

斜め入射波に対する透過性防波堤の消波特性と波力

九州大学工学部 ○学生員 宇都宮道明 正会員 小島治幸
九州大学工学部 学生員 坂本圭 正会員 牛房幸光

I. はじめに 近年、港内の水質保全のため海水交換を促し、同時に防波堤前面の静穏度向上を図るために反射波の低減効果を持つ透過性防波堤の建設が見られるようになった。その設計の際に通過率、反射率の許容量を満足する断面構造や形状を決定することが最大の課題となり、その合理的な算定法の確立が望まれる中、著者らは斜め入射波にまで対応する解析的な算定法⁽¹⁾を示した。本研究は、模型実験によりその解析法の妥当性を明らかにすること、さらに、この解析法を波力計算まで拡張し、縦スリット式防波堤に作用する斜め入射波に対する波力の特性を解明することを目的とする。

II. 理論解析 解析法の概略と波力の表示式の誘導を示すと次のようになる。図.1に示されるように、 x, y, z 軸を取って、水深 h の海域に一樣な空隙を有する透過性防波堤(一樣透過性堤体)がある場合、 x 軸と θ の角度をなして角周波数 σ ($=2\pi/T$; T は周期)、振幅 a_0 の規則波が $-x$ 方向に進行し、流体運動は非粘性、非圧縮の完全流体の微小振幅波運動であると仮定すると、その速度ポテンシャル $\phi(x, y, z; t)$ は次式で表わされる。

$$\phi(x, y, z; t) = ga_0 / \sigma \phi(x, y, z) \exp(-i\sigma t) \quad (1)$$

ここで g は重力加速度で、関数 $\phi(x, y, z)$ はラプラス方程式を満足すべき無次元の関数(ポテンシャル関数)である。図.1のように仮想境界面 $AB, A'B'$ を設けて流体域を(I)~(VI)の7つに分割し、各領域におけるポテンシャル関数を $\phi_0 \sim \phi_6$ で表わすとする。透過性壁体の領域では領域内の空隙率を $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ として、流体運動に対する抵抗を相対速度と加速度とに比例するものとして、それぞれの抵抗係数 μ_1, μ_2 を導入することによって、この領域内の流体運動を(1)式と同じ形の速度ポテンシャルで表示できる。領域(I)~(V)においては X - Z 平面における速度ポテンシャル $\phi_{1, 2, 3, 4, 5}(x, y, z)$ は未知関数 $f_{1, 2, 3, 4, 5}(x, z)$ を用いて次式で表わされる。

$$\phi_{1, 2, 3, 4, 5}(x, y, z) = \exp(iky) f_{1, 2, 3, 4, 5}(x, z) \quad (2)$$

ここで、 k は分散方程式 $\sigma^2 h / g = k h \tanh(kh)$ を満たす入射波の波数である。未知関数 $f_{1, 2, 3, 4, 5}(x, z)$ はヘルムホルツの方程式を満たすので、その特解である変形Bessel関数をグリーン関数として、グリーン関数の式で表わされる。この式を離散化し、そして各境界における境界条件を用いて、複素係数連立一次方程式を算出し、それを解くことによって、未知関数 $f_{1, 2, 3, 4, 5}(x, z)$ が求まる。ここで、壁体に作用する流体動圧力を $p(x, z) \exp(-i\sigma t)$ $|_{y=0}$ とすると、 $p(x, z) = i\rho ga_0 f(x, z)$ より、前列及び後列の堤体にかかる最大水平波力はそれぞれ次式で与えられる。

$$F_1 / F_S = \sum_{j=1}^{N_z} i(f_4(j) - f_1(j)) \Delta s_j / 2h \tanh(kh) / kh \quad F_2 / F_S = \sum_{j=1}^{N_z} i(f_3(j) - f_4(j)) \Delta s_j / 2h \tanh(kh) / kh \quad (3)$$

ここで、 Δs_j は離散化された境界上の要素長で、 F_S は $F_S = 2\rho ga_0 h (\tanh(kh) / kh)$ で表わされる直立壁に作用する完全重複波の波力である。また、前後の壁体を一体とみなした場合の合成波力は、 $F_T / F_S = (F_1 + F_2) / F_S$ で表わされる。

III. 実験による検証 解析法の検証のため、縦スリット壁体を対象とした水槽実験を行い通過率と反射率を求めて、解析解との比較を行った。実験は図.2に示すように長さ22mの平面水槽を使用し水深35cmで、波高4cmの波を相対水深 $h/L = 0.12 \sim 0.32$ の範囲で入射させた。模型堤体を入射波に対して $\theta = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ に変えて実験を行った。入射波高、通過波高ともそれぞれ2~3本の容量式波高計で計測し、それらの平均

