

粒子法と格子法を結合した土石流シミュレーション手法に関する検討

(国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所： ○鈴木 拓郎
 東京大学： 堀田 紀文

1. 背景及び目的

近年、MPS法やSPH法を代表とする粒子法による流れの解析手法の応用が砂防分野においても進んでいる。発表者らも土石流の構成則に基づいた土石流の粒子法モデルを開発して侵食・堆積過程に適用し、良好な結果を得ている(鈴木・堀田, 2015; Suzuki and Hotta, 2016; 鈴木ら, 2016)。

粒子法は計算要素数が膨大となり計算負荷が非常に大きいため、計算アルゴリズムの効率化や並列計算による計算の高速化が試みられ(例えば, 鈴木ら, 2016), 工夫次第で大幅な計算効率の向上が可能である。しかし、従来幅広く用いられてきた格子法に比べれば、計算負荷は格段に大きく、実現象に適用するのは困難な場合も多い。

一方、鈴木・堀田(2015)はMPS-DF法を高濱ら(2002)による勾配急減点に伴う堆積過程の実験結果に適用し良好な結果を得ているが、粒子法と格子法の差異が大きいのは堆積過程の初期のみであることを示している。すなわち、勾配が急変するような極端な条件では粒子法と格子法には差異が生じやすいが、地形変化が緩やかになった場合には粒子法と格子法には大きな差異は生じないということである。このような背景から鈴木・堀田(2018)は計算区間の一部のみを粒子法で計算する事を可能にするために、粒子法と格子法を結合した土石流のシミュレーション手法(以下、PBS-GBSと呼ぶ)を開発した。そして、一定勾配条件および格子法から粒子法の接続地点において堰堤による堆積が遡上する条件にPBS-GBSを適用し、良好な計算結果を得ている。

本研究では、格子法から粒子法の接続地点において侵食が生じる条件、粒子法から格子法の接続地点において堆積が生じる条件についてPBS-GBSの適用性を検証する。

2. 粒子法と格子法の接続方法

鈴木・堀田(2018)では格子法から粒子法への接続区間において、堆積遡上も評価できるよう流入壁粒子の位置の調整方法を考案した。その方法により堰堤による堆積遡上を連続的に接続することが可能なことを示している。この方法は、侵食に関しても、予め侵食可能な堆積粒子を粒子法領域に設定しておけば同じ方法で調整が可能であると考えられるため、本研究で検証する。

粒子法から格子法への接続区間においては堆積遡上に評価は困難であるとして、特に評価はしていなかったが、本研究では図-1に示す方法を提案し、検証する。この方法では、粒子法から格子法の接続部における格子法領域の河床上昇(z_{out} の変化)に応じて、仮想計算区間の壁粒子の位置を調整する。河床上昇に応じて壁粒子が上昇すれば、上流側に堆積遡上が伝播すると考えられる。

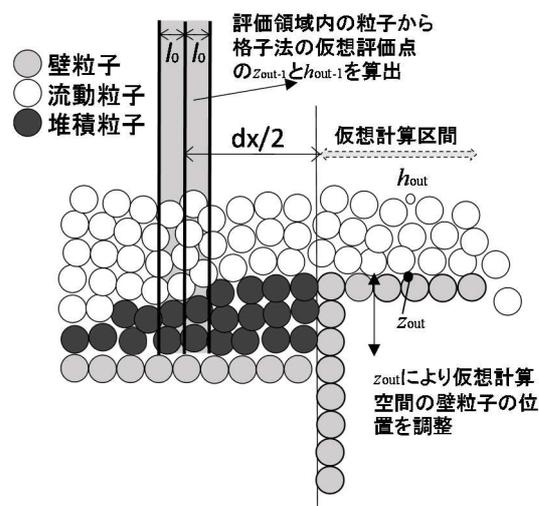


図-1 粒子法から格子法の接続区間における堆積の評価方法

3. 検証計算

格子法と粒子法の接続部における堆積土砂の侵食過程については、岩田ら(2013)のように一定勾配水路の上流側に高さ10cmの土砂を敷き詰め、それを上流端から一定供給された水によって侵食させる方法で検証した。格子法と粒子法の接続部分は敷き詰めた堆積土砂区間の途中に設定し、侵食が連続的に接続するかを確認した。

