

浮防波堤の設計・施工について

鈴木 康 正*
片桐 正 彦**

1. はじめに

今後の沿岸域利用のニーズに的確に対応した港湾整備を行っていくうえでの技術課題として、軟弱地盤上や大潮位差、大水深といった条件に対応できる港湾構造物の開発が挙げられる。この対応策の一つとして、浮遊式構造物を特定の地点に長期間係留して、港湾の施設等に利用する動きが強まっているが、こうした浮体工法については、その研究がまだ諸についたところであり、また、技術的にも複雑な諸問題を内蔵している。

運輸省第四港湾建設局においては、浮体工法の代表である浮防波堤をとりあげ、昭和 52 年度より消波効果や係留力等について室内実験を行ってきたが、今回、その結果を踏まえて、施工上の問題解決をも考慮した現地実験を昭和 57 年 10 月より熊本港沖合で行うこととなった。

本報告は、この現地実験のために昭和 56, 57 年度に行った、浮防波堤の設計・施工に関するものである。

2. 設計の概要

2.1 浮防波堤の構造

当局で行った室内実験結果より、浮防波堤の形状は、浮体中央部に空隙部を有するサイドフロート型とした。この形状は、単なる矩形タイプに比べて越波による堤体背後の擾乱が少ないという利点がある。

浮体寸法は、現地波浪に対して所定の消波効果が得られるよう定め、幅 10.0 m、高さ 4.0 m、長さ 40.0 m とした（後出の 図-6 参照）。

浮防波堤の材質は、完成後の維持管理が鋼製に比べて容易なコンクリート製とし、また、構造は、通常の鉄筋コンクリート（以降は RC と略す）構造に比べて「ひび割れ」の心配がなく、大型浮遊構造物に適したプレストレストコンクリート（以降は PC と略す）構造とすることになった。

プレストレスの導入は、RC 製プレキャストブロック（幅 10.0 m×長さ 10.0 m×高さ 4.0 m）4 函を製作し

* 運輸省第四港湾建設局下関調査設計事務所次長
** 運輸省第四港湾建設局下関調査設計事務所工事専門官

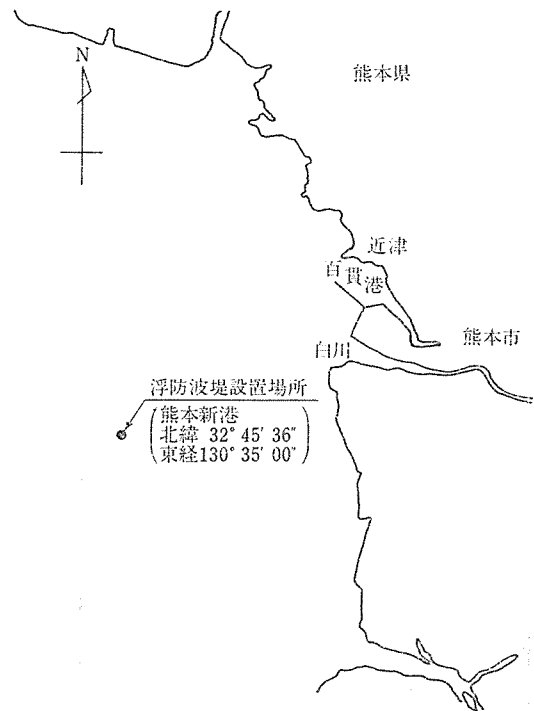


図-1 設置位置図

表-1 設計条件

潮 位	H.H.W.L. = +5.44 m		
	H.W.L. = +4.5 m		
	L.W.L. = ±0. (m)		
設置水深	-8.0 m		
波 浪		10 年確率波	1 年確率波
	$H_{1/10}$	2.1 m	1.5 m
	H_{max}	3.8 m	2.7 m
	$T_{1/10}$	5.5 sec	4.4 sec
	波 向	NW	NW
潮 流	流 速	1.3 m/sec	
	流 向	NNE, SSW	
風 速	30 m/sec		
土 質	海底地盤 (-8.0 m) ~ -40.0 m		
	粘性土	N 値=0	$\gamma=1.50 \text{ t/m}^3$
	$C=0.5+0.135 Z \text{ t/m}^2$ ($Z_0=-8.0 \text{ m}$)		
材 料	コンクリート	$\sigma_{ck}=400 \text{ kg/cm}^2$	
	PC 鋼材 1 T 17.8	$\sigma_{pa}=190 \text{ kg/mm}^2$	

た後、PC 鋼線で防波堤法線方向に接合する方式とした。

2.2 設計条件

浮防波堤設置位置および設計条件を 図-1、表-1 に示す。

2.3 設計の基本方針

設計は、図-2 に示す基本フローに沿って行った。

係留系の設計にあたっては、海中での係留鎖の形状をカタナリー曲線とし、外力としては、波浪漂流力、風圧力、潮流力を、変動外力として波力を考慮した。チェーン、アンカー、中間シンカー、ボラードの設計は、これらの外力に対する浮防波堤本体の変位および動揺計算から変動変位を求め、この変位量に対するチェーン張力から安全性の検討を行った。

浮防波堤本体の設計は、PC 構造物であるため、「プレストレストコンクリート港湾構造物技術調査報告書」（昭和 56 年 3 月、運輸省港湾局建設課）に記載されている「プレストレストコンクリート港湾構造物設計施工指針（案）」に準拠して、「限界状態設計法」により行った。

