

3次元数値水路への MPS 法の適用に関する研究

群馬大学 正会員 ○松本 健作

群馬大学 学生会員 梶山 正弘

群馬大学 学生会員 藤田 智之

群馬大学 正会員 小葉竹 重機

1. 目的

近年の計算技術の向上に伴い、工学の分野における数値計算の役割は益々大きくなってきている。また、その適用が期待される分野も多岐にわたり、それに伴う多種多様な数値計算手法が提案されてきている。

その中で現在、自由表面流や混相流などの解析手法として注目されている手法に MPS 法(Moving Particle Semi-Implicit Method)がある。計算格子を用いないいわゆるグリッドレス解析の 1 種であり、それゆえの Euler 的な手法にはない種々の利点を持っている。その 1 つが Lagrange 的な手法であることによる移流項の不在である。この移流項は Euler 的な数値計算を試みる際には、その取り扱いに最も注意を要するものである。

また、個々の粒子に直接物性値を設定するものであるため、それによる混相流の表現が可能で、また異相間の相互干渉効果なども直接的に表現できる可能性がある。さらに、境界形状の取り扱いに関しても大きな利点を持つ。位置を固定した粒子によって種々の境界を表現することが可能であるため、その各粒子に位置情報を与えるだけで、境界を表現できる。言い換えれば、Euler 的な手法を用いる際に大きな課題となる計算領域の格子分割の手間が全く必要ないということである。このことは、3次元問題等を取り扱う際など、数値計算の対象が大型化・複雑化すればするほど大きな利点となるものである。

著者らは現在、この MPS 法の上述のような利点を生かす問題への適用を考え、3次元の複雑地形上での固・液混相流への適用を目指している。そのためには計算精度の向上や固相の取り扱いなど、多くの課題を抱えている。

MPS 法の適用計算には現在までに様々なものがあるが、比較的閉鎖性空間におけるものが多い。後藤らによる流れ場への適用例がいくつかあるが、複雑な自由表面の変化や混在する固相の挙動に考察の重点がおかれており、流れ場自体に対しての精度検証等に関しては依然研究事例が少ないのが現状である。

よって本研究では、MPS 法の 3次元流れ場への適用を考え、現状のアルゴリズムでどの程度流れ場を再現することが出来るのかを検討する。

2. 水路モデル

3次元水路は上述したように、位置を固定した粒子を用いて表現する。概略を図-1に示す。

流量調節用タンク

周期境界条件

ゲート

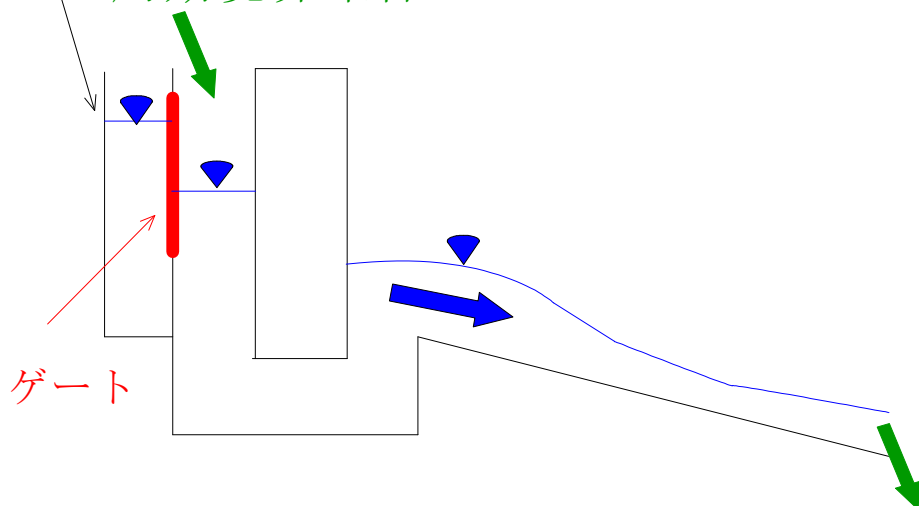


図-1 3次元水路モデルの概略

キーワード 3次元数値水路, MPS 法, 流れ場, 流量調節

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

流れはタンクによる水頭差によって発生させる．そして水路下流端とタンク上部を周期境界条件で連結し，粒子を循環させる．タンクの外側に，さらにもう1つ流量調節用のタンクを設置する．この流量調節用タンクは中央のタンクに適宜粒子を流入させ，中央タンクと水路部との水頭差を調節することによって，任意の流量を発生させるためのものである．そのため，中央タンクと流量調節用タンクとの境界には自由に閉開可能なゲート粒子を新たに設けた．これは適宜その粒子を計算上無視させることによってそこに境界がなくなるようにし，それによってゲートが開いた状態を再現するアルゴリズムを持つ粒子である．中央タンクと流量調節用タンク間にある境界粒子にこのアルゴリズムを施した．

