

## 松島浮棧橋の設計・施工について

加 藤 庄 寿\*  
 鈴 木 和 雄\*\*

## 1. はじめに

日本三景の一つ“松島”の観光の発着場所である、松島港の改修事業として、浮棧橋が計画され、うち一函が施工された（写真—1, 2 および 図—1, 2）。

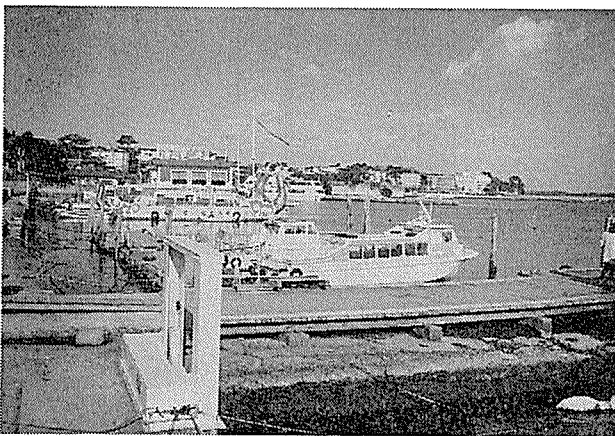
本報告は、観光船の係留を目的とした浮棧橋の設計・施工について概要を報告するものである。

浮棧橋は従来より内海、湾内においてレジャー施設から、水産用および旅客用までの中小規模船舶の係留施設に用いられてきた。

浮棧橋が中小規模船舶の係留施設として用いられてきた理由として、

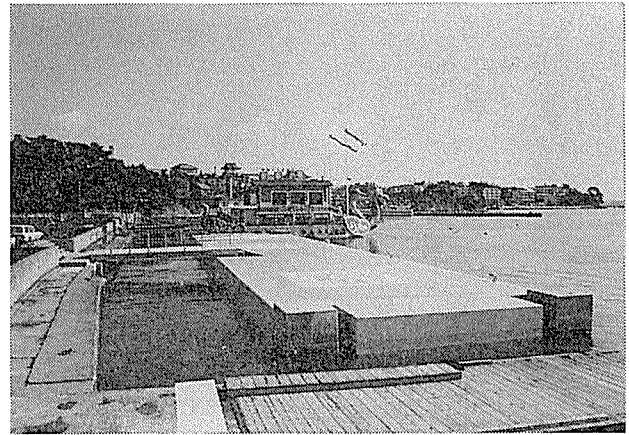
- 1) 潮位差が大なる地域においては、常に乾げんが一定なので船舶の係留、乗降および荷役に便利である。
- 2) 軟弱な地盤においては、浮遊構造物なので海底地盤の良否による影響が少なく建造が容易である。
- 3) 水深が大なる地域においても、浮遊構造物なので水深による影響が少ない。
- 4) 浮遊構造物なので容易に移動、再設置ができる。などがあげられる。

浮棧橋に用いられる浮体（ポンツーン）の構造タイプは、鉄筋コンクリート製、プレストレストコンクリート製、鋼製、F.R.P. 製等が考えられるが、今回の構造タイプ決定に当たっては、施工性、経済性、耐久性等比較



写真—1 着工前

\* 宮城県塩釜港湾事務所係長  
 \*\* ピー・エス・コンクリート（株）東北支店



写真—2 完成

検討の結果、プレストレストコンクリート製とされたものである。

プレストレストコンクリート構造（以下PC構造と称す）とすることにより、ひび割れの発生を防ぎ耐久性をより確実なものにでき、また、ポンツーンの分割ブロック化、接合による完全な一体化等は、PC構造の特色をおおいに生かしたものと思われる。

以下、設計・施工についての概要を述べる。

## 2. 設計の概要

一般にポンツーン的设计は、局部応力に対する検討と全体応力に対する検討を行う。局部応力の検討とは、上載荷重および静水圧による部材の安全を確認するもので、全体応力の検討とは、波浪荷重により生ずる縦曲げモーメントおよびせん断力に対して、梁部材としての安全を確認するものである。

特に浮遊構造物では波浪荷重による部材応力の検討が重要となる。浮体の長さが長くなれば局部応力に比して波浪荷重による部材応力が増大し、しかも床版または底版の部材応力は軸引張応力となるので、ひび割れが全断面にわたって発生することになり、耐久性の面から好ましくないからである。

今回の構造タイプは、耐久性および維持管理等を考慮してコンクリート製とし、ポンツーンの軸方向ひび割れを制御するためおよび構造高を小さくできることからPC構造としたもので、設計上留意した点は次のとおり

