

大阪市立大学工学部

正会員

角野昇八

NKK 都市工学研究所

塩崎禎郎

大阪市立大学工学部

学生員 ○

新谷尚弘・服部哲史

1. まえがき 近年、環境問題に対する意識の高揚により、港湾構造物にも本来の防災機能のほか、周辺環境に大きな影響を与えないようなものが求められるようになってきている。二重スリット壁を有する堤体はそのような構造物の一つであり、反射波の発生を抑えるだけでなく、港内潮流に与える影響が少なく、さらには港内外の海水交換を促進させることも期待されている。

本研究では、このような二重スリット堤に関して、その反射率と透過率の面からみた最適の断面を探ることを目的として、既発表の手法<sup>1)</sup>を適用して数値解析した結果を報告する。

## 2. 理論

### (1) 支配方程式と境界条件

図-1に示すような海域の鉛直二次元堤体断面を考える。堤体は、二重の縦スリット壁とその下部の不透過部からなっている。流体領域( $\Omega$ )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。以下に支配方程式と境界条件を示す。

$$\nabla^2 \phi = 0, \text{ in } \Omega \quad (1) \quad \partial \phi / \partial x = 0, \text{ on } S_u \quad (4)$$

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

$$\partial \phi / \partial y = 0, \text{ on } y = -h, -h_s \quad (3) \quad \lim \left( \frac{\partial \phi}{\partial |x|} - ik\phi \right) = 0, \text{ on } |x| \rightarrow \infty \quad (5)$$

ここに、 $\sigma = 2\pi/T$  ( $T$ :波の周期),  $i$ :虚数単位,  $\nu = \sigma^2/g$  ( $g$ :重力加速度),  $k$ :波数,  $S_u$ :不透過面とする。式(5)の放射条件は、図-1に示す領域では、複素透過率: $K_T$ , 複素反射率: $K_R$ として以下のようにおくことができる。

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

$$\phi(x, y) \rightarrow \rho_T e^{ikx} \frac{\cosh k(y+h)}{\cosh kh}, \quad x \rightarrow +\infty \quad (7)$$

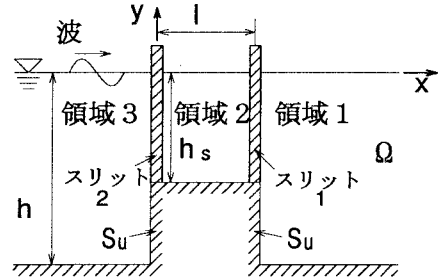


図-1 座標系

(領域1) (8)

### (2) グリーンの定理による定式化 (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、以下の式を得る。

$$\phi_1(\xi, \eta) = - \int_{-h}^0 \left\{ \phi_1(l_+, y) \frac{\partial G_1}{\partial x}(l_+, y; \xi, \eta) - \frac{\partial \phi_1}{\partial x}(l_+, y) G_1(l_+, y; \xi, \eta) \right\} dy \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \phi_2(\xi, \eta) = & \int_{-h_s}^0 \left\{ \phi_2(l_-, y) \frac{\partial G_2}{\partial x}(l_-, y; \xi, \eta) - \frac{\partial \phi_2}{\partial x}(l_-, y) G_2(l_-, y; \xi, \eta) \right\} dy \\ & - \int_{-h_s}^0 \left\{ \phi_2(0_+, y) \frac{\partial G_2}{\partial x}(0_+, y; \xi, \eta) - \frac{\partial \phi_2}{\partial x}(0_+, y) G_2(0_+, y; \xi, \eta) \right\} dy \end{aligned} \quad (10)$$

$$\phi_3(\xi, \eta) = \phi_0(\xi, \eta) + \int_{-h}^0 \left\{ \phi_3(0_-, y) \frac{\partial G_3}{\partial x}(0_-, y; \xi, \eta) - \frac{\partial \phi_3}{\partial x}(0_-, y) G_3(0_-, y; \xi, \eta) \right\} dy \quad (11)$$

ここに、 $\phi_0$ :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,  $(\xi, \eta)$ :各領域内の任意点座標である。

### (3) スリット近傍の流れを表す解 (内的解)

前節で導出した解にはスリットの影響が考慮されていないので、そのままでは解としては不完全である。そこで、これらの解をスリットからある程度離れた地点での挙動を表す解 (外的解) としてとらえ、別にスリット近傍の挙動を表す解 (内的解) としてスリットを過ぎる流れを表す解を用意し、両者を接合することによって最終の解を得ることとする。内的解は以下に表わされる。

$$\phi(x, y) = (\xi \pm C(\eta))U(\eta) + C'_0(\eta) \quad (11)$$

ここに、正負符号はそれぞれ領域 2, 3 または領域 1, 2 に対応しており、 $U(\eta)$  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* と呼ばれるもので、柱体列の平面断面から一義的に決定されるような理論実定数であり、単純断面に対しては既にその形が求められている<sup>2)</sup>。