構造計算の考え方については、「プレストレストコンクリートバース規準」（1975 年、日本海事協会）に準拠して、「縦曲げ状態のチェック」、「横強度上のチェック、局部強度上のチェック」を行った。縦荷重については、矩形浮体についての Muller の方法¹⁾を用いて算出した値を、浮防波堤本体の空隙率で低減して設計荷重とし、横荷重および局部荷重については、広井式による波圧および静水圧を考慮している（図-3 参照）。

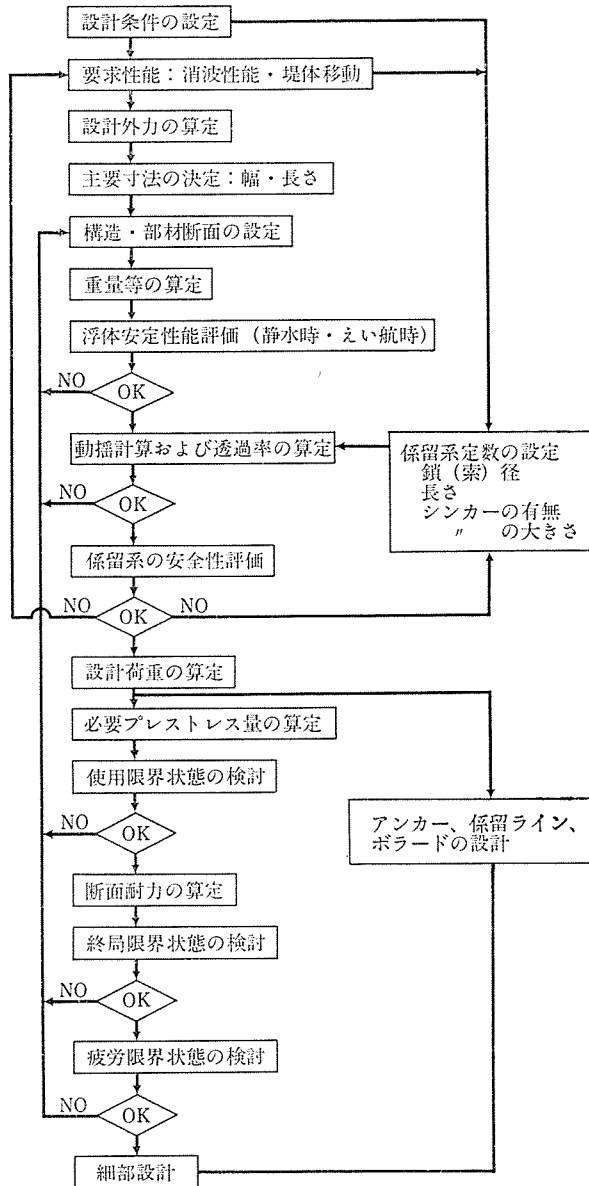


図-2 浮防波堤の設計フロー

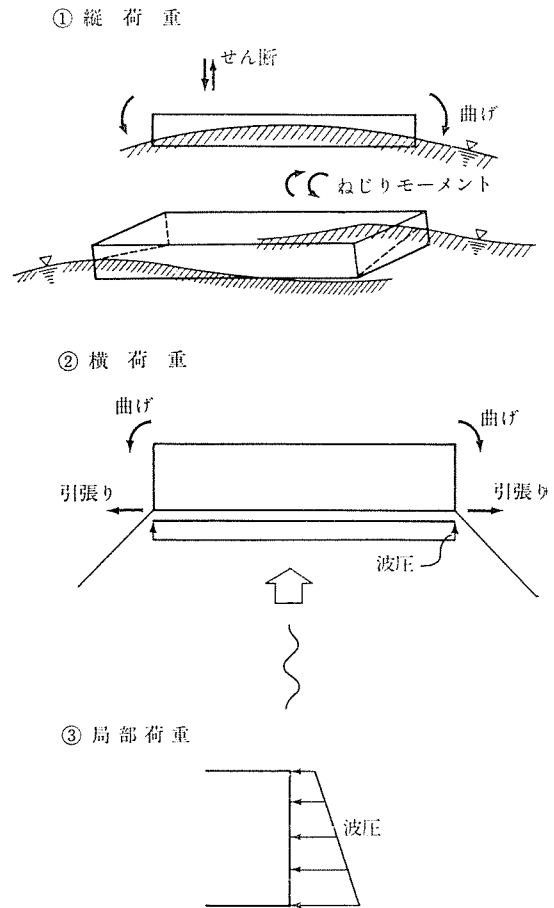


図-3 設計荷重の考え方

2.4 限界状態の考え方

限界状態設計法においては、終局限界、使用限界、疲労限界の三状態について検討する必要がある。今回の設計においては、実験用構造物であり、供用期間も 1 年と短いことから、設計波として、終局限界状態の検討には 10 年確率波 ($H_{1/3}=2.1\text{ m}$, $T_{1/3}=5.5\text{ sec}$)、使用限界状態の検討には 1 年確率波 ($H_{1/3}=1.5\text{ m}$, $T_{1/3}=4.4\text{ sec}$)

