

副振動における防波堤開口部の流体抵抗

九州大学工学部 正員 吉田明徳

学生員 〇 中原和秀

学生員 吉田清三

1. まえがき

港湾の副振動を理論解析により十分な精度で推定するためには、防波堤開口部や湾内狭小部でのエネルギー損失の効果をポテンシャル理論に基づく理論解に妥当に評価することが必要である。理論解析において、エネルギー損失の効果は防波堤内外の水圧差が流速の二乗に比例するとしてモデル化できるが、損失係数の値については十分に究明されておらず、理論解に十分な信頼がけない原因のひとつになっている。本研究は、造波水槽内に設けた港湾模型について防波堤位置や形状等を種々変えて実験を行ない、増幅率（湾奥表高/入射表高）についてエネルギー損失を考慮した理論解と実験値の比較より損失係数の推定を行なったものである。

2. 実験方法

実験には、長さ17m、幅2m、深さ0.4mの水路をブロックで作製し、その一端にフラップ式造波装置を設けた水槽を使用した。港湾模型は湾幅0.4m、湾長1.6mの矩形港湾をベニヤ板で作製した。入射波高は造波板前方5mで、また湾内表高は湾奥の側壁前方1cmで、容量式波高計を用いて測定し、波高計の出力をストレージシロスコープに記録させた後、ブラウン管上で読み取り、増幅率を算出した。

水深は0.2mとし、入射波の周期は3秒、波高はほ

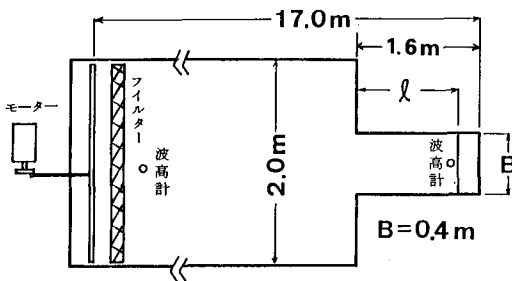


図-1

ぼ1cmとして、図-2～図-6中に示すような、各防波堤条件について湾長 l を4cmまで変えて、増幅率を求めた。

3. 理論解における損失係数の評価

水槽内に設けた港湾模型の水面振動は水槽側壁の影響を大きく受けるため、実験値と比較して損失係数を推定するための理論解として従来の外海に面した港湾についての理論解を用いることはできない。そこで、参考文献(1)に示す水槽内にある模型港湾内の水面振動の解析法を用いて、実験値との比較を行なった。

エネルギー損失の効果をポテンシャル理論に基づく解析法に取り込むため、防波堤内外の水圧差が（必ずしも明確な水圧差が生じるわけではないが）開口部流速の二乗に比例すると仮定し、その比例定数（損失係数）を f として次式で表わす。

$$\zeta_1 - \zeta_2 = \frac{f}{2g} v^2 \cos(\omega t + \epsilon) |\cos(\omega t + \epsilon)| \quad (1)$$

上式で、 ζ_1 、 ζ_2 はそれぞれ堤内外の水面変位、 v は開口部流速の振幅、 ω は入射波の角周波数、 ϵ は入射波と開口部流速間の位相差、 g は重力加速度である。

(1)式は、流速振幅の二乗項 v^2 と時間変動についての二乗項 $\cos(\omega t + \epsilon) |\cos(\omega t + \epsilon)|$ を含むため、まずLorentzの等価変換則を用いて時間項の線形化を行なう（(1)式の時間項をフーリエ級数に展開し、その一周期積分を行なって残る奇数次の項のうち、高次の項を基本周波数成分に比べて小さいとして無視する）と、開口部の境界条件は次式で与えられる。

$$\partial \phi_1 / \partial n_1 = \partial \phi_2 / \partial n_2 \quad (2)$$

$$\phi_1 - \phi_2 = i f \beta \left| \frac{\partial \phi_2}{\partial n_2} \right| \frac{\partial \phi_2}{\partial n_2} \quad (3)$$

$$\text{ただし } \beta = (4/3\pi) \cdot (\zeta_0/h) / (v^2/g) \quad (4)$$

上式で、 ϕ_1 、 ϕ_2 は流体運動の速度ポテンシャルを $(\partial \zeta_0 / \partial t) \phi \exp(i\omega t)$ と表わしたとその防波堤内域と防波堤外域の流体運動のポテンシャル関数、 ζ_0 は入射波

