

II-61

複数透水層をもつ直立不透過消波工の反射率

室蘭工業大学大学院 学生員 中村友邦
 室蘭工業大学大学院 学生員 樋口哲哉
 室蘭工業大学工学部 正員 近藤俊郎
 北日本港湾コンサルタント(株) 梅沢一之

1. はじめに

三次元不規則造波機の開発以来、これからも各研究機関において平面波動水槽の設置がより多くなることが予想される。本学においても、平成4年度に三次元不規則造波システムが導入され、平成6年度にはさらに大型の平面波動水槽が完成した。

平面波動水槽における問題の一つは、その側壁からの波の反射といえる。この問題を解決するには、十分な消波効果を持つものを側壁沿いに設置することが一つの方法であると考えられる。従来は、碎石や砂利などのビーチ型消波工が採用されることが多かったようである。しかし、より広い実験領域を確保するには、直立型の消波工が望ましいように思われる。

本文は、本学で得られた比較的効率的な複数透水層を有する直立型消波工について報告するものである。さらにここでは、その反射率を解析的に算定するための第一段階として、Losadaら¹⁾の解析法の概要をフォローする。

2. 直立型消波工に関する実験

本学の平面波動水槽内には、図2-4のような断面形状の金網で仕切られた複数透水層を有する直立型消波工が、側壁沿いに設置されている。この消波工の透水層としては、ヘチマロン、ナイロン製マットが用いられており、各々の透水層の間には遊水部が設けられている。この断面形状は試行的に決定されたものであり、本学においてここ数年で採用したものでは最も効率的な消波工である。前節に述べた理由からも、有用なものであると思われるのでここに報告する。

図2-1から図2-3は、これまで試された消波工の断面形状と、その反射率を示している。実験は、周期が0.8, 1.0, 1.2secの波に対して、消波工の全体幅Bを変化させて反射率を測定したものである。ケース1からケース3の消波工

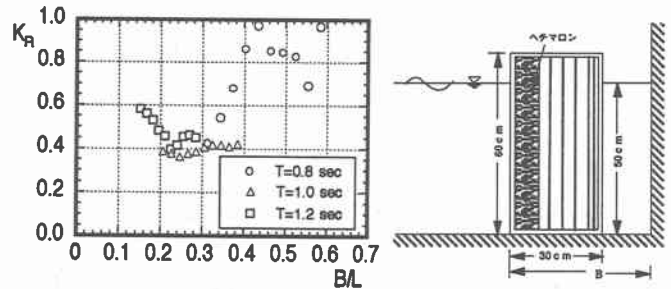


図2-1 消波工の反射率(ケース1)

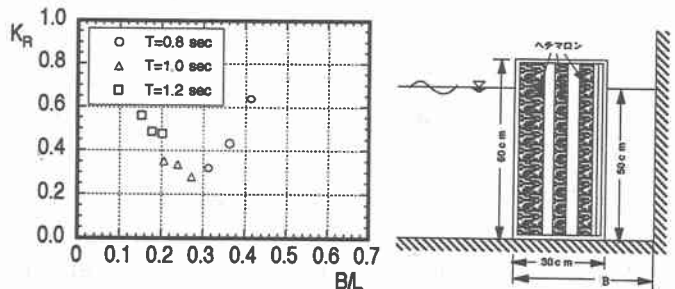


図2-2 消波工の反射率(ケース2)

Reflection Coefficient of the Multilayered Wave Dissipator with Solid Backwall

by Tomokuni NAKAMURA, Tetsuya HIGUCHI, Hideo KONDO and Kazuyuki UMEZAWA

については、ある特定の B/L に対して反射率が小さくなり、消波効果が高まることがわかる。すなわちある周期の波に対して消波効果が高まるといえる。特にケース1については、そのような周波数特性は顕著であり、 B/L が 0.3 前後を超えたところから反射率が急激に増加することがわかる。そこで、ケース2からケース3のように透水層の数を増加していくと、その部分が改善されていくことがわかる。

ケース4については、 $B = 60\text{cm}$ と一定にし、波の周期を 0.8 から 1.5sec と変化させたときの反射率を測定した。図2-4はこの実験結果である。 $B/L = 0.3, 0.6$ 付近

で反射率が 0.1 強、 $B/L = 0.2$ 付近では約 0.3、 $B/L = 0.48$ 付近では約 0.24 というように、反射率は波長によって変動するものの、ケース1からケース3にみられた周波数特性は大幅に改善され、全体的に 0.2 前後と比較的良好な結果が得られていることがわかる。

この消波工は、三次元不規則造波水槽内に設置することを前提にしているので、斜め入射波、不規則波等に対する反射率についても検討すべきであり、それらは今後の課題である。

