

透過性構造物の防波機能に関する 2, 3 の推定法について

正員 近 藤 俣 郎 *
○正員 藤 間 聡 **

1. ま え が き

種々の消波用異形ブロック、捨石等を用いて入射波の一部を後方水域に伝達させる透過性防波構造物が広く使用されている。しかし構造物の空隙率、幅員、抵抗係数及び作用する波の諸要素が複雑に防波機能に影響を及ぼすため、この種の構造物の水理特性を把握するためには従来主として実験的に検討を行って来た。

近年数種の理論式が提唱され、^{1), 2), 3)} 反射及び伝達機能に理論的解析が加えられるようになった。

本文では微小振幅長波理論を用いて反射率、伝達率、相対幅員及び構造物の前面、内部の波高分布の推定を行ない、又ポテンシャル理論を用いて反射率、伝達率を推定する既往の理論と比較検討を試みた。

なお実験は水底が水平かつ不透水という条件下で行い、用いた構造物は、規則正しい空隙を有する直立格子構造物である。この研究の一部は第19回海岸工学講演会において発表済みである。⁴⁾

2. 長波理論による計算法

理論式は発表済みであるので、^{4), 5), 6), 7)} 計算手順の都合上必要な式のみをあげておく。

構造物の空隙率を λ 、幅員を B 、透水係数を k とする。構造物内部に進入した長波は進行距離につれて指数関数的に減衰すると考え波形を次のように表わす。

$$\eta = \frac{H}{2} \sin(\sigma t - mx) = \frac{H_0}{2} e^{-nx} \sin(\sigma t - mx) \dots (1)$$

上式中 H_0 、 H はそれぞれ $x=0$ 、 x における波高を示し、 m 、 n は次式で表わされる。

$$m = \left[\frac{\sigma^2}{2gh} (\sqrt{1+F^2} + 1) \right]^{1/2} \dots (2)$$

$$n = \left[\frac{\sigma^2}{2gh} (\sqrt{1+F^2} - 1) \right]^{1/2} \dots (3)$$

$$F = \lambda g / k \sigma \dots (4)$$

以上の m 、 n 及び乱流状態における透水係数 k_t は構造物内部の流速の関数となる。それでこれらの値を求めるために、構造物内で平均的な代表流速を決定しなければならない。この計算では構造物中央の流速を代表流速として、初期値を与えて誤差が 1% 以下になるまで繰返し計算を行い決定した。このようにして得られた流速を用いて前面及び後面の反射率、伝達率を次式で求める。

前面における反射率及び伝達率

$$K_{tf} = \left[\frac{4}{C_f^2 + 2M_f(1+j_f)+1} \right]^{1/2} \dots (5)$$

$$K_{rf} = \left[\frac{C_f^2 - 2M_f(1+j_f)+1}{C_f^2 + 2M_f(1+j_f)+1} \right]^{1/2} \dots (6)$$

上式中 j_f は損失係数である。

$$M_f = \frac{\lambda}{\sqrt{2}} \left[1 + \frac{1}{\sqrt{1+F_f^2}} \right] \sqrt{\frac{1}{1 + \sqrt{1+F_f^2}}} \dots (7)$$

$$C_f = \frac{\lambda}{[1 + F_f^2]^{1/4}} \dots (8)$$

後面における反射率及び伝達率

$$K_{tb} = \left[\frac{4 - 2j_b}{C_b^2 + 2M_b + 1} \right]^{1/2} \dots (9)$$

$$K_{rb} = \left[\frac{(1 - j_b)(C_b^2 + 1) - 2M_b}{C_b^2 + 2M_b + 1} \right]^{1/2} \dots (10)$$

*室蘭工業大学 助教授

**室蘭工業大学 助 手

上式中 $j b$ は損失係数である。

$$M_b = \frac{\sqrt{2}}{\lambda} \frac{\sqrt{1 + \sqrt{1 + F_b^2}}}{\left[1 + \frac{1}{\sqrt{1 + F_b^2}} \right]} \dots (11)$$

$$C_b = \frac{\left[1 + F_b^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{\lambda} \dots (12)$$

