

浮防波堤の動揺特性と消波性能に関する現地実験

大隈正登*・江河直人**・中野敏彦***・加藤英夫****

1. ま え が き

浮防波堤は、軟弱地盤、大水深といった苛酷な自然条件下での港湾整備に有効な構造型式として着目されている。運輸省第四港湾建設局では、単純な形状で製作、施工が容易であり、耐久性に優れ、波の周期や水深の変化にも十分対応できる浮防波堤の開発を進めてきている。これまでに、消波効果や動揺特性等について室内模型実験による検討をふまえて設計を行ない、昭和57年11月から59年3月までの約1年間半の間、熊本港沖において試験堤による現地実験を行なった。

本報告では、この実験で得られた現地計測結果と模型実験結果、数値計算結果と比較することにより、浮防波堤の利用上、設計上のポイントとなる、実波浪に対する消波性能及び動揺特性について述べる。

2. 現地実験の概要

(1) 浮防波堤の基本構造

今回の現地実験に供した浮防波堤浮体の形状は、越波の防止を考慮して、浮体中央に遊水部を持つサイドフロート型とした(図-1)。浮体寸法は、消波性能、経済性等を考慮して決定した。現地実験予定地点の波浪特性を考慮して、周期 $T_{1/3}=4.1$ 秒の波に対し透過率が0.38以下となることを目安とし、模型実験結果をふまえて浮体幅を10mとした。浮体長は、RC製プレキャストブロック4函を法線方向にPC鋼線で連結して40mとした。係留ラインには、チェーンを使用し、水深が比較的浅く(L.W.L.時8.0m)、潮位差が大きい(4.5m)ことから中間シンカーを2個取付けた。

(2) 現地条件

現地実験位置は、図-2に示す熊本港の沖合約5kmの地点であり、浮防波堤設置点における設計条件は、表

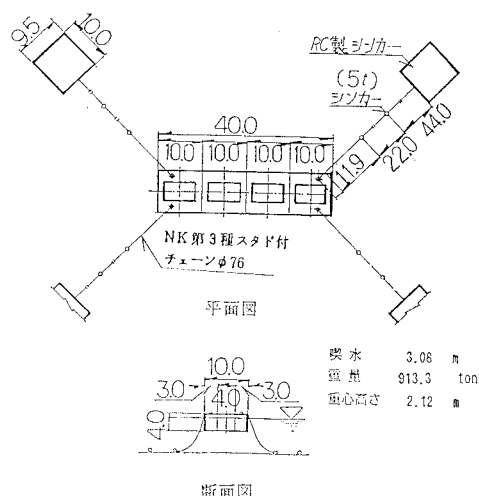


図-1 浮防波堤形状図

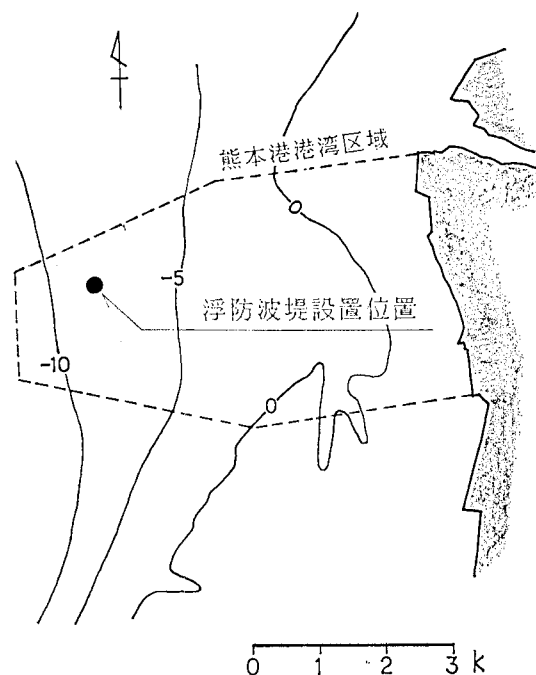


図-2 現地実験位置図

* 正会員 運輸省第四港湾建設局下関調査設計事務所長

** 正会員 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

**** 運輸省第四港湾建設局下関機械整備事務所調査課長

また、実測値のばらつきが大きい、回折波の影響が含まれていると考えられ、今後この点も考慮して透過率を評価する必要がある。

(2) 周波数スペクトルの比較

入射波と透過波の周波数スペクトルを比較したものが図-7である。入射波に比して透過波のエネルギーは、周期約2~5秒の範囲で減少しており、本浮防波堤はこの周期帯での消波効果が高いことがわかる。また、長周期領域で透過波のエネルギーが若干増加しているが、これは後で述べる Swaying 成分にみられる長周期の動揺によって生じたものと考えられる。

