

## 曲面スリット式ケーソンの設計・施工について

井 福 周 介\*

### 1. はじめに

港湾の主要構造物の一つである防波堤は、大水深、大波浪等の厳しい自然条件下での建設を余儀なくされるとともに、周辺環境とも充分調和したものでなければならなくなっている。これらの要請に応える一つの新形式として、曲面スリット式構造がこのほど船川港南防波堤（F区間）において採用されることとなり、59年度より製作工事が進められているのでここに紹介することとする。

船川港は、秋田県男鹿半島の南端に位置し、昭和57年1月に国家石油備蓄基地の立地決定がなされ、基地建设の一環として南防波堤の建設が現在進められている。

南防波堤前面には大きな浅瀬があり、波が複雑な変形を示すところであるが、このようなところに防波堤を設置すること、および防波堤が隅角部を形成することに対処するため、本堤のうち隅角部に近いF区間において低反射構造の曲面スリットケーソン式混成堤を採用することとしたものである。

一般に、反射率低減および波力低減のためには消波ブロックによる被覆が多く用いられているが、大水深になるほど工費の増大が著しいものとなる。この消波ブロック被覆堤に比べて水理機能に遜色がなく、大水深域で工費の面で有利な防波堤構造として曲面スリット式ケーソンが開発されたものである。

港湾技術研究所における基本的形状の検討および水理模型実験とその解析を通じて基本的性状の把握が行われたことに引き続き、運輸省第一港湾建設局ではこの曲面



\* Shusuke IFUKU  
運輸省第一港湾建設局  
新潟調査設計事務所次長

スリット式ケーソンを、昭和54年度から昭和55年度にかけての秋田湾実験堤についての模型実験、構造解析および試験工事の対象の一つとして取り上げた。実験堤設置後、昭和55～58年度において実際の自然状況に対して観測、調査を行い、防波堤体としての優れた機能と安定性を有していることの確認を行った。更に昭和58年度には、実験堤の設計、施工に関する経験を反映した試設計調査を行うことによって、本設計に対する問題点の検討を事前に行った。以下に、今回製作、進水、仮置きを完了した曲面スリット式ケーソンの設計、施工概要について示す（図—1、図—2 参照）。

### 2. 設 計

曲面スリット式ケーソンの構造は、通常の箱形ケーソンの前面に、反射波、越波、伝達波、波力などの軽減を目的とした曲面縦スリット壁を設け、断面において1/4円弧状の遊水室を有したものである。したがって、このケーソン全体の構造は、大別して通常のケーソン部と遊水部とから成る。遊水部は、曲面縦スリットを形成するスリット部材と、これを結合する水平版、鉛直壁等より成り、通常のケーソン部に連続した構造になっている。

船川港防波堤における曲面スリット式ケーソンの形状寸法を図—3、図—4に示す。

スリット部材は、波力により大きな純引張力が発生するため、これを打ち消すことのできるプレストレストコンクリート（以降PCと略す）構造とし、また、1/4円弧状の梁部材であるため、プレキャスト部材として施工性を高めた。スリット部材と他の部材との接合箇所は、波力により大きな曲げモーメント、せん断力、引張力などが発生するため、これらに対しプレストレスを導入して対処できるPC構造とした。プレストレス導入に用いた鋼材は、スリット部材をPC鋼線12φ7（SWPR 1）、接合部をPC鋼棒φ26およびφ32（SBPR 95/110）とした。

なお、その他の部材は、通常のケーソンと同様に鉄筋コンクリート（以降RCと略す）構造とした。

部材の設計は、スリット部材、接合部およびスリット部材からの反力の影響を受ける前壁上部、水平版、鉛直壁を限界状態設計法で行い、その他の部材は許容応力度設計法で行った。なお、限界状態設計法は「プレストレ

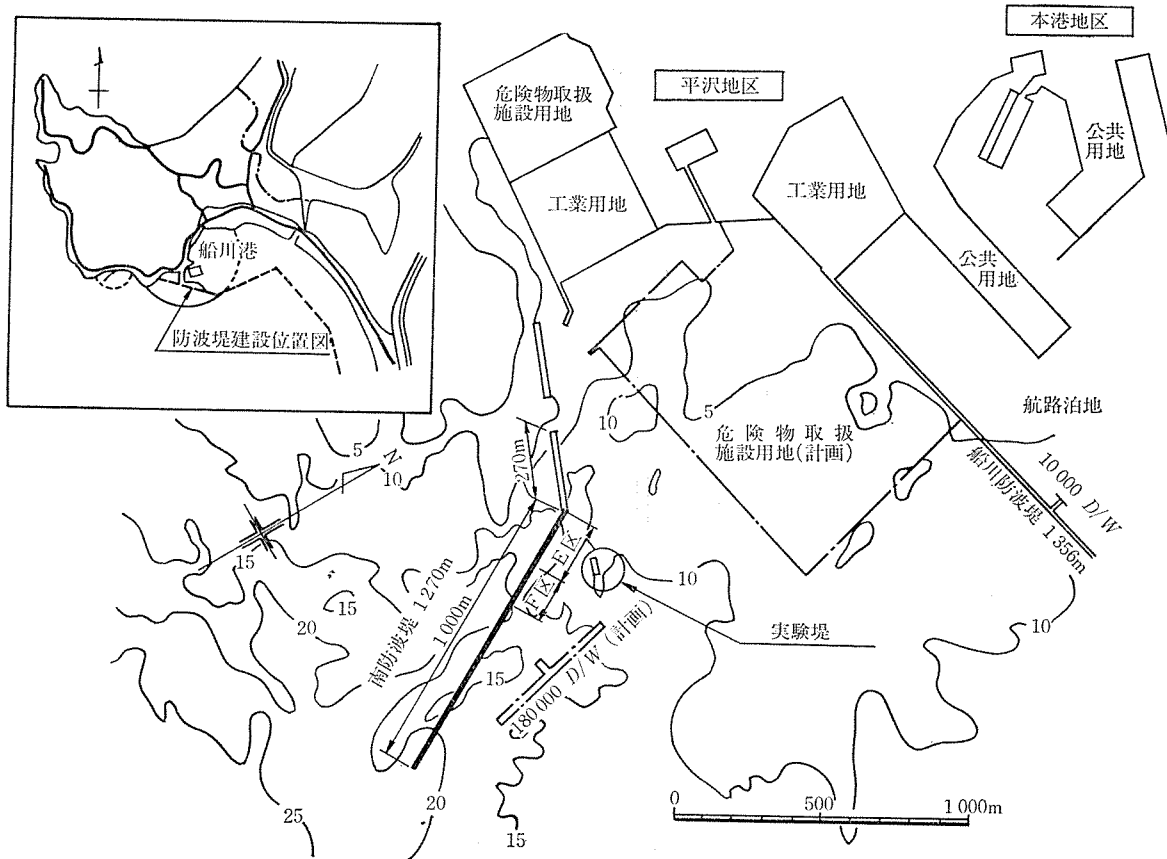


図-1 設置位置

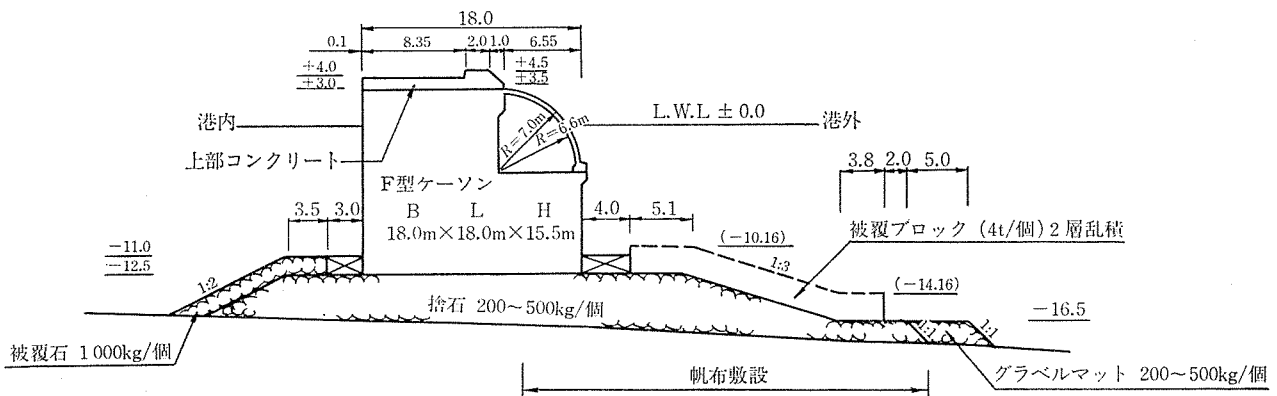


図-2 曲面スリット式ケーソン標準断面

ストコンクリート港湾構造物設計指針(案) (昭和56年3月, 運輸省港湾局建設課) および「コンクリート構造の限界状態設計法指針(案) (昭和58年11月, 土木学会) に準拠して行った。

2.1 設計条件

(1) 設計潮位

S.W.L. = +0.9 m

L.W.L. = ±0.0 m

(2) 設計水深

設計水深 -20.0 m

(3) 設計波

1) ケーソン部 (許容応力度設計法適用部材)

