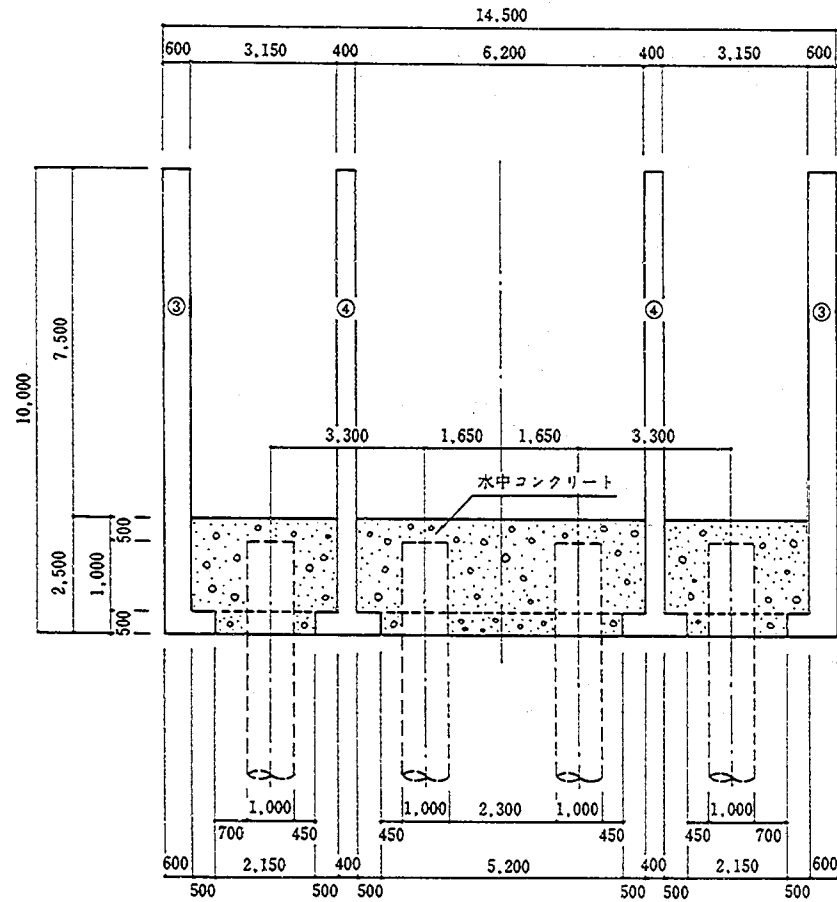


図 3. 6. 3 構造一般図 (2)

C-C断面図



D-D断面図

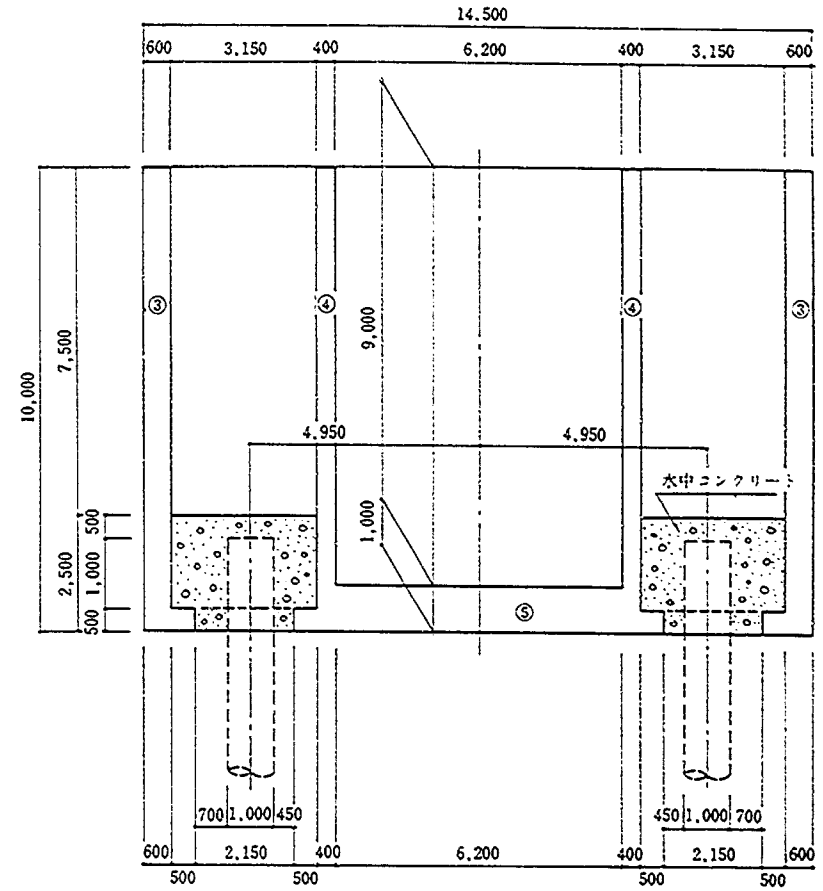
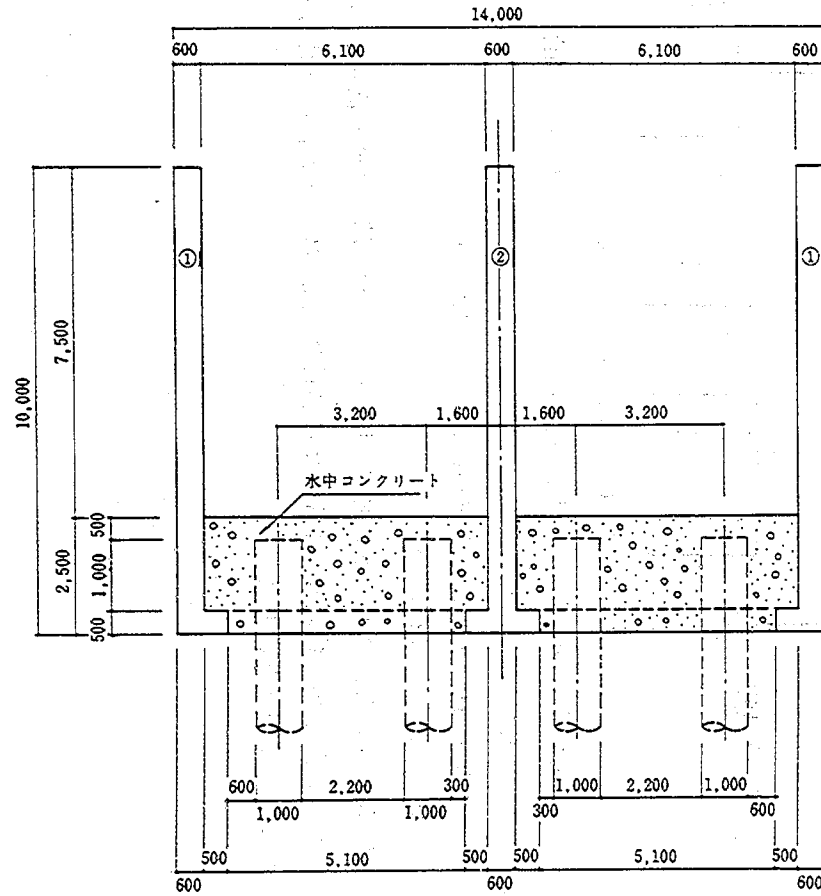


図 3. 6. 4 構造一般図 (3)

(unit: mm)

E-E断面図



F-F断面図

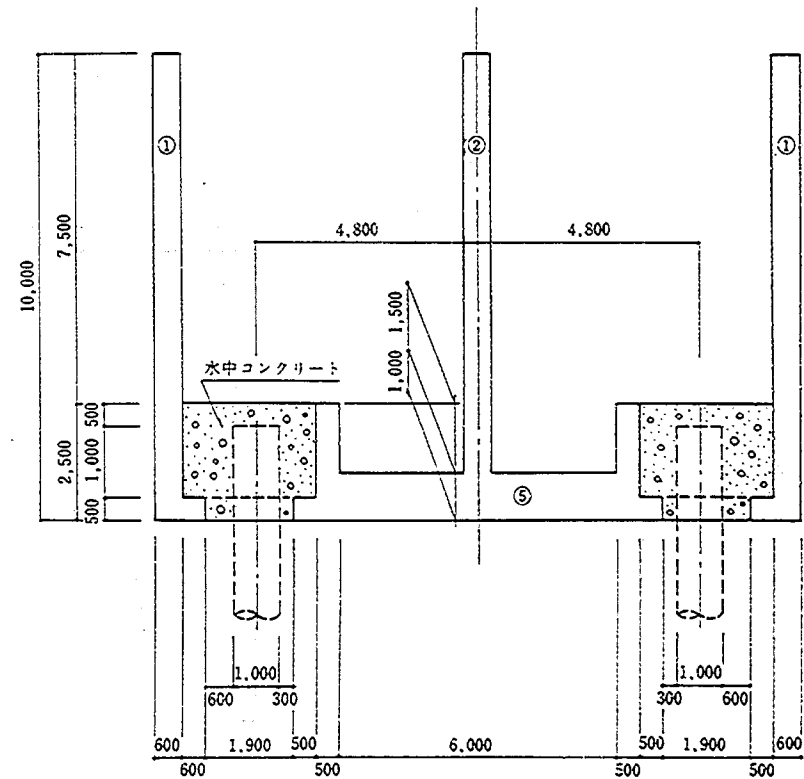


図 3. 6. 5 構造一般図 (4)

(unit : mm)

3.6.2 構造諸元

土木研究所が行った2枚スリット型 $\epsilon = 0.2$, $h_2/h = 0.7$ の場合の実験結果に基づき 2.2.3 に示した消波性能を満足する構造諸元を次のように決定した。

空隙率 $\epsilon = 0.2$ (スリット枚数 $N = 3$)

水深 $h = 7.68 \text{ m}$

吃水比 $h_2/h = 0.93$

スリット幅 $B = 14.0 \text{ m}$

構造諸元を図 3.6.6 に示す。

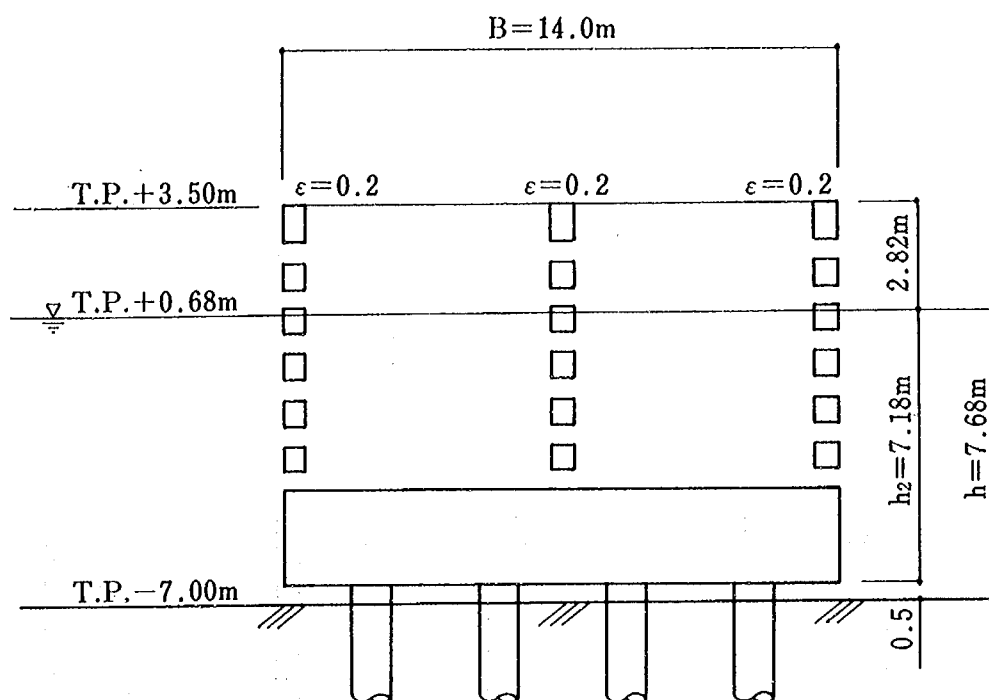


図 3.6.6 構造諸元

K_T , K_R と B/L の関係を図 3.6.7, 図 3.6.8 に示す。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。

$$L \leq 82 \text{ m} \quad (T = 10 \text{ sec}, h = 7.86 \text{ m のとき } L = 82 \text{ m})$$

$$B/L \geq 0.17 \quad (B = 14.0 \text{ m})$$

図 3.6.7, 図 3.6.8 より, スリット幅 $B = 14.0 \text{ m}$ とすれば, 消波性能を満足する。実験結果は 2 枚スリット型のものであるが 3 枚スリット型も消波特性に差はない。また, 吃水比は大きくなれば消波性能は向上するので問題はないと考えた。

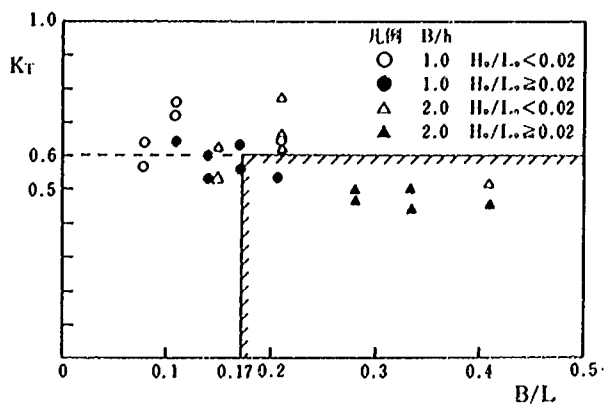


図 3.6.7 K_T と B/L の関係
($h_2/h = 0.7$, $N = 2$, $\epsilon = 0.2$)

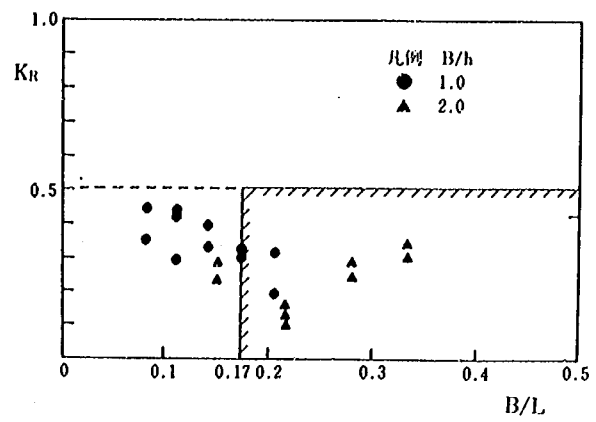
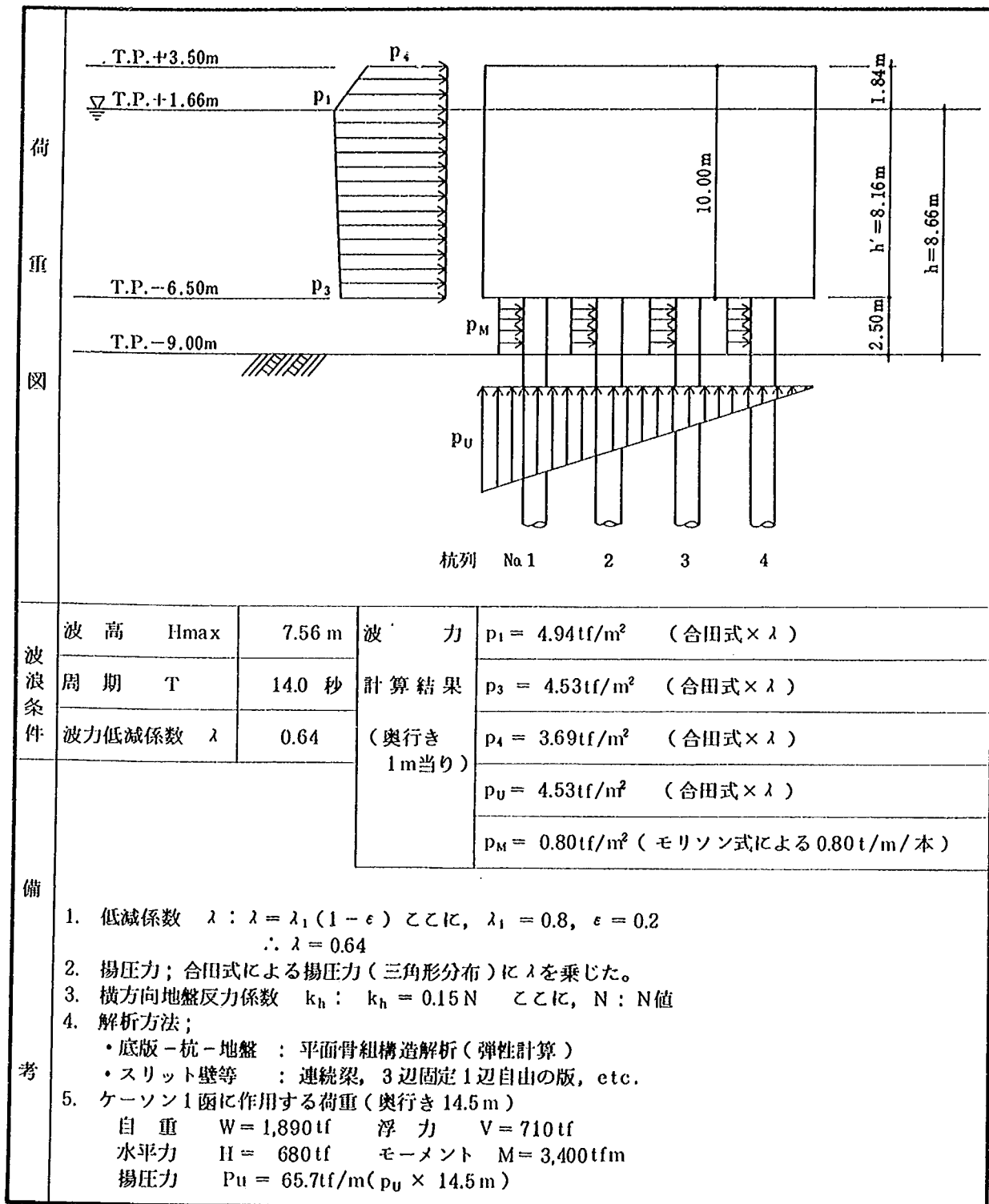


図 3.6.8 K_R と B/L の関係
($h_2/h = 0.7$, $N = 2$, $\epsilon = 0.2$)

3.6.3 設計計算

(1) 設計荷重及び解析法



(2) 支持力の検討

		杭列 No	杭 反 力 R (tf)	許容支持力 Ra (tf)
支 持 力	引 抜 側	1	82.7	86
	押 込 側	4	168	615

(3) 杭の算定

杭列No	設 計 断 面 図		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)			
4	168	178	1243	1400	$\phi 1,000$, $t=25$, SKK41 腐食代 0 mm 堤体内

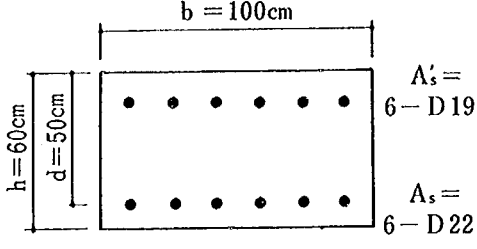
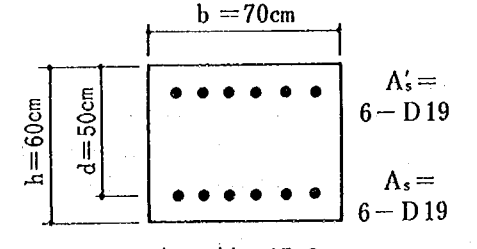
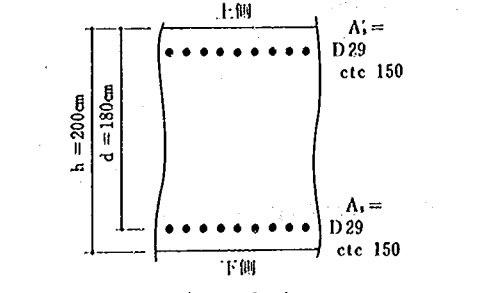
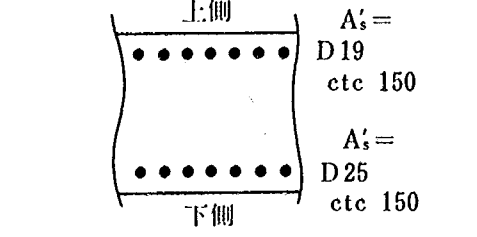
(注) 座屈長は小さく許容応力度の低減はない。

(4) 杭と底版の結合部の検討

	断 面 力	応 力 度 (kgf/cm ²)	許 容 応 力 度 (kgf/cm ²)	備 考
垂 直 支 圧	$N = 168 \text{ tf}$	21.4	72	$f'_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2$
水 平 支 圧	$H = 58 \text{ tf}$, $M = 178 \text{ tfm}$	51.3	72	
押し抜きせん断	$N = 168 \text{ tf}$	7.1	9	
付 着	$N = -82.7 \text{ tf}$	2.6	4.8	$\tau_a = 0.02 \cdot 240 = 4.8 \text{ kgf/cm}^2$

(注) 許容付着応力度については「港湾基準」によった。

(5) 主要部材の算定

部 材	断 面 力	部 材 断 面 形 状	備 考
① スリット壁	$M = 17.4 \text{ tfm}$ $N = 0 \text{ tf}$ $S = 18.8 \text{ tf}$	 $A_s = 23.2 \text{ cm}^2, A'_s = 17.2 \text{ cm}^2$	荷重；合田式 $\times \lambda_1$ $(\lambda_1 = 0.8)$ 計算；3径間連続梁  $W = 5.60 \text{ tf/m}$
② スリット壁	$M = 13.4 \text{ tfm}$ $N = 0$ $S = 14.3 \text{ tf}$	 $A_s = A'_s = 17.2 \text{ cm}^2$	同 上 $W = 4.32 \text{ tf/m}$
③ 底 版		 $A_s = 42.8 \text{ cm}^2/\text{m}$	計算；底版と杭の骨組構造 配筋；最小引張鉄筋比0.2 ㉔より決定 底版下端から50cmの厚 さは部材として無視
④ 底 版	$M = 47.0 \text{ tfm/m}$ $N = 23.6 \text{ tf/m}$ $S = 169.9 \text{ tf/m}$	 $A'_s = 19.1 \text{ cm}^2/\text{m}, A_s = 33.8 \text{ cm}^2/\text{m}$	計算；底版と杭の骨組構造

3.6.4 施工概要

(1) 概 要

本構造物の施工に当たっては、以下の点に注意を払う必要がある。

- ① 堤体をケーソンタイプにすることで、堤体据え付けの急速施工を可能とする。
- ② 杭を水中で打ち止め、堤体底版部で杭を結合し杭の数量を減らす。
- ③ 施工時安定のためケーソン底版中央部への杭配置を避け周囲に配置する。

(2) 施工方法

本構造物の施工手順は図3.6.9、図3.6.10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 ケーソン製作

ケーソン製作ヤードは陸上ヤードとする。海上工事の工期が限られているためケーソンの円滑な供給ができるように工程を計画する。杭とケーソン底版の結合を水中で行うため底版に開口部を設け、杭との結合部とする。開口部はあらかじめ配筋しておく。