を用いている。

疲労限界状態の検討には、図-4 に示す波高と超過回数との関係 ($H-n$ 曲線) を用いて、繰返し荷重に対する安全率を求めた。

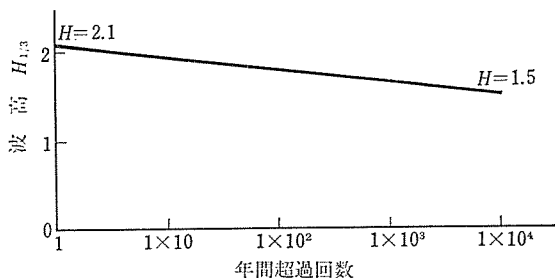


図-4 $H-n$ 曲線

2.5 プレストレス量の算定

プレストレス量は、以下の事項を満足するように定めた。

- ① 最小プレストレス量は、 5 kg/cm^2 とする。
- ② 「縦荷重」および「横荷重」が作用した状態で、

「局部荷重」として静水圧だけが作用した場合には、浮防波堤の法線方向に引張応力を生じさせない。

- ③ ②の状態では、「局部荷重」として、さらに波圧が加わった場合には、法線方向に 40 kg/cm^2 の引張を許す。

以上より、構造断面への必要プレストレス量は 25.3 kg/cm^2 となり、この条件を満たすように、PC 鋼線 1T 17.8, 60本により、1本当たり 27t (130 kg/mm^2) の緊張を行うことになった。

2.6 浮防波堤の最終形状

図-5 に、両端のブロックの構造図、図-6 に最終的な浮防波堤の形状を示す。

今回の設計にあたっての構造的な特徴を挙げると、以下のようである。

- ① ブロック 4 函の海上での接合を考慮して、吃水面以下の PC 定着端部を浮体内部に設けた。
- ② チェーンの保留点は、浅水深でもカテナリー効果を充分発揮できるように、上床版上に設けた。

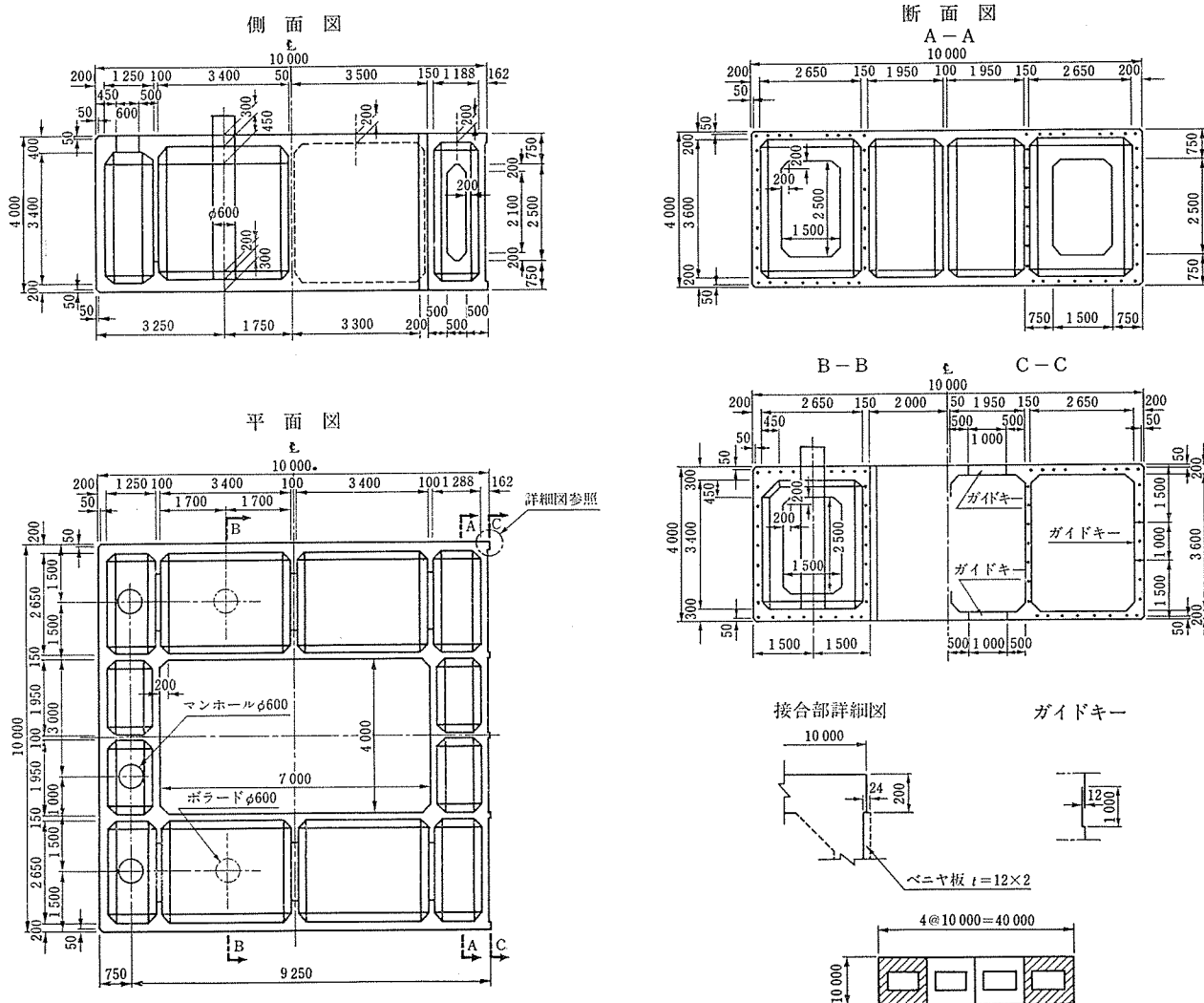


図-5 ブロック構造図 (両端部)