設計波高  $H_{1/3} = 5.5 \text{ m}$ ,  $H_{\text{max}} = 9.9 \text{ m}$

設計周期  $T_{1/3} = 8.7 \text{ sec}$

設計波向  $\beta = 25^\circ$

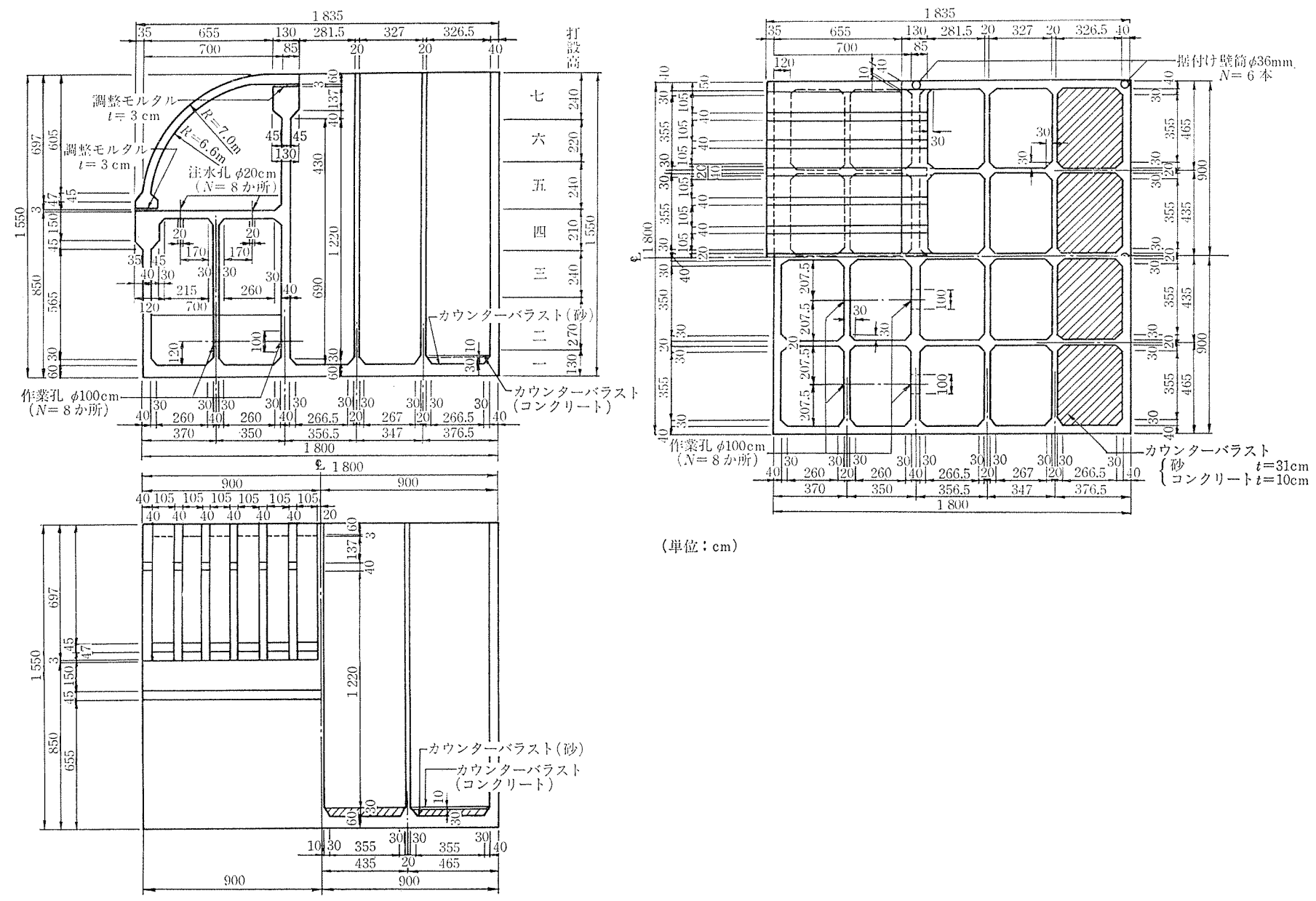
2) スリット部材等 (限界状態設計法適用部材)

使用限界状態検討波高 (1年確率波)

$H_{1/3} = 3.0 \text{ m}$ ,  $H_{\text{max}} = 5.4 \text{ m}$

終局限界状態検討波高 (50年確率波)

$H_{1/3} = 5.5 \text{ m}$ ,  $H_{\text{max}} = 9.9 \text{ m}$



(単位: cm)

