

DEM・MPS法による石礫型土石流の荷重評価に関する検討

防衛大学校 ○別府万寿博 金子鉄兵 砂防鋼構造物研究会 石川信隆
京都大学大学院 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。土石流の中でも、土砂に加えて石や礫を含む石礫型土石流は、雨量や地形の影響によっては衝撃的な荷重を生じることがわかっている。著者らは、これまでにMPS法¹⁾を用いて、土石流モデルの解析手法を開発してきた。本研究は、コンクリート砂防堰堤袖部を対象として、礫がコンクリートに衝突する場合の局所的な接触特性を考慮した個別要素法(DEM)とMPS法を用いて、石礫型土石流の荷重評価手法を検討したものである。

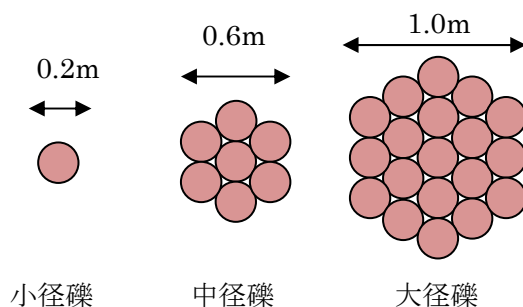


図-1 剛体の集合による礫のモデル化

2. 解析手法の概要

2.1 解析方法

本研究では、MPS法を用いて剛体と流体の連成解析を行う。礫は剛体粒子の集合体としてモデル化し、図-1に示すように、直径0.2m、0.6mおよび1.0mの3種類とした。これらの礫と流体粒子を混合することで、石礫型土石流モデルを作成する。巨礫がコンクリート堰堤袖部に衝突する場合の荷重応答は、個別要素法を用いて評価する。すなわち、図-2に示すような衝突現象を局部バネによって表現することを試みる。この局部バネの特性については、次節に示す有限差分法による礫衝突解析を行い、解析から得られた荷重～へこみ量関係の勾配とした。

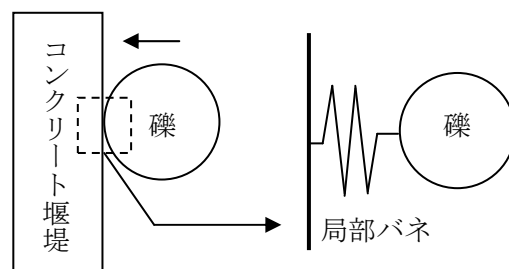


図-2 局部バネのモデル化

2.2 局部バネの特性

局部バネのバネ係数を得るために、有限差分法による解析を行った。図-3に解析モデルを示す。コンクリート堰堤袖部の寸法は、幅3m×高さ2.6m×長さ3mとし、その中央部に直径1mの礫を衝突させるものとした。衝突速度は、2m/s～10m/sの範囲とした。コンクリートの材料モデルは、コンクリートの硬化や軟化挙動およびひずみ速度効果を考慮したモデル²⁾を用いた。コンクリートの強度は18N/mm²、ポアソン比は0.23とした。また、礫については岩を模擬した弾性体とした。図-4に、解析で得られた荷重～へこみ量関係を示す。なお、荷重は礫の運動量の変化から求め、へこみ変形は礫の移動量としている。図から、荷重はへこみ量にほぼ比例して増加し、速度によらずほぼ一定の勾配を示すことがわかる。この勾配を局所的な剛性とみなすと、速度によって値がやや異なるが、250～300kN/mmの範囲であった。本解析結果から、DEM・MPS法で用いるバネ係数の値を270kN/mmとした。なお、バネ係数については、簡単のため、礫の直径に関わらず同じ値と仮定した。

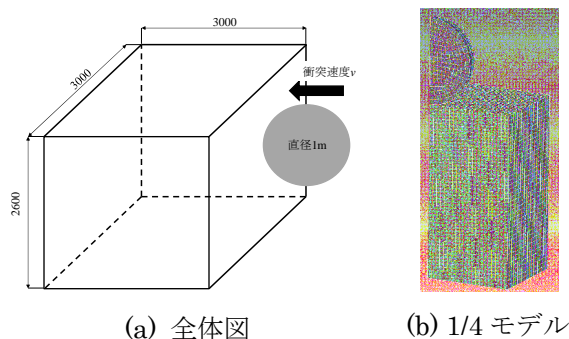


図-3 礫衝突の解析モデル

3. 石礫型土石流の荷重評価解析

3.1 解析モデル

図-5に、泥流および石礫型土石流の解析モデルを示す。泥流型土石流モデルは、幅10m、高さ1.6mの長方形でモデル化した。石礫型土石流モデルについては、泥流の先頭部に大径礫を3個、