② 杭 打 ち

導材設置後ディーゼルハンマー杭打船（D-70）により杭を打ち込む。杭は水中（T. P. -4.5 m）で打ち止める。

③ 捨石投入

ケーソン設置の基面の整形のためガット船（499 GT）で捨石を投入する。

④ 捨石均し

潜水士により捨石均しを行いケーソン据え付けレベルを確保する。

⑤ ケーソン据付

ケーソンの据付は2函を同時に据え付ける工程とする。陸上製作ヤードのケーソン2函のうち1函は、起重機船（3000 t 吊）で吊り上げたまま建設地点へ運び、もう1函は台船で建設地点まで運ぶ。起重機船で運んできたケーソンをまず据え付け、引続き台船上のケーソンを同じ起重機船を使用して据え付ける。

⑥ 杭頭処理

非航起重機船で鉄筋かご吊り下げ、潜水士の確認により杭頭の所定の位置へ据え付ける。

⑦ 杭頭コンクリート打設

分離低減材を使用した水中不分離性コンクリートをミキサー船によりケーソン底版の開口部に打設し杭とケーソンを結合して構造体が完成する。

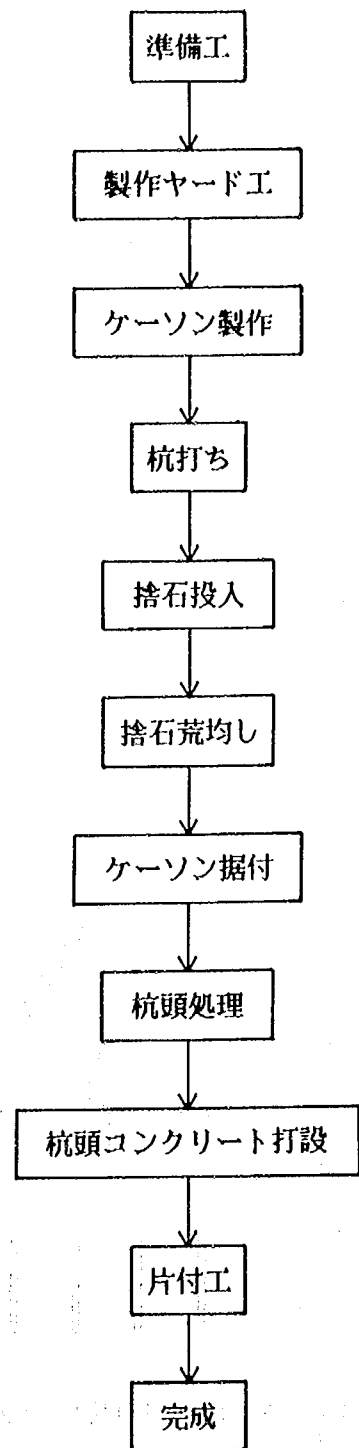
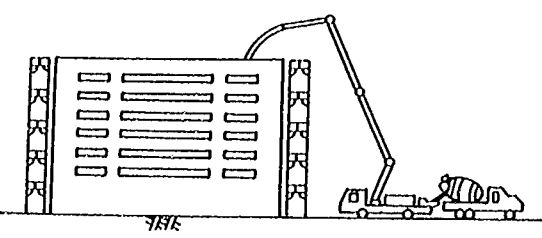
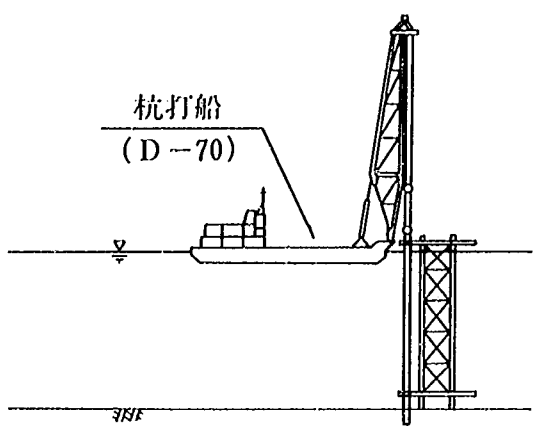
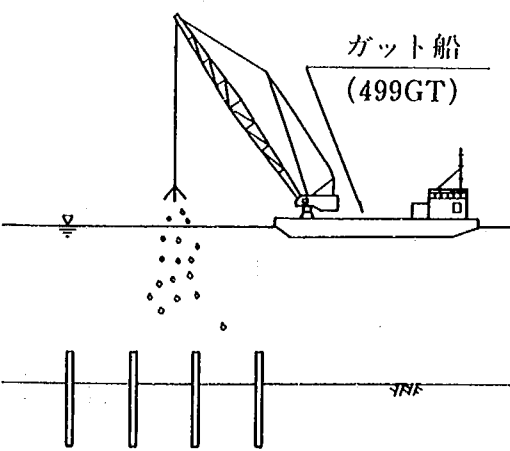
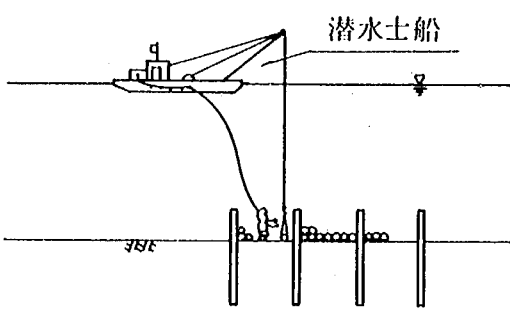
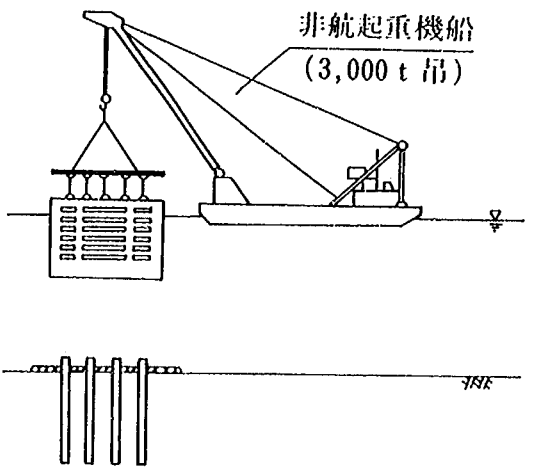
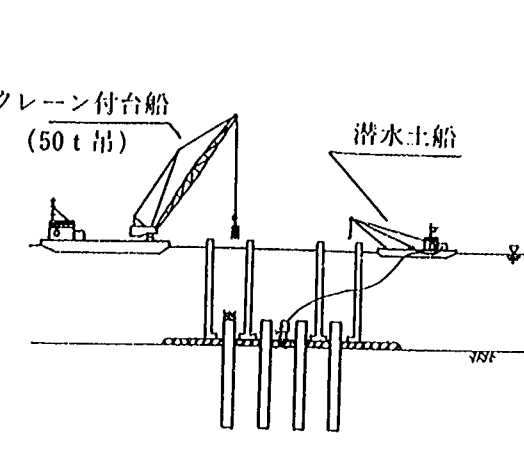
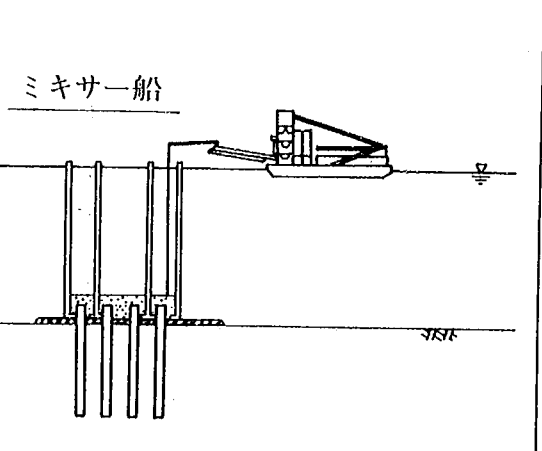


図3.6.9 施工フロー図

工種	① ケ ー ソ ン 製 作	② 杭 打 ち
施 工 要 領 図		
主業 な内 作容	ケーソン製作	導材設置後ディーゼルハンマーにより杭を打設する。 杭は水中で打ち止める。
使船 用舶		杭打船 (D-70 用), 交通船 (D50PS) 台船 (鋼 500t), 引船 (D800PS, D350PS) 揚錨船 (鋼 D15t 吊)
工種	② 捨 石 投 入	④ 捨 石 荒 均 し
施 工 要 領 図		
主業 な内 作容	ガット船により捨石を投入する。	潜水土により捨石均しを行う。
使船 用舶	ガット船 (499GT) 交通船 (D50PS) 潜水土船 (D30PS (3t ウインチ付))	潜水土船 (D30PS (3t ウインチ付)) 交通船 (D50PS)

工種	⑥ ケ ー ソ ン 据 付	⑥ 杭 頭 処 理
施 工 要 領 図	 非航起重機船 (3,000 t 吊)	 クレーン付台船 (50 t 吊) 潜水土船
主業 な内 作容	台船および起重機船で運んだケーソンを現地で所定の位置へ沈設する。	杭頭補強用の鉄筋かごを据え付ける。
使用 船 舶	非航起重機船 (ジブ固定式 3000 t 吊) 引船 (D4000 PS, D3000 PS, D1500 PS) 台船 (鋼 2000 t), 交通船 2 (D50 PS) 揚錨船 (鋼 D 60 t 吊)	非航起重機船 (ジブ旋回式 50 t 吊) 潜水土船 (D30 PS) 引船 (D300 PS), 交通船 (D50 PS) 揚錨船 (鋼 D 2 t 吊)
工種	⑦ 杭 頭 コ ン ク リ ー ト 打 設	
施 工 要 領 図	 ミキサー船	
主業 な内 作容	水中不分離性コンクリートを捨石およびケーソンを型枠として打設する。	
使用 船 舶	ミキサー船 (D460 PS) 引船 (D500 PS), 交通船 (D50 PS) 潜水土船 (D30 PS) 揚錨船 (鋼 10 t 吊)	

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 3. 6. 1 ～表 3. 6. 3 に示す。

表 3. 6. 1 総括数量表

種 類	単位	延長 149.5 m	備 考
捨 石	m ³	1,297	厚さ 50 cm
鋼 管 杭	t	876	φ 1700 × 12 t ～ 25 t SKK41 本数 120 本
ケーソン	コンクリート	m ³	f _{ck} ' = 240kgf/cm ²
	鉄 筋	t	SD 30
水 中 コンクリート部	コンクリート	m ³	f _{ck} ' = 240kgf/cm ² 水中不分離性
	鉄 筋	t	SD 30

表 3. 6. 2 主要使用船舶・機械一覧表

船 舶 ・ 機 械 名	仕 様	台 数
クローラークレーン	40 t 吊	2
ボ ン プ 車	ブ ーム 式	2
ト ラ ッ ク	4 t 積	2
杭 打 船	D -70 用	2
非 航 起 重 機 船	ジブ固定式 3000 t 吊	1
非 航 起 重 機 船	ジブ旋回式 50 t 吊	1
引 船	D 4000 PS, D 1500 PS	各 1
	D 500 PS	1
	D 3000 PS, D 800 PS	各 2
台 船	鋼 2000 t	1
	鋼 500 t	4
ダ ンプ	10 t 積	2
ガ ッ ト 船	499 GT	1
ミ キ サ ー 船	460 PS	1
潜 水 士 船	D 30 PS	2
	D 30 PS (3t ウインチ付)	3
交 通 船	D 50 PS	1
揚 錨 船	鋼 D 15 t 吊	2
	鋼 D 2 t 吊	1
	鋼 D 10 t 吊	1
	鋼 D 60 t 吊	1

表 3.6.3 工 程 表

項 目		7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月
準備工	1 式	30日 □									
ケーソン製作工	10 個				150日						
鋼管杭打設工	120 本						75日				
捨石均し工	1 式							78日			
ケーソン据付工	10 箇							63日			
杭頭コンクリート工	120 式							75日			
片 付 工	1 式									10 日 □	

3.6.5 構造物の適用性と今後の課題

本構造物の特徴の一つは、杭を水面上まで上げずに水中で打ち止めし、ケーソン底版部で結合したることである。結合部のコンクリートの品質の保証のために水中不分離性のコンクリートを用いる。水中不分離性コンクリートは、水質汚濁もなく高品質が得られるとして最近施工実績もふえつつある。また鋼管杭基礎のRCスラブへの適用例もあり(「特殊水中コンクリートマニュアル」(財団法人沿岸開発技術研究センター))今回のような場合でも十分信頼性のあるコンクリートを打設できるものと思われる。他の設計技術や施工技術は従来通りのものであり、したがって本構造物は技術的には十分実現可能性のあるものである。しかしながらより機能的な構造物とするためには今後も研究を続けなければならない技術的課題は多い。例えば、大水深域での建設となると水中コンクリートの打設等の水中作業が困難になる。これには他のケーソンタイプのようにケーソン本体に柱部分を設け、そこで杭とケーソンを結合させる方法などが考えられる。また、水中コンクリートと鉄筋あるいは鋼管との付着強度や、部材の疲労強度の問題などもある。今後より合理的な構造物とするためには、表 3.6.4 に示すような課題がある。

表 3.6.4 スリット型（ケーソンと杭）の現状の技術レベルと今後の課題

1項 目	現状の技術レベル	今 後 の 課 題
1. 水理特性		
① 消消効果	周期 6 sec ~ 10 sec, 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。	耐波構造とするためには、スリット壁間に多くの梁部材を必要とする。梁部材を水面付近に設置することにより梁部材に透過水平板的な消波効果を持たせることができると考えられる。よってそれらを検討する必要がある。
② 波 力	非砕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る。	長周期（10 sec 以上）、大波高（波高 10 m 以上）に対する全波力、部材波力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なう。 設計波高と安全率の考え方を明確にする。
② 構造部材	R C 部材。 底版は水中コンクリート。	ひび割れ、疲労強度など耐久性に関する検討。 杭と底版の結合部の安全性の評価。
3. 施 工		
① ケーソン据付	現状の技術で対応可能。	急速施工法の開発。
② 水中作業	他のタイプに比較して多くなる。	水中作業を少なくする工法の開発。

3.7 透過水平板付スリット型（ケーソンと杭）*

3.7.1 構造概要

本構造は3枚の鉛直壁のスリット板と1枚の水平板付スリットから構成される消波ケーソンである。

(1) 構造の概要

- ① スリット壁はそれぞれ実験に基づく所定の空隙率を有しており、鉛直壁のスリットはすべて同一の空隙率を持っている。
- 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、杭は柱内部を貫通し上部に突出した構造である。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に注入コンクリートにより固定されている。1函あたりの延長は20m、幅9.5m、高さ8.6mである。1函あたり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3.7.1に示す。また、構造一般図を図3.7.2～3.7.7に示す。

