

MPS 法による混相流の数値解析に関する基礎的研究

群馬大学工学部 正会員 松本健作
 群馬大学工学部 正会員 小葉竹重機
 群馬大学工学部 正会員 清水義彦
 群馬大学工学部 学生会員 ○梶山正弘

1. はじめに

近年の計算技術の発展により、様々な現象の特性を解明する有効な手段として数値計算が行われ、大きな成果を上げている。しかしながら現在においても尚、その再現が困難な現象も多く残されており、液体中で気泡が分離、合体をするものや、土石流のように大規模な固体同士が流れ場の中で衝突を繰り返しながら流下するような、固・気・液の複雑な混相流などもその1つである。本研究は、上述のような混相流に対する数値解析手法の開発を行うための基礎的研究である。

2. 計算手法

計算には MPS 法 (Moving Particle Semi-implicit method)¹⁾ を用いた。MPS 法は Navier-Stokes 方程式及び連続式を基礎式とし、流体塊を表す粒子の集合体で流体を表現し、粒子数密度を一定に保つことによって非圧縮条件を満足させながら、各粒子を Lagrange 的に追跡してゆく方法であり、現在までに、越塚ら、後藤²⁾ ら等によって様々な現象への適用が試みられ、その有効性が注目されている手法である。

本計算では、境界処理に若干の改良を試みた。通常、MPS 法では固定壁を座標を固定した粒子で表現し、流体粒子と同様のアルゴリズムで計算を行う。その際、境界粒子の外側に、境界粒子の粒子数密度を保つだけの為に多数の粒子を配置しなければならないが、今回の計算では、外側に余分な粒子を配置するのではなく、それらが存在する場合に発生する粒子数密度の増分を直接行列式の中に加算して計算を行うことで処理した。この方法では粒子数の節約ができる他、手間のかかる外枠粒子の設定が不要となり、任意の形状や3次元への拡張等を行う上で有効であると思われる。

3. 計算結果及び考察

はじめに、水柱崩壊場の計算を行ってその精度の検証を行った。総粒子数は 809 (内境界粒子 161、流体粒子 648)、幅 57.6 cm、深さ 35.2 cm、の容器を境界粒子で形成し、幅 14.4 cm、高さ 28.8 cm、密度 1.0 g/cm^3 の水柱を容器左端に配置した。タイムステップは 0.001 秒、クーラン数は 0.25 で計算を行った。

図-1 の各図は計算結果を初期状態から 0.2 秒間隔で出力したものである。水柱が崩壊した後壁面に衝突し、持ち上がったスプラッシュが、その後落下していく様子が再現されている。同一の条件で実験を行い精度検証を行った。図-2 に水柱崩壊場における先端位置の経時変化を示す。赤い点が実験による値、黄色い線が越塚による計算値、青い線が本研究による計算値を示している。これを見ると本計算が現象を良好に再現していることがわかる。以上のように流体の運動を良好に再現できていることが確認できたので、次に密度の違う二つの流体の柱を設定し、密度流を想定した計算を行った。前の水柱崩壊と同様の条件で密度を 5.0 g/cm^3 とした流体の柱を容器の右端に配置した。総粒子数は 1483 (内境界粒子 187、水粒子 645、密度 5.0 g/cm^3 粒子 645) である。図-3 の各図はその計算結果を初期状態から 0.2 秒間隔で出力したものである。t = 0.2 の図では密度の大きい粒子が水粒子の下に潜り込み、t = 0.4 の図では密度の大きい粒子が水粒子を押し上げスプラッシュを形成し、t = 0.8、1.0 の図では完全に密度の大きい粒子が水粒子の下に沈んでいるのがわかる。

キーワード 混相流、数値解析、MPS 法

連絡先 (〒376-8515 群馬県桐生市天神町 1-5-1, 群馬大学工学部建設工学科

tel : 0277-30-1640、fax : 0277-30-1601)

図-3 より密度流の挙動が比較的妥当な挙動をとっているように見えるが、今後実験による精度検証を行う必要があるが、通常このような密度流の計算をする際には、その界面である自由表面の取り扱いが非常に複雑になるが、MPS法ではそれぞれの粒子の密度を変化させるだけで、一切特別な処理が必要ない。また本計算でも再現したような、異密度流体の複雑な混合や分裂・合体现象への適用に対しても有効であるとなると考えられる。今後は、固液混相流や、流入・流出を伴う流れ場への適用を試みる予定である。

参考文献

1) SEIICHI KOSHIZUKA, ATSUSHI NOBE AND YOSHIKI OKA: NUMERICAL ANALYSIS OF BREAKING WAVES USING THE MOVING PARTICLE SEMI-IMPLICIT METHOD,

Int. J. numer. Meth. Fluids, 26: pp. 751-769, 1998.