粒子法と格子法の接続部分における堆積過程については、鈴木・堀田(2018)のように、一定勾配区間の中間部分のみを粒子法区間としたうえで、粒子法と格子法区間の接続部から少し下流側の格子法区間に堰堤を設置した条件で検証した。堰堤による土砂体積が粒子法区間に連続的に遡上するかを確認した。

4. 結果と考察

図-2には格子法と粒子法の接続部における侵食過程の計算結果を示す。格子法区間の上流側から侵食が進行し、それが粒子法区間まで連続的に接続していることが確認できる。しかしながら、侵食が進行すると粒子法区間の流入部において水粒子が乱れていることがわかる。これは、跳水が上流側に遡上していく過程で生じたものである。格子法から粒子法区間への接続方向への流入のみを考慮しているため、逆方向のベクトル量の伝播は不可能であることに起因する。この解決方法は現状では見当たらないため、このような現象が生じない箇所に接続部を設定する必要がある。

図-3には粒子法と格子法の接続部における堆積過程の計算結果を示している。格子法区間の堰堤部分における堆積が壁粒子の位置調整を介して粒子法区間まで遡上してい

ることが確認できる。ただし、堆積勾配が格子法区間と粒子法区間では少し異なっているようにも見える。位置調整を行う壁粒子の勾配を元河床勾配に固定していることが一因と考えられ、堆積勾配に合わせて壁粒子の勾配も変化させる必要があるかもしれない。

5. まとめ

本研究で提案した手法により、粒子法と格子法の接続部における侵食・堆積に幅広く対応可能となった。これにより、粒子法領域をより限定的に設定することが可能であると考えられる。

PBS-GBS においては、計算時間は粒子数に比例するため、粒子法領域を限定するほど計算負荷の減少効果大きい。本研究の手法を向上させていくことで、粒子法領域をより限定的に精度よく設定でき、計算時間を大幅に節約しながら高精度な粒子法計算を活用できると考えられる。

6. 謝辞

本研究は科研費(16K16375)の助成を受けたものである。ここに記して感謝申し上げます。

7. 引用文献

- 岩田知之・堀田紀文・鈴木拓郎 (2013) : 混合粒径土石流における分級現象が流動特性に及ぼす影響, 砂防学会誌, Vol.66, No.3, pp.13-23
- 鈴木拓郎・堀田紀文 (2015) : 土石流の構成則に基づいた粒子法モデルの構築と堆積過程への適用, 砂防学会誌, Vol.68, No.1, pp.13-23
- Suzuki, T. and Hotta N. (2016) : Development of Modified Particles Method for Simulation of Debris Flow Using Constitutive Equations, International Journal of Erosion Control Engineering, Vol.9 No.4, pp.165-173
- 鈴木拓郎・堀田紀文 (2018) : 粒子法と格子法を結合した土石流シミュレーション, 砂防学会誌 (印刷中)
- 鈴木拓郎・堀田紀文・岩田知之 (2016) : 土石流の粒子法モデルの改良による高速化と侵食過程への適用, 第 8 回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.193-198
- 高濱淳一郎・藤田裕一郎・近藤康弘・蜂谷圭 (2002) : 土石流の堆積侵食過程に関する実験と二層流モデルによる解析, 水工学論文集, 第 46 巻, pp.677-682

