

II-373 斜め入射波に対する converging-channel 型防波堤の反射・透過特性

清水建設(株) 大崎研究室 正員 清川哲志

1. はじめに

各種の透過性防波堤が提案されているのは周知のとおりであるが、中でもユニークなものの一つに Pullin & Joubert (1984)¹⁾ によって提案された converging-channel 型防波堤がある。これは図-1 に示すように矢羽根形のユニット列からなるもので、マリナに係留されたヨットの列の後方の水域が静穏であることから考え出されたものである。Pullin & Joubert は、グリーン関数法を用いて彼らの着想が有効であることを理論的に確認するとともに、実験的にも検証している。また最近では、建設省と民間との共同研究開発プロジェクトの中で、複合型消波堤と称して converging-channel 型と類似の形状の防波堤が研究されている²⁾。これらの研究では、いずれも波が構造物列に直角に入射する場合を取り扱っているが、このような特殊な形状を有する場合、波が斜めから入射する場合にどうか興味深い。また converging-channel 型防波堤の実用上の有効性を論じる意味でも重要な問題である。本報告は、グリーン関数法によって斜め入射波に対する converging-channel 型防波堤の反射・透過特性を理論的に検討した結果について述べるものである。

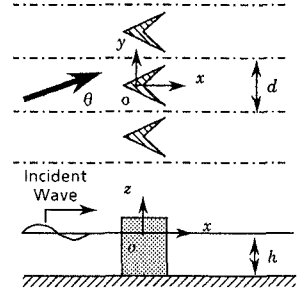


図-1 Converging-channel 型防波堤の概念と座標系の定義

2. 解析方法

基礎方程式は、速度ポテンシャルに関する 3次元ラプラス方程式で、これを通常の境界条件の下に解くが、規則的に配列された構造物列に波が斜めから入射する場合、現象の空間的な周期性に着目して変数変換を行うと、無限列の問題を単体問題として取り扱うことが可能となる。すなわち、散乱波のポテンシャル $\Phi_{sc}(x,y,z)$ を $\Phi_{sc}(x,y,z) = \phi_{sc}(x,y) \cdot F(z)$ ($F(z) = \cosh k(h+z) / \cosh kh$, k : 波数 $= k \tanh kh = \omega^2/g$ の実正根) とおき、 $\phi_{sc}(x,y) = \psi(x,y) \cdot e^{iky \sin \theta}$ とすると、 $\psi(x,y)$ は y 方向には設置間隔 d の周期関数となる (θ は入射波が x 軸となす角度)。そして、対応するグリーン関数も通常の変数分離法によって容易に求めることができ、既に著者ら (1987)³⁾ および中村ら (1988)⁴⁾ によって独立に導かれている。結果を示すと次式のようなものである。

$$G(x,y;\xi,\eta) = \frac{-1}{2d} \sum_n \frac{1}{\lambda_n^*} \exp \left\{ \lambda_n^* |x-\xi| + i \frac{2n\pi}{d} (y-\eta) \right\}, \lambda_n^* = \begin{cases} i\sqrt{-l_n^*} & (\text{if } l_n^* < 0) \\ -\sqrt{l_n^*} & (\text{if } l_n^* \geq 0) \end{cases}, l_n^* = \left(\frac{2n\pi}{d} \right)^2 - 2k \sin \theta \frac{2n\pi}{d} - k^2 \cos^2 \theta$$

このグリーン関数から、構造物間隔 d および入射波長 $L (= 2\pi/k)$ の関係から決まる有限個の進行波成分が発生し、各成分波の進行方向は互いに異なることがわかる ($l_n^* < 0$ の場合)。一般的に言えば、構造物間隔に対して入射波長が短くなるに従って多くの進行波成分が発生し、波の場が複雑になる。

本研究では、上式で表されるグリーン関数を用いて直接法によって積分方程式を導いている。そのために随伴偏微分形式の広義のグリーンの定理を必要とする。この結果、 $\psi(x,y)$ に関する積分方程式は次式となる。

$$\frac{1}{2} \psi(P_0) = \int_{C_s} \left\{ -G(P, P_0) f(P) - \psi(P) \frac{\partial}{\partial n} G(P, P_0) + ik \sin \theta n_y \psi(P) G(P, P_0) \right\} dc$$

