

第I部門 ISPH と FEM を用いた流体構造連成解析の開発

京都大学 学生員 中尾誠希
京都大学 正会員 西藤 潤

1. はじめに

水と構造物の相互作用を考慮した数値解析はFSI(Fluid-Structure Interaction)と呼ばれ、津波や洪水時の土木構造物の安全性を予測するために大変重要である。そこで本研究では流体にISPH¹⁾、構造にFEMを用いたFSIを開発した。流体と構造の相互作用の計算において、FEMの要素内にISPHの粒子を配置する方法を用いた。

2. 本手法の概要

本研究では流体の非圧縮性を考え、圧力ポアソン方程式を用いて陰的に圧力を求める。構造部分においては超弾性体を仮定し、時間積分には時間幅を大きく取るためにニューマークの β 法を用いる。ISPHでは粒子で離散化するのに対して、FEMでは要素と節点で離散化する。そのため、流体構造境界の解析においてISPHとFEMの間で計算点が一致しない。そこで、**図-1**に示すように弾性体要素内に壁粒子とダミー粒子を設置し、流体計算の際には弾性体部分も他の壁面同様に扱えるように工夫した。FEMの計算に用いる流体から受ける力は要素の近傍の流体粒子を用いて圧力の重み付け平均より計算する。壁粒子とダミー粒子の位置は、弾性体の変形に伴って移動する。

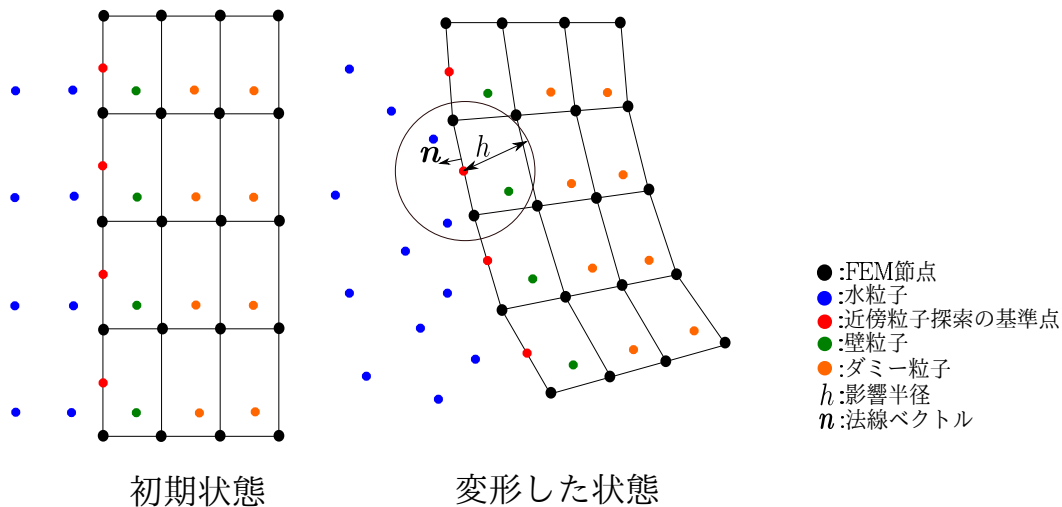


図-1 弾性体内部の壁粒子とダミー粒子の位置

3. 数値解析例

本研究で提案した理論の妥当性を検証するために Antoci²⁾ らが行ったダムブレイク試験の実験値との比較を行った。初期状態は**図-2**の通りである。また構造部分の構成則にはムーニー・リブリンを使用し、材料定数の値はLiら³⁾の値を引用した。**図-3**は $t = 0.16\text{ s}$ における変形の様子を表している。**図-2**における構造部分に赤い点でマーカーをつけた部分の水平変位と鉛直変位の時間変化について実験値と比較すると**図-4**のグラフのようになった。実験値に近い値を取るものの、それ以降では一定程度の乖離が見られる。この原因としては水粒子の直径を 0.002 m と設定しており、全体のスケールに対して粗い離散化をしていることがあげられる。

