

3次元粒子法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 砂防鋼構造物研究会 井上隆太 石川信隆
(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

土石流を受ける砂防堰堤の安全性を予測するためには、土石流荷重や土石流荷重を受ける構造物の変形を評価する手法が不可欠である。しかし、これらの解析技術は未だ十分に確立されているとはいえない現状にある。著者らは、これまでに2次元の粒子法を用いて石礫型土石流モデルの流動シミュレーションや荷重評価ならびに鋼薄板の弾性応答について検討を行ってきた¹⁾。2次元粒子法を用いた解析により、土石流の荷重や構造物の変形を評価することはできたが、地形の影響や鋼製砂防堰堤を考慮するためには、3次元モデルを用いた解析が不可欠である。本研究は、3次元粒子法を用いて清水の流下実験に対するシミュレーションおよび砂防堰堤に作用する流体圧解析を行ったものである。

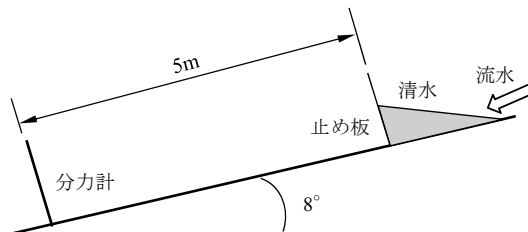


図-1 実験の概要



図-2 解析モデル

2. 清水の流下実験に対するシミュレーション

2.1 実験の概要

図-1 に示すように勾配8度の急勾配水路(幅10cm)に、清水を用いた土石流モデルを5m流下させた。下流側に分力計(荷重計)を設置し、流体力を計測した。清水は、止め板で天然ダム形状に貯留させ、先頭部の水深が15cmになった時点で止め板をはずして流下させる方法(天然ダム決壊型)を採用した。

2.2 解析手法の概要

本研究では、粒子法としてMPS法を用いている。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、連続の式とナビエーストークス方程式を離散化して解く。本研究では、動粘性係数を $5.0 \times 10^{-2} \text{ mm}^2/\text{ms}$ に設定した。図-2に解析モデルを示す。解析では、粒子の直径を10mmとした。粒子の総数は、127,290個である。

2.3 解析結果および考察

清水が分力計に衝突した直後の挙動を図-3に示す。これより、実験と同様に、清水はくさび状に流下した後、分力計に衝突して上流側へ跳ね返るなど複雑な流動過程を再現していることがわかる。図-4に、解析で得られた荷重～時間関係を実験と比較して示す。解析による荷重は、分力計位置の粒子に発生した圧力の総和をとることにより求めた。図から、解析で用いた粒子直径が10mmとやや大きいこと、また注入流水をモデル化していないなどの理由により、荷重に高周波成分が多く、荷重の値が全体的に小さいが、波形や最大荷重などは比較的良好に再現していることがわかる。

3. 砂防堰堤に作用する流体圧解析

ここでは、実際の砂防堰堤を想定した簡易な鋼製砂防堰堤モデルを作成し、この堰堤モデルに作用する流体圧を3次元粒子法で解析する。

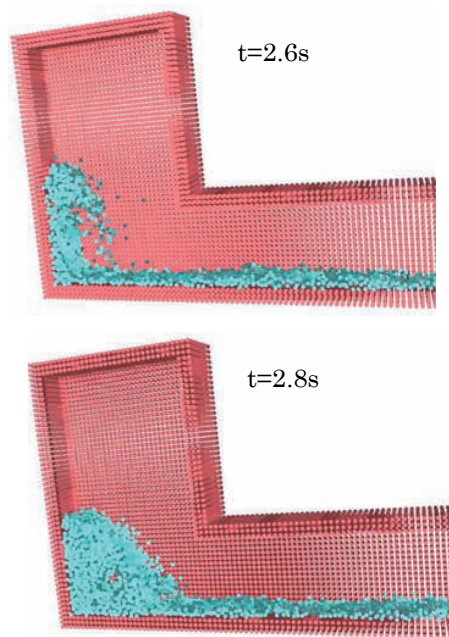


図-3 解析による流動状況

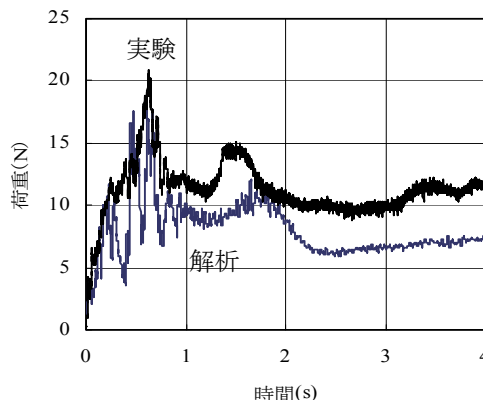


図-4 荷重～時間関係の比較

3.1 解析モデル

解析モデルを図-5に示す。砂防堰堤は、鋼製堰堤の一部をモデル化し、鋼管直径 50cm、高さ 5m とした。なお、図中には示していないが、床の両側には土石流モデルが両サイドから漏れないように高さ 2m の壁を設置している。本解析では、砂防堰堤モデルは剛体として扱うため、変形挙動は計算できない。土石流モデルについては、本研究が 3 次元解析の基礎的段階なので簡単のため清水としている。堰堤モデルから 4m 離れた位置に幅 3m、長さ 4m、高さ 2m の直方体の水塊を設置し、水塊の初速度を、0、2.5、5.0 および 10.0m/s と変化させた。粒子の直径は砂防堰堤モデル、水塊ともに 100mm とし、粒子の総数は 65,976 個である。解析の出力としては、堰堤基部（図-5 参照）に発生する圧力を求め、速度の影響について調べた。