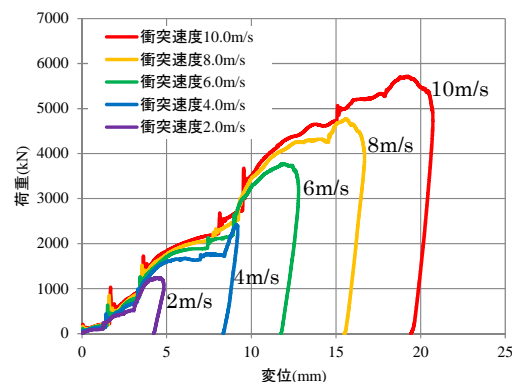


図-4 荷重～変形関係

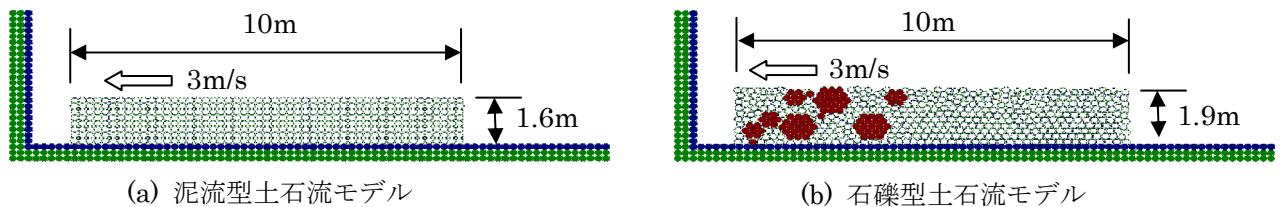


図-5 解析モデル

中径礫を4個，小径礫を3個の合計10個をランダムに配置した．そのため，モデルの高さが1.9mと泥流型に比べてやや高くなっている．両モデルともに，泥流粒子の密度は 1.2g/cm^3 とした．礫の密度は 2.6g/cm^3 とした．速度については，モデルの粒子に様に初速 3m/s を与えている．荷重については，図-5に示す左端の壁の圧力に壁の高さを乗じて，単位幅（1m）当りの流体力を求めた．

3.2 解析結果および考察

図-6に，泥流型土石流モデルの流体力～時間関係を示す．土石流モデルを長方形としたため，平坦は先頭部が衝突して荷重が急激に増加していることがわかる．衝突時の最大荷重は約 110kN/m を示し，その後徐々に荷重は低下することがわかる．

図-7に，石礫型土石流の挙動を示す．石礫群はほぼ同時に壁に衝突し，その後は逆流した泥流とともに流されている様子がわかる．図-8に，泥流型土石流と比較するため，石礫型土石流モデルの流体力～時間関係を示す．この荷重は，礫の衝突荷重を含んでいない流体力であり，壁の圧力から算出したものである．石礫型土石流モデルの場合は，水深が高いことおよび流体が礫に拘束されるため，最大荷重が泥流型に比べて約2倍の 200kN/m となった．初期の荷重以降については，泥流型と同様の挙動を示した．図-9に，石礫型土石流の礫衝突荷重～時間関係を示す．図の原点は，土石流が壁に衝突した時刻を示している．図-7からわかるように，石礫群がほぼ同時に壁に衝突しているため，礫衝突荷重は初期に最大約 7500kN もの大きな値を示した．また，最初の衝突以降も礫同士が衝突や土石流の流れの影響によって $1000\text{kN}\sim 3000\text{kN}$ の衝突荷重が生じていることがわかる．

4. 結言

本研究は，有限差分法で得られたコンクリートと礫間の局部バネを考慮した，DEM・MPS法を用いて，石礫型土石流による荷重を評価したものである．提案した手法によって，土石流流体力と礫衝突力を同時に評価することができた．

謝辞：本研究の一部は，科研費（24560594）の助成を受けて行われたものである．

参考文献

- 1) 越塚誠一，粒子法，丸善，2005
- 2) M. Itoh, M. Beppu and R. Matsuzawa: Numerical simulations of RC slabs subjected to impact loading by using the improved caprout constitutive model, Proc. of 10th International Conference on Shock and Impact Loads on Structures, 2013.

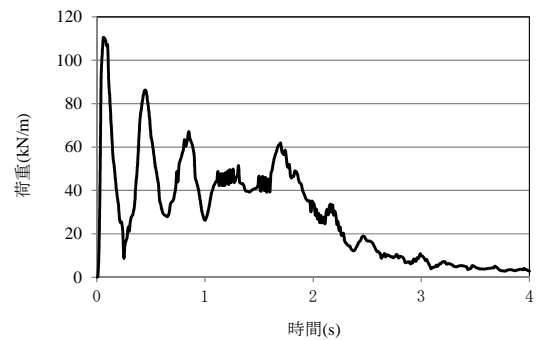


図-6 泥流型土石流の流体力(単位幅当り)

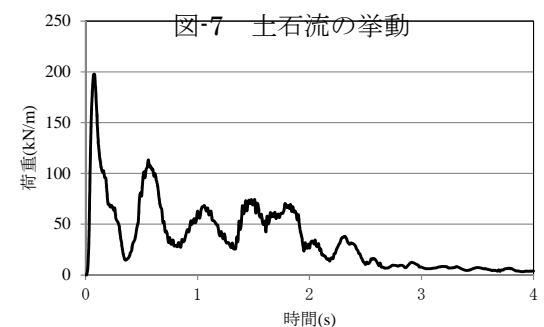
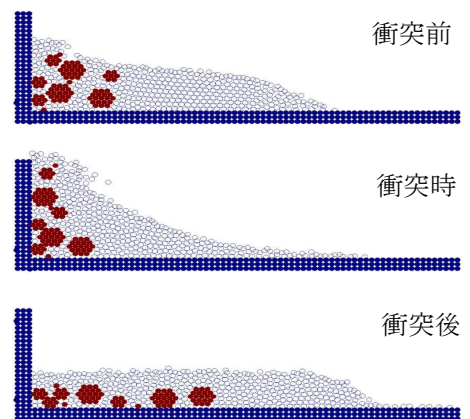


図-8 石礫型土石流の流体力(単位幅当り)

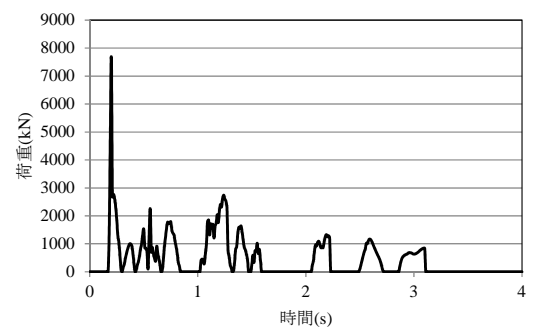


図-9 礫衝突荷重