

II-298

任意断面地形上に設置された
スリット壁からの波の反射と透過

大阪市立大学 学生員 藤田 孝・寺岡章吾

大阪市立大学 正会員 角野昇八・小田一紀

1. まえがき 建設省の「海洋利用空間の創世・保全技術の開発」や運輸省の「熊本港軟着堤」に例をみるように、消波のみならず海水交流、あるいは波力低減を図る目的から、波を完全に遮蔽することなく一部を透過させるような堤体の開発が近年盛んに行われている。これらの構造物の消波特性は主として実験的に調査されてきているが、完全に解明されたとはいえない状況にある。特に、一様水深ではなくて、マウンド上などのように断面変化のある地形上に設置された場合の影響については殆ど未解決のままといっている。

本研究は、海底に断面変化があるなど、任意断面地形上に任意の列数の鉛直の縦スリット壁が設置された場合の消波効果について、Macaskill の手法¹⁾を拡張し、グリーンの公式による手法に漸近展開接合法的な手法を導入して数値解析しようとするものである。この方法によれば、従来の方法のように、スリット壁の平面断面形状との関係が不明確な実験係数の導入を必要としたり、あるいはスリットの平面断面の詳細を計算境界とするために計算が煩雑になる、などの問題点がなくなる特長がある。

2. 理論展開 鉛直2次元断面の非回転的流れを仮定し、微小振幅波を扱う。時間項を除いた速度ポテンシャル $\phi(x, y)$ は、①流体全域でラプラスの方程式、②水面における境界条件、③水底における境界条件、④水底以外の不透過部分での境界条件、⑤無遠限での放射条件、を満足せねばならない。

ここで、グリーンの公式を適用するが、いま簡単のため、図-1に示すような縦スリット壁断面を対象として、その領域1, 2 について結果を記せば以下のようなものである。ただし法線方向を領域内向きにとっている。

$$\phi(\xi, \eta) = \int_{-h}^0 [\phi_x(0_+, y)G_1(0_+, y; \xi, \eta) - \phi(0_+, y)G_{1x}(0_+, y; \xi, \eta)] dy \quad (1)$$

$$\phi(\xi, \eta) = \phi_{in}(\xi, \eta) + \int_{-h}^0 \phi(0_-, y)G_{2x}(0_-, y; \xi, \eta) dy - \int_{-h}^0 \phi_x(0_-, y)G_2(0_-, y; \xi, \eta) dy \quad (2)$$

ここに、 G_1 、 G_2 は水深が異なる領域1あるいは2で①及び②、③、⑤の境界条件を満足するグリーン関数であり、既に John²⁾によってその形が明らかにされている。また、 ϕ_{in} は入射波に相当する速度ポテンシャルである。式中、グリーン関数がこの特性をもつので、グリーンの公式中の積分回路は、スリット壁表面についてのみ実施すればよいことになる。ただし、マウンドなどがある場合などでは、その表面も積分範囲に含まれることになる。また、ここでの定式化は任意の列数のスリット壁に対しても容易に拡張できる。

ここでさらに、スリット近傍に対して、柱体列を過ぎる流れを表す以下の解を用意する。

$$\phi(x, y) = (x \pm C(y))U(y) + C_0'(y) \quad (3)$$

ここに、正負符号はスリット壁の両側に対応し、 U は一様流部での流速(水平)、 C_0' は任意定数である。また、 C は"blockage coef."と呼ばれる理論定数であり、簡単な断面形状に対してはその形が既に求められている。

スリットからの波動をいわば遠方より眺めた外部解に相当する式(1)及び式(2)と、近傍で眺めた挙動を表す内部解相当の式(3)とを接続するために、式(1)及び式(2)においてそれぞれ $\xi \rightarrow 0_+$ 、 0_- の極限形を求めると以下を得る。

$$\phi(\xi, \eta) = 2 \int_{-h}^0 \phi_x(0_+, y)G_1(0_+, y; \xi, \eta) dy \quad (4)$$

$$\phi(\xi, \eta) = 2\phi_{in}(0_-, \eta) - 2 \int_{-h}^0 \phi_x(0_-, y)G_2(0_-, y; 0_-, \eta) dy \quad (5)$$

式(4)及び式(5)から誘導されるポテンシャル差と式(3)から求められるそれを等値することにより、式(3)

のスリット断面の影響を式(1)、式(2)に導入でき、最終的に次式を得る。

$$C(\eta)U(\eta) + \phi_{in}(0, \eta) = \int_{-\infty}^{\infty} [G_1(0_+, y; 0_+, \eta) + G_2(0_-, y; 0_-, \eta)] U(y) dy \quad (6)$$

