

境界要素法による縦スリット構造物の 周辺波動場の解析

大阪市立大学工学部 正会員 角野 昇八 小田 一紀
学生員 ○寺岡 章吾 藤田 孝
東洋建設(株) 正会員 芳田 利春

1. まえがき 直立消波工の消波特性に関する従来の研究は、図-1に示すような基本的な形状に対するものが殆どであり、マウンドの存在などによる断面変化の影響を評価できた例は殆ど見当たらない。

本研究は、このように単純ではない断面上に設置されたスリット構造物の周辺波動場をグリーンの定理を用いた境界要素法¹⁾を拡張して適用することにより数値的に解析するもので、結果は既往の理論値並びに実験値と比較することにより妥当性を検証する。なお、ここではそのうちの縦スリット直立消波工を考察の対象として取り上げる。

2. 理論 理論展開にあたっては、2次元の非回転完全流体を

仮定し、微小振幅波理論が適用できるものとする。一様水深

(h)に設置された縦スリット直立消波構造物を考察の対象とし、

図-1のようにx-y直交座標系を取り、x=0の位置に柱体列が設

置されていて、lの位置に不透過壁があるものとする。このよう

な場での速度ポテンシャル ϕ (ただし以下では、時間要素を省いた $\phi(x, y)$ について考える)は、流体全域でラプラスの方程式と以下の境界条件および放射条件を満足しなくてはならない。

$$\partial \phi / \partial y - \nu \phi = 0, \quad y=0 \quad (1) \quad \partial \phi / \partial y = 0, \quad y=-h \quad (2)$$

$$\partial \phi / \partial x = 0, \quad x=l \quad (3) \quad \lim_{r \rightarrow \infty} \left(\frac{\partial \phi}{\partial r} - ik \phi_{sc} \right) = 0 \quad r=|x| \quad (4)$$

ただし、 $\nu = \sigma^2 / g$ で σ は振動数、 g は重力加速度であり、 k は波数、 ϕ_{sc} は散乱波の速度ポテンシャル、 $i = \sqrt{-1}$ である。

ここで、グリーンの公式を図-1の領域1および領域2に適用すれば、次のような積分方程式が得られる。

$$\phi(\xi, \eta) = \int_{-h}^0 \left\{ \frac{\partial \phi}{\partial x}(0, y) G(0, y; \xi, \eta) - \phi(0, y) \frac{\partial G}{\partial x}(0, y; \xi, \eta) + \phi(l, y) \frac{\partial G}{\partial x}(l, y; \xi, \eta) \right\} dy \quad (5)$$

$$\phi(\xi, \eta) = \phi_{in}(\xi, \eta) + \int_{-h}^0 \left\{ \phi(0, y) \frac{\partial G}{\partial x}(0, y; \xi, \eta) - G(0, y; \xi, \eta) \frac{\partial \phi}{\partial x}(0, y) \right\} dy \quad (6)$$

ただしここに、 ϕ_{in} は入射波の速度ポテンシャルで、 G は式(1),(2),(4)の境界条件を満足するグリーン関数²⁾であり、 ϕ および G がこれらの式を満足することから、積分は $x=0$ あるいは $x=l$ のみにおいて実施すればよいことになる。

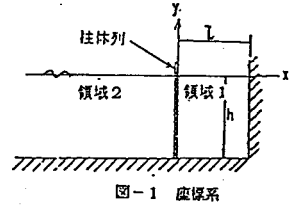
両式を接合するために、柱体列からある程度距離が離れた点において、柱体列を通過した流れは柱体断面形状にかかわらず、一様流を回復する特性をここでも³⁾利用することにする。このような流れを表すポテンシャルは次のように表される。

$$\phi(x, y) = (x \pm C(y)) U(y) + C'(y) \quad (7)$$

ここで、正負符号はそれぞれ $x > 0, x < 0$ の領域に対応し、 $U(y) (= \partial \phi(0, y) / \partial x = \partial \phi(l, y) / \partial x)$ は一様流部における任意点 y での流速、 $C'(y)$ は複素定数を表している。また $C(y)$ は"blockage coefficient"と呼ばれる理論実定数であり、簡単な断面形状に対しては既往の解が得られている³⁾。

式(5)において $\xi \rightarrow 0$ 、式(6)において $\xi \rightarrow 0$ として、柱体列近傍の左右におけるポテンシャルを求めてその差をとり、それを式(7)から求められるポテンシャルの差と等置すれば、最終的に解くべき積分方程式として次の式を得る。

Shohachi KAKUNO. Kazuki ODA. Shogo TERAOKA. Takashi FUJITA. Toshiharu YOSHIDA.



