

MPS法を用いたため池に流入する土石流の数値解析 Numerical Simulation of Debris Flow into Reservoir using Moving Particle Semi-implicit Method

○絹輪太一, 柴田俊文, 珠玖隆行, 西村伸一

○Taichi Kinuwa, Toshifumi Shibata, Takayuki Shuku, and Shin-ichi Nishimura

1. 研究の背景・目的 近年, 気候変動によって甚大化, 頻発化する豪雨に伴い, 土石流のような土砂災害の発生件数が増加する傾向にある. ため池に対する土石流の流入によって, ため池堤体が決壊するとともに下流側に位置する家屋に大きな被害が出るという問題が生じている. その一方で, ため池内の貯水によって土石流が下流側へ流出するのを防ぐ事例も見られている. 本稿では, 粒子法の1つであるMPS (Moving Particle Semi-implicit) 法を取り上げ, ため池に流入する土石流の数値シミュレーションを行い, ため池内の水位を変化させることで土石流によるため池堤体へ加わる衝撃圧への影響, 及び土石流によるため池堤体の深さによる圧力の影響について検証する.

2. MPS(Moving Particle Semi-implicit)法

MPS法は, 越塚¹⁾によって提案された粒子法であり, 支配程式中に現れる勾配, 発散, ラプラシアン等の微分演算子を, 粒子間相互作用モデルを用いて離散化するところに特徴がある. Navie-Stokes方程式に半陰的アルゴリズム適用し, 粒子の圧力勾配項, 速度を求める. MPS法は計算点として粒子の流れに沿って移動させるため, 有限差分法, 有限体積法, 有限要素法などと比べて, 自由表面や大変形などが伴う激しい物理現象を解くのに優れているという点が挙げられる. また, 粒子法では, 計算点の配置に関する制約が格子の品質を保持する条件に比べて大きく緩和されている. 本稿では, 後藤²⁾の方法に基づいて固相に液相とのアナロジーを想定し, 二流体モデルによりため池に流入する土石流の三次元解析を行った.

3. ベンチマークテスト: ダムブレイク問題

はじめに, MPS法の精度検証を行うために, ベンチマークテストであるダムブレイク問題³⁾の解析を行った. ダムブレイク問題とは, 水柱を板で押さえておき, 板を取り去ったときに崩壊水柱の挙動を取り扱う問題であり, 流体を対象とした数値解析手法の

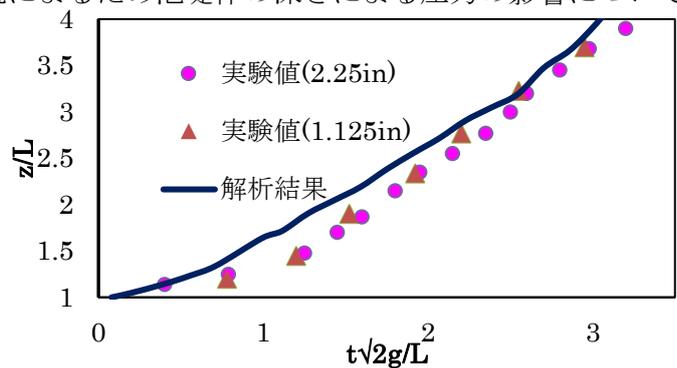


図-1 解析結果と実験値の比較
Comparison of analysis results and experimental values

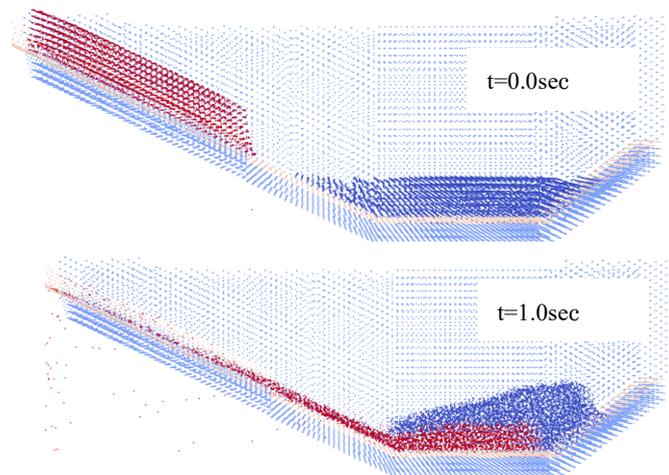


図-2 土石流がため池に流入する流動過程
Flow process of debris flow into reservoir

岡山大学大学院環境生命自然科学研究科 Graduate School of Environmental Life, Natural Science and Technology, Okayama University

