

浮 防 波 堤 の 設 計 と 施 工

木暮健一郎*・鈴木康正**・片桐正彦***・八 隼 隆****

1. は じ め に

運輸省第四港湾建設局では、浮体工法の代表である浮防波堤について、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、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 11 月より熊本港沖合で実施している。

本報は、現地実験のために、56・57 年度に行った浮防波堤の設計と施工について報告するものである。

2. 設計の概要

(1) 浮防波堤の基本構造

浮防波堤の形状については、図-1 に示すような 3 種類の平面形状を持つタイプについて水理模型実験を行い、透過率などについて 表-1 に示すような結果を得た。この結果に基づき、越波による港内擾乱に対して効果的であり、技術開発という面から将来性のあるサイド

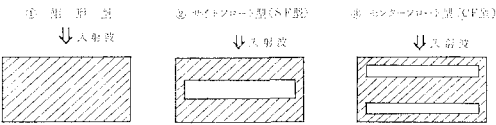


図-1 実験に用いた浮防波堤形状 (平面図)

表-1 模型実験結果 (透過率)

実験	条 件					規 則 波		
	波向	水深 (m)	波長 L (m)	浮体幅 B (m)	L/B	SF 型	CF 型	矩形型
断面	90°	10	26	10	2.6	0.32		0.27
				20	1.3	0.17	0.23	0.21
				30	0.87	0.17	0.19	0.19
		5.5	23.5	10	2.35	0.30		0.22
				20	1.2	0.20	0.20	0.23
				30	0.78	0.15	0.17	0.24

($H_1/3=1.0\text{ m}$, $T_1/3=4.1\text{ s}$)

フロート型 (SF 型) とした。

材質は RC 製、PC 製、フェロセメント製、鋼製の 4 種類について耐久性、維持管理、工費などの点から比較検討した結果、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、さらに通常の RC 製に比べて「ひび割れ」の心配がなく経済的な PC 製構造物とすることとした。

浮体寸法は消波性能、経済性および施工や維持管理の難易度などを考慮して決定した。静穏度確保のための対象波を浮防波堤の実証実験実施予定地点 (熊本港沖) の波浪特性を考慮して、 $H_1/3=1.3\text{ m}$ 、 $T_1/3=4.1\text{ s}$ と設定すると、堤体背後の波高を 0.5 m 以下に抑えるために必要な透過率 K_T は 0.38 以下となる。これに対し、水理模型実験結果 (表-1 参照) では、浮体幅 10 m、20 m、30 m のいずれの場合も上記透過率を満足するので、浮体幅は最も経済的な 10 m 幅とした。浮体長は RC 製プレキャストブロック (幅 10 m×長さ 10 m×高さ 4 m) 4 函を PC 鋼線で法線方向に連結して 40 m とすることとした。

以上の条件を満足する形状として 図-2 のような基本形状を設定した。

(2) 設計条件

浮防波堤の設置位置は熊本港の沖合約 5 km の地点であり、設置点における設計条件は 表-2 に示すとおりである。

(3) 設計の基本方針

浮防波堤の設計については 図-3 に示す基本フローに沿って行った。

浮防波堤本体部の設計は、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設計指針(案)」(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、運輸省港湾局建設課、昭和 56 年 3 月) に準拠して、「限界状態設計法」を大幅に取り入れている。限界状態設計法においては 図-3 のフローに示すように、「使用限界」、「終局限界」、「疲労限界」の各状態における安全性の検討を行っている。構造設計の考え方については、「プレストレストコンクリートバージ規準」(日本海事協会、1975 年) に準拠して、縦曲げ状態のチェック、

* 正会員 運輸省第四港湾建設局下関調査設計事務所所長
** 正会員 (前)運輸省第四港湾建設局下関調査設計事務所次長
(現)運輸省第四港湾建設局海域整備課長
*** 運輸省第四港湾建設局下関調査設計事務所建設専門官
**** 正会員 運輸省第四港湾建設局下関調査設計事務所工事専門官