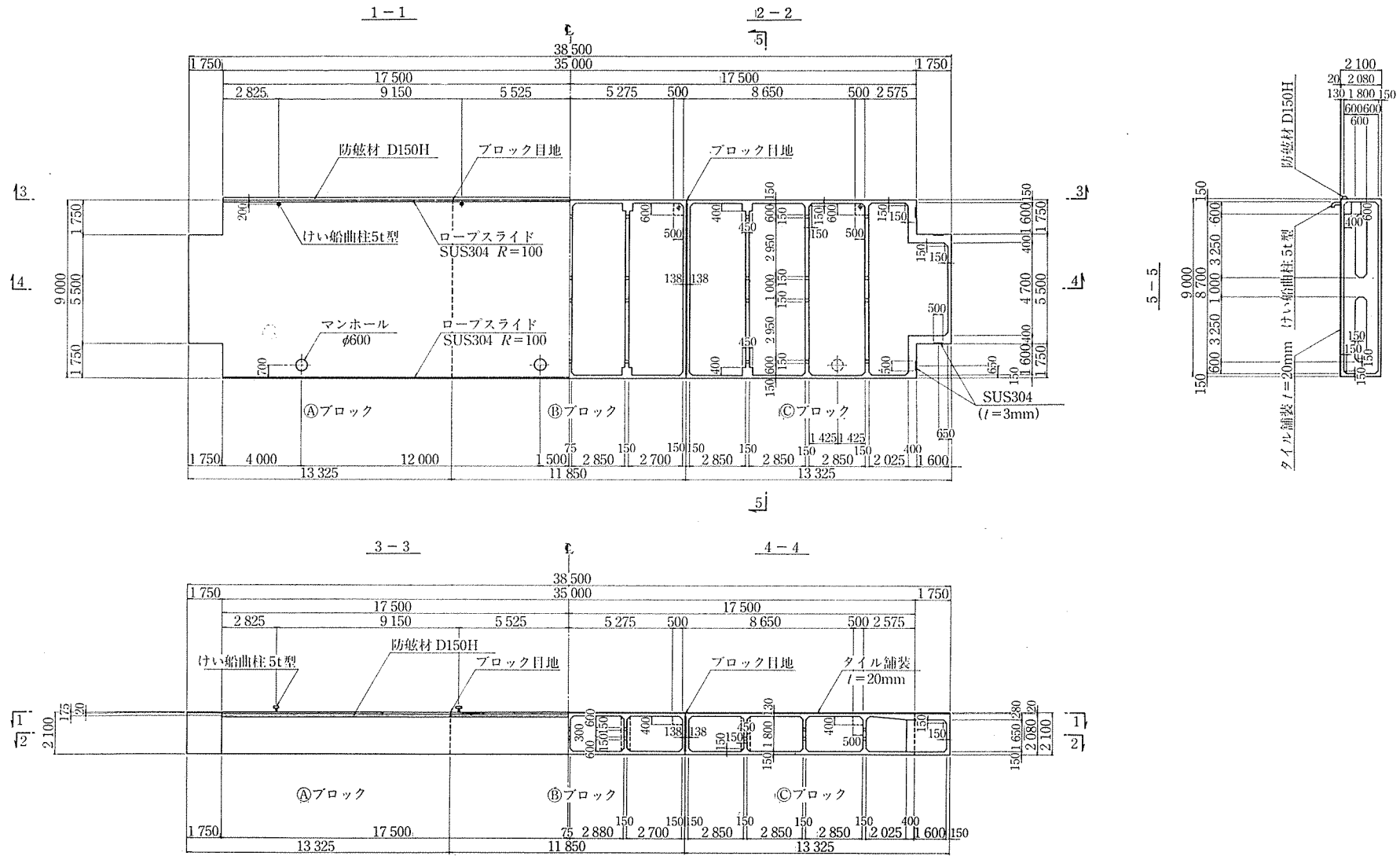


図-1 構造一般図

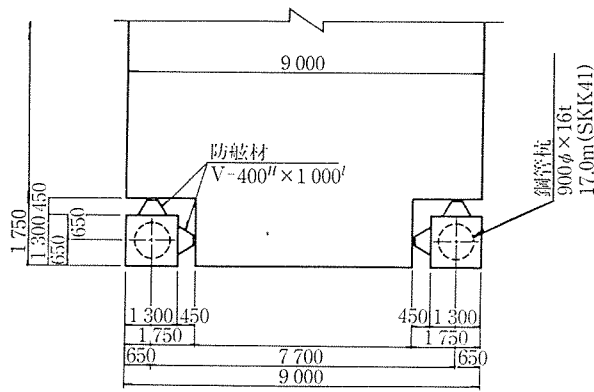


図-2 ドルフィン部 (平面)

である。

(1) ポンツーン縦方向 (PC 構造)

波浪縦曲げモーメントにより生ずる引張力に対して、ひび割れの発生を許さないフルプレストレス状態となるようにした。

また、ブロック接合部は、曲げに対してはフルプレストレスとなるように、せん断に対しては十分な摩擦抵抗が得られるような PC 構造とした。

(2) ポンツーン横方向 (RC 構造)

