

IB法による波エネルギー回収システムの数値モデル

名古屋大学大学院工学研究科 学生会員 ○ 彭 偉
 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

近年、エネルギー危機やいろいろな原発事故の問題から再生可能エネルギーを探索するのは研究者の関心を喚起している。日本は長い海岸線を有する島国で、全沿岸域の波浪エネルギーの賦存量を合わせれば、3,500万kWにもなるとされている。波エネルギーは非常に有望な再生可能エネルギー源である。著者らは、浮防波堤の付加機能として波エネルギー回収システムを開発した(渡邊ら, 2010)。このシステムは、波浪による構造物の動揺を利用し、発電を行うものである。渡邊ら, 2010は実験的に波エネルギー回収、浮体の波浪応答特性と波制御機能の検討を行った。しかしながら、その検討ではコストが高く、時間もかなりかかる。そこで、数値計算手法は浮防波堤の有効性を検討するための一般的な方法である。李・水谷, (2007)は従来のデカルト格子上で任意形状の不透過境界を有する物体と流体の連成解析が可能な **Immersed Boundary (IB)**法を浮体の波浪応答に拡張適用した。本研究では、その数値計算手法を波エネルギーの回収システムへ拡張適用し、IB法に基づく浮体と不透水性のプレートの波浪動揺に対する解析手法を構築することを目的とする。また、実験水槽で行った模型実験の結果を用いて数値モデルの検証を行なうと共に、波エネルギーの回収システムの発電量の評価を行うこととした。

2. 数値解析手法の概要

本計算で対象とした計算領域の概略図を図-1に示す。本研究の数値波動水槽は、複雑な自由表面の変化を精度良く追跡できるVOF法と、波と構造物の相互作用を解析できるIB法で構成される。従って、本数値解析コードにおける流体の基礎方程式は、連続式(式(1)), Navier-Stokes方程式(式(2)), VOF関数Fの移流方程式(式(3))になる。なお、 L_i (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)である。

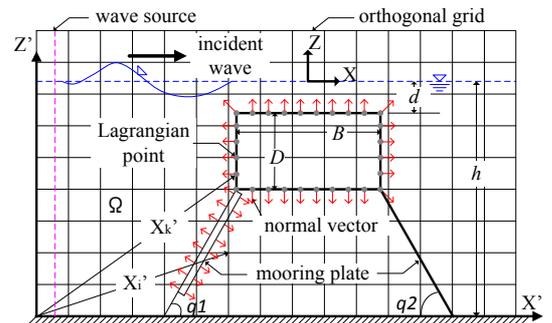


図-1 計算領域の概略図

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

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

ここで、 x_i はX, Z方向のデカルト座標、 u_i は*i*方向の流速成分(u, w)、 p は圧力、 ν は動粘性係数、 $\tilde{q} = q(z, t)/\Delta x_s$ は造波ソース、 $q(z, t)$ は造波ソース位置 $x = x_s$ におけるわき出し強さ、 Δx_s は $x = x_s$ での x 方向の格子長、 t は時間、 g は重力加速度、 ρ は流体の密度、 D_{ij} はひずみ速度テンソル、 γ は付加減衰領域で正の値を持つ減衰係数、 Ω はデカルト座標系に基づいた計算領域、 x_k は構造物の境界面上でのラグランジュ点の座標、 δ はDiracのデルタ関数、 \tilde{L}_{ki} はラグランジュ力の強さである。本システムの構成を図-2と図-3に示す。機械力学モデルは、浮体間の動力学、ギアボックスと発電機関連の力学によって構成される。

3. 計算結果および考察

実験結果の一例を図-4, 5に示す。実験条件は水深 $h=60\text{cm}$ 、入射波の周期 $T_i = 1.6\text{ s}$ 、波形勾配 $H/L=0.04$ である。図-4は浮体の動揺、図-5は波浪制御を示している。波のエネルギーを減衰させることで、ロールの動きは、傾斜浮防波堤の上部表面を引き起こすことにより重要な役割を果たしており、入射波を吸収する傾き

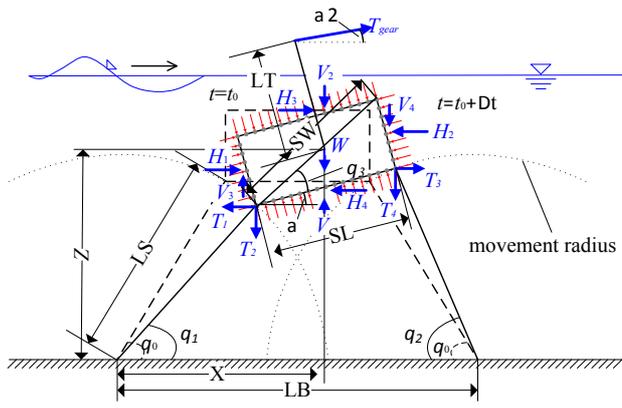
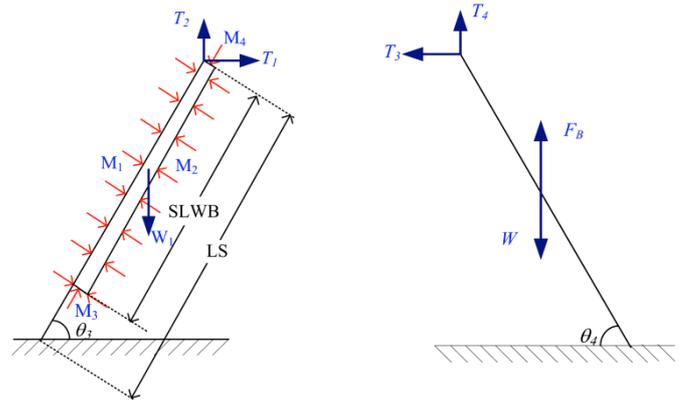


