

不透過壁を有する二重スリット堤消波機能の 境界要素法による数値解析

大阪市立大学工学部

正会員

角野昇八

NKK都市工学研究部

正会員

塩崎禎郎

大阪市立大学工学部

学生員 ○

原山之克

1. まえがき 前面波高および波力の軽減の目的や経済性から、スリットの前面壁と背面不透過壁をもつ直立消波工の施工は今後も増えるものと思われる。また、その不透過壁に開口部を設ければ、前記機能のほかに海水交換も期待できることから、この構造形式への期待が高まっている。また、広周波数領域にわたる消波機能を求めて、複数列のスリット壁をもつ構造形式の施工例も各所で見られるようになってきた。本研究は、このうち、二重スリット堤に関して、反射率の面から最適堤体諸元を探ることを目的とする。

2. 理論

(1) 支配方程式と境界条件 対象となる二重スリット堤の解析領域として、**図-1**に示すような鉛直二次元断面を考える。堤体は、二重の縦スリット壁とその下部の不透過部および背面不透過壁からなる。流体領域(Ω)では非圧縮・非回転の流れを仮定し、微小振幅波理論を適用する。以下に速度ポテンシャルに関する支配方程式(ラプラスの方程式)と境界条件を示す。

$$\nabla^2 \phi = 0, \text{ in } \Omega \quad (1)$$

$$\partial \phi / \partial y - \nu \phi = 0, \text{ on } y = 0 \quad (2)$$

$$\partial \phi / \partial y = 0, \text{ on } y = -h, -h_s \quad (3)$$

$$\partial \phi / \partial x = 0, \text{ on } S_u \quad (4)$$

$$\lim \left(-\frac{\partial \phi}{\partial x} - ik\phi \right) = 0, \text{ on } x \rightarrow -\infty \quad (5)$$

ここに、 $\sigma = 2\pi/T$ (T : 波の周期)、 $\nu = \sigma^2/g$ (g : 重力加速度)、 i : 虚数単位、 k : 波数、 S_u : 不透過部(背面不透過壁を含む)である。(5)式の放射条件は、ここで対象とする現象では、複素反射率; ρ_R を用いて以下のようにおくことができる(時間項を $e^{-i\sigma t}$ とする)。

$$\phi(x, y) \rightarrow (e^{ikx} + \rho_R \cdot e^{-ikx}) \frac{\cosh\{k(y+h)\}}{\cosh kh}, \quad x \rightarrow -\infty \quad (6)$$

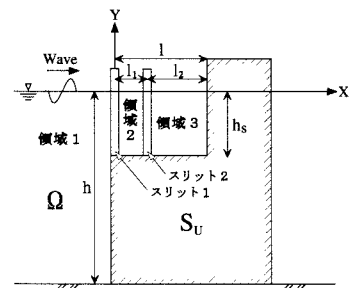


図-1 座標系

(2) 境界積分方程式(外的解) **図-1**に示すように、流体領域をスリット壁を境界として3つの領域に分け、それぞれの領域についてグリーンの定理を適用すると、次式を得る。

$$\begin{aligned} \phi_1(\xi, \eta) &= \phi_0(\xi, \eta) + \int_{-h}^{-h_s} \phi_1(0-, y) \frac{\partial G_1}{\partial x}(0-, y; \xi, \eta) dy \\ &\quad + \int_{-h_s}^0 \left\{ \phi_1(0-, y) \frac{\partial G_1}{\partial x}(0-, y; \xi, \eta) - \frac{\partial \phi_1}{\partial x}(0-, y) G_1(0-, y; \xi, \eta) \right\} dy \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \phi_2(\xi, \eta) &= \int_{-h_s}^0 \left\{ \frac{\partial \phi_2}{\partial x}(0+, y) G_2(0+, y; \xi, \eta) - \phi_2(0+, y) \frac{\partial G_2}{\partial x}(0+, y; \xi, \eta) \right\} dy \\ &\quad + \int_{-h_s}^0 \left\{ \phi_2(l_{1-}, y) \frac{\partial G_2}{\partial x}(l_{1-}, y; \xi, \eta) - \frac{\partial \phi_2}{\partial x}(l_{1-}, y) G_2(l_{1-}, y; \xi, \eta) \right\} dy \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \phi_3(\xi, \eta) &= \int_{-h_s}^0 \left\{ \frac{\partial \phi_3}{\partial x}(l_{1+}, y) G_3(l_{1+}, y; \xi, \eta) - \phi_3(l_{1+}, y) \frac{\partial G_3}{\partial x}(l_{1+}, y; \xi, \eta) \right\} dy \\ &\quad + \int_{-h_s}^0 \phi_3(l, y) \frac{\partial G_3}{\partial x}(l, y; \xi, \eta) dy \end{aligned} \quad (9)$$

ここに、 ϕ_0 : 入射波の速度ポテンシャル、 G_i ($i=1,2,3$): 各領域のスリット壁以外の境界条件を満たすグリーン関数、 (ξ, η) : 各領域内の任意座標である。

(3) スリット近傍における解(内的解) 境界積分方程式で表される外的解には、スリット壁近傍での特異な水理挙動を表す項が全く含まれていないので、そのままでは解として不十分である。本研究ではここでの挙動を表す解として、次式で表される解析解を用いることにする¹⁾。