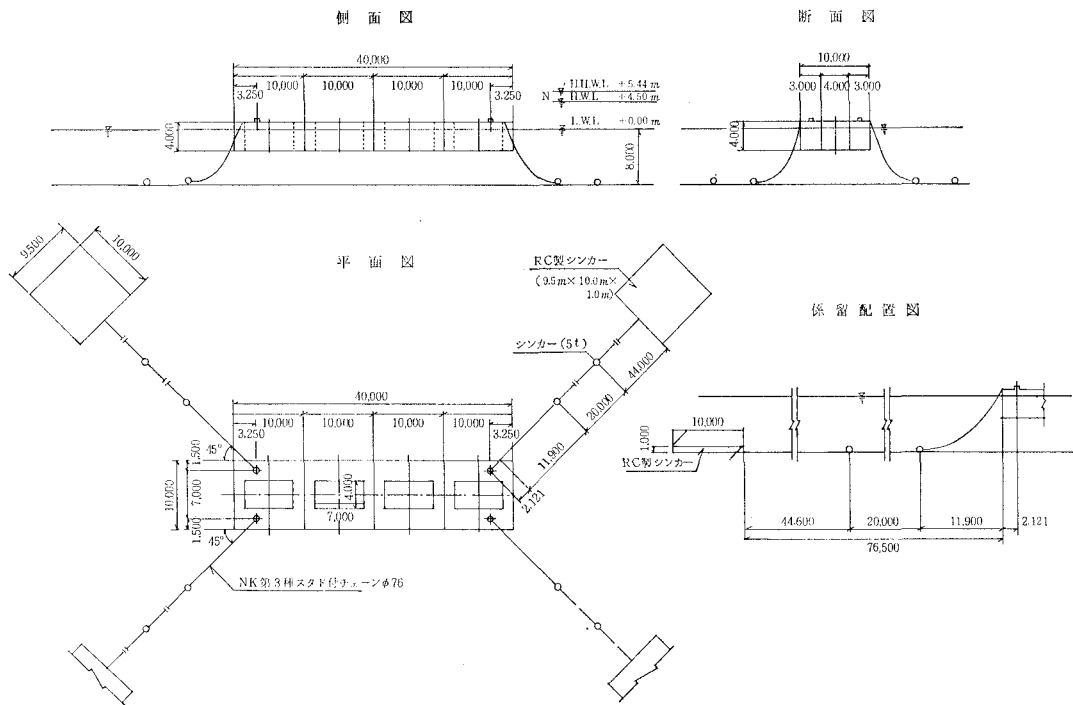


図-2 浮防波堤一般形状図

表-2 設計条件

潮 位	H.H.W.L. = +5.44 m		
	H.W.L. = +4.5 m		
	L.W.L. = ±0.0 m		
設置水深	-8.0 m		
波 浪	項 目	10年確率波	1年確率波
	$H_{1/3}$	2.1 m	1.5 m
	$H_{10\max}$	3.8 m	2.7 m
	$T_{1/3}$	5.5 s	4.4 s
	波 向	NW	NW
潮 流	流 速	1.3 m/s	
	流 向	NNE, SSW	
風 速	30 m/s		
土 質	海底地盤	-8.0 m ~ -40.0 m	
	粘性土	N 値 = 0 $\gamma = 1.50 \text{ t/m}^3$	
		$C = 0.5 + 0.135z \text{ t/m}^2$ ($z_0 = -8.0 \text{ m}$)	

横曲げ状態のチェック、局部強度上のチェックを行った(図-4 参照)。

部材力として構造系全体については、Muller の式¹⁾を用いて縦波から波浪縦曲げモーメントとせん断力を、斜め波から波浪ねじりモーメントを計算した。横曲げモーメントは両端をローラー支持されたハシゴ形ラーメンに波圧が等分布荷重としてかかるモデルにより算定した。波圧は広井式により求め、浮体が静止状態にある時とローリング状態にある時の2ケースを考慮して、大きい方