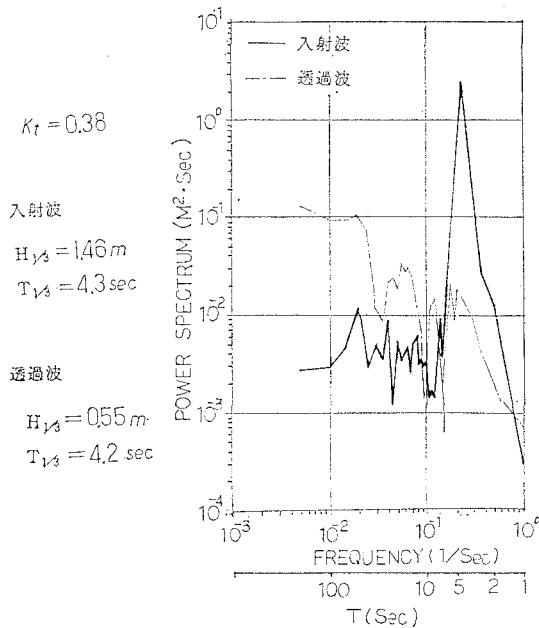


図-7 入射波と透過波の周波数スペクトル

4. 動揺特性

(1) 動揺計測結果の概要

動揺量は各運動成分について、浮体の重心軸上に設置したサーボ型加速度計 (Swaying, Surging, Heaving) 及びサーボ型傾斜計 (Rolling, Pitching, Yawing) を用いて、それぞれ変位及び角度を計測した。入射波が、 $H_{1/3} = 1.46 \text{ m}$ 、 $T_{1/3} = 4.3$ 秒の場合、各成分の動揺両振幅の最大値は、Swaying 1.3 m, Surging 0.4 m, Heaving 0.4 m, Rolling 0.15 rad, Pitching 0.06 rad, Yawing 0.04 rad であった。

(2) 動揺の周波数応答特性

図-8 (1)~(3) に、Swaying, Rolling, Heaving 成分の規則波中の周波数応答特性を示す。なお、共振点付近の様子がわかり易いように、図の横軸は浮体幅 B と波長の比 B/L としてある。波浪中の係留浮体の動揺計算の方法としては、ストリップ法を用い、2次元流体力の

算定にあたっては2次元領域分割法を用いた。本浮防波堤のような遊水部を有する浮体では、遊水部の影響、Rolling の減水モーメントの粘性成分の影響を考慮する必要がある。その簡便な計算方法として減衰力係数を運動成分ごとに適切に修正する方法が模型実験結果により示されている⁴⁾。ここではこの結果をふまえ、Rolling の減衰力係数を5.0倍、Heaving の減衰力係数を1.25倍するとともに、遊水部については水塊の質量を考慮している。係留系の復元力係数は静的係留特性曲線の定常変位近傍の値 (全ケースの平均値) を用いた。減衰力係数を修正しない場合と比較すると、共振点付近での修正の影響が大きい。

動揺振幅の実測値を同図中に示す。動揺振幅、波高とも有意値である。応答特性計算値と比較すると、Swaying 成分で大きい動揺が見られるものの、実測値の動揺特性の大略の傾向を示している。

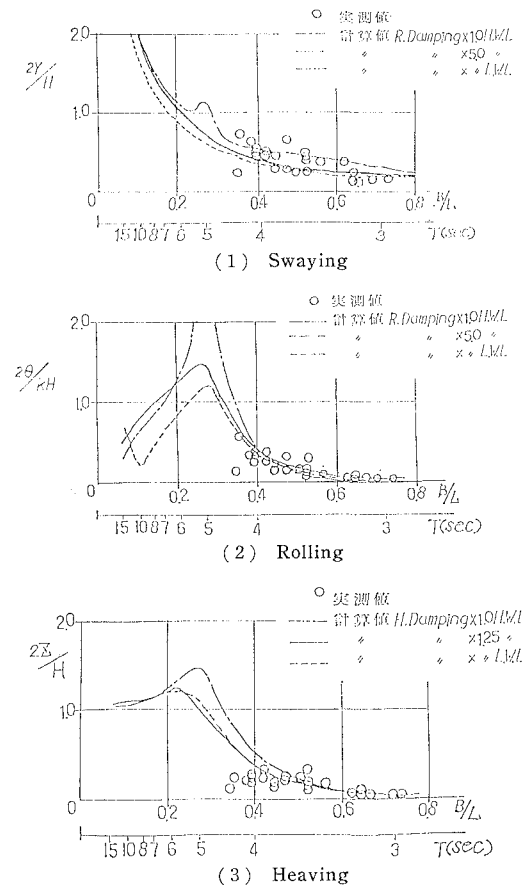


図-8 動揺の周波数応答特性と実測値

(3) 動揺応答スペクトル

次に、個別ケースに着目し不規則波中の動揺特性について検討した。入射波 $H_{1/3} = 1.46 \text{ m}$ 、 $T_{1/3} = 4.3$ 秒のケースの、動揺応答スペクトルの実測値と計算値を図-9