ポンツーンの全幅 (9.0 m) が全長 (38.5 m) に対して短いため、波浪曲げモーメント (横方向) による応力は局部応力と比較して小さいので横方向を RC 構造とした。

(3) 鋼材のかぶり

鉄筋コンクリート製ポンツーンの鋼材かぶりは、“港湾の施設の技術上の基準・同解説” (運輸省港湾局監修) によれば、海水に接する側を 30 mm、海水に直接触れない側を 20 mm 以上としている。

本ポンツーンでは外壁厚を 15 cm とし、鉄筋配置を一段配置とすることにより、海水に接する側で 50 mm、海水に直接触れない側で 30 mm 以上確保した。

2.1 設計条件

- 1) 設置目的：観光船 (5 GT 未満) の係留
- 2) ポンツーンの形状：長さ  $L=38.5$  m  
幅  $B=9.0$  m  
高さ  $H=2.1$  m
- 3) 設計水深： $DL=-1.5$  m
- 4) 設計波高： $H_D=1.65$  m
- 5) 潮位： $HWL=+1.77$  m  
 $LWL=+0.50$  m
- 6) 設計乾げん：0.8 m (無載荷時)
- 7) 上載荷重：常時 0.5 t/m<sup>2</sup>  
異常時 0.25 t/m<sup>2</sup>
- 8) 単位体積重量：コンクリート  $w_c=2.5$  t/m<sup>3</sup>

海水

$w_0=1.03$  t/m<sup>3</sup>

9) 材料強度および許容応力度

a. コンクリート

- 設計基準強度  $\sigma_{ck}=350$  kg/cm<sup>2</sup>
- 許容引張応力度  $\sigma_{ca}'=0$  kg/cm<sup>2</sup>
- 許容圧縮応力度  $\sigma_{ca}=125$  kg/cm<sup>2</sup>
- 許容せん断応力度  $\tau_a=5$  kg/cm<sup>2</sup>

b. PC 鋼材 (1 T 19.3)

- 引張強度  $\sigma_{pu}=190$  kg/mm<sup>2</sup>
- 降伏点強度  $\sigma_{py}=160$  kg/mm<sup>2</sup>
- 許容引張応力度

設計時  $\sigma_{pae}=114$  kg/mm<sup>2</sup>

導入直後  $\sigma_{pai}=133$  kg/mm<sup>2</sup>

緊張時  $\sigma_{pai}=144$  kg/mm<sup>2</sup>

c. 鉄筋 (SD 30 A)

- 降伏点強度  $\sigma_{sy}=3000$  kg/cm<sup>2</sup>
- 許容引張応力度  $\sigma_{sa}=1800$  kg/cm<sup>2</sup>

2.2 安定計算

浮体の安定計算は、次に示す 3 ケースについて行った。

a. 床版上無載荷の場合

b. 床版上に上載荷重 (0.5 t/m<sup>2</sup>) を満載した状態でポンツーンの一部に浸水 (浸水高=0.21 m) がある場合

c. 床版上の短軸方向片側半分に上載荷重 (0.5 t/m<sup>2</sup>) を満載した場合

上記 3 ケースの計算結果を表-1 に示す。

2.3 全体応力の検討

(1) 波浪荷重による断面力

波浪荷重による縦曲げモーメントおよびせん断力は、Muller の式により求めた。

$$M(x) = M_0 \frac{\pi^2 \cdot \sin \gamma}{2r \cdot \beta^2} \left\{ \frac{4x^2 - L^2}{2L^2} \cdot \beta \cdot \sin \beta + \cos \left( 2\beta \cdot \frac{x}{L} \right) - \cos \beta \right\}$$

$$\beta = \frac{\pi \cdot L \cdot \cos \alpha}{L_w}$$

$$\gamma = \frac{\pi \cdot B \cdot \sin \alpha}{L_w}$$

表-1 安定計算結果 (単位：t, m)

	無載荷	満載	半載	
全体重量	447.6	635.6	531.1	
重心	1.052	1.301	1.217	
吃水	1.300	1.846	1.543	ポンツーン底部より
乾げん	0.800	0.254	0.557	
GM	4.063	2.159	3.772	>0

注 1) GM は重心より傾心までの高さ

注 2) 半載時の吃水、乾げんは平均値であり、傾斜時の乾げんは  $f=0.134$  m (最小) である。

◇工事報告◇

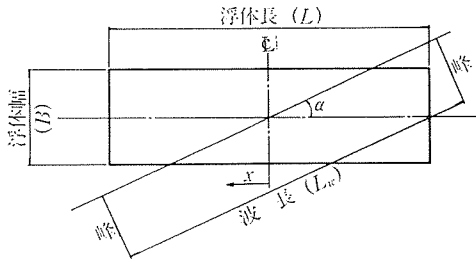


図-3

$$M_0 = \frac{w_0 \cdot B \cdot L^2 \cdot a}{2 \pi^2}$$

$\alpha$  : 波の入射角 ( $70^\circ \pm 15^\circ$  で計算した)