以上求まったものを用いて伝達率，反射率を求める。

a ，伝達率 K_T

入射波高と後方水域に出現する伝達波高との比を伝達率とすると，次式で求められる。

$$K_T = K_{tf} e^{-n_i B} K_{tb} \dots (13)$$

上式から反射率 K_R は

$$K_R = \left[K_{rf}^2 + K_{tf}^2 K_{rb}^2 K_{tbf}^2 e^{-2(n_i + n_r)B} + 2 K_{rf} K_{tf} K_{rb} K_{tbf} \times e^{-(n_i + n_r)B} \cos(-2 m_i B + \alpha_{rb} + \alpha_{tbf} + \alpha_{if} - \alpha_{rf}) \right]^{\frac{1}{2}} \dots (15)$$

上式中 K_{tbf} は構造物後面で反射した波の構造物内部から，前方水域に伝達される伝達率であり， α_{tbf} はそのときの位相差である。

このようにして求めた K_R 及び K_T と実験値と比較したものが図- 2及び図- 3である。

伝達率は水深を同じとすれば周期 T が大きい程，また幅員 B が小さい程理論値と実験値が合い，また水深 h が小さい程一致する傾向がある。反射率の方も伝達率と同じことが云える。

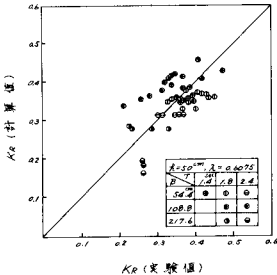


図- 2 反射率の計算値と実験値

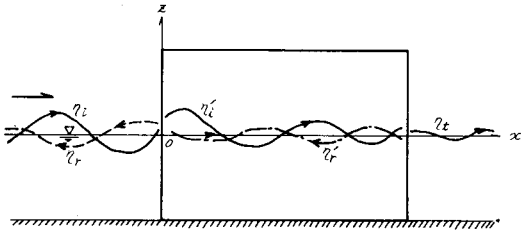


図- 1 透過性構造物内および前後の波形

b ，反射率 K_R

反射率は前面での反射と後面からの反射とを合成したものとする。波形は次のように考える。

$$\eta_R = \eta_r + \eta'_r = \frac{H_i}{2} K_R \sin(\sigma t + m_r x + \theta) \dots (14)$$

また反射率は相対幅員 B / L (L は入射波長)により大きな影響を受ける。相対幅員について実験値と計算値を整理したものが図- 4である。

反射率は $B / L \div 0.25$ で最大値をとり， $B / L \div 0.5$ で極小値をとる。実験値と計算値とはかなりの開きが見られるが，実験値の傾向とよく一致している。

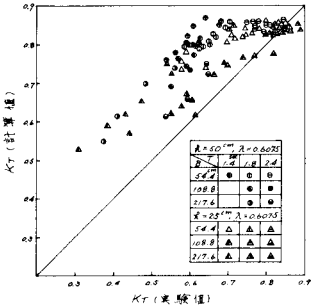


図- 3 伝達率の計算値と実験値

・ 波高分布

以上求めた反射率，伝達率を用いて前方水域及び構造物内部の波高分布を求める。

内部波高分布

構造物内部の波高は前面からの伝達波の波高と後面からの反射波の波高とを合成して得られる。

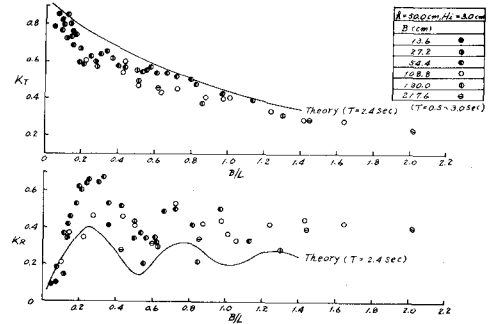


図-4 B/Lが K_T と K_R におよぼす効果

$$\eta' = \eta_i + \eta_r = \frac{H_i'}{2} K_S \cos(\sigma t - \theta_S) \quad \dots (16)$$

$$\eta_i' = \frac{H_i'}{2} e^{-n_i x} \sin(\sigma t - m_i x) \quad \dots (17)$$

$$\eta_r' = \frac{H_i'}{2} K_{rb} e^{-n_r (B-x)} \sin(\sigma t + m_r x - 2m_i B + \alpha_{rb}) \quad \dots (18)$$

$$K_S = \left[e^{-2n_i x} + K_{rb}^2 e^{2n_r (x-B) - 2n_i B} + 2 K_{rb} e^{(n_r - n_i)x - (n_i + n_r)B} \cos(m_i x + m_r x - 2m_i B + \alpha_{rb}) \right]^{1/2} \quad \dots (19)$$

$$\theta_S = \tan^{-1} \left[\frac{e^{-n_i x} \cos m_i x + K_{rb} e^{-n_i B + n_r (x-B)} \times \cos(m_r x - 2m_i B + \alpha_{rb})}{-e^{-n_i x} \sin m_i x + K_{rb} e^{-n_i B + n_r (x-B)} \sin(m_r x - 2m_i B + \alpha_{rb})} \right] \quad \dots (20)$$

