

34. MPS 法を用いた流体シミュレーションに関する基礎的研究

04168081 本川英治
指導教員 藤井大地 准教授

粒子法 MPS 法 流体

1. 序言

近年、膜構造など軟らかい構造に対する風力の考慮、津波発生時を想定した災害シミュレーションなど、建築分野においても流体解析の必要性が高まっている。

従来、建築分野における流体解析手法として有限要素法が多く用いられてきた。しかし、有限要素法による流体解析では、計算の対象とする空間をメッシュで分割しなければならない。そのため、建築物に対する風力シミュレーションや、津波による建築物の破壊シミュレーションなどを行うことが困難である。これに対し、メッシュ分割を必要としない解析手法として、粒子法の研究が盛んに行われている。粒子法は解析対象の形状に合わせて有限個の粒子を生成し、連続体の挙動を粒子の運動によって計算することができる。また、自由表面問題においても、メッシュの再生成の計算が必要ないため、計算時間の短縮ができる。特に、MPS 法は、半陰的解法による非圧縮性流体解析において発展してきた粒子法で、弾性解析にも適用でき、流体 - 構造連成解析などのようなマルチフィジクス解析への適用が比較的容易である。

これらの利点を活かして本研究では、流体と剛体の衝突シミュレーションに MPS 法を適用することを試みる。

2. 計算法

本研究では、MPS 法の粒子間相互作用モデルを用いて支配方程式を離散化する。非圧縮性流れの支配方程式及び粒子間相互作用モデルに用いる重み関数 w は次式で表す。

$$\frac{D\mathbf{u}}{Dt} = -\frac{1}{\rho}\nabla p + \nu\nabla^2\mathbf{u} + \mathbf{f} \quad (2.1)$$

$$\frac{D\rho}{Dt} = 0 \quad (2.2)$$

$$w(r) = \begin{cases} \frac{r_e - r}{r_e} - 1 & (0 \leq r < r_e) \\ 0 & (r_e \leq r) \end{cases} \quad (2.3)$$

式(2.1)は運動量保存則で、Navier-Stokes 方程式と呼ばれる支配方程式である。式(2.1)の左辺は、速度ベクトルに対する Lagrange 微分である。右辺の第 1 項目は圧力勾配項で、第 2 項は粘性項で、第 3 項が重力項である。ただし、本研究では粘性項を考慮しない。

式(2.2)は、連続の式と呼ばれる質量保存側で、非圧縮性流れの密度は時間変化が 0 であるので、時間に対して一定である。

次に式(2.1)、式(2.2)の支配方程式にもとづく計算アルゴリズムを図 1 に示す。この計算アルゴリズムは、初期粒子配置 r^0, u^0, p^0 が時刻 k のときの値がわかっているものとし、新しい時刻 $k+1$ の値を計算するものである。それらを、重力項を陽的(時刻 k)部分と圧力勾配項を陰的(時刻 $k+1$)部分にわけて計算を行う。

