

縦スリット式防波堤の波力特性

九州大学 ○学生員 坂本 圭 正会員 小島治幸
九州大学 学生員 宇都宮道明 正会員 牛房幸光

1. はじめに 近年、海水交換を促し、反射波を低減する機能をもつ透過性防波堤に関する研究が盛んに行われている。著者らも規則波および不規則波に対する透過性重力式防波堤の一形式である縦スリット式防波堤の消波特性を理論解析と水理模型実験により明らかにしてきた^{(1),(2)}。今回は、その防波堤に作用する波力の特性を究明することを目的として、理論解析の妥当性および堤体幅と波長の比や開口率の違いによる波力への影響を検討した。

2. 波力の表示式 縦スリット部を有した壁体は、図-1に示すように、水平の断面形状が鉛直軸対称ですべて同じの柱状体が等間隔 w_0 で直線上に並んでいるものと考えられるため、図-1に示すような流体域を考えればよい。小島ら⁽¹⁾の解析法にしたがうと、この一定水深 h の流体域に角周波数 $\sigma (=2\pi/T; T$ は周期) 振幅 a_0 の規則波が $-x$ 方向に進行する場合の流体運動は、非粘性、非圧縮性の完全流体の微小振幅波運動と仮定すると、その速度ポテンシャル $\phi(x, y, z; t)$ は次式で表わせる。

$$\phi(x, y, z; t) = g a_0 / \sigma \cdot \phi(x, y) \cdot Z(z) \cdot \exp(-i \sigma t) \quad (1)$$

ここで、 g は重力加速度、 $Z(z)$ は $Z(z) = \cosh k(z+h) / \cosh kh$ で、 k は分散方程式を満足する入射波の波数であり、 $\phi(x, y)$ はヘルムホルツの方程式を満足する無次元の関数(ポテンシャル関数)である。解析の便宜上、図-1のように仮想境界面を設けて流体域を分けそれぞれの領域のポテンシャル関数を ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 とする。これらの未知関数を0次の第一種ハンケル関数を用いてグリーンの公式で表わし、スリット内の流体運動は流速に比例する抵抗係数 μ_1 と加速度に比例する抵抗係数 μ_2 を導入して抗力項を線形化した運動方程式で表わす。ここで、グリーンの公式を離散化してスリット内の運動方程式から得られる境界条件と入射波側と通過波側の仮想境界上の条件式を適用して複素係数連立1次方程式を導き出し、決められた抵抗係数を入れてそれを解くことにより未知量のポテンシャル関数 ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 を求めることができる。これより、縦スリット壁体に作用する流体動圧力を $p(x, y, z) \exp(-i \sigma t)$ すると、 $p(x, y, z) = i \rho g a_0 \phi(x, y) \cdot Z(z)$ より各壁体に作用する水平波力は次式で表される。

$$F_1/F_s = i \sum_{n=1}^{N_3} \{\phi_3 - \phi_1\} \Delta S_i \cdot h / Q, \quad F_2/F_s = -i \sum_{n=1}^{N_3} \{\phi_3 - \phi_1\} \Delta S_i \cdot h / Q \quad (2)$$

ここに、 Q は壁体の幅、 H は入射波高、 ΔS_i は離散化された境界上の要素長、 F_s は直立壁に作用する完全重複波の波力で $F_s = \rho g H Q h \tanh(kh) / kh$ である。また、前壁体と後壁体の波力の位相差は $\theta = \arg(F_2) - \arg(F_1)$ で求められ、前後の壁体を一体と考えた場合の合成波力 F_T は $F_T/F_s = (F_1 + F_2)/F_s$ で与えられる。

3. 実験方法 実験は、全長28m、幅0.3mの水路を用い、水深を0.35mの一定として入射波高約4cmの規則波を相対水深(h/L)を0.08~0.36まで変えて模型堤体に作用させた。測定は、容量式波高計により入射波高と通過波高を計測して通過率を求め、反射率の測定には分離推定法を用いた。波圧分布の測定は、拡散型半導体圧力センサーを用い、鉛直方向に5cmおきにその分布を測定した。また、壁体に作用する波力の測定は、鋼棒を埋め込んだコンクリート塊を水路上に定着させ、その鋼棒に堤体を固定し、歪ゲージをブリッジ回路をなすようにはり、それから得られる電位差から波力を算定した。

4. 結果と考察 図-2は、1列壁体の前面と後面に作用する波圧の鉛直分布の測定値と理論値を示す。後面の波圧分布において理論値の方が測定値に比べやや小さくなる場合もあるが、両者はよく一致して

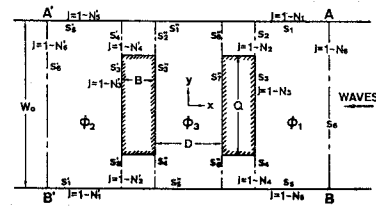


図-1 流体域図

おり、また波圧の分布を積分することにより得られる波力も図-3に示すように測定値が理論値とほぼ一致していることより、この解析法が波力を計算する際も妥当であることが確認された。