* 執筆：緒方一成（五洋建設株式会社技術本部技術部）

国栖広志（五洋建設株式会社技術研究所）

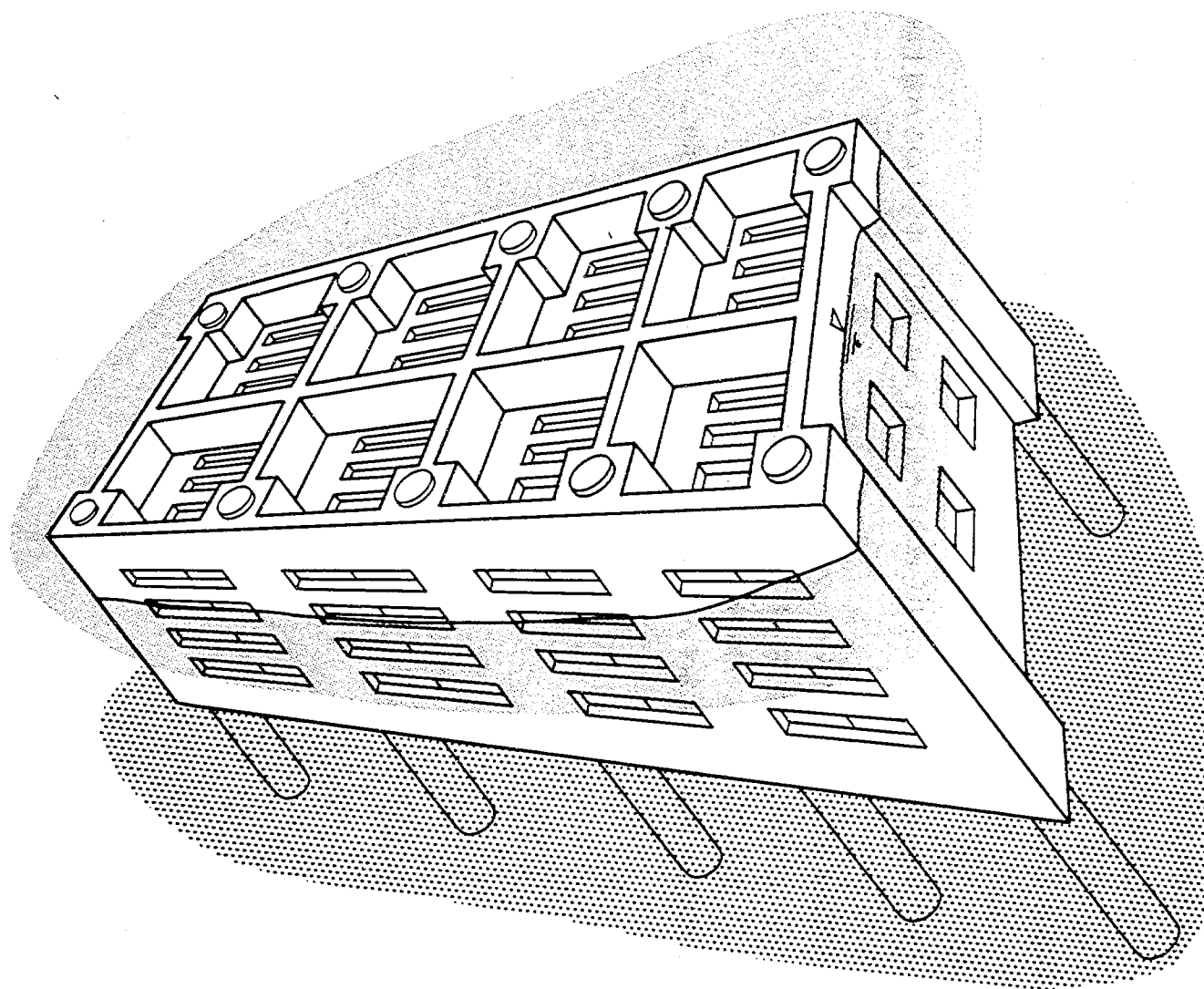


図 3.7.1 透過水平板付スリット型（ケーソンと杭）の鳥瞰図

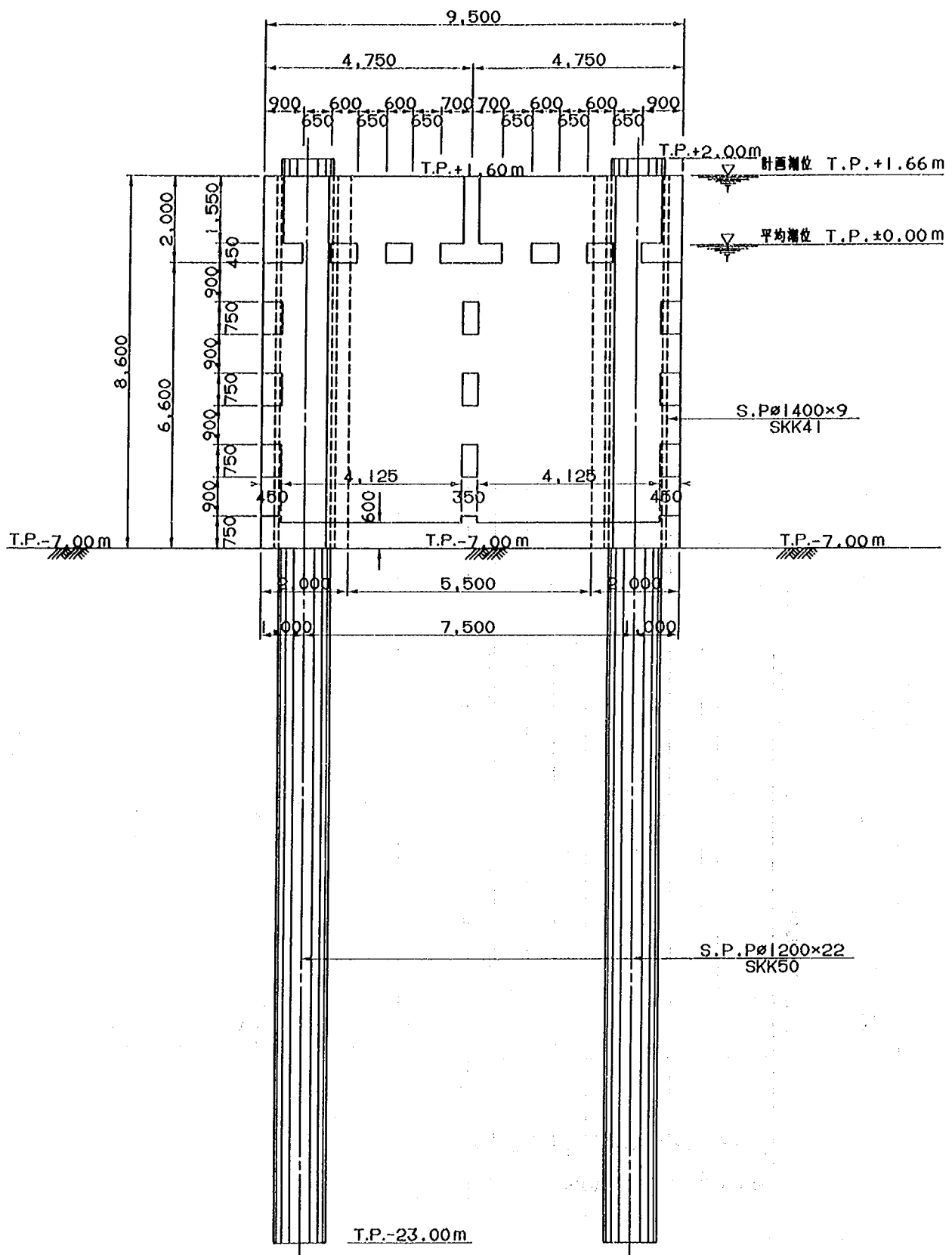


図 3.7.2 標準断面図

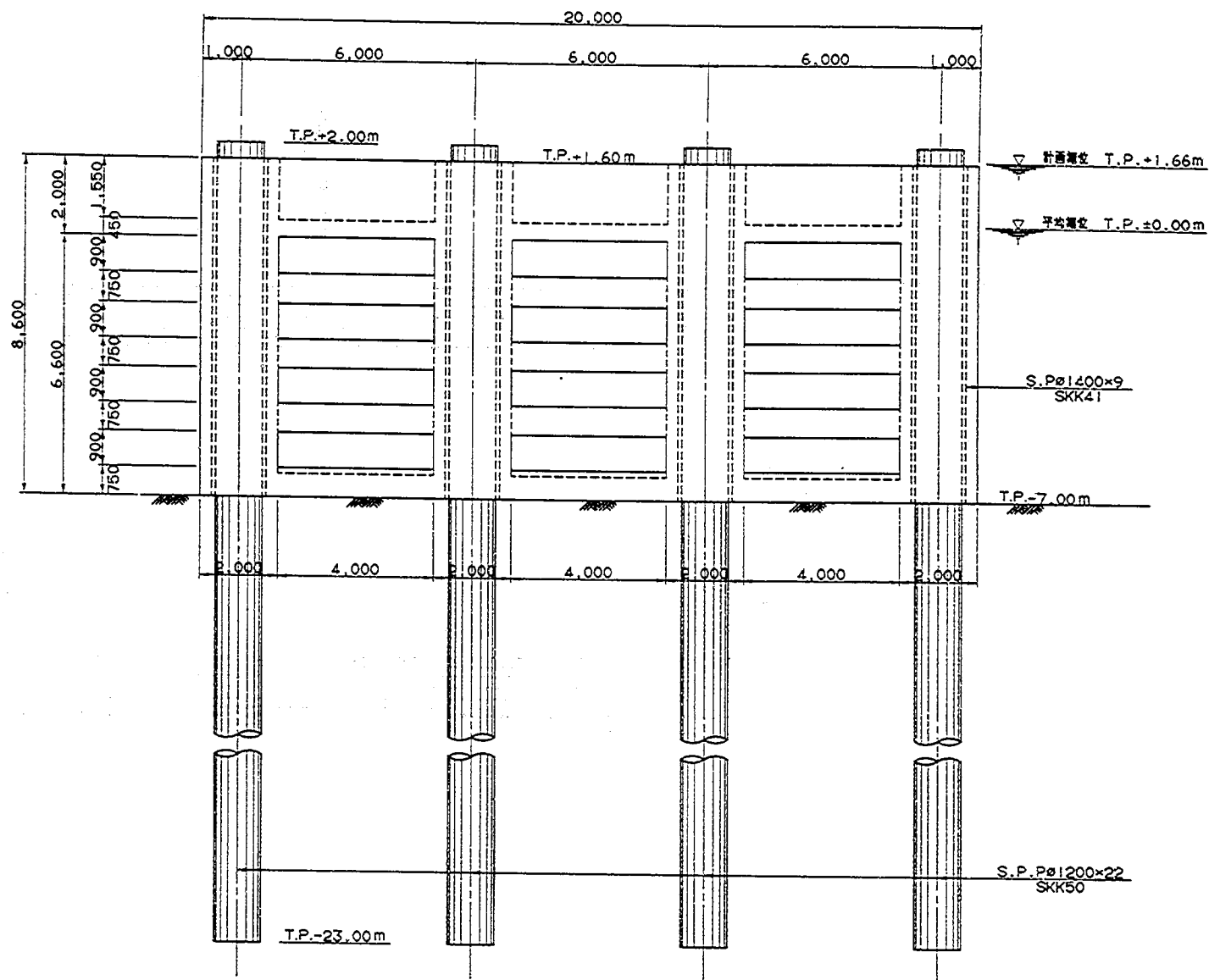


図 3.7.3 正 面 図

图 3.7.4 平面图

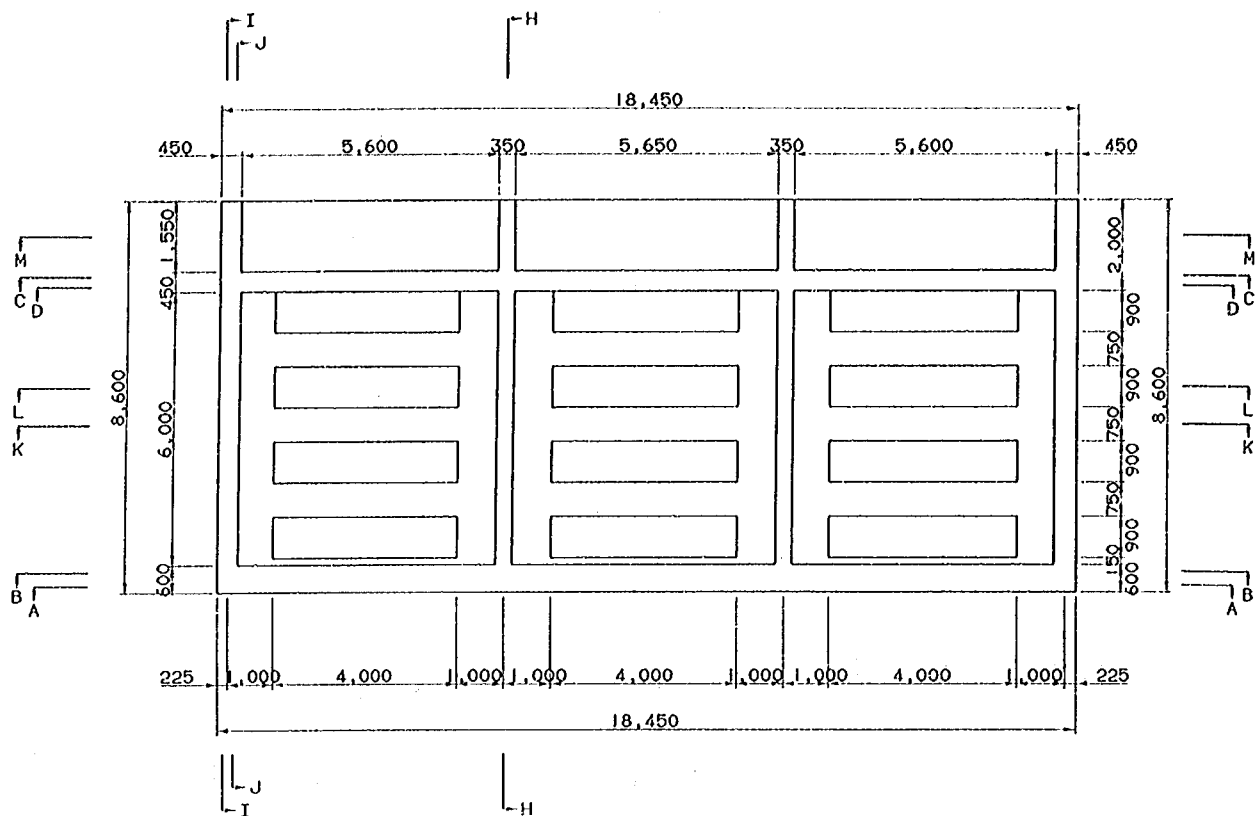


图 3.7.5 縱隔壁断面图

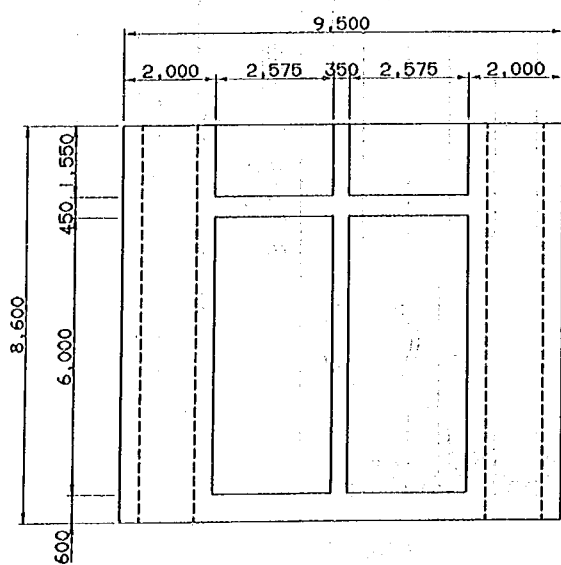


图 3.7.6 横隔壁断面图

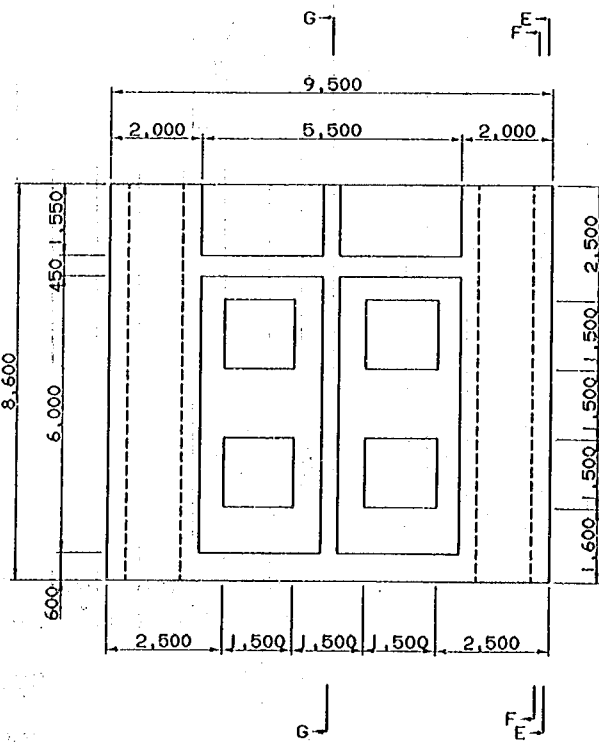


图 3.7.7 外側壁断面图

3.7.2 構造諸元

スリット壁の空隙率，枚数，位置など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 3.7.2 のように決定した。表中（ ）内の値は水理模型実験に用いた値である。

表 3.7.2 構造物諸元

鉛直スリット壁		水平スリット壁	
空隙率 ϵ_v	0.25 (0.26)	空隙率 ϵ_H	0.18 (0.18)
枚 数 N_v	3	枚 数 N_H	1
天端高 h_2/h	0	没水深 R/h	0.14 (0.1)

消波性能に関する水理模型実験結果（図 3.7.8）を参考に，曳航時安定性および杭に作用する力も考慮して堤体幅 B は 9.5 m とした。このとき対象波浪に対する消波性能は表 3.7.2 のとおりであり，2.2.3 で示した消波性能を十分満足する。

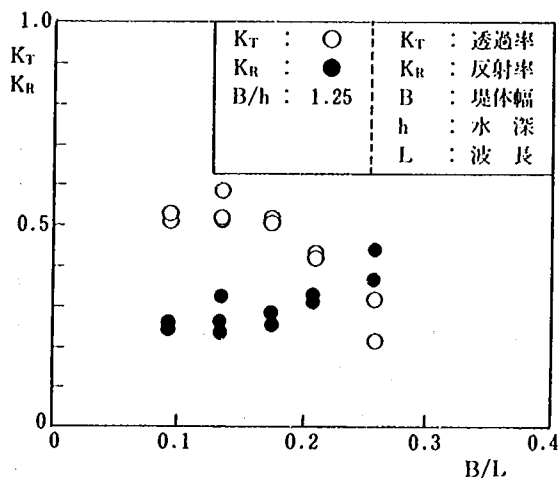


図 3.7.8 VHS の消波特性
($B/h = 1.25$)

表 3.7.2 消波特性

対象波浪		消 波 性 能	
周期 T	10 sec	透過率 K_T	0.54
波長 L	82 m	反射率 K_R	0.29
B/L	0.12	エネルギー損失率 K_L^2	0.62
B/h	1.23		

3.7.3 設計計算

(1) 設計荷重および解析法

荷 重 図					
波 浪 条 件	波 高 Hmax	7.56 m	(奥行1m当り) 波力計算結果	$P_1 = 4.63 \text{ tf/m}^2$	合田式 $\times \lambda$
	周 期 T	14.0 sec		$P_3 = 4.22 \text{ tf/m}^2$	"
				$P_u = 2.11 \text{ tf/m}^2$	"
	波力低減係数 λ	0.64		$P_M = 0.94 \text{ tf/m/本}$	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; $P_{B1} = \alpha_{B1} w_0 H_{max}$, w_0; 海水の単位体積重量, α_{B1} (前壁) = 0.75, α_{B2} (中間スリット) = 0.5, α_{B3} (水平版, 底版) = 1.0, (合田式 $\times \lambda$ による荷重, 部材荷重) max を部材荷重とする。部材荷重は二重横スリット, 曲面スリットの文献による。 ・横方向地盤反力係数 k_h: $k_h = 3.0 \text{ kgf/cm}^3$ ・解析方法; 杭頭剛結, 突出長のある平面組杭で解く。 ・ケーソン一函 (9.5^B $\times$ 20^L $\times$ 8.6^H) に作用する外力 ΣH (水平力) = 775 tf, ΣM (モーメント) = 3320 tfm, ΣV_0 (鉛直力) = 395 tf				

(2) 支持力の検討

杭反力および支持力の検討結果を表 3.7.3 に示す。ただし、水中杭反力およびジェット使用による周面摩擦力の低減は考慮していない。

表 3.7.3 支持力検討結果

		杭列番号	杭 反 力 R (tf)	許容支持力 Ra (tf)
支 持 力	引 抜 側	1	120	130
	押 込 側	2	247	754

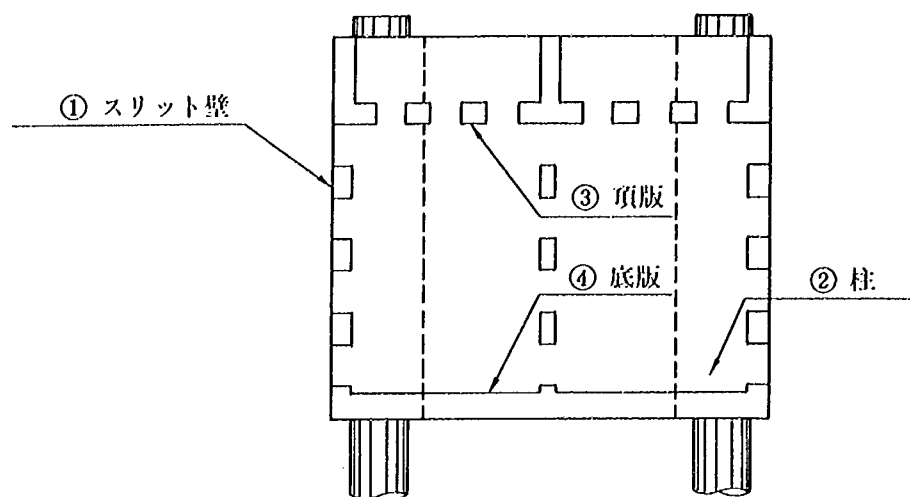
(3) 杭の算定

設計断面力と発生応力度の検討結果を表 3.7.4 に示す。座屈長が小さいので許容応力度を低減する必要はない。API 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 T_a として 1.82 kgf/cm^2 (26.7 p. s. i) が保証されている。この値に基づく杭 1 本当りの許容付着力は 590 tf と算定され、杭に発生する最大軸力 233tf に比べて十分大きい。

表 3.7.4 杭応力度検討結果

杭列 番号	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 (tf)	曲げモーメント M (tfm)			
1	134	274	1548	1900	$\phi 1200$, $t = 22 \text{ mm}$ SKK 50 腐食代 3.0 mm 最大応力度の発生位置は 海中中部
2	233	274	1689	1900	

(4) 主部材の算定



部 材 名	設計断面図	部材断面形状	備 考
① スリット壁	$M = 11.7 \text{ tfm/m}$ $S = 11.7 \text{ tf/m}$	$h=450$ $b=500$ $d=335$ $AS \text{ 5-D22}$ $AS \text{ 5-D22}$ $AS+AS' = 19.4 \text{ CM}^2$	荷重 $q = 0.75 \text{ woH}$ 計算 単純バリ $\alpha = 4.0 \text{ m}$
② 柱	$M = 274 \text{ tfm/m}$	$h=2000$ $b=600$ $d=1885$ $AS' \text{ 26-D22}$ $AS \text{ 26-D22}$ $AS+AS' = 100.6 \text{ CM}^2$	荷重 くい頭モーメント
③ 頂 版	$M = 8.76 \text{ tfm/m}$ $S = 11.7 \text{ tf/m}$	$h=450$ $b=600$ $d=335$ $AS \text{ 3-D25}$ $AS \text{ 3-D25}$ $AS+AS' = 15.2 \text{ CM}^2$	荷重 $q = 1.0 \text{ woH}$ 計算 単純バリ $\ell = 3.0 \text{ m}$
④ 底 版	$M = 8.65 \text{ tfm/m}$	$h=600$ $b=600$ $d=485$ $AS \text{ D19 CTC 150}$ $AS \text{ D19 CTC 150}$ $AS+AS' = 19.1 \text{ CM}^2/\text{M}$	荷重 $q = 1.0 \text{ woH}$ 計算 4辺固定板

3.7.4 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、杭打ち工、中詰工のみで完成断面まで仕上げる。
- 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 3.7.9 および図 3.7.10 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。

① ケーソン製作

計画地点の施工条件を考慮し、ケーソンの製作基地は近隣の公共施設を考え、フローティングドック(2,500 t 級)を使用してケーソン製作を行う。コンクリートの打設は打設高さおよび形状を考慮して 4 段打ちとする。

② ケーソン進水・仮置

製作完了後、公共岸壁で進水し、ケーソンを仮置場所へ曳航し、仮置する。

③ ケーソン曳航

仮置ケーソンを浮上させ、仮置場所から据付地点へ曳航(約 25 km)する。なお、水密蓋は製作時に取付ける。

④ 基面均し

ケーソン据付位置の基盤面を水中ブルドーザーを使用し、敷均する。

⑤ ケーソン据付

曳航してきたケーソンを所定の位置に、注水により沈設し据付ける。その後、水密蓋を潜水士により取外す。

⑥ 鋼管杭打設

ケーソン据付後、自航式起重機船(150 t 吊クラス)を使用し、ジェット併用の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。

⑦ 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 3.7.5 ～表 3.7.7 に示す。

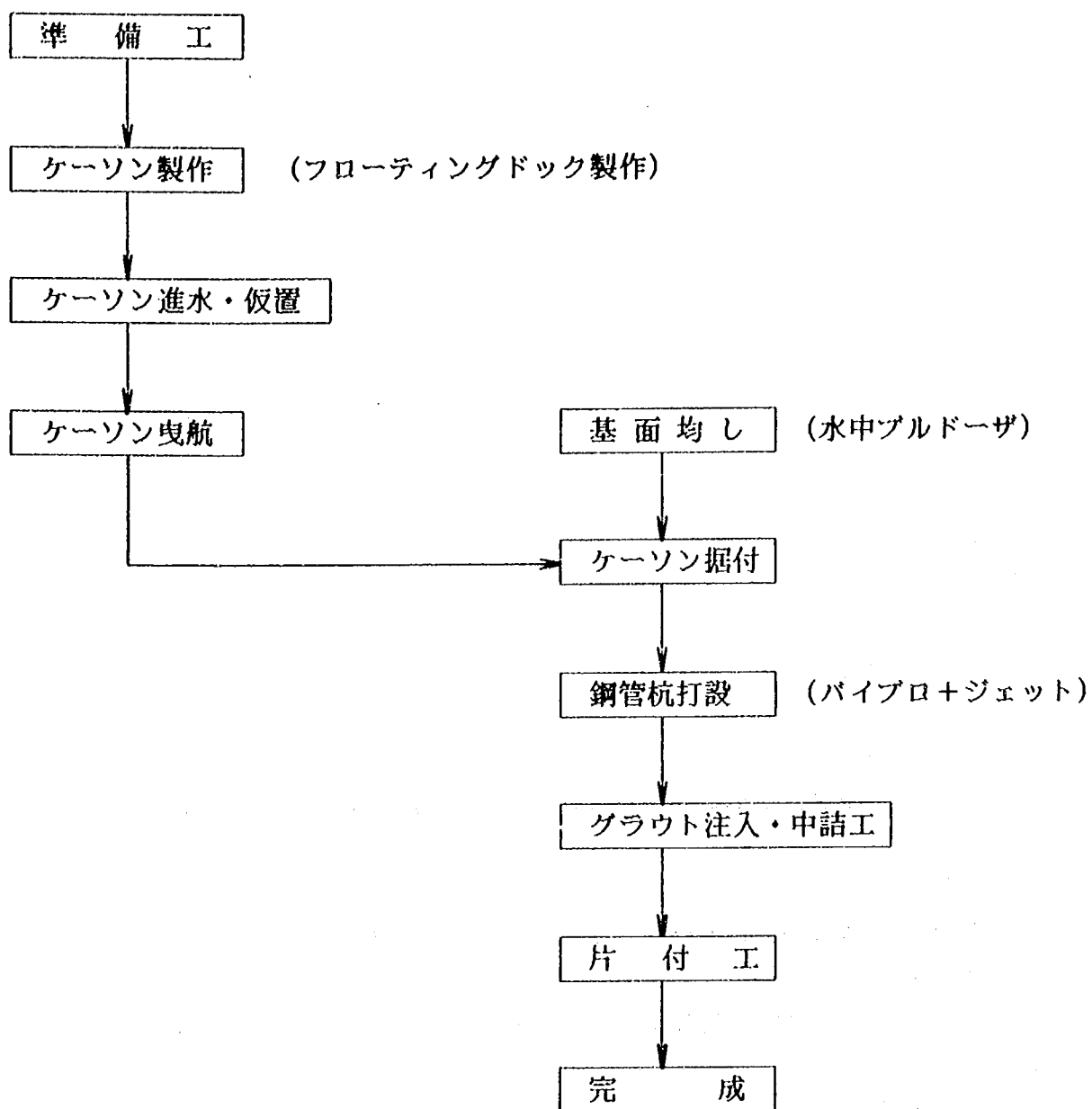


図 3.7.9 施工フロー図

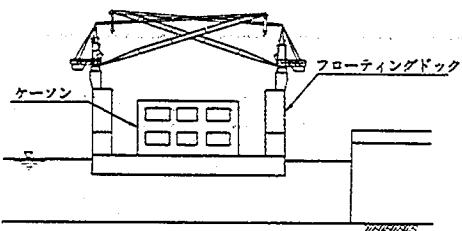
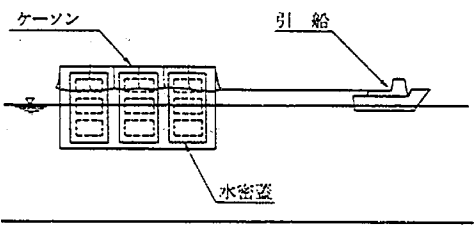
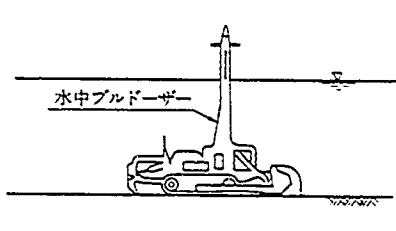
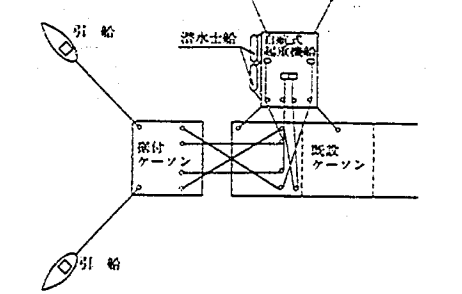
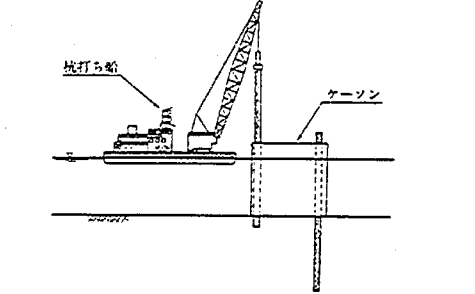
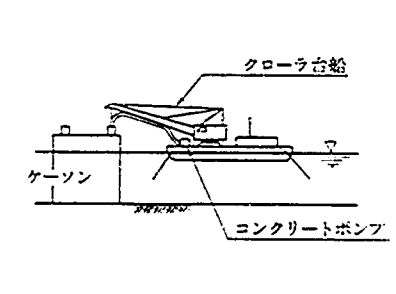
① ケーソン製作・仮置（清水港岸壁）	② ケーソン曳航	③ 基面均し
施 工 要 領 図 		
主業 な内 容	主業 な内 容	主業 な内 容
使 船 用 船	使 船 用 船	使 船 用 船
④ ケーソン据付	⑤ 鋼管杭打設	⑥ グラウト注入・中詰工
施 工 要 領 図 		
主業 な内 容	主業 な内 容	主業 な内 容
使 用 船 舶	使 用 船 舶	使 用 船 舶