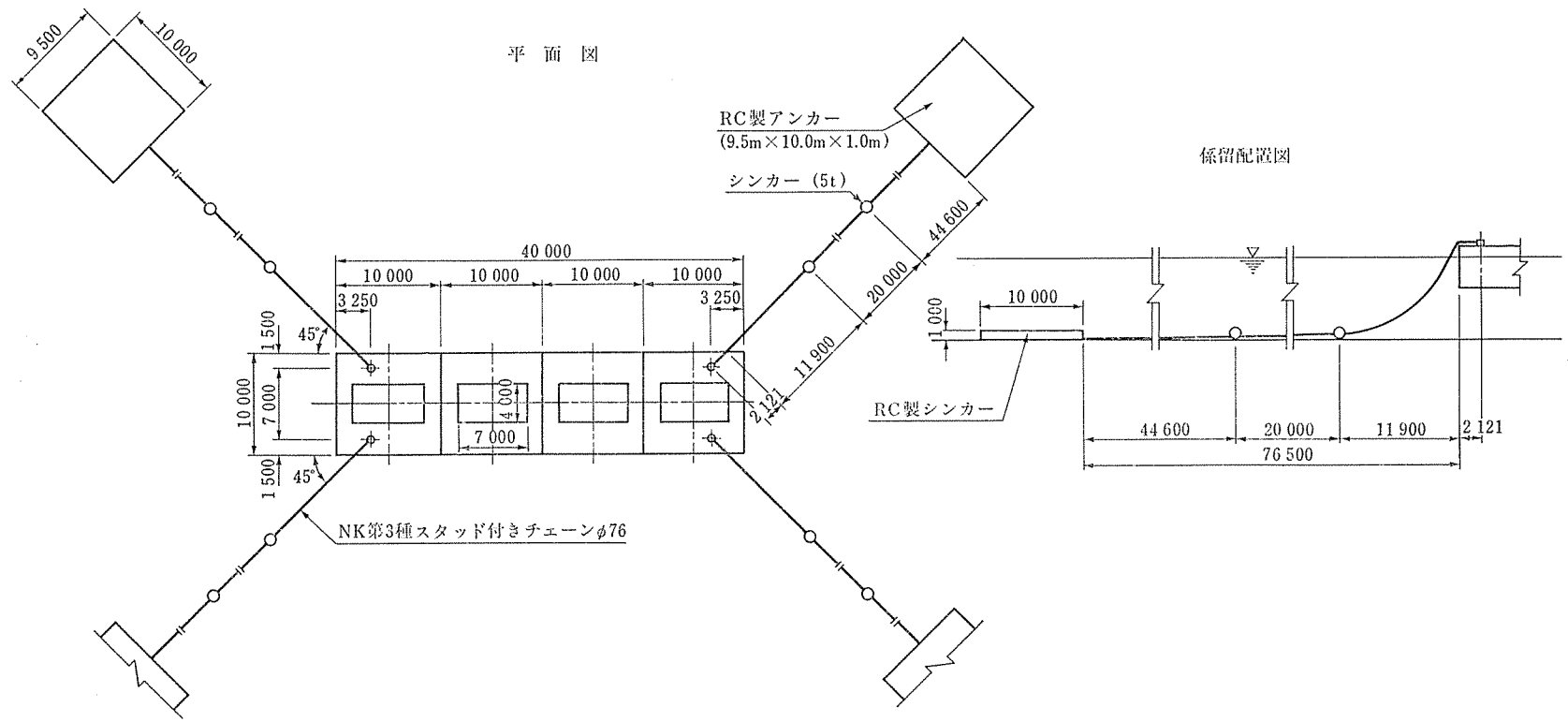
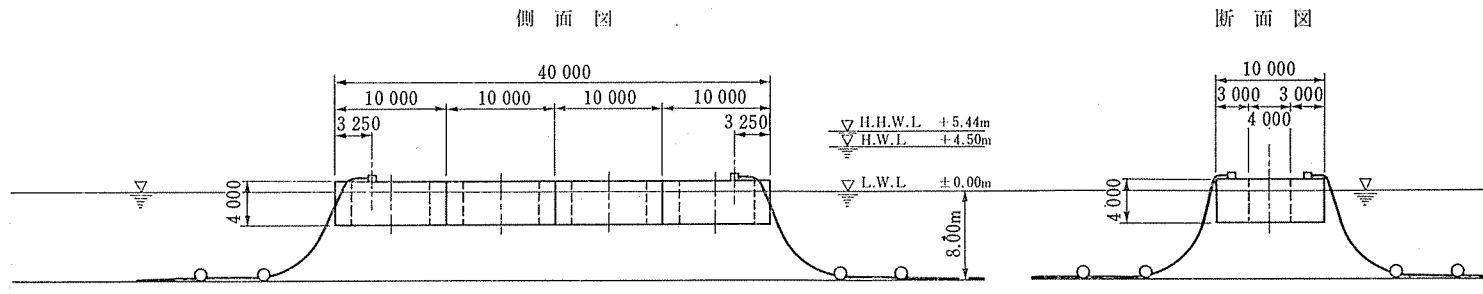


図-6 浮防波堤一般形状図

- ③ ボラード（係船柱）は、上床版上に曲げモーメントを生じないように、上・下床版を貫通した構造とした。
- ④ アンカーは、海底地盤が軟弱地盤であるため、沈下を生じないようにコンクリート版とH形鋼杭による複合構造とし、海底地盤とコンクリート版の粘着力とH形鋼の受働土圧でチェーン張力に対抗するものとした。

浮防波堤の諸元は以下のとおりである。

① 浮防波堤本体

幅 10.0 m×長さ 40.0 m×高さ 4.0 m
 重量 907.9 t
 吃水 3.06 m

② アンカー（1基当り）

コンクリート版 幅 9.5 m×長さ 10.0 m×厚さ 1.0 m
 重量 221.6 t
 H形鋼 幅 350 mm×長さ 4.5 m×21 本
 重量 13.8 t

