

II-31 湾水振動における開口部エネルギー損失について

徳島大学工業短期大学部 正員 村上 仁士
鹿島建設(株) 正員 野口 英二
徳島大学 大学院 学生員 鈴木 一光

1. まえがき: 先に, 著者らは, 半無限の外海に接続した一様水深の長方形港湾に対して, 閉口部における波のエネルギー損失を考慮した理論を提案した¹⁾。そして, この理論を用いれば, 入射波高, 港内水深が湾水の共振特性に及ぼす影響も考慮することができるとを示したが, この理論に含まれる未知量である波のエネルギー損失係数 f の評価が十分にはなされていなかった。ここでは, 実験により直接的に f を求め, その特性を明らかにし, 理論解の実験的検討に基づく f と比較考察を行う。なお, 外海側に突出した防波堤を有する港湾の応答について若干の検討を加える。

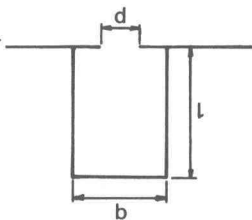


図-1 港湾モデル

2. 波のエネルギー損失係数: (1) 実験方法 — 実験には長さ30m, 幅15m, 高さ60cmの平面波水槽を用い, 実験を通じて, 周期 $T = 1.94 \text{ sec}$, 水深 $h = 15 \text{ cm}$ と一定とした。図-1に示す港湾モデルを用い, 港湾幅 b を2種類, 開口幅 d を5種類に変えている。縮流の測定には, アルミ粉によるトレーサー法を用いて, 閉口部上方約1.5mの位置に35mm連動カメラ(3.5 $\frac{1}{\text{sec}}$)を設置し, 連続写真撮影を行い, 縮流幅/開口幅の比を求め, それを縮流係数 C とした。これら一連の実験はすべて共振時だけについて行っているが, これは共振点近傍以外ではエネルギー損失が波高増幅率にほとんど影響を与えないからである。なお, 写真-1に閉口部の縮流状況の一例を示している。(2) 縮流係数 C による f の表示 — 一般に, ある断面の内外で水位差 $\Delta\eta$ ともつ場合, その断面の流速 v は, 流速係数(縮流係数)と C として, $v = C\sqrt{2g\Delta\eta}$ (1) で表わされる。

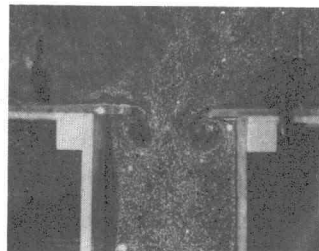


写真-1 縮流状況

また, 著者らの理論においては, 湾口で水位差 $\Delta\eta$ が生じると仮定し, 伊藤らの損失水頭として $\Delta\eta$ を用いたのと同様の式 $\Delta\eta = f v^2 / 2g$ (2) で表現している。式(1),(2)より, $f = 1/C^2$ (3) なる関係式が容易に得られ, この式(3)に実験から求めた C を代入して f を算出する。ただし, f は非定常であり周期的に変動する。(3) f の特性 — 図-2は, 上述のようにして実験から得た f の時間的特性の一例を示したものである。縦軸には f を, 横軸には時間 t/T をとり, 開口比 d/b をパラメータとしている。縦軸の f については, 縮流が港内側に生じたとき(入射時)を+, 外海側に生じたとき(放射時)を-とし, 縮流の生じていない場合を ± 1 としている。この図は, 種々の d/b に対し, 港内側に縮流が最大となった時刻を $t/T = 0$ としているが, 実際には d/b によって港湾内外の水位差 $\Delta\eta$ の位相が異なっているかもしれない。

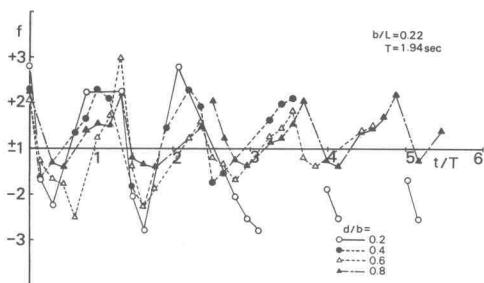


図-2 f の時間特性

図-3は, 図-2に示した f の変動曲線を入射時と放射時に区別して, それぞれの f の値を半周期にわたり積分して時間平均したものである。これは, 図-2に示したように周期性を示す f を定数として理論に適用できるかどうかを調べるた