$w_0$  : 海水の単位重量 ( $1.03 \text{ t/m}^3$ )

$a$  : 波高の 1/2

上式より最大縦曲げモーメントは  $x=0$  (ポンツーンの中央), 入射角  $55^\circ$  のとき発生し,  $M_{\max}=467.1 \text{ t}\cdot\text{m}$  となる。また, 最大せん断力は  $x=L/4$  の位置で発生し  $V_{\max}=37.9 \text{ t}$  となる。

(2) 曲げ応力度の合成

荷重による曲げ応力度に対し, プレストレスで対抗するものとする。

なお, プレストレスは PC 鋼材 1 T 19.3 (SWPR 19)  $n=26$  本で与えられ,  $22 \text{ kg/cm}^2$  前後の軸圧縮応力となっている。

合成応力度を 表-2 に示す。

2.4 その他

各部材の設計において, 浮体の動揺量を求め水深が浅いことによる着底時の検討も行っている。

3. 施工の概要

松島浮棧橋は, 仙台港岸壁に製作ヤードをつくり, 浮体全体を 3 ブロックに分割して製作し, 海上より起重機船で 1 ブロックずつ海上へ吊り降し, 海上で接合後, 松島港まで曳航し係留した。

施工フローチャートを 図-4 に示す。

3.1 実施工程表

図-5 に実施工程表を示す。

3.2 主要材料

(1) コンクリート

表-2 合成応力度 (単位:  $\text{kg/cm}^2$ )

部 材	曲 げ	荷 重 の 荷 応 力 度	プ レ ス ト レ ス	合 成 応 力 度	許 容 値
上 床 版	min	-20.0	23.3	3.3	>0 <125
	max	20.0	23.3	43.3	
底 版	min	18.2	20.3	38.5	
	max	-18.2	20.3	2.1	
側 壁	min	-1.0	21.8	20.8	

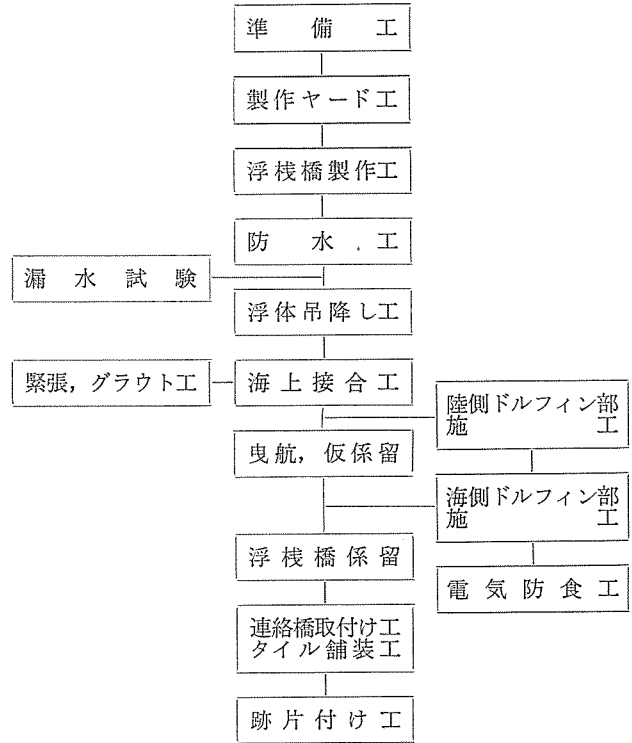


図-4 全体フローチャート

浮棧橋 ( $\sigma_{ck}=350 \text{ kg/cm}^2$ )  $165 \text{ m}^3$

ドルフィン部 ( $\sigma_{ck}=240 \text{ kg/cm}^2$ )  $13 \text{ m}^3$

(2) 鉄 筋

SD 30 (D 13)  $17\,200 \text{ kg}$

(3) P C 鋼材

モノストランド 1 T-19.3  $1\,910 \text{ kg}$

PC 鋼棒  $\phi 23$  (A種)  $172 \text{ kg}$

<浮体吊降し用>

(4) 鋼 管 杭

$\phi 900, t=16 \text{ mm}, 17.0 \text{ m}$  2 本,  $17.5 \text{ m}$  2 本

(5) 防 水 剤

ライニング防水剤  $190 \text{ m}^2$

(6) タイル舗装

絵部 (磁器質) 100 角  $48 \text{ m}^2$

絵部以外 (ネオパリ工) 900 角  $180 \text{ m}^2$

3.3 製作ヤード工

製作ヤードは, 浮体の大きさ ( $38.5 \text{ m} \times 9.0 \text{ m}$ ) およびブロック切離し時のスペースを考慮して  $42.5 \text{ m} \times 13.0 \text{ m}$  とした。