$$C(\eta)U(\eta)+\phi_{in}(0,\eta)=\int_{-h}^0\{2U(y)G(0,y;0,\eta)+\phi(l,y)\frac{\partial G}{\partial x}(l,y;0,\eta)\}dy \quad (8)$$

結局、式中の未知関数 $U(y)$ および $\phi(l,y)$, $\phi(0,y)$, $\phi(0,y)$ は、式(5)および式(6), (8)を連立させて解くことになる。 $U(y)$ がわかれば、反射率は式(6)において $\xi \rightarrow -\infty$ の極限を考えることにより算定することができる。これらの操作は、境界要素法の手法に従って積分回路を分割することによって離散的に行う。なお、以下の計算における分割長は常に波長の1/30とした⁴⁾。また、計算にあたっては、従来と同様³⁾、列の厚みの影響を"blockage coef."の実部および消波室幅に盛り込み、粘性の影響を"blockage coef."の虚部に考えている(非線形損失係数 $f=1.5$)。

3. 数値計算結果 計算例として、図-2(a),(b),(c)に示すような縦スリット直立消波工にこの解析手法を適用し、反射率を算定する。

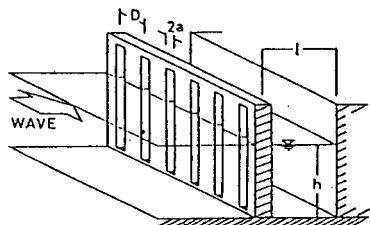


図-2(a) 縦スリット消波工(在来型)

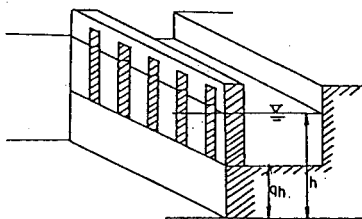


図-2(c) 縦スリット消波工(断面II)

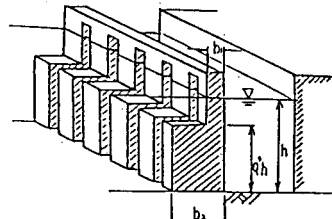


図-2(b) 縦スリット消波工(断面I)

図-2(a)のような形式(在来型)の消波特性の解析解は、既に得られている³⁾。図-3に、本手法を用いて算定した反射率と解析解による反射率との比較を示すが、両者は極めて良く一致しているのがわかる。

次に、図-2(b)のように、柱体列の断面が水深方向に変化する場合を計算する。このような場合には、"blockage coef."を積分回路中で変化させるだけでよい。実験値⁵⁾との比較を図-4に示すが、両者は良く一致していることがわかる。

最後に、図-2(c)のように、消波室内の水深が消波室外水深に対して変化する場合を計算する。この場合には、領域1と領域2で水深および波数に変化するため、それに応じてグリーン関数を使い分ける必要がある。このため式(8)は若干変化する。この手法を用いて算定した反射率と実験値との比較を図-5に示す。計算結果と実験値がよく一致していることより、このような構造物にもこの手法を適用して反射率を算定することができることがわかる。

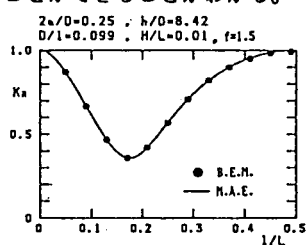


図-3 本手法とN.A.E.法の反射率の比較(在来型)

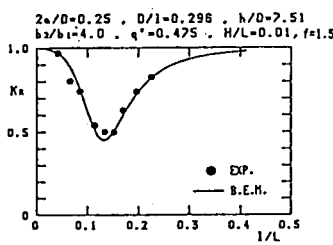


図-4 断面IIの反射率

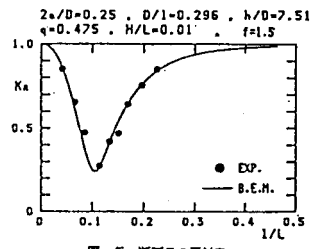


図-5 断面Iの反射率

4. 結論 以上のことより、単純ではない断面を有する縦スリット消波工に対して、ここに示した解析手法を用いて反射率を精度よく算定できることがわかった。なお、背後に不透透壁がない場合については式(5)の右辺第3項を除くだけでよく、一般に、縦スリットを有する様々の形式の構造物に対してこの手法は汎用性を有しているといえるものと思われる。

参考文献 1) Macaskill, C.: J. Fluid Mech., Vol. 95, Part 1, pp. 141-157, 1979. 2) Jhon, F.: Comm. Pure Appl. Math., Vol. 3, pp. 45-101, 1950. 3) 角野昇八: 水工学シリーズ 87-B-3, 1987. 4) 中村孝幸 他: 第29回海岸工学講演会論文集, pp. 462-466, 1982. 5) 角野昇八 他: 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 557-561, 1988.