IB 法による沿岸構造物に作用する波圧に関する一考察

名古屋大学工学部 学生会員 ○ 中島 彩 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

<u>1. はじめに</u>

波の越波を積極的に制御するため、様々な形状を持つ岸壁が提案されてきた.その中で、近年ではパラペット(波返し工)を有する堤防の現場での組み立て・設置を行うために、工場などで護岸を製造するプレキャスト工法からコストを削減策が提案されている.一方、李・水谷(2007)は、このような様々な形状を持つ海岸構造物と流体の連成解析が可能な手法として IB (Immersed Boundary)法と VOF 法をカップリングした新たな数値波動水路モデルを提案した. IB 法はデカルト格子上で任意形状を持つ構造物と流体の連成解析が可能な手法であるが、パラペット護岸のような気相と境界を有した構造物に対する検証は未解明なところが多い.そこで本研究では、曲面を持つパラペット堤防に作用する外力を数値解析から評価するために李・水谷(2007)によって開発された IB 法を用いて数値計算を行い、その適用性を試みた.

2. 数値計算法の概要

本研究で用いられた数値波動水路モデルは複雑な自由表面変化を精度良く追跡できる VOF 法と,流体と構造物の相互作用を解析できる IB 法で構成されている. IB 法では計算領域内部の構造物による境界面にラグランジュポイントを設定し,その点での力がつりあうように運動方程式に外力項を取り込んで計算を行う. 基礎方程式は式(1)の連続式と式(2)の Navier-stokes 方程式および式(3)の自由水面を追跡するための VOF 関数 F に関する移流方程式である.また,式(4)は IB 法で考慮する計算領域内の構造物による *i* 方向の外力項(オイラー力)を表す.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = \tilde{q} \qquad (1) \qquad \frac{Du_i}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x_i} + 2\nu \frac{\partial D_{ij}}{\partial x_j} - \frac{2\nu}{3} \frac{\partial \tilde{q}}{\partial x_i} - g_i - \gamma u_j \delta_{j2} + L_i \qquad (2)$$

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial (u_i F)}{\partial x_i} = F\tilde{q} \qquad (3) \qquad L_i = \int_{\Omega} \tilde{L}_{ki} \delta(x_i - x_k) dx_k \qquad (4)$$

式(4)のラグランジュ力は構造物境界面におけるラグランジュポイントでの力のつり合いを考慮した運動方程 式で構成され式(5)のように表される.

$$\widetilde{L}_{ki} = \frac{\partial u_{ki}}{\partial t} + u_{kj} \frac{\partial u_{ki}}{\partial x_{kj}} - v \frac{\partial^2 u_{ki}}{\partial x_{kj}^2} + \frac{\partial p_k}{\partial x_{ki}} + g_i$$
(5)

式(5)のラグランジュ力は局所加速力、対流慣性力、粘性力、圧力、重力で構成される。そして境界面に分布 した各々のラグランジュメッシュでの力は周辺の計算格子から補間することにより求められる.

<u>3. 計算結果および考察</u>

図-1 に本研究で設定した数値 波動水路の概略図を示す. 同図で 示すように高さ 45cm, 勾配 1/7 の 不透過斜面を設定し, その後ろに 高さ 57cm, 法面勾配 1/2 の不透過



斜面を設定した.これに連続して半径 5cm であるパラペット護岸を設置した.静水深は 50cm とし,計算条件 を H/L=0.01, T=2.0s, $H_i=4.1$ cm の場合と H/L=0.02, T=1.8s, $H_i=7.1$ cm の場合, H/L=0.03, T=1.2s, $H_i=6.1$ cm の 3 種類とした.また,本計算で用いられた格子解像度はオイラーメッシュの場合, $\Delta x=2.0$ cm, $\Delta z=1.0$ cm の 一定格子を,ラグランジュメッシュの場合,幅 $\Delta l_p=0.5$ cm として設定した.図-2 には,パラペットに作用する 無次元波圧分布の IB 法による数値計算結果(黒線)と水理模型実験結果(赤線)を比較したものである.図中の縦軸は護岸の法面勾配が 1/2 になる地点からの高さを表し,実験では波圧を計測した位置になる.また,静水面は図-2 の護岸の高さ $h_i=5$.cm に位置する.



図-2 から h_w=8.cm 以下の位置における数値計算の結果は実験値を全体的に過大評価していることがわかる. 特に,静水面付近である h_w=5.cm では,その特性が顕著である.一方,潜水状態である h_w=2.25cm 付近では静 水面付近に比べ,良好に再現している.これらの原因に対しては,構造物に作用する流体力であるラグランジ ュカを求める際に必要な流速や圧力の補間の問題を挙げられる.すなわち,本研究では,液相のみを考慮した 単相流モデルを採用しているため,自由水面付近では、ラグランジュ力を求めるため,必要な物理量の補間に 必要な流動場の情報が十分ではないのが考えられる.また,これらが原因として護岸の打ち上げ高さも再現性 が低くなり, h_w=8.cm より高い地点でも実験値と相異な結果が得られたと思われる.しかし,潜水状態である h_w=2.25cm 付近では,水深下にラグランジュポイントが存在しているため流速と圧力補間が従来通り行われる ことで実験値を良好に再現している.一方で,h_w=6.25cm 付近では,空気を巻き込んだ砕波が x=570cm 付近で 発生することにより,ラグランジュポイント付近の計算格子での補間箇所で気相と液相が混相することが原因 で圧力や流速補間が正確に行われず,実験の再現性が低下したと考察できる.以上のことから,単相流モデル に基づいて IB 法を適用した場合,自由水面付近や砕波などによる大量の気体混入など,異相間での補間が重 要な課題として挙げられる.しかし,数値計算結果は実験値を全体的に過大評価するものの,護岸に作用する 波圧を適切に再現している.特に,従来のオイラー型モデルでは構造物の形状の再現が不可能であった曲面を 有するパラペット護岸に対し,IB 法を適用することによって数値的に扱うことが可能となった.

<u>4. おわりに</u>

本研究では、IB 法に基づいた数値波動水路にパラペット護岸を設置し、護岸に作用する波圧に関する数値 実験を行った.しかし、単相流モデルを適用した場合、自由水面付近において再現性が低下することが明らか になった.今後は、気相と境界を有する構造物に対して適用可能な数値モデルを構築していく予定である. [参考文献]

李 光浩・水谷 法美(2007):海岸工学論文集,第54巻,pp821-825

安藤 康平・水谷 法美・増田 高司(2011):第66回土木学会全国大会年次学術講演会講演概要集,Ⅱ-240.