

DEM-MPS 法による土石流荷重評価と砂防堰堤の耐荷性能に関する一考察

防衛大学校 ○別府万寿博 伊藤忠テクノソリューションズ 松澤遼
(一財) 砂防・地すべり技術センター 嶋丈示 砂防鋼構造物研究会 石川信隆
政策研究大学院大学 水山高久

1. 緒言

近年, 集中豪雨の増加にともなって大規模な土石流が発生する傾向にある. 深層崩壊や大規模な土石流が発生すると, 大量の土砂や大径の礫が流下し, 砂防堰堤に作用する. これらの極めて大きな土石流荷重¹⁾については, 統計的データが不足しているため, 今後も継続して観測を行うとともに荷重評価に関する検討が必要である. 本研究は, まずDEM-MPS法を用いて, 石礫型土石流の荷重(流体力および礫衝突力)を評価する. 次に, 算定した荷重~時間関係を砂防堰堤モデルに入力し, 砂防堰堤の耐荷性能を検討する. なお, 数値解析には, 衝撃解析ソフトAUTODYNを用いている.

2. DEM-MPS 法による石礫型土石流荷重の評価

2.1 解析モデルの概要

個別要素法 (DEM) と Moving Particle Semi-implicit (MPS) 法を連成したDEM-MPS法²⁾を用いて, 石礫型土石流荷重を数値解析的に評価する. DEM-MPS法は, 流体の挙動をMPS法で表現し, 礫の挙動をDEMで評価する手法である. 図-1 に, 解析モデルを示す. 土石流モデルの長さは25m, 高さは5mであり, 内部に大径礫(直径3m), 中径礫(直径1.8m), 小径礫(直径0.6m)の3種類の礫が含まれている. この土石流に対して, 極めて大きな土石流荷重³⁾の速度である8.45m/sを設定し, 土石流荷重を算定した. この際, 荷重は流体力および礫衝突力ともに, 図中左側の壁で算出される.

2.2 解析結果

図-2 に, 礫が壁に衝突する様子を示す. 本モデルでは, 左下の大径礫のみが壁に衝突した. 図-3 に, 解析で得られた流体力~時間関係を示す. 図から, 単位幅当りの最大荷重は瞬間的に約2000kN/mに達した後, 平均で約400kN/mとなることがわかる. 図-4 に, 解析で得られた礫衝突力~時間関係を示す. 図から, 衝突の初期に最大衝突力1,300kNを示すことがわかる. 最大衝突力がやや小さい値となった理由は, 図-2 に示した礫の衝突の際に礫の衝突速度が小さくなったためと考えられる.

3. 荷重入力による砂防堰堤の耐荷性能評価

3.1 解析モデルおよび入力条件

図-5(a)に, 解析の対象としたコンクリート堰堤モデルを示す. コンクリート堰堤は, 高さ10m, 底面幅8mであり, 2次元モデルを作成した. コンクリートの密度は2.3g/cm³, ヤング係数は20GPa, ポアソン比は0.15, 降伏応力は30MPa, 引張強度は3MPaに設定した. 図-5(a)に示すように, この堰堤頂部から5mの範囲に土石流流体力~時間関係を基に算定した圧力を作用させた. 礫衝

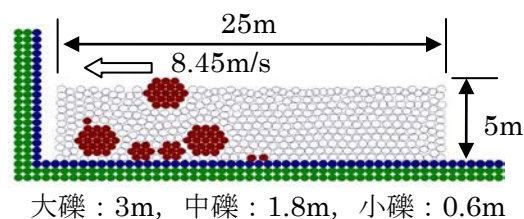
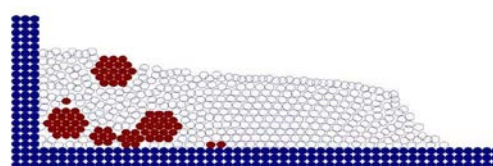
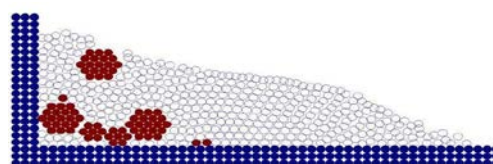


図-1 DEM-MPS 法



(a) t=0.6s



(b) t=0.9s

図-2 礫の衝突挙動

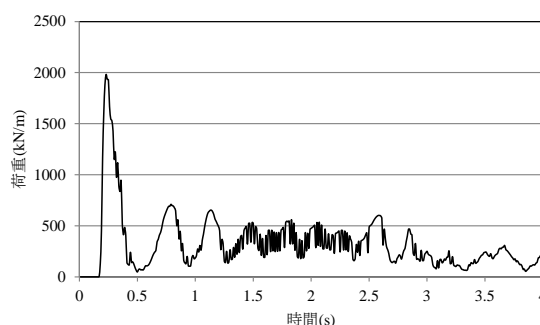


図-3 流体力~時間関係

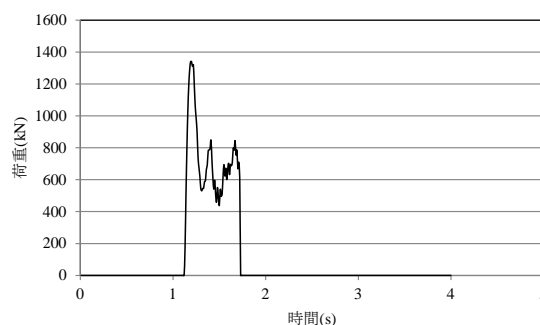


図-4 礫衝突力~時間関係

突力については、まず礫とコンクリートの衝突面積を200mm×200mmと仮定し、図-4に示す礫衝突力を圧力～時間関係へ変換した。次に、この礫衝突圧力～時間関係を、図-5(b)に示すように位置を変えて作用させた。なお、図中では集中荷重のように表示しているが、解析では衝突面積200mmの範囲の3要素へ圧力を作用させた。case1は礫が堰堤頂部へ衝突した場合を想定したものである。case2は頂部から礫半径位置(1.5m)への衝突を、case3は礫が河床に近い位置にある場合を想定している。