結局、式中の未知関数 $U(y)$ および $\phi(0_+, y)$ 、 $\phi(0_-, y)$ は、式(6)及び式(4)、(5)を連立させることにより解くことができる。

以上のような定式化の後、従来と同様に、式を離散化することによって問題を数値的に解くことができることになるが、実際の計算における分割長は波長の $1/30^3$ とした。また、エネルギー損失の影響は、従来同様、複素係数の blockage coefficient を考えることにより導入できるが⁴⁾、計算に用いた非線形損失係数の値はここでも $f=1.5$ である。

3. 数値計算例 計算結果の例として、図-1に示すような岸側水底が沖側水底よりも qh (h :沖側水深)だけ浅くなっている断面に対して本手法を適用して得られた反射率(γ_r)及び透過率(γ_t)の値を図-2に示す。図中には、両側が等水深の場合の値(従来方法⁴⁾、本手法、いずれによっても同じ値を得ることを確認できる)も示した。

図によれば、スリット壁がこのような地形上に設置された場合には、予想されるように沖岸側が等水深の場合に比べて全般に透過率は減少するものの、反射率は増すことがわかる。このような傾向はこれ以外の高さの条件でも同様に示される。図-3は、ステップ上に設置されたスリット壁近傍の一樣流部の水粒子速度(水平)の最大値(U_{max})を入射波のそれで無次元化したものを示すが、水粒子速度そのものの値及びエネルギー損失によるその減少量(図中、ハッチ部分に相当)はステップ上設置の場合の方が大きいことより、ステップによる流速増大効果は、反射率低減にはさほど寄与しないことがわかる。一方、ステップ上に設置された、あるいは消波室内水深を浅くした直立消波工では、その反射率は通常のものよりも小さくなることを既に示し⁴⁾⁵⁾、その理由としてステップ部分がスリット通過水粒子速度を増すためであることを挙げたが、図-3に示す同条件下の直立消波工の場合の図によれば、この場合にも水粒子速度及びエネルギー損失によるその減少量とも、ステップ上設置の場合の方が大きく、流速の増大はそのまま反射率低減に結び付いていることがわかる。

参考文献 1) Macaskill, C., J.F.M., Vol.95, 141-157, 1979. 2) John, F., Comm. Pure Appl. Math. Vol.3, 45-101, 1950. 3) 中村孝幸ほか、第29回海講、462-466, 1982. 4) 角野昇八ほか、第35回海講、557-561, 1988. 5) 角野昇八ほか、平成元年度関西支部年講、1989.

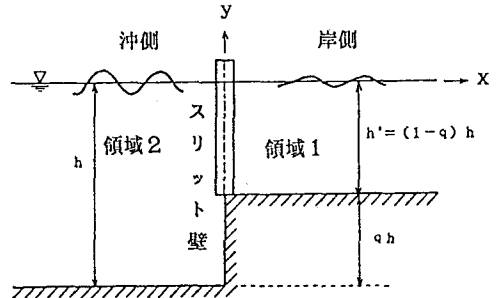


図-1 ステップ上に設置されたスリット壁

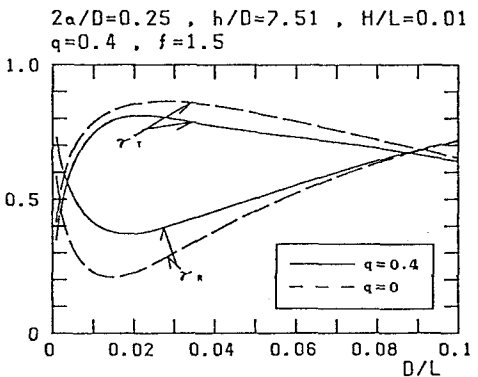


図-2 ステップ上に設置された一重スリット壁の反射率と透過率

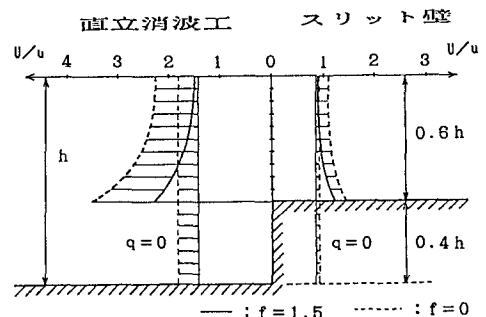


図-3 スリット通過水粒子速度特性