

複列鉛直版潜堤による波の制御

九州大学 工学部 ○学生員 木佐貴 徹 正会員 吉田 明徳
九州大学 工学部 正会員 古賀 諭志 学生員 小池 晃弘

1. まえがき 鉛直版をある間隔だけ離して複列に設置することにより、鉛直版どうしが互いに干渉する事によって生じる波の遮断効果、鉛直版に作用する波力等を流体運動の速度ポテンシャルに関する境界値問題として解析する方法を示し、その妥当性を水槽実験により確かめた。

2. 理論解析の概要 図-1に示すように、一定水深 h の海底に固定された高さ d^+ , d^- の2個の鉛直版に対し、振幅 ζ_0 、各周波数 σ の微小振幅波が入射する場合を考える。図-1中の破線で示すように、仮想境界によって流体域を領域(0), (1 $^+$), (2 $^+$)の5領域に分割し流体運動の速度ポテンシャル ϕ を次式で表わす。

$$\phi(x, z; t) = (g \zeta_0 / \sigma) \phi(x, z) \exp(i \sigma t) \quad \text{----(1)}$$

領域(1 $^+$)のポテンシャル関数 ϕ_1^+ は水底条件および微小振幅波の水面条件より次式で表わされる。

$$\phi_1^+(x, z) = \delta^{(1+)} \exp(k_0 x) Z^{(0)} + \sum_{n=0}^{\infty} C_n^+ \exp(\mp k_n x) Z^{(n)}(z) \quad \text{----(2)}$$

ただし $\sigma^2 h / g = -k_n h \text{TAN}(k_n h)$ 、 $Z^{(n)}(z) = \cos k_n(z+h) / \cos k_n h$ ($k_0 = ik$: k は入射波の波数, i は虚数, $\delta^{(1+)}$ は領域(1 $^+$)の時1それ以外では0)一方図-2に示すように境界線に対する法線 ν をとると領域(0), (2 $^+$)のポテンシャル関数はグリーンの定理より次式で表わされる。

$$\begin{aligned} \phi_0(X) &= \frac{-1}{\alpha} \int_{D_1} \left\{ \phi_0(Xb) \frac{\partial}{\partial \nu} G(r) - G(r) \frac{\partial}{\partial \nu} \phi_0(Xb) \right\} dS \\ \phi_2^+(X) &= \frac{1}{\alpha} \int_{D_2} \left\{ \phi_2^+(Xb) \frac{\partial}{\partial \nu} G(r) - G(r) \frac{\partial}{\partial \nu} \phi_0(Xb) \right\} dS \end{aligned} \quad \text{----(3)}$$

($G(r) = \log(r) + \log(r^*)$, $D_1 = S_1 + S_2^+ + S_3^+$, $D_2 = S_1^+ + S_2^+ + S_3^+ + S_4^+$, α は X が境界線上の時 π 、領域内では 2π) 仮想境界 S_2^+ では、鉛直版上を横切る流れによって渦が生じ、流速の2乗に比例する抵抗が流体に作用するものと仮定し、その係数(損失係数)を f で表わすと、仮想境界 S_2^+ における圧力の連続条件式は次式で表わされる。

$$(P_2^+ - P_0) = (\rho/2) f |V| V \quad \text{----(4)} \quad (\text{ただし } \rho \text{ は流体密度、} P \text{ は各領域の圧力})$$

(3)式を数値的に解くため各領域での境界条件のもとで(3)式を離散化し境界要素上の ϕ および $\partial\phi/\partial\nu$ に関する連立方程式に帰着させる。この際(4)式より境界条件には非線形項である流速の2乗項が含まれる事になるが時間についてはLorentz⁽¹⁾の等価仕事則による線形化を行い、さらに線形解($f=0$)を第1次近似とする繰返し計算を行って数値解を求めた。

(2)式より、反射率 Kr 、通過率 Kt は次式で与えられる。

$$Kr = |C_0^+|^2, \quad Kt = |C_0^-|^2 \quad \text{----(5)}$$

鉛直版に作用する波力は、次式で算定される。

$$\begin{aligned} F_H^+ &= i \rho g \zeta_0 h \left\{ - \int_{S_3^+} \phi_0 dz + \int_{S_3^+} \phi_2^+ dz \right\} \\ F_V^+ &= i \rho g \zeta_0 h \left\{ \int_{S_3^+} \phi_0 dx - \int_{S_3^+} \phi_2^+ dx \right\} \end{aligned} \quad \text{----(6)}$$

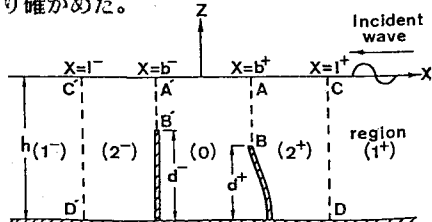


図-1 領域分割図

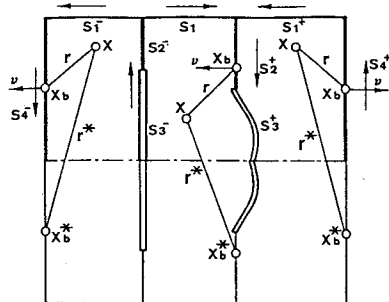


図-2 積分領域図

3. 理論値と実験値の比較

理論値と実験値の比較を図-3～図-6に示す。実験は、二次元水路(幅0.3m,長さ28m)を用い、水深を0.35m、入射波高を4cmに取り、容量式波高計を用いて入射波高、反射波高を測定した。また反射率は堤体前方に設置した2本の波高計より入・反射波の分離推定法⁽²⁾を用いて算定した。波力は鉛直版を固定した断面2cm*2cmの鋼棒に歪みゲージを

