

MPS 粒子法による土石流段波モデルの荷重評価解析

防衛大学校 正会員 ○別府 万寿博 砂防鋼構造物研究会 正会員 石川 信隆
九州大学 正会員 園田 佳巨 (財)建設技術研究所 長谷川 祐治
京都大学 水山 高久

1. 目的

石礫型土石流の先頭部は、土石流の粒度組成や地形条件に応じて段波を形成するため、砂防えん堤に対して衝撃的な流体力が作用する可能性がある。一般に、段波は、①土石流内部での相互作用により礫が土石流表面へ移動する、②礫が先頭部に輸送され落下する、③礫と河床の摩擦が流れへ抵抗を与える、ことにより形成されると言われている¹⁾。本研究は、MPS 粒子法を用いて、段波を形成した土石流モデル²⁾のシミュレーション解析を行ったものである。

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²⁾。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。

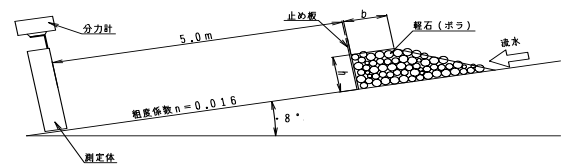


図-1 実験概要図

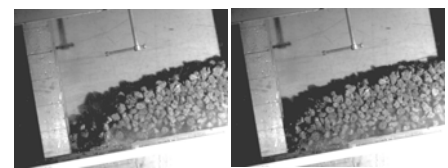


図-2 土石流モデルの先頭部形状

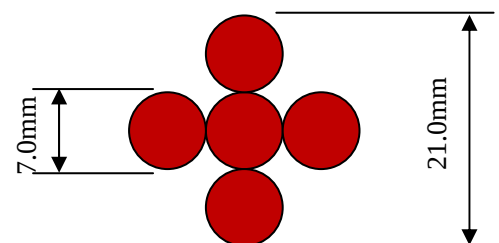


図-3 ボラ 1 個の構成

3. MPS 粒子法によるシミュレーション解析

3.1 解析モデル

本研究では、粒子法として MPS 法³⁾を用いた。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ックス方程式を解く。

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

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った。なお、剛体と水粒子の直径は 0.7cm とした。ボラについては単一の形状および直径と仮定し、図-3 に示すように剛体粒子 5 個を組合せて 1 個のボラを構成した。水路および土石流モデルの解析モデルを図-4 に示す。解析は、剛体 80 個を清水内に配置した状態から 5m 流下させた。剛体粒子は水粒子と区別することなく通常の MPS 粒子法のアプローチで計算する。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、図-5 に示すように粒子間に法線および接線方向バネを設定して⁴⁾、反発力や摩擦力を考慮した。また、

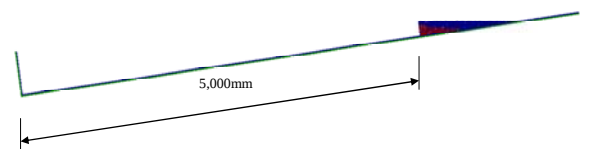


図-4 解析モデル

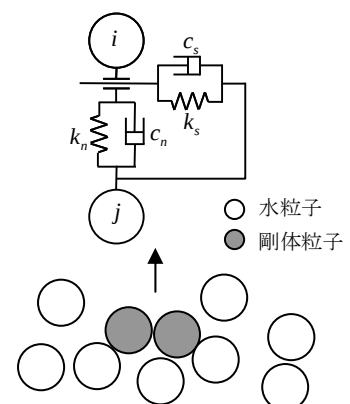


図-5 流体-DEM モデル

キーワード 粒子法, 土石流, 段波, 衝撃力

連絡先 〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL 046-841-3810

表-1 解析定数

水の動摩擦係数	$5.0 \times 10^{-2} \text{ mm}^2/\text{ms}$
剛体間の法線・接線方向のバネ係数	1.0N/mm
剛体と床面間の法線・接線方向のバネ係数	1.0N/mm
法線の減衰定数	0.4
接線方向の減衰定数	0.1
剛体間の摩擦係数	0.5
剛体と床面の摩擦係数	10.0