構造は, 地盤を整地転圧した上に, 基礎碎石を  $30 \text{ cm}$  敷き均し転圧し, コンクリート ( $\sigma_{ck}=160 \text{ kg/cm}^2$ , 厚さ  $20 \text{ cm}$ ) 打設した。

3.4 浮棧橋製作工

(1) 底 版 工

底版は, 製作台コンクリート上面に直接合板 ( $t=12 \text{ mm}$ ) を取り付けけた。

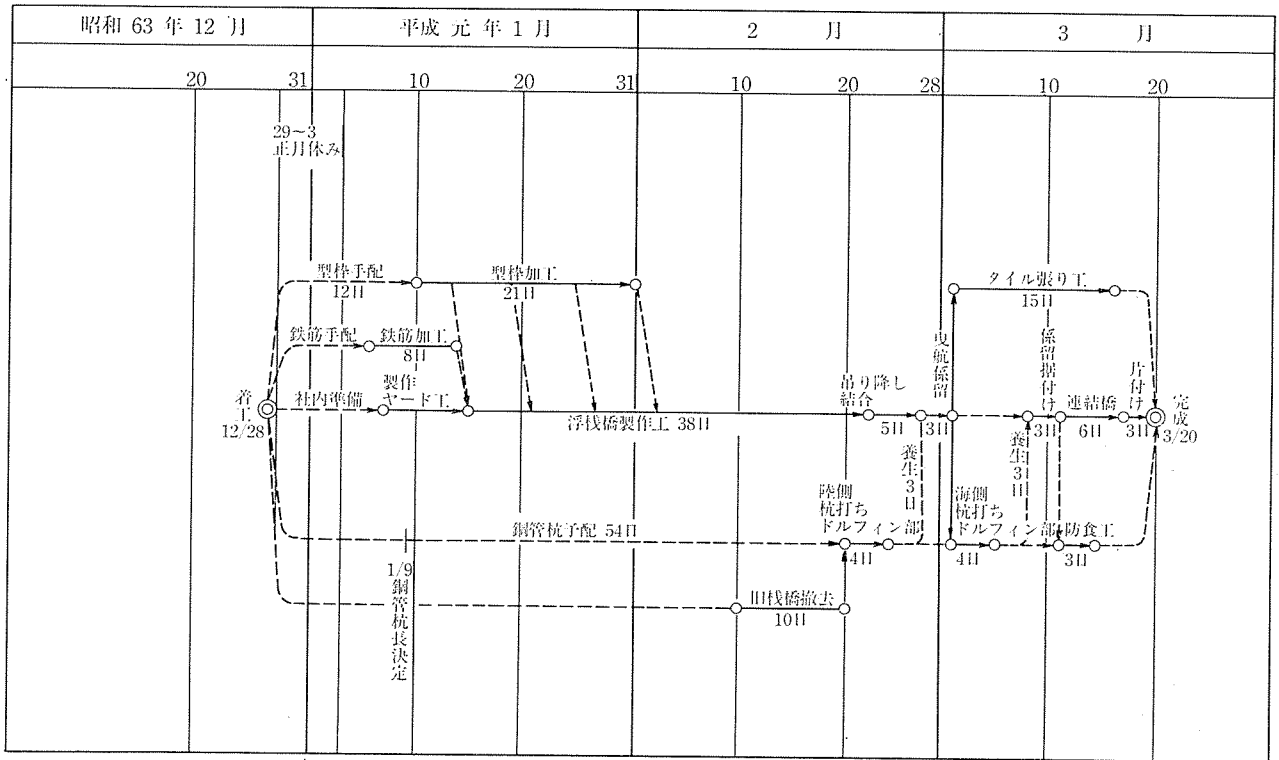


図-5 実施工程表

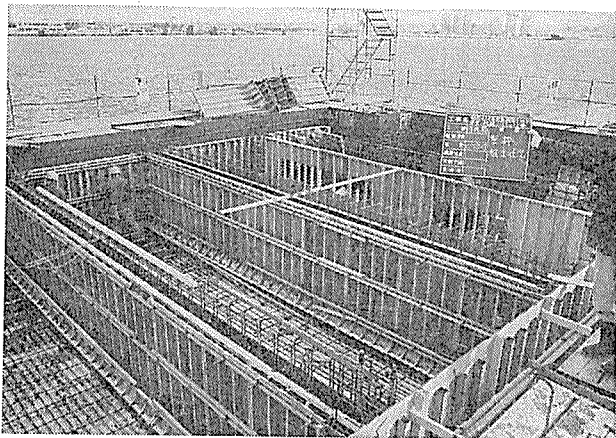


写真-3 浮棧橋製作工(鉄筋・型枠組立て状況)

