

円筒式透過性防波堤に作用する波力と消波特性

防衛大学校 学生会員 松村泰敬
 防衛大学校 正会員 林建二郎

1. 背景および目的

現在の防波堤などの海域制御構造物は、湾内の船舶を守るため外洋からの波・流れなどを遮断・制御するだけでなく、その構造物からの反射波から湾外を航行中又は停泊中の船舶を守るための消波機能も求められている。また湾内の海水循環機能促進などの水質環境保持なども求められている。海域制御構造物の形式は多様に存在するが、これらの条件を満たす海域制御構造物の1つに、円筒等を規則的に並べたスリット式透過性防波堤がある^{1)~4)}。この防波堤の特徴は、波を完全に遮るということをせず許容の湾内波高の範囲で入射波 H_i を透過させかつ堤体前面に現れる反射波高 H_r を小さくし、防波堤自体に掛かる波力を軽減させ上記のニーズを満たすことである。

空隙率を有する構造物の消波・波力特性の研究^{1)~4)}はこれまで盛んに行われてきたが、その消波・反射機能についてはまだ十分に解明されていない。本研究は、円筒式透過性防波堤の透過率・反射率の計測と波力計測を行い、円筒に作用する波力と透過波の水粒子速度の位相変化特性より円筒列で生ずる波の消波エネルギーを評価することにより、円筒式透過性防波堤の反射率及び透過率の評価を行なったものである。

2. 実験方法

実験には、長さ40m、幅0.8m、高さ1mの吸収式造波装置付き二次元水槽を用いた。水槽の他端には1/20勾配の消波用斜面を設置した。スリット式防波堤に見立てた1列の円筒列を造波板から15.62m離れた位置に設置した。直径は $d=3\text{cm}$ の各円筒の中心間隔は $S=3.6\text{cm}$ と 7.2cm の2種類とした。円筒列中央の1本の円筒に作用する波進行方向波力 F_x を6分力計で計測した。比較のために、本円筒を単独に設置した場合の F_x も計測した。

円筒列からの波の反射率および透過率を計測するために、容量容量線式波高を、円筒列の沖側に2つ(波高計

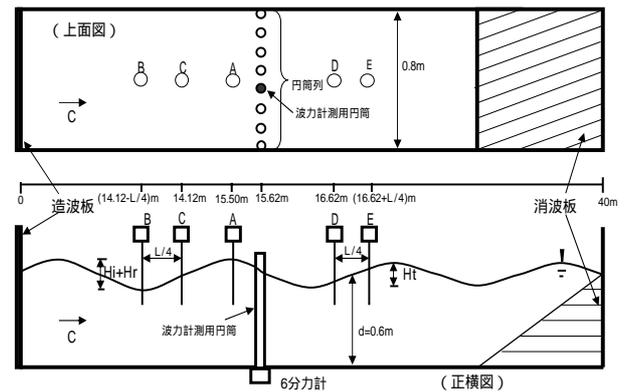


図1 実験装置図

B、C)、岸側に2つ(波高計D、E)設置した(図-1参照)。それぞれ2つの波高計の設置間隔は波長 L の約1/4とした。入射波高 H_i と反射波高 H_r の分離評価には入射分離法を用いた。波高計D、Eより透過波高 H_t を評価した。

実験水深は $d=0.6\text{m}$ の1種類とした。使用した規則波の周期は $T=1, 2, 3$ 秒の3種類、入射波高の範囲は $H_i=2\sim 24\text{cm}$ とした。水深波長比は $d/L=0.39, 0.14, 0.093$ 種類である。波高水深比の範囲は $0.03 < H_i/d < 0.32$ である。