③ 中間シンカー（1個当り）

幅 1.75 m×長さ 1.75 m×高さ 1.75 m
 重量 9.1 t（水中重量 5 t）

④ チェーン（1本当り）

NK 第三種スタッド付き 76 φ×80 m

3. 施工の概要

浮防波堤の施工は大きく3つに分けられる。すなわち、浮防波堤各部の製作工事、浮体の接合工事、および現地での据付け工事である。

3.1 浮体製作工事

昭和 56 年度に、本体部の浮函 4 函およびアンカー 2 個、チェーン 4 本を製作し、57 年度には、残りのアンカー 2 個と中間シンカー 8 個を製作した。ここでは、本体部の製作工事について述べる。

製作工事は、昭和 57 年 1 月～3 月に北九州市門司区太刀浦岸壁（エプロン幅 20 m×作業用地長 80 m、前面水深 -10 m）を製作ヤードとする現場打ち工法で行った。

各ブロックの接合面の施工精度を高めるため、マッチキャスト方式を採用するとともに、完成後、各ブロックの切離しを容易にするため、底部型枠にはステンレス板の間にグリースを塗布した「滑り装置」を設置し、全ブロックの完成後に油圧ジャッキにより切離した。

型枠は、上床版の内枠については、型枠の解体・搬出が困難なため、木製型枠を使用してそのまま埋設し、コンクリート打設は、乾舷部分を打ち継目とする二層打設

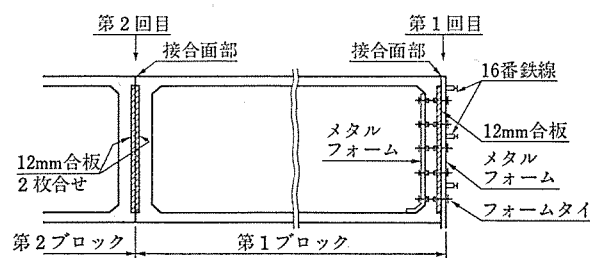


図-7 接合面型枠組立図

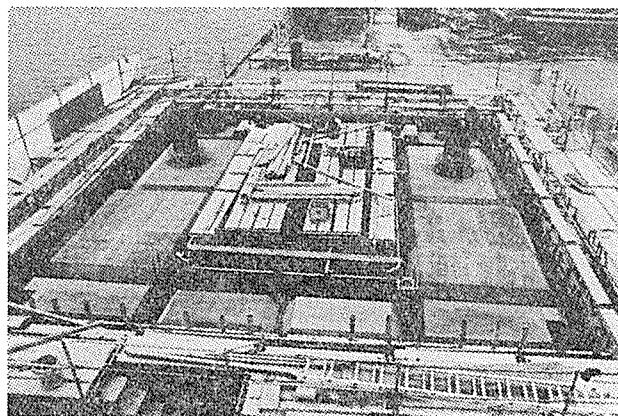


写真-1 型枠組立

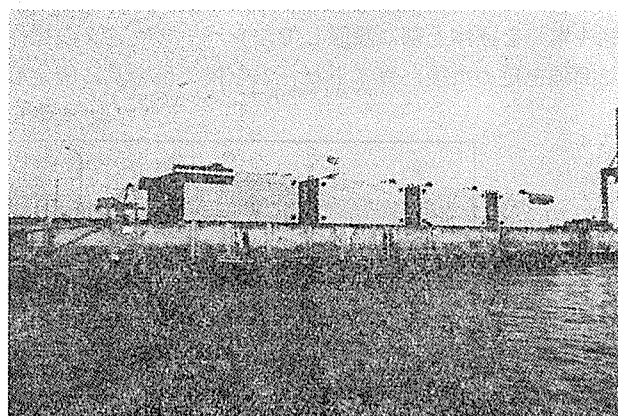


写真-2 完成した各ブロック

とした。

3.2 浮体接合工事

3.1 で製作した各ブロックを海上に吊降ろし、下関港長府地区のドックまで曳航した後、ドック内で4ブロックを海上接合するもので、昭和 57 年 6 月中旬より 1 か月間の工期で行われた。

ドックまで曳航するにあたって、両端のブロック 2 函はボラード等により極端に偏心しており、偏心補正を行う必要が生じた。また、ドック内の水深が外海の潮位変動の影響を受け、最干時には両端のブロックの吃水を下回り着底の恐れがあるため、吃水を上げる必要が生じた。そこで、偏心補正については、隔室内に水を注水してバランスを取る方法を用いることにし、吃水調整は、中央の空隙部の底に止水板を取付ける方式を採用した。

報 告

これにより、両端のブロックの吃水を約 1m 上げることができた。

また、ドック内での接合作業において、シース孔に接着剤が入らないよう、スポンジのリングにビニールを張ったシール材でシース孔を保護した。

ドック内に曳航されたブロック 4 函は、接合面への接着剤塗布作業のため、ブロック間隔を約 1.5m に保つと共に、吃水をそろえる必要があるため仮留めを行った。仮留めの方法は、図-8 に示すように引寄せワイヤ

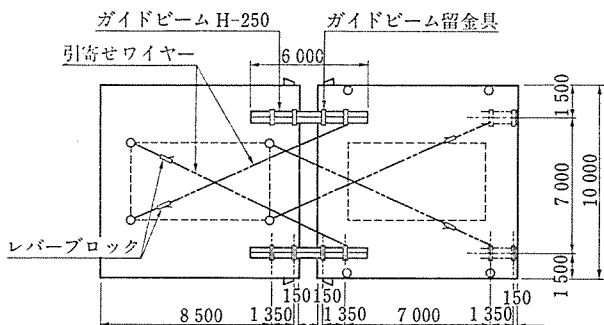


図-8 仮留め方法

ー、レバーブロックおよびガイドビーム (250 mm H 形鋼 4 本) を浮体上部に設置して、レバーブロックの操作で間隔を定めた後、ガイドビームを楔で留金具に固定し

