

複列鉛直版潜堤による波の制御 (斜め入射波の場合)

九州大学 学生員○雑賀智雄
高松工業高等専門学校 正員 鶴本良博
九州大学 正員 吉田明徳

1. まえがき 昨年度の当研究発表会²⁾ および海岸工学講演会³⁾において、鉛直版をある間隔離して設置することにより、鉛直版どうしが互いに干渉すること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って確かめた。今回、解析を斜め入射波に対しても拡張し、複列鉛直版潜堤の斜め入射波に対する波の遮断効果と波力について解析した結果について報告する。

2. 理論解析の概要 解析法の概略を示すと次のようになる。図-1に示すように、水深 h の海域に一定の間隔でおかれた複列鉛直版潜堤に対し x 軸と θ の角度をなして角周波数 $\sigma (=2\pi/T)$ (T は周期)、振幅 a_0 の規則波が入射するものとする。仮想の境界面によって流体域を (0) 、 (1^+) 、 (2^+) に分割する。このとき、各流体域のポテンシャル関数 $\phi(x, y, z)$ {速度ポテンシャル $\Phi(x, y, z; t) = (g a_0 / \sigma) \phi(x, y, z) \exp(i \sigma t)$ } は、 X - Z 平面における速度ポテンシャルの変動を表す未知関数 $f(x, z)$ を用いて次式で表せる。

$$\phi(x, y, z) = \exp(-iky \sin \theta) f(x, z) \quad (1)$$

閉領域 (0) 、 (2^+) の未知関数 $f(x, z)$ は変形ベッセル関数 $k_0(kr \sin \theta)$ をクリーン関数とすると次式で表すことができる¹⁾。

$$f(x) = \pm (1/\kappa) \int_0^\infty \{k_0(kr \sin \theta) \bar{f}(\lambda b) - k_0(kr \sin \theta) f(\lambda b)\} ds \quad (2)$$

一方、仮想境界面 CD と $C'D'$ を堤体から十分離して取るものとする、領域 (1^+) では入射波と反射波が、領域 (1^-) では通過波のみが存在することになり $\phi_1^+(x, y, z)$ 、 $\phi_1^-(x, y, z)$ は次式で与えられる。

$$\phi_1^+(x, y, z) = \exp(-iky \sin \theta) \{ \exp(ikx \cos \theta) + Kr \exp(-ikx \cos \theta) \} C(z) \quad (3)$$

$$\phi_1^-(x, y, z) = Kt \exp(-iky \sin \theta) \exp(ikx \cos \theta) C(z) \quad (4)$$

$C(z)$ は $C(z) = \cosh[k(z+h)] / \cosh(kh)$ 、 k は分散方程式 $\sigma^2 h / g = k \tanh(kh)$ を満たす入射波の波数である。また、 Kt は通過率と通過波の位相を表し、 Kr は反射率と反射波の位相を表す定数である。鉛直版潜堤上の仮想境界では、鉛直版を横切る流れによって渦が生じ、流速 (v) の自乗に比例する抵抗 (比例係数 C_D) が流体に作用するものとして、仮想境界における圧力 P の連続条件を次式で表す²⁾³⁾。

$$P_2^+ - P_3 = \rho \cdot (C_D / 2) |V| |V| \quad (\text{ただし } \rho \text{ は流体の密度}) \quad (5)$$

微小振幅波の水面条件、(3)(4)式より得られる仮想境界面での連続条件、(5)式の鉛直版上での圧力の連続条件、鉛直版上での不透過条件を、離散化した(2)式に用いて複素係数連立一次方程式を導き、それを解くことによって、離散化した境界要素 ΔS_i 上の未知関数 $f_0(j)$ 、 $f_2^+(j)$ 、 $f_2^-(j)$ および反射率 Kr と通過率 Kt を求めることができる。前列及び後列の潜堤にかかる水平波力は鉛直版上の $f_0(j)$ 、 $f_2^+(j)$ 、 $f_2^-(j)$ よ

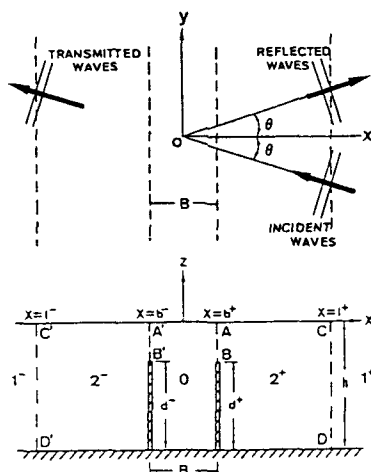


図-1 潜堤モデルと座標形

り次式で算定される。

$$F_1/F_s = \sum i(f_3(j) - f_2^*(j)) \Delta s_j / 2h \tanh(kh) / kh \quad (6)$$

$$F_2/F_s = \sum i(f_2^*(j) - f_3(j)) \Delta s_j / 2h \tanh(kh) / kh \quad (7)$$

F_s は $F_s = 2\rho g \zeta_0 h (\tanh(kh) / kh)$ で表される直立壁に作用する完全重複波の波力である。前後の潜堤を一体と見なした場合の合成波力は $(F_1 + F_2) / F_s$ で与えられる。