故に内部波高分布は次式で示される。

$$H_S = H_i' K_S \quad \dots (21)$$

前方水域波高分布

この領域の波高分布は入射波高と合成反射波高との合成されたものである。

$$\eta = \eta_i + \eta_r = \frac{H_i}{2} K_F \cos(\sigma t - \theta_F) \quad \dots (22)$$

$$\eta_i = \frac{H_i}{2} \sin(\sigma t - m_0 x) \quad \dots (23)$$

$$\eta_r = \frac{H_i}{2} K_R \sin(\sigma t + m_0 x + \theta) \quad \dots (24)$$

$$K_F = \left[1 + K_R^2 + 2 K_R \cos(2 m_0 x + \theta) \right]^{1/2} \quad \dots (25)$$

$$\theta_F = \tan^{-1} \left[\frac{\cos m_0 x + K_R \cos(m_0 x + \theta)}{-\sin m_0 x + K_R \sin(m_0 x + \theta)} \right] \quad \dots (26)$$

この K_F を用いて前方水域における波高分布は次式で得られる。

$$H_F = H_i K_F \quad \dots (27)$$

式 (20), (26) で計算した内部波高及び前方水域波高を実験値と対応して図-5に示したが、内部波高分布はよく一致しており、一方前方水域波高分布は多少位相のずれが見られるがよく表現していると思われる。

3. ポテンシャル理論による計算法²⁾

この計算法は前方水域、構造物内部及び後方水域の3領域に個々の速度ポテンシャルを仮定してラプラスの方程式を満足させ、また領域の境界面で水位と流量の連続条件を考えて、解析していく。

計算の始めは次式で表わされる前方水域の波数 k_2 を求める。

$$k_2 = \sigma / c \quad \dots (28)$$

但し c は波速である。

次に構造物内部の波数 k_1 を求める。ただし k_1 は複素数となるので、実数部及び虚数部に分割して計算を行う。

$$k_1 = k_r + i k_i \quad \dots (29)$$

k_r , k_i は次式を満足する。但し k は透水係数である。

$$\sigma^2 + \sigma \frac{\lambda}{k} g \tanh k_r h \tan k_i h = g k_r \tanh k_r h - g k_i \tan k_i h \quad \dots (30)$$

$$-\sigma \frac{\lambda}{k} g + \sigma^2 \tanh k_r h \tan k_i h = g k_r \tan k_i h + g k_i \tanh k_r h \quad \dots (31)$$

次に2)と同様に構造物中央部における流速を代表流速として、 x 方向、 z 方向の流速成分を考える。

$$u_0 = \frac{\sigma}{4} \left[|H_i| - |H_r| + |H_t| \right] \frac{\cosh k_2 h/2}{\sinh k_2 h} \quad \dots (32)$$

$$w_0 = \frac{\sigma}{4} \left[|H_i| + |H_r| + |H_t| \right] \frac{\sinh k_2 h/2}{\sinh k_2 h} \quad \dots (33)$$

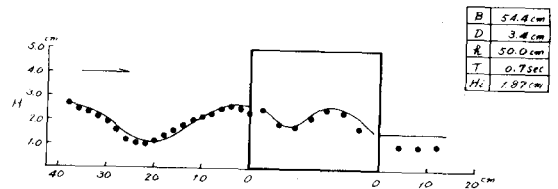


図-5 構造物内および前後の波高分布

u_0 , w_0 ともに入射波高, 反射波高, 伝達波高が入っているので, 適当な初期値を代入して, 仮定した値が次式と1%の誤差に入るまで繰返し計算を行う。

$$H_t = \frac{4 k_1 k_2 \lambda e^{i k_2 B}}{(k_2 \lambda + k_1)^2 e^{i k_1 B} - (k_2 \lambda - k_1)^2 e^{-i k_1 B}} H_i \quad \dots (34)$$

$$H_r = \frac{(k_2^2 \lambda^2 - k_1^2) (e^{-i k_1 B} - e^{i k_2 B})}{(k_2 \lambda + k_1)^2 e^{i k_1 B} - (k_2 \lambda - k_1)^2 e^{-i k_1 B}} H_i \quad \dots (35)$$