た。

接合作業は 図-9 の手順で行った。

接着剤塗布は、水中作業となるため潜水夫により行い、接着剤の硬化反応が始まる前に作業を完了させるため、1日に1接合面ずつ、水温の低い早朝に2時間以内で作業を完了させた。

接着剤には、エポキシ系水中接着剤シーカガード 694 を使用したが、作業中に濁りの生ずる可能性があったため、ブロック 4 函のドック内引込み前に、沈殿した接着剤を吸収するよう、ドック底面に砂を 5 cm ほど敷設した。

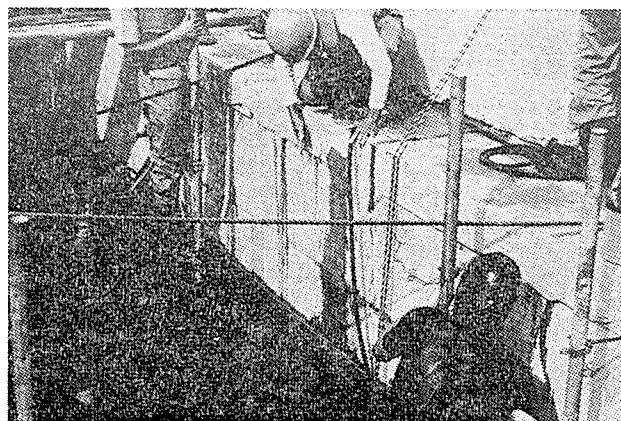


写真-3 接着剤塗布作業

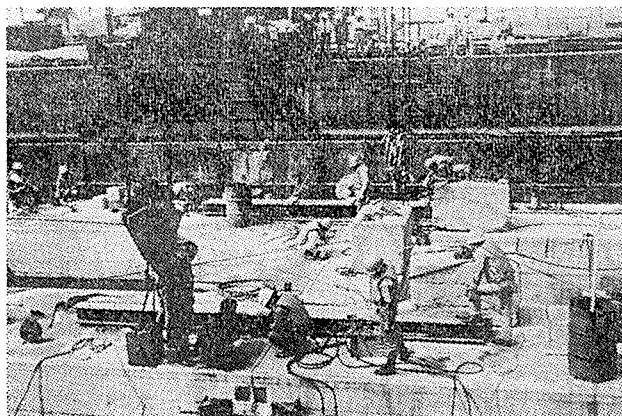
接着剤塗布作業	
仮結合工	
PC鋼線挿入工	
緊張作業工	
グラウト工	
完 成	

図-9 浮防波堤接合工事作業手順

また、接合作業中はドック内にシルトプロテクターを張るとともに、汚濁水を水中ポンプで吸上げて凝集剤と混合し、凝集・沈殿をしやすいとした。これは、水中の視界を良くし、潜水夫の作業能率を向上させる効果もあった。

接着剤塗布後、ガイドビームの楔を外してから引寄せワイヤートレバーブロックの操作で接着面どうしが接するまで引寄せ、鋼製ブラケット間に通したPC鋼棒（ゲビンデ鋼棒 φ26）を油圧ジャッキで緊張して、面圧2 kg/cm² のストレスを与えた。これは、接着効果を高めるためであり、接着剤が所定の強度（ $\sigma \geq 400 \text{ kg/cm}^2$ ）を発揮するよう、本結合まで5日間の養生期間を置いた。

このときのPC鋼棒1本当たりの緊張力は34.75tであり、作業には50t鋼棒ジャッキ4台を用いた。なお、作業完了後、接着剤がシース孔に入っていないかどうか、PC鋼線により貫通試験を行った。



写真—4 仮接合作業

緊張は、PC鋼線本数が60本と多いものの作業空間が限られているため、30t油圧ジャッキ4台を用いた。

緊張作業は、乾舷部に配置されたPC鋼線20ケーブルは浮体外から、残りの40ケーブルは浮体内で行われ、ケーブルの緊張は、左右対称に4ケーブルずつ行った。緊張端は、浮体の右舷と左舷で逆サイドにとり、緊張管

