

波と流れが相互に作用する場における人工リーフ周辺の流動場および水面変動の特性解析

名古屋大学工学部 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

海岸の安定化を図る消波構造物の一つとして人工リーフが挙げられ、海岸の環境保全、景観確保などの理由からその計画・施工例が近年増加している。そのなかで施工箇所が河口域に存在する例や、河口閉塞防止対策として人工リーフが施工される例がある。波が卓越する場において、人工リーフ周辺の流動場及びそれに伴う土砂移動過程の解析は、数値計算、水理模型実験、現地観測など数多く行われている。しかし、河口域のような波と流れが共存する場における人工リーフ周辺の流動場及びそれに伴う土砂移動過程の特性解析の検討は十分にされたとは言い難い。

そこで本研究では、河口および人工リーフ背後域の地形の形成・変形過程、漂砂環境に影響を与える土砂移動過程を明らかにするために、波と流れの非線形相互作用を解析できるNavier-Stokes運動方程式に基づいた3次元数値解析モデル(李ら, 2008)を用いて、河口付近の人工リーフ周辺を対象とした流動場および水面変動の数値解析を行う。

2, 数値解析手法

本研究では、同一の計算領域で流れと波を同時に発生させることによって波・流れの非線形相互作用をシミュレート可能な3次元数値モデル(李ら, 2008)を用いて流動場を計算し、その傾向を把握する。同モデルは、同一の計算領域で無反射ソースを用いて波と流れを同時に発生させることによって、様々な波と流れの相互作用問題への適用を可能にしている。

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)、および自由表面を追跡するためのVOF関数 F に関する移流方程式(3)で構成されている。

$$\nabla \cdot \vec{V} = \tilde{q} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \nabla) \vec{V} = \vec{g} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \left\{ \nabla^2 \vec{V} + \frac{1}{3} \nabla \tilde{q} \right\} + \vec{f} \quad (2)$$

$$\frac{\partial F}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \nabla) F = F \tilde{q} \quad (3)$$

ここに、 \vec{V} : 流速ベクトル, t : 時間, \vec{g} : 重力加速項, ρ : 流体密度, ν : 動粘性係数, \vec{f} : 計算領域での反射波を制御するための減衰項, F : セル内の流体の体積率を示すVOF関数, \tilde{q} : 流れや造波のためのソース項である。

基礎方程式を staggered mesh に基づく有限差分法により解析した。圧力補正に関するポアソン方程式を解く段階のみ、一般座標系に座標変換し連立1次方程式を構成し、MICCG法により解いた。この方法より自由表面付近での複雑な圧力近似をせずに、高精度の圧力変動を求めることができる。計算条件は沖側に造波境界、水路側に流入境界を設定する。計算領域は、直角入射の条件では半断面を対象に長さ800cm、幅140cm、深さ50cmとし、格子数は160×70×50(格子幅5cm×2cm×1cm)であり、領域内に構造物を設置し、岸側に水路幅10cm、水路内水深を8cmの水路、および1/6勾配の斜面を再現している。沖・岸側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($\partial\phi/\partial x$)とし、側壁境界は、slip条件としている。

計算では、まず流速 U の流れを発生させたのち、流れの安定後に波を発生させ、波と流れの共存場の解析を行った。

3. 計算結果および考察

人工リーフ周辺の波と流れが相互に作用する場における一例を図1(初期地形), 図2(水面変動), 図3(平均流速分布)に示す. 平均流速は x 方向に平均した値である. 波高 $H_1=3\text{cm}$, 周期 $T=1.2\text{s}$, 水路内平均流速 $U=34\text{cm/s}$ が作用する場合を想定し, 図1の河口部に設置した人工リーフの条件は, 天端水深が 3cm , 堤長が 75cm , 天端幅が 100cm , 開口幅が 13cm , 離岸距離が 150cm , のり面勾配は沖側, 岸側, 側面ともに $1/1$ である.

水面変動分布図を見ると, 図2(a)より人工リーフ上で水面低下が見られる. 人工リーフ上で波が砕波することによる波高の減少が確認できる. また, 図2(b)では, 河川側開口部において水面の上昇が見られる. 波と流れの相互作用によって生じる波高の増大が確認できる. 図2(a)と(b)を比較すると, 人工リーフ後背域において波と流れが共存する場合は, 波のみが作用する場合と比べ, 水面変動が少ないことが見てとれる. また, 波のみが作用する場合と比べ, 一様に分布していることが分かる. 人工リーフ上では, 波と流れが共存する場合は波のみが作用する場合と比べ, 水面変動が少ないことが分かる. また, 波と流れが共存する場合は, 水面変動分布が開口部から放射線状に広がっている.

このことから, 河川側開口部における波と流れの相互作用によって生じる波高の増大が, 人工リーフ上の水面変動に大きな影響を与えることが分かる.

流速分布図を見ると, 図3(a)より人工リーフ上で沖向きの流れが生じているのが分かる. 沖から来た波が水深の浅くなる人工リーフ上で砕波し, 流れが生じることが確認できる. 図3(c)より人工リーフ上で沿岸方向の流れの形成が見て取れる. これは, 人工リーフ上で砕波したことによる岸向きの流れと河川からの流れの相互作用により, 流路が湾曲されるためであると考えられる. 図3(b)と(c)より, 人工リーフ後背域で時計回りの循環流が形成されていることが分かる. 図3(a)の波のみの場合では, このような循環流は形成されていないことから, 循環流は河川からの流れに大きく支配されていることが分かる. また, 図3(a)と(c)を比較すると, 沿岸側の開口部では波と流れが共存する場合は, 波のみが存在する場合より, 沖向きに強い流れ形成されることが見て取れる.

4. おわりに

波と流れが相互に作用する場における人工リーフ周辺の水面変動と流動場を, 数値解析に基づいて検討した結果, 波と流れの相互作用により人工リーフ周辺の流速場, 水面変動は波のみが存在する場合の流速場, 水面変動とは大きく異なることが明らかになった. 今後は, 鉛直方向の流速分布などさらなる現象の解析を行うとともに, 水理模型実験を行って数値計算実験の結果と比較しながら, 土砂移動過程の解析を進めていく予定である.

【参考文献】李光浩・大堀文彦・水谷法美・桑原真吾 (2008) : 河口から流出した流れと波の相互作用に関する研究, 海洋開発論文集, 24, pp.897-902.

