防衛大学校建設環境工学科	学生会員	〇山内	拓
防衛大学校建設環境工学科	正会員	林建二	二郎
防衛大学校建設環境工学科	正会員	八木	宏

1. はじめに

捨石堤, 消波ブロックや円柱群等を用いた透過性構造物やスリット構造と遊水部を有する直立消波堤の設計 においては、これら透過性構造物が有する波の透過率と反射率の評価が重要である¹⁾.しかし、透過性構造物 内・外の流れ特性やその抵抗則の機構は複雑なため、透過率・反射率の評価はなかなか困難である.

筆者らは、これら透過性物体内における流れの連続式とエネルギ-保存式を考慮することにより、透過性構 造物における波の透過率と反射率の評価式を検討している

²⁾. この評価式の導出においては,透過性構造物内で生じる 波の多重反射特性を考慮し,透過波および反射波には時間位 相差が生じることも考慮している.

本研究は,鉛直設置された円柱群が有する波の透過率と反 射率特性に対する,この評価式²⁾の適用性を検討したもので ある.

2. 実験方法

実験には長さ 40m, 幅 0.8m, 高さ 1m の二次元造波水槽を 用いた.実験装置の概略を図-1 に示す.外径 D =3cm, 長さ 1m のアクリル円柱を水槽の一区間長 B =0.364m に千鳥配置 で鉛直設置した.正三角形をなす各円柱の中心間隔は S=6cm である.単位床面積に占める円柱部の断面積比を樹林 帯密度は $\lambda=\pi D^2/(2*3^{1/2}*S^2)=0.227$ である.

円柱群による波の反射率 K_r(=反射波高 H_r/入射波高 H_i) と透過率 K_t(=透過波高 H_t/入射波高 H_i)を計測するため に,容量線式波高計を円柱群の沖側と岸側に2本ずつ設置 した.実験水深は d=30cm,使用規則波の周期は T=1 秒の 1 通り,波高の範囲は H=1~12.5cm とした.

3. 円柱群に入射する波の透過率と反射率の評価式 1)

波の多重反射が生じている円柱群中のn番目円柱列での 連続式より,式(1),(2)が得られる.

 $H_{tn+1}(1-k_{rn})\cos\varepsilon_{tn+1}-H_{tn}\cos\varepsilon_{tn}-H_{rn-1}(1-k_{tn})\cos\varepsilon_{Jr\,n-1}=0$ (1)

 $H_{tn+1}(1-k_{rn})\operatorname{sin}_{tn+1}-H_{tn}\operatorname{sin}_{tn}-H_{rn-1}(1-k_{tn})\operatorname{sin}_{tn}_{Jr}=0 \qquad (2)$

式(1), (2)より, *n*+1 番目の円柱列における透過波 *H*_{in+1}の位 相差 ε_{m+1}, および *n* 番目の円柱列における透過波 *H*_{in}の透過 率 *K*_mは,式(3), (4)でそれぞれ示される(図-2 参照).

 $\varepsilon_{tn+1} = \tan^{-1} \left[\left\{ H_{tn} \operatorname{sin} \varepsilon_{tn} - H_{rn-1} (1-k_m) \operatorname{sin} \varepsilon_{Jr n-1} \right\} / \left\{ H_{tn} \operatorname{cos} \varepsilon_{tn} - H_{rn-1} (1-k_m) \operatorname{cos} \varepsilon_{Jr n-1} \right\} \right]$ (3)