の振幅、 h は水深、 l 、 l_0 は堤内域と堤外域の境界線上の外向き波線である。

(3)式は、まだ未知量である開口部流速の振幅に関する非線形項 $|\partial\phi/\partial x| \partial\phi/\partial x$ を含む。そこで、エネルギー損失を考慮しない場合 ($f=0$) の解を $\partial\phi/\partial x$ の初期値として与え、iteration により $\partial\phi/\partial x$ の値が収束するまで計算を行なって解を求めた。

4. 実験値と理論解との比較による損失係数の推定

図-2 は巷口に防波堤がある場合で、開口幅 b を3通り変化させて実験を行なった。この巷口防波堤については $f=2.0$ に取ればほぼ理論解と実験値が一致する。従来このような巷口防波堤については $f=1.5$ が用いられることが多い。 $f=1.5$ に取った場合は理論解が極大値近傍で10%程度大きくなるが、その差はそれほど大きくなく従来言われている $f=1.5$ は工学的にはほぼ妥当な値と言える。しかし、図-3 のように湾内になめらかな狭小部を有するような場合には、 $f=0.4$ 程度であり、図-2 の巷口防波堤の場合よりも損失係数は著しく小さい値を取る。図-4 のような矩形の狭小部については $f=1.4$ で実験値と理論値が一致する。図中の黒丸は $l_0/h=0.018$ 、白丸は $l_0/h=0.044$ と入射波の振幅が異なり、(3)式中の係数 β に含まれるパラメーター l_0/h の検討を行なったものである。これを見ると入射波高の影響は(3)式において妥当に評価されているようである。図-5 は巷口に突堤を設けた場合と突堤のない単純な矩形港との比較を示したものである。突堤がある場合は、 $f=2.0$ に取ることによりほぼ実験値と理論解が一致している。これを見ると図-2 のように巷口防波堤により、巷口幅を狭くしなくとも、わずかの延長の突堤を設けることにより著しく増幅率を減少させることになる。図-6 は湾内に碇堤を設置した場合で、図中に示す理論値は碇堤がないものとして単に碇堤位置において(3)式を適用してエネルギー損失を考慮した結果である。これを見ると碇堤の場合についても碇堤位置で(3)式を適用することにより、現象を表現できるようであるが、損失係数 f の値は前記の図-2 ～ 図-5 の場合と異なり、碇堤の天端高 d により、大きく異なり、値を取る。また全体的に実験値は理論解に比べて共振周長が小さく現れる傾向にあり、特に湾内に防波堤を設けた場合に著しい。

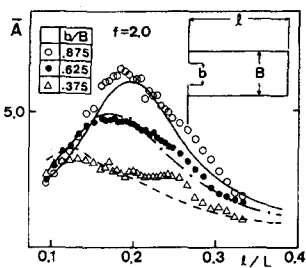


図-2

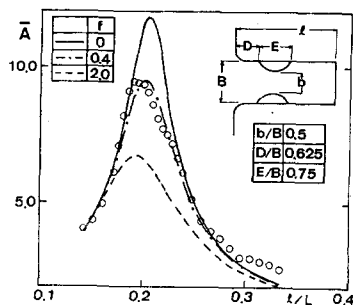


図-3

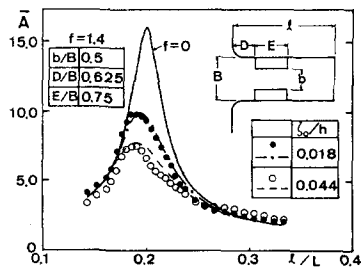


図-4

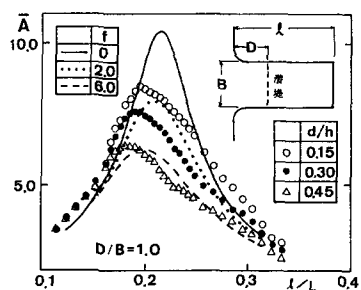


図-6

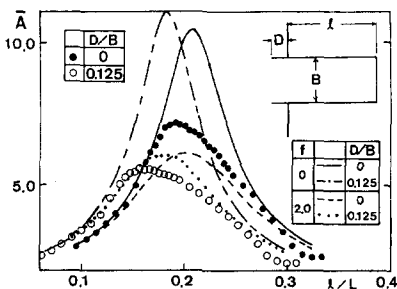


図-5

参考文献

- 1) 吉田明徳・鳥越正美：水槽側壁の影響を受ける模型巷口の共振動解析，第31回海岸工学講演会論文集，1984年11月