

名古屋大学大学院工学研究科 学生会員 ○ 福田直也
 名古屋大学大学院工学研究科 正会員 李 光浩
 名古屋大学大学院工学研究科 正会員 水谷法美

1. はじめに

透過性の潜堤や人工リーフが、海岸浸食の防止や海岸安定化の目的から全国各地で施工されており、波動場における透過性構造物に関する研究も数多く行われている。人工リーフの機能的効果を最大限に発揮し、海岸保全施設として利用するためには、人工リーフが持つ波浪減衰特性を明らかにするとともに、人工リーフ周辺の流動場、エネルギー逸散・輸送機構および土砂移動機構を明確にし、それに基づいた施工が必要だが、人工リーフ場の3次元的なエネルギー減衰および輸送機構について、十分に検討されているとは言い難い。そこで本研究では、透過層を構成する粒径による抵抗力が考慮可能な3次元数値モデルを構築するとともに、人工リーフを模した透過性構造物が沖合に存在する場合を想定し、人工リーフ周辺の水面変動特性、エネルギー減衰および輸送特性について解析を行った。

2. 数値解析手法

本研究では、李ら(2010)¹⁾によって提案された3次元数値波動水路モデルに基づき、基礎方程式には非圧縮性流体を対象とした連続方程式および透過層による動水勾配が考慮可能な修正Navier-Stokes方程式を採用した。本数値モデルでは、透過層を構成する粒径によって、層流抵抗と乱流抵抗を適切に考慮できるように R で示す透過層による抵抗力を導入した。基礎方程式は、3次元非圧縮性流体を対象とする連続式(1)と、運動方程式(2)で示されている。

$$\nabla(\theta\mathbf{V})=\tilde{\mathbf{q}} \quad (1)$$

$$[\theta+C_A(1-\theta)]\frac{\partial\mathbf{V}}{\partial t}+(\theta\mathbf{V}\cdot\nabla)\mathbf{V}=-\frac{\theta\nabla p}{\rho_w}+\theta\nabla\cdot(2\nu_w\mathbf{E}-\boldsymbol{\tau})-\frac{2\theta}{3}\nabla[v_w(\nabla\mathbf{V})]+\theta\mathbf{F}_b-\gamma\theta\mathbf{V}-\mathbf{R} \quad (2)$$

ここに、 θ :透過層空隙率、 \mathbf{V} :流速ベクトル、 C_A :付加質量、 t :時間、 p :圧力、 ρ :流体密度、 ν :動粘性係数、 \mathbf{E} :ひずみ速度テンソル、 \mathbf{F}_b :任意の体積力、 γ :付加減衰領域での減衰項、 $\tilde{\mathbf{q}}$:造波のためのソース項、 \mathbf{R} :透過層による抵抗力である。運動方程式内の透過層による抵抗力項 \mathbf{R} は透過層を構成する粒径と空隙率によって層流抵抗と乱流抵抗を適切に考慮できるようにShih(1990)²⁾の提案式を変形した以下の式(3)を採用している。

$$\mathbf{R}=a\mathbf{V}+b\mathbf{V}^2 \quad (3)$$

$$a=\left[\alpha_1+\alpha_2\left(\frac{g}{\nu^2}\right)^{2/3}D_{50}^2\right]\frac{(1-\theta)^3}{\theta}\frac{\nu}{gD_{50}} \quad (4)$$

$$b=\left[\beta_1+\beta_2\exp\left\{\beta_3\left(\frac{g}{\nu^2}\right)^{1/3}D_{50}\right\}\right]\frac{(1-\theta)}{\theta^2}\frac{1}{gD_{50}} \quad (5)$$

ここに、 g :重力加速項、 D_{50} :透過構造物を構成する平均粒径、 α_i, β_i :無次元定数であり、それぞれ $\alpha_1=1683.71$ 、 $\alpha_2=3.21\times 10^{-3}$ 、 $\beta_1=1.72$ 、 $\beta_2=1.57$ 、 $\beta_3=-5.10\times 10^{-3}$ を適応した。上記の基礎方程式をM-CIP法に基づき計算を行った。また液相と気相の界面の追跡にはVOF法を採用した。計算領域は、半断面を対象に長さ648cm、幅150cm、深さ35cmとし、格子数は $324\times 75\times 35$ (格子幅2cm \times 2cm \times 1cm)であり、領域内の沖合に人工リーフを模した透過性構造物、岸側には1/5勾配の不透過斜面を設置している。沖境界条件はすべての物理量の水平勾配がゼロとなる条件($\partial\phi/\partial x=0$)とし、側壁境界はslip条件としている。

