

IB 法に基づいた緊張係留浮体の挙動解析

名古屋大学大学院工学研究科 学生会員○後藤政雄

名古屋大学大学院工学研究科 正 会 員 水谷法美

名古屋大学大学院工学研究科 正 会 員 李 光浩

1. はじめに

湾内外の海水交換性に対する関心が高まってきており、下部に透水域を有する浮体式防波堤が漁港などで建設されている。従来、浮防波堤の有効性を検証するには水理模型実験および様々な数値解析手法を用いて行われてきた。Ataur(2005)らによる VOF 法を用いた数値解析では、概ね水理模型実験の結果を良好に再現されたことが認められている。しかしながら、既往の波動水槽を用いた手法は一般的にデカルト座標系を用いて離散化しており、曲面や任意形状への適用には構造物情報の入力の手間や境界条件の取り扱い、そして構造物の形状に従う物体適合格子を形成する手間がかかる等の課題がある。

このような課題がある中、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を可能とした Immersed Boundary (IB) 法を用いて、流体構造物連成解析コードを作製し、VOF 法を取り込んだ新たな数値波動水槽を構築した。そして、この数値波動水槽の有効性を検証した。そこで、本研究では、李・水谷によって開発された数値解析手法を用いて緊張係留潜水浮体周りの波動場へ適用し、IB 法に基づく数値波動水槽の有効性を検証する。

2. 数値計算法の概要

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。IB 法では計算領域内部の構造物による境界条件を満足させるため、運動方程式に外力項を取り込んで計算を行う。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。

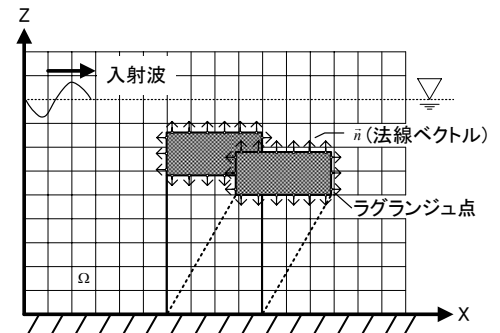


図-1 計算領域の概略図

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

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

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。

本研究で用いる IB 法のモデルでは、Lima e Silva ら(2003)による Physical Virtual (PV) モデルが採用されている。この PV モデルとは、構造物境界面のラグランジュメッシュでの力の釣り合いを考えることで、境界面でのノンスリップを満足するものである。

3. 計算結果および考察

本研究では、IB 法を導入した 2 次元数値波動水槽で計算を行った。計算条件は密度の異なる 2 つの浮体 ($\rho_{st1} = 0.82 \text{ g/cm}^3$, $\rho_{st2} = 0.65 \text{ g/cm}^3$)を対象とし、静水深 $h = 0.4 \text{ m}$ 、鉛直係留した矩形浮体構造物の幅 $SL = 0.16 \text{ m}$ 、高

さ $SB=0.16\text{m}$, 底面から浮体構造物の中心距離 $e=0.172\text{m}$, 入射波高 $H_I=0.04\text{m}$, 周期 $T=1.0\text{s}$ である. また, 計算に用いた格子幅はオイラーメッシュ幅 Δx_i を 0.01m , ラグランジュメッシュ幅 Δl_p を $0.267\Delta x_i$ とし, 時間ステップ間隔を $\Delta t=T/10^3$ とした. 図-2 より, 波の谷が入射してくると浮体周りの速度ベクトルはほぼ下向きを示し, 浮体は沖側へ移動する. 波の峰が入射してくると浮体周りの速度ベクトルはほぼ上向きを示し, 岸側へ移動する. 波の峰・谷が入射してくるとのきの浮体の波浪応答は, Araur らの研究でも確認できており, また本研究でも確認することができたので, 浮体の波浪応答を定性的に再現できると判断できる. 図-3 では, 密度の異なる 2 つの浮体の波による軌跡を描いている. 密度が低い場合, 波による影響が大きく, 密度の高い場合よりも浮体の移動範囲が大きくなることが読み取れる. このように, 李・水谷によって開発された数値解析モデルは, 波によって移動する浮体を安定して計算することができ, その有用性が確認できる.

4. おわりに

本研究では, IB 法を導入した数値波動水路上で浮体の波浪応答の数値計算を行った. その結果, 波の峰(谷)が入射すると浮体は岸側(沖側)へ移動することが確認できた. また, 密度の異なる浮体を比較したところ密度の低い浮体の方が密度の高い浮体より移動範囲が大きいことを計算できた. しかし, 実験との比較・検証を行っていないので, 今後実験を行い本研究で用いるモデルの精度を検証していく.