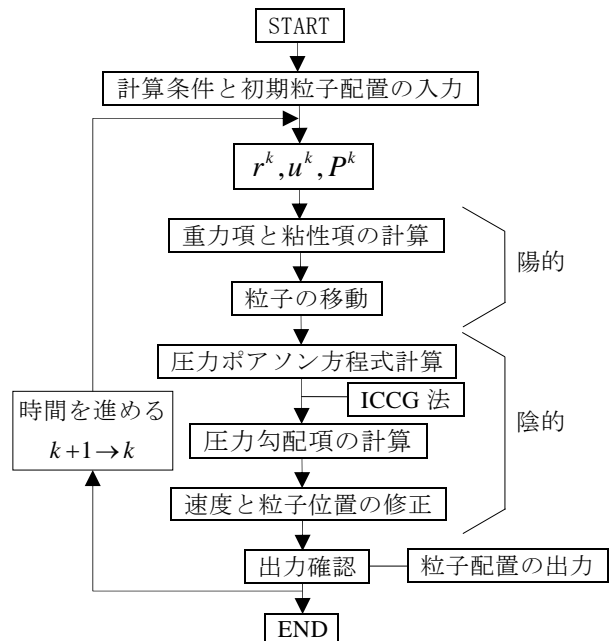


図 1 MPS 法における非圧縮性流れの計算アルゴリズム

3. 解析例

3.1 水柱と物体との距離の違いによる比較

水柱と物体との距離を L 、水柱を長さ Z 、高さ H とし、水柱の崩壊が物体に与える影響を調査するための解析モデルを示したものである。各 Case、水柱と物体との距離を、Case1 の距離 L を基に、 $3L, 5L, 7L$ とする。

図2は、圧力を色で表示したシミュレーションを示す。また、時間を無次元量として 0.2 間隔で示す。流体粒子が物体に衝突し上下左右に跳ねている。流体の分裂や合体が生じて計算できることがわかる。

図6は、全Caseにおける最大圧力を 1 とした圧力比グラフを示す。水柱と物体との距離が離れていくほど、衝突時間に遅れがでることがわかった。また、Case1 の流体粒子が物体に与える影響は、Case3、Case4 とほぼ同じである。以上のことから、水柱と物体との距離によって、衝突時間には影響を受けるが、最大圧力にはあまり影響を受けないことがわかった。

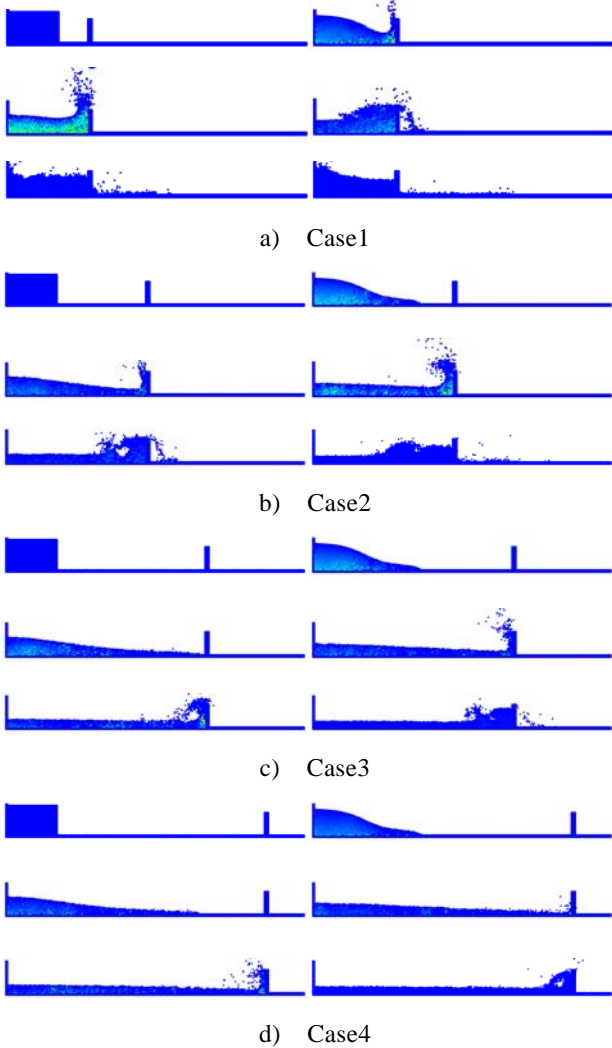


図 2 無勾配の流体シミュレーション(間隔 0.2)

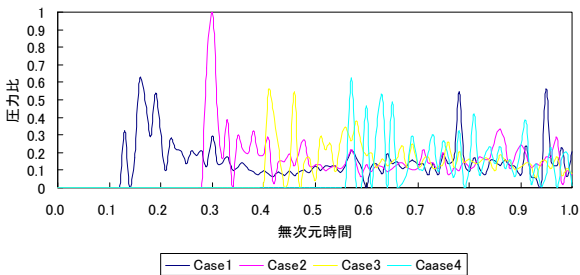


図 3 各時間における圧力比

傾斜角度の違いにおける比較

図 4 は、図 2 の Case4 を基準として、傾斜角度をそれぞれ 5°、15°、25°、35° とした解析モデルと水柱の崩壊シミュレーションを示す。

図 4 は、圧力を色で表示したシミュレーションを示す。図より、傾斜角度によって、衝突時の流体粒子の飛び跳ねる高さに差がでることがわかる。

図 3 は、全 Case における最大圧力を 1 とした圧力比グラフを示す。図より、傾斜角度による衝突時間の差はないが、傾斜角度が増加するにつれ、最大圧力も増加することがわかる。