図 3. 7. 1 0 施工要領図

表 3.7.5 数量総括表

種 類		単位	延長 150m	備 考
鋼 管		t	895	φ 1200 L = 25 m 本数 56 本 S.K.K 50
場 所 打	コ ン ク リ ー ト	m ³	3109	f'ck = 240 kgf/cm ²
	鉄 筋	t	372	SD 30
	ガ イ ド 管	t	149	φ 1400 L = 8.6 m S.K.K 41
中 詰	コ ン ク リ ー ト	m ³	570	f'ck = 240 kgf/cm ²
	グラウトセメントモルタル	m ³	198	f'ck = 240 kgf/cm ²

表 3.7.6 主要使用船舶・機械一覧表

船舶・機械名	仕 様	数 量
フローティングドック	鋼 2500 t 積	1 隻
自 航 起 重 機 船	旋回式 50 t 吊, 旋回式 150 t 吊	各 1 隻
ク レ ー ン 付 台 船	200 t 積, 25 t 吊	1 隻
引 船	D 800 PS, D 250 PS, D 180 PS	1 隻 各 2 隻
自 航 揚 錨 船	鋼 D 5 t 吊, 鋼 D 3 t 吊	各 1 隻
ガ ッ ト 船	D 700 PS, 350 m ³ 積	1 隻
潜 水 士 船	D 30 PS, 3 t 吊	1 隻
交 通 船	D 100 PS	1 隻
台 船	鋼 100 t 積, 鋼 200 t 積, 鋼 300 t 積	各 1 隻
ト ラ ッ ク ク レ ー ン	25 t 吊	1 台
ト ラ ッ ク	10 ~ 11 t 積	2 台
コンクリートポンプ車	90 m ³ /hr, 229 PS	1 台
発 電 機	125 KVA, 300 KVA	5 台 1 台
水 中 ポ ン プ	$\phi 150 \text{ mm}$, 11 kW	4 台
バイブロハンマー	90 kW	1 台
ウォータージェット	210 ℓ /min, 150 kg/cm ² , 55 kW	4 台
水中ブルドーザー	270 PS	1 台

表3.7.7 工 程 表

項 目		5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
準 備 工	1式	30日										
ケーソン製作・仮置工	7函		143日									
基面均し工	1,800m ²							18日				
ケーソン据付工	7函							35日				
鋼管杭打設工	56本							70日				
グラウト・中詰工	768m ³							70日				
後 片 付 工	1式									10日		

3.7.5 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な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。しかしながら、表3.7.8に示すように現状技術レベルでは、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等が不明であり、今後これらを研究するとともに、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が必要である。

表 3.7.8 透過水平板付スリット型（ケーソンと杭）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の検討。 検討を行っていない。	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。

3.8 中詰型（ケーソンと杭）*

3.8.1 構造概要

(1) 構造の概要

- ① 本構造は、プレキャストコンクリートケーソンと鋼管杭からなる杭基礎コンクリートケーソン消波離岸堤である。
- ② 離岸堤は、1ブロックあたり幅12m、延長10mのプレキャストコンクリートケーソンで構成されており、このケーソンを15ブロック設置することにより延長150mの離岸堤を構築する。
- ③ コンクリートケーソンは、離岸堤法線方向に空隙率0.27のスリット壁を3列有し、離岸堤法線直角方向に隔壁を有する。スリット壁、隔壁はRC部材である。
- ④ コンクリートケーソンは、底版と上床版を有し、底版は梁スラブ構造で、梁はSRC、スラブはRC部材である。また、上床版はRC部材である。
- ⑤ ケーソン内の空隙には消波ブロックが中詰されている。
- ⑥ ケーソン柱部は、杭が挿入できるφ1200の開口があり、ケーソン設置後にこの開口部をケーシングとして杭を打設する。ケーソンと杭の間及び杭の内部は、中詰モルタルを施し、ケーソンと杭を一体化する。
- ⑦ ケーソン柱部の開口φ1200は、型枠と構造部材を兼ねたφ1200の鋼管が配置されており、底版部の鋼材及び鉄筋と鋼管は接合されている。従って、杭打設後は、φ1200の外挿管とφ1100の杭を有する二重管構造となる。
- ⑧ ケーソンは着底型であるが、海底面が2m洗掘された場合でも、波力及びケーソン、中詰消波ブロック自重に対して、本構造が安定となるように設計した。

(2) 特徴

- ① コンクリートケーソンは陸上ヤードにおいて製作するため、品質管理が容易であり、精度のよいコンクリート構造体を構築することができる。また、海上作業が少なく、工期の短縮をはかることができる。
- ② 杭基礎であるため、海底面の洗掘が激しい海域に有利であり、重力式のように大規模な捨石マウンドを構築する必要がない。

本構造物の鳥瞰図を図3.8.1に示す。また、構造一般図、詳細図を図3.8.2～3.8.3に示す。

* 執筆：米山英明（大成建設株式会社 土木本部設計部）

小山文男（大成建設株式会社 土木本部設計部）

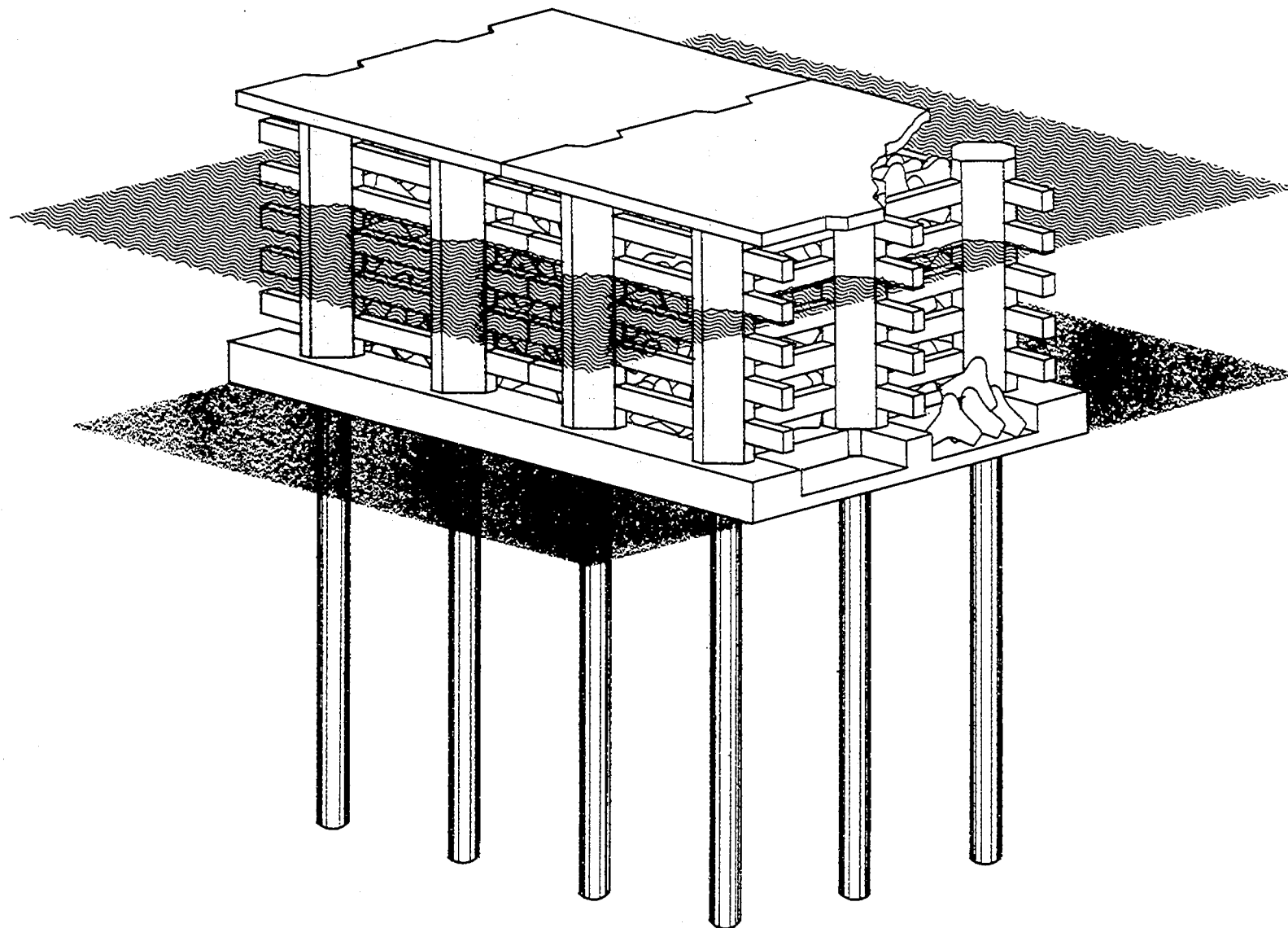


図 3.8.1 中詰型の鳥瞰図

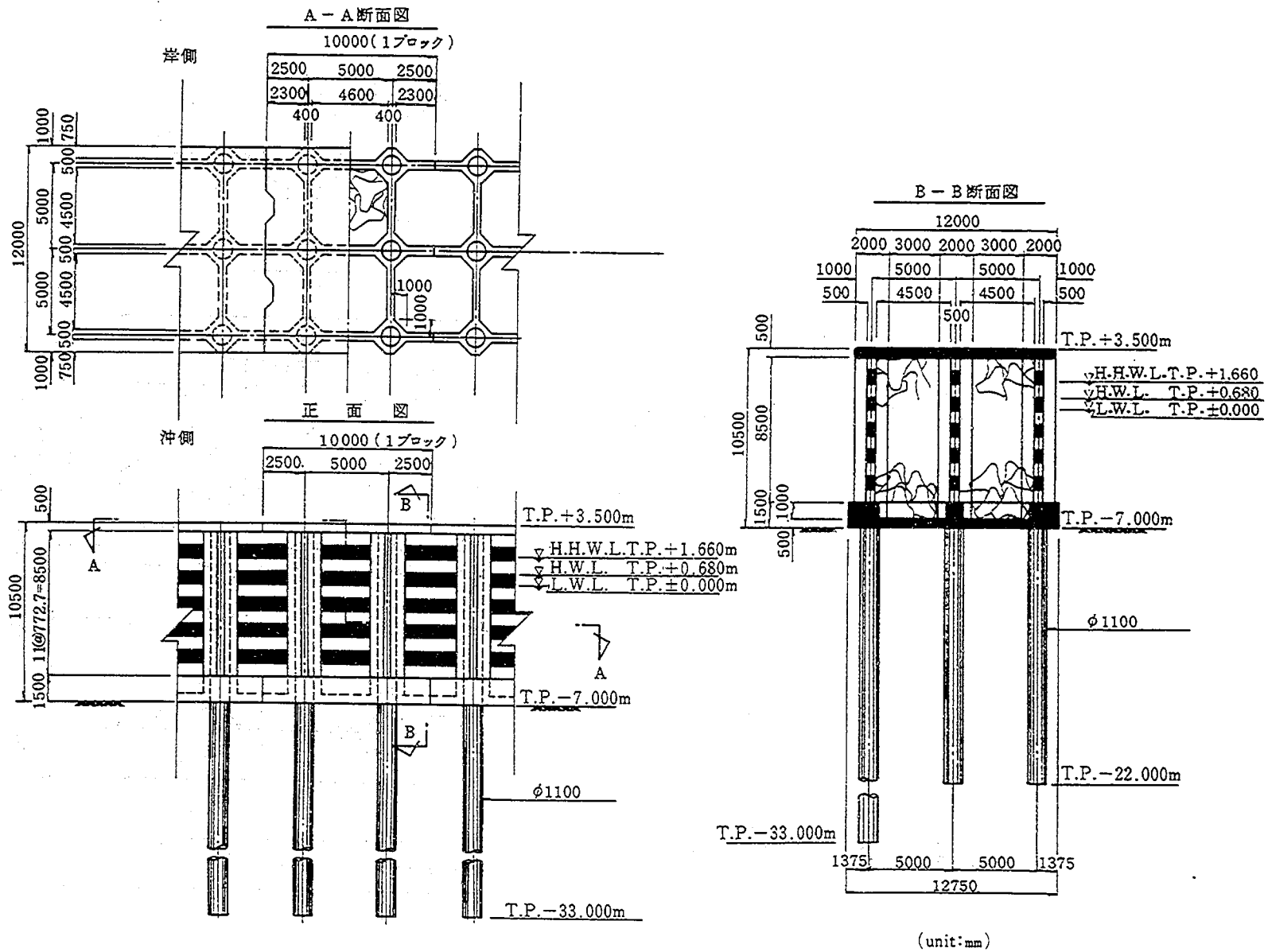
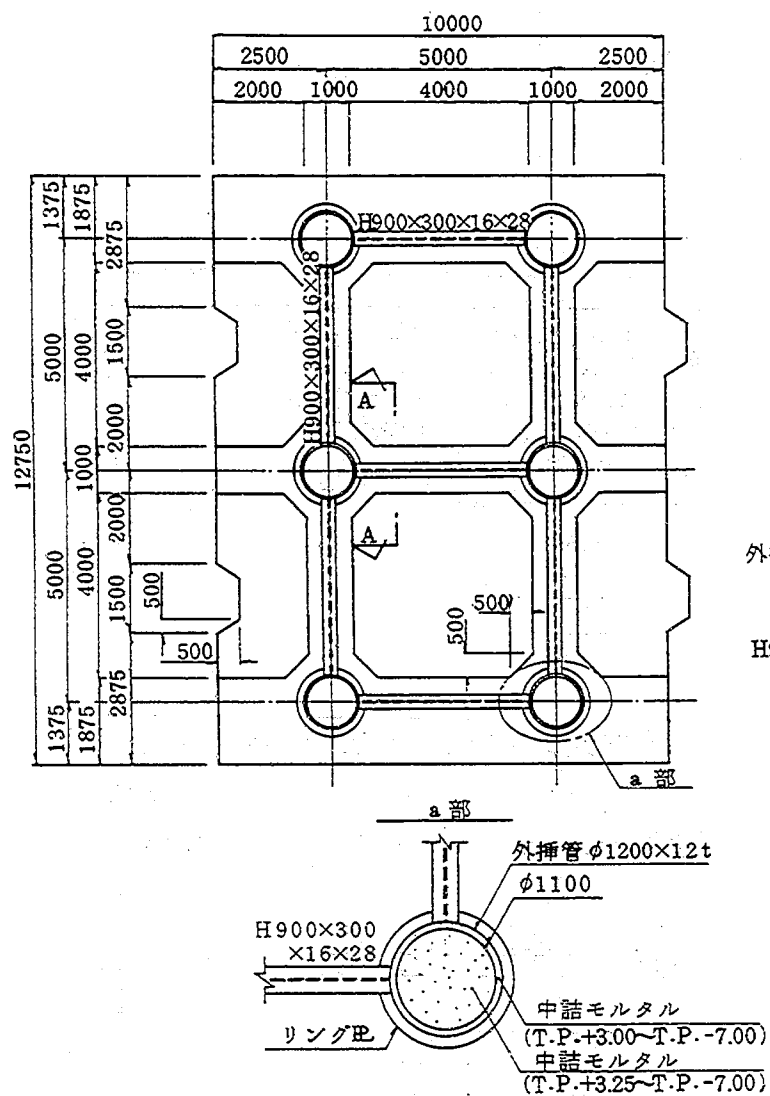
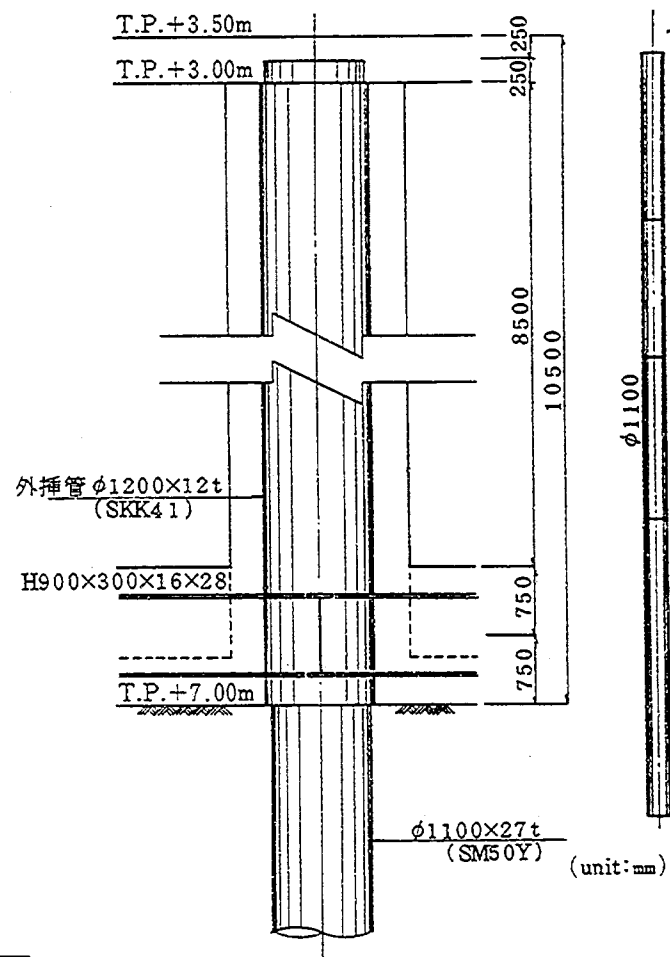


図 3.8.2 構造一般図

床版詳細図



A-A断面図



杭 外挿管

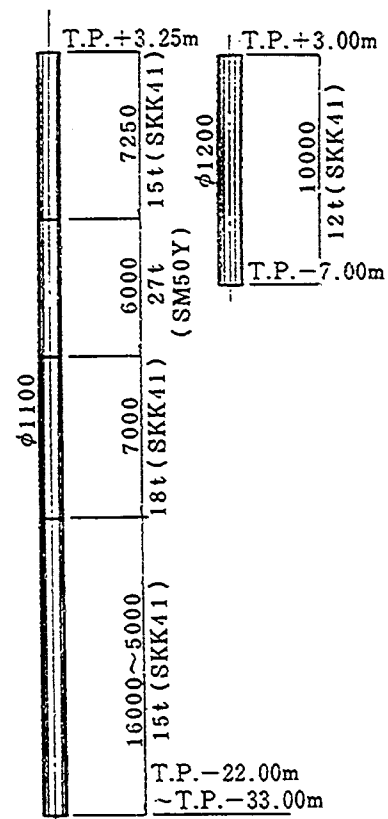


図 3.8.3 詳細図

3.8.2 構造諸元

図3.8.4～図3.8.7に示す水理模型実験結果によれば、スリットの空隙率が0.28の場合、 $R/h=0.1$, 0.3のいずれのケースも2.2.3で示した消波性能を満足している。本構造のスリットケーソンの諸元は、この模型断面より決定した。本構造のスリットの空隙率は実験条件とほぼ同じ0.27とし、スリット前面からスリット後面までの幅は、模型断面と同じとなるように水深の1.5倍とした。また、本構造では、衝撃圧が作用した場合の中詰材の安定を考慮して、中詰材を上床版の下面T.P.+3.00mまで中詰し、中詰材の波浪による移動を拘束した。しかし、この水理模型実験は、中詰材の天端が没水している場合のみの実験を行ったものであり、本構造のように中詰材の天端が静水面上にでている場合とは消波効果が異なるものと思われる。本構造は、図3.8.4～図3.8.7に示す実験結果より反射率が大きく、透過率が小さくなるものと思われる。