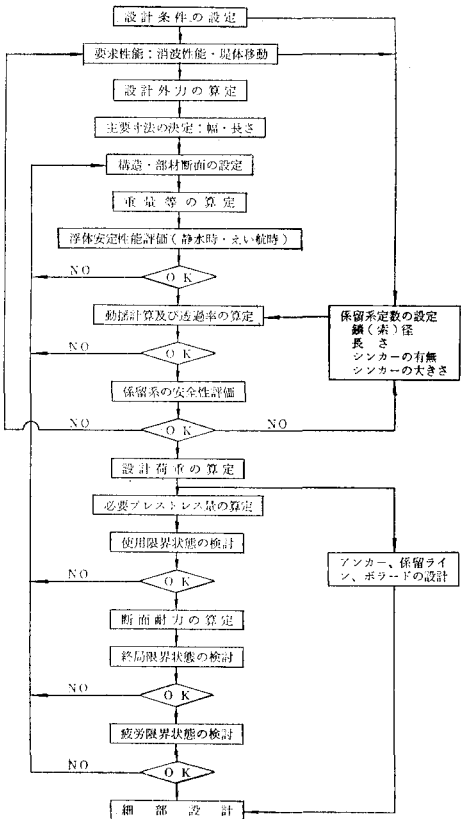
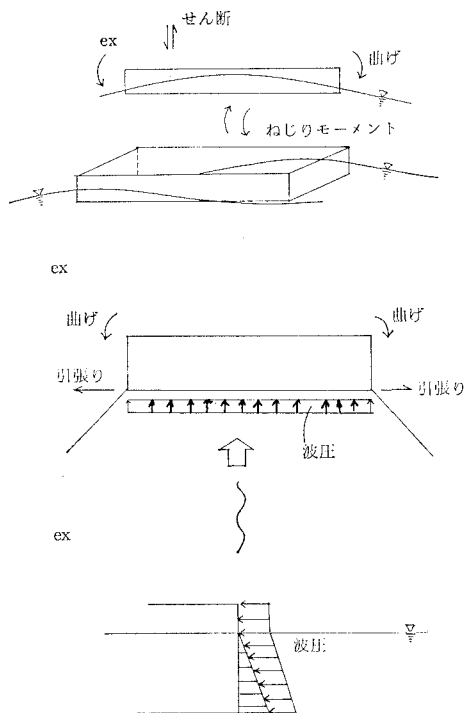


図-3 浮防波堤の設計フロー



図—4 設計荷重の考え方

の値を設計荷重とした。

プレストレス量は使用限界状態における浮体断面に生ずる応力を求め、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 kgf/cm^2 とする。
- ② 縦曲げモーメントもしくは横曲げモーメントが作用した状態で、局部荷重として静水圧だけが作用した場合には、浮体長手方向に引張応力を生じない。
- ③ ② の状態で、局部荷重として波圧が加わった場合には、浮体長手方向に最大 40 kgf/cm^2 の引張応力を許容する。

以上により、浮体法線方向へのプレストレス量は 25.3 kgf/cm^2 となり、この条件を満たすように PC 鋼線 1T

17.8 を 60 本使用し、1 本当たり 27 t (130 kgf/mm^2) の緊張を行うことになった。

チェーン、アンカー、ボラードなどの係留系の設計にあたっては、チェーン形状をカタナリー曲線と近似し、外力としては、定常外力として波浪漂流力、風圧力、潮流力を、変動外力として波力を考慮した。これら外力に対する浮体の変位および動揺計算結果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 (図—5 参照)。

浮体の波浪中の動揺計算の手法としては、ストリップ法により 3 次元動揺量を計算した。不規則応答については、波浪応答の非線型性が小さいものと仮定してエネルギースペクトル法によった。こうして求められた定常外力および変動外力による浮体の最大水平移動量からチェーン張力を算定した結果、最大張力は 140 t となりチェーンとして NK 第三種スタッド付 76ϕ (単位重量 126.5 kg/m , 破断荷重 438 t) を用いることとした。

(4) 浮防波堤の最終形状

以上の結果、最終的なブロックの構造は 図—6 のようになった (中央部の 2 ブロックはこの図からボラードを取り除いた構造である)。今回の設計にあたっての特徴のひとつとして、吃水面以下の PC 鋼線定着端部を浮体内部に設けたことがあげられる。これはブロック 4 函を海上で浮遊した状態で接合することを考慮したものである。

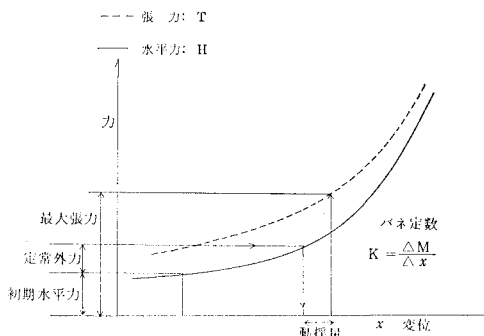
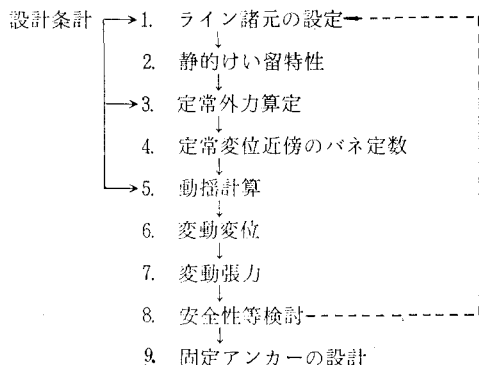
浮防波堤の諸元は、以下のとおりである。