### (2) 型 枠 工

型枠は、加工が多いことや、冬期施工を考慮して保温性の良い合板 ( $t=12\text{ mm}$ ) を外枠、内枠ともに使用した。また二層目上床版の型枠、支保工材は、解体時にマンホール孔 ( $\phi 600$ ) より搬出できる大きさのものを使用した(写真-3)。

### (3) 鉄 筋 工

鉄筋の組立ては、各ブロックごとに、底版、外壁、隔壁部と、上床版部に分けて組立てを行った。また鉄筋のかぶりの保持は、アスベストコンクリート製のスペーサーを使用した。

### (4) ケーブル組立て工

シースの配置は、鉄筋、型枠組立て後に行った。

また、シースの配置後は、ブロック施工となるためにPC鋼より線を挿入できないので、シース ( $\phi 32$ ) の変形および変位を防ぐためにポリパイプ (外径  $\phi 28$ ) をシース内に挿入した。

### (5) コンクリート工

コンクリートは、ブロック接合面の防水性を考慮して、マッチキャスト方式により施工した。また各ブロックの接合面での誤差をなくするために、接合キーを4箇所にした。

コンクリート打設は打継目を極力少なくすることを考慮して、底版、外壁、隔壁部と上床版部の2回に分けて各ブロックともブーム式コンクリートポンプ車を使用して打設した。

コンクリート打設順序を 図-6 に示す。

コンクリート打設は、部材厚が 15 cm と薄く水密性を必要とするので棒状バイブレーターで入念に締固めを行い打設した(写真-4)。

示方配合を 表-3 に示す。

### (6) 養 生

一層目コンクリートの養生は、打設箇所全体をシートで覆い外気を遮断し、養生用煉炭コンロを 30 個配置し保温養生を行った。二層目床版コンクリートは全体をシートで覆った後、内部に投光器 (500 W, 16 器) を配置し保温養生を行った。

表-3 示方配合

呼び強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	スラブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/a (%)	単位容積重量 (kg/m <sup>3</sup> )				AE 剤 (C×%)
					水	セメント	細骨材	粗骨材	
350	8.0±2.5	4.5±1.0	43.0	39.8	170	396	665	1 077	0.20

粗骨材の最大寸法…25 mm  
セメントの種類…早強セメント

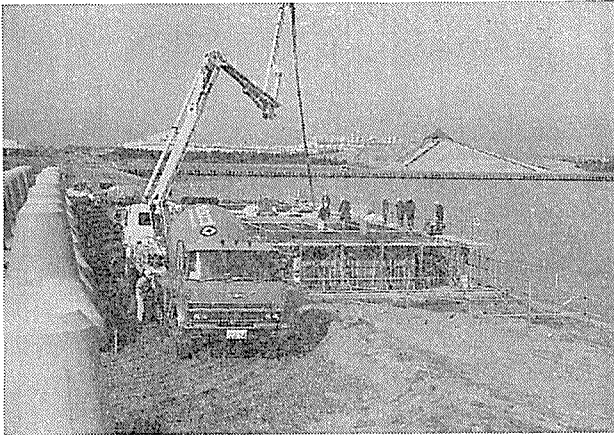


写真-4 浮棧橋製作工（コンクリート打設状況）

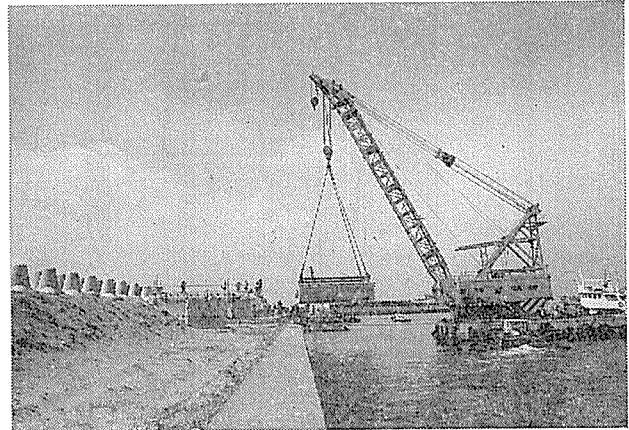
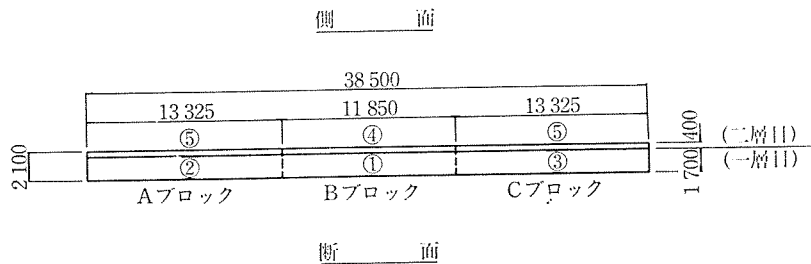