図-4は、2列壁体の壁体間隔(D)と波長(L)の比に対する各壁体に作用する波力(F_1, F_2)と前後壁体を一体としたときの合成波力(F_T)、 F_1 と F_2 の位相差および通過率(K_t)と反射率(K_r)を表している。壁体間隔が波長に比べて小さい場合($D/L < 0.2$)は、各壁体にかかる波力は

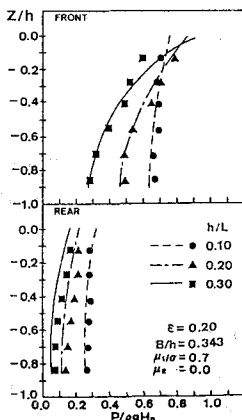


図-2 波圧の鉛直分布

となるが、通過率が0.5以上と高い値を示す。 D/L が大きくなるにしたがって、通過率は下がり、反射率は逆に高くなっていき、これにともない前壁の波力が大きくなる。その後、 F_1 はいったん減少するが、 $D/L=0.55$ 付近から急激に増大する。この付近は、 F_2 が F_1 よりも大きくなる場所でもある。合成波力 F_s は、 $D/L=0.5$ で前壁と後壁にかかる波力の位相差が逆位相となり前後の波力が相殺してほぼ零となり、堤体には波力がほとんどかからない状態となる。また、 $D/L < 0.5$ では、 F_T は最大でも F_s の60%程度で、透過性防波堤による波力の軽減効果が現れている。しかし、壁体間隔と波長の比が0.5よりも少しでも大きくなると、合成波力は急激に増大し、 F_s よりも大きくなる。このことは、入射波の波長が壁体間隔の2倍よりも小さくなると透過性の防波堤にかかる波力が不透過な直立堤のそれよりも大きくなることを意味し、構造物の安定性に関して非常に悪い条件となる。この様に、ある特定の波長で2列壁体に作用する波力が急激に増大する特性を、壁体の開口率や厚さを変えそれらの組合せにより、回避できるかを計算で調べたのが図-5である。結果的にはどの場合も、 $D/L=0.5$ 付近で波力は最小値を示し、それよりも大きくなると急に増大する傾向を示した。しかし、前壁の開口率を $\varepsilon_1=0.1$ と小さくした場合(実線)、 D/L が小さいところで波力は高くなるが、 $D/L > 0.5$ のところではその最大値が完全重複波の波力とほぼ同じで、計算を行った内では最も小さな値となる。逆に前壁の開口率を $\varepsilon_1=0.3$ と大きくすると、波力は、 D/L が小さいところで F_s の50%以下と低減するが、 $D/L > 0.5$ で急激に大きくなり最大値が $F_T/F_s=1.5$ 以上になる。

5. あとがき この研究では、波力に関する理論解析の妥当性を検討し、縦スリット2列壁体の波力特性を明らかにした。それによると、堤体幅が入射波長の半分より長くなると、堤体に作用する全波力が非常に大きくなるといった特性のあることが判明した。現在、この特性を抑えて広い範囲の入射波長に対しても安定した構造となる条件、例えば3列壁体等について研究を進めている。

参考文献：(1)小島ら；縦スリット式防波堤の水理特性の算定法に関する研究、第33回海講演文集、1986
(2)小島ら；不規則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、第34回海講演文集、1987

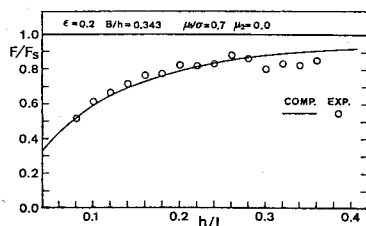


図-3 波力の理論値と実験値

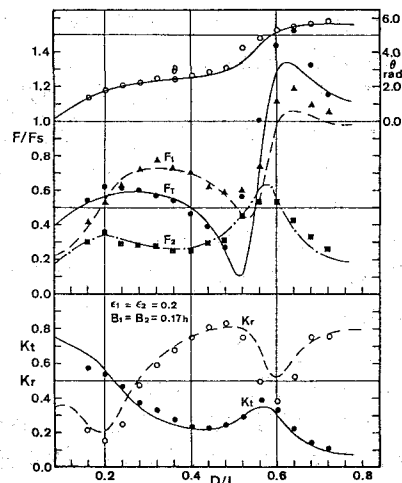


図-4 2列壁体の波力と通過・反射率

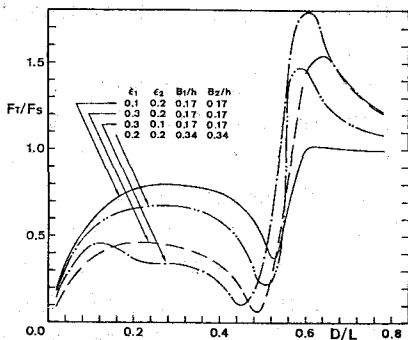


図-5 2列壁体の合成波力の計算値