

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 梶山正弘

Lyceum Apostolon Petrou kai Pavlou, Ioakim Ioakim

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、現在においても尚再現が困難な現象も多く残されており、流体内部十分な大きな混合物が多数存在し、流体と相互に干渉しながら挙動する混相流もその一つである。これらの現象は河川工学においては、巨礫や流木等を伴って流下する出水等として頻繁に発生する現象である。本研究は、河川工学的にもその解明は重要な課題となっている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, 2)}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る。MPS 法では流体に含まれる固体を、相対位置を固定した粒子の集合体で表現し、流体粒子と同一のアルゴリズムで計算を行う手法であり固液間の相互干渉効果の表現に有効であると考えたためである。

固体の計算法は越塚らの剛体の計算法に倣い、一度流体粒子と同一のアルゴリズムで計算を進め、その後で固体粒子のみ相対位置を一定に保つように修正を加えるという方法を用いる。まず、流体同様に行った計算結果から固体粒子の平均速度を(式-1)より求め、これを並進速度とする。また、固体の回転を表す角速度を(式-2)より求め、角固体粒子の最終的な移動速度を(式-5)より求める。ここで、式中の $\bar{T}$ は並進速度、 n は固体粒子数、 I は粒子番号、 $\mathbf{u}$ は流速ベクトル、 $\mathbf{R}$ は角速度、 $\mathbf{I}$ は慣性モーメント、 $\mathbf{q}$ は粒子間距離表している。

$$\bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{u}_i \text{----- (式-1)}$$

また、下付添字の $\mathbf{g}$ が固体の重心を表している。

また、今回の計算では、境界処理に若干の改良を試みた。

$$\bar{R} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^n \bar{u}_i \times \bar{q}_i \text{----- (式-2)}$$

通常、粒子法では境界も他の流体や固体粒子同様に粒子の集合体として表現する。固定壁であれば移動しないという条件を与えるだけで、あとは流体粒子と同様のアルゴリズムで計算を行う。その際、この境界粒子は圧力変数を有し、流体粒子が集まると、それによる粒子数密度の増加によって圧力が発生し、集まりすぎた流体をはじき返してくれることになる。しかし、境界粒子の外側には粒子が無いため、そのまま流体粒子同様の処理を行うと粒子数密度が不足し、十分な反発力を発生させられない。このため通常は境界粒子の外側に、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ことが予想される。そこで、今回の計算では、

$$\bar{q}_i = \bar{r}_i - \bar{r}_g \text{----- (式-3)}$$

$$I = \sum_{i=1}^n |\bar{q}_i|^2 \text{----- (式-4)}$$

$$\bar{u}_i = \bar{T} + \bar{q}_i \times \bar{R} \text{----- (式-5)}$$

キーワード 固液混相流、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)

いが、粒子数が増大することと、複雑な境界形状を設定する際にこれらの粒子を設定する手間が煩雑になる境界粒子の粒子数密度を保つのに、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、煩わしい外枠粒子の設定が不要となり、今後の粒子数の増加や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

今回の計算では、水柱崩壊場での固液混相流の計算を行った。総粒子数は818（内境界粒子161、流体粒子648、固体粒子9）、幅57.6cm、深さ35.2cmの容器を境界粒子で形成し、幅14.4cm、高さ28.8cmの水柱を容器左端に配置した。固体粒子としては9つの粒子を正方形に配置したもの1つを、中心の粒子が容器左端から30.0cmの容器の底に配置した。また固体粒子の密度は流体の2倍とした。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。固体粒子は9個の粒子で構成されているが、図を見やすくするため重心の粒子の位置のみ示してある。0.2秒後で崩壊した水柱によって押し出された固体が0.4秒後では壁面に衝突した際にスプラッシュと共に上に持ち上げられている。その後0.6秒後には水面に向かって落下している様子が再現されている。流体及び固体の挙動は比較的確当な挙動をとっているように見えるが、これらの精度検証は、今後実験によって検証する。

また、今回改良を試みた境界処理に関しては、同様にその精度の検証は今後の課題であるものの、十分実用に耐え得るものであると思われる。

今後は、さらに複数の固体及び任意の形状の固体への適用や、流入・流出に伴う流れ場の再現を試み、巨礫や流木等をともなう流れ場へと適用させてゆく。それらについては講演時に発表する。

参考文献

- 1) 'NUMERICAL ANALYSIS OF BREAKING WAVES USING THE MOVING PARTICLE SEMI-IMPLICIT METHOD', 'int', J. numer. Meyh. Fluids 26, pp.751-769, (1998).
- 2) インテリジェントエンジニアリングシリーズ数値流体力学
越塚誠一 著 培風館

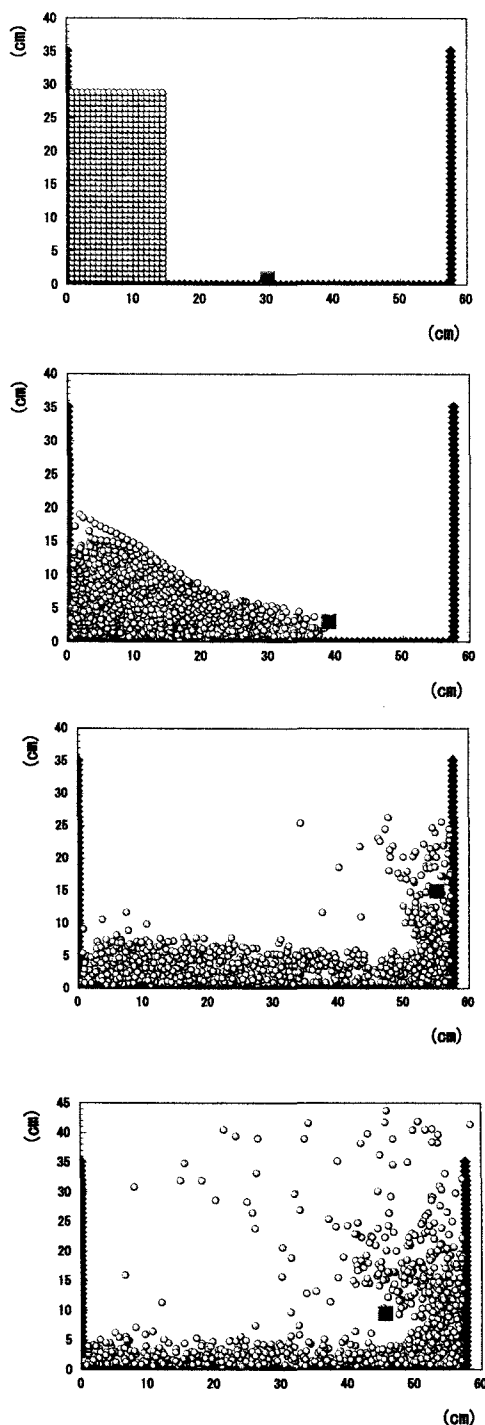


図-1 MPS法による水柱崩壊時の固液混相流の計算結果