ここに、 P, P_0 : 構造物表面上の点、 C_s : 堤体の水平断面の境界、 n_y : 流体から見て外向き単位法線ベクトルの y 成分、 $f(P)$: 点 P における入射波の速度振幅を変数変換したもので、 ϕ_{in} を入射波のポテンシャルとすると、 $f(P) = \partial \phi_{in} / \partial n \cdot e^{-iky \sin \theta}$ 。また、 n による微分は流体から見て外向き法線方向に行うものとする。

この積分方程式を通常行うように離散化して数値的に解くことによって構造物表面上の点 P における ψ の値が求められる。そして、 $\phi_{sc}(P) = \psi(P) \cdot e^{ikx_P \sin \theta}$ によって点 P における散乱波のポテンシャル値を求めること

ができる。波高、反射率、透過率などの物理量は通常のようにポテンシャル値から求められる。ただし、上で述べたように反射波、透過波は、それぞれ位相の異なる成分波が重ね合わせられたものなので、エネルギーフラックスによって反射率と透過率を定義する必要がある。

3. 堤体前後の波高分布

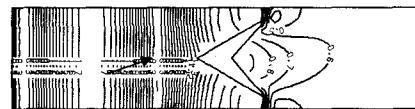
図-2に堤体前後の波高比(波高/入射波高)分布の一例を示す。上より入射角度 θ をそれぞれ 0° 、 20° 、 40° とした場合の結果である。防波堤形状は図中に示したとおりで、正三角形の岸側を垂線の中点の所までカットしている。このケースの場合、 $d/L=0.406$ 、 $a/d=0.8$ (a :三角形の辺の長さ)である。この図から 20° 程度の斜め入射ではそれほど顕著な影響は見られないが、 40° 入射となると堤体背面で波高が増大することがわかる。ちなみに、このときの透過率 K_T は、それぞれ0.569、0.582、0.622である。このケースの場合開口率が20%なので透過率が大きい、開口率を下げれば当然透過率もさがる。

4. 入射角度が透過率に及ぼす影響

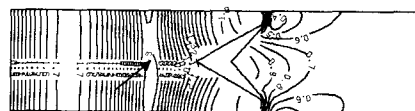
防波堤形状等は図-2に示したものと同一とし、入射角度による透過率の変化を図-3に示す。これらは $a/d=0.8$ 、 0.9 の2ケースについての結果である。特徴的なのは、 $a/d=0.8$ のケースでは入射角が増すにつれて透過率が上がるのに対し、 $a/d=0.9$ のケースでは逆に下がっていることである。これは、透過率の周波数特性(換言すれば d/L による特性)が、 a/d によって異なっているためである。すなわち、一般に、この種の構造物は波による共振点を持ち、そこで透過率が最小になる。したがって、共振点の左側では単調減少、右側では単調増加となる。入射角度の増大は x 方向の見かけの波長を短くするから、 $a/d=0.8$ のケースでは共振点の右側、 $a/d=0.9$ のケースでは左側にあったと考えられる。しかし、いずれにしてもこの図に見られるように、入射角が 40° 程度までは透過率に大きな変化がないことから、converging-channel型防波堤は、斜め入射波に対して実用上の問題はないということができる。



(a) 0° 入射



(b) 20° 入射



(c) 40° 入射

図-2 堤体前後の波高分布

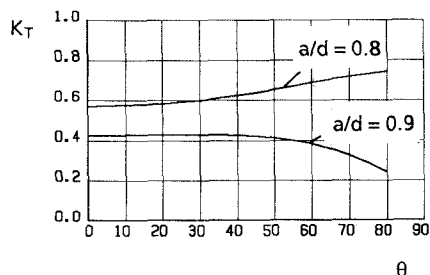


図-3 入射角度による透過率の特性

参考文献

- 1) Pullin, D.I. and P.N. Joubert, : Behaviour of a converging-channel breakwater; theory and experiment, JFM, vol. 141, pp.123-138, 1984.
- 2) 宇多高明・村井禎美: 海域制御構造物の開発に係わる諸問題, 土木第43回年次梗概集, pp.632-633, 1988.
- 3) Motyka, V. and T. Kiyokawa, : The wave diffraction problem in case of periodic structure - A solving method based on the Green's function theory and a variable transformation -, Technical report submitted to Ohsaki research institute, Shimizu corporation, Report No. : ORI-R-8709, 1987.
- 4) 中村孝幸・小野正順: 規則配列された沖合消波堤まわりの波浪共振の特性とその解析法, 第35回海岸工学講演会論文集, pp.527-531, 1988.