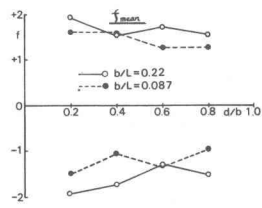


図-3 f_{mean} と d/b との関係

めで、言い換えれば、港湾内外の水位の位相によって変動する f を式(2)のいずれの位相においても、その平均値で代表させることができるかどうかについて検討するために示したものである。この図によると、 f_{mean} の値は港湾幅が小さいほど、また開口比が大きいほど小さくなる傾向を示すが、その値の範囲は1~2程度であることがわかる。

3. 理論解の実験的検討： 図-4は、開口比 d/b を変化させたときの湾奥での共振時の波高増幅率 R_R (湾奥の波高を入射波高の2倍で割った値)の変化について、実験結果と理論値とを示した一例である。図の●印が実験値を表わしているが、 f を任意に与えた理論と比較すると、 f を1~2程度とすれば理論値が妥当であることがわかる。また、同図には波のエネルギー損失を考慮していない従来の理論($f=0$ の場合)も併記しているが、共振時の波高増幅率を得るには、波のエネルギー損失の評価が必要になることがわかる。同様に、ここには示していないが、入射波高、湾内水深を変化させた場合の R_R についても、理論値と実験値とを比較すると、 f を1~2程度とすれば実験値とよく一致することを確認している。

4. 防波堤が外海に突出している場合： 著者らは、開口部の波のエネルギー損失が前述の港湾モデルとは異なるであろうと推測される図-5に示す港湾モデルに対して、湾奥での波高増幅を求める実験を行っているが、興味ある結果を得たので紹介する。

図-6は、実験により得られた応答振動特性の一例で、参考のため、防波堤が外海に突出していない($\theta=0^\circ$)場合の理論解も併記している。

横軸の l_0 は港湾の水面積 A と港湾幅 b で割った値で示しており(l_0 を換算湾長と呼ぶことにする)、 l_0 を無視することのないようにしている。この図によれば、 θ を変化させても湾奥での波高増幅率 R に顕著な変化はみられない。また、換算湾長 l_0 を用いれば、共振ピークを示す湾長も θ にかかわらずほぼ一定となっていることもわかる。ただし、このように、防波堤が外海に突出している港湾に対して、防波堤の突出していない港湾の理論解と適用できるかどうかについては、湾口での流速、縮流状況などのメカニズムをさらに詳しく検討する必要がある。

5. あとがき： 理論で仮定した式(2)を用いる場合、 f は非定常であり、また開口比、波の侵入時や放出時などによって f の値は多少変化するが、時間的平均値として1~2の値を採用すれば、理論解が実験値を十分表現できることがわかった。ここでは示していないが、 f を2とすると共振時の波高増幅率を若干小さく見積るおそれがあるので、工學上安全側にとった値として、伊藤らが示したように $f=1.5$ とすれば問題はないであろう。

最後に、本研究にあたり、実験および資料整理に御協力頂いた綱内博之氏(三井不動産建設)、岡田滋氏(安藤工業)に感謝の意を表するとともに、本研究は、文部省科学研究費試験研究(代表者：京都大学 岩垣雄一教授)による研究の一節であることを付記する。

参考文献 1) 村上・野口：湾水振動における防波堤開口部の波のエネルギー損失について、第23回海講演文集、1976。 2) 伊藤・木原：長周期波に対する防波堤の効果に関する計算(第4報) - 港口損失係数の影響一、港湾技術研究所報告、第9巻、第2号、1970。

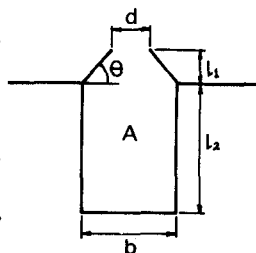
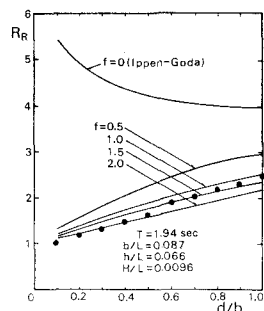


図-5 港湾モデル

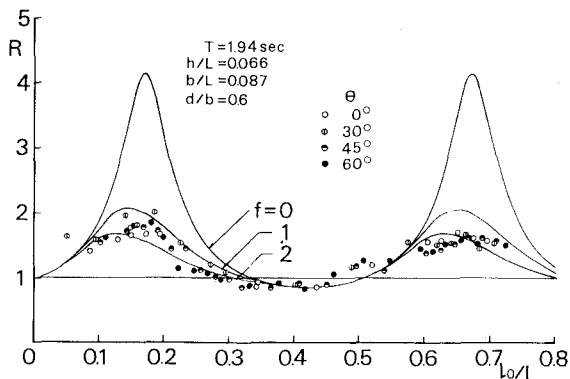


図-6 湾水の振動特性