

II-408 円柱列の波の反射率および透過率の新しい算定法

大阪市立大学工学部 正員 角野 昇八
 大阪市立大学大学院 学生員 ○伊庭 智生
 東洋建設(株) 技研 正員 松永 博史
 大阪市立大学工学部 正員 小田 一紀

1) まえばき 1列の円柱列からなる透過性消波構造物の反射率および透過率の新しい算定法について、波のエネルギー輸送理論の考え方をを用いて算定式の誘導を試み、その結果の一部は既に発表¹⁾した。その後、その算定式の妥当性を確認するとともにその完成度をさらに高めるための実験を行ったので、ここではそれらの結果をもとに若干の修正をほどこした算定式を再提案するものである。

2) 透過率の算定式 詳細については既に発表済みであるので、ここではその概要のみを記す。波動場に設置された構造物によって消散される波のエネルギーは、抵抗力によって構造物になされる仕事量に等しいとする、Goda・Ippen²⁾が金網の透過率の算定に用いた考え方を円柱列に適用すれば、1本の円柱の深さ方向の微小長さ dx に消散されるエネルギー dE_{loss} は次式で表わされる。 $dE_{loss} = \int dF_0 \cdot V \cdot dt$ —— (1) ここに、 dF_0 : 円柱の dx 部分に働く抵抗力 $= \frac{1}{2} \rho C_{Da} D V^2 dx$, V : 円柱に対し直方向の水粒子速度成分, ρ : 水の密度, C_{Da} : 抵抗係数 (本研究の場合、隣接円柱の影響をも含んだ抵抗係数であるため、以下、見掛けの抵抗係数と呼ぶことにする) D : 円柱の直径 である。さらに円柱相互の中心間隔を S , 波動の周期を T とすると、単位時間に円柱列の単位幅について、抵抗力仕事により消散されるエネルギー P_{loss} は以上の式より、 $P_{loss} = (\rho C_{Da} D / TS) \cdot \int_{-T/4}^0 dx \int_{-T/4}^{T/4} V^2 dt$ 。 —— (2) 円柱列透過後の波高の減少はこの P_{loss} によるものであるとすれば、波のエネルギーの輸送理論より、 $g g H_1^2 C_g / 8 - g g H_T^2 C_g / 8 = P_{loss}$ —— (3) ここに、 H_1 : 仮想入射波高³⁾ $= \sqrt{1 - R^2} \cdot H_T$ (R : 反射率 $= H_R / H_T$, H_R : 反射波高, H_T : 入射波高), g : 重力の加速度, C_g : 群速度 $= \sigma \sinh 2kh / \{2kh (\sinh 2kh + 2kh)\}$, σ : 角周波数, k : 波数, H_T : 透過波高 である。以上の式より円柱列の透過率 $\sigma_T (= H_T / H_1)$ を求めると次式を得る。 $\sigma_T = \sqrt{1 - R^2} \times (1 - C_{Da} \lambda \cdot D / S)^{1/2}$ —— (4), ここに $F(kh) = 8 (\sinh^2 kh + 3) / \{9 (\sinh 2kh + 2kh)\}$ —— (5) $\lambda = 2 \sqrt{1 - R^2} \times F(kh) \cdot H_T / L$ —— (6) L : 波長 である。

3) 反射率および C_{Da} の算定式 以上の式(4)～式(6)より σ_T を算定するためには、入射波および構造物の条件の他に R と C_{Da} とが知られていなければならない。このうち R の算定式は、谷本他⁴⁾の研究結果を参考にして掃切り率 (D/S) のみの関数として表わされるものとした。また C_{Da} は検討の結果、 D/S と式(6)の λ の関数として表わされることが明らかとなった。

4) 実験条件および実験方法 長さ50m, 幅1m, 高さ1.75mの造波水槽内に、直径5.1cmの鋼製円管によって1列の円柱列を設置し、その反射率および透過率測定の実験を行った。円柱列は水槽のほぼ中央部(造波板より約30m)に設置した。入射波高としては、円柱列構造が無い状態で計測した透過波高測定地点の波高を採用し、透過波高は、円柱列の後方(岸側)2.70mの地点に設置した容量式波高計(1°~3°)で測定した。また反射率は、円柱列前面に生ずる最初の腹および2番目の節の値を測定し、それらの値よりHealyの方法によって求めた。計測の際、腹および節の付連には各2°~4°の容量式波高計を近接して設置し、正確な値が求められるように努めた。実験における入射波の条件としては、周期 $T = 1.13, 1.72, 2.24 \text{ sec}$ のものを用い、各周期について波高勾配 $H_1/L = 0.01, 0.03, 0.05$ と変化した。ただし造波装置の性能より $T = 2.24 \text{ sec}$, $H_1/L = 0.05$ の条件は行なわなかった。また水深は全実験にわたって $h = 50 \text{ cm}$ (一定)とした。構造物の条件としては、掃切り率 $D/S = 0.65, 0.75, 0.86, 0.92, 0.97$ の5つとし、各々の D/S の条件について入射波の周期および波高を変化させて実験を行った。今回の実験では特に林服部⁵⁾の実験条件に無い D/S の条件(0.75, 0.65)をも追加して実験を行った。