(1)～(3)に示す。動揺応答スペクトルの計算は動揺の応答値の線型重ね合わせが成り立つとの前提のもとに、次式のエネルギー・スペクトル法を用いた。

$$S_m(f) = S(f) |A(f)|^2$$

ここで、 $S_m(f)$ ；動揺応答スペクトル、 $S(f)$ ；波浪の周波数スペクトル、 $A(f)$ ；動揺の周波数応答特性、 f ；波浪周波数である。波浪の周波数スペクトルとしては、Bretschneider-光易型スペクトルを用いた。結果をみると、3成分ともピークの位置とスペクトルの形状が、計算値と実測値でほぼ一致している。これより波高の小さいケースについても同様の計算を行なった結果、ピークの高さは計算値と実測値ではほぼ一致したが、ピーク位置については、計算値が実測値よりやや長周期側にずれる傾向がみられた。波高が小さい場合、測定精度の点で不利であることを考えると、波浪のピーク周期周辺の動揺については、このような計算方法で、大略再現できると考えられる。

なお、各成分ともスペクトルの長周期領域に高いピークがあり、特に Swaying で著しい。実測の動揺波形記録をみてみると、40 秒程度の周期をもつ成分が認められ、これが長周期領域の高いピークに対応している。これは長周期の波浪漂流力が現われていると考えられる。

また、以上の計算は、近似解法としてストリップ法（2次元流体力の算定には領域分割法）を用いたものであるが、任意形状浮体に適用できるより厳密な解法である3次元特異点分布法との計算方法の比較を行なった。

計算結果を同図中に○印で示してある。両計算法を比較するとその差異は小さく、本浮防波堤のような形状についても、ストリップ法で実用上十分な精度が得られる。

5. 係留特性

係留系の張力の成分は、初期張力、定常外力による張力、変動張力の3つに分類した。初期張力は、浮防波堤設置時にかける張力であり、定常外力としては、波浪漂流力、潮流力、風圧力とした。変動張力は、波浪による浮体の動揺に伴って発生する張力である。

係留チェーン張力の計測には、チェーン取付部のシャックルピン部分に取付けたひずみゲージ式シャーピン型張力計を用いた。

初期張力は、海域静穏時の静的全張力から定常外力分を差し引いて求めた。ライン1が 20.07 t、ライン2が 12.0 t、ライン3が 20.2 t、ライン4が 15.2 t であった。

波浪時の変動張力と Swaying 振幅との関係について、沖側のライン1、2の実測結果を図10に示す。動揺振幅が大きくなるにつれ変動張力も大きくなっており、計算値とも傾向が一致している。計算値は、定常外力（全ケースの平均値 5.3 t）に対する定常変位位置を原点とし、カテナリー理論による静的係留特性曲線を計算したものである。外力はラインとて均等に分担するものとして求めた。係留ライン1の方が2に比して変動張力が高いのは、波向の影響や初期張力の違いによるものと考えられる。