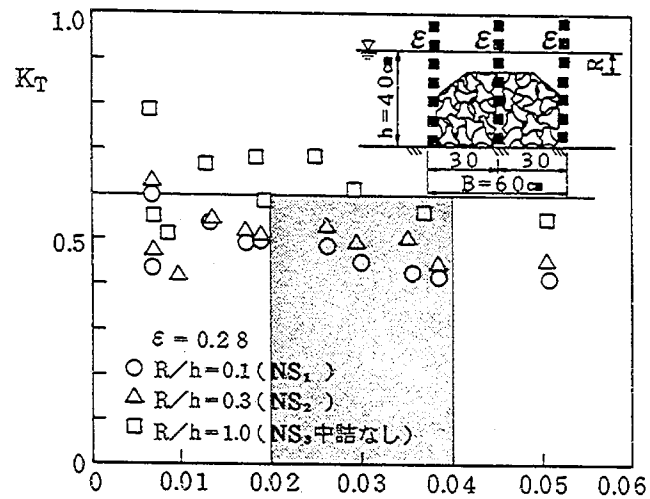


図 3.8.4 透過率と波形勾配の関係 H_o/L_o

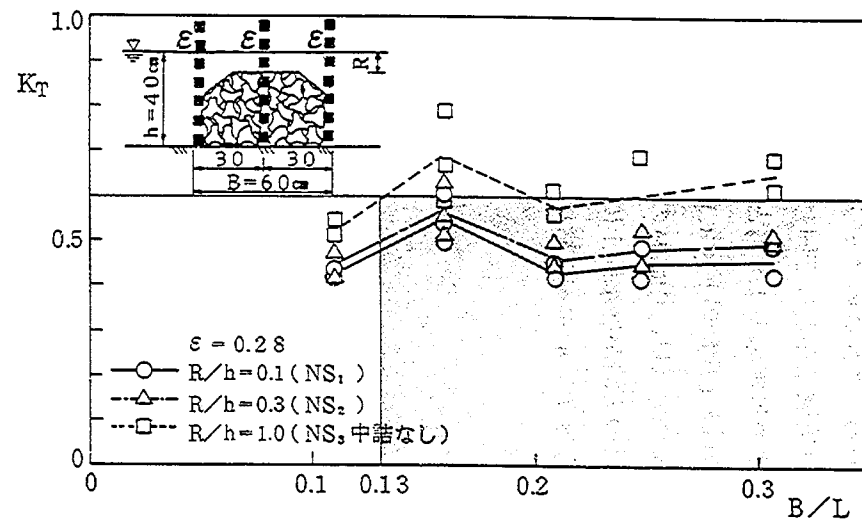


図 3.8.6 透過率と相対幅の関係

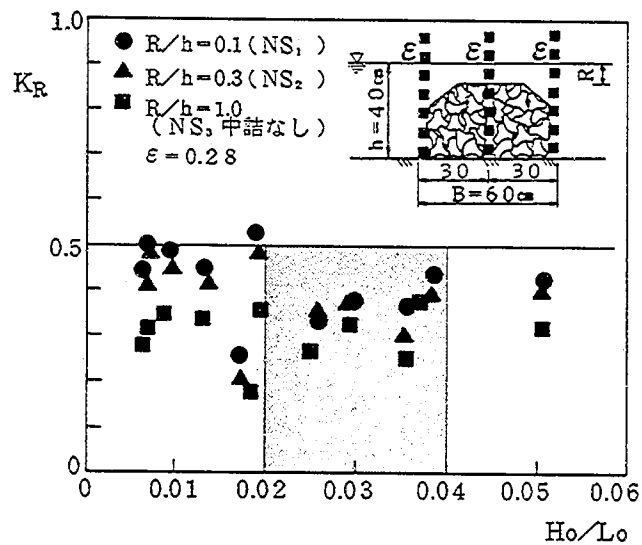


図 3.8.5 反射率と波形勾配の関係

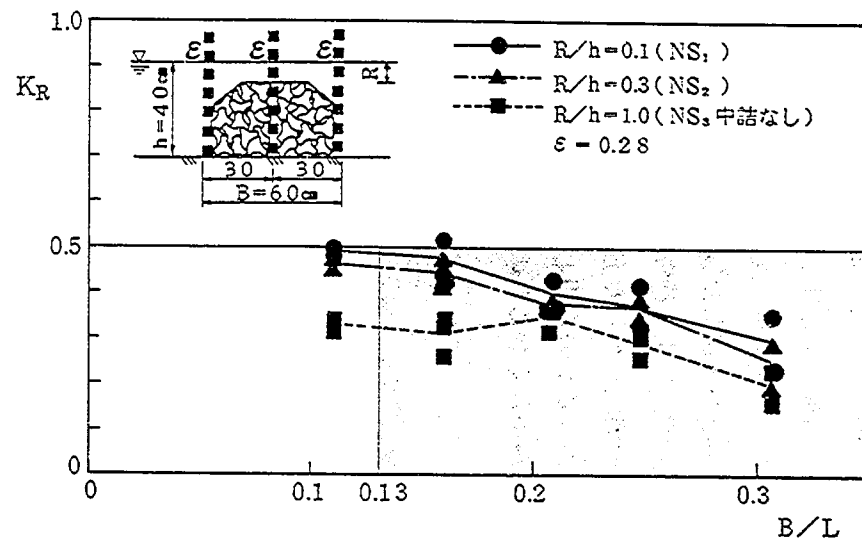
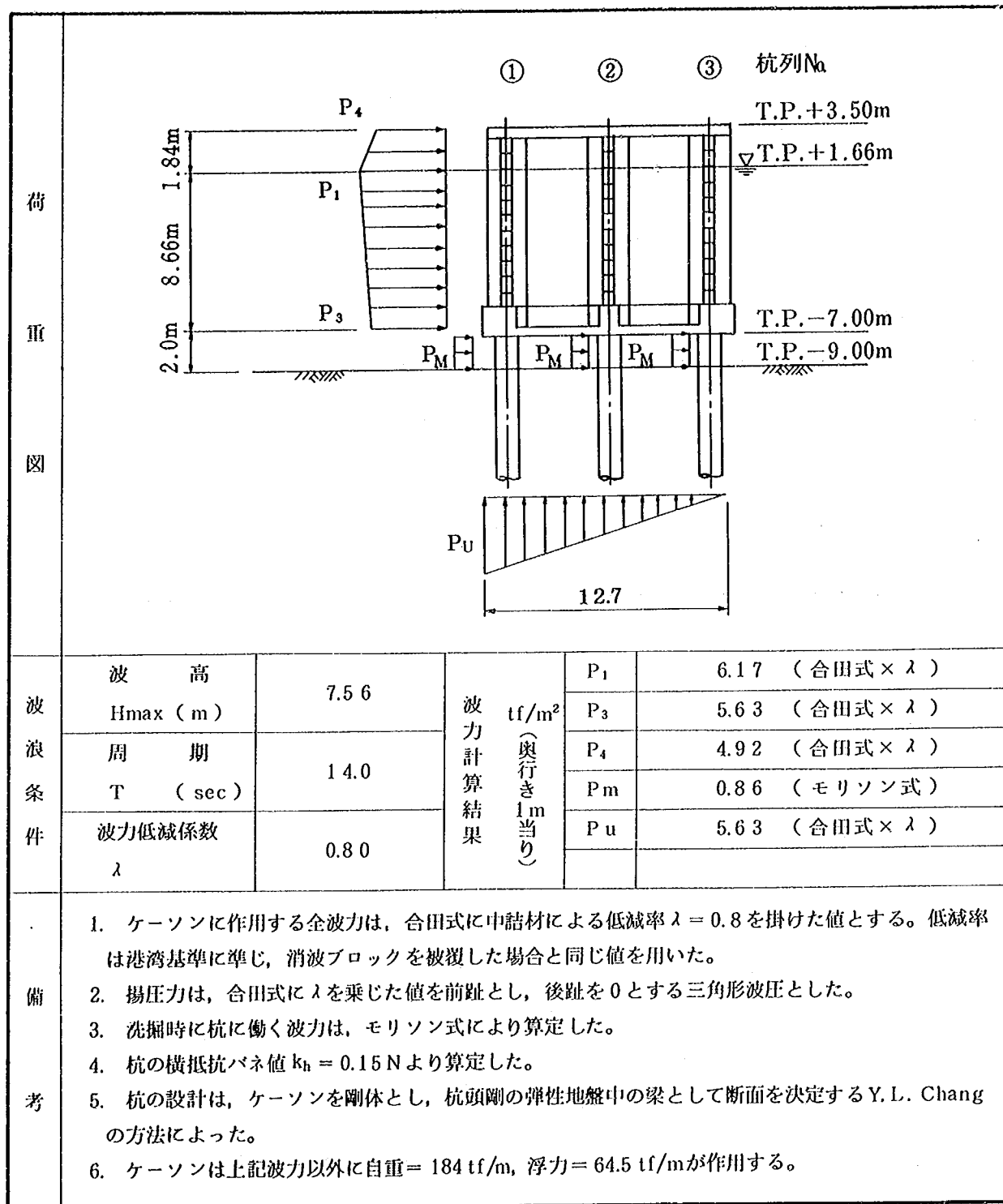


図 3.8.7 反射率と相対幅の関係

3.8.3 設計計算

(1) 設計荷重及び解析法



(2) 支持力の検討

		杭列No	杭反力 R (tf)	許容支持力 Ra (tf)
支持力	引 抜 側	1	109	117
	押 込 側	3	448	731

注) 1. 杭打設は、対象地点のN値が大きいことを考慮してジェットを併用するものとする。
従って、杭周囲の地盤がみだされるものとして、周面摩擦を1/2に低減した。

$$\text{周面摩擦} = \frac{1}{2} \times \frac{\bar{N}As}{5} = \frac{\bar{N}As}{10}$$

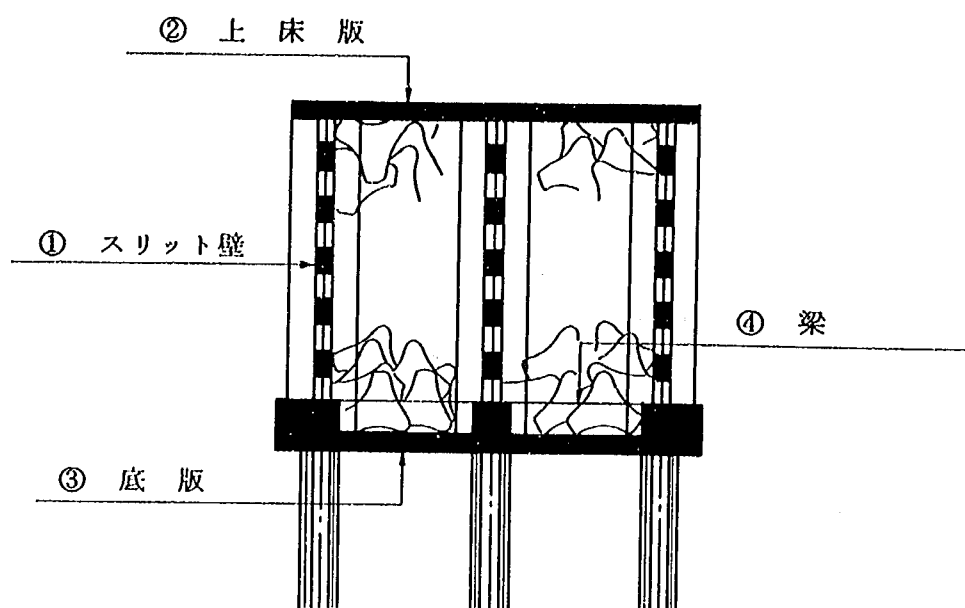
$\bar{N}$; 根入全長に対する平均N値

As ; 杭周の全表面積

(3) 杭の算定

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 (tf)	曲げモーメント M (tfm)			
3	448	311	2028	2100	$\phi 1100$, $t=27\text{mm}$ SM50 Y 腐食代3.0mm 海中部

(4) 主要部材の算定



部 材 名	設計断面力	部 材 断 面 形 状	備 考
① スリット壁	$M = 5.8 \text{ tfm}$	$A_{s1} = A_{s2} = 4 - D19$ 	$w = 6.173 \text{ tf/m}^2$ (合田式 $\times \lambda$)
② 上床版	$M = 19.4 \text{ tfm}$	$D25 @ 125$ 	$w = 6.173 \text{ tf/m}^2$ (合田式 $\times \lambda$)
③ 底版	$M = 11.6 \text{ tfm}$	$D19 @ 125$ 	$w = 14.0 \text{ tf/m}^2$
④ 梁	$M = 311 \text{ tfm}$	$A_{s1} = A_{s2} = 12 - D32$ $H900 \times 300$ $\times 16 \times 28$ 	波力による杭頭 拘束モーメント

3.8.4 施工概要

(1) 概 要

本構造の施工上の特徴を以下に示す。

- ① 本構造物の施工計画地点は、海上工事の稼働率が低いため、陸上ヤードで製作されたプレキャストコンクリートを用いて施工する。
- ② 鋼管杭は、ケーソンの杭挿入孔をケーシングとして打設する。
- ③ 鋼管杭の打設は、ウォータージェット併用のバイプロハンマーにより行う。これは、計画地点の地盤のN値が25～50の砂質土であるため、杭打船のみでは杭を設計上必要な根入れまで打設することが困難であることを考慮したものである。また、杭先端の支持力を確保するために、フライングハンマーを用いて鋼管杭の打止めを行う。

(2) 施工方法

本構造物の施工手順は、図3.8.8および図3.8.9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 ケーソン製作工

ケーソンは、陸上製作ヤードにおいて製作する。

ケーソンは、1ブロックあたり幅12m、延長10m、高さ12mのものを5ブロックごとに3回製作し、合計15ブロックのケーソンを製作する。

② ケーソン仮置工

製作したケーソンは、1000t吊起重機船を用いて製作ヤードから仮置場へ移動する。

③ 積込み及び運搬工

ケーソンを仮置場から起重機船を用いて台船に積込み、据付現地まで曳船運搬する。

④ ケーソン据付底面整形工

ケーソン据付改定地盤を、自航ガット船にブレードを吊り下げ、ガット船の推力により均す。

⑤ ケーソン据付工

現地まで運搬されたケーソンを起重機船で吊り、所定の位置へ据付ける。

⑥ 杭打工

設置したケーソンの外挿管の中へ、ジェット配管をした杭をクレーン船により挿入し、ウォータージェット及びバイプロハンマーを用いて地盤内に杭を打設する。また、フライングハンマーを用いて打止めを行う。

⑦ ケーソン挿入管と杭間の中詰モルタル工

ケーソン杭を一体化するため、杭とケーソンの間へ水潜後、中詰モルタルを施す。

⑧ ケーソン内中詰ブロック設置工

製作ヤードで製作したブロックを台船を用いて運搬し、設置したケーソン内へクレーン船により設置する。

⑨ 上床版プレキャストブロック据付工

製作ヤードで製作した上床版プレキャストブロックを運搬し、クレーン船によりケーソン上部へ設置する。

⑩ 杭頭部場所打コンクリート工

杭内及び杭頭部に間詰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 3.8.1 ～ 3.8.3 に示す。

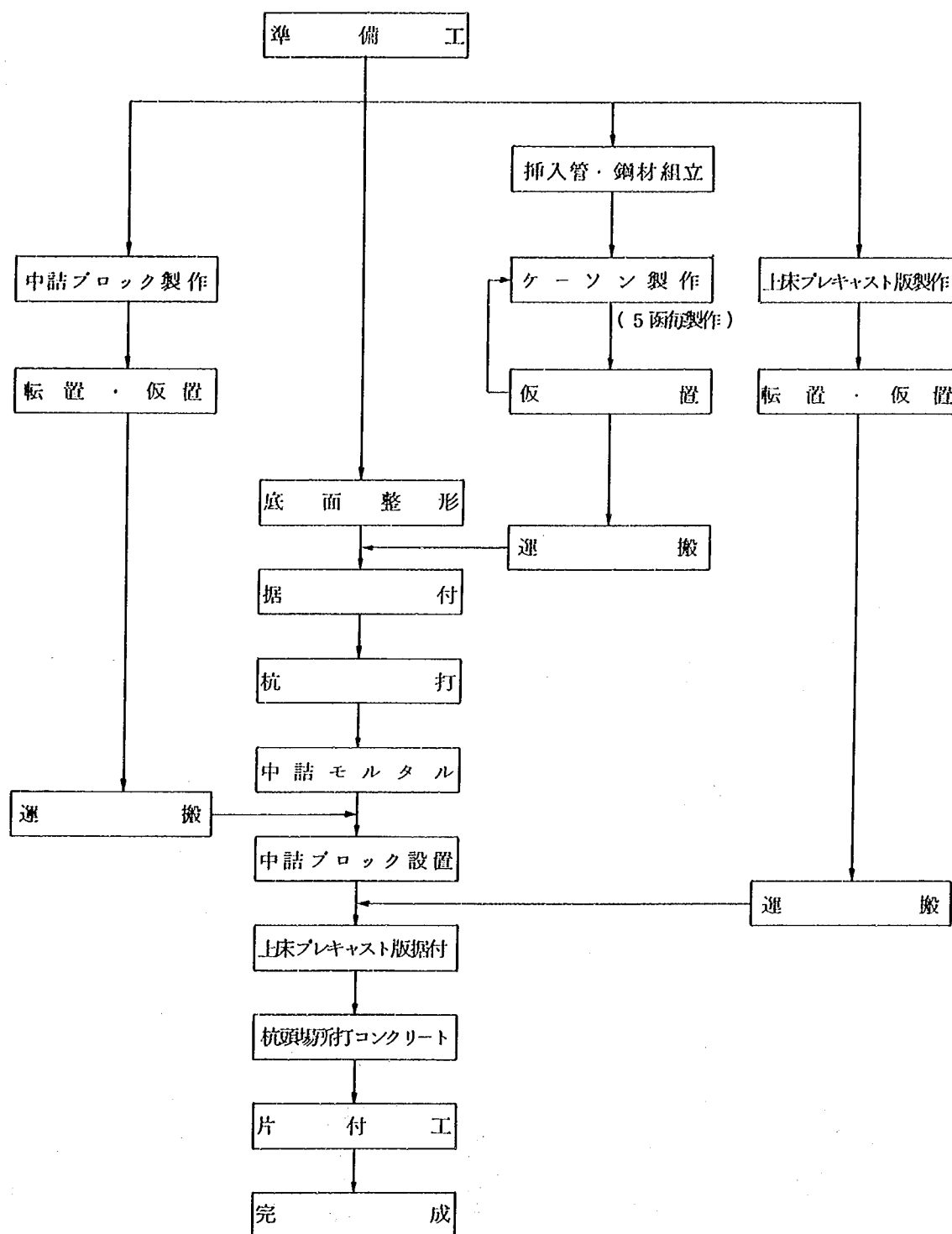


図 3.8.8 施工フロー図

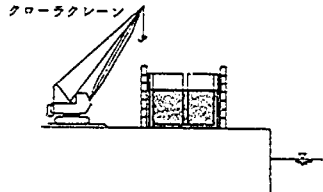
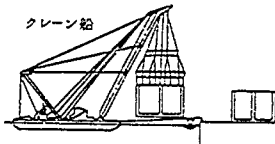
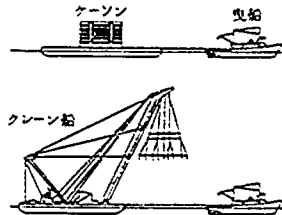
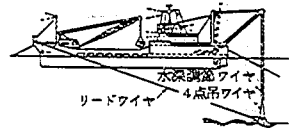
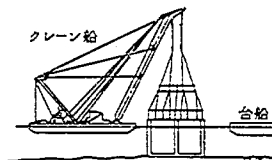
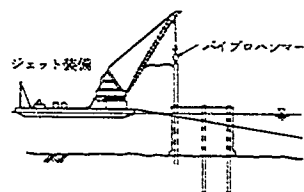
工種	① ケーソン製作（製作ヤード）	② ケーソン仮置	③ 積み込み及び運搬
施工要領図			
主業 な内 作容	ケーソン製作 上床版プレキャスト製作 中詰ブロック製作	ケーソン製作ヤードより仮置場へ起重機船により移設する。	仮置場より起重機船により台船に積み込み、据付現地まで曳航運搬する。
使船 用船		起重機船（1000 t吊） 曳 船（2000 PS） 揚 錨 船（35 t）	起重機船（1000 t吊） 台 船（1000 t積） 曳 船（2000 PS） 曳 船（800 PS） 揚 錨 船（35 t） 警戒船
工種	④ ケーソン据付底面整形	⑤ ケーソン据付	⑥ 杭 打
施工要領図			
主業 な内 作容	ケーソン据付海底地盤を、自航ガット船にブレードを吊り下げ、ガット船の推力により均す。	現地まで運搬されたケーソンを起重機船により吊り、所定の位置へ据付ける。	設置したケーソンの外挿管の中へ、ジェット配管をした杭をクレーン船により挿入し、ジェット及びパイプロハンマーを用いて地盤内へ杭を打設する。打止めはフライングハンマーにより行う。
使船 用船	ガット船（499 t積） 潜水士船	起重機船（1000 t） 台 船（1000 t積） 曳 船（2000 PS） 曳 船（800 PS） 揚 錨 船（35 t） 潜水士船	起重機船（80 t吊旋回） 台 船（200 t） 曳 船（500 PS） 曳 船（180 PS） 揚 錨 船（10 t）

図 3.8.9(1) 施工要領図

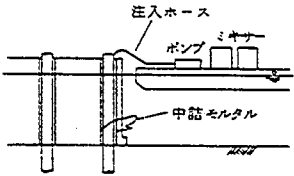
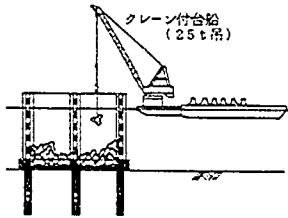
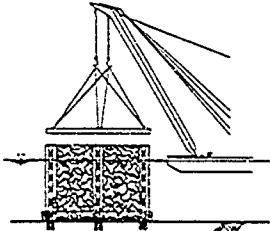
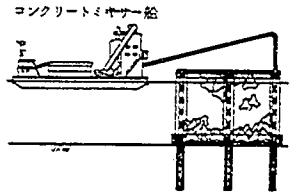
工種	⑦ ケーソン挿入管と杭間の中詰モルタル	⑧ ケーソン内中詰ブロック設置	⑨ 上床版プレキャストブロック据付
施工要領図			
主要な内容	設置した杭と外挿管との間のモルタルの中詰を杭内の水替後施工する。	製作ヤードで製作したブロックを台船により運搬し、ケーソン内へクレーン船により設置する。	製作ヤードで製作した上床版プレキャストブロックを運搬し、クレーン船を用いてケーソン上部へ設置する。
使船用舶	台 船 (200 t) [ミキサー, ポンプ, 砂, 発電機等] 曳 船 (200 PS) 潜水土船	クレーン付台船 (25t吊) 台 船 (200 t) 曳 船 (250 PS)	起重機船 (300t) 曳 船 (1500 PS) 揚 錨 船 (25t) 台 船 (1000 t積) 曳 船 (800 PS)
工種	⑩ 杭頭部場所打コンクリート		
施工要領図			
主要な内容	杭内及び杭頭部に間詰コンクリートを打設する。		
使船用舶	コンクリートミキサー船 曳 船 (450 PS) 揚 錨 船 (35 t)		

図 3.8.9(2) 施工要領図

表 3.8.1 総括数量表

種 類	単 位	延 長 150 m	備 考
鋼 管 杭	t	878	φ1100 × 15 t ~ 18 t SKK41 本数 180本
		386	φ1100 × 27 t SM50Y 本数 180本
外 挿 管	t	324	φ1200 × 12 t STK41 本数 180本
プレキャストコンクリート	m ³	5100	f'ck = 240 kgf/cm ²
場所打コンクリート	m ³	915	f'ck = 240 kgf/cm ²
中 詰 モ ル タ ル	m ³	163	f'ck = 240 kgf/cm ²
中 詰 材	個	13590	テトラポッド1 t型
鋼 材	t	220	H900 × 300 × 16 × 18 SS41 その他プレート
鉄 筋	t	580	SD30
底 面 な ら し	m ²	1913	

表 3.8.2 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	1000 t吊, 300 t吊, 80 t吊 (旋 回)	各 1
台 船	1000 t積 200 t積	1 4
引 船	2000 PS, 1500 PS, 800 PS, 450 PS, 200 PS, 180 PS	各 1
〃	250 PS	16
揚 錨 船	35 t, 25 t, 10 t, 5 t	各 1
ガ ッ ト 船	499 t級	1
ク レ ーン 付 台 船	25 t吊	4
コンクリートミキサー船	DE460PS 1.0m ³ バッチ式	1
潜 水 士 船	D30 PS 4.9GT	4
警 戒 船	D100 PS 130GT	1
ク ロ ー ラ ク レ ーン	25 t吊	1
バイブロハンマー	90 KW	1
ポ ン プ		1
発 電 機	45 KVA	1
フライングハンマー	D-70	1

表3.8.3 工 程 表

項 目		6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
準 備 工	1式	30日									
中詰ブロック製作	1t型 13590個					240日					
上床プレキャスト版製作	15基								80日		
外挿管・鋼材組立	1式		45日								
ケーソン製作・仮置	15函					150日					
現地底面整形	1913 m ²			5函		5函	5日	5函			
ケーソン運搬・据付	15函						20日	20日	20日		
杭 打	90本						5 函 3日	5 函 3日	5 函 3日		
中詰モルタル	90本						3日	3日	3日		
中詰ブロック設置	13590個								105日		
上床プレキャストブロック版 運搬据付	15基										8日
杭頭場所打コンクリート	90ヶ所										8日
片 付 工	1式										30日

3.8.5 構造物の適用性と今後の課題

本構造は杭基礎であるため、洗掘の激しい海域に対しては、ケーソンの沈下、転倒などの安定が問題となることは少ない。しかし、杭基礎であるために、次に示すような問題点が考えられる。

- ① 波浪により杭が繰り返し荷重をうけるために生じる鋼管杭及び海底地盤の疲労・降伏。
- ② 波浪による構造物の共振。

以上の問題は、杭を基礎とする本構造が解決しなければならない問題である。現状では、これらの問題が理論的にも実験的にも解決されておらず、今後検討を要する。また、今回の試設計で設定した波力は、実験により設定したものでなく、港湾基準に準拠したものである。このため、本構造が砕波帯にあり衝撃圧を受ける場合は、実験により波圧を確認することが必要である。本構造でもっとも重要な問題点は、衝撃圧が作用した場合の中詰消波ブロックの挙動に関する点である。中詰消波ブロックに衝撃圧が作用し、これがスリット壁に衝突する場合、コンクリートにひび割れ、はく離が生ずることも十分に考えられる。従って、衝撃圧が作用しても、コンクリート壁に悪影響を与えない中詰材の開発が重要な課題となる。以上述べたように、現状ではまだ未解決な部分が存在し、今後さらに改善していく必要がある。表 3.8.4 に今後の課題を示す。