図-3 ケーソン形状寸法

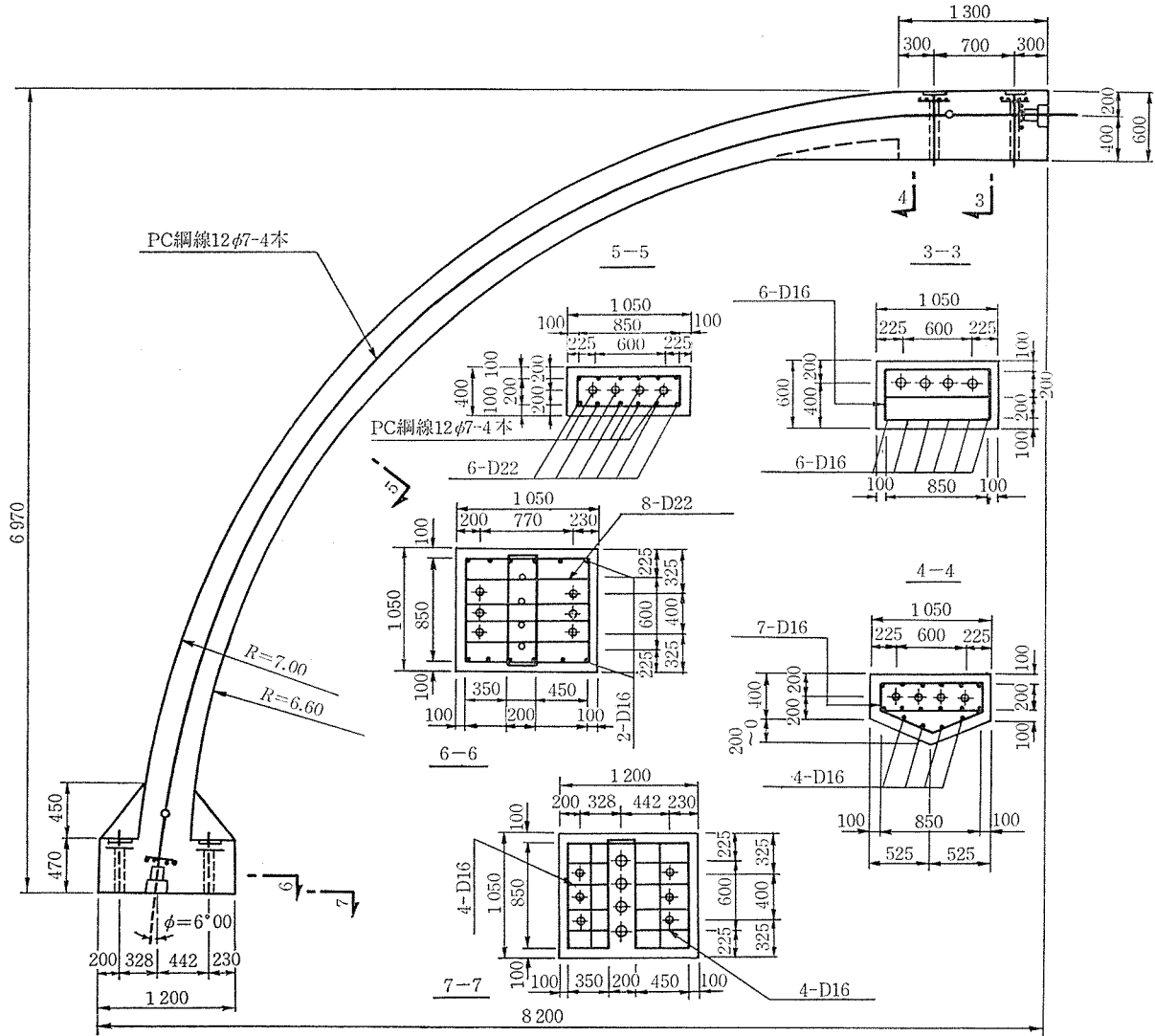


図-4 スリット部材形状寸法

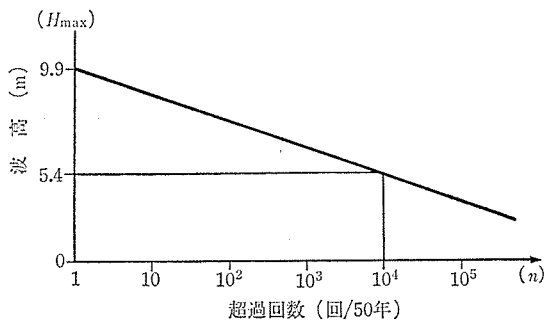


図-5 H-n 曲線

疲労限界状態検討波高

疲労限界状態の検討は、図-5 に示す波高と超過回数との関係 (H-n 曲線) を用いる。

(4) 設計波力

1) 堤体の安定検討

堤体の安定検討に用いる波力は次の値とした。

$$\eta^* = 0.75(1 + \cos \beta) H_{\max}$$

$$P_1 = 1/2(1 + \cos \beta) \alpha_1 \cdot w_0 H_{\max}$$

$$P_3 = P_u = \alpha_3 P_1$$

ただし、

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

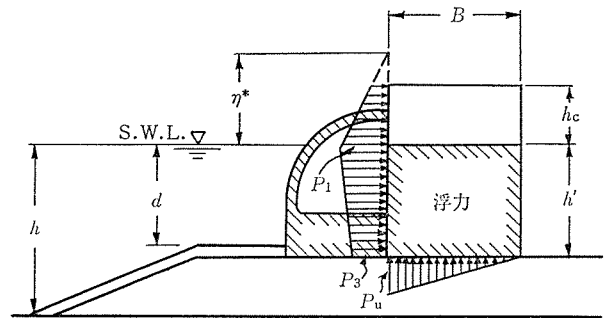


図-6 安定検討用波圧分布

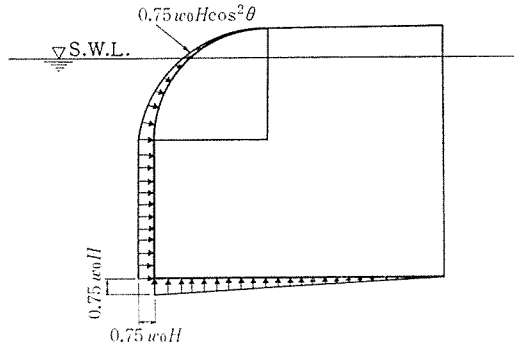


図-7 波圧 (I) 分布

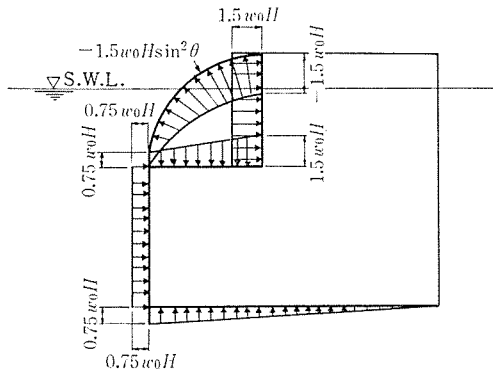


図-8 波圧 (II) 分布

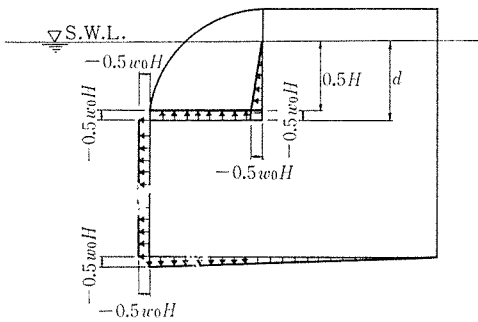


図-9 波圧 (III) 分布

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

2) 部材の検討

部材の検討に用いる波力は次の値とした。

- (a) 波圧 (I)……図-7 参照
- (b) 波圧 (II)……図-8 参照
- (c) 波圧 (III)……図-9 参照

(5) 材料強度

1) コンクリート (設計基準強度)

スリット部材            接合部            ケーソン通常部  
 400 kg/cm<sup>2</sup>            300 kg/cm<sup>2</sup>            240 kg/cm<sup>2</sup>

2) PC 鋼線 12φ7 (SWPR 1)

引張強さ 15 500 kg/cm<sup>2</sup> 降伏点強さ 13 500 kg/cm<sup>2</sup>

3) PC 鋼棒 φ26, φ32 (SBPR 95/110)

引張強さ 11 000 kg/cm<sup>2</sup> 降伏点強さ 9 500 kg/cm<sup>2</sup>

4) 鉄筋 SD 30

降伏点強さ 3 000 kg/cm<sup>2</sup>

(6) かぶり

海水に直接接する側    鉄筋中心より 8 cm 以上  
 その他                    鉄筋中心より 6 cm 以上

(7) 安全度

1) 荷重係数

表-1

検討状態	荷重の種類			P:死荷重 D:変形荷重 E:環境荷重
	P	D	E	
使用限界状態	1.0	1.0	1.0	
終局限界状態	1.1	1.1	1.5	
疲労限界状態	1.0	1.0	1.0	

2) 材料係数

コンクリート=1.5

鋼材 =1.15

(8) 許容ひび割れ幅

$w_a = 0.005 (C-1) \text{cm}$

ここに, C:鉄筋の最小かぶり (cm)

2.2 基本設計

(1) 浮体の安定計算結果

表-2

	止水版なし	止水版あり
幅×長さ×高さ (m)	18.0×18.0×15.5	18.0×18.0×15.5
総重量 (t)	2 668.3	2 736.9
吃水 (m)	8.02	8.20
浮心 (m)	4.01	4.10
重心 (m)	6.45	6.42
コンクリート量 (m <sup>3</sup> )	1 089.1	1 102.3
バランサー (t)	6.9	34.9
スリットの開口率 (%)	30	30
浮遊時の安定 (MG)	0.944 m	0.976 m
> (0.05 D)	0.401 m	0.410 m

(2) 堤体の安定計算結果

表-3

堤体の水中重量	268.6 t/m
波圧力	95.0 t/m
揚圧力	24.8 t/m
摩擦係数	0.6
滑動の安全率	1.54 > 1.2
転倒の安全率	1.93 > 1.2
端趾圧	50.8 t/m <sup>2</sup> < 55 t/m <sup>2</sup>