5) 実験結果およびそれによる算定式の修正

今回得られた円柱列の反射率の実験結果を図-1に、また透過率のそれを図-2~4に示す。図-1に示すように、得られた反射率の実験結果は同じD/Sの値にあってはほぼバラツいた値をとるが、ここではとりあえずそれらを同じD/Sの値について平均したものを採用した。それは図中の●印によって示されるが、これは前回発表の版の算定式による値と比べてD/S≒0.6~0.8の範囲でわずかにずれるため、前回発表の算定式を次式のように修正した。

$$Y_R = 0.95 \cdot \{\exp(8 \cdot D/S) - 1.0\} / \{\exp(8) - 1.0\} + 0.05 \cdot (D/S) \quad \text{--- (7) 修正した箇所は、右辺第1項の係数を} 1.0 \rightarrow 0.95 \text{としたことおよび第2項を追加したことである。}$$
 図-1中の実線は、この式(7)による値を示すが、実験値とよく一致していることが認められる。なお、本研究とは別にSOBIERSKI⁶⁾も式(7)の曲線に非常に似合った曲線を経験的に得ている。一方、式(4)の透過率算定式に含まれるCpaの算定式は、今回の実験値をも勘案して次式の形とした。
$$C_{pa} = 2.2 \cdot (0.75/\alpha)^{\alpha}, \alpha = 0.85 \cdot (D/S)^{1/4} \quad \text{--- (8) 前回の式と異なる点は、第1式右辺の係数が} 2.3 \rightarrow 2.2 \text{と行ったことのみである。}$$
 図-2~4には、式(4)~式(8)を用いて求めた計算値を実線で示す。さらに図-5には、これらの式による値(実線)を林服部の実験結果とともに示した。いずれの場合にも実験値と計算値との差はほぼ5%以内におさまリ、両者の対応はきわめて良好である。

6) おわりに

表のエネルギー輸送理論を用いて、1列の円柱列からなる透過性消波構造物の反射率および透過率算定式の誘導を行ない、入射波の条件(相対水深、波形勾配)および構造物の条件(縦切り率)からただちに円柱列の透過率および反射率を精度よく予測できる算定式が得られた。今後、円柱列について求めたのと同様な方法によって、角柱列からなる透過性構造物の透過率および反射率算定式の誘導を進めていきたいと考えている。なお、本研究費の一部は実吉奨学会研究助成金によるものである。ここに記して謝意を表します。

参考文献 1) 角野伊度・小田、関西支講, pp. II-95-1~2, 1982. 2) Y. Goda, A.T. Ippen, MIT Report, No. 60, 1963. 3) 高山・菊地・西田、第26回海講, pp. 466~470, 1979. 4) 谷本・吉本・泉田、港研資料, No. 394, 1981. 5) 林・服部、第18回海講, pp. 115~120, 1968. 6) S.R. Massel, J. of W.H.C. Eng. Div. WW2, pp. 165~187, 1976.

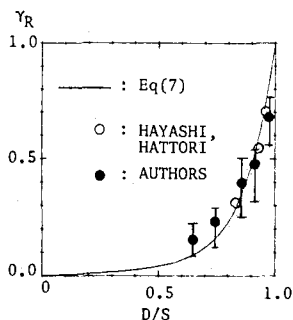


図-1. 反射率とD/Sとの関係

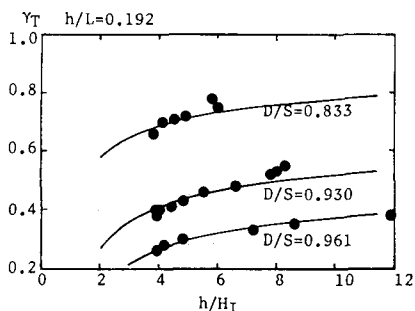


図-5. 計算値と林服部⁵⁾の実験値との照合

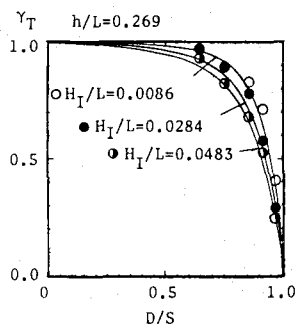


図-2. 透過率とD/Sとの関係

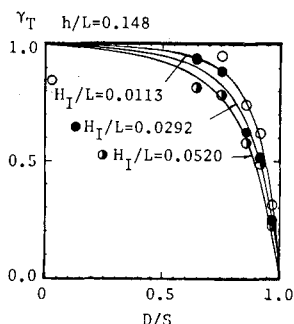


図-3. 透過率とD/Sとの関係

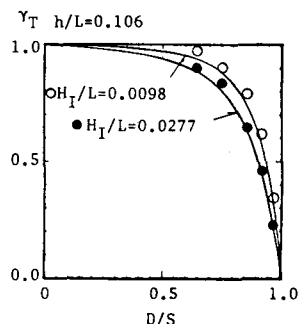


図-4. 透過率とD/Sとの関係