3. 透過率と反射率の評価式

円筒列中の一本円筒に作用する透過波による波の進行方向波力 F_x の抗力項をモリソン式で評価し、波高 H_t を有する透過波に微小振幅波理論を適用すると、 F_x による周期 T における単位時間あたりの損失エネルギー(=仕事率) E_f は、(1)式で示される⁵⁾。 F_x の慣性力項による波1周期間の仕事量はゼロとなり無視できる。

$$E_f = \frac{1}{T} \int_0^T \int_0^{d+\eta} \frac{\rho}{2} C_D u_t |u_t| u_t D dz dt \approx 2\rho \frac{C_D}{3\pi} \frac{D}{k} \left(\frac{gk}{\sigma} \right)^3 \left\{ \frac{\sinh^3(kd) + 3 \sinh(kd)}{3 \cosh^3(kd)} \right\} \frac{1}{8} H_t^3 \quad \text{---- (1)}$$

式中、 ρ は水の密度、 C_D は円筒列を構成する円筒1本の抗力係数である。 $k=2\pi/L$ 、 $\sigma=2\pi/T$ である。 u_t は円筒列を透過する波の水粒子速度である。 dz は円柱の微小部分長、 d は静水深、 η は透過波の水位変位量である。

円筒列における連続式とエネルギー保存式より、本円筒列の透過率 $k_t=H_t/H_i$ と反射率 $k_r=H_r/H_i$ は次式で示される。

キーワード 円筒式透過性防波堤、透過率、反射率、抗力係数、消波エネルギー

連絡先 〒239-8686 横須賀市走水1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL046-841-3810 E-mail : hayashik@nda.ac.jp

$$k_t = \frac{2A}{(2A+BH_t)} \quad \text{----(2)} \quad k_r = 1 - k_t \quad \text{----(3)}$$

ただし、

$$A = \left(\frac{\rho g}{8}\right)C \left\{ \frac{1}{2} + \frac{kd}{\sinh(2kd)} \right\} \quad \text{--(4)} \quad B = E_f / (SH_t^3) \quad \text{--(5)}$$

式中のCは、波速(=L/T)である。

3. 結果および考察

実験に先立ち、1/20勾配の消波用斜面からの波の反射率 k_{rs} を計測した。 k_{rs} は約0.1以下であった。

円筒列中の円筒1本に作用する波力 F_x の抗力成分と透過波高 H_t の実測値より、モリソン式中の抗力係数 C_D を算定した。円筒中心間隔比が $S/D=1.2$ と2.4の場合における C_D の水深波高比 H_t/d に対する変化特性を、水深波長比 d/L をパラメータとして図-2、図-3に示す。図中には、本円筒を単独に設置した場合の抗力係数 C_{Ds} も比較のために実線で示している。 $S/D=1.2$ の C_D は、円筒列間隔の減少による縮流効果によって透過流速が増大する結果、単独設置円筒の C_{Ds} より大きく増加している。その増加率 C_D/C_{Ds} は最大約20倍となっている。 $S/D=2.4$ の場合の増加率は、最大約2倍と急激に減少している。

円筒1列が有する透過率 k_t と反射率 k_r の H_t/d に対する変化特性を、 d/L をパラメータとして図-4、図-5に示す。図中には、(2)式と(3)式による透過率、反射率の計算値 k_{tcal} 、 k_{rcal} を実線で記入している。式中の C_D には、図-2、図-3に示されている実測の C_D 値を使用している。実測値と計算値との一致は概ね良好であるが、透過率 k_t の計算値 k_{tcal} は実測値 k_t を若干大きく評価している。一方、反射率の計算値は実測値を若干小さく評価している。これらの原因としては、入反射分離法の評価精度や上記の水槽他端に設置されている消波用斜面からの反射波の影響(反射率=<約0.1)が考えられる。

5. おわりに

円筒列中の円柱1本に作用する波力(抗力)の位相変化特性より円柱列が有する波の消波エネルギーを実測評価することにより、円筒式透過性防波堤の反射率と透過率を計算評価できることを明らかにした。この評価法を適用して、多数列円筒列群や樹林対等⁵⁾が有する波の透過率、反射率の評価を行なう予定である。