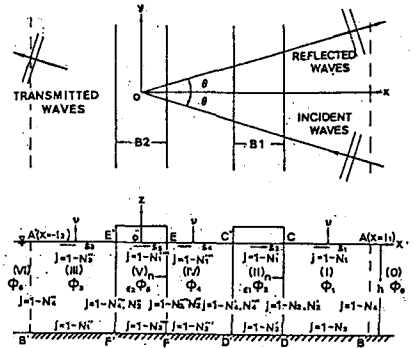


図.1 透過性防波堤モデルの流体域

とした。反射率は、堤体のほぼ中間点の法線上に2～4本の波高計を設置して、分離推定法及びヒーリーの方法の両者を用いて測定した。図.3は、1列の場合の通過率(K_t)と反射率(K_r)の結果を相対水深(h/L)を横軸として示している。反射率の実験値はかなりのばらつきがみられるが、通過率に関しては、解析解と実験値はよく一致しており、この解析法が妥当な解を与えていると考えられる。2列壁体についても同様に理論値が実験値によく合う結果が得られている。

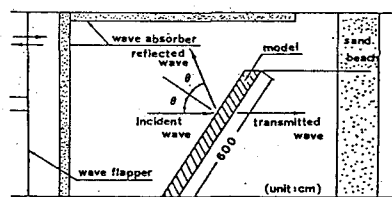


図.2 実験水槽

また、波力の検証のため垂直入射に対する1列壁体に作用する波圧の鉛直分布の実験値と $\theta=0^\circ$ のとき理論計算は発散してしまうため $\theta=0.5^\circ$ のときの理論値との比較を図.4に示す。このとき、後面の波力について実験値が理論値に比べてやや大きめに出ているものの、この場合も理論値と実験値はほぼ一致しており、波力においても解析法は妥当な解を与えていると言える。これらのことより、実験を行った範囲では、入射角が変わっても計算に必要な抵抗係数は垂直入射で決められた値を用いればよく、また縦スリット壁体を一樣透過性壁体と仮定しても妥当な理論値が得られることが確認された。

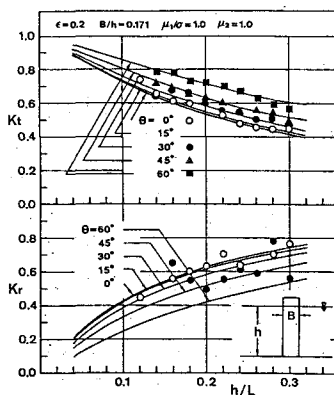


図.3 1列壁体の通過率及び反射率

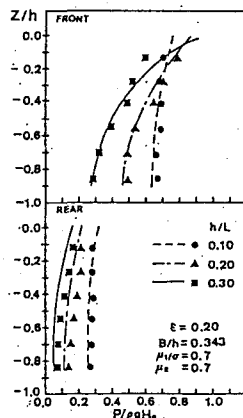


図.4 波圧の鉛直分布

IV. 波力に関する数値計算

図.5は開口率20%の1列縦スリット壁体に作用する水平波力を h/L を横軸として示したものである。入射角が大きくなるにつれて、相対水深にかかわらず、波力が一様に低減することがわかる。特に θ が 45° を越えるとその傾向が顕著に見られ、図.3に示す反射率と同様の傾向を示している。

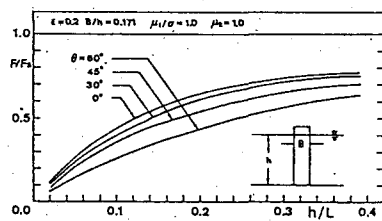


図.5 1列壁体に対する波力

次に、2列壁体において、壁体間隔と波長比(D/L)を変えたときの入射角に対する、前壁と後壁に作用する波力(F_1 と F_2)及び合成波力(F_T)を図.6に示す。壁体間隔が波長に比べて小さいとき($D/L < 0.3$)には、 F_1, F_2, F_T とも入射角度が大きくなるにつれて波力は一様に低下するが、 $0.3 \leq D/L \leq 0.5$ のときは入射角が大きくなるとそれらの波力は逆に増大し、波力最大値は D/L が大きいほど入射角の大きいほうに動き、 $40^\circ \sim 60^\circ$ の範囲にくる。特に、壁体間隔が波長の半分($D/L=0.5$)のとき、合成波力が $\theta=10^\circ$ 付近から急激に増加している。 $D/L=0.6$ となると、前壁体にかかる波力と合成波力が $\theta=0 \sim 40^\circ$ くらいまで急激に減少し、その後一度上昇してから再び低下する傾向が見られる。

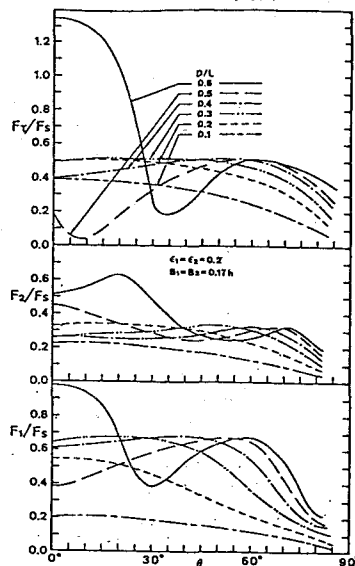


図.6 2列壁体に対する波力

V. あとがき 今回、模型実験により、斜め入射波に対する透過性防波堤の消波特性に関する数値算定法の妥当性を検証し、さらに波力特性について明らかにした。今後は、広い範囲の条件における水理実験と数値計算を行い、この算定法の妥当性を検証する予定である。

参考文献：(1)小島ら；斜め入射波に対する透過性防波堤の消波特性、第38回海岸工学講演会論文集、1987