写真-5 浮体吊降し工



①回目	コンクリート打設量	32.0m <sup>3</sup>	打設時間	5.5H
②③回目	"	36.5m <sup>3</sup>	"	6.0H
④回目	"	16.5m <sup>3</sup>	"	2.0H
⑤回目	"	45.0m <sup>3</sup>	"	4.5H

図-6 コンクリート打設順序

初期の乾燥収縮によるひび割れ発生を防止するために被膜養生を行った。

(7) コンクリート打継目の処理

一層目コンクリート打設後に、打継目の表面に遅延剤を散布し、翌日ジェットウォッシャーで表面を洗い出し、二層目コンクリート打設直前に打継目にセメントペーストを流し込み打設した。

(8) 木コンの後埋め

木コンの後埋めは、プレミックスタイプの膨張性のある止水材を硬練りにし、十分に押し込み施工した。また硬化後に表面をサンダーで削り仕上げた。

3.5 防水工

防水工は、美観上着色できるもの、また海水に強く、直射日光を長期間受けても変色しないという条件から、2液性エポキシ樹脂（無水性）のダイナミックレジニ工法で施工した。

防水工は、コンクリート養生後、コンクリート表面の含水率が7.0%以下であることを確認した後に行った。また施工箇所は、外壁の外周面および上面のタイル舗装以外の部分について行った。

3.6 漏水試験

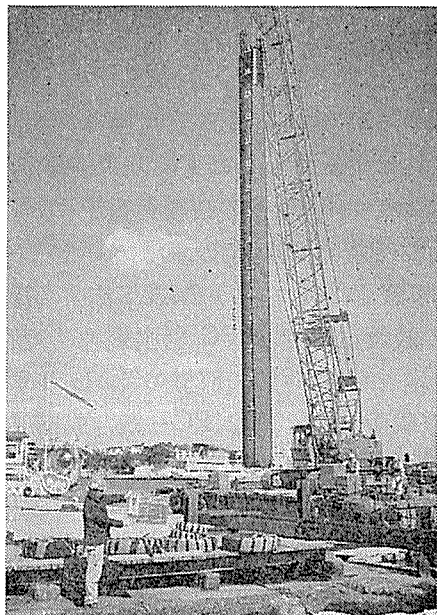
浮棧橋本体を進水する前に、漏水箇所の有無を確認する目的で漏水試験を行った。

底版部の漏水試験は各ブロック内に水道水を20cm程度入れ、水位を測定し、24時間経過後にまた水位を測定し水位差により漏水箇所の有無を確認した。

外壁部の漏水試験については、汚泥タンク等の実績より、浮棧橋内部に空気を送り込み、外壁面にセッケン水を塗布して、発泡の有無により空気漏れを確認する気密



写真—6 海上接合工



写真—7 ドルフィン部施工（杭打ち状況）

試験を行い、漏水箇所の有無を確認した。

気密試験での内外の圧力の水頭差は 50 cm (0.05 気圧) とし、内圧が働いている状態で、随時外壁面にセッケン水を塗布し検査した。

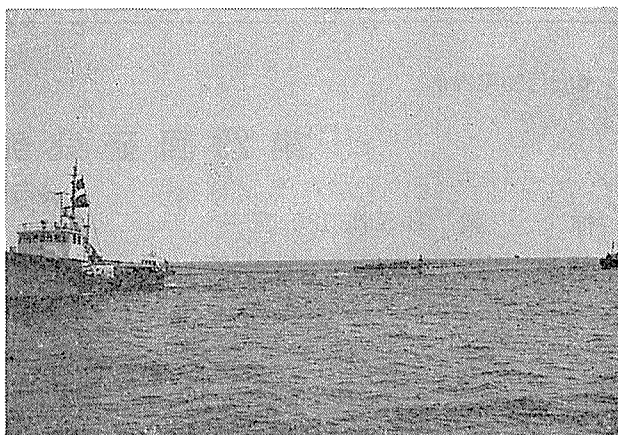
### 3.7 浮体吊降し海上接合工

浮体を海上へ吊り降す前に、下床版ケーブル定着部のシーズ孔に木栓を打ち込み、進水時の海水の流入を防ぐ。

浮体は、各ブロックごとに専用の吊金具を取り付け、海上より起重機 (165 t 吊り) 一隻で吊り上げ、約 2 m の間隔をあけて仮置きし、接合キー、止水ゴムの取付け、シーズ孔の確認をした後に海上へ吊り降ろした (写