図-2 浮体の運動と外力の定義



(a) 沖側傾斜板

(b) 岸側傾斜板

図-3 傾斜板に作用する外力の定義

として機能している．図-4 に示すように，ロールと揺れの位相と振幅を予測する上で良好な一致を示している．浮体前面である図-5 (a, b) における水面変動は，ほぼ上下対称な正弦波形を示している．図-5 (c)および (d)に示す浮体背後の陸上側の水面変動は，防波堤との相互作用による浮体の天端上で碎波した波が再生している領域であることから，波峰の分裂による高周波成分が発達しているといえる．図-5 より浮体に近い位置では若干の位相差は認められるが，全般的に数値解析結果と水理模型実験結果との対応は良好と判断できる．

4. おわりに

本研究では IB 法と VOF 法を用いて，新開発の波のエネルギー回収システムの動的応答の数値シミュレーションに焦点を当てている．本数値解析モデルは，浮防波堤周りの水面の変動とエネルギー回収システムの効果に適用性を実証している．

本研究は造船学術研究推進機構からの助成金を受けました．

参考文献

- 1) 渡邊洋輔・Peng Wei・水谷法美 (2010) : 海洋開発論文集, 第 26 巻, pp.513-518.
- 2) 李 光浩・水谷法美(2007) : 海岸工学論文集, 第 54 巻, pp.821-825.

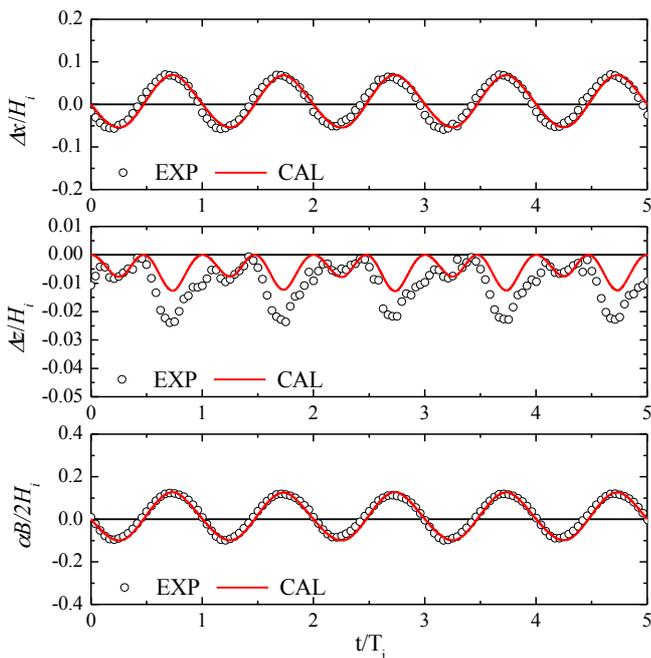


図-4 浮体の運動振幅

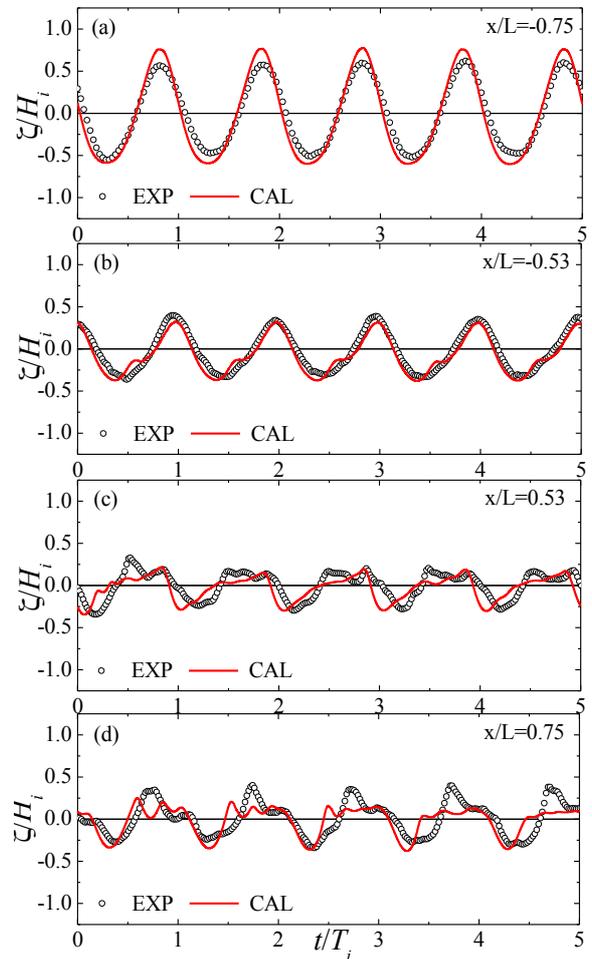


図-5 浮体前後の水面変動の比較