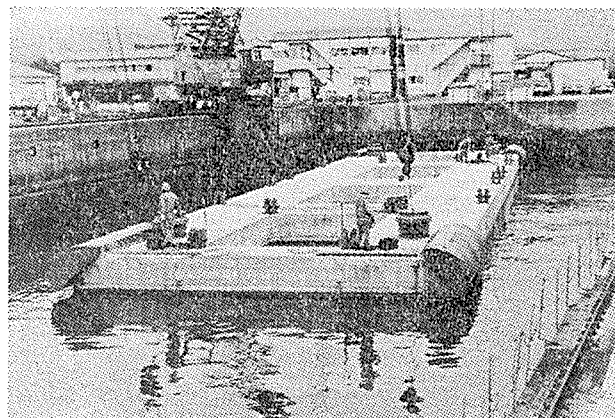


写真—5 緊張作業

理は、ケーブルの伸びが所定値（240mm）となるように行った。このときのケーブル1本当たりの緊張力は、27t（130 kg/mm²）であった。

緊張作業の後、シース孔のグラウト、定着端部のエポキシモルタルによる封入を行って浮防波堤の本体が完成した。

この後、熊本県八代港まで回航され、現地設置まで約3か月間仮置きされた。



写真—6 完成した浮防波堤本体

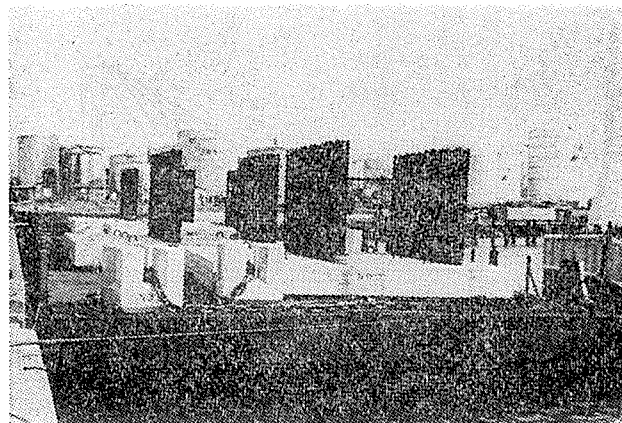
3.3 浮防波堤設置工事

浮防波堤本体およびアンカー設置位置にマーカーブイを打設した後、図—10に示すようにクレーン船により、H形鋼を建込んだ状態でアンカーを海底に吊降ろした。

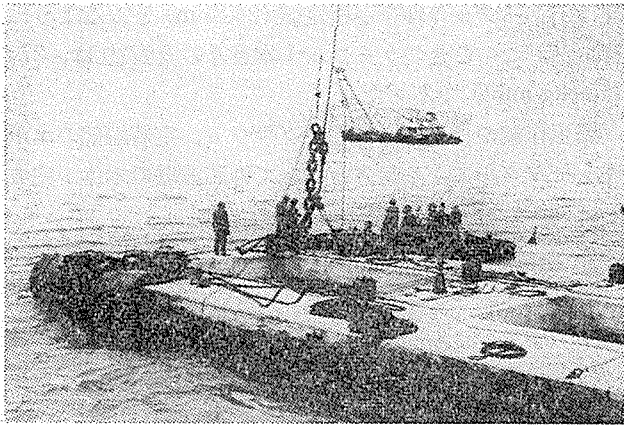
中間シンカーを取付けたチェーンを、アンカーから浮防波堤本体設置位置まで布設し、曳航してきた浮防波堤本体に、クレーン船により1本ずつチェーンを取付けた。

4. あとがき

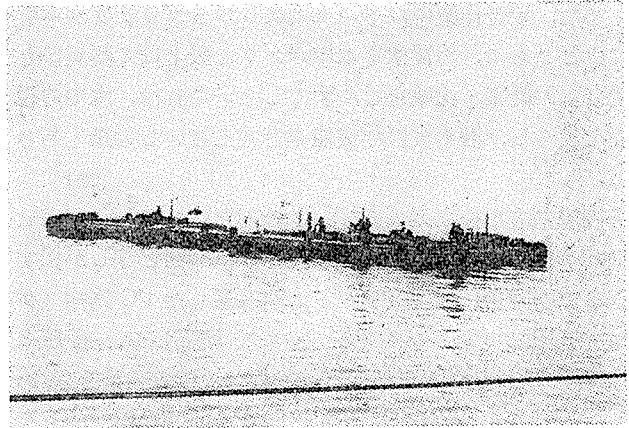
昭和57年10月中旬に浮防波堤が現地に設置されたが、浮防波堤本体には各種計器が取付られており、11月より定常観測を続けている。調査項目は、①消波効果、