写真—8 ドルフィン部施工（杭打ち状況）



写真—9 浮体の曳航

真—5)。

海上接合は、各ブロックごとに人力で接合位置まで移動し、乾舷、傾斜をコンクリート製のウェイトを載せ調整し、レバーブロックを使用して引き寄せ仮接合した。

PC ケーブルの緊張は、上床版ケーブルの中央と両端の 3 ケーブルを緊張した後、下床版ケーブルの中央と両端の 3 ケーブルを緊張し、次に上床版の残り全ケーブル、下床版の残り全ケーブルを緊張した。

グラウトは、下床版ケーブルダクト内に塩水が充満したので、真水でダクト内を洗った後グラウト注入を行った (写真—6)。

### 3.8 ドルフィン部の施工

ドルフィン、浮棧橋の構造上陸側ドルフィンの 2 基を製作し、浮棧橋を仮保留した後に、海側ドルフィン 2 基を製作し防舷材を取り付けた。

ドルフィン基礎の鋼管杭の打込みは、ウォータージェットとパイプロハンマーによる JV 工法により行った。また鋼管杭が単杭となるため、導棒を布設し杭の偏心を防ぎ打込みを行った。

上部コンクリートの施工は、鋼管杭に鋼製ブラケットを取り付け、型枠、鉄筋を組み立て、陸上よりコンクリートポンプ車でコンクリートを打設した (写真—7, 8)。

◇工事報告◇

3.9 曳航, 据付け

浮棧橋は, 仙台港より松島港まで 17 km の航路を引船 (500 SP) を用いて, 6 時間で曳航し据え付けた (写真-9)。

4. あとがき

以上, PC ポンツーン的设计から施工までの概要を述

べた。今後, 海洋構造物への PC 構造の活用が増大するものと思われる。

従来いわれてきたプレキャスト化, 洋上接合, 鋼材の腐食等の問題に対し, 今回のポンツーン施工は十分に対応しながら終了した。本文が報告されている時期には, 2 函目の施工がなされているものと思われる。

【1989 年 9 月 6 日受付】

◀刊行物案内▶

第 28 回 研究発表会講演概要

体 裁 : B 5 判 130 頁

頒布価格 : 3 000 円 (送料 350 円)

内 容 : (1) プレストレッシングストランドの 3% NaCl 環境における腐食疲労強度, (2) アフターボンド工法用 PC 鋼材について, (3) U型断面をした PC 小梁の載荷実験, (4) 高強度鉄筋を用いてプレストレスを導入した PRC はりの持続荷重下における曲げ性状, (5) 高強度鉄筋を用いてプレストレスを導入した型枠兼用プレキャスト板に関する実験的研究, (6) JIS PC 波形矢板の載荷試験, (7) 架設工法を考慮した PC 斜張橋の斜材張力及び主桁プレストレスの最適化, (8) PC 斜張橋の精度管理における斜材張力調整法に関する研究, (9) 目地を有する PC 部材のねじり強度, (10) 箱抜き部を有するプレキャスト PC 版の載荷試験, (11) PC-鋼合成構造の鋼桁の座屈による崩壊, (12) バージ用 PC スラブの集中面外荷重に対する強度, (13) 横方向 PC ケーブルと鋼板接着で補強された PC 橋の実橋載荷試験, (14) 実桁定着部のプレストレス導入時のひずみについて, (15) 15 年間交通供用された PC 橋の撤去工事に伴う施工法の検討および材料強度試験—広島市・工兵橋—, (16) プレストレス導入における摩擦係数の再検討, (17) 呼子大橋 (PC 斜張橋) の風洞実験, (18) PC 斜版橋の設計について, (19) PC 斜版橋の構造解析モデルの検討, (20) 急曲線形 PC 下路桁の三次元解析, (21) 新素材による PC 橋—新宮橋の建設, (22) プレキャスト PC 床版を用いた鋼合成桁橋の設計と施工—大根田橋の床版打替え工事—, (23) 水面下にある中路式 PC 桁の設計と施工—水辺の散歩道 (新高橋連絡通路) 新設工事—, (24) 池間大橋の設計と施工 (プレキャストブロック工法長大橋), (25) 「合成アーチ巻き立て工法」による旭橋の設計と施工, (26) 布施田浦橋 (仮称) の設計と施工, (27) PC 吊床版橋の設計と施工, (28) 人工軽量骨材コンクリートを用いた PC 連続桁について—日豊本線・汐見川橋梁—, (29) 筒石川橋の施工, (30) ロアリング工法によるコンクリートアーチ橋の施工—内の倉橋—, (31) クレーン船の衝突によって損傷した PC 橋 (青海大橋) の復旧工事, (32) シンガポール MRT 202 工区上部工の施工, (33) PC 大型矢板の砂礫層での施工