3. 計算結果および考察

解析の一例を図-1(計算領域の概略図), 図-2(エネルギーフラックス分布図), 図-3(各位置でのエネルギーフラックス量)に示す. 数値実験はフルード相似則 1:100 とし, 水深 $h=20\text{cm}$, 波高 $H=3\text{cm}$, 周期 $T=1.0\text{s}$ が作用する場合を想定した. 透過性構造物は, 透過率 0.45, 構造物粒径 1.0cm, 堤長が 100cm, 天端幅 50cm, 開口幅 50cm, 離岸距離 234cm, のり面勾配は沖側, 岸側ともに 1/2 とした. また天端水深を天端上で碎波を伴わない 5cm, 碎波する 2cm の 2 ケースとした. エネルギーフラックス分布をみると図-2(a)より, 人工リーフ天端上では, エネルギーフラックスが複雑な分布をしていることが分かる. また, 背後域ではエネルギーフラックスが大きな値を示しているが, これは開口部から入射してきた波が屈折し, 背後域で波高が増大するためである. また, 図-2(b)では, (a)と比較すると天端上でのエネルギーフラックスがより複雑であるが, 人工リーフ天端上で碎波が生じるためである. また背後域を比較しても, 碎波によりエネルギーフラックスの値が低いことが分かる. また, 開口部においては(a),(b)ともに沖側にプラス, 岸側にマイナスのエネルギーフラックスの存在が確認できるが, (b)のケースではそれぞれのエリアが(a)に比べ大きくなっていることが確認できる. このことから, 透過性人工リーフ天端上で碎波をする場合は, 碎波をしない場合と比べ, 岸へのエネルギー輸送を減少させるが, 人工リーフ開口部では大きく複雑なエネルギー輸送を引き起こすことが分かる. 各位置でのエネルギーフラックスの分布をみると, 図-3(a)(b)の比較により天端上で碎波が生じる場合と生じない場合では人工リーフ天端上を通過するエネルギーフラックスと構造物内を通過するエネルギーフラックスの伝播特性が大きく異なる. しかし, 開口部を通過するエネルギーフラックスは大きな差が無いことが分かる.

4. おわりに

透過性人工リーフ周辺のエネルギーフラックス特性を数値解析に基づいて検討した結果, 天端高さ, 特に入射波の天端上での碎波の有無によってエネルギーフラックス特性は大きく異なることが明らかになった. 今後はさらなるエネルギーフラックス特性の解明とともに, 周辺の土砂輸送過程の解析を進めていく予定である.

【参考文献】1)李光浩・水谷法美・姜閔求 (2010): スリットを有する複雑なケーソン防波堤への三次元数値波動水槽の適用, 海洋開発論文集, 26, pp.69-74. 2)Shih,R(1990): Permeability characteristics of rubble material-new formula, Coastal Engineering Conference ,24th,1499-1512.

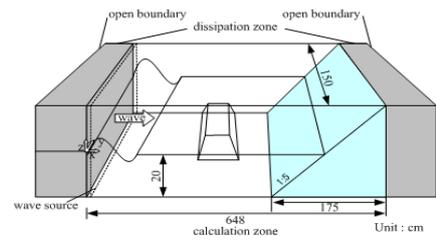
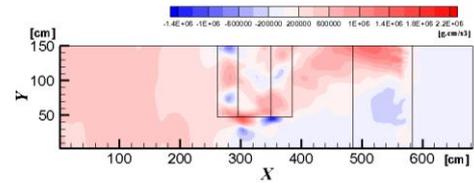
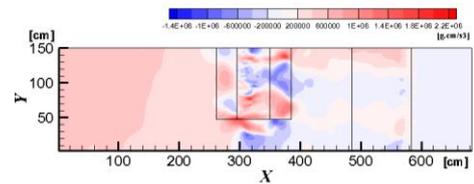


図-1 計算領域の概略図 (半断面を対象)

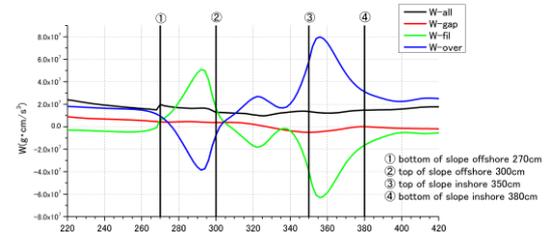


(a) 天端水深 5cm

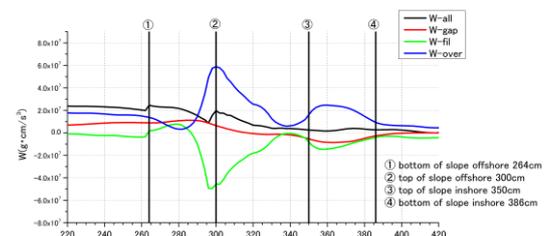


(b) 天端水深 2cm

図-2 エネルギーフラックス分布図



(a) 天端水深 5cm



(b) 天端水深 2cm

図-3 人工リーフ周辺の各位置でのエネルギーフラックス量