[参考文献]

- 李 光浩・水谷法美(2007): 海岸工学論文集, 第 54 巻, pp821-825.
- 水谷法美・Ataur Md. Rahman・許 東秀・島袋洋行(2004): 海岸工学論文集, 第 51 巻, pp701-705.
- Md. Ataur Rahman : Nagoya University, 2005
- Lima e Silva, A. L. F., A. Silveria-Neto and J. J. R. Damasceno (2003) : J. Comp. Phys., Vol. 351, pp.351-370

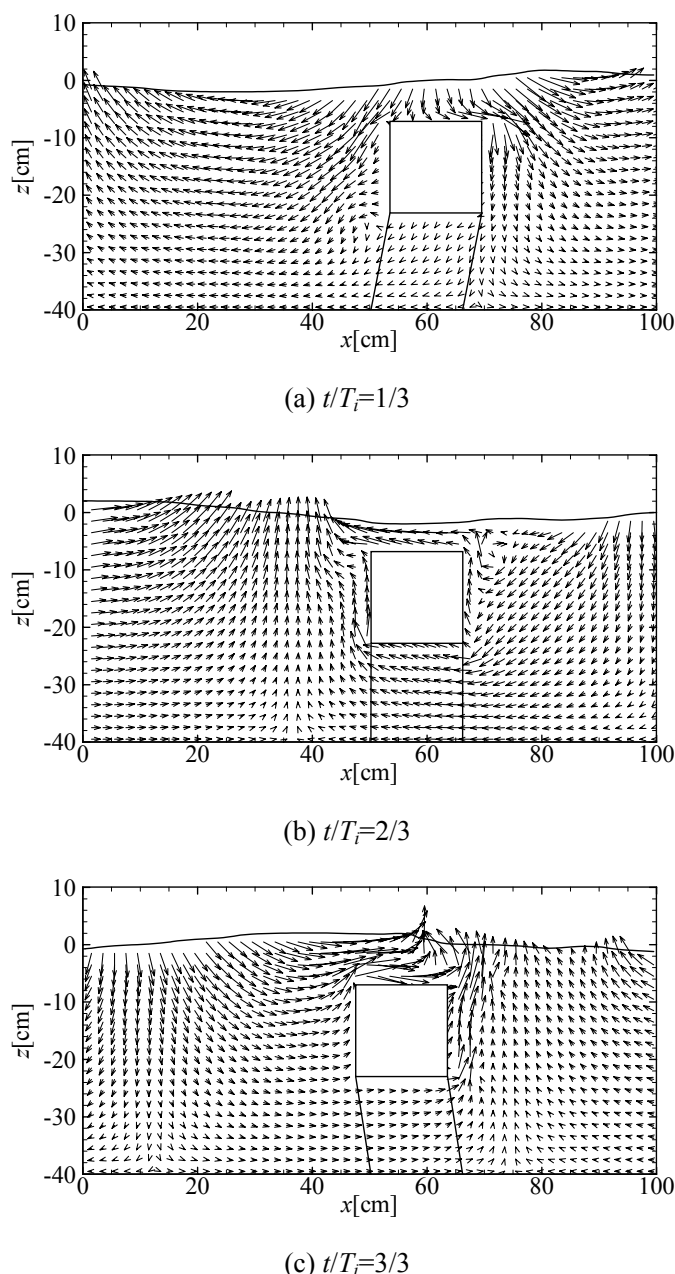


図-2 浮体の波浪応答の数値計算例

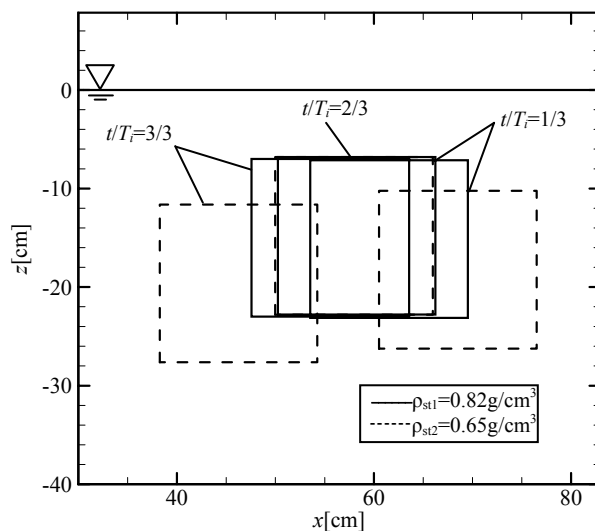


図-3 浮体の密度差による浮体運動の比較