2.3 細部設計

限界状態設計法においては, 使用限界状態, 終局限界状態, 疲労限界状態の3つの限界状態について検討した。

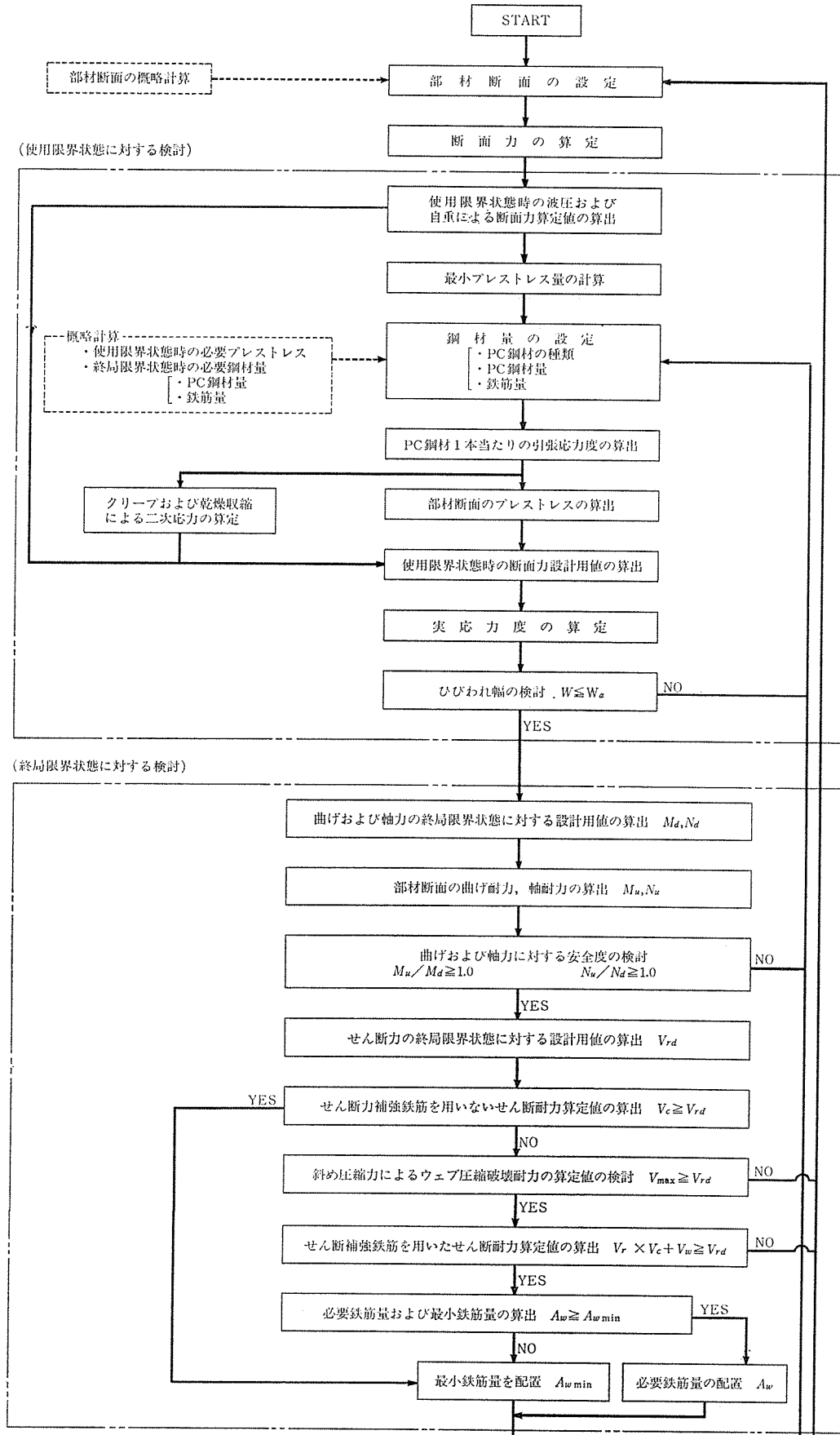
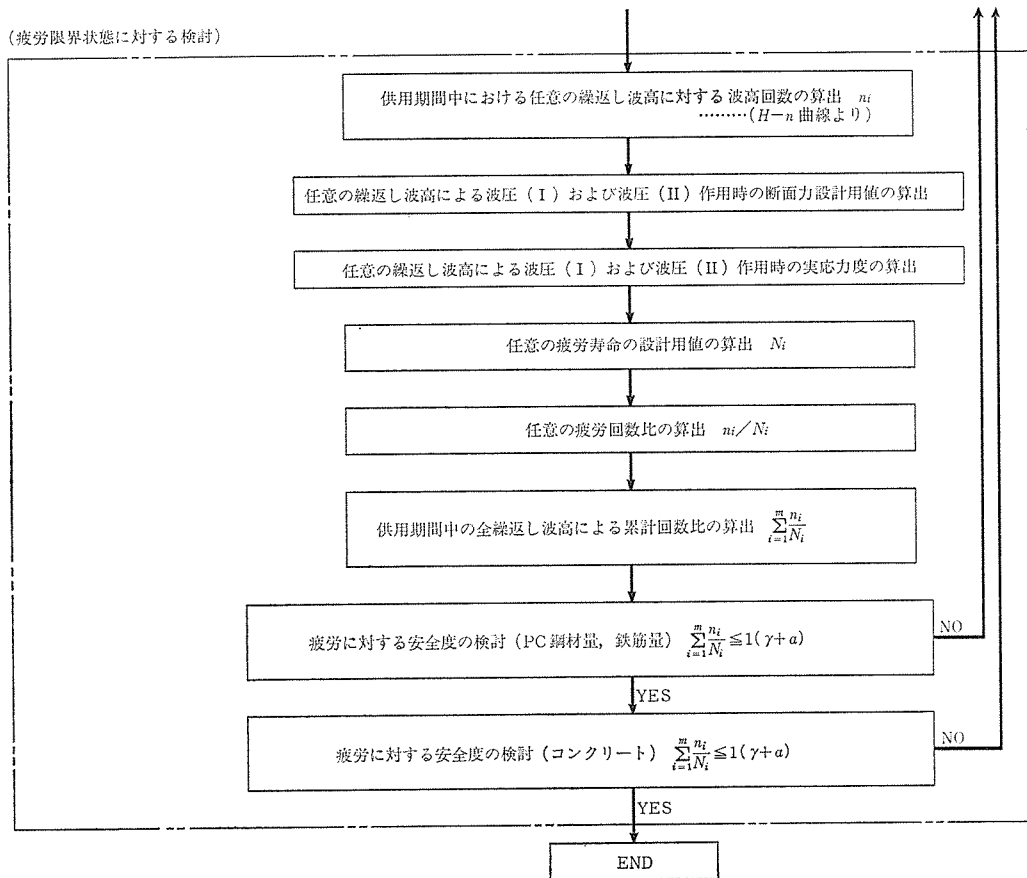
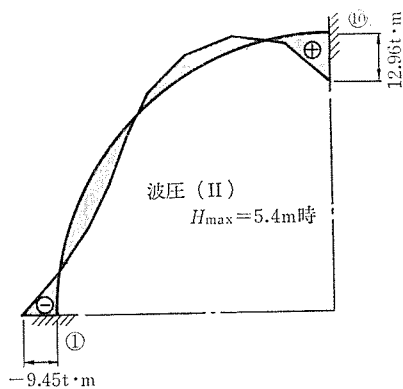


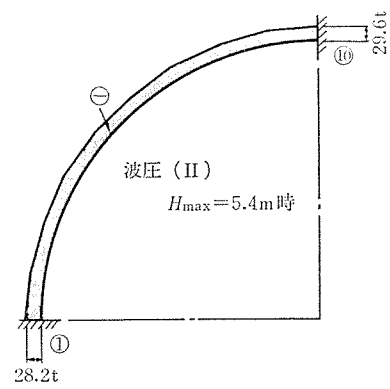
図-10 (次頁に続く)



図—10 スリット部材の設計フロー



図—11 曲げモーメント図



図—12 軸力図

各限界状態の検討用波高は次のように決定した。終局限界状態の検討では、ケーソンの供用期間を 50 年と設定して、再現期間 50 年確率波 ( $H_{1/50}=5.5\text{ m}$ ) を用い、使用限界状態の検討では再現期間 1 年確率波 ( $H_{1/3}=3.0\text{ m}$ ) を用いた。また、疲労限界状態の検討では、50 年確率波の最大値 ( $H_{\max}=9.9\text{ m}$ ) が 50 年に 1 回、1 年確率波の最大値 ( $H_{\max}=5.4\text{ m}$ ) が 50 年に 10 000 回発生するとして、図—5 に示すような  $H-n$  曲線を用いた。以下に限界状態設計法を適用した部材のうち、主としてスリット部材の検討について示す。

### 2.3.1 スリット部材

スリット部材の検討は 図—10 に示す設計フローに沿って行った。

#### (1) 断面力の算定

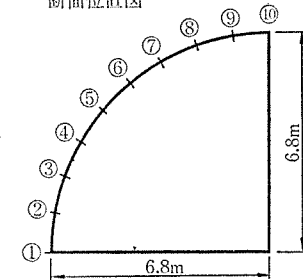
スリット部材の断面力は、スリット部材の両端が完全に固定されていると考えて構造モデルを両端固定の平面フレームとして解析を行った。波圧 (II) による曲げモーメント図および軸力図をそれぞれ 図—11、図—12 に示す。

#### (2) プレストレス量の算定

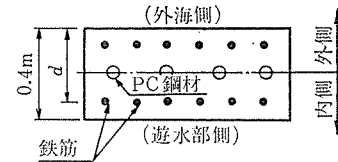
表-4 波圧II作用時の曲げと軸力に対する検討結果

	鉄筋の有効高 $d$ (cm)	使用限界状態の制限値				終局限界状態, 安全度	
		コンクリート $\sigma_{ca}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	鉄筋 $\sigma_{sa}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	PC鋼材 $\Delta\sigma_{pa}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	許容ひびわれ幅 $w_a$ (mm)	$M_u^*/M_u$	$N_u^*/N_u$
外側	30	150	1800	1440	0.30	1.0 以上	1.0 以上
内側	30	150	1800	1440	0.30		

断面位置図



断面位置	配筋状態		使用限界状態					終局限界状態						備考		
	外側 内側 の別	鉄筋径および本数 (mm) D-本数	断面力		増加応力度			ひびわれ幅		断面力		断面耐力			安全率	
			曲げモーメント $M$ (t·m)	軸力 $N$ (t)	コンクリート $\sigma_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	鉄筋 $\sigma_s$ (kg/cm <sup>2</sup> )	PC鋼材 $\Delta\sigma_p$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$w$ (mm)	曲げモーメント $M_u$ (t·m)	軸力 $N_u$ (t)	曲げ耐力 $M_u^*$ (t·m)	軸耐力 $N_u^*$ (t)	$M_u^*/M_u$		$N_u^*/N_u$	
①	外側	D22-6	-7.39	-27.33	-	-23	-100	-	-24.08	-69.31	-37.60	-196.13	1.56	2.83		
	内側	D22-6			45	-187	-100	-								
②	外側	D22-6	0.30	-29.57	21	-125	-116	-	1.25	-73.09	37.23	-346.44	29.77	4.74		
	内側	D22-6			19	-119	-116	-								
③	外側	D22-6	3.95	-31.37	36	-175	-127	-	12.81	-74.92	37.11	-283.53	2.90	3.79		
	内側	D22-6			8	-91	-127	-								
④	外側	D22-6	4.00	-32.63	38	-187	-137	-	12.67	-75.20	37.14	-284.36	2.93	3.78		
	内側	D22-6			10	-101	-137	-								
⑤	外側	D22-6	1.59	-33.55	32	-173	-149	-	4.84	-74.66	37.26	-327.89	7.71	4.39		
	内側	D22-6			20	-139	-149	-								
⑥	外側	D22-6	-1.65	-33.77	19	-133	-143	-	-5.41	-74.03	-37.30	-324.85	6.90	4.39		
	内側	D22-6			31	-168	-143	-								
⑦	外側	D22-6	-3.87	-34.49	12	-111	-145	-	-12.31	-74.15	-37.30	-286.44	3.03	3.86		
	内側	D22-6			39	-194	-145	-								
⑧	外側	D22-6	-3.35	-34.98	11	-103	-132	-	-10.54	-75.72	-37.07	-296.61	3.52	3.92		
	内側	D22-6			35	-175	-132	-								
⑨	外側	D22-6	1.28	-35.96	25	-138	-118	-	4.02	-79.23	-36.65	-332.18	9.12	4.19		
	内側	D22-6			16	-110	-118	-								
⑩	外側	D22-6	10.79	-35.69	69	-218	-24	-	33.69	-79.32	36.58	-106.83	1.09	1.35		
	内側	D22-6			-	168	-24	0.037								