Shohachi KAKUNO, Sadao SHIOZAKI, Yukikatsu HARAYAMA

$$\phi(\xi, \eta) = [\xi \pm C(\eta)] \cdot U(\eta) + C_0'(\eta) \quad (10)$$

ここに、正負符号はそれぞれスリットの沖側および岸側の領域を対応し、 $U(\eta)$ は一様流部での流速、 $C_0'(\eta)$ は任意定数である。また、 $C(\eta)$ は 'blockage coefficient (B.C.)' と呼ばれ、柱体とスリットの断面形状から一義的に決定される理論実定数であり、単純断面を有するものに対してはその形が既に求められている。スリットにおけるエネルギー損失の影響は $fv^2/2g(f; \text{損失係数}, v; \text{スリット通過水粒子速度})$ の形の非線形損失と等価な仕事量をもつ線形損失を求め、その係数を、複素係数とした $B.C.$ の虚部に導入することにより評価した。

(4) 外的解と内的解の接合 それぞれの外的解に対してスリット近傍での速度ポテンシャルを求めるため、スリット1に対しては(7),(8)式において($\xi \rightarrow 0_{\pm}$)とし、スリット2に対しては(8),(9)式において($\xi \rightarrow l_{1\pm}$)と極限操作を行いスリットにおけるポテンシャル差をとる。これらを(10)式から求められる同様のポテンシャル差と等値すれば最終的に解くべき積分方程式として以下の(11),(12)式を得る。

$$\begin{aligned} & \int_{-h_s}^0 U_1(y) \cdot [G_1(0-, y; 0-, \eta) + G_2(0+, y; 0+, \eta)] dy - C_1(\eta) U_1(\eta) \\ & = \phi_0(0-, \eta) + \int_{-h_s}^0 \left\{ U_2(y) G_2(l_{1-}, y; 0+, \eta) - \phi_2(l_{1-}, y) \frac{\partial G_2}{\partial x}(l_{1-}, y; 0+, \eta) \right\} dy \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} & \int_{-h_s}^0 U_2(y) \cdot [G_2(l_{1-}, y; l_{1-}, \eta) + G_3(l_{1+}, y; l_{1+}, \eta)] dy - C_2(\eta) U_2(\eta) \\ & = \int_{-h_s}^0 \left\{ U_1(y) G_2(0+, y; l_{1-}, \eta) - \phi_2(0+, y) \frac{\partial G_2}{\partial x}(0+, y; l_{1-}, \eta) - \phi_3(l, y) \frac{\partial G_3}{\partial x}(l, y; l_{1+}, \eta) \right\} dy \end{aligned} \quad (12)$$

3. 計算結果 上式中の6つの未知関数 $U_1(y), U_2(y), \phi_2(0+, y), \phi_2(l_{1-}, y), \phi_3(l_{1+}, y), \phi_3(l, y)$ は、(8)式を($\xi \rightarrow 0_{+}$ および l_{1-}),(9)式を($\xi \rightarrow l_{1-}$ および l)に極限操作した式、および(11),(12)式を連立させることにより求めることができる。その具体的操作は、積分経路を離散化することによってなされる。本手法の妥当性は、スリットにおける損失係数 $f=0$ として十分な精度で反射率 $K_R=1$ となったこと、また、 $h_s=h$ の条件下での既往の理論解析解²⁾と一致したこと、さらに、図-1の断面をもつ実験値とも合致したことにより確認した。以下では、「消波室内水深」およびスリット2の「スリット位置」による反射率の変化に着目し、二重スリット堤の最適堤体諸元について探る。

(1) 消波室内水深による反射率の変化 図-2は、水深 $h=15\text{m}$ に対して消波室内水深を $h_s/h=0.2 \sim 1.0$ と変化させた場合の反射率を示す。この条件下では、最適の消波室内水深は水深の40~60% ($h_s/h=0.4 \sim 0.6$) 程度であることがわかる。

(2) スリット位置による反射率の変化 図-3は、水深 $h=20\text{m}$ に対して消波室内水深を一定 ($h_s/h=0.4$) とし、スリット2の位置を消波室内において、沖側 ($l_1/l=0.387$), 中央 ($l_1/l=0.500$), 岸側 ($l_1/l=0.613$) へと変化させた場合の反射率を示したものである。長周期側でも大きな消波効果が得られることから、岸側位置でのものが比較的良好いと結論づけられる。

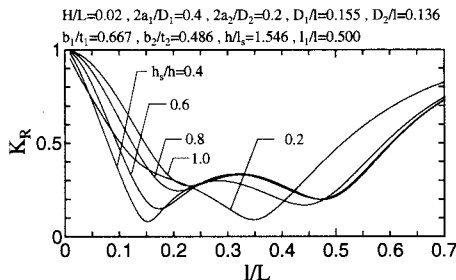


図-2 消波室内水深による反射率の変化

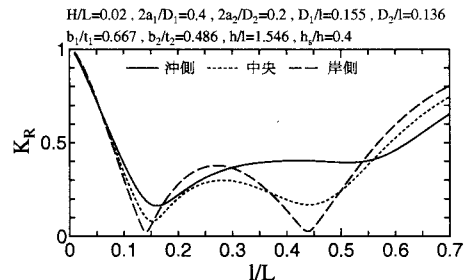


図-3 スリット位置による反射率の変化

- 参考文献** 1) 角野昇八：漸近展開接合法の海岸工学への応用，水工学シリーズ 87-B-3，pp.1-22，1987。
2) 角野昇八・仲田義弘・藤原隆一：複数列の前面スリット壁をもつ直立消波工の消波特性，海洋開発論文集，vol.9，pp.259-264，1993。