3. 解析法の概要

複数の透水層や壁をもつ消波構造物の反射率の推定は、波が垂直入射する場合については、近藤²⁾、 T_wu ⁵⁾らが研究をしておりその有効性が確認されている。ここでは、減衰定常波を無視する平面波 (plane wave) 近似を用いることで、複数透水層もつ構造物に波が斜め入射した場合にも、反射率を容易に算定できる Losada が提案した解析法を若干の修正を施して適用することとする。

図3-1に示すように一定水深 h の半無限領域内にある複数透水層からなる構造物について考える。

非圧縮性流体で非回転流の場合、波動場は速度ポテンシャルによって記述される。波が x 軸に対して角度 θ で伝播してきて構造物に入射し、構造物が y 軸に沿って設置されているとき、領域 J における速度ポテンシャルは次のように定義される。

$$\Phi(x, y, z, t) = \phi(x, z) \exp[-i(k_y y - \sigma t)] \quad (1)$$

ここで、 $i = \sqrt{-1}$ 、 $k_y = k \sin \theta$ (k : 入射波の波数)、

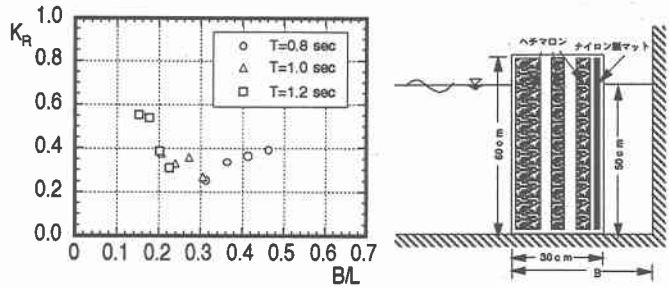


図2-3 消波工の反射率 (ケース3)

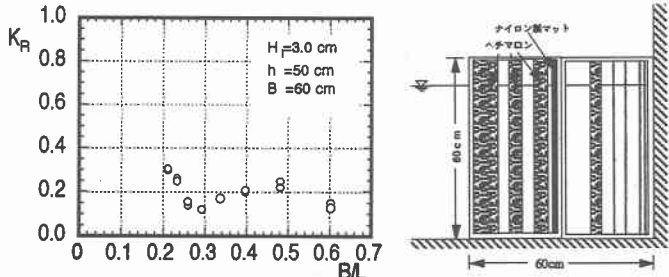


図2-4 消波工の反射率 (ケース4)

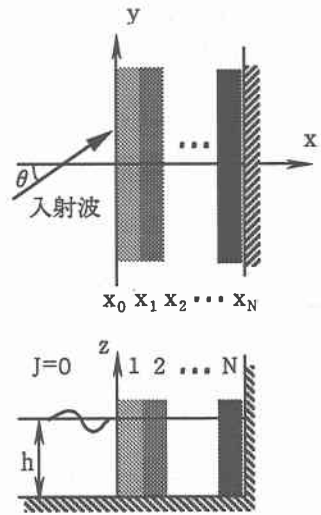


図3-1 領域定義図

σ : 入射波の角周波数である。

3次元のラプラス方程式に(1)式を代入すると(2)式のようになり、ポテンシャル $\phi_j(x, z)$ は次の境界値問題の解となる。

$$\frac{\partial^2 \phi_j}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi_j}{\partial z^2} - k_j^2 \phi_j = 0 \quad -h \leq z \leq 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \phi_j}{\partial z} = 0 \quad \text{at } z = -h \quad (3)$$

$$\frac{\partial \phi_j}{\partial z} - \frac{\Gamma_j}{h} \phi_j = 0 \quad \text{at } z = 0 \quad (4)$$

ここで、

$$\Gamma_j = \frac{\sigma^2 h}{g} (\tau_j - i f_j) \quad (5)$$

$$\frac{\partial \phi_j}{\partial x} = 0 \quad \text{at } x = -x_j \quad (6)$$

隣接する層の解は、各々の境界面で連続でなければならない。すなわち、水平流速と圧力の連続性から次式の接続条件が得られる。

$x = x_j$ において、 $-h \leq z \leq 0$, $J = 0, 1, \dots, N-1$ に関して、

$$\lambda_j \frac{\partial \phi_j}{\partial x} = \lambda_{j+1} \frac{\partial \phi_{j+1}}{\partial x} \quad (7)$$

$$(\tau_j - i f_j) \phi_j = (\tau_{j+1} - i f_{j+1}) \phi_{j+1} \quad (8)$$

上の各式において λ_j : 空隙率, τ_j : 慣性係数, f_j : 摩擦抵抗係数, h : 水深, g : 重力加速度である。水だけの層 (沖側領域 0 及び遊水部) では、 $\lambda_j = \tau_j = 1$ で、 $f_j = 0$ であることに注意を要する。領域 J において、 ϕ_j は変数分離法により次のように与えられる。

$$\phi_j = I_j(z) \{ A_j \exp[-i k_j^* (x - x_j)] + B_j \exp[i k_j^* (x - x_j)] \} \quad (9)$$