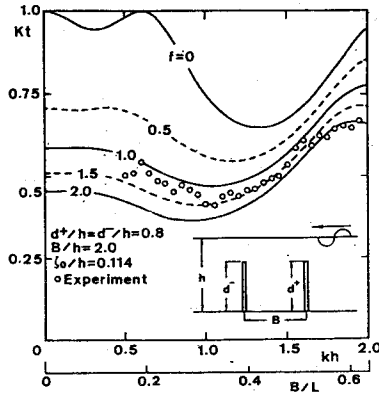


図-3 通過率

はり、その出力電圧を測定して波力⁽³⁾を算定した。図-3の通過率を見ると $f=0$ の場合、理論値は実験値に比べて大きな値を与えておりエネルギー損失を考慮しない場合、理論値は波の遮断効果を著しく過小評価する事になる。実験値は $f=1.0$ と $f=2.0$ の理論値の間にあり、 $f=1.0$ と $f=2.0$ では理論値にそれ程の差がなく、実用上は $f=1.5$ 程度に取れば良いと思われる。ただし図-4の反射率を見ると実験値の方が理論値より一様に0.1程度小さい。これは日野等⁽⁴⁾が指摘しているように、鉛直版上端での渦の生じ方が入射波側と通過波側で同じでないことによると考えられる。図-5は前後の鉛直版に作用する波力の合成波力 F_s を示したもので、 F_s は鉛直壁に作用する重複波の波力 $(F_s = 2 \rho g \zeta_0 h (\tanh(kh)/kh))$ である。比較的波長の短い場合には理論値と実験値は良く一致しているが、波長が長くなるにつれて実験値が理論値より小さくなる傾向がある。 $kh=1.6$ 近傍で合成波力が著しく小さくなっているのは、前列の鉛直版と後列の鉛直版に作用する波力の大きさがほぼ等しく、両者の位相差が図-6に示したように逆位相となるためである。波の遮断効果を最大にする鉛直版の間隔は波長の3割程度で、入射波長に対して比較的短くて良く、また通過率の変化は比較的ゆるやかなため $B/L=0.4\sim0.45$ 程度に取り、かつ前後の鉛直版を一体構造とする事によって波の遮断効果をそれほど落とさず、全体として堤体に作用する波力をきわめて小さくすることが可能であるといえる。

4. あとがき 解析法の妥当性を水槽実験により検討した結果

損失係数を $f=1.5$ 程度に取る事によって実際の現象を十分な精度で推定できる事が確かめられた。また本解析法は海底に垂直な鉛直版に限らず任意の形状の曲面版であってもそのまま適用できる。

参考文献

- (1) R.G.Dean and R.A.Dalrymple:Prentice-Hall, Inc, pp146-147
- (2) 合田, 鈴木, 岸良, 菊地: 港湾技研資料, No.248, 1976
- (3) 日野, 木佐貫, 古賀, 吉田: 昭和61年度 西部支部概要集, pp204-205
- (4) 日野, 山崎: 土木学会論文集, 第190号, pp75-80, 1971

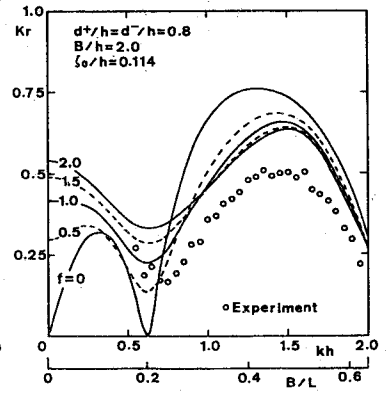


図-4 反射率

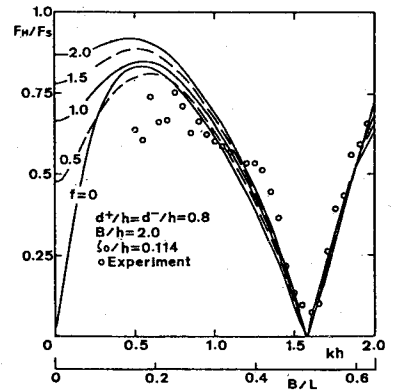


図-5 合成波力

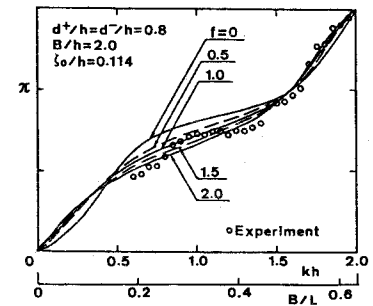


図-6 位相差