キーワード: MPS法, 土石流, ため池

精度検証のためにしばしば取り上げられる。図-1 に流体の底面における先端位置での解析結果と実験値の比較を示す。ここで縦軸は水柱の幅、横軸は時間を無次元化して示している。解析結果と実測値が良好に一致したことから、MPS 法によって水柱崩壊の様子を定量的に表現できることが確認できた。

4. ため池に流入する土石流の解析

MPS 法を用いて土石流がため池に流入する数値解析を行った。本稿では、50m の土石流の流路及び、6m のため池堤体の下流側の勾配を 30°、水の密度を 1000(kg/m³)、土石流の粒子密度を 2000(kg/m³)、水の動粘性係数を $1 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ に設定し、土石流がため池に流入する解析を実施した。その際、土石流の動粘性係数は固相の濃度より換算することとした。また、流路は両端 30°の勾配を有する幅 21m の断面としている。

図-2 に MPS 法によるため池内（初期の貯水 6m）に土石流が流入する流動過程を示す。また、図-3 に、ため池堤体内の貯水位を 0m、2m、4m および 6m に変化させた際の、各貯水位で発生した衝撃圧を示す（解析 1）。解析 1 の結果（図-3）から、ため池内の貯水位が浅くなるほど圧力が大きくなることを確認できる。

このことから、貯水位によってため池堤体に作用する圧力を軽減することができることが分かった。図-4 に斜面を流下する土石流の量を変化させて、ため池堤体高さ 2m、4m、6m に作用する圧力を示す（解析 2）。解析 2 の結果から、土石流の粒子数が最も少ない 6078 個の場合を除いて、ため池堤体高さが高くなるにつれて比例的にため池堤体に作用する圧力が小さくなるということが分かった。

5. まとめ 粒子法の 1 つである MPS (Moving Particle Semi-implicit) 法を用い、ため池に流入する土石流の数値シミュレーションを行った。その際、ため池の貯水が土石流による衝撃圧に及ぼす影響について検証した。解析 1 からは、ため池内の貯水位の存在によって土石流による衝撃圧を軽減でき、解析 2 からは、ため池堤体の高さが高くなるにつれて作用する圧力は小さくなることが分かった。

引用文献

- 1) Koshizuka, S. and Oka, Y. (1996) : Moving-particle semi-implicit method for fragmentation of incompressible fluid, *Nuclear Science and Engineering*, 123, 421-434.
- 2) 後藤仁志, 林 稔, 酒井哲郎 (2002) : 固液二相流粒子法による大規模土砂崩壊に伴う水面波の発生過程の数値解析, 土木学会論文集, 719, II-61, 31-45.
- 3) 越塚誠一 (2005) : 計算力学レクチャーシリーズ 5 粒子法, 丸善出版.

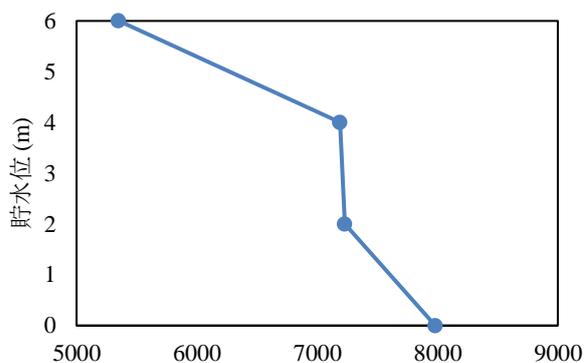


図-3 貯水位による衝撃圧の変化
Change of impact pressure by water level

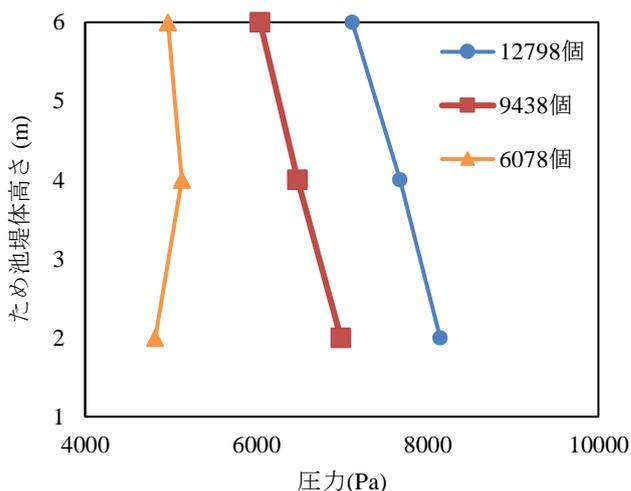


図-4 ため池堤体高さとの関係
Relationship between embankment height and pressure