表 3.8.4 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	61年度の実験では、周期 6 sec～10sec、波高 1 m～4 m の規則波に対する 1 / 25 縮尺模型による透過率、反射率の測定及び中詰のない場合の全波力の測定を行った。	消波性能にすぐれ、衝撃圧が作用してもスリット壁に悪影響を与えない中詰材の開発。 砕波が作用する場合の全体波力及び部材波力の測定。 構造物を設置することにより生ずる海浜変形の調査。
2. 構造設計	設計基準として「港湾の施設の技術上の基準」に準拠して検討。	杭の疲労・降伏に関する検討。 地盤の降伏に関する検討。 限界状態設計法の適用。 波浪による構造物の応答特性の検討。
3. 施 工	従来の海洋工事としての技術レベル。	急速施工法の開発。 稼働率の向上対策。 施工精度の向上対策。 洗掘防止工法の開発。

3.9 改良空気密閉型（ブロックと杭）*

3.9.1 構造概要

この構造体の特徴は、壁体の吃水が高く波力の受圧面積が小さくて済むということである。

実施案としては従来の栈橋形式を基本としたいくつかの構造形式が考えられるが、本ケーススタディでは組杭と直杭からなる有脚式構造を考え、コンクリート構造部は海上でのコンクリート打設作業を少なくして安全かつ迅速に施工するため、大型プレキャストブロック工法により計画することとした。

(1) 構造の概要

- ① 鋼管杭（直杭と斜杭）、消波函体（B1, B2）・柱（C）・壁体（W）・床版（S）のプレキャストコンクリートブロック、および鋼管杭とコンクリートブロックと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 プレキャストブロックは全高にわたって陸上において一体化し、杭にセット後高強度モルタルの充填により被覆鋼管コンクリート合成構造の柱体を形成する。各ブロックには吊り鋼材のデッドアンカーが埋め込まれ、自重を杭頭へ伝える。
- ③ 空気室は3枚の透過水平板を有する消波函体、および柱体に支持される角落とし形式の壁ブロックにより形成される。
- ④ 杭打設誤差の影響が大きく及ばぬように、消波函体は2構脚をもって1ユニットを構築する。そして結構材によって安定化を図った後各ユニット間に消波函体を設置し、最上部に設ける桁（場所打ち）にて一体化する方式としている。
- ⑤ プレキャストブロック中の軸方向鉄筋は最上部の場所打ち桁に定着され、ラーメン構造を形成する。従って、プレストレスングする必要はない。
- ⑥ 床版には潮位の変動にのみ追従して空気室内を大気圧に保つべく、所定の大きさの通気口が設けられている。

(2) 特徴

- ① 主要構造部材のほとんどを陸上において製作するため、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。

本構造物の鳥瞰図を図3.9.1に示す。また、構造一般図を図3.9.2～3.9.3、プレキャストブロック構造図を図3.9.4～3.9.5、詳細図を図3.9.6に示す。

* 執筆：大山 巧（清水建設株式会社技術研究所）

畑山義人（清水建設株式会社土木部設計部）

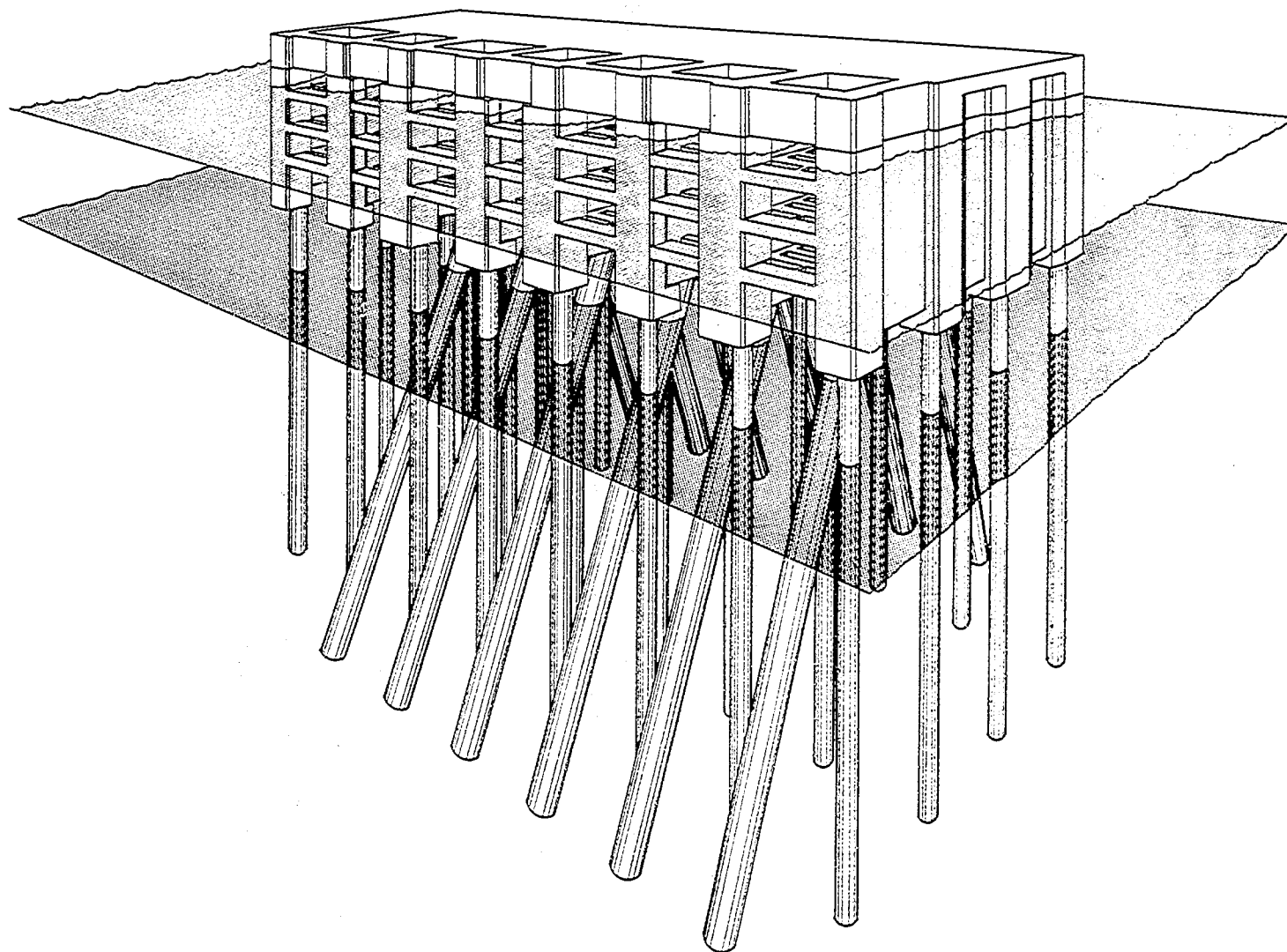


図 3.9.1 改良空気密閉型（ブロックと杭）の鳥瞰図

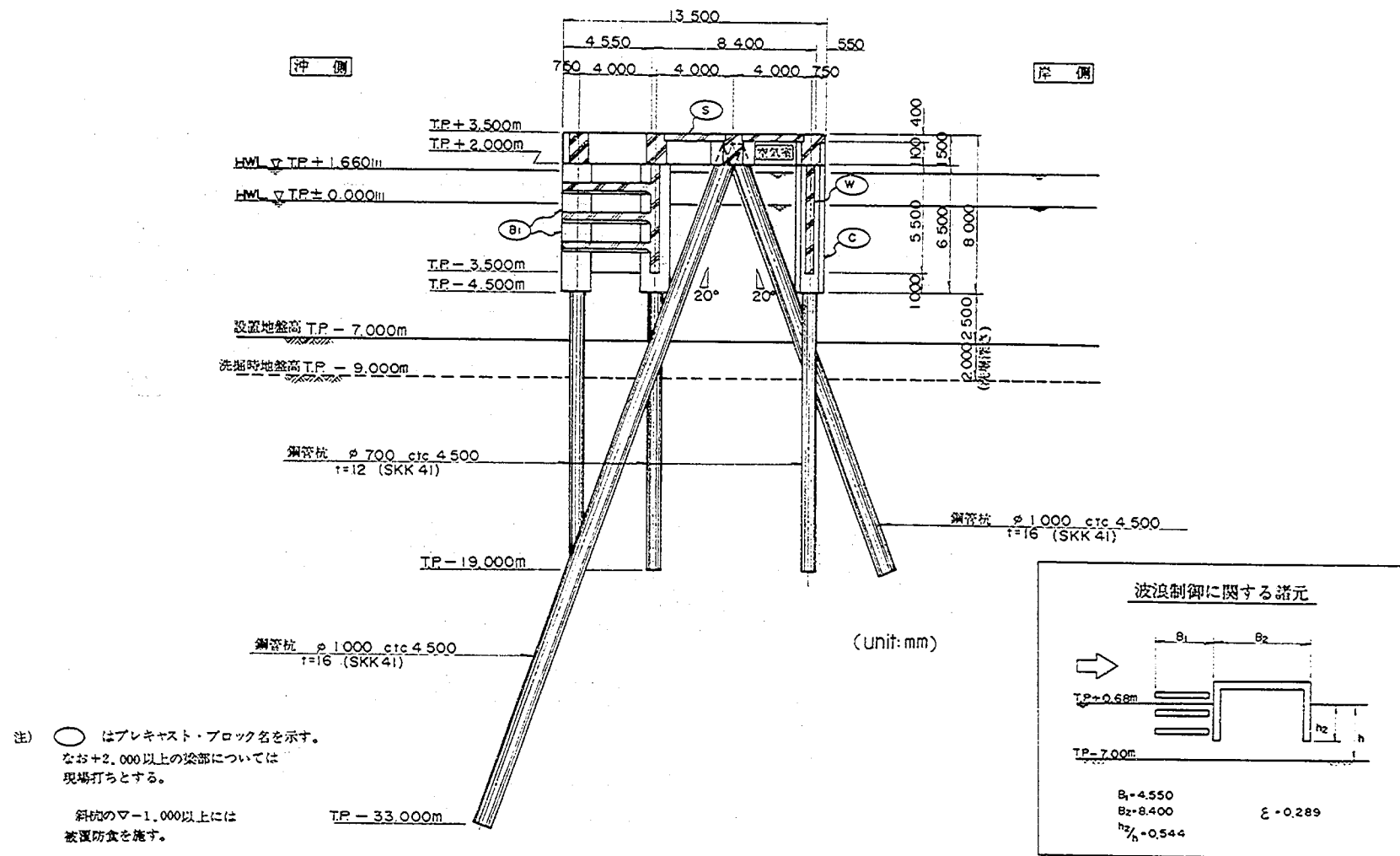


図 3.9.2 構造一般図(1)

図 3.9.3 構造一般図(2)

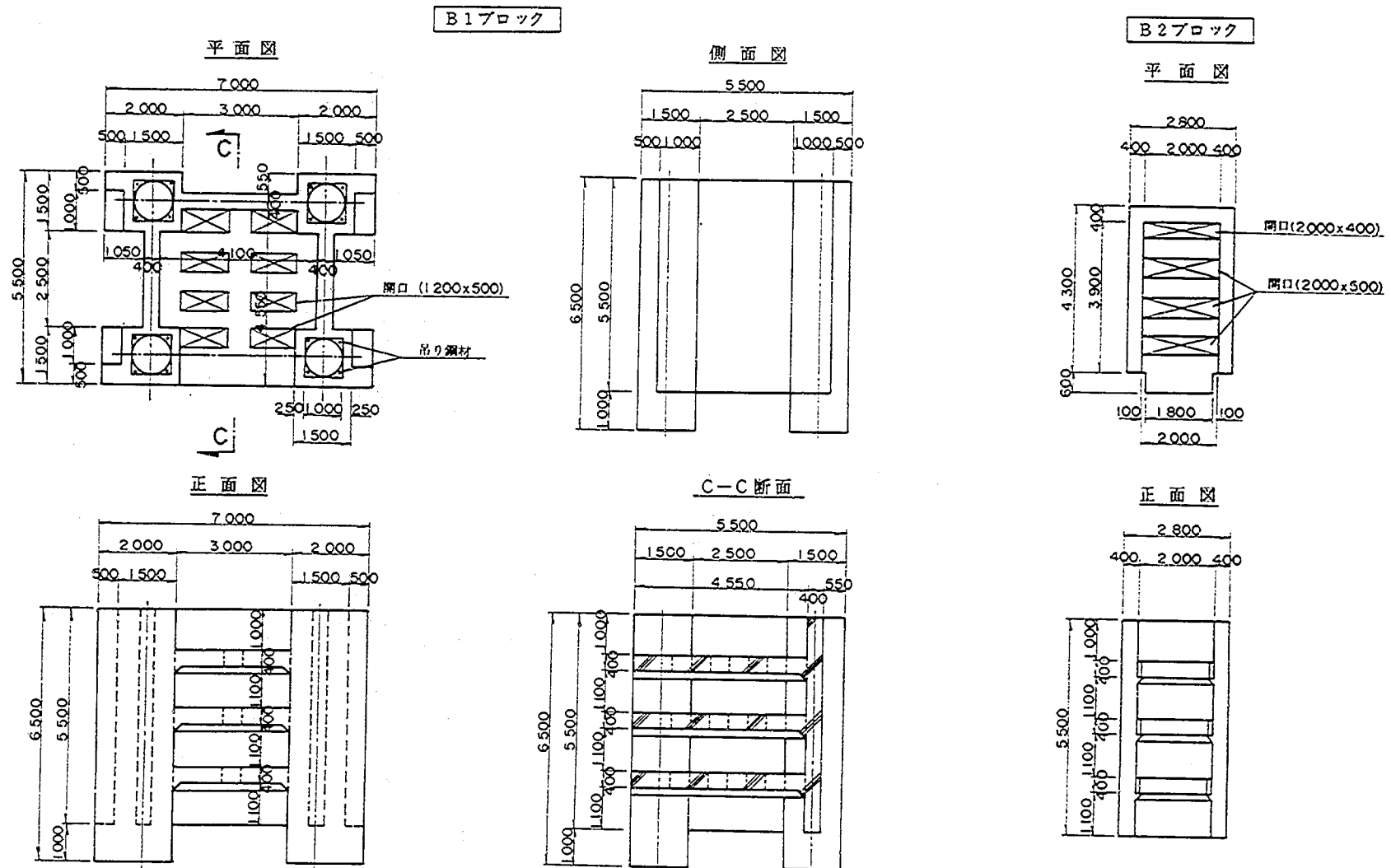


図 3.9.4 プレキャストブロック構造図(1)

(unit:mm)

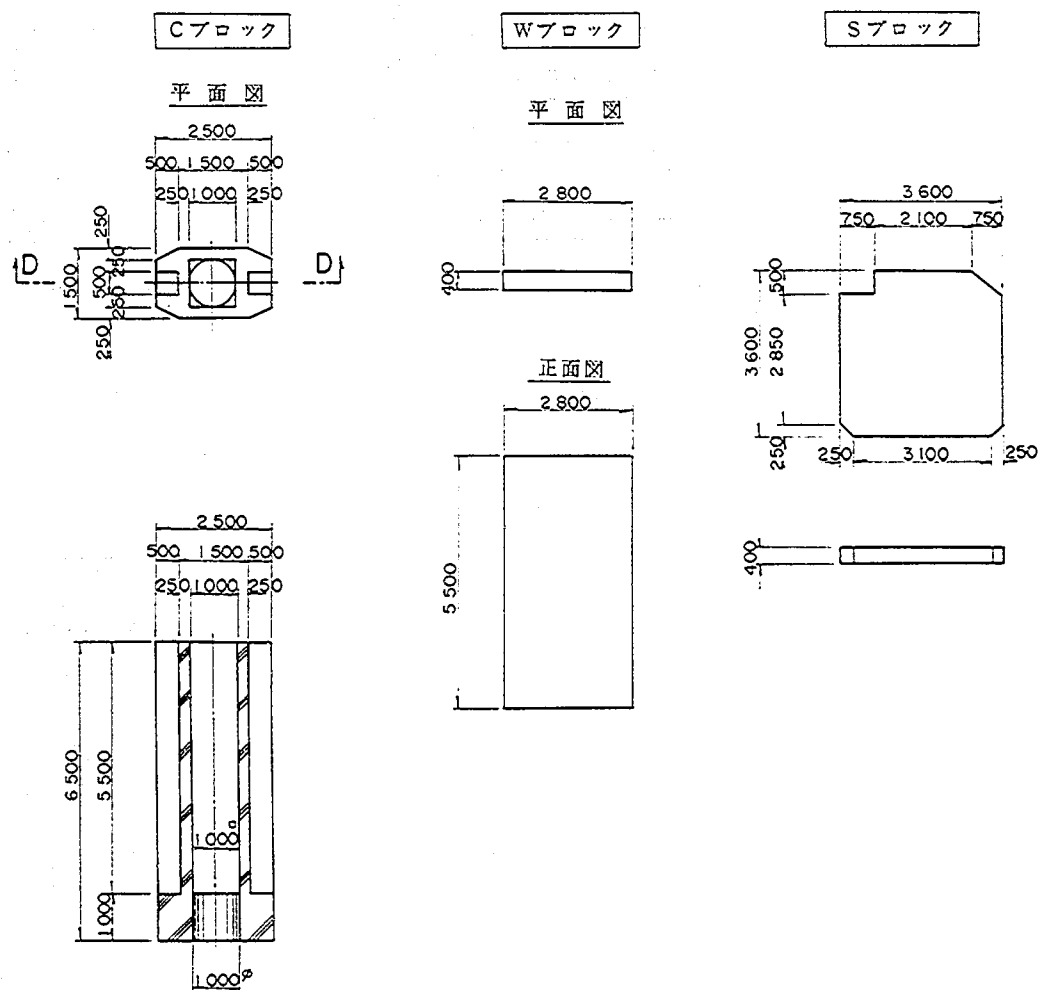
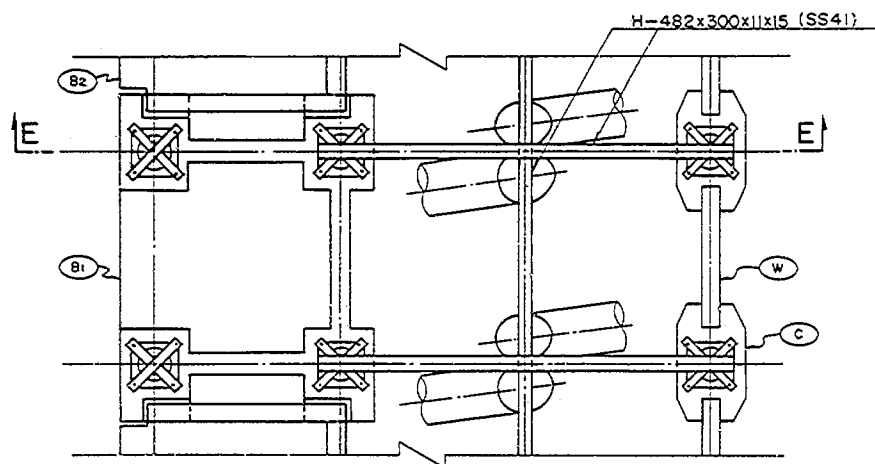


図 3.9.5 プレキャストブロック構造図(2) (unit:mm)

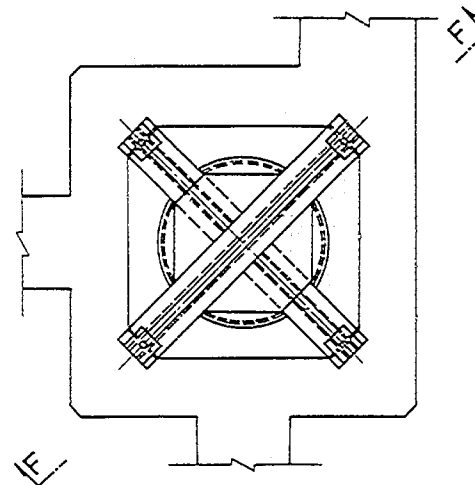
結構材配置平面図

(縮尺 1 / 100)

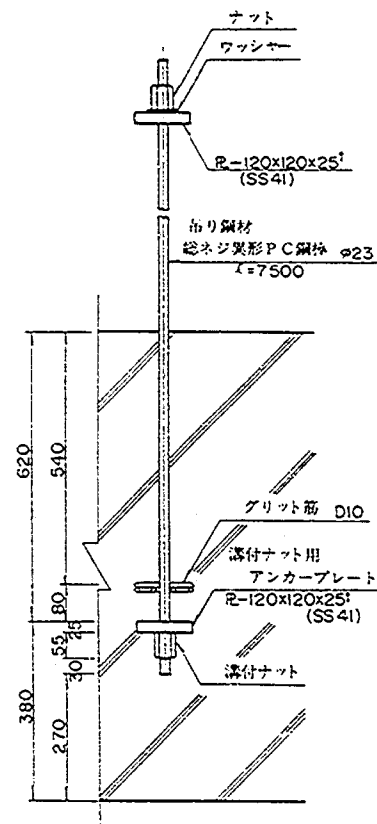


杭頭金物詳細図

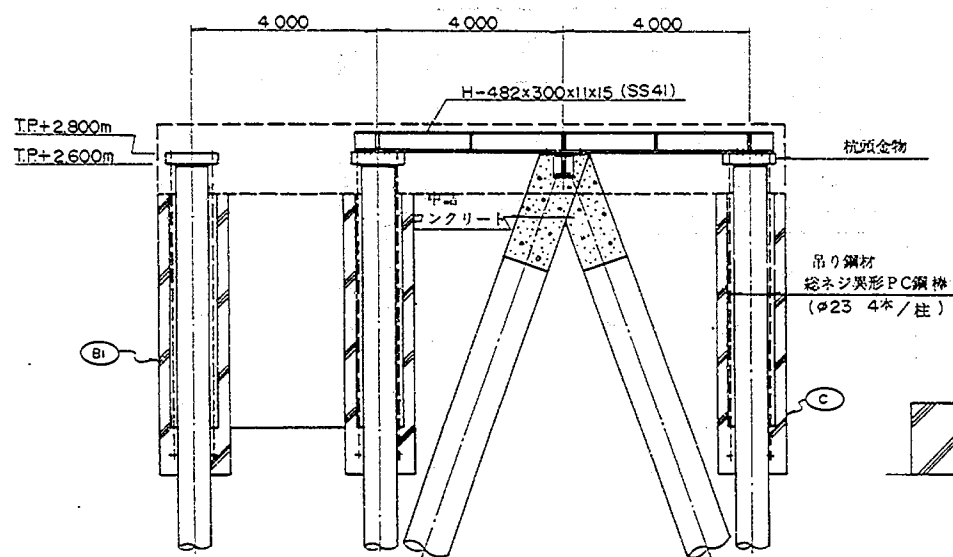
(縮尺 1 / 20)



吊り鋼材詳細図 (縮尺 1 / 10)