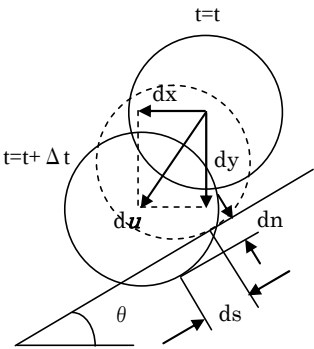


図-6 床との摩擦モデル

剛体と床面の摩擦については、図-6 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。表-1 に、解析定数を示す。

3.2 解析結果

図-7 に、解析で得られた流下状況を実験と比較して示す。図より、解析結果は実験と同様に、土石流モデルが分力計に衝突する直前において明瞭な段波を形成した。また、分力計に衝突した後は、実験と同様に上方へと移動した後上流側へ跳ね返っている。図-8 は、解析による荷重～時間関係を実験と比較したものである。本解析では、粒子数が少なく土石流先頭部がやや分散するため、実験結果に対して荷重の立ち上がりが多少緩やかであるが、最大荷重や収束荷重を比較的良好に再現できている。

4. 結言

剛体および流体粒子を用いた MPS 粒子法により、ボラ混じりの土石流段波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、分布の影響を調べるとともに、3 次元モデルによる検討が必要である。

謝辞

本研究は、科研費（21560512）の助成を受けて行われたものである。ここに記して謝意を表します。

参考文献

1)高橋保：土石流の機構と対策，近未来社，2004 年，2) 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，3) 越塚誠一：粒子法，丸善，2005 年，4) 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

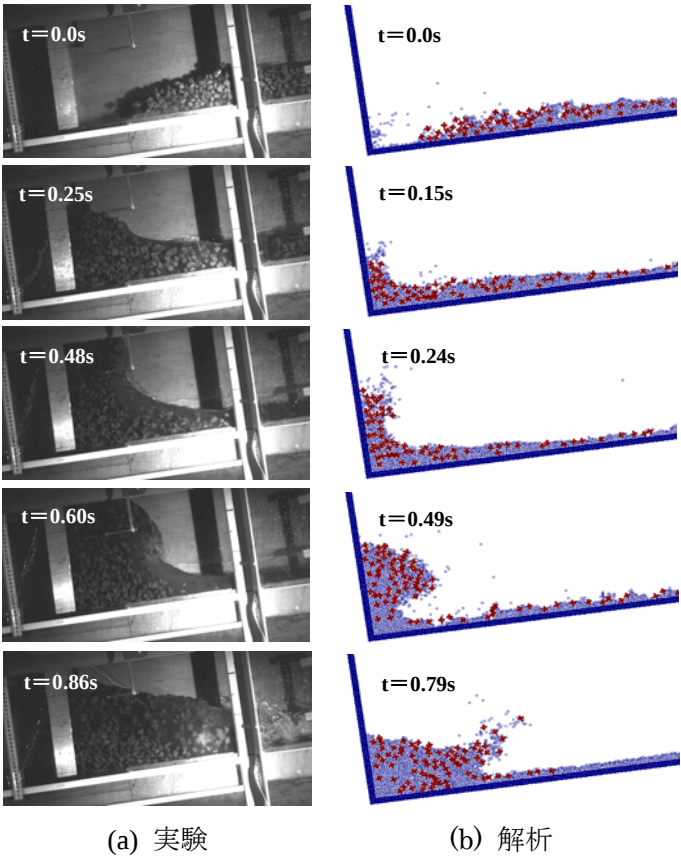


図-7 土石流モデルの流下状況の比較

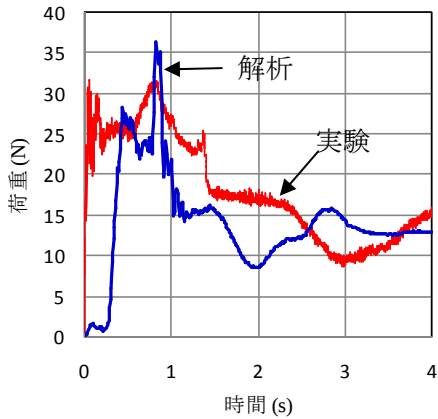


図-8 解析と実験の比較
(荷重～時間関係)