- 表中の外側, 内側は下図に示すとおりである。
- $\sigma_s$  の負の応力度は鋼材が圧縮されていることを示す。
- $\Delta\sigma_p$  は, PC 鋼材引張応力度増加量で負の応力度は, 断面ひずみがゼロの状態より圧縮されていることを示す。
- 使用限界状態欄の二段書きは,  
上段: 部材断面中心より外側  
下段: " 内側  
を示す。



スリット部材のプレストレス量は、使用限界状態の検討において部材断面に軸引張応力度が生じないように、なおかつひび割れ幅が許容値内におさまるようにするとともに、施工時の応力状態も考慮して決定した。その結果、設計断面において妥当なプレストレス量は、軸圧縮力で  $26.6 \text{ kg/cm}^2$  となり、この条件を満たすために PC 鋼線  $12-\phi 7$ 、4 本により 1 本あたり  $50.8 \text{ t}$  ( $\sigma_{pi}=110 \text{ kg/mm}^2$ ) の緊張力を与えた。

(3) 使用限界状態の検討

使用限界状態の検討は、曲げと軸力により生ずる部材のひび割れ幅および鋼材の引張応力度増加量が制限値内にあることを確かめた。波圧 (II) 作用時の検討結果を

表—4 に示す。

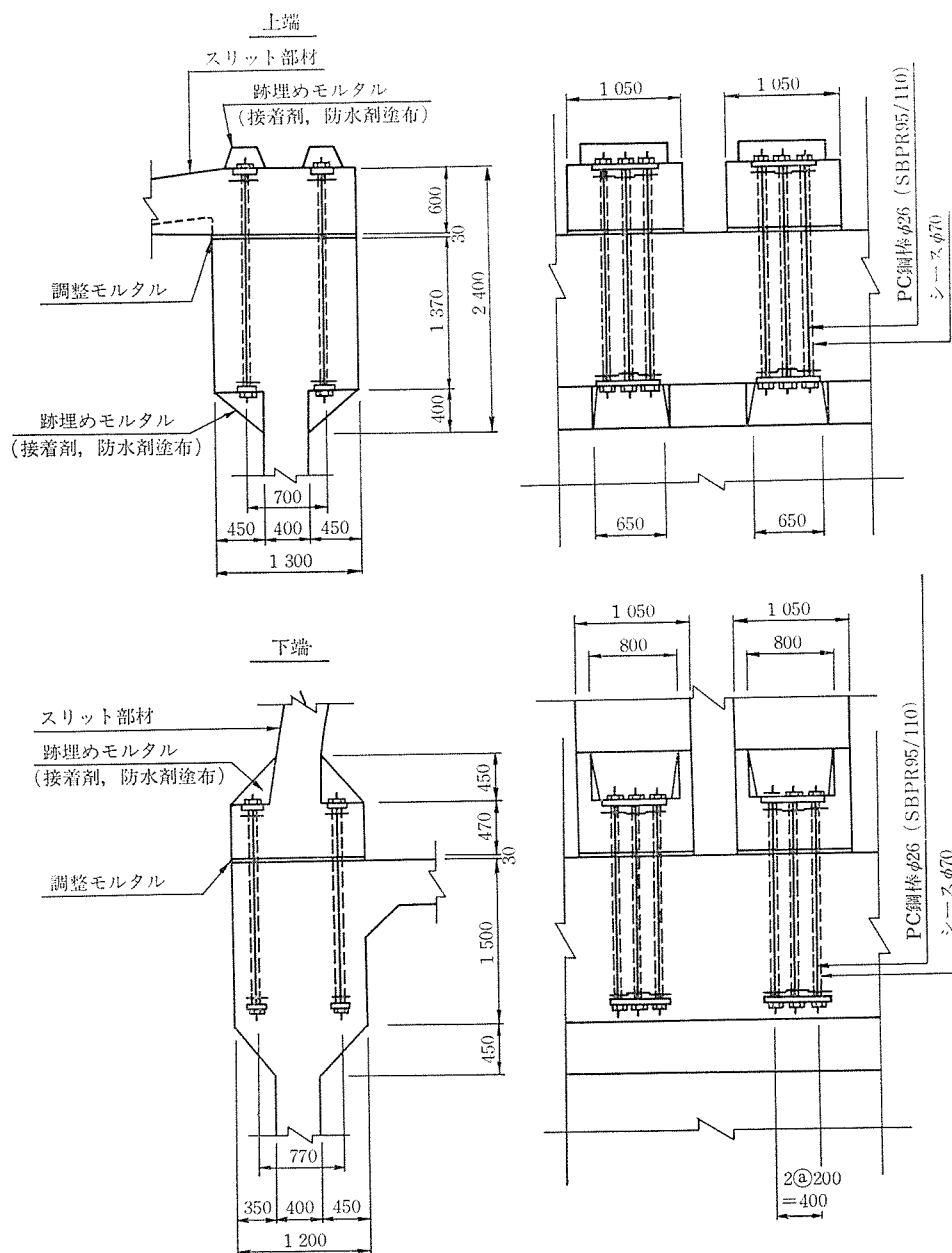
なお、スリット部材の許容ひび割れ幅は次の値とした。

$$w_a = 0.005(C-1) = 0.005 \times (7.0-1) = 0.03 \text{ cm}$$

ただし、 $C$  はスターラップの最小かぶり  $= 7.0 \text{ cm}$

(4) 終局限界状態の検討

終局限界状態の検討は、曲げと軸力およびせん断に対して行った。曲げと軸力に対しては、曲げおよび軸力の断面耐力の設計用値 ( $M_u^*$ ,  $N_u^*$ ) が、終局限界状態に対する曲げおよび軸力の設計用値 ( $M_u$ ,  $N_u$ ) 以上 ( $M_u^* \geq M_u$ ,  $N_u^* \geq N_u$ ) であることを確かめた。波圧 (II) 作用時の検討結果を表—4 に示す。また、せん断に対し



図—13 スリット部材接合部

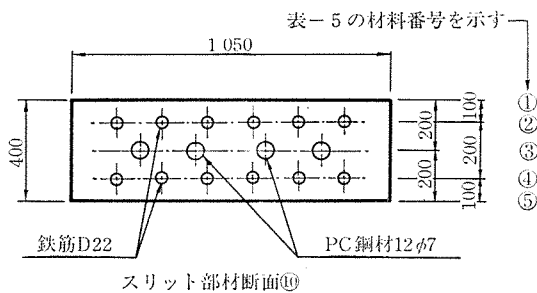
ては、せん断の断面耐力の設計用値 ( $V_u^*$ ) が、終局限界状態に対するせん断の設計用値 ( $V_u$ ) 以上 ( $V_u^* \geq V_u$ ) であることを確かめた。

(5) 疲労限界状態の検討

疲労限界状態の検討は、波力の繰返し(波圧(I)と波圧(II)が交互に作用すると考えた)による変動応力と、自重およびプレストレス力による持続力とによって求まる疲労寿命の設計用値 ( $N_i$ ) と、波力の繰返し回数 ( $n_i$ ) との累計回数比 ( $\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i}$ ) が、 $1/r_{fa}$  (ただし、 $r_{fa}$  は疲労の安全度で5を考えた) 以下 ( $\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i} < \frac{1}{r_{fa}}$ ) であることを確かめた。部材断面位置①の検討結果を表-5に示す。

表-5 疲労に対する検討結果

検 討 材 料	累計回数比 ( $\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i}$ )	制限値 ( $\frac{1}{r_{fa}}$ )
① 上縁コンクリート	$7.85 \times 10^{-7}$	$< \frac{1}{5} = 0.2$
② 上 縁 鉄 筋	$9.65 \times 10^{-18}$	$< 0.2$
③ P C 鋼 材	$7.89 \times 10^{-10}$	$< 0.2$
④ 下 縁 鉄 筋	$1.17 \times 10^{-3}$	$< 0.2$
⑤ 下縁コンクリート	$1.02 \times 10^{-6}$	$< 0.2$



2.3.2 接 合 部

スリット部材とケーソン部との接合構造としては、完全固定、ピン固定、半固定などが考えられるが、構造の信頼性、施工性、耐久性などを考慮して完全固定を用いるものとした。この完全固定に対しては、PC構造で対処するものとし、設計上次のように考えた。

① 終局限界状態における接合面の断面力のうち、鉛直力(軸力)と曲げモーメントに対してはフルプレストレスとする。

② 水平力(せん断力)に対しては、①の余裕プレストレスによる接合面の摩擦力によって抵抗させる。

以上より、上端接合面での必要プレストレスは  $14.4 \text{ kg/cm}^2$  となり、PC鋼棒  $\phi 32$ 、6本を配置した。また、下端接合面での必要プレストレスは  $14.9 \text{ kg/cm}^2$  となり、PC鋼棒  $\phi 26$ 、6本を配置した。スリット部材接合部の構造を図-13に示す。