#### (4) 外的解と内的解の接合

スリット壁 2 において内的解と外的解を接合するために、式 (9) において  $\xi \rightarrow 0_+$ 、式 (10) において  $\xi \rightarrow 0_-$  とし、同様に、スリット壁 1 に関して、式 (8) において  $\xi \rightarrow l_+$ 、式 (9) において  $\xi \rightarrow l_-$  として各柱体列近傍の左右におけるポテンシャルの差をとる。これらを式 (11) から求められるポテンシャルの差と等値すれば、最終的に解くべき積分方程式として以下の式 (12)、(13) を得る。

$$\begin{aligned} & \int_{-h_s}^0 U_2(\eta) \{G_3(0_-, y; 0_-, \eta) + G_2(0_+, y; 0_+, \eta)\} dy - C_2(\eta) U_2(\eta) \\ &= \phi_0(0_-, \eta) - \int_{-h_s}^0 \left\{ \phi_2(l_-, y) \frac{\partial G_2}{\partial x}(l_-, y; 0_+, \eta) - U_1(\eta) G_2(l_-, y; 0_+, \eta) \right\} dy \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} & \int_{-h_s}^0 U_1(\eta) \{G_2(l_-, y; l_-, \eta) + G_1(l_+, y; l_+, \eta)\} dy - C_1(\eta) U_1(\eta) \\ &= - \int_{-h_s}^0 \left\{ \phi_2(0_+, y) \frac{\partial G_2}{\partial x}(0_+, y; l_-, \eta) - U_2(\eta) G_2(0_+, y; l_-, \eta) \right\} dy \end{aligned} \quad (13)$$

### 3. 計算結果

式 (12)、(13) 中の未知関数  $U_2(y)$ ,  $U_1(y)$  および  $\phi_2(0_+, y)$ ,  $\phi_2(l_-, y)$  は、式 (8) ~ (10) および式 (12)、(13) を連立させて解くことにより求められる。その具体的操作は、積分回路を離散化することによってなされる。本計算手法の基本的な妥当性は、一様水深水域に設置された正方形断面角柱列 ( $h_s = h$ ) の反射率・透過率に関する解析解<sup>3)</sup>と比較することにより確認した。以下では、二重スリット消波工断面の最適な消波室幅および、消波室水深を求める。

#### (1) 消波室幅を変化させた場合の透過率と反射率

図-2 は、一様部水深  $h = 15\text{m}$  に対して消波室内水深を一定 ( $h_s/h = 0.5$ ) とし、消波室幅を水深に対して  $l/h = 0.27 \sim 0.67$  倍と変化させた場合の透過率と反射率を示したものである。開口率は沖側で 0.4、岸側で 0.2 としている (柱体断面は 1m 辺長の正方形)。最適の断面形状を判断するための基準として「広範囲の周期において、反射率・透過率がともに小さい」と設定すると、図-2 の条件下では、 $l/h = 0.67$  程度の時最適となることがわかるが、この時の消波室幅は  $l = 10\text{m}$  で実用上、ほぼ限界である。

#### (2) 消波室水深を変化させた場合の透過率と反射率

図-3、図-4 は、消波室幅を一定とし ( $l/h = 0.4$ )、消波室内水深を水深に対して、 $h_s/h = 0.2 \sim 1.0$  と変化させた場合の透過率と反射率を示したものである。上述の観点から、図-3、図-4 に示した条件下での最適の消波室内水深は、水深に対して、40%程度の値となることがわかる。

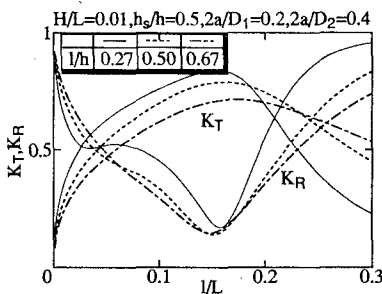


図-2

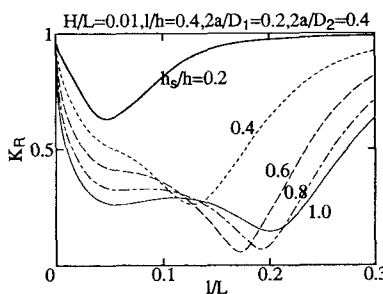


図-3

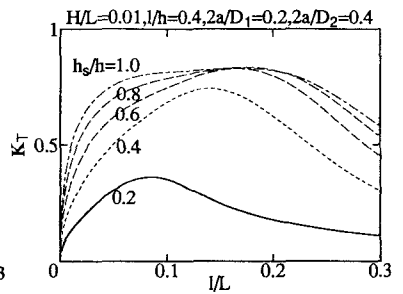


図-4

#### 参考文献

- 1) 角野・小田・藤田・寺岡・芳田: 海岸工学講演会論文集第 36 巻, 1989, pp.499-503.
- 2) 角野: 1987 年度水工学に関する夏期研修会講義集, B コース, 1987, pp.B.3.1-b.3.22.
- 3) 角野・仲田: 海岸工学論文集第 40 巻, 1993, pp.661-665.