

第 I 部門

GIMP を用いた非圧縮性流体の解析手法の開発

京都大学大学院工学研究科
京都大学大学院工学研究科

学生員 ○中井 英治
正会員 西藤 潤

1.はじめに

本研究で用いたMPM(Material Point Method) は粒子法的一种であり, 1994 年Sulsky¹⁾らが初めて提案した手法である. また, GIMP(Generalized Interpolation Material Point) は, Bardenhagen²⁾らによって提案された手法である. この方法は, MPMを基に, 粒子が計算格子を移動する際の数値計算誤差を少なくするように改善された方法である. この手法の問題点として, 粒子間の相互作用を考えないために, 粒子が密集し, 粒子の正しい運動を計算することができなくなることが挙げられる. この問題点を解決するため, 本研究では, 粒子の位置, 速度更新の際にSPH の勾配モデルを用いる計算手法を組み合わせ, GIMPでの流体解析を行う.

2. 解析手法

本研究では空間にスタッガード格子を配置して離散化する. また, 流体を粒子で離散化する. 質量, 運動量の情報を粒子から格子点へ輸送し, 圧力分離型解法を用いて格子上で圧力ポアソン方程式を解くことにより格子点の速度更新をする. そして形状関数で補間することにより, 粒子の速度, 位置更新を行う. 更新方法にはFLIPとPICを併用する. FLIPとは, 計算格子点における速度増分を粒子に輸送する手法である. また, PIC は計算格子点における速度そのものを粒子に輸送する方法である. FLIPを用いた速度更新とPICを用いた速度更新を $\alpha : 1 - \alpha$ の比率で重み付け平均する. このようなMPMの速度, 位置更新を用いると, 粒子の密集が起こる. 改善策としてSPH の勾配モデルを用いる計算手法を組み合わせ, 粒子が均等に配置されることを目標とする.

3. 解析の概要

図1, 図2 のような初期位置のダムブレイクの解析を行う. 図1 のダムブレイク問題は, 越塚, 岡³⁾が実験と数値計算を行なっている. 図2 は, Hu, 柏木⁴⁾によって行われた実験であり, 点Pにおける圧力を調べる.

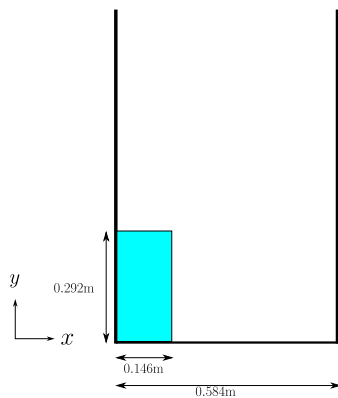


図1 モデル1

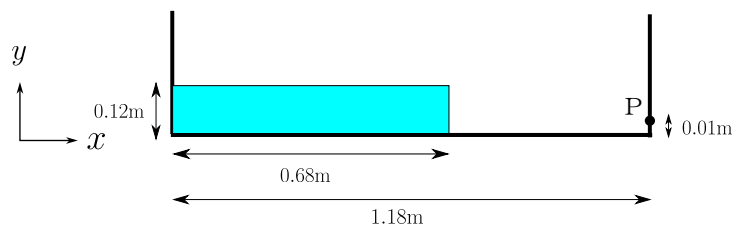


図2 モデル2

4. 解析結果

(1) 粒子の密集の解消

MPM を用いた速度更新と SPH を用いた速度更新を $\beta : 1 - \beta$ の比率で重み付け平均する手法を取り入れ, β の値を変化さ

せることで粒子の密集を解消したい． $t = 0.2\text{s}$ の結果を比較する．図 3，4 に粒子の分布の様子を示す．図 3 は MPM のみによる更新 ($\beta = 1.0$) の結果であり，図 4 は SPH 見よる更新方法を取り入れた手法 ($\beta = 0.1$) の結果である．SPH を取り入れることで粒子密度が均一になり，改善されていることが分かる．

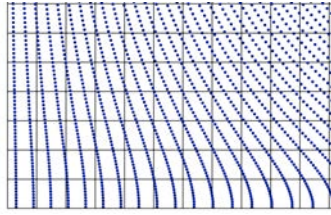


図 3 従来手法

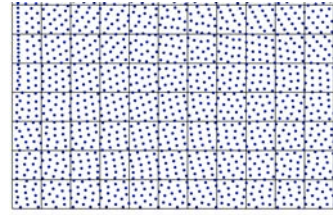


図 4 提案手法

(2) 実験値との比較

$\beta = 0.1$ のときの解析を実験と比較する．Hu, 柏木⁷⁾の実験における圧力, Martin, Moyce⁵⁾の実験における先端速度に注目する．粒子の速度更新における FLIP, PIC の混合割合 $\alpha = 0.9, 0.95, 0.97$ の 3 パターンを解析する．

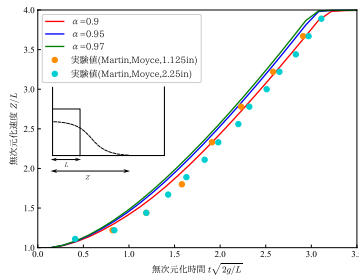


図 5 モデル 1 を用いた先端速度の比較

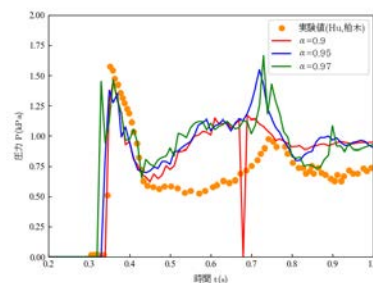


図 6 モデル 2 を用いた壁にかかる圧力の比較

図 5 より α の値により多少のずれはあるが，先端の速度については解析と実験の値は概ね一致していることが分かった．図 6 より壁にかかる圧力は 0.4s 程度までは解析と実験の値は概ね一致していることが分かった．0.4s 以降は解析の値が大きくなっている．0.4s は水粒子が壁に衝突して上昇中のときである．今回の解析では，壁面の境界条件をフリースリップ条件で考えている．境界条件の処理によってこの差が生まれていると考えられる．

4. 結論

SPH の勾配モデルを用いた計算を混ぜ合わせることで，粒子同士が離れるようになった．また，水粒子が壁にぶつかるまでの解析には一定の正しさがあることが分かった．また，今後の課題として壁に衝突後の挙動については，ノンスリップ条件を考慮した解析を行う必要があると考えている．

参考文献

- 1) Sulsky, D., Chen, Z. and Schreyer, H. L. : A particle method for history dependent materials, Computer methods in applied mechanics and engineering, Vol. 118, No. 1-2, pp. 179–196, 1994.
- 2) Bardenhagen, S. G. and Kober, E. M. : The generalized interpolation material point method, Computer Modeling in Engineering and Sciences, Vol. 5, No. 6, pp. 477–496, 2004.
- 3) Koshizuka, S. and Oka, Y. : Moving-particle semi-implicit method for fragmentation of incompressible fluid, Nuclear science and engineering, Vol. 123, No. 3, pp. 421–434, 1996.
- 4) Hu, C. and Kashiwagi, M. : A CIP-based method for numerical simulations of violent free-surface flows, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 9, No. 4, pp. 143–157, 2004.
- 5) Martin, J. C., Moyce, W. J., Martin, J., Moyce, W., Penney, W. G., Price, A. and Thornhill, C. : Part IV. An experimental study of the collapse of liquid columns on a rigid horizontal plane, Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 244, No. 882, pp. 312–324, 1952.