3.2 解析結果および考察

図-6 に、初速度 10m/s の場合において、砂防堰堤モデルに土石流モデルが作用する状況を示す。図から、速度がかなり速いため、初期の形状を保持した状態で砂防堰堤に衝突していることがわかる。その後、砂防堰堤に衝突して、飛沫が生じている様子や水塊の形状が崩れる挙動を示している。図-7 に、各初速度の解析で得られた、砂防堰堤基部の圧力～時間関係を比較して示す。まず、初速度がない場合(0m/s)では、基部には約 25kPa の最大圧力が生じた。その後緩やかに圧力は低減した。初速度 2.5m/s および 5.0m/s の場合では、最大圧力はそれぞれ約 35kPa および 58kPa であった。初速度が 10m/s になると、最大圧力は 130kPa となった。すなわち、最大圧力は初速度にほぼ比例して増加することがわかった。

このように、3 次元粒子法を用いると、鋼製砂防堰堤の形状や土石流モデルの速度による最大圧力の変化を詳細に解析することができる。

4. 結言

本研究は、3 次元粒子法を用いて清水の流動によって生じる荷重～時間関係を再現するとともに、清水の衝突を受けて砂防堰堤基部に生じる圧力～時間関係をシミュレーションしたものである。解析結果から、3 次元粒子法により清水の実験をある程度精度良く再現できることや砂防堰堤基部に生じる圧力特性を評価することができた。今後の課題としては、土石流のモデル化（礫や土砂）および構造材料の弾性および弾塑性モデルの開発を行う必要がある。その後、砂防堰堤の捕捉機能や耐力評価および鋼製砂防堰堤のへこみ変形・全体変形の解析を行い、最終目標として土石流を受ける砂防堰堤の機能性と安全性を同時に評価可能な解析手法を開発する予定である。

謝辞：本研究の一部は、科研費（21560512）の助成を受けて行われたものである。

参考文献

1) 別府万寿博, 井上隆太, 石川信隆, 長谷川祐治, 水山高久: 粒子法による流体力を受ける鋼薄板構造物の変形シミュレーション解析, 平成 23 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.258-259, 平成 23 年 5 月。

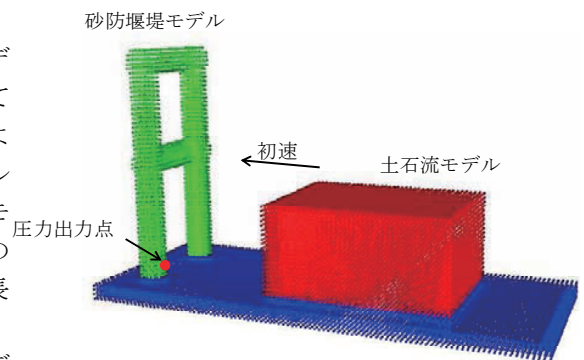


図-5 解析モデル

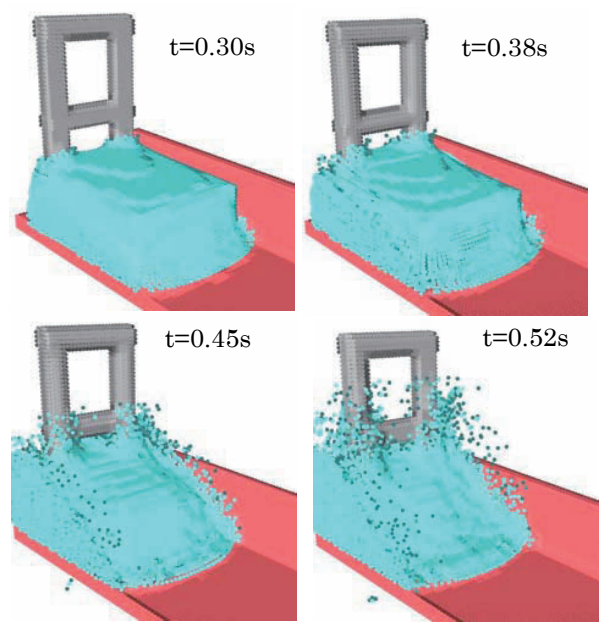


図-6 土石流モデルが砂防堰堤モデルに作用する状況

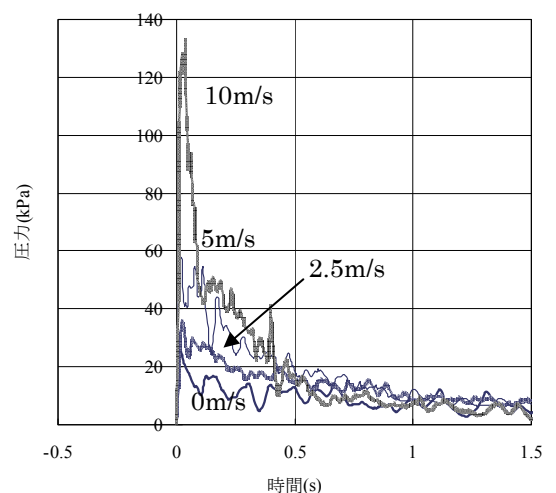


図-7 圧力～時間関係の比較