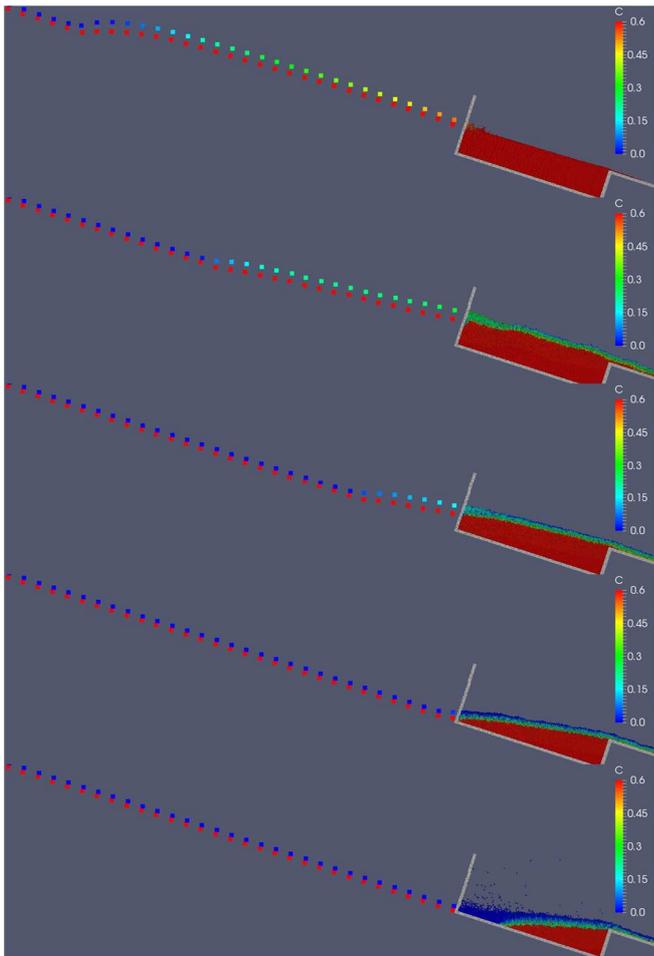


図-2 格子法と粒子法の接続部における侵食過程の計算 (6.67 秒ごとの計算結果)。四角プロットは格子法の結果, 丸プロットは粒子法の結果を示す。

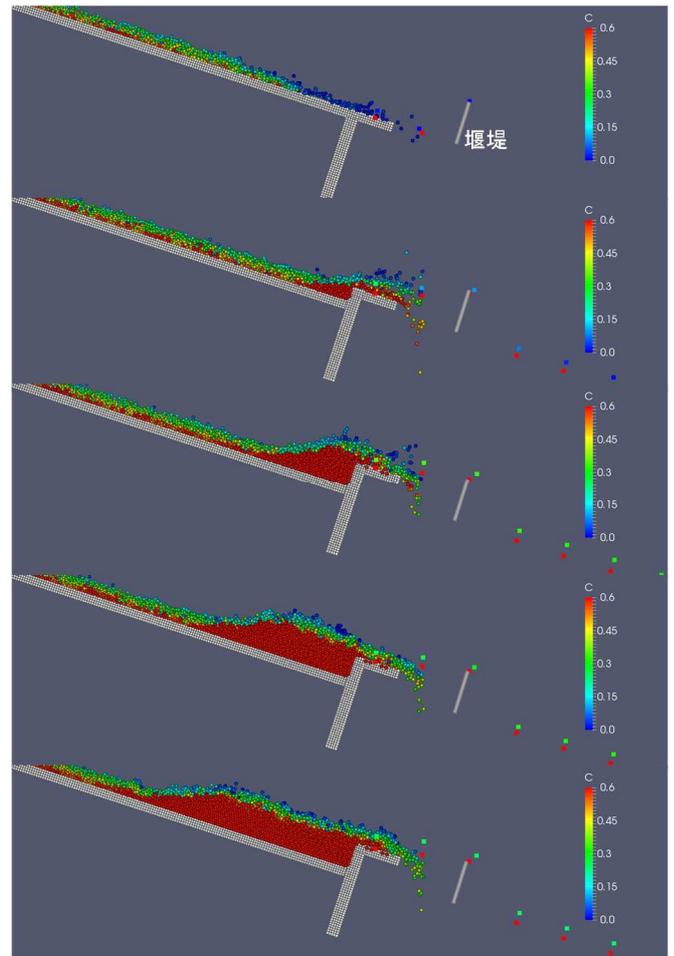


図-3 粒子法と格子法の接続部における堆積過程の計算 (0.67 秒ごとの計算結果)。四角プロットは格子法の結果, 丸プロットは粒子法の結果を示す。