ここで、 $k_j^* = k_j \cos \theta$ である。

$$I_j(z) = \frac{i g}{\sigma} \frac{\cosh k_j (h+z)}{\cosh k_j h} \quad (10)$$

k_j は次の分散の式の解として得られる。

$$\Gamma_j = k_j h \tanh k_j h \quad (11)$$

これは超越関数であり、井島³⁾も示したように無限個の解が存在するが、本解析法では平面波近似を用いているので、進行波のモードだけを用いる。

ϕ_j と ϕ_{j+1} を(7),(8)式に代入し、両辺に $\cosh k_j (h+z)$ をかけ、全水深にわたって積分し $I_j(z)$ の直交性を用いると、次のマトリクス方程式が得られる。

$$\begin{bmatrix} A_j \\ B_j \end{bmatrix} = \frac{\cosh k_j h}{\cosh k_{j+1} h} \frac{L_{j+1,j+1}}{L_{j,j+1}} D_j^{-1} D_{j+1} P_{j+1} \begin{bmatrix} A_{j+1} \\ B_{j+1} \end{bmatrix} \quad (12)$$

ここで、

$$D_j = \begin{bmatrix} \lambda_j k_j^* & -\lambda_j k_j^* \\ \tau_j - i f_j & \tau_j - i f_j \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$P_j = \begin{bmatrix} \exp[+i k_{j+1}^*(x_j - x_{j+1})] & 0 \\ 0 & \exp[i k_{j+1}^*(x_j - x_{j+1})] \end{bmatrix} \quad (14)$$

$L_{j,j}$ と $L_{j,j+1}$ は次式によって定義される。

$$L_{j,j} = \int_{-h}^0 \cosh^2 k_j (h+z) dz, \quad L_{j,j+1} = \int_{-h}^0 \cosh k_j (h+z) \cosh k_{j+1} (h+z) dz \quad (15)$$

$J=0$ から $J=N-1$ まで (12) 式を適用すると次式が得られる。

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} A_0 \\ B_0 \end{bmatrix} &= \left(\frac{\cosh k_0 h}{\cosh k_N h} \prod_{j=1}^N \frac{L_{j,j}}{L_{j,j-1}} \right) D_0^{-1} \left[\prod_{j=1}^{N-1} (D_j P_j D_j^{-1}) \right] D_N P_N \begin{bmatrix} A_N \\ B_N \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} \\ W_{21} & W_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_N \\ B_N \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (16)$$

そうすると、反射率は次式によって与えられることになる。

$$K_R = \left| \frac{B_0}{A_0} \right| = \left| \frac{W_{21} A_N + W_{22} B_N}{W_{11} A_N + W_{12} B_N} \right| \quad (17)$$

ここで領域 N 内のポテンシャル ϕ_N を境界条件である (6) 式に代入すると、 A_N, B_N は次式で関係づけられる。

$$B_N = A_N \exp[-2i k_N^*(x_N - x_{N-1})] = \gamma A_N \quad (18)$$

(18) 式を (17) 式へ代入すると、結局、反射率は次式で与えられることになる。

$$K_R = \left| \frac{W_{21} + \gamma W_{22}}{W_{11} + \gamma W_{12}} \right| \quad (19)$$

4. おわりに

複数透水層を設けることで、従来の遊水部をもつ直立消波構造物のある特定の周期の波に対して反射率が小さくなり消波効果は高いが、それ以外では消波効果はあまり高くないという周波数特性をある程度改善する消波工を得ることができた。また、解析結果についてはまだ得られていないので、発表の際に示したいと考えている。

参考文献

- 1) I.J.Losada, M.A.Losada, A.Baquerizo: An analytical method to evaluate the efficiency of porous screens as wave dampers, Applied Ocean Research 15, pp.207~215, 1993.
- 2) 近藤俊郎, 竹田英章: 消波構造物, 森北出版, pp.70~94, 1983.
- 3) 井島・江口・小林: 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, 土木学会, pp.121~130, 1971.
- 4) C.K.Sollitt, R.H.Cross III: WAVE REFLECTION AND TRANSMISSION PERMEABLE BREAKWATERS, R.M.P. LABORATORY FOR WATER RESOURCE AND HYDRODYNAMICS, pp.62~64, pp.78~85, pp.194~226, 1972.
- 5) S.W.Twu, D.T.Lin: On a highly effective wave absorber, Coastal Engineering, 15, pp.389~405, 1991.