

剛体・流体粒子による土石流モデルのシミュレーション解析

防衛大学校 ○別府万寿博 砂防鋼造物研究会 石川信隆
九州大学 園田佳巨 (財)建設技術研究所 長谷川祐治
京都大学大学院 水山高久

1. 緒言

土石流による砂防えん堤の損傷や下流側住民の被害を防ぐためには、土石流衝突時に砂防えん堤に作用する荷重を正確に把握し、適切な設計を行う必要がある。そのためには土石流の挙動と流体力を正確に再現できる数値解析手法の確立が必要である。本研究は、剛体および流体粒子を用いた粒子法により、土石流モデルの流下実験をシミュレーション解析したものである。

2. 実験の概要

図-1 に示すように勾配 8 度の水路(幅 10cm)において、清水および桜島産軽石 (ボラ, 湿潤密度 1.14g/cm³) を用いた土石流モデルを流下させ、下流側壁面に分力計を設置して荷重～時間関係を計測した¹⁾。土砂は止め板で天然ダム形状に堆積させ、流水の越水と共に止め板をはずして流下させた。図-2 に荷重計測板に衝突する直前の土石流モデルの先頭部形状を示す。図から、先頭部に段波が形成されていることがわかる。

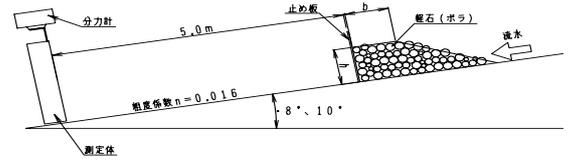


図-1 実験概要図

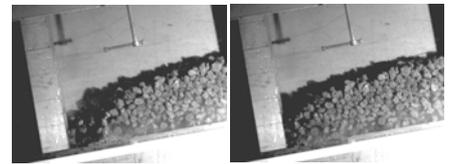


図-2 土石流モデルの先頭部形状

3. 解析手法の概要

3.1 粒子法の概要

本研究では、粒子法として MPS 法²⁾を用いている。粒子法は、連続体を有限個の粒子によって表す。着目している粒子を影響範囲内に存在する粒子群と相互作用させ、連続体の挙動を粒子の運動によって計算する。粒子法では、微分演算子に対応する粒子間相互作用モデルを用いて、次に示す連続の式とナビエーストークス方程式を解く。

$$\frac{D\rho}{Dt} = 0 \quad (1) \quad \frac{D\mathbf{u}}{Dt} = -\frac{1}{\rho}\nabla P + \nu\nabla^2\mathbf{u} + \mathbf{g} \quad (2)$$

ここに、 ρ は密度、 P は圧力、 \mathbf{g} は重力加速度、 ν は動粘性係数である。

3.2 解析上の工夫

本解析は、ボラと水の混相流であるため、ボラを剛体粒子として取り扱い、剛体と水粒子の直径は 1cm とした。剛体粒子は水粒子と区別することなく通常の粒子法アルゴリズムで計算する。次に、剛体同士の接触・摩擦を考慮するために、剛体同士が接触していると判定された場合には、粒子間に図-3 に示す法線および接線方向バネを設定して、反発力や摩擦力を考慮した³⁾。また、剛体と床面の摩擦については、図-4 に示すモデルにより水路床に接した剛体粒子に対して摩擦力を考慮した。