2) 後藤仁志、酒井哲郎、芝原知樹: SPS 乱流モデルの導入による新しい粒子法の展開, 水工学論文集 第44巻, pp. 575-580, 2000.

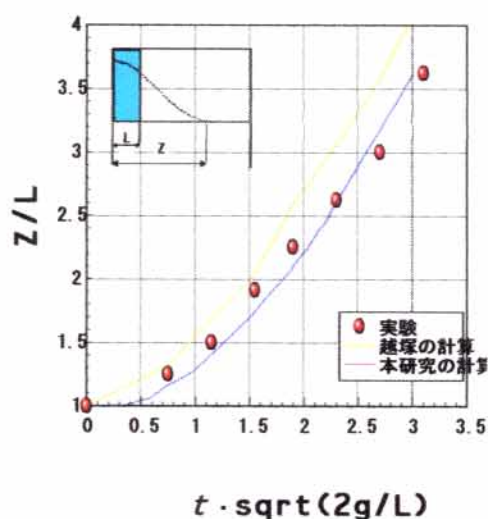


図-2 水柱の先端位置の経時変化

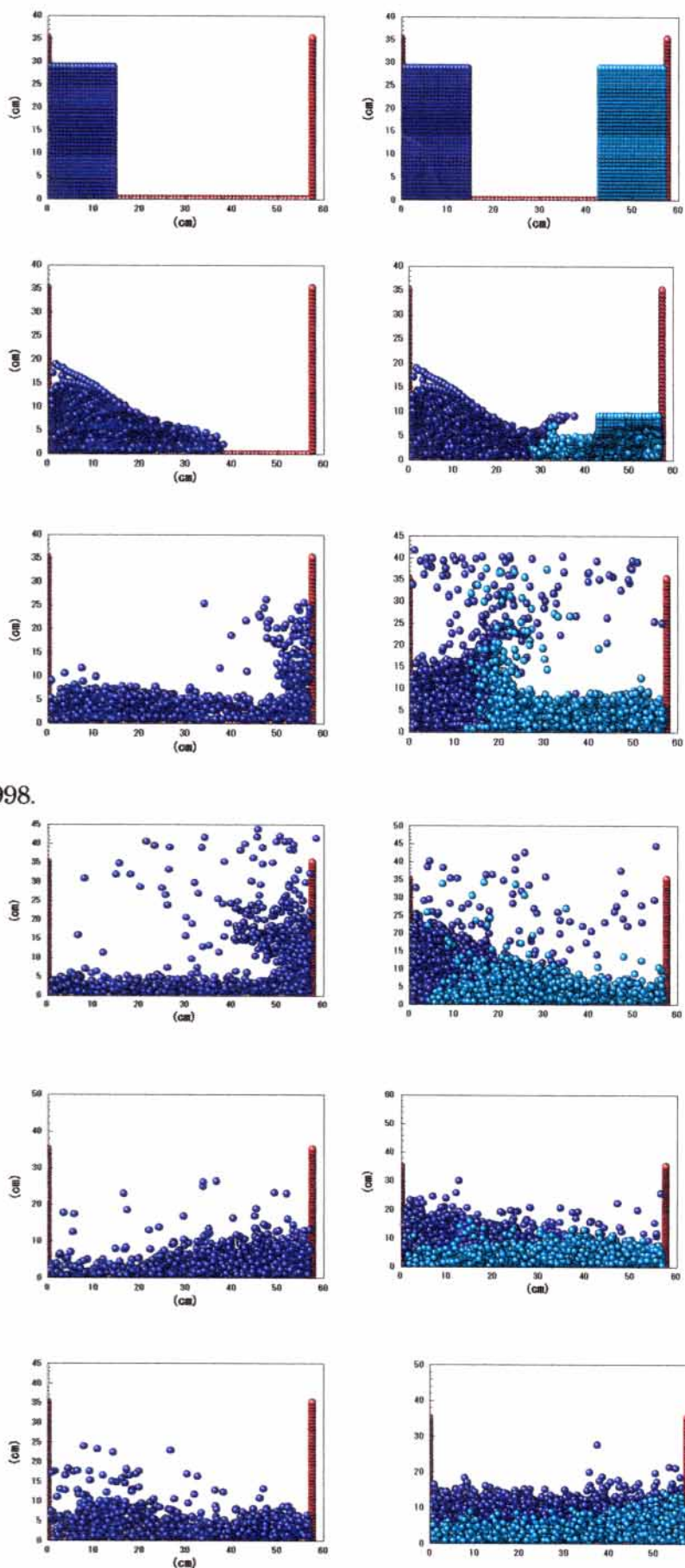


図-1 MPS法による水柱崩壊場の計算

図-3 MPS法による水柱崩壊場での密度流の計算