E-E断面



F-F断面

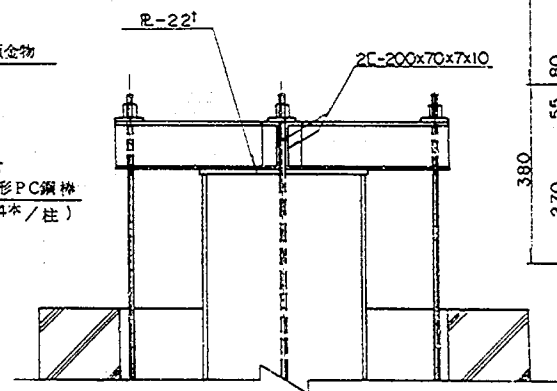
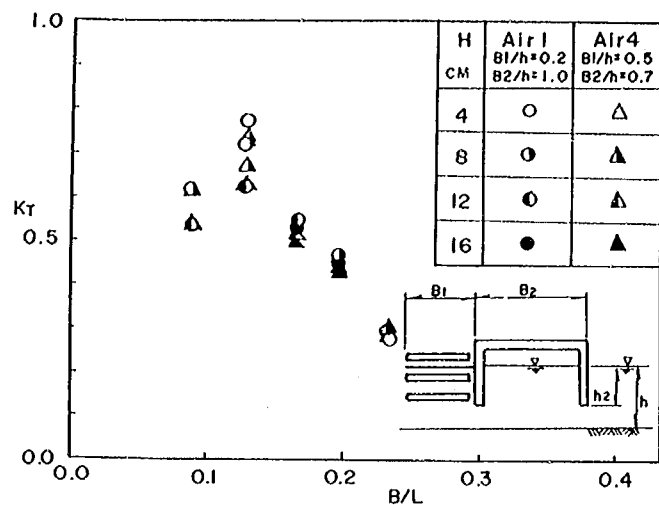


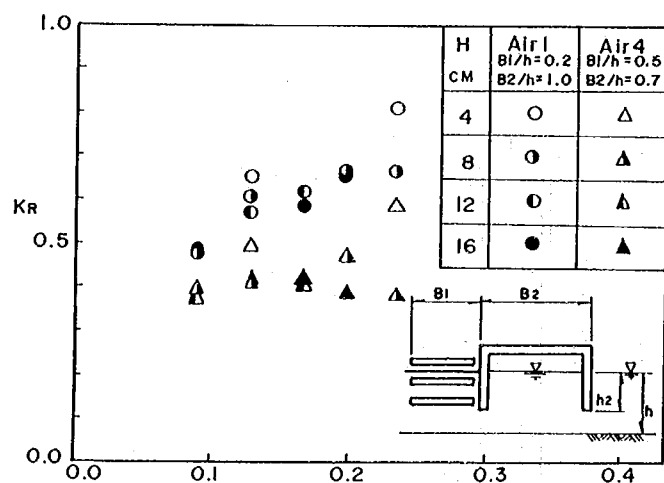
図 3.9.6 詳細図

3.9.2 構造諸元

図 3.9.7 に示す水理模型実験結果から, $B_1/h = 0.5$, $B_2/h = 0.7$, $h_2/h = 0.5$ とするとき, $0.13 \leq B/L$ ($B = B_1 + B_2$) で $K_R \leq 0.5$, $K_T \leq 0.6$ をほぼ満足する。このとき $B_1:B_2 = 5:7$ なので, $0.05 \leq B_1/L$, $0.08 \leq B_2/L$ を満たす必要がある。今回の消波機能が要求される波浪条件に上述の実験結果をあてはめると, $B \geq 10.7 \text{ m}$ ($B_1 \geq 4.1 \text{ m}$, $B_2 \geq 6.6 \text{ m}$) になる。従って, 今回は図 3.9.8 に示すような構造諸元を決定した。



(a) 透過率の特性



(b) 反射率の特性

図 3.9.7 水理模型実験結果 ($h_1/h_2 = 0.5$)

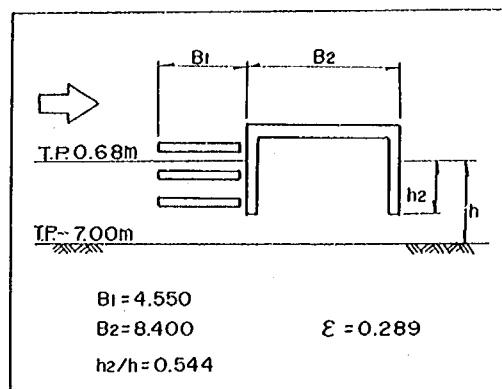


図 3.9.8 構造諸元

3.9.3 設計計算

(1) 設計荷重及び解析法

荷 重 図					
	波 高 Hmax	7.56 m	波 力 計算結果 (奥行き 1m 当り)	$P_1 = 6.18 \text{ tf/m}^2$	$P_M = 0.60 \text{ t/m (杭 1 本 当り)}$
周 期 T	14.0 秒	$P_2 = 5.86 \text{ tf/m}^2$			
波力低減係数	$\lambda = 0.80$	$P_4 = 5.18 \text{ tf/m}^2$			
		$P_u = 1.9 \text{ tf/m}^2 (0.24 \times 1.03 \times 7.56)$			
		$P_p = 1.5 \text{ tf/m}^2 (0.19 \times 1.03 \times 7.56)$			
備 考	1. 波力低減係数の算定式: $\lambda = \lambda_1 (1 - \epsilon)$ ここに, $\lambda_1 = 0.8$, $\epsilon = 0$, 従って $\lambda = 0.8$ とする。 2. 1/25 模型を用いた波力実験結果より, Uplift: $P_u = \alpha_u \cdot \omega_0 H$, Pulldown: $P_p = \alpha_p \cdot \omega_0 \cdot H$ (H は波高) に於て $\alpha = 0.24$, $\alpha_p = 0.19$ として P_u, P_p の最大値を定める (全幅均一な値)。また, これらの値は最大水平力作用時とやや位相がずれるが, 安全のため同時に載荷するものとする。 3. 構造解析は各部材を線材に置き換え, 二次元骨組構造として断面力を算出した。この際, 前面の消波水平板の隔壁はトラスに置換する。 4. 杭の横方向地盤反力係数は, 地盤の平均 N 値より $k_h = 0.15 \text{ N(kgf/cm}^2)$ として推定する。				

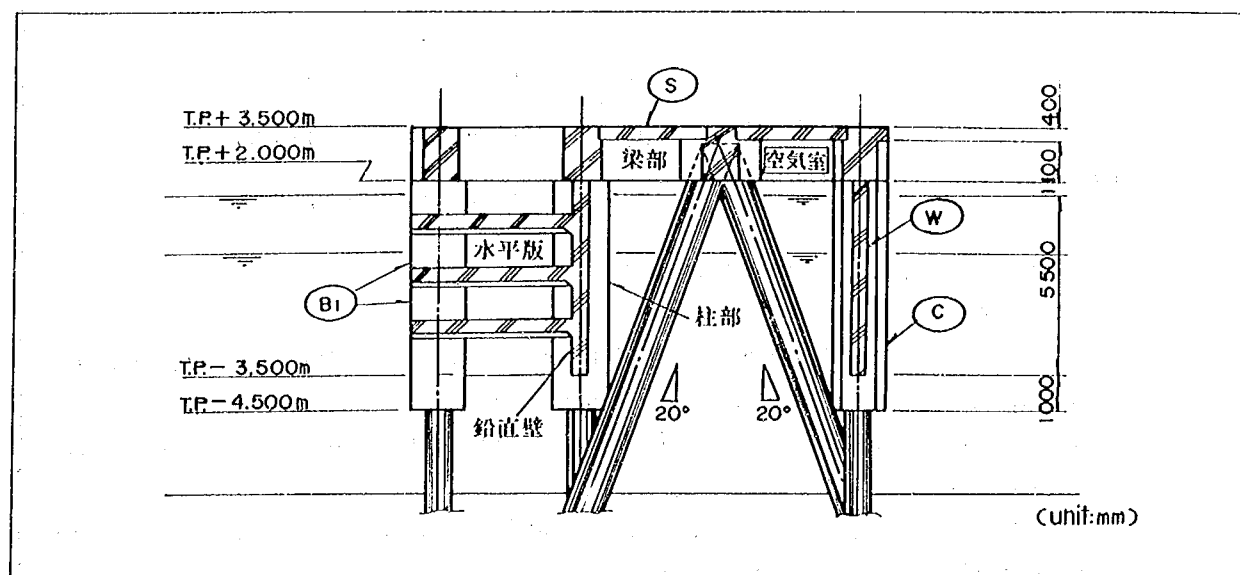
(2) 支持力の検討

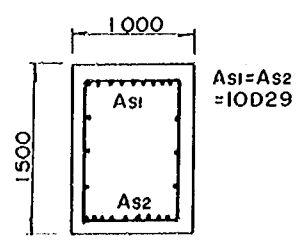
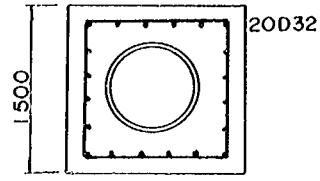
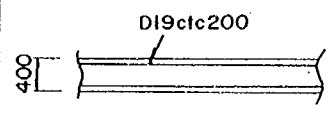
支 持 力		杭 列 No	杭反力 R (tf)	許容支持力 Ra (tf)	備 考
	φ 700 押込杭	1	84	303	直杭
	φ 700 引抜杭	2	9	48	"
	φ 1000 押込杭	4	214	590	斜杭 (20°)
	φ 1000 引抜杭	3	207	232	"

(3) 杭の算定

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 (tf m)			
1	83.5	37.8	1254	1400	φ 700 t12 ($\Delta t = 3\text{mm}$) SKK41 $l/r = 18.4 < 20$ であり、許容応 力度の低減はない。

(4) 主要部材の算定



部材名	設計断面力	部材断面形状	備 考
梁	$M = 203.0 \text{ tfm}$ $N = 155.6 \text{ tf}$ $S = 12.1 \text{ tf}$		・結構材（H-482×300）の耐力は累加していない。
柱	$M = 134.4 \text{ tfm}$ $N = -9.2 \text{ tf}$		・鉛直壁に加わる波力をすべて柱が受け持つものとして設計する。 ・RC矩形断面（中空）として計算。 ・鋼管杭の耐力は累加していない。
鉛直壁	$M = 7.0 \text{ tfm}$ $S = 9.3 \text{ tf}$		・スパン 3.0 m の単純支持された一方向版として計算する。 ・安定計算時と同値の最大波力にて設計する。

3.9.4 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製作する陸上作業（ヤード内工事）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、以下のとおりである。

- ① プレキャスト部材の陸上製作ヤードからの浜出し方法としては、ステフ移動台車（レール式）の上にプレキャスト部材を載せてウィンチにより岸壁まで引出す方法とした。
- ② 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、予じ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、バイブ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) 施工方法

本構造物の施工手順は、図 3.9.9，図 3.9.10 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 プレキャストブロック・スラブ製作工

プレキャストブロックは、陸上作業ヤードにおいて製作する。ブロックの製作は、最大で 4 ロットに分けてコンクリート打設する。なお、60 t を超えるブロックの製作は、次工程の浜出しで用いるステフ移動台車上で行う。

② プレキャストブロック・スラブ浜出し・運搬工

プレキャストブロック・スラブの浜出しは、ステフ移動台車（64 t 積）により行う。プレキャストブロック・スラブの岸壁からの吊出しは、非航起重機船（300 t 吊、100 t 吊）により行い、台船（2,000 t

積)に積込み、現地まで運搬する。

③ 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(150kw)で打設していき、打止めは、ディーゼルパイルハンマー(D-70)により行う。打設完了した鋼管杭から、順次杭頭部を仮固定する。又、斜杭の海底面レベルより上部については、中詰めコンクリートをコンクリートミキサー船(60m³/hr)を用いて打設する。

④ 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(300t吊, 100t吊)により所定位置に設置する。

⑤ 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の隙間をコンクリートミキサー船(60m³/hr)によりコンクリート打設する。又、プレキャストブロック間の間詰モルタルは、モルタルミキサー(300ℓ×2連)および圧送ポンプ(100ℓ/min)を装備したプラント用台船(鋼300t積)により充填する。

⑥ 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(60m³/hr)により打設する。

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3.9.1～3.9.3に示す。

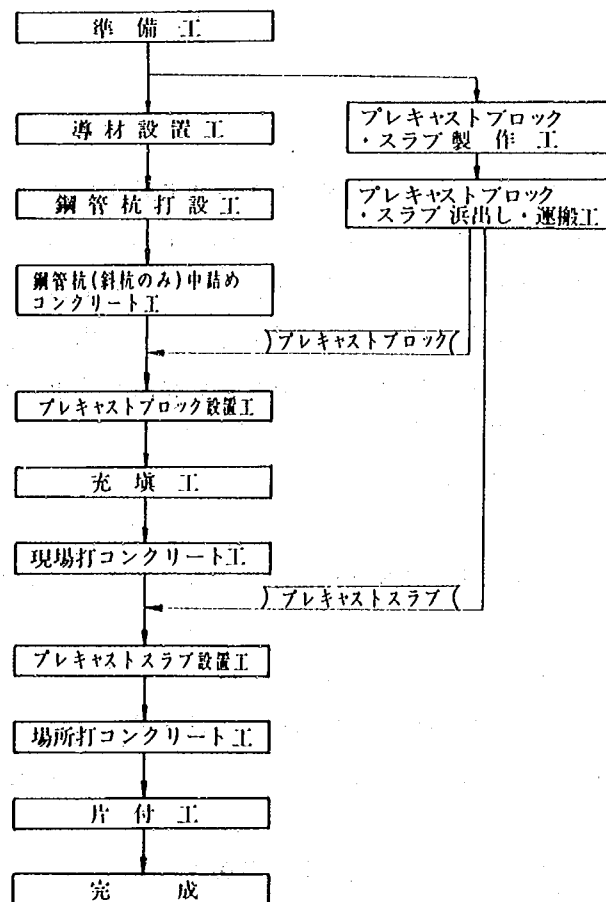


図3.9.9 施工フロー図

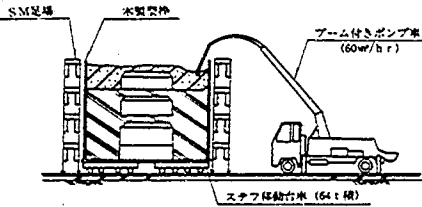
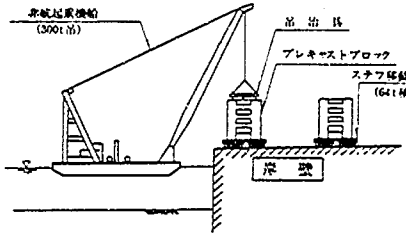
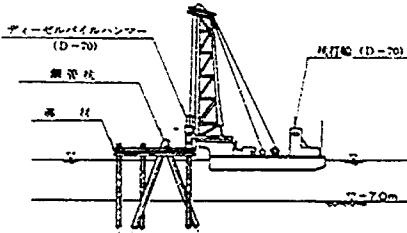
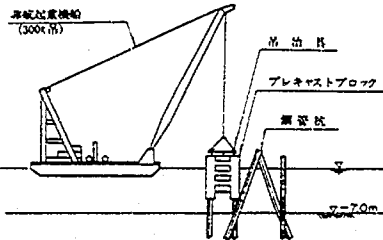
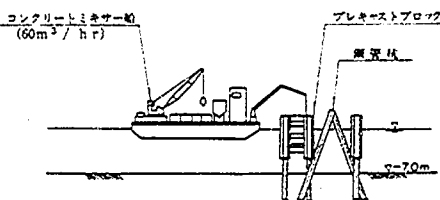
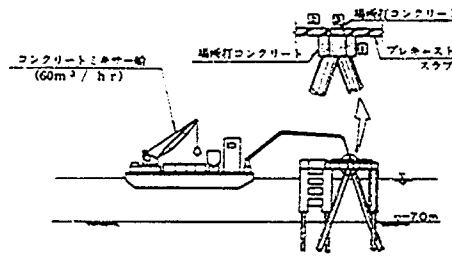
工種	① プレキャストブロック・スラブ製作工	② プレキャストブロック・スラブ浜出し、運搬工	③ 鋼管杭打設工
施工要領図			
主な作業内容	1) プレキャストブロック・スラブは陸上作業ヤードにおいて作業する。 2) 60tを超えるブロックの製作は、次工程の浜出しで用いる台車上で行い、4ロットに分けてコンクリート打設する。 3) 上記以外のブロック・スラブの製作は、作業ヤード土間コン上で行い、一度にコンクリート打設する。	1) 製作完了したプレキャストブロック・スラブから、順次、ステフ移動台車により岸壁まで浜出しする。 2) プレキャストブロックの岸壁からの吊出しは、非航起重機船により行い、台船(2,000t積)に積み込み、台船により現地まで運搬する。 3) 斜杭の海底面レベルより上部については、中詰めコンクリートをコンクリートミキサー船(60m³/hr)を用いて打設する。	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、バイプロハンマー(150kw)で打設していき、打止め(1m範囲)は、ディーゼルバイロハンマー(D-70)により行う。又、斜杭(根入れ深さ33mのみ)は、バイプロハンマーと併用してウォータージェット(150kg/cm²)を用いる。
使船舶		非航起重機船 (300t吊, 100t吊) 台船 (2,000t積) 引船 (1,500PS) 揚錨船 (20t吊)	杭打船(D-70用) 台船(1,500t積) 引船(800PS) コンクリートミキサー船(60m³/hr) 揚錨船(20t吊) 非航クレーン付台船(25t吊)
工種	④ プレキャストブロック設置工	⑤ 充填工	⑥ 場所打コンクリート
施工要領図			
主業内容	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) プレキャストブロックと鋼管杭の隙間は、コンクリートミキサー船によりコンクリート打設する。 2) プレキャストブロック間の間詰めモルタルは、モルタルミキサー(300ℓ×2連)及び圧送ポンプ(100ℓ/min)を装備したプラント用台船(鋼300t積)により充填する。	1) 充填工完了後、図示①～③の手順で場所打コンクリート打設及びプレキャストスラブ設置を行う。 2) 場所打コンクリート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。 3) プレキャストスラブは非航起重機船により設置する。
使船舶	非航起重機船(300t吊, 100t吊) 台船(2,000t積) 引船(1,500PS) 揚錨船(20t吊) 潜水土船(30PS)	コンクリートミキサー船(60m³/hr) プラント用台船(鋼300t積) 引船(800PS) 引船(200PS) 揚錨船(20t吊) 潜水土船(30PS)	コンクリートミキサー船(60m³/hr) 非航起重機船(300t吊) 引船(800PS) 非航クレーン付台船(25t吊) 揚錨船(20t吊) 引船(200PS)

図 3.9.10 施工要領図

表 3.9.1 数量総括表

種 類		単 位	延 長 150m	備 考
鋼 管	鋼管(φ700, t12)	t	497	L = 2,436 m, 本数 116 本
	鋼管(φ1,000, t16)	t	674	L = 1,736 m, 本数 56 本
P 鋼	P C 鋼 棒	t	0	
C 棒	吊 P C 鋼 棒	t	12	L = 3,480 m, 本数 464 本
プレ キャスト	コンクリート	m ³	2,829	f _{ck} = 400kgf/cm ²
	鉄 筋	t	444	SD30
	鋼材(内枠鋼管)	t	13	SS41
中グ ラウト・ コン クリ ート	中詰コンクリート	m ³	220	
	間詰コンクリート	m ³	408	
	間 詰 グラウト	m ³	56	
場 所 打 コ ン ク リ ー ト		m ³	1,423	

表 3.9.2 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	300 t 吊(固定式)	1
非 航 起 重 機 船	100 t 吊(旋回式)	1
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
台 船	2,000 t 積	3
	1,500 t 積	2
引 船	1,500 PS	1
	800 PS	2
	200 PS	1
潜 水 士 船	30 PS	1
揚 錨 船	20 t 吊	1
フ ロー ラ クレーン	100 t 吊	1
ト ラ ッ ク クレーン	20 t 吊	1
ス テ フ 移 動 台 車	64 t 積	28
バ イ ブ ロ ハ ン マ ー	150 kw	1
ジェ ッ ト カ ッ タ ー	150kgf/m ² (吐出圧力)	1
ディーゼルパイルハンマー	D-70	1
発 電 機	600 KVA	1

表 3.9.3 工 程 表

項 目		8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
準 備 工	1 式	30 日			15 日							
プレキャストブロック・スラブ製作工	124 個		88 日									
プレキャストブロックスラブ浜出し運搬工	124 個		150 日									
導 材 設 置 工	1 式				72 日							
鋼 管 杭 打 設 工	172 本				67 日							
鋼管杭中詰(斜杭のみ)コンクリート工	56 本				30 日							
プレキャストブロック設置工	124 個				60 日							
充 填 工	1 式				65 日							
場 所 打 コ ン ク リ ー ト 工	1,422.8 m ³							30 日	30 日			
プレキャストスラブ設置工	1 式							25 日				
片 付 工	1 式								30 日			

3.9.5 構造物の適用性と今後の課題

『空気密閉式波浪制御構造物』の実現可能な案として、在来の栈橋施工方法を基本とした組杭と直杭からなる有脚式構造による計画事例を示した。この消波構造を実現する上でのポイントは、空気室の壁体と前面の消波水平版をどのような部材で構築するかという事であるが、このケーススタディでは、RCプレキャストブロックを直杭に外挿する方式を採用した。ほかに、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この消波形式を実現させる構造として考えられるが、今回のケーススタディ結果より、この有脚式構造は、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形式』のひとつであることがわかった。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事項が存在した。そのうち最も大きなものは『波力』の算定方法である。これに対しては2.2.12に述べてあるように1/25模型を用いた波力実験結果より推定したが、今回の波浪条件に適合するかどうかは明らかではない。また、『波力』以外の不確定事項は『疲労強度』や『施工精度』など、主として構造設計と施工に関するものであるが、これらに対しては発生応力度を低く抑えたり、杭とブロックのクリアランスを大きめに取るなど、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、その分はコスト的に不利な要素となっている。機能的に、そして経済的により洗練された構造物を目指すに当たって、なお表3.9.4のような課題を指摘することができる。

表 3.9.4 改良空気密閉型（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消波効果	昭和60年度の実験： 空気密閉式カーテンウォール堤の反射、透過特性を求めた。その結果、透過率については、カーテンウォールの吃水比 h_2/h を0.5にすれば十分な防波効果が得られるが、その反面、反射率の増大を引き起こす事がわかった。 昭和61年度の実験： 反射率低減のための構造として、①空気室前面の水平な消波板、②堤体上へ波を乗り上げさせるBDシステムを付加し、その効果を実験的に検討した。その結果、①前面の消波板については、その長さ B_1 を $B_1/h = 0.5$ 程度にとれば、反射率は、ほぼ0.5以下におさえられ、また、②BDシステムについては、あまり大きな効果は期待できないことがわかった。 なお、 $B_1/h = 0.5$ 、 $B_2/h = 0.7$ (B_2 は空気室幅)、 $h_2/h = 0.5$ とするとき、 $B/D \geq 0.13$ ($B = B_1 + B_2$) で、 $K_T \leq 0.6$ 、 $K_R \leq 0.5$ をほぼ満足する。	空気室前面の消波板の効果を検討する。すなわち、61年度の実験では消波板の空隙率を0.3、枚数を3枚で固定していたが、これらを変化させることにより高い効果の得られる諸元を実験的に調べる。
②波 力	非砕波時の全波力についての検討。	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。
③漂砂・洗掘	検討を行っていない。	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	許容応力度設計法による。 最大波高が常時作用すると仮定。	限界状態設計法により、それぞれの限界状態にとって最も適切な安全性の検討方法を確立する。特に、 ・波力の特性値 ・RC、PC水中部材の疲労強度 ・耐海水性（主にひびわれに対して） 新素材を用い、軽量化（かぶり小）と曲げ耐力・耐腐食性の増大を図る。
②構造部材	RCまたはSRC構造の梁及び上床版	
3. 施 工		
①杭打ち	杭打ち精度に課題有り。 海上工事の稼働率の低さ。	杭打ち精度を上げる杭打設工法の開発及び適切な導材工の開発。 稼働率の向上。
②ブロック積	ブロックの製作誤差による施工性の悪さ。	ブロック製作精度の改善
③場所打ちコンクリート	場所打コンクリート部底型枠に作用するアップリフトが問題。	プレキャスト化の検討。