3.2 解析結果および考察

図-6に、case1およびcase2の解析で得られたコンクリート堰堤の破壊性状を示す。図から、case1の場合は荷重の作用位置および頂部から3mほど下の位置から明瞭なせん断破壊が発生していることがわかる。このせん断ひび割れは堰堤下部まで到達し、堰堤は破壊した。case2の場合も、荷重の作用部から約3m下の位置を起点としてせん断ひび割れが発達し、堰堤は破壊した。図-7に、直径3mの礫を同寸法のコンクリート堰堤へ衝突させた解析結果⁴⁾を示す。本解析結果と比較すると、せん断ひび割れの発生位置が異なるが、破壊性状は類似している。図-8に、case3の解析結果を示す。case3では明瞭なせん断ひび割れが発生せず、衝突位置のみに微小なひび割れが発生した。すなわち、礫の衝突位置によって堰堤の曲げやせん断抵抗が変化するため、破壊性状が変化することを示している。

4. 結言

本研究は、DEM-MPS法により石礫型土石流の荷重(流体力および礫衝突)を評価し、荷重入力により砂防堰堤の耐荷性について検討を行ったものである。DEM-MPS法による流体力と礫衝突力を圧力～時間関係に変換して、コンクリート堰堤モデルの破壊挙動を解析した。解析の結果、提案手法によってコンクリート堰堤の耐荷性のある程度評価できることがわかった。

参考文献

- 1) 国土交通省砂防部, 国土技術政策総合研究所: 土石流・流木対策設計技術指針及び同解説, 平成19年
- 2) 別府万寿博, 金子鉄兵, 石川信隆, 水山高久: DEM-MPS法による石礫型土石流の荷重評価に関する検討, 平成26年度砂防学会研究発表概要集, 平成26年5月
- 3) 山口聖勝, 石川信隆, 田村毅, 嶋丈示, 水山高久: 極めて大きな土石流流体力を受ける砂防堰堤の極限状態における安定計算法, 平成27年度砂防学会研究発表概要集, 平成27年5月
- 4) 松澤遼, 別府万寿博, 嶋丈示, 石川信隆, 水山高久: 極めて大きな礫衝突を受けるコンクリート砂防堰堤の耐衝撃性に関する解析的検討, 平成27年度砂防学会研究発表概要集, 平成27年5月

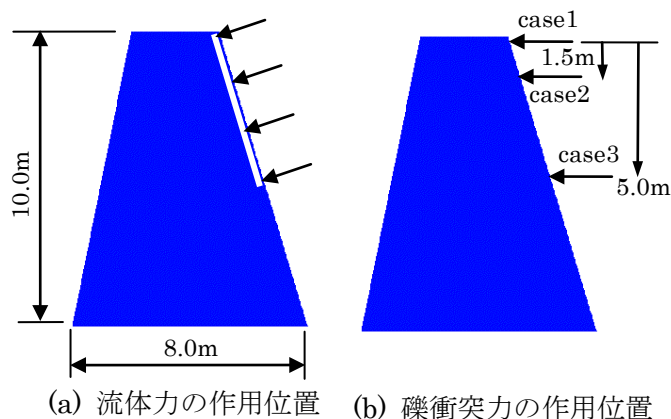
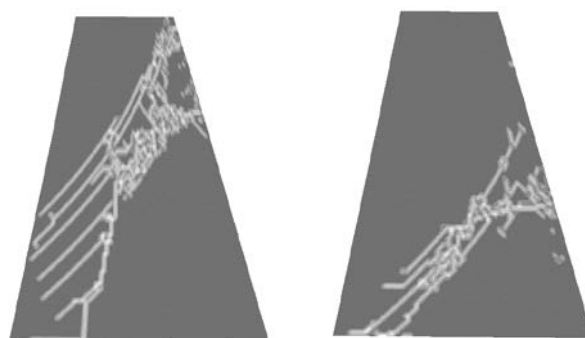


図-5 砂防堰堤モデル



(a) case1 (b) case2

図-6 コンクリート堰堤の破壊状況

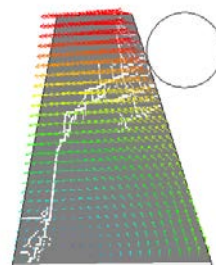


図-7 礫衝突解析結果⁴⁾

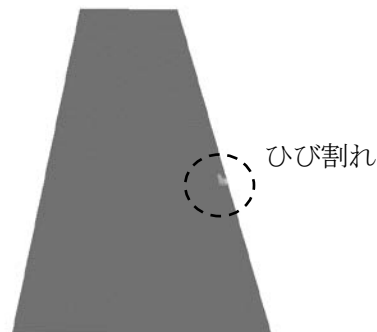


図-8 case3の破壊状況