3. 数値計算 鉛直版の間隔 $B/h=2.0$ 、鉛直版の高さが $d^+/h=$
 $d^-/h=0.8$ と 0.9 について波の入射角 θ を $0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ に変
 化させた計算を行って、通過率、反射率、および前後の鉛直版に
 作用する波力とそれらの合成波力に対する入射角の影響を調べた。
 $d^+/h=d^-/h=0.9$ の場合について通過率と反射率をそれぞれ図-2(a)
 , (b)に示している。入射角 θ が大きくなるにつれて通過率は入射
 波の波長によってそれほど変化しなくなり、その値も一様に大き
 くなる。垂直入射の場合に比べ、斜め入射波に対しては波の遮断
 効果が減少することがわかる。反射率も入射角の増大につれて kh
 に対する変化がゆるやかとなるか、通過率に比べると反射率が極
 小および極大値をとる明確な kh の値がある。ただし、通過率、反
 射率とも入射角 $\theta=30^\circ$ くらいまでは入射角による変化は小さく、
 波の遮断効果はそれほど減少しない。これらの傾向は $d^+/h=d^-/h=$
 0.8 の場合についても同様である。図-3は前後の鉛直版に作用す
 る合成波力で、鉛直壁に作用する完全重複波の波力 F_s に対する比
 で示している。合成波力は入射角が増大するにつれて長波長(kh
 < 1.0)では減少し、逆に短波長($kh > 1.0$)では増大する傾向にあ
 る。入射角 θ が 0° の場合には $B/L=0.5$ となる近傍では合成波力は
 減少し、 $B/L=0.5$ でほぼ0となるが、入射角が大きくなるにつれて
 合成波力が極小となる kh の値は大きくなる。斜め入射の場合には
 入射方向の見かけの堤体幅は大きくなるから、合成波力の極小値
 は B/L の小さい方へ移るように思えるか、合成波力が x 軸方向の合力を表しているため、入射角が増大する
 につれて鉛直版間隔は波長に対して相対的に小さくなるため、斜め入射波の場合には鉛直版に沿って合
 成波力の位相が周期的に変動することになる。

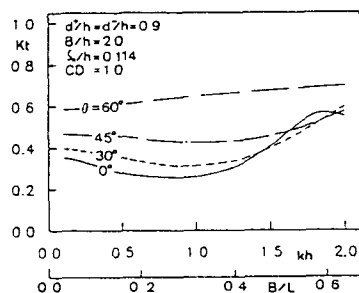


図-2(a) 通過率

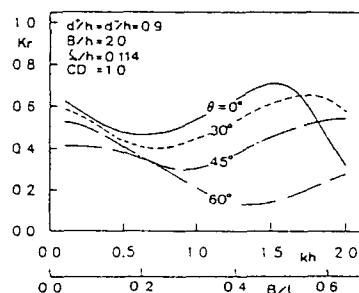


図-2(b) 反射率

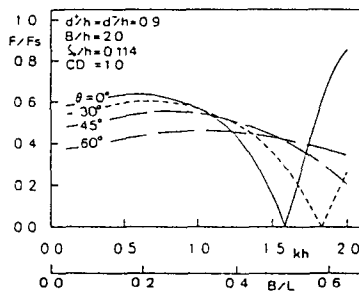


図-3 合成波力

4. あとがき 斜め入射波に対しては垂直入射の場合に比べて鉛直版潜堤による波の遮断効果は減少することわかった。ただし、その減少の割合は入射角が 30° くらいまではそれほど大きくない。解析法は複列のカーテンウォール防波堤に対しても容易に適用できるから、斜め入射波に対する複列カーテンウォール防波堤の波の遮断効果と波力の特性についても解析を行う予定である。

参考文献

- (1) 木佐貢, 吉田, 古賀, 小池: 複列鉛直版潜堤による波の制御, 西部支部研究発表会講演概要集, 1988年
- (2) 吉田, 木佐貢, 古賀, 小島: 複列鉛直版潜堤による波の制御, 第35回海岸工学講演会論文集, 1988年
- (3) 井島, 吉田, 北山: 斜め入射波に対する潜堤の反射効果に関する数値解析, 第29回海岸工学講演会論文集, 1982年