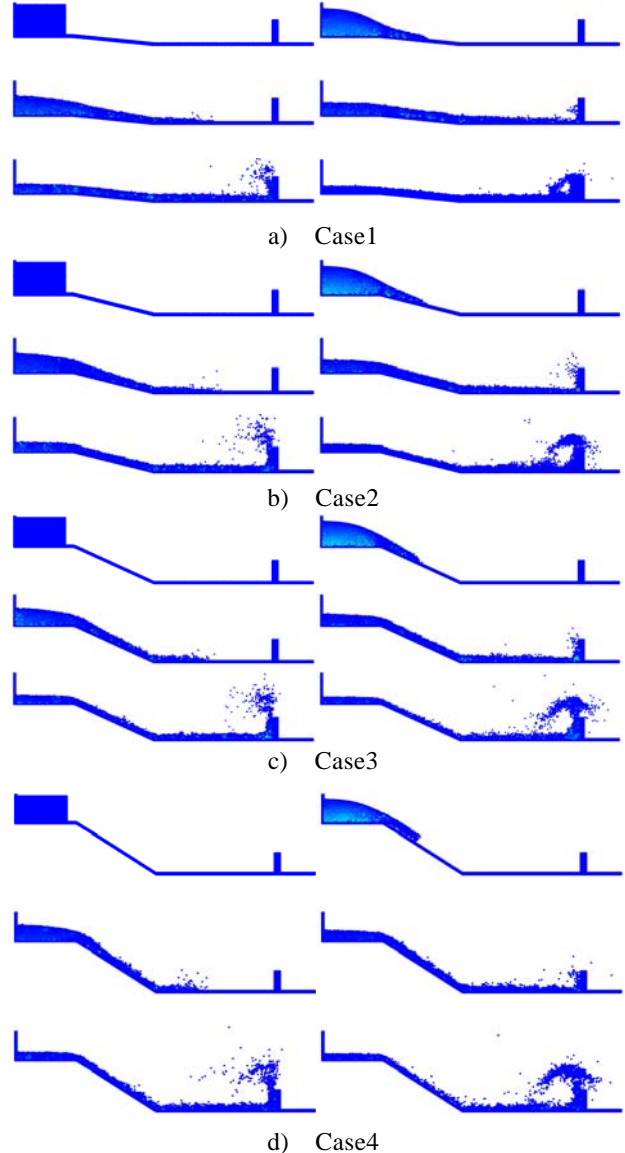


図 4 有勾配の流体シミュレーション(間隔 0.2)

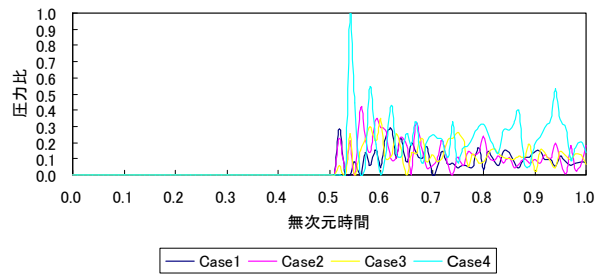


図 5 各時間における圧力比

4. 結言

本研究では、MPS 法を用いたプログラムを作成し、水柱の崩壊に関する様々なシミュレーションを行うことが可能となった。今後は、流体 - 構造連成解析などのようなマルチフィジクス解析への適用をめざし、建築分野への応用を考え、研究を進めていきたい。

参考文献

- 1) 越塚誠一：粒子法，丸善，2005