3. 施 工

曲面スリット式ケーソン全6函の製作は、秋田港の海上製作ヤードでフローティングドック(以降FDと略す)により行った。また、スリット部材は同製作ヤードの陸上部で別途、現場製作を行った。したがって、本ケーソンの製作は、スリット部材(プレキャスト)の製作、ケーソン本体の製作、およびスリット部材の接合の3つに大別される。

3.1 スリット部材製作

(1) 製作工程

スリット部材の製作フローを図-14に示す。

(2) 鋼材配置

鉄筋は、仮組台により組立てを行い、門型クレーンにて製作ベース上にセットした。また、鉄筋のかぶり厚はモルタル製スペーサーにより確保した。

シースは、PC鋼線を所定の位置で正確に固定するために、図-15に示すように棚筋(D10鉄筋)を1.0mピッチで配置した。また、部材曲線部は緊張時のPC鋼線のズレを考慮し、図-15に示すように曲線外側

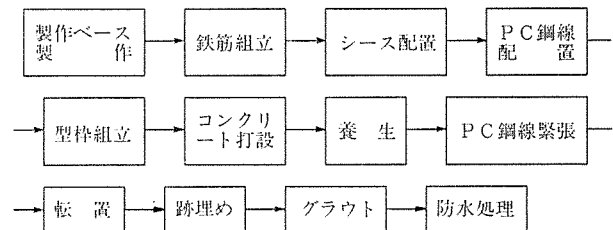


図-14 スリット部材製作フロー

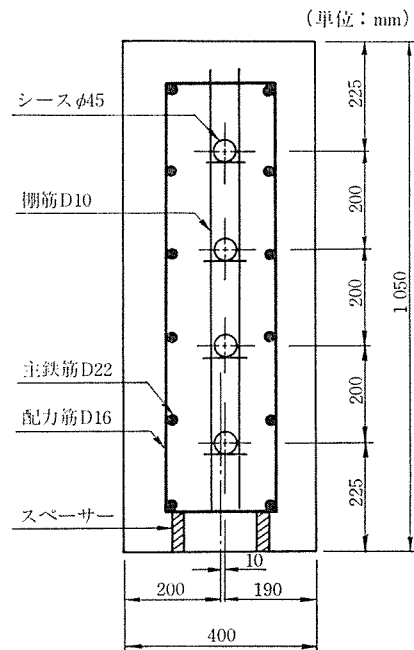


図-15 シース配置

表-6 スリット部材コンクリートの配合

配合別	使 用 セ メ ン ト	呼 び 強 度	水 セ メ ン ト 比 W/C (%)	細 骨 材 の 最 大 寸 法 (mm)	細 骨 材 率 (%)	ス ラ ン プ (cm)	空 気 量 (%)	単 位 量 (kg/cm <sup>2</sup> )				
								水 (W)	セ メ ン ト (C)	細 骨 材 (S)	粗 骨 材 (G)	A E 減 水 剤
①	N	400	37	25	32.8	8±2.5	4.5±1	155	419	558	1 158	バリック S 0.838
②	H	400	35	25	29.2	8±2.5	4.5±1	168	480	472	1 158	バリック S 0.96

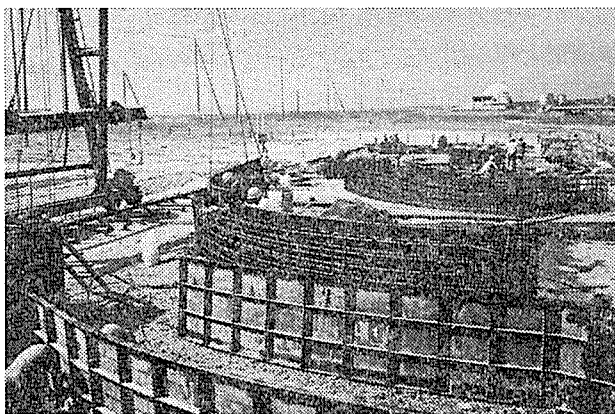


写真-1 スリット部材製作

に 10 mm 移動して配置した。

(3) 型 枠 工

型枠は工場製作による鋼製型枠とし、スリット部材全 72 本を製作した。

(4) コンクリート工

コンクリートの配合を決定するにあたり、次の点を考慮した。

- ① 使用する細骨材に含まれる塩分の許容限界は、細骨材の絶乾重量に対し、NaCl に換算して 0.02% 以下とし、コンクリート中の塩分量は練りませ時において、コンクリート量に対して、0.5 kg/m<sup>3</sup> (Cl 重量換算比) 以下とする。
- ② 混和剤中に塩化カルシウム、または塩化物を相当量含む混和剤は使用しない。
- ③ 緊張時のコンクリート圧縮強度は、340 kg/cm<sup>2</sup> (400 kg/cm<sup>2</sup> × 0.85) を確保する。
- ④ スリット部材製作工程、およびケーソン本体の製作工程がかみあうこと。

以上より、コンクリートの配合を表-6 のとおり設定して試験練りを行った。この結果、配合①では緊張まで

に 14 日以上養生日数を要し製作工程が長引くため、配合②を採用した。

また、塩化物については通常のレディミックスコンクリート現場試験のほか、生コン工場試験室において、ソルトメーターにより細骨材中の塩分量チェック、更に現場でもコンクリート中の塩化物量判定用試験紙によりソルトチェックを行った。

(5) 緊張工

緊張は、PC 鋼線 12φ7 用 E 型ジャッキ 2 台を使用し両端同時緊張を行った。緊張本数は 1 部材あたり、PC 鋼線 12φ7 が 4 本であり、全部材 (72 本) で 288 本となった。

(6) グラウトおよび跡埋めモルタル

緊張後、全ケーブルについてグラウトを行った。グラウト終了後、緊張材定着部の腐食を防止するため、接合面に接着剤を塗布後、無収縮モルタルを充填した。

(7) 防水工

グラウトおよび跡埋めモルタル終了後、緊張材定着部の表面に防水剤として、エポキシ樹脂系シーリング剤を 4~6 mm 厚程度 (使用量 5 kg/m<sup>2</sup>) 塗布し表面を保護した。

3.2 ケーソン製作

ケーソンの製作は、FD (B 40.0 m × L 56.0 m × H 17.5 m, W 7 000 t) 1 隻を用いて 2 函を同時施工した。

(1) 製作工程

ケーソンの製作フローを図-16 に示す。

(2) コンクリート工

コンクリートは、コンクリートポンプ車 (75 m<sup>3</sup>/h) を、1 ないし 2 台配置し打設した。

ケーソン本体とスリット部材を接合する 4 層目および 7 層目は、PC 構造のため高強度コンクリートとした。したがってケーソンのコンクリートの配合は、表-7 に

表-7 ケーソンコンクリートの配合

層 別	呼 び 強 度 ( $\sigma_{28}$ ≧ kg/cm <sup>2</sup> )	水 セ メ ン ト 比 W/C (%)	粗 骨 材 の 最 大 寸 法 (mm)	細 骨 材 率 (%)	ス ラ ン プ (cm)	空 気 量 (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				
							水 (W)	セ メ ン ト (C)	細 骨 材 (S)	粗 骨 材 (G)	A E 減 水 剤
1 ~ 3 5 ~ 6	240	50	25	36.8	12±2.5	4.5±1	150	300	666	1 158	バリック SS 0.75 ボゾリス No. 10 L 1.50
4, 7	300	44	25	35.0	12±2.5	4.5±1	154	350	617	1 158	バリック SS 0.875 ボゾリス No. 10 L 1.75