今回の計算の緒元を表-1に示す．

表-1 計算諸元

水路勾配	水路幅	タンク高さ	初期水頭差	粒子総数	境界粒子総数	流体粒子総数
1/100	20cm	100cm	90cm	17763 個	8326 個	8937 個

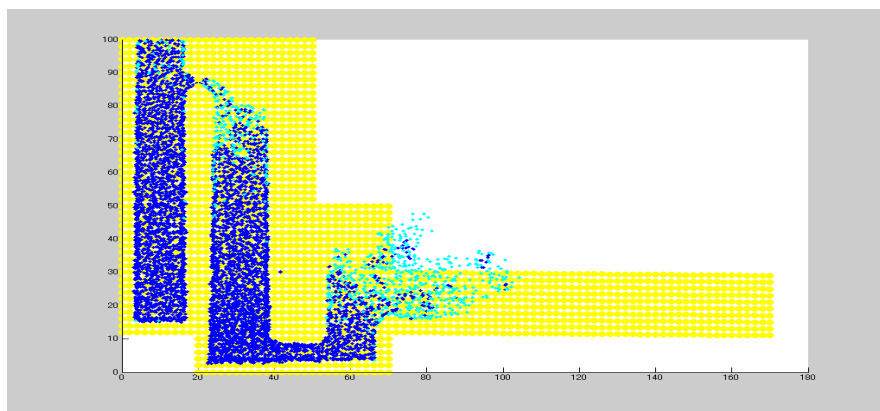
図-2 (a), (b)はそれぞれ，初期状態より 0.4, 0.6 秒後の計算結果である．ここでは側方より見た 2 次元的な表示をしてあるが計算は 3 次元で行っている．中央タンクの水深が 90cm を下回った時点で流量調節用タンクからの流入が始まるようにしたあり，0.4 秒後には既にゲート粒子が開き流量調節用タンクからの流入が始まっている．水路部では水頭差によって押し出された流体粒子が激しく噴出しながら水路を流下し始めている様子が再現されている．(b)の 0.6 秒後の結果を見ると水路部での噴出しがさらに激しくなり中央タンクの水深がさらに低下している．

中央タンクの水深を一定に保つには流量調節用タンクの水深いゲートよりの流入流量の詳細な検討が必要であり，現在検討中である．

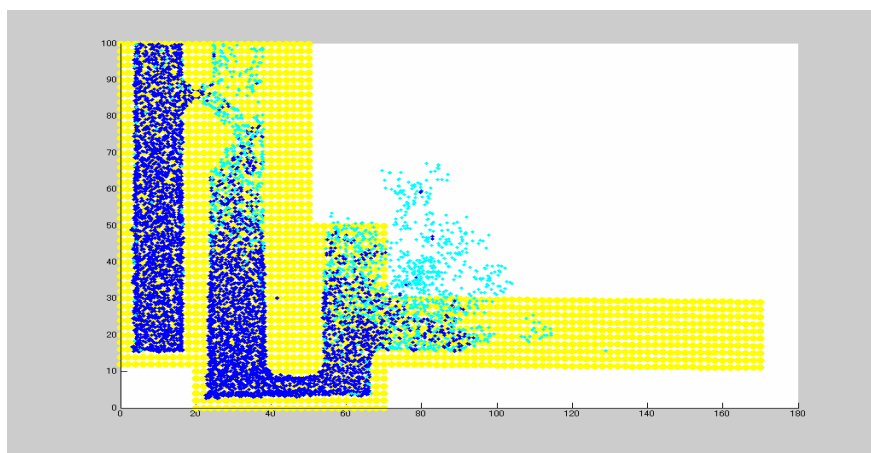
これらを含めた詳細についての発表は講演時に行う予定である．

参考文献

- ・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．
- ・粒子法による流木群の堰止め過程の Lagrange 解析，水工学論文集，第 45 巻，2001 年，pp.919-924．



(a) $t=0.4(\text{sec})$



(b) $t=0.6$

図-2 MPS 法による 3 次元数値水路の計算結果