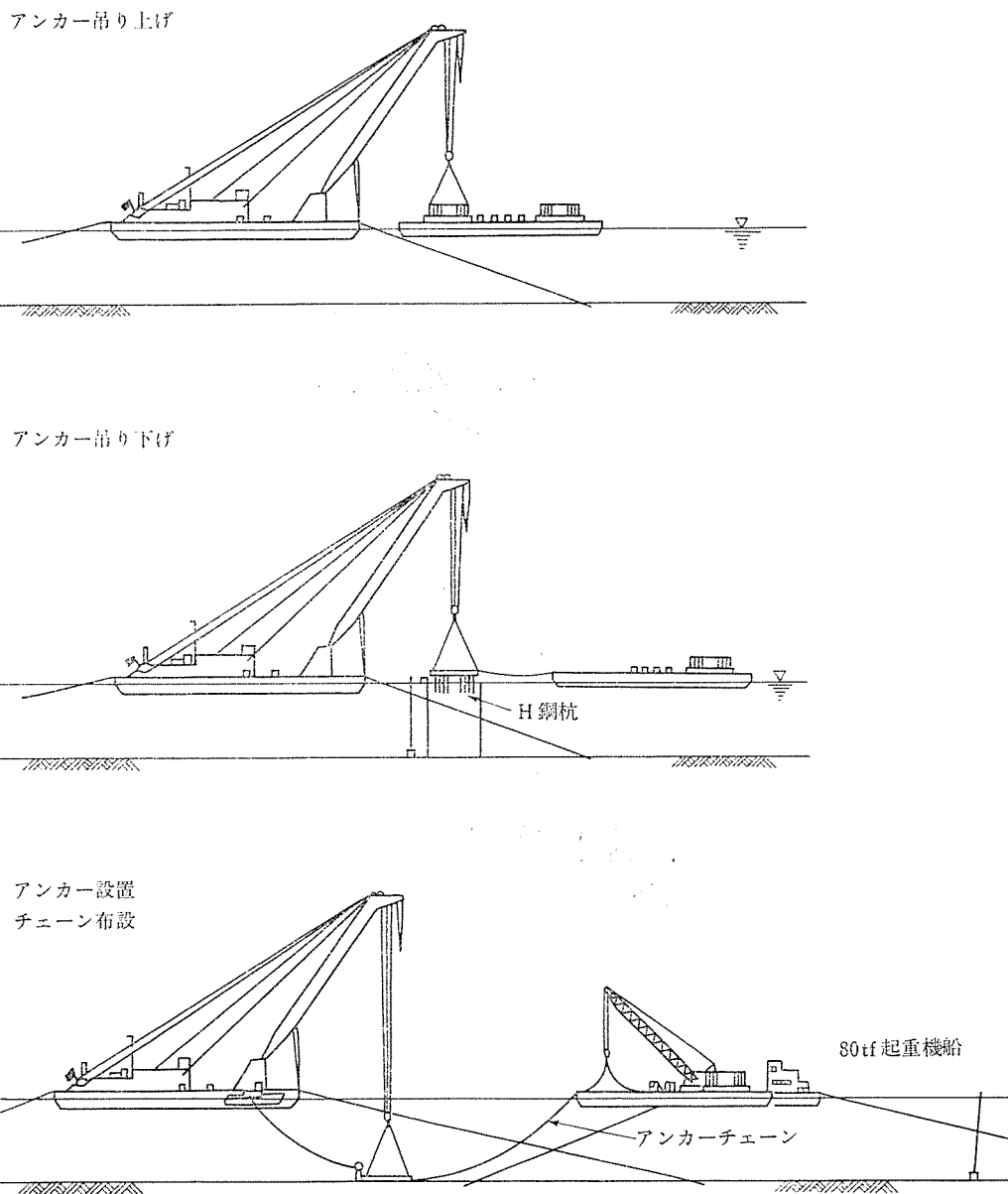
写真—7 アンカーおよび中間シンカー



写真—8 チェーン取付け作業



写真—9 完成した浮防波堤



図—10 設置工事手順

②チェーンに発生する張力, ③浮防波堤の動揺, ④浮体に発生する応力などである。

今後, 得られたデータをもとに, 波高・周期と透過率, 動揺量の関係や, 波圧, 鉄筋応力等について解析し, 浮防波堤の実用化のための資料にする予定である。

以上, 浮防波堤の設計・施工について, その概要を述べた。すべてが初めての経験であり, 設計・施工とも必ずしもスムーズに事が運んだわけではないが, 総括的には, うまくいったと言える。特に海上接合については, 今回はドック内で行ったが, 現在の施工方法でも, 港の泊地内であれば充分やれる目途がついた。

今後, 海洋構造物が大型化・長大化するにつれ, 海上接合の必要性が高まってくると思われるが, 今回の接合技術は, 浮防波堤に限らず, 広く大型海洋構造物の建設工事に生かされるものと期待される。

最後に, 浮防波堤の設設・施工に御尽力頂いた関係者の方々に, 深く感謝する次第です。

参 考 文 献

- 1) Joan Muller: "Structural Considerations and Configurations II," Univ. of California Extension Berkeley, Seminar on Concrete Ship and Vessels, Sept. 1965.

【昭和 58 年 1 月 31 日受付】

◀刊行物案内▶

PC による構造物の補強と PC 構造物の設計・施工

本書は第9回 PC 技術講習会のためのテキストとして編纂したもので, その内容はプレストレスによるコンクリート構造物の補強または補剛, さらに補修について土木, 建築構造物双方の実例を挙げて説明されている。その他, 最近, 長大化スパンに伴い最も多く採用されているカンチレバー工法による PC 橋の設計・施工について, 国内はもちろん, 諸外国の実例を示し, 片持架設される橋梁形式の PC 桁橋, PC 斜張橋, コンクリートアーチ橋, PC トラス橋について, 幅広く詳細な施工要領が示されている。また巻頭には 1980 年 9 月ルーマニア国ブカレストにおいて行われた FIP シンポジウムの報告として, 世界におけるプレストレストコンクリート概念について詳述されている。

内容は大きく 3 項目に分かれているが, 非常に中味の濃い, PC 技術者にとっては必携の図書としてお勧めいたします。ご希望の方は代金を添えてプレストレストコンクリート技術協会宛お申し込みください。

体 裁: A 4 判 131 頁

定 価: 3,500 円 送 料: 450 円

内 容: (A) プレストレストコンクリート概念の世界の現況, FIP パーシャルプレストレッシングに関するシンポジウム (ブカレスト) 総括報告, パーシャルプレストレッシングの利点と定義, 設計法および設計諸規準, 実験的研究, 適用例。(B)-1 建築構造物の補修と補強, まえがき, 床スラブのひびわれ, たわみ 障害と補修, プレストレスによる曲げ耐荷能力の増大, せん断ひびわれの補修, 地震被害を受けた建築構造物の補修, 結言。(B)-2 PC による構造物の補強の実例 (道路橋編), 概論, コンクリート構造物に発生する欠陥, ひびわれに関する調査, 補修工法, プレストレスによる補修, プレストレスによる補強例。(B)-3 PC 鉄道橋の補修・補強, 補修・補強の概念, 構造物の検査, PC 鉄道橋の補修・補強の研究の概要, 補修事例。(C) カンチレバー工法による PC 橋の設計・施工について, 概要, 現場打ち工法, プレキャストブロック工法, 斜張橋, アーチ橋, PC トラス橋, 設計, 安全性, 断面力, 上げ越し計算, 施工。