

防波堤による副振動エネルギーの減衰効果について

大 隈 正 登*・ 口 田 登**・ 鈴木純夫***・ 長野 恭久****

1. ま え が き

外海に面した湾口部を有する港湾では、外海からの長周期のうねりの来襲によって生じると考えられている「副振動」と呼ばれる現象が発生することがある。港湾内水面が数分～数十分周期で振動するこの副振動現象については、これ迄に多くの現地観測、模型実験及び理論解析などによる検討がなされてきており、著者らの運輸省第四港湾建設局下関調査設計事務所においても、管内の港湾である長崎港などを対象に各種の検討を行っている^{1),2)}。

長崎港は図-1に示すように比較的複雑な平面形状と水深変化を有し、かつ副振動の振幅が特に大きく、しかもその発生回数が多く被害にも見舞われた経験のあることで知られており、今後こうした被害が発生しないように抜本的な対策が必要とされている。

港湾内の副振動を小さくおさえるためには、防波堤により港口を狭めることが考えられるが、開口幅を狭くするといわゆるハーバー・パラドックスとして知られる現象により逆効果となることがあるので、計画立案にあたっては十分留意しなければならない。従って、防波堤の開口率の違いによる港湾内の副振動現象の減衰効果を予測できる理論解析法を確立する必要がある、特に開口部における流体運動のエネルギー損失の効果を理論解析に取り込む方法を明らかにすることが重要である。

本研究は、防波堤による副振動エネルギーの減衰効果を把握することを目的として、当初の大型平面水槽を用いて行った長周期波実験の結果をとりまとめたものである。

2. エネルギー損失効果のモデル化及び推定方法

防波堤の開口部における流体運動を非粘性完全流体の無渦運動として理論解析した場合、港内副振動の増幅率

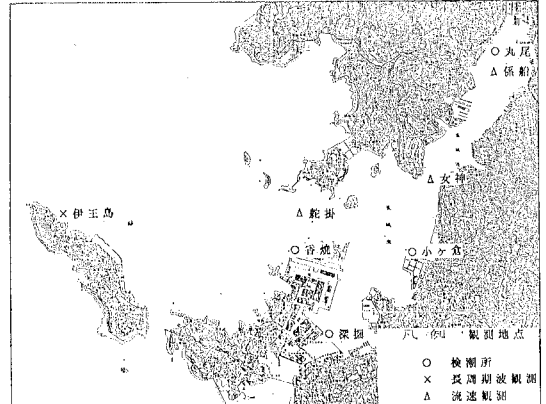


図-1 長崎港の平面地形と現地観測点

のピークが増大したりピークとなる周期が大きくなることがある。しかし、実際の現象においては、開口部での流体運動に伴う渦の発生などによってエネルギー損失が大きくなるため、必ずしも理論解析の結果ほどは増大しないことが知られており、このエネルギー損失の効果を適切に評価することが重要である。

エネルギー損失を理論解析に取り込む試みとしては、開口部における防波堤内外の水位差 Δh が開口部流速の二乗 V^2 に比例するとして、 $\Delta h = f \cdot (v|v|/2g)$ の形で損失係数 f を導入する方法がよく用いられている。しかし、長周期波を対象とする副振動現象に対しては、水槽実験がかなり難しいこともあってエネルギー損失を適切に求めるための損失係数 f の値が必ずしも明らかになっていない。運輸省港湾技術研究所が大船渡湾における津波について理論解析した結果では、 $f=1.5$ という値が導かれており³⁾、また、実験的に損失効果を求めた研究⁴⁾でも、この値はほぼ妥当な値であろうと報告されている。

しかし、開口部での流体運動のエネルギー損失を流速の二乗に比例すると考えることは、本来定常流について与えられた経験公式を、ある周期で振動する往復流である開口部の非定常流に適用することとなり、十分な吟味が必要である。堀川ら^{5),6)}は、港内振動現象においてこうした損失効果を用いることは、開口部の両側で明確な

* 正会員 運輸省第四港湾建設局下関調査設計事務所所長

** 運輸省第四港湾建設局下関調査設計事務所次長

*** 正会員 (前)運輸省第四港湾建設局下関調査設計事務所調査課長

**** 運輸省第四港湾建設局下関調査設計事務所調査係長

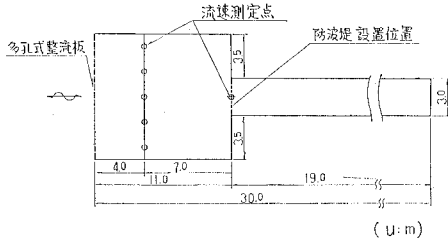


図-4 実験施設

ことができないため、流速の変動で検定することとした。

3.2 実験方法

副振動実験に先立って、理論の仮定に合うよう 図-5 に示す手順によって長周期波を発生させた。

まず、起潮水槽に一定流量 ($Q=0.16\text{ m}^3/\text{sec}$) が流入するようにポンプ流出量を調整し、次にゲート振幅及び中心位置を設定し模型内に所定の水位 ($h=25\text{ cm}$) が得られるように調整した。