キーワード 透過性構造物,円柱群,透過率,反射率,波の多重反射

連絡先 〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20 Tel 046-841-3810 ⑥e-mail: hayashik@nda.ac.jp









$$K_{in} = \{-B_1 \pm (B_1^2 + 4A_1C_1)^{1/2}\}/(2A_1)$$
(4)

$$(\underline{H}, L), A_1 = H_{tn+1}^2 - H_{tn-1}^2$$
(5)

$$B_{1} = 2 H_{m-1}^{2} - 2H_{tn}H_{m-1} \cos(\varepsilon_{tn} - \varepsilon_{Jr n-1})$$
(6)
$$C_{1} = H_{m}^{2} + H_{m-1}^{2} - 2H_{tn} H_{m-1} \cos(\varepsilon_{m} - \varepsilon_{Jr n-1})$$
(7)

n 番目円柱列におけるエネルギー保存式より, n+1番 目円柱列の透過波高 H_{m+1}は,式(8)で示される.

$$H_{m+1} = \{(H_n^3 B_0 / A + H_{m-1}^2 K_m^2 + H_m^2 - H_{m-1}^2) / (1 - K_m^2)\}^{1/2}$$
 (8)
A は、式(9)で示される波エネルギーの伝達率である.

$$A = \{ (\rho g/8) C (1/2 + kd/\sinh 2kd) \}$$
(9)

$$B_0 = \{\rho g^3 k^2 C_D D / (12\pi S \sigma^3)\} \{(\sinh^3 k d + 3 \sinh k d) / (12\pi S \sigma^3)\}$$

$$(3\cosh^3 kd)\} \tag{10}$$

n 番目円柱列の透過波高 H_m とその位相差 ε_{tm} ,および n-1番目円柱列からの反射波高 H_{m-1} とその位相差 ε_{Jr} n-1 が分かれば,式(4)と式(8)より成る連立方程式より,n+ 1番目円柱列の透過波の波高 H_{m+1} と n 番目円柱列にお ける透過率 K_m が求まる.その結果,n 番目円柱列から沖 側への反射波の波高 H_m および位相差 ε_{rn} が求まる.

以上の逐次計算を,円柱群の岸側端(n=1)より沖側に向 かって行なえば,円柱群の沖側端における入射波高 H_i と, 円柱群沖側端からの反射波高 H_r が求まる.

結果および考察

上記の評価式の適用例として,樹林帯密度が λ =0.02 と低密度の円柱群の場合を図-3に、 λ =0.16と比較的 高密度な網状間隙体の場合を図-4に示す.これら図中 には,上記の評価式を用いて算定された透過率 K_t と反 射率 K_r の計算値を実線と破線で記入している.実線は 式(10)中の抗力係数を C_D =1,破線は C_D =2 とした計算 結果である.低密度な円柱群の場合, C_D =2 を用いた K_t , K_r の計算値と実測値の一致度は, C_D =1 の場合よ り良好である.一方,本円柱群中の円柱の抗力係数の 実測値は, C_D =1.6~2.3 であった.本網状間隙体にお





いては、 $C_D = 1$ を用いた K_t 、 K_r の計算値と実測値との一致度は、 $C_D = 2$ の場合より良好である.本網状間隙体部材の抗力係数 C_D の実測値は 0.55< C_D <1.05の範囲であった.また、これら図中には、線形長波理論²⁾による K_t と K_r の数値計算結果を×印でに示す.

今回の実験で得られた,樹林帯密度が $\lambda = 0.227$ と高密度円柱群の透過率 K_t と反射率 K_r の,入射波高 H_i に対する変化特性を図-5 に示す.図中に示す青色,赤色の実線は,透水系数実験法を用いて実測された本円柱群中の円柱の抗力係数 $C_D = 3$ を用いた,上記の評価式による K_t , K_r の計算値である.透過率 K_t の計算値は実験値を上手く評価しているが,透過率 K_r の計算値と実験値の一致度は不十分である.

参考文献 1) 林建二郎・多田 毅・大井邦明:海岸林に作用する波力特性と透過率と反射率の評価,土木学会論文 集B2(海岸工学), Vol.70, pp.I-771-I-775, 2014. 2) 原田賢治: 防潮林の津波減災効果に関する水理学的研究, 東北大学大学院工学研究科博士論文, 143p., 2003.