このようにして得られた H_r , H_t から反射率, 伝達率を推定すると,

$$K_R = \left| \frac{H_r}{H_i} \right| \quad \dots (36)$$

$$K_T = \left| \frac{H_t}{H_i} \right| \quad \dots (37)$$

式 (35), (36) から得られた結果と実験値を対比したものが図-6, 7である。

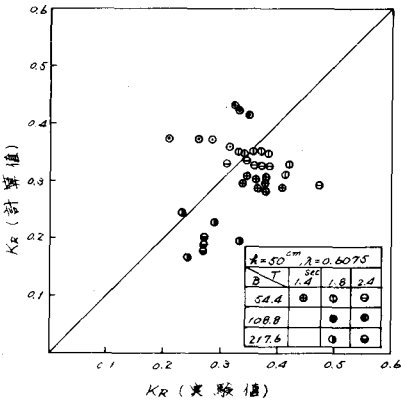


図-6 反射率の計算値と実験値

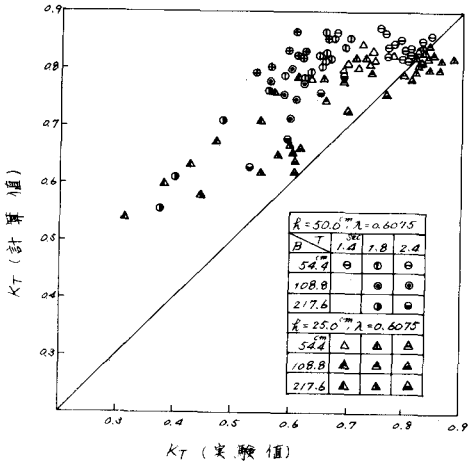


図-7 伝達率の計算値と実験値

伝達率は水深が小さい程, 又周期が大きく構造物幅員が小さい程, 理論推定値と実験値が合う傾向を示す。

一方反射率は, あまり顕著ではないが伝達率と同じ傾向にあり, 全体としてはよく対応している。

4 結 語

以上単純化された透過性構造物についての反射率, 伝達率等を推定する方法の有効性を調べたが, 長波理論による推定方法は, 反射率の相対幅員による効果において, 実験値と計算値との傾向が良く一致しており, また反射率及び前方水域, 構造物内部の波高分布も良く推定できると思われる。一方伝達率は周期が大きく, また水深が小さい長波性の波であれば, 実験値と計算値とはよい対応を示す。

しかしながら伝達率の推定精度が若干落ちるのは, 明確な原因は不明だが, 構造物内部の抵抗係数の取り方及び代表流速の取り方に問題があるのかもしれない。

全般的に見れば計算値と実験値とはよく対応しているので, 実際の透過性構造物を考える際に, ポテンシャル理論に比して仮定値が少なく, また電算機の稼動時間も少ないので有効な方法と思われる。

本研究は室蘭工業大学河海工学研究室で行なわれたもので, ご支援下さった境 隆雄教授, 協力された加納 隆一技術員に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 近藤俊郎: 透過性防波堤の伝達波, 第16回海岸工学講演会論文集, 昭44, 12, PP・321-327
- 2) 富永正照・坂本忠彦: 透過性構造物による波の変形に関する研究(I), 土木研究所報告, 昭45・5, 137 - 3 PP・118-140
- 3) 井島武士・江口泰彦・小林彰: 透過性防波堤と岸壁に関する研究, 第18回海岸工学講演会論文集, 昭46, 10, PP・121-130

- 4) 近藤倣郎・藤間聡・浅野潤一：透過性防波構造物の水理特性（第3報），第19回海岸工学講演会論文集
昭47・11，PP・193 - 197
- 5) 近藤倣郎・藤間聡：透過性防波構造物の水理特性，
第17回海岸工学講演会論文集，昭45・11，PP・
155 - 162
- 6) 近藤倣郎・藤間聡：透過性構造物の防波機能におよ
ぼす抵抗係数と空隙率の効果，土木学会北海道支部
論文集（昭和45年度）PP・155 - 159
- 7) 近藤倣郎・藤間聡：透過性防波構造物の水理特性
（第2報），第18回海岸工学講演会論文集，昭46・
10，PP・131 - 136