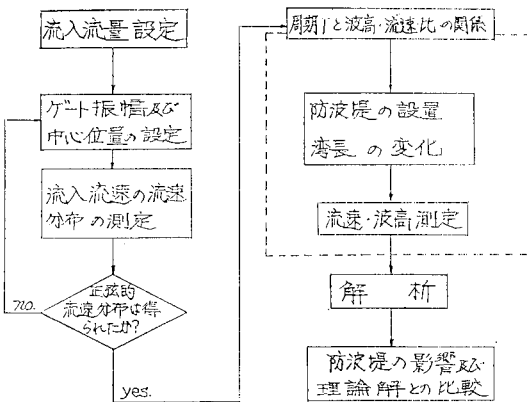


図-5 実験概要フローチャート図

所定の水位と周期が得られた後に、超音波流速計により模型横断方向、縦断方向の測線で流速を測定し、正弦的な流速分布が得られたかどうか確認を行った。これにより、模型外海部で一番乱れの少ない測線を設定し、流速の鉛直分布を測定し、今回の実験の流入流速値とした。なお、解折対象としては4波目から7波目の流速を採用した。

一方、港内の波高は、容量式波高計及び水位計により港奥、港口、外海部の3点において測定を行い、3波目以降波高に変化が見られないことから、流速値の読み取り時での波高を測定し、今回の実験の港内波高値とした。

4. 実験結果

実験は、入射波周期を 30~65 秒まで変化させるとともに、防波堤開口幅及び港奥長を変化させて、模型外海

部での流速及び港内での波高を測定した。本実験で得られた流速データの一部を示すと 図-6 の通りである。また、港奥での波高データは、起潮周期(基本周期)で振動する波形が得られた。

ここで得られた流速及び波高データを基に、前述した波高流速比 $|\eta/a| = \pi \cdot H/V \cdot T$ を求め、周期との関係を示すと 図-7~9 の通りである。図に見られるように、開口幅の縮小に伴って波高流速比は顕著に減衰している

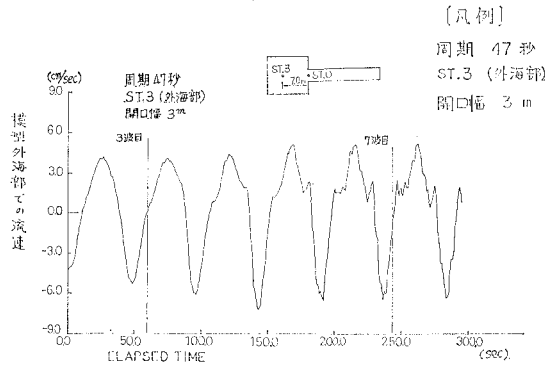


図-6 流速記録

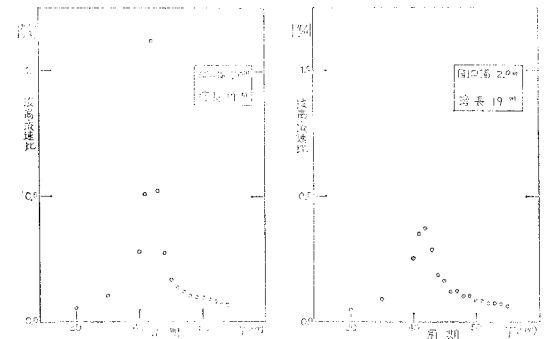


図-7 周期と波高流速比の関係

図-8 周期と波高流速比の関係

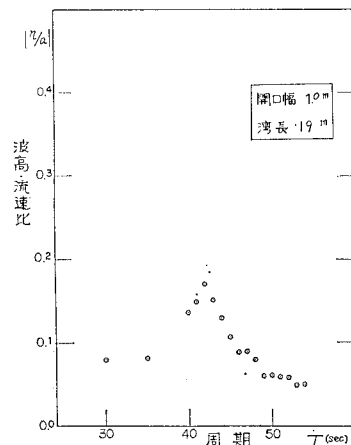
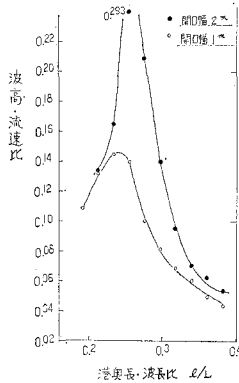


