

ISPH と FEM による流体構造解析における固体境界の取り扱いに関する基礎的研究

京都大学 学生会員 ○中尾 誠希

京都大学 正会員 西藤 潤

1. はじめに

本研究では、流体を ISPH (incompressible smoothed particle hydrodynamics) で、構造を FEM (Finite Element Method) を用いて解くため、流体と構造の境界面の取り扱い方法を取り扱う。Fourey ら¹⁾は、弱圧縮性の SPH と FEM を用いた解析において、固体内部にゴースト粒子を埋め込む手法を用いている。本研究でも同様に固体内部に粒子を配置させ、ISPH と FEM を用いて数値計算を行う。

2. 流体と固体と相互作用力の計算

ISPH では流体を非圧縮性と仮定し、圧力ポアソン方程式を用いて陰的に圧力を求める。陰的な計算を行うため陽的な SPH よりも大きくタイムステップを取ることが可能である。タイムステップを流体と固体であわせるため、固体の計算ではニューマークの β 法を用いて時間積分を行う。固体は超弾性体と仮定し、非線形問題として解く。ISPH 法では壁面 (固定された固体) の自由表面に近い位置に壁面粒子を並べて配置し、その粒子においても水圧の計算を行う。また、壁面粒子よりも内部にダミー粒子を配置する。ダミー粒子では圧力の計算は行わないが、圧力による力の計算や速度発散の計算などに用いる。この壁面粒子とダミー粒子を弾性体内、すなわち FEM で用いる要素内にも同様に配置する。これらの粒子は鏡像を用いて設置するのではなく、あらかじめ要素内のどの位置に粒子が存在するか決めておき、要素の変形に追従するように設置する。

計算の流れは次の通りである。圧力ポアソン方程式を解く際には、壁面内と弾性体内の粒子は同じように扱う。得られた圧力を用いて、水粒子の位置と速度を更新し、また弾性体表面に作用する水圧を計算する。弾性体表面に作用する水圧を外力として FEM を解き、弾性体の位置と速度を更新する。そして、更新された弾性体の位置と速度の情報から、壁面内の壁粒子とダミー粒子の位置と速度を更新する。弾性体表面に与える水圧の計算は、図-1 に示すように要素边上の点の近傍の水粒子の水圧を重み付き平均して計算する。

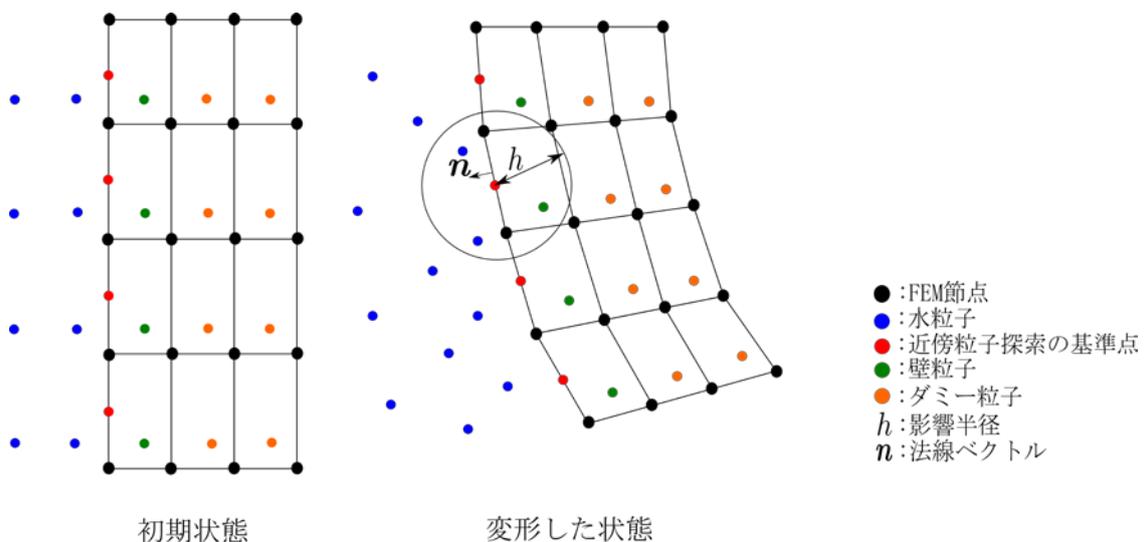


図-1：弾性体内部の壁粒子とダミー粒子の位置

キーワード ISPH, FEM, 流体構造解析

連絡先 〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂 C1-4-586 TEL 075-383-3181