参考文献 1)林泰造他：筒型透過性防波堤の水理特性について、第12回海岸工学講演会公園概要集、pp.193-197,1965. 2)Kriebel D.L: Vertical Wave Barriers: Wave Transmission and Wave Forces,

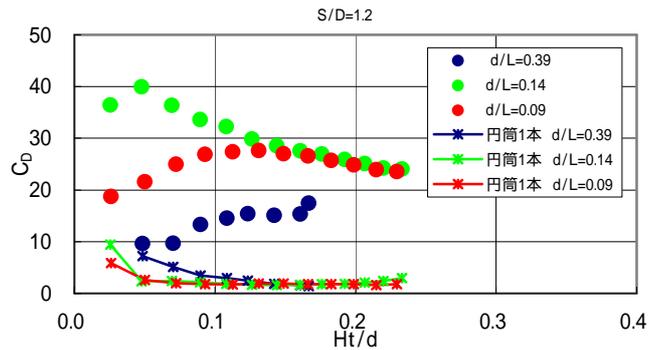


図-2 円筒1本の抗力係数 (S/D=1.2)

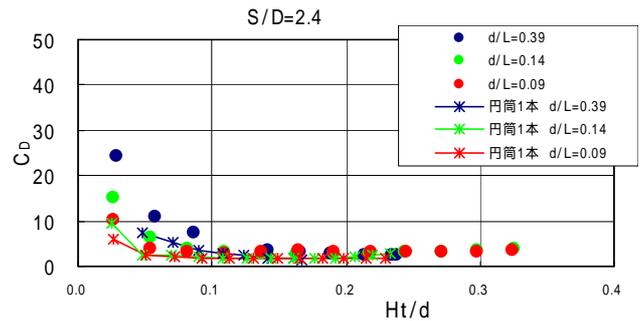


図-3 円筒1本の抗力係数 (S/D=2.4)

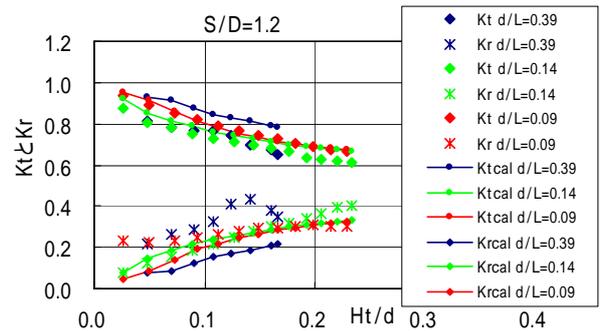


図-4 円筒1列の透過率、反射率 (S/D=1.2)

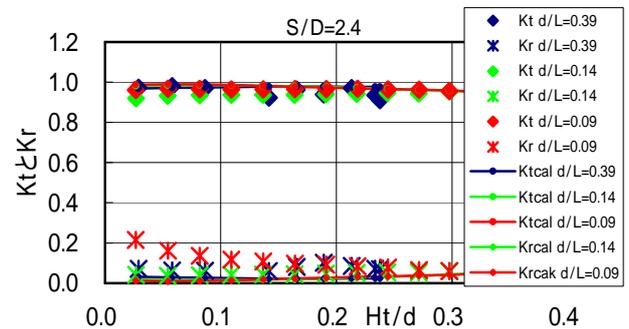


図-5 円筒1列の透過率、反射率 (S/D=1.2)

Coastal Engineering,1992. 3)浦島三朗：円柱型消波構造物の反射率及び透過率について、 苫小牧工専紀要第27号, 1992. 4)宇多高明他：スリット型消波構造物の消波および波力特性とそれらの推定法, 土木技術試料33.5, 1991. 5)林建二郎他：藻場や水辺植生・樹林帯の消波特性評価, 海岸工学論文集第52巻, pp.686-690, 2005.