① 浮防波堤本体

幅 10.0 m × 長さ 40.0 m × 高さ 4.0 m
 重量 911.2 t
 吃水 3.07 m

② アンカー (1 基当たり)

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 型 鋼



図—5 係留系の設計フロー

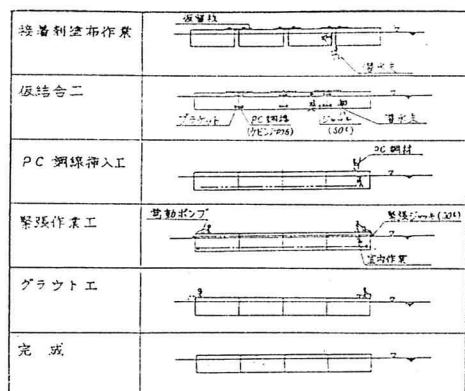


図-7 接合作業手順

保つとともに吃水を揃える必要があるため仮留めを行った。仮留めの方法は引寄せワイヤー、レバーブロックおよびガイドビーム (250 mm H 型鋼 4 本) を浮体上部に据付けて、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め金具に固定した。

仮締め工の後、本接合作業は図-7の手順で行なわれた。接着剤の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、水温の低い早朝の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を使用し、接着面に厚さ 5 mm 程度に均等に塗布した。しかし、作業中に濁りの生ずる恐れがあったため、ブロックのドック内引込み前に、沈澱した接着剤を吸収するようドック底面に砂を 5 cm 程まいた。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い上げて凝集剤と混合し、凝集・沈澱をしやすいとした。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とレバーブロックの操作で接着面同士が接するまで引寄せ、鋼製ブラケット間に通した PC 鋼棒 (ゲビンテ鋼棒 $\phi 26$) を油圧ジャッキで緊張して、面圧 2 kg/cm^2 のストレスを与えた。これは接着効果を高めるためのものであり、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。

本結合は PC 鋼線本数が 60 本と多いものの作業空間に限られているため、30 t 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象に 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、緊張管理はケーブルの伸びが所定値 (240 mm) となるように行った。この時のケーブル 1 本当たりの緊張力は 27 t (130 kgf/mm^2) であった。緊張作業の後、シース孔内のグラウト、定着

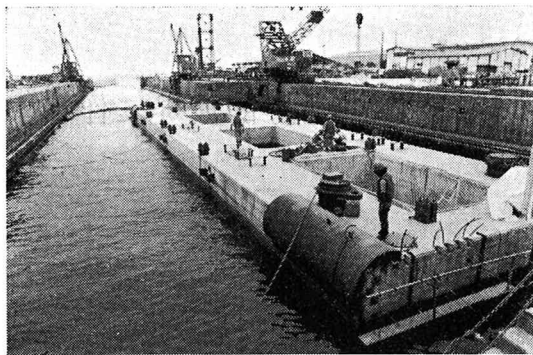


写真-1 完成した浮防波堤本体

端部のエポキシモルタルによる封印を行って浮防波堤の本体が完成した (写真-1)。

浮防波堤は、この後、熊本県八代港まで曳航され、現地設置まで約 3 か月間仮置きされた。

(3) 浮防波堤設置工事

設置工事は、昭和 57 年 9 月中旬より 1 か月半の工期で行われた。まず、熊本港沖合の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、クレーン船により H 型鋼を建込んだ状態でアンカーを海底に吊り下した。さらに、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位置まで敷設し、曳航されてきた浮防波堤本体にクレーン船を用いて 1 本ずつチェーンを取付けた。

4. あとがき

浮防波堤には各種計器が取付けられており、57 年 11 月から定常観測を開始している。調査項目は、① 消波効果、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。58 年度も引き続き現地観測を行っており、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、鉄筋応力などについて解析し、浮防波堤の実用化のための資料にする予定である。

以上、浮防波堤の設計と施工について、その概要を述べた。初めて経験することも多く、設計、施工ともすべてがスムーズに運んだわけではないが、その過程でさまざまな有益かつ有用な知見を得ることができた。特に今回採用された海上接合法は、今後、海洋構造物が大型化、長大化するにつれ、広く海洋構造物の建設工事に生かされるものと期待される。

参 考 文 献

- 1) Muller, J.: Structural Considerations and Configurations II, University of California Extension Berkeley, Seminar on Concrete Ship and Vessels, SEDT, 1965.