4. 設計・施工法の比較

各構造タイプの設計結果の比較を表 4.1 に、また施工検討結果の比較を表 4.2 に示す。

表 4.1 F S 検討結果一覧表（設計に関する項目）

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
構造形式	スリット型 (ブロックと杭)	多重スリット型 (ブロックと杭)	水平板付 スリット型(1) (ブロックと杭)	水平板付 スリット型(2) (ブロックと杭)	水平板付 スリット型(3) (ブロックと杭)	スリット型 (ケーソンと杭)	透過水平板付 スリット型 (ケーソンと杭)	中詰型 (ケーソンと杭)	改良空気 密閉型 (ブロックと杭)
構造諸元	天端高 (m)	T.P. +3.50	←	←	←	←	T.P.+1.60(没水型)	T.P. +3.50	←
	吃水比: h_2/h	1.0	0.844	1.0	1.0	1.0	0.93	1.0	0.54
	堤体幅: B(m) (B/L)	14.10 (0.17)	11.80 (0.13)	14.70 (0.18)	14.70 (0.18)	13.70 (0.17)	14.00 (0.17)	9.50 (0.12)	12.00 (0.13)
	スリット壁の 空隙率: ϵ 水平版の無次元 没水深: R/h	沖側 $\epsilon = 0.20$ 中央 $\epsilon = 0.35$ 岸側 $\epsilon = 0.20$ (中央は構造壁)	沖側 $\epsilon = 0.30$ 中央 $\epsilon = 0.22$ 岸側 $\epsilon = 0.10$	鉛直壁 $\epsilon v = 0.40$ (2枚) 水平板 $\epsilon_H = 0.10$ ($R/h = 0.05$)	鉛直壁 $\epsilon v = 0.40$ (2枚) 水平板 $\epsilon_H = 0.10$ ($R/h = 0.05$)	鉛直壁 $\epsilon v = 0.33$ (2枚) 水平板 $\epsilon_H = 0.10$ ($R/h = 0.05$)	沖側 $\epsilon = 0.20$ 中央 $\epsilon = 0.20$ 岸側 $\epsilon = 0.20$ (中央は構造壁)	鉛直壁 $\epsilon v = 0.25$ (3枚) 水平板 $\epsilon_H = 0.18$ ($R/h = 0.14$)	沖側 $\epsilon = 0.27$ 中央 $\epsilon = 0.27$ 岸側 $\epsilon = 0.27$ (中詰め材は上床版 まで設置する)
	杭種及び杭配置 (総て鋼管杭)	$\phi 700 \times 32 \sim 9$ (SKK50, SKK41) 3列 ctc 3.15m	$\phi 800 \times 22 \sim 12$ (SKK50, SKK41) 3列 ctc 4.00m (平均)	$\phi 700 \times 23 \sim 12$ (SKK50, SKK41) 3列 ctc 5.00m	$\phi 700 \times 20 \sim 12$ (SKK50, SKK41) 3列 ctc 5.00m	$\phi 1800 \times 16 \sim 12$ (SKK41) 2列 ctc 3.75m	$\phi 1000 \times 25 \sim 12$ (SKK41) 4列 12本/14.5m	$\phi 1200 \times 22$ (SKK50) 2列 8本/20m	$\phi 1100 \times 27 \sim 15$ (SM50Y, SKK41) 3列 ctc 5.00m
設計波力	合田式に対する 波力低減率: λ ($\lambda = \lambda_1(1 - \epsilon)$)	$\lambda_1 = 0.80$ $\epsilon = 0.20$ $\lambda = 0.61$	$\lambda_1 = 0.80$ $\epsilon = 0.20$ (平均) $\lambda = 0.64$	$\lambda_1 = 0.60$ $\epsilon = 0.40$ $\lambda = 0.36$	$\lambda_1 = 0.60$ $\epsilon = 0.40$ $\lambda = 0.36$	$\lambda_1 = 0.60$ $\epsilon = 0.33$ $\lambda = 0.40$	$\lambda_1 = 0.80$ $\epsilon = 0.20$ $\lambda = 0.64$	$\lambda_1 = 0.80$ $\epsilon = 0.25$ $\lambda = 0.60$	$\lambda_1 = 0.80$ $\epsilon = 0.00$ $\lambda = 0.80$
	揚圧力: P_u (H_D : 設計波高)	$0.1 \cdot w_0 \cdot H_D$	波力実験結果より 無視する。	$0.2 \cdot w_0 \cdot H_D$ 水平板に集中載荷	←	←	合田波力 $\cdot \lambda$ (三角形分布)	合田波力 $\cdot \lambda$ (等分布に換算)	合田波力 $\cdot \lambda$ (三角形分布)
	部材に作用させる 波力: $p(\text{tf/m}^2)$	$1.0 \cdot w_0 \cdot H_D$	合田波力 $\cdot \lambda$	←	←	←	合田波力 $\cdot \lambda_1$	二重横スリット、 および曲面スリット の文献による部 材波圧	合田波力 $\cdot \lambda_1$
構造設計の特徴	構造解析の方法	堤体と基礎杭を一体 とした平面骨組 構造(弾性解析)	←	←	←	←	杭基礎は底版と杭 を一体とした骨組 構造として解析	杭基礎は堤体を剛 体と仮定し変位法 にて解析	←
	支持力計算に関する 特記事項			杭の打設時には、 ジェットを使用する が周面摩擦力の 低減は行わない。	←	←	杭の先端面積は、 杭の純断面積のみ を考慮した。	杭の打設時には、 ジェットを使用する が周面摩擦力の 低減は行わない。	杭の打設時には、 ジェットを使用する が周面摩擦力の 低減は行わない。
	主要構造部材に関する 特記事項	柱: SRC(被覆 鋼管コンクリート 構造。杭とブロック の間に補強筋を 挿入。梁強度方式 による) 梁: RC構造	柱: PC(フルプ レストレス状態。 インナーケーブル 方式。緊張後に中 詰め施工。) 梁: SRC及び、 RC構造。	柱: PC(フルプ レストレス状態。 アウトケーブル方式。 緊張前に中詰め 施工。) 梁: RC構造	柱: PC(フルプ レストレス状態。 アウトケーブル方式。 緊張後に中詰め 施工。) 梁: RC構造	柱: SRC(被覆 鋼管コンクリート 構造。軸引張力に 対しては鋼管のみ で負担するものと 考える。) 梁: S造, RC造	堤体と杭との接合 部は「道路橋示方 書」フーチングの 杭頭部の計算を準 用。	杭頭モーメントを 堤体全高にて負担 する。	杭頭モーメントを 梁(SRC造)が 負担する。

注: ←印は「左記事項と同様」であることを示す。

表 4.2 F S 検討結果一覧表（施工に関する項目）

No		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
構造形式		スリット型 (ブロックと杭)	多重スリット型 (ブロックと杭)	水平板付スリット 型 (1) (ブロックと杭)	水平板付スリット 型 (2) (ブロックと杭)	水平板付スリット 型 (3) (ブロックと杭)	スリット型 (ケーソンと杭)	透過水平板付 スリット型 (ケーソンと杭)	中詰型 (ケーソンと杭)	改良空気密閉型 (ブロックと杭)	
1ユニット 幅(m)×長さ(m)		14.1m×12.25m	11.8m×7.7m	14.7m×30m	14.7m×30m	13.7m×18.05m	14.0m×14.5m	9.5m×20m	12m×10m	13.5m×0.0m	
工期 (延長 150m)	ブロック製作	150 日	92 日	105 日	135 日	100 日	150 日	143 日	240 日	88 日	
	海上工事	140 日	150 日	150 日	130 日	130 日	140 日	100 日	150 日	150 日	
杭 打 工	精度の確保	導材により確保	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	ケーソン本体のメ イド等を利用し、 スペーサーをつけ ることにより確保 できる。	ケーソンの杭挿入 孔をケーシングと して打設するため スペーサーをつけ ることにより確保 できる。	導材により確保	
	打 設	バイプロハンマー + ディーゼルハンマー	バイプロハンマー + ディーゼルハンマー	バイプロハンマー (ウォータージェ ット併用) 打ち止めは、 ディーゼルハンマー	同 左	ディーゼルハンマー	ディーゼルハンマー (水中で打止)	バイプロハンマー + ウォータージェット	バイプロハンマー + ウォータージェット + フライングハンマー	バイプロハンマー + ウォータージェット (斜杭のみ) + ディーゼルハンマー	
ブ ロ ッ ク ケ ー ソ ン 製 作 ・ 掘 付	製 作	精 度	特にブロック接合 面の仕上げに精度 必要	同 左	同 左	同 左	特に高い精度は要 求されない	通常の精度	同 左	同 左	
		ヤード	現地近く(3 km) の岸壁から 200 m 内陸	同 左	同 左	同 左	—	現地から 30 km の岸壁	同 左	同 左	現地近く(3 km) の岸壁から 200 m 内陸
	運 搬 ・ 掘 付	重 量 (1ユニット)	最大コンクリート ブロック重量 58 t	最大コンクリート ブロック重量 52 t	最大コンクリート ブロック重量 32 t	最大コンクリート ブロック重量 18 t	最大コンクリート ブロック重量 51 t	ケーソン 1,307 t	ケーソン 1,101 t	ケーソン 833 t	最大コンクリート ブロック重量 215 t
		主 要 船	非航起重機船 (150 t吊) 引 船 (800, 300 ps) 潜水士船 (30 ps)	非航起重機船 (100 t吊) 台 船 (3000 t積) 引 船 (800 ps)	クレーン付台船 (100 t吊) 台 船 (100 t積) 引 船 (750 ps) 潜水士船 (30 ps)	同 左	非航起重機船 (120 t吊) 台 船 (500 t積) 引 船 (800 ps)	非航起重機船 (300 t吊) 台 船 (2000 t積) 引 船 (3000, 1500 PS)	自航起重機船 (50 t吊) 引 船 (800, 250 ps) 潜水士船 (30 ps)	非航起重機船 (1000 t吊) 台 船 (1000 t積) 引 船 (2000 ps)	非航起重機船 (300 t吊) 台 船 (2000 t積) 引 船 (1500 ps)
水中作業		目地材取付、ブ ロック掘付確認で潜 水士必要	改良、ブロック設 置、間詰コンクリ ート打設に潜水士 による確認が必要	杭打時のガイドバ イブヒット及びコ ンクリートブロッ ク掘付作業の援助	同 左	特に無し	捨石均し ケーソン設置 杭頭処理 水中コンクリート 打設時に潜水士が 必要	捨石均し ケーソン掘付時に 潜水士による確認 が必要	底面整形、ケーソ ン設置、消波ブロッ クの設置時に潜水 士による確認が必 要	ブロック設置、間 詰コンクリート打 設時に潜水士によ る確認が必要	
施工時安定		杭頭部仮結構によ り対処	同 左	同 左	同 左	同 左	施工時は波高 4 m 程度の波浪までケ ーソン自重で安定	施工時、前列杭 2 本打設により、H $\frac{1}{2}$ =3mまで安定	施工時は波高 3 m 周期 10 sec 程度の 波浪までケーソン の自重のみで安定	杭頭部仮結構によ り対処	

4.1 ブロック構造の設計・施工法の比較

ブロック構造の場合、いずれの構造形式も海底地盤に打設された鋼管杭にプレキャストブロックを通して一体化する施工法を用いている。構造設計は堤体と基礎杭を一体とした骨組構造として杭基礎および部材の検討を行っている。ブロック構造で設計を行っているスリット型、多重スリット型および水平板付スリット型に関して、部材の構造にそれぞれ若干の相違があり、これについての説明を行う。

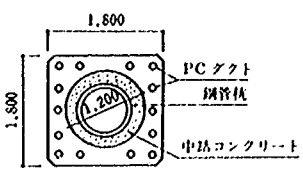
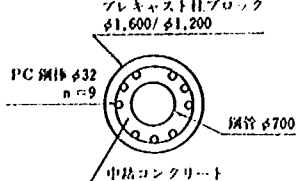
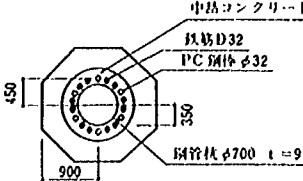
(1) 柱部材の構造

柱部材の構造は表 4.3 に示すように P C 構造および S R C 構造の 2 種類のものがある。P C 構造は、鉛直方向に通した P C 鋼棒にプレストレスを導入してプレキャストブロックを緊張し、柱部材に荷重が作用しても柱部材のプレキャストブロックに引張力が生じない構造である。柱部材の応力はコンクリート部分が負担し、中の鋼管は応力を負担しないものとして設計を行う。一方、S R C 構造は、プレキャストブロックを緊結させるための P C 鋼棒に導入するプレストレスを軽減し、鋼管、プレキャストブロックおよび中詰コンクリートの複合構造として鋼管の耐力を設計に取り入れる構造である。P C 構造と S R C 構造を比較した場合、荷重作用時の変位が小さいことと、ひび割れの発生を防止できるために耐腐食性に優れているという点では P C 構造の方がすぐれているが、構造物の変位がある程度許容できる場合、緊張作業の煩雑さが軽減できる S R C 構造も有効であると考えられる。P C 構造の場合、P C 鋼材の配置の方法により 2 種類の構造がある（表 4.3）。一つは、プレキャストブロックにダクトを設けてその中に P C 鋼材を配置する構造（インナーケーブル方式）であり、もう一つは、鋼管杭とプレキャストブロック間に P C 鋼材を配置する構造（アウターケーブル方式）である。プレストレス導入力が大きい場合、インナーケーブル方式の場合では、杭の打設誤差によるプレストレス導入時の偏心モーメントを小さくできるのに対し、アウターケーブル方式では、偏心モーメントに対する配慮が必要である。さらに、インナーケーブル方式では、断面の周辺に P C 鋼材を配置できるので断面の終局耐力を大きくすることができる。一方、施工面では、アウターケーブル方式の場合、ブロックの据え付け作業が比較的容易に行えるのに対し、インナーケーブル方式ではブロックのダクト内に P C 鋼材を通す作業があり、これを効率的に行う必要がある。

(2) 梁部材の構造

ブロック型、水平板付スリット型および改良空気密閉型の梁部材は R C 構造であるが、多重スリット型の梁部材は R C 構造および S R C 構造としている。構造物の波力が大きく、R C 構造では断面が大きくなり配筋量が多くなる場合、S R C 構造にすることにより断面を小さくすることができる。

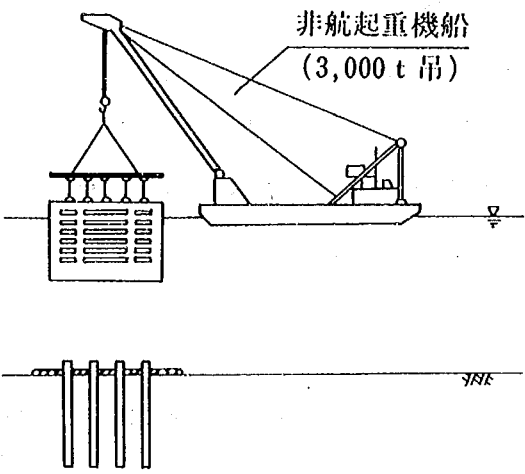
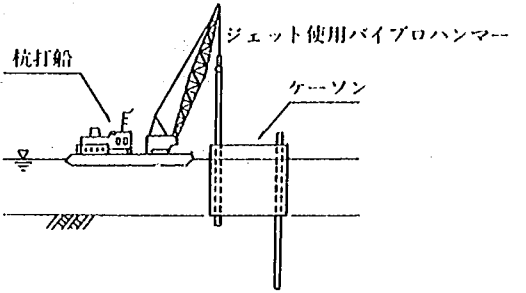
表 4.3 柱部材における P C 構造タイプと S R C 構造タイプの比較

	P C 構 造		S R C 構 造
	A タ イ プ	B タ イ プ	
断 面 構 造	 プレキャストブロック内にダクトを設けてその中に P C 鋼材を配置したフルプレストレス構造	 鋼管杭とプレキャストブロック間に P C 鋼材を配置したフルプレストレス構造	 鋼管杭, プレキャストブロック, P C 鋼材, 中詰めコンクリートによる鋼管コンクリート構造
P C 構造と S R C 比較	・プレストレスの導入により全断面有効となるため、断面を小さく、軽量化できる。 ・荷重作用時のひび割れの発生を防ぐことができるため耐腐食性に優れている。 ・緊張のための施工管理上の配慮が必要である。		・一体ものの鋼管コンクリート構造に比して、ブロック構造であるため、柱部材の剛性が低下し、外力による変位が若干生じる。
P C 構造タイプの比較	・ P C 鋼材を外周側に配置しているため終局耐力を大きく出来る。 ・杭打設誤差に起因するプレストレス導入時の偏心モーメントを小さくできる。	・プレストレス導入力が大きい場合、杭打設誤差によるプレストレス導入時の偏心モーメントに対する配慮が必要。	—
施 工 性	・ダクト内の P C 鋼材をガイドとしてブロックを高精度に設置できる。 ・ブロック据付時にダクト内に P C 鋼材を通す作業を効率的に行う必要がある。	・ブロックの設置時にガイド等が必要。 ・ P C 鋼材がプレキャストブロックと杭の間に配置されているため、ブロックの据え付け作業を容易に行うことができる。	・ブロックの設置時にガイド等が必要。 ・ブロックの据え付け作業を比較的容易に行える。 ・緊張作業の煩雑さが軽減できる。

4.2 ケーソン構造の設計・施工法の比較

ケーソン構造の堤体の施工法は、ケーソンの設置前に杭を打設する場合と、ケーソンの設置後に杭を打設する場合の2つのケースが考えられる。それぞれの場合の施工手順とケーソンの結合部の設計の考え方を表4.4に示す。

表4.4 ケーソンタイプの設計・施工法の比較

	ケーソン設置前に杭を打設する場合 (スリット型)	ケーソンの設置後に杭を打設する場合 (透過水平板付スリット型)
施 工 概 要	 非航起重機船 (3,000 t 吊)	 杭打船 ジェット使用バイプロハンマー ケーソン
施 工 手 順	① 杭打船による鋼管杭の打設 ② 捨石の投入・均し ③ 起重機船によるケーソンの曳航・据付 ④ 杭頭の補強と底版コンクリートの打設	① 水中ブルドーザによる基面の均し ② ケーソンの浮上・曳航・据付 ③ ケーソン内の鋼管をガイドとして鋼管杭打設 ④ グラウト注入による杭とケーソンの結合、鋼管内に中詰めコンクリートを打設
杭結 と合 部 の 設 計	・杭頭をケーソン底版に埋め込んで剛結とする。 ・「道路橋示方書」のフーチングの杭頭部の計算を準用している。	・杭とケーソンはモルタルの付着により結合する（許容付着応力はAPIによる）。 ・杭頭モーメントは堤体全高にて負担する。

ケーソンの設置前に杭を打設する場合、打設する鋼管杭の突出長が短くでき、使用する鋼管杭の数を少なくできる。一方、ケーソンと杭の結合のために、杭頭の補強鉄筋の設置や水中コンクリートの打設で水中作業を必要とする。ケーソンの設置後に杭を打設する場合、ケーソンと杭との結合において水中作業を必要としない特徴を有する。

5. 今後の課題

今後の研究・開発の方向を明確にするために、現状の技術レベルや既知の事項と合わせて、各構造タイプの共通の課題を表 5.1 に示す。

表 5.1 今後の課題

項 目	現状の技術レベルおよび既知の事項	今 後 の 課 題
1. 水 理 特 性 ① 消 波 効 果	スリット型, 多重スリット型, 水平板付スリット型, 透過性水平板付スリット型, 改良空気密閉型および中詰型の基本型の 1/25 縮尺模型による規則波(周期 6 sec~10 sec, 波高 1~4 m)に対する透過率・消波率	構造物の吃水深, 天端高等を変化させた場合の消波効果の検討。 潮位変化あるいは高波浪条件に対する消波効果の検討。
② 波 力	上記の波浪条件(非砕波時)の全波力の検討。	砕波領域の全波力と部材波圧の検討。
③ 漂砂・洗掘	構造物設置による漂砂の移動や洗掘等の検討は行っていない。	構造物の設置による流れの状況。構造物周辺の洗掘, 背後域の堆砂の検討。
2. 構 造 設 計 ① 設 計 基 準	「港湾の施設の技術上の基準」, 「コンクリート標準示方書」等により設計を行っている。 (試設計は許容応力度設計法による)	海域制御構造物を設計する場合の荷重や, 構造物の安全率等を明確にすること。 限界状態設計法による設計の検討。
② 構 造	柱部材の構造として P C 構造と S R C 構造, 梁部材の構造として R C 構造と S R C 構造がある。	耐波性や施工性, 経済性等による最適な骨組構造の検討。
3. 施 工	現有の施工技術で対応できるが, さらに効率的な施工法を検討する必要がある。	精度がよく, 作業効率の高い杭打設工法の開発。 急速施工を可能とする工法の検討。
4. 維持・補修	構造物の耐用年数期間内の維持・補修については検討していない。 杭基礎による堤体は消波ブロック堤のように頻繁に補修を要しない。	堤体の維持・補修の方法の検討 当初の建設コストだけでなく維持・補修を含めた長期的な経済性の検討。
6. 多目的利用	消波構造物を主体とした構造物の開発を行っている。	釣り桟橋, 漁礁, レジャー施設等への多目的な利用の検討。

6. あとがき

乱れと反射を利用した消波構造物の各種構造タイプについて試設計を行い、建設の技術的な可能性の検討を行った。今回の検討により構造物の具体的な形状や安定性、施工方法等が示され実用化に当たっての今後の課題が明らかになった。今後は、水理機能、施工性等より、有利ないくつかの構造タイプを選定し、実用化への詳しい検討を行うとともに、設計および施工の改善・改良を図り、経済性を高める必要があると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 土木学会：水理公式集（昭和60年度版），pp.525～526，1985.
- 2) 長崎作治：海洋構造物の設計と施工（森北出版），pp.26～30，1970.
- 3) 谷本勝利，吉本靖俊，岡幸夫：大水深波浪制御構造物に関する水工的研究（その3），港湾技術研究所資料，No.543，61p，1985.
- 4) 宇多高明他：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，1987.

海域制御構造物の開発に関する
共同研究報告書 (3)
第1 グループF.S. 調査報告書

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2511号
昭和62年7月(1987)

要旨 乱れと反射を利用した各種構造物について、計画条件を設定して試設計および施工の検討を行い、実用化および改善・改良のための今後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，
技術的課題，共同研究

郵便はがき

は40
円切
手
を
い
っ
て
下
さ

3 0 5 - □ □

建設省土木研究所

河川部海岸研究室 行

茨城県筑波郡豊里町大字旭一

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2511号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印