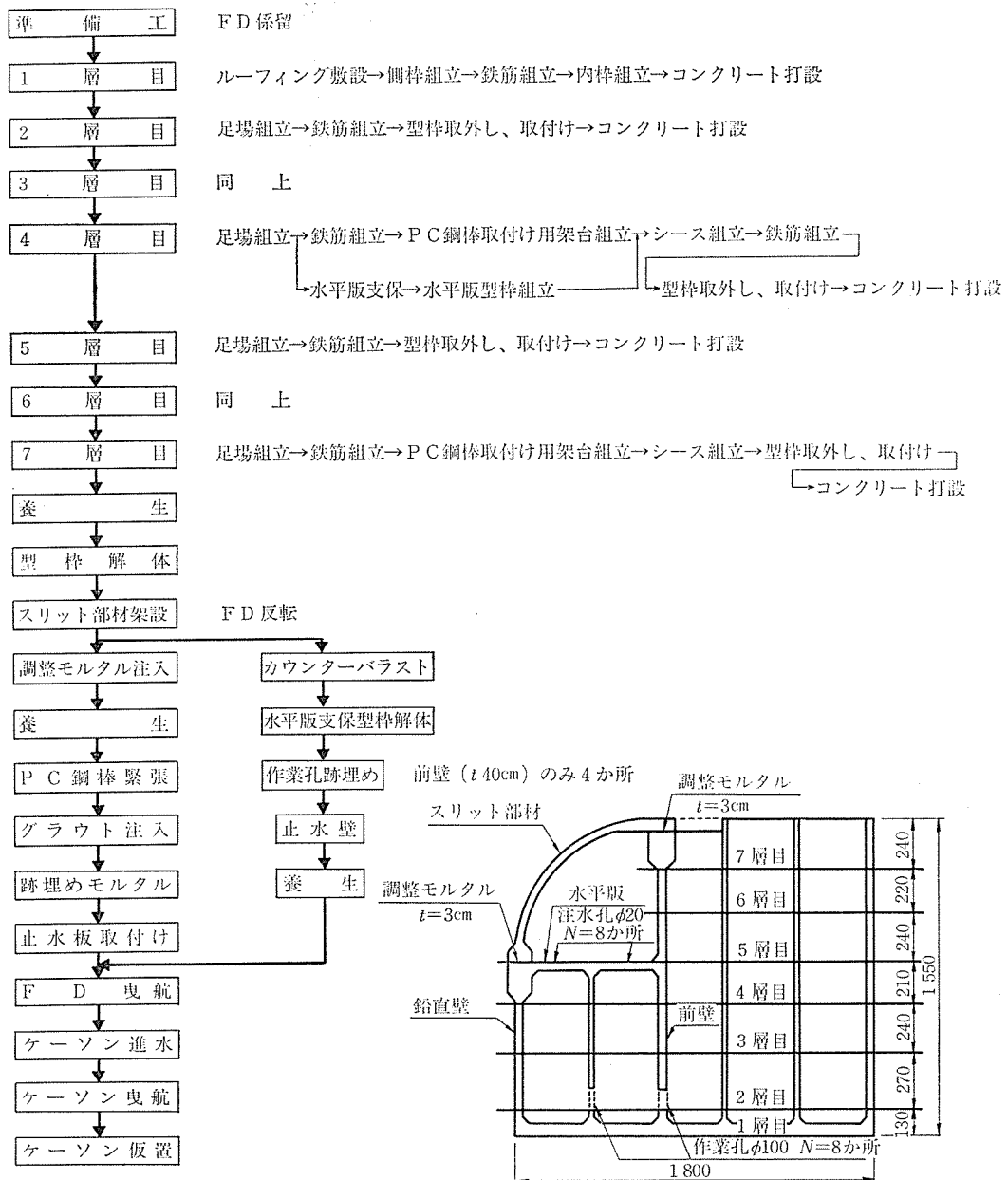


図-16 ケーソン製作フロー

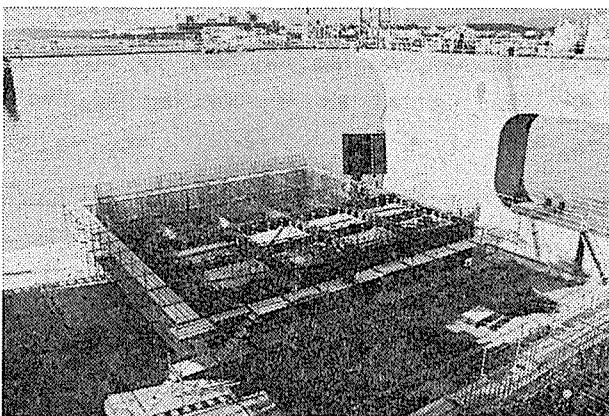


写真-2 FD 上製作

示す2種類とした。

(3) 接合用鋼材配置

スリット部材の接合用 PC 鋼棒は、上端 φ 32 mm、下端 φ 26 mm を用いた。シース径は、スリット部材架設時の施工性を考慮して上下端とも φ 70 mm を使用した。

上端接合部は、スリット部材架設後、接合用 PC 鋼棒をすべて後挿入するので、PC 鋼棒挿入用のシース配置を正確に行う必要がある。このため、ケーソンコンクリート 6 層目打設時に 溝形鋼 ([-125×65×6×8]) を埋め込んでおき、この溝形鋼に山形鋼 (L-50×50×6) を溶接した受台を利用してシースを正確かつ堅固に配置した。

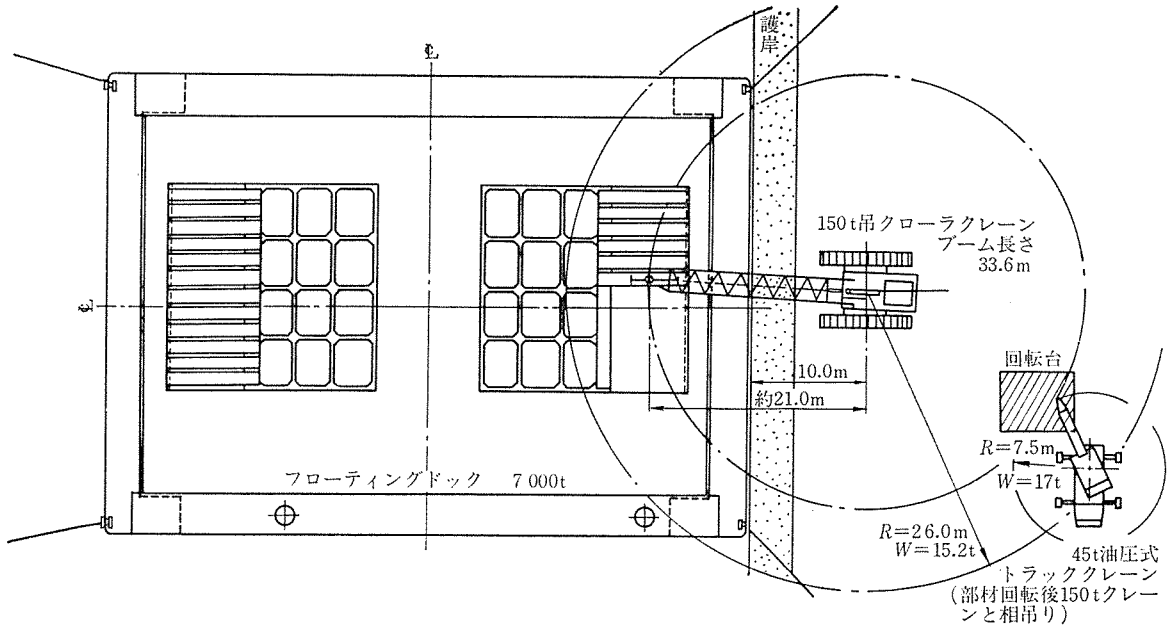


図-17 スリット部材架設クレーン配置

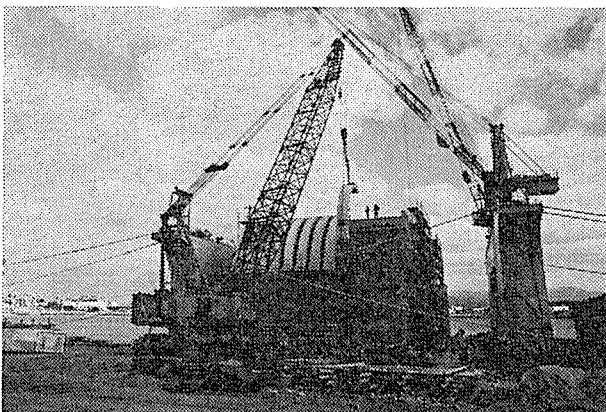
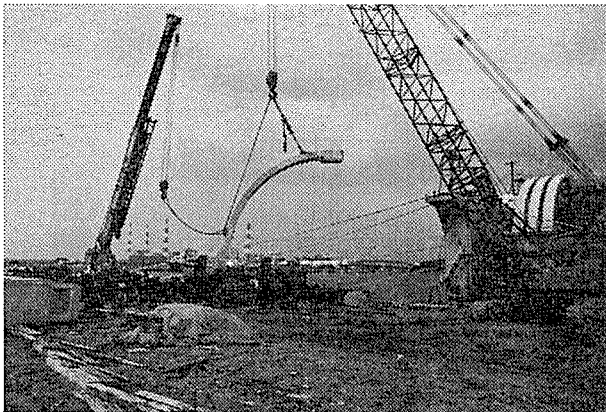


写真-3 スリット部材架設

下端接合部は、接合用 PC 鋼棒をすべてケーソン本体にデッドアンカーとして埋め込むので、上端接合部と同様、溝形鋼および山形鋼による受台を利用してシーブ、および PC 鋼棒を正確かつ堅固に配置した。

### 3.3 スリット部材の接合

スリット部材の接合は、ケーソン本体の製作が完了後行った。

#### (1) スリット部材の架設

スリット部材の架設にあたり、FD は 90 度回転させ、護岸に対し縦に係留した。

架設は 150t 吊クローラークレーンおよび 45t 吊を使用し、護岸の安全上護岸背後 10m の位置で作業を行った。クレーンの配置を 図-17 に示す。

#### (2) 調整モルタル

スリット部材とケーソンの接合箇所は、スペーサー（ボルト径 5/8 吋）により高さを調整し、間隙 ( $t=3\text{ cm}$ ) には調整モルタルを注入した。モルタルの注入は、四隅に空気抜き孔（ビニールパイプ内径 13 mm）を設け、高さ 0.8 m の架台からヘッド圧をかけた自然流下によって行った。なお注入範囲が最大 1.3 m × 1.05 m と広いので、注入が隅々まで十分充填できることを模型実験により確認した。