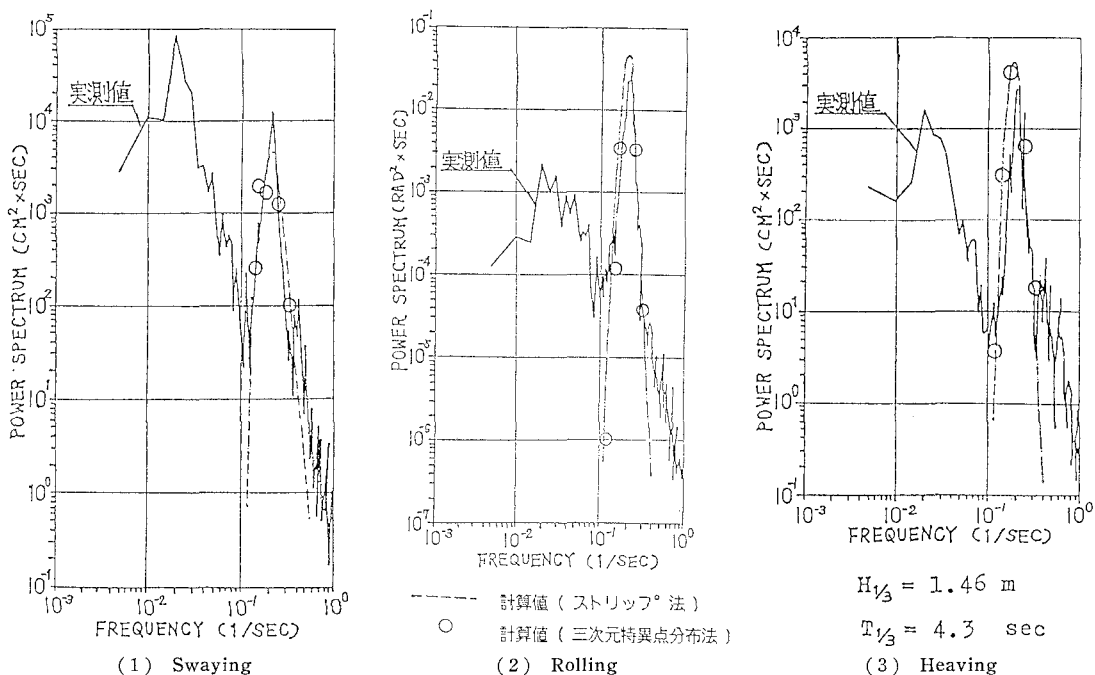


図9 動揺応答スペクトルの実測値と計算値

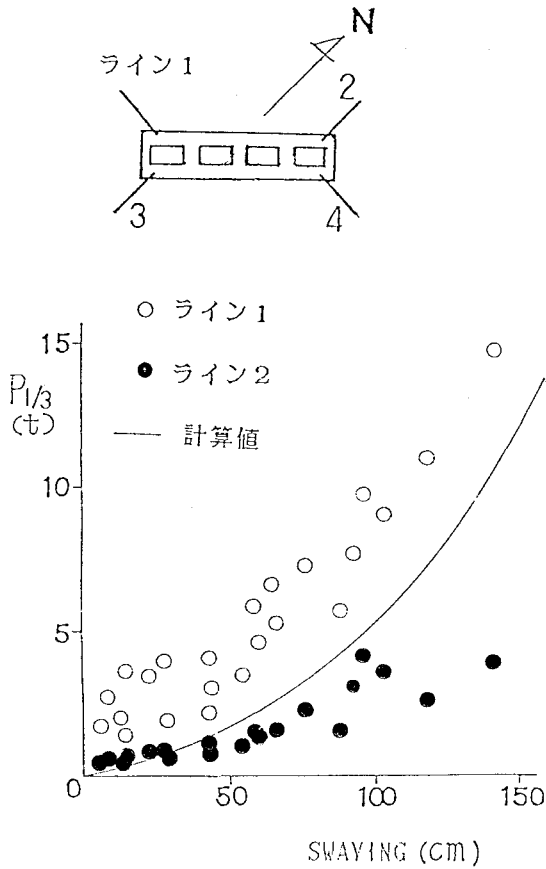


図-10 変動張力実測値

6. 結 語

浮防波堤の現地実験結果に関する今回の解析の主要な成果は次のとおりである。

- (1) 本浮防波堤は、入射波周期 3~4 秒程度の波に対し、透過率 0.3~0.5 程度の消波性能を有しており、ほぼ当初目標どおりの効果があることが確認できた。
- (2) 動揺特性については、2次元流体力の算定に領域分割法を用いたストリップ法による動揺計算で、概ね再現できることが明らかになった。
- (3) 係留ラインの変動張力は、最大 15t 程度であり強度的に十分安全であることが確認できた。

最後に、本浮防波堤の開発及び今回の報告のとりまとめは、関係各位の協力を得て進められたものであり、ここに謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 木暮健一郎・鈴木康正・片桐正彦・八嶽 隆: 浮防波堤の設計と施工, 第30回海岸工学講演会論文集, pp. 435~439, 1983.
- 2) 合田良実: 港湾構造物の耐波設計——波浪工学への序説——, 鹿島出版会, pp. 213~219, 1977.
- 3) 合田良実: 共分散法を用いた波向推定方式の数値的検討, 港湾技術研究所報告, 第20巻第3号, pp. 53~91, 1980.
- 4) 木暮健一郎・鈴木康正・溝内俊一・片桐正彦・武井泰男: 浮防波堤に作用する波漂流力について, 第30回海岸工学講演会論文集, pp. 440~444, 1983.