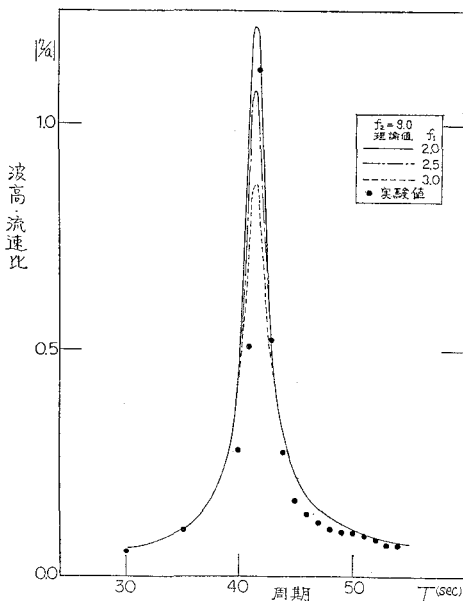
図-9 周期と波高流速比の関係



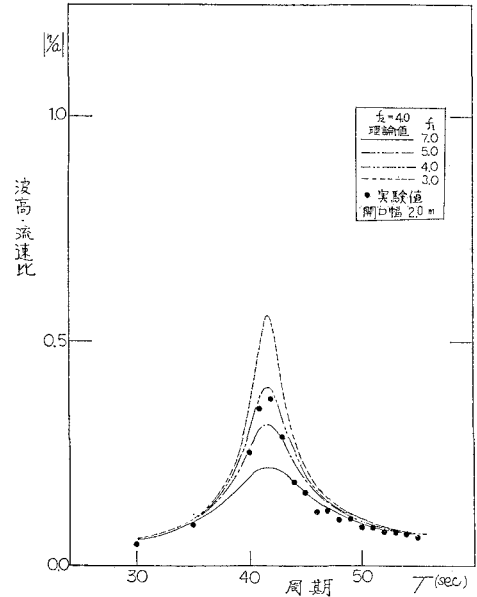
図—10 港奥長変化に対する波高流速比

ことがわかる。また、図—10には港奥長の変化に対する波高流速比の変動を開口幅別にプロットしている。この結果からみると、港奥長が波長の0.2~0.3の範囲において波高流速比がピークを持つ傾向となっており、特に開口幅が2m(防波堤なしの場合3m)のケースにおいて、開口幅が1mのケースに較べて極端なピークが生じている。

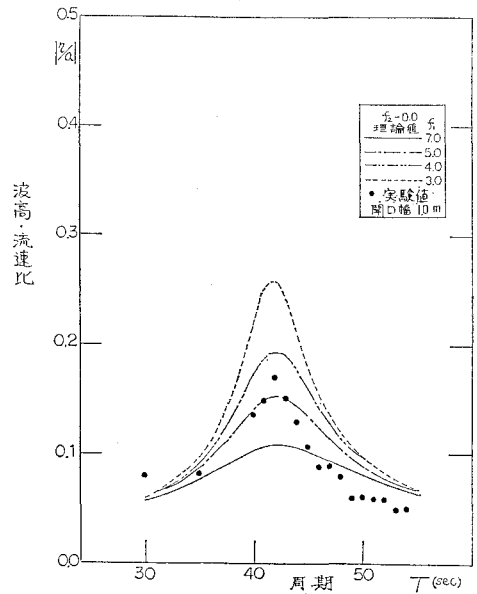
一方、ここで得られた実験値と理論解との比較検討により抵抗係数 f_1 及び f_2 を推定するために、前述の線型の流体抵抗を導入した運動方程式に基づく試算をしてみれば、図—11~13中に実線、一点鎖線、二点鎖線、破線で表示されている理論値曲線(f_2 に任意の一定値を与え、 f_1 を適宜変化させた場合の理論値曲線)のもつ傾向として、波高流速比のピークを与える周期は変化せず、波高流速比のみが変化することがわかる($1/f_1 \propto |\eta/a|$)。逆に、図—14中の各種の理論値曲線(f_1 に任意の一定



図—11 波高流速比の実験値と理論値



図—12 波高流速比の実験値と理論値



図—13 波高流速比の実験値と理論値

値を与え、 f_2 を適宜変化させた場合の理論値曲線)のもつ傾向は、波高流速比はほとんど変化しないが、そのピークを与える周期が変化することがわかる($f_2 \propto T$)。

図—11~13中には実験値(図—7~9と同一のもの)も合せて表示しているが、それぞれの実験値に良く一致する理論値を与える抵抗係数 f_1 及び f_2 の値が見出せる。

今回の実験においては、このように実験値と良く一致する理論値を与える f_1 及び f_2 の値の組み合わせを、開口幅の異なる5ケースについて求め、その結果を図—15