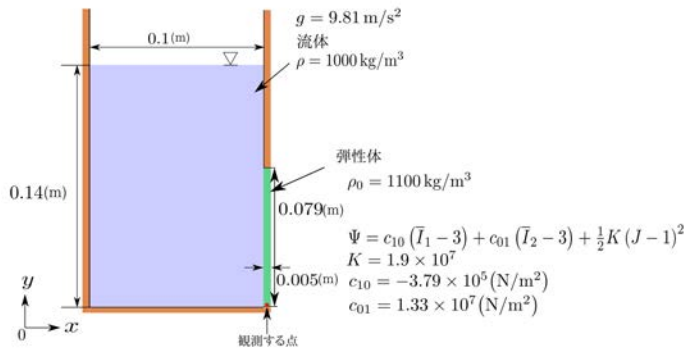


図-2 初期条件

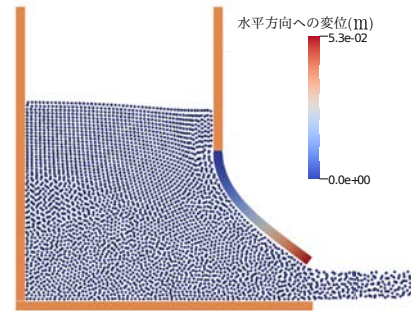
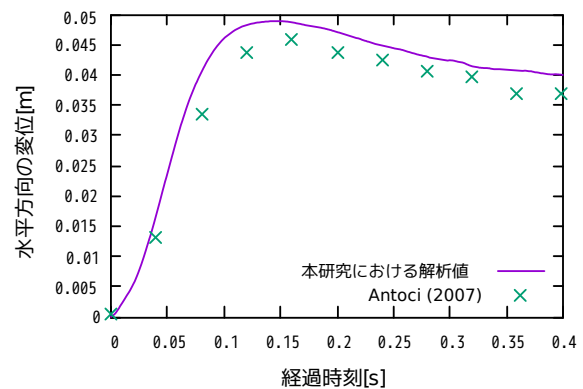
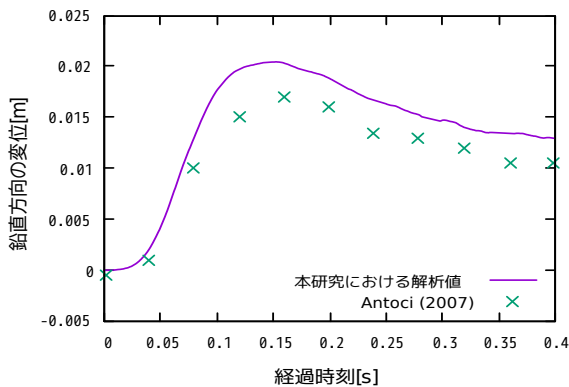
図-3 変形の様子 ($t = 0.16\text{ s}$)

図-4 水平・鉛直方向の変位量

4. 結論

本研究では ISPH を用いて流体を，FEM を用いて構造の計算を行う流体構造連成解析を行った．流体と構造の相互作用力の計算において，固定された壁を表す壁粒子およびダミー粒子を弾性体内部に動的に配置する手法を用いた．この考えに基づいたプログラムコードを開発し，流体構造連成解析の代表的なベンチマークである弾性体のゲートのついたダムブレイク問題を解いた．その結果として，流体粒子と構造の相互作用を表現し，構造の運動を計算できた．

参考文献

- 1) Shao, S. and Lo, E. Y. : Incompressible SPH method for simulating Newtonian and non-Newtonian flows with a free surface, *Advances in water resources*, Vol. 26, No. 7, pp. 787–800, 2003.
- 2) Antoci, C., Gallati, M. and Sibilla, S. : Numerical simulation of fluid–structure interaction by SPH, *Computers & Structures*, Vol. 85, No. 11, pp. 879 – 890, 2007. Fourth MIT Conference on Computational Fluid and Solid Mechanics.
- 3) Li, Z., Leduc, J., Nunez-Ramirez, J., Combescure, A. and Marongiu, J.-C. : A non-intrusive partitioned approach to couple smoothed particle hydrodynamics and finite element methods for transient fluid-structure interaction problems with large interface motion, *Computational Mechanics*, Vol. 55, No. 4, pp. 697–718, 2015.