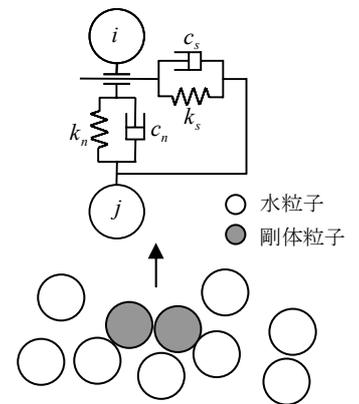


図-3 流体-DEM モデル

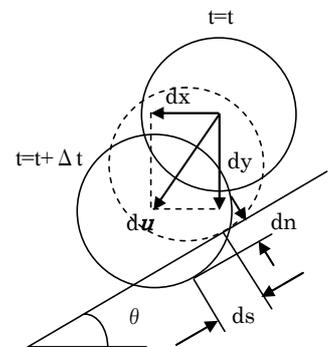


図-4 床との摩擦モデル

4. 解析結果および考察

4.1 解析モデル

図-5 に、清水および土石流モデルの解析モデルを示す。清水は、高さ 15cm の三角形状に湛水して流下させた。土石流モデルについては、解析における剛

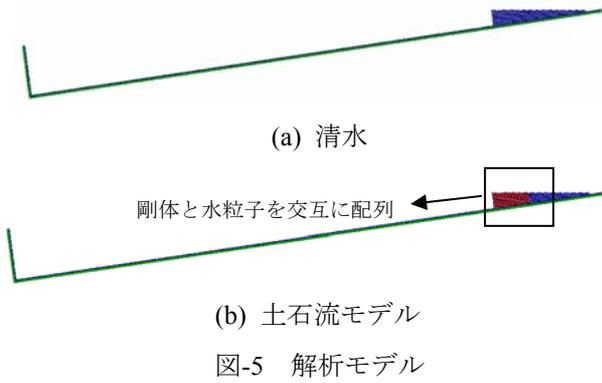


図-5 解析モデル

体の堆積を実験と等しくなるようにして、剛体と水粒子を交互に配列した。清水の場合は、流体と床および荷重計測用壁との動粘性係数を $1.0 \times 10^{-2} \text{mm}^2/\text{ms}$ とし、流体間の動粘性係数を $5.0 \times 10^{-2} \text{mm}^2/\text{ms}$ とした。土石流モデルについては、水粒子の動粘性係数は、清水モデルで得られた値を適用した。剛体の解析定数については、剛体間および剛体と床間の法線および接線方向のバネ係数を 1.0N/mm 、法線方向および接線方向の減衰定数をそれぞれ 0.4 および 0.1 とした。また、剛体間の摩擦係数を 0.2 、剛体と床間の摩擦係数は 0.5 に設定した。

4.2 清水の解析結果

図-6 に、清水の解析で得られた清水の流動状況を実験と比較して示す。これより、解析では粒子直径が大きいいため、土石流先頭部がやや分散するが、実験同様に低い流動深で流下していることがわかる。図-7 は、荷重～時間関係を実験結果と比較したものである。これより最大荷重および荷重が緩やかに立ち上がる性状を比較的良好に再現できている。

4.3 土石流モデルの解析結果

図-8 は、土石流モデルの流動状況について実験と解析を比較したものである。土石流モデルの場合も、先端がやや分散するが、実験同様に段波状の先頭部を形成している。図-9 は、荷重～時間関係を実験結果と比較したものである。これより、最大荷重が瞬時に立ち上がった後、後続流による荷重に収束する傾向を良好に再現できている。

5. 結言

剛体・流体粒子による流動計算により、清水およびボラ混じりの土石流モデルの流動状況および荷重～時間関係を比較的良好に再現できた。今後は、粒径の大きさ、分布、解析パラメータの影響などを調べるとともに、3次元モデルによる検討を進める必要がある。

参考文献

- 1) 井上隆太, 石川信隆, 別府万寿博, 長谷川祐治, 水山高久: 土石流段波モデルによる砂防えん堤モデルの荷重・変位計測と堆積状況の可視化実験, 平成 20 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.290-291, 平成 20 年 5 月
- 2) 越塚誠一: 粒子法, 丸善, 平成 17 年 2 月
- 3) 後藤仁志, 林稔, 安藤怜, 酒井哲郎: 固液混相流解析のための DEM-MPS 法の構築, 水工学論文集, 第 47 巻, pp.547-552, 2003 年 2 月

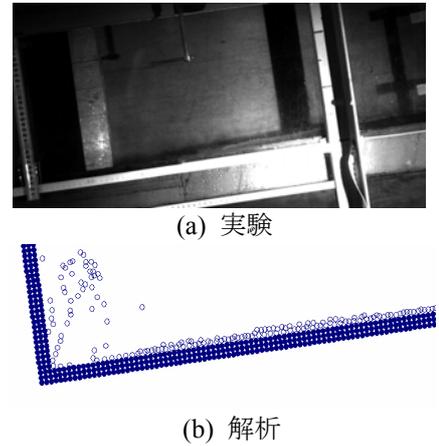


図-6 清水の流動状況の比較

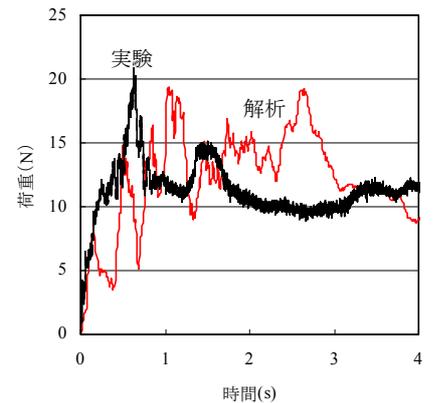


図-7 清水の荷重～時間関係の比較

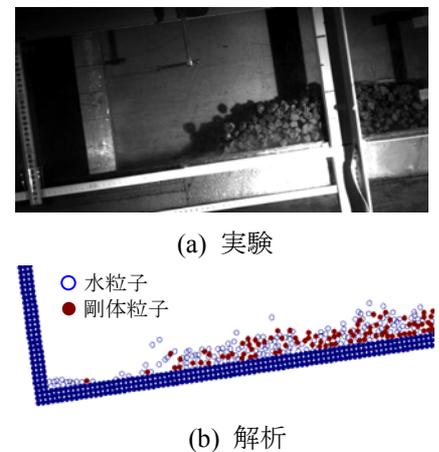


図-8 土石流モデルの流動状況

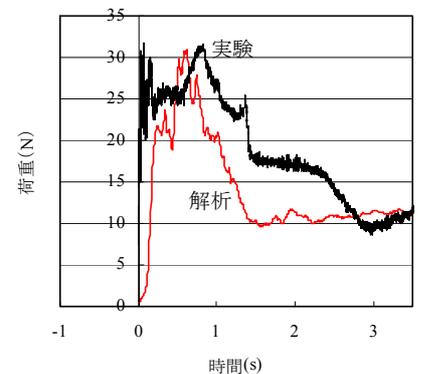


図-9 土石流モデルの荷重～時間関係の比較