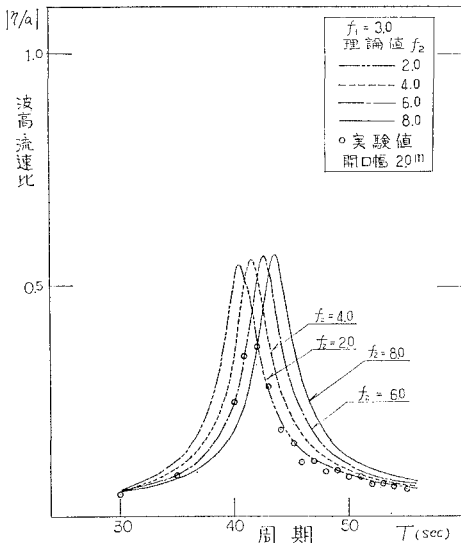
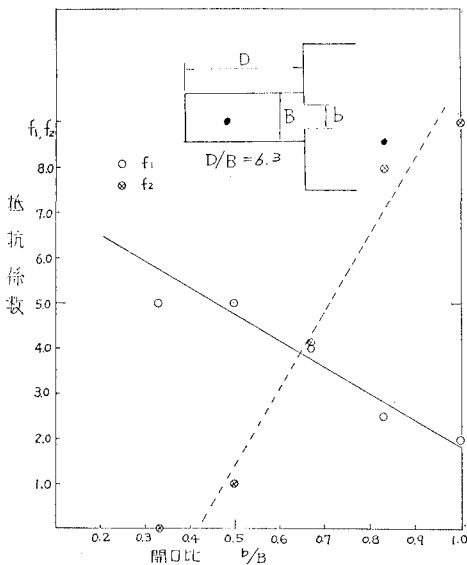


図-14 波高流速比の実験値と理論値

図-15 開口比と f_1, f_2 の関係

にとりまとめた。抵抗係数 f_1 及び f_2 の推定値は、いずれも多少のバラツキがあるものの、概ね開口比に対して直線的な関係を表わしており、また、開口幅の大きい時は f_2 は大きく f_1 は小さいが、逆に開口幅が小さくなると f_1 が大きく f_2 が小さくなるようなあい対する関係にあることを示している。

こうした関係から説明できる定性的な状態は、防波堤

開口幅が大きい場合には、加速度に比例する損失が高い状態にあることから共振周期も大きめに片寄る傾向にあり、かつ流速に比例する損失が低い状態にあることから波高流速比のピークも大きい状態にあるといえよう。逆に、開口幅が小さい場合には、共振周期及び波高流速比のピークが小さい状態にあると解釈できよう。

また、開口比が概ね 0.4 程度以下の範囲においては、今回の実験結果に関する限り、加速度に比例する損失効果はほとんどみられないようである。

5. あとがき

防波堤開口部における副動振のエネルギー損失効果を f_1, f_2 の二種類のパラメータを用いて推定するために、実験値と理論値を比較検討した結果、概ねの値を見出すことができた。けれども、こうしたエネルギー損失は港口部での流体運動に伴う渦の発生などに起因するものであることから、現地への適用性を評価するためには、種々の条件についてある程度異なるスケールでの実験を行って、抵抗係数等の検討を行うことが必要と思われる。

また、従来伊藤ら³⁾によって用いられてきた損失係数 f と今回使用した f_1, f_2 の対応関係についても、今後明らかにする必要があると思われる。

最後に、本研究の全体を通して九州大学工学部井島武士教授、吉田明徳助教授から貴重な御助言を頂いた。ここに記して厚くお礼を申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 吉田明徳・北山 齊・鈴木康正・溝内俊一：不等水深の湾内副振動解析，第30回海岸工学講演会論文集，pp. 153～157，1983。
- 2) 運輸省第四港湾建設局下関調査設計事務所：長崎港副振動現象観測記録解析調査報告書，1984。
- 3) 伊藤喜行・木原 力：長周期波に対する防波堤の効果に関する計算（第6報）——港口損失係数の影響——，港湾技術研究所報告，Vol. 9, No. 2, pp. 3～22，1970。
- 4) 村上仁士・野口英二：湾口部でのエネルギー損失を考慮した湾水振動の解析，土木学会論文報告集，第288号，pp. 83～94，1979。
- 5) 堀川清司・西村仁嗣：津波防波堤の効果について，第16回海岸工学講演会論文集，pp. 365～369，1969。
- 6) 堀川清司・首藤伸夫・西村仁嗣：津波防波堤の効果について（2），第17回海岸工学講演会論文集，pp. 421～426，1970。
- 7) 吉田明徳・鳥越正美：水槽側壁の影響を受ける模型港湾の副振動解析，第31回海岸工学講演会論文集，pp. 113～117，1984。