#### (3) PC 鋼棒の緊張

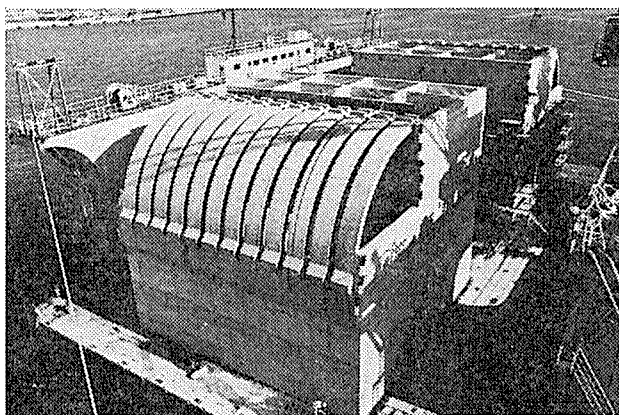
上端接合部は、1 スリット部材あたり PC 鋼棒  $\phi 32\text{ mm}$ 、6 本をセンターホールジャッキ（70 t 用）により緊張した。

導入プレストレスは、PC 鋼棒 1 本あたりの緊張力を  $P_i=57.5\text{ t}$  として、接合面に  $21.2\text{ kg/cm}^2$  を与え必要プレストレスを確保した。

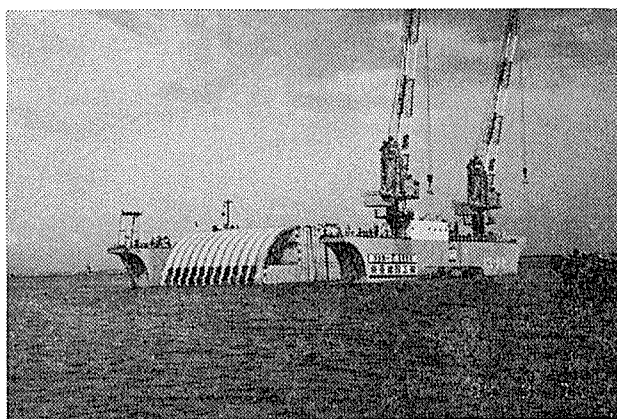
下端接合部は、1 スリット部材あたり PC 鋼棒  $\phi 26\text{ mm}$ 、6 本をセンターホールジャッキ（50 t 用）により緊張した。

表—8 グラウトの配合

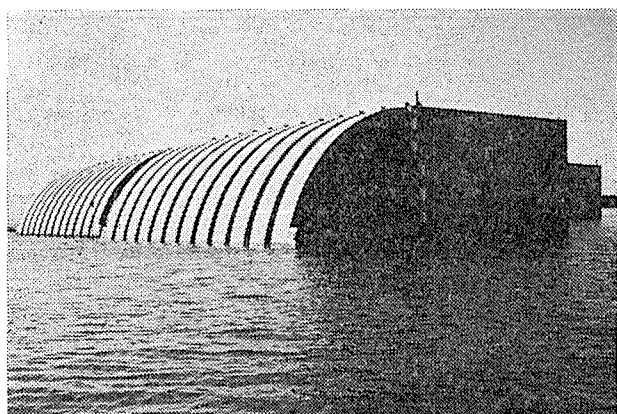
	セメント C (kg)	水 W (kg)	水セメント比 W/C (%)	減水剤 (g)	アルミ粉 (g)
夏期用	120	54	45	ポゾリス No. 8 300	6
冬期用	120	48	40	ポゾリス No. 8 300	6



写真—4 ケーソン完成



写真—5 進水写真



写真—6 仮置き写真

導入プレストレスは、PC 鋼棒 1 本あたりの緊張力を  $P_i=40.5t$  として、接合面に  $16.2\text{ kg/cm}^2$  を与え必要プレストレスを確保した。

#### (4) グラウトおよび跡埋めモルタル

上端接合部のグラウトは、下から、片押しで注入した。  
下端接合部のグラウトは、デットアンカーのため前後のシースを結びバイパス管を取り付け、上から片押しで注入した。

グラウトの配合は表—8 に示すものを用いた。

接合用切欠き部の跡埋めモルタルは、すべて無収縮モルタルを使用し、スリット部材と同様な施工方法により実施した。また、跡埋めモルタルの表面についても同様に防水剤を塗布した。

#### 3.4 止水工

ケーソンの進水に先立ち、曲面スリット壁面の遮水には、止水工法を実施した。

本ケーソンの止水板を設けない状態での吃水は 8.0 m である。この場合、スリット部は吃水より 0.5 m 水面上に位置するが、ケーソン浮遊状態で、水平版上に 0.3 m 以上の水が載ると、ケーソンが不安定となるため、ケーソン仮置き時、または 60 年度に予定されている秋田港から船川港までのケーソン曳航時の外海の波浪からの危険防止を考慮して、水平版上 2.0 m の高さまで止水板を設けた。

この結果、ケーソンの吃水は 8.2 m となり、止水板上端までの乾げんは 2.3 m となった。

止水板の構造は、スリット前面を反復使用が可能なタイボルト式止水鉄板を用いたものとした。また側面は、ケーソン据付け後の撤去が困難であることから、ケーソン本体と同等の RC 構造として、ケーソン設置後も撤去しないものとした。

#### 3.5 ケーソン進水および仮置き

##### (1) ケーソン進水

完成したケーソンは、吃水が 8.2 m であり、FD 甲板の深さ (4 m) を加えると、進水時の水深は最低 -12.5 m が必要であるため、引船 (800 PS) により FD を外港地区 -13 m 泊地まで曳航し、ケーソンの進水を行った。

##### (2) ケーソン仮置き

ケーソン進水後、浮上したケーソンを引船 (300 PS) にて所定の仮置場まで曳航し、水中ポンプ (8 吋) 6 台を使用し、注水、仮置きした。

#### 4. おわりに

時代の変化とともに、港湾構造物に対する要請は多くかつ厳しいものとなってきており、また一方で財政事情の厳しさからより経済的な構造が求められている。このような状況を克服し、港湾整備を円滑に進めるためには技術開発が不可欠のものとなっている。このような状況において、多くの港湾技術者の努力により古くより合理

的な形状であると評価された構造について近年の施工法の進歩および材料開発の進展に伴い実現化が図られたり、更に、より合理性を追求した構造のアイデアについても順次実現化されるようになってきている。

本構造形式も従来のケーソン式混成堤に対し斬新なアイデアを導入し、それを旧来になかった素材および複雑で大型化が可能な施工法により実現化の課題を解決したものである。

実現に際しては、具体化の最終段階の任に当たった者は敷かれたレール上をうまく走ることに努めることだけであったが、防波堤研究に長年携わり卓越したアイデアを提出された方、基礎的研究で考えられる多くの面での特性を把握された港湾技術研究所の方々ならびに実施にあたっての課題の設定と検討の着手を行われた当時の第一港湾建設局の方々、および不慣れな構造について円滑な施工に尽力された第一港湾建設局秋田港工事事務所の方々に多大なる敬意を表したい。また、実現へ向けて終始支援、協力いただいた運輸省港湾局に深く感謝する次第である。第一港湾建設局としては、当構造の更なる汎用化に努めるとともに、新たな要請に対する新たな手法での対応についての検討を今後とも続けて、より安全で

より合理的な構造物の建設を行っていきたいと考えている。

#### 参 考 文 献

- 1) 谷本勝利, 原中祐人, 高橋重雄, 小松和彦: 各種ケーソン式混成堤の反射・越波 および 波力特性に関する模型実験, 港研資料, No. 246
- 2) 谷本勝利, 吉本靖俊: 斜め入射波に対する 曲面スリットケーソンの反射および部材波力特性に関する実験的研究, 港研資料, No. 493
- 3) 谷本勝利, 原中祐人, 富田英治: 曲面スリットケーソンの水理特性に関する 実験的研究, 港研報告, Vol. 19, No. 4-1
- 4) 大即信明, 関 博: プレストレストコンクリートと港湾および 海洋構造物——その現状と問題点——, 港研資料, No. 276
- 5) 横井聡之, 大即信明: PC 港湾構造物 への 限界状態設計法の適用に関する検討, 港研資料, No. 459
- 6) 運輸省第一港湾建設局新潟調査設計事務所: 一建における新構造防波堤開発について (II), 第 18 回管内工事報告会, 昭和 55 年 2 月
- 7) 運輸省第一港湾建設局秋田港工事事務所: 秋田湾実験堤工事について, 第 21 回管内工事報告会, 昭和 58 年 2 月
- 8) 運輸省第一港湾建設局秋田港工事事務所: 船川港国家石油備蓄基地建設における南防波堤工事について, 第 25 回管内工事報告会, 昭和 60 年 2 月

---

#### ◀刊行物案内▶

## PC 定 着 工 法

(1982 年改訂版)

本書は、現在我が国において多く用いられている PC 定着工法 19 種についてとりあげ、それぞれの工法の概要、構造、施工法、特長、注意事項などを解説したものであります。

設計者、施工者の利用とともに教育用テキストなどにも広く使用できることと思えます。

また付録として PC 鋼材一覧表 (改訂版) 等を添付してあります。

ご希望の方は代金を添え (現金書留かまたは 郵便振替東京 7-62774) プレストレストコンクリート技術協会宛 (電 03-261-9151) お申し込みください。

体 裁: B 5 判 94 頁

定 価: 2,800 円 (会員特価 2,500 円)

送 料: 350 円