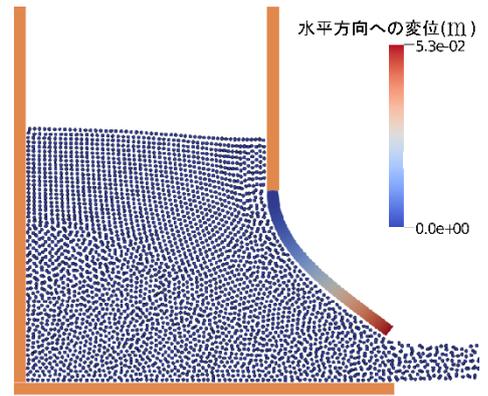
図-3 変形の様子($t = 0.16$ s)

図-2 初期状態

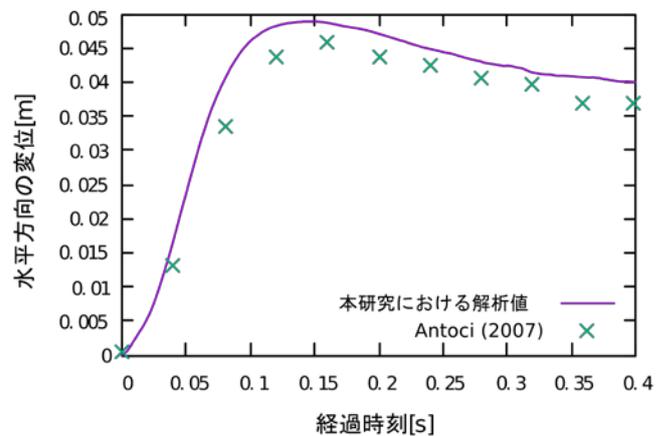
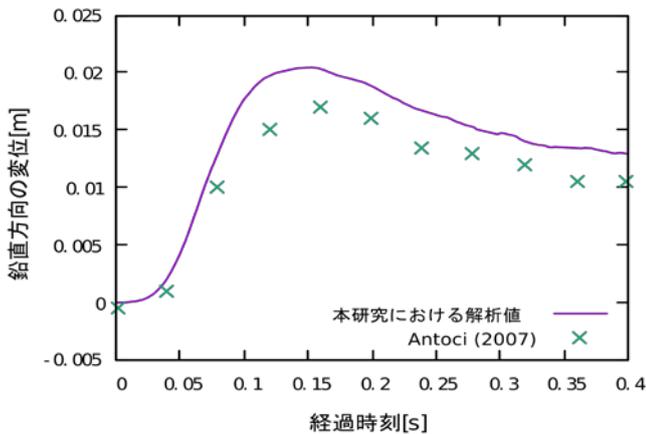


図-4 水平・鉛直方向の変位量

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⁾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。図-3は $t = 0.16$ 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を図-4に示す。実験とよく似た挙動を示している様子が確認できる。

4. おわりに

ISPH と FEM による流体構造解析のための相互作用力の取り扱い手法を用いて計算を行い、実験結果と比較した。その結果、計算可能であることを示せた。本研究では、初期状態として、水粒子、壁粒子、ダミー粒子はすべて等間隔に格子状に並べて計算を行った。格子状ではなく、要素中央に要素の大きさに応じた体積をもつ粒子を配置したケースでも計算を行ったが、弾性体に近い水粒子の水圧が大きく評価され、実験結果や今回用いた手法よりも変位が大きく出る傾向が得られた。

参考文献

- 1.) Fourey, G., Hermange, C., Le Touzé, D., and Oger, G. : An efficient FSI coupling strategy between smoothed particle hydrodynamics and finite element methods, *Computer Physics Communications*, Vol. 217, pp.66-81, 2017
- 2.) Antoci, C., Gallati, M., Sibilla, S. : Numerical simulation of fluid-structure interaction by SPH, *Computers & structures*, Vol. 85, No.11, pp.879-890, 2007