

DEM を用いた透過型砂防堰堤における破壊メカニズムの検討

防衛大学校 学生会員 ○嶋川理

防衛大学校 正会員 堀口俊行 別府万寿博 香月智

1. 諸 言

我が国の国土は山間地が約 7 割を占め、急峻かつ脆弱で土砂災害が頻発している。近年、局所的な強雨の増加により、土石流の発生件数は増加傾向にある。土石流の対策構造物としては主として透過型砂防堰堤（以下、透過型）が用いられている。透過型は鋼材を用いた頑健で冗長性を有する構造物として知られているが、近年の土石流災害の激甚化に伴い破壊事例も生起している。

平成 26 年 7 月 9 日の南木曾読書地区では、土石流により梨子沢第 1 砂防堰堤の上部が破断するという事例が発生したり。著者ら²⁾は、この破壊現象の検証のため現地観測データと崩壊後の礫径調査の粒径を用いて、実スケールの再現解析により土石流流体力の推定および堰堤の損傷状況について検討した。しかし、各部材の損傷状況や破壊に至る過程について詳細な検証ができていない。

そこで本研究は、被災事例から堰堤部材の継手強度を変化させたモデルによる再現実験を行い、破壊メカニズムを検証する。そのうえで、個別要素法を用いて実験の再現シミュレーションを行い、その破壊メカニズムについて検証するものである。

2. 実験の概要

実験装置は、長さ 4.35 m 勾配変化型水路を用いており、2 段階の勾配を設定できる。本実験では下流側を 11.3°とし、上流側は土石流の段波生成のため 20°とした。流水は、上流側で水を溜め一気に開放するダムブレイク方式で与えた。土石流モデルは、現地の礫径調査を参考にし、 D_{95} : 40 mm (25.5 kg), D_{80} : 30 mm (31.5 kg), D_{60} : 20 mm (18.0 kg) の 3 種類の礫径を用いた。その礫量は、総量 75 kg とした。実験要領は、礫を事前に 50 %堆積させてから、土石流を流し込むこととした³⁾。写真-1 に堰堤モデルを示す。堰堤モデルは実物の約 1/40 のサイズであり、木材であるバルサを用いて作成し、連結部分は 3D プリンターで作成したものをを用いた。バルサは鋼管を模して中空に加工した。その継手部は事前の強度試験から、切り欠きを与えていないバルサの曲げ強度を 100 %とした場合に、曲げ強度 70 %となるよう

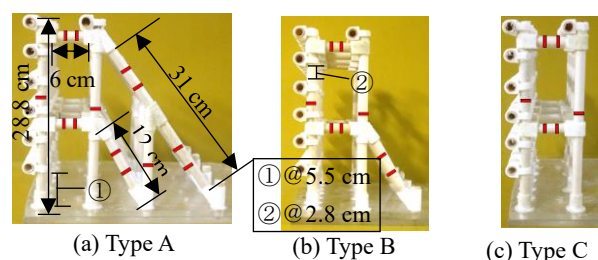


写真-1 堰堤モデル

表-1 実験結果

堰堤モデル	Type A	Type B	Type C
継手 100 %	○	○	×
継手 70 %	○	×	×

○ : 損傷・破壊無し × : 破壊



写真-2 実験結果

に切り欠き 0.4 mm を与え、赤く着色した。また、斜材の有無による影響を確認するため 3 種類の堰堤モデルを使用した。本実験では、継手部分を考慮したケース（継手 70 %）と考慮していないケース（継手 100 %）2 種類と堰堤モデル 3 種類の組み合わせで 6 ケースの実験を行った。写真-2 に実験結果を示す。Type A は、継手強度によらず破壊しなかった。Type B は、継手強度が 70 %の場合、堰堤の中腹当たりの継手部で破壊し、後続の土石流の作用力により堰堤上部を押し倒している。また、下流側の部材も前面と同様に継手部で破壊している。しかし、継手強度 100 %では損傷せず土石流モデルを捕捉した。Type C はいずれの継手強度でも根元の端部から破壊し、堰堤全体が流出した。

3. 解析手法

礫モデルは、実験で使用した粒径分布を参考に、形状は球形要素によりモデル化した。水路は、三角形平面要素を組み合わせて使用した。堰堤モデルは、円柱形要素を組み合わせて構成し、実験で使用した接合部分については集合体要素とした。図-1 に、バルサの曲げ試験と解析の曲げモーメント～曲率関係を示す。曲げ試験と解析でそれぞれ切り欠き

キーワード 土石流、透過型砂防堰堤、個別要素法、模型実験、破壊

連絡先 〒239-0811 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL : 046-841-3810 FAX : 046-844-5913

を与えた場合と円柱形要素の結合ばねの曲げ剛性は、切り欠きの有無を考慮したバルサの曲げ試験で得られた曲げモーメント～曲率関係から近似的に推定した。この際、実験と解析でバルサ破断までのエネルギーが等しくなるようにバイリニアでモデル化し、実験の継手部には70%強度のばねを、その他は100%強度のばねを与えた。また、断面分割法を用いて実験と同様の曲げモーメント～曲率関係を推定させて軸剛性を推定した。解析ケースは、実験と同様に継手強度100%、70%の2種類と堰堤モデル3種類の組み合わせで計6ケース行った。図-2に本解析の初期配置を示す。礫の色はそれぞれ、 D_{95} : 緑色、 D_{80} : 黄色、 D_{60} : 赤色とした。堰堤上流側の堆積部と、後方の礫群に分けて初期配置を決めた。流体の計算は、流速分布モデルを用いて礫群を流下させている。流速は実験映像から、 $v=3.0\text{ m/s}$ で与えた。なお、堆積している礫に与える流体力は、後方の礫群が堆積部分に到達するまで作用しないものとした。

4. 解析結果

表-2に、各堰堤モデルの解析結果を示す。解析による破壊の判定は実験を再現できた。ここでは、その中でも継手強度70%の2ケース(Type A, Type B)について示す。図-3にType Aの解析結果を示す。堰堤全体がやや下流側に押し込まれたが、損傷は生じなかった。図-4に、Type Bの実験と解析の衝突過程を比較している。土石流が堰堤に衝突した時間を $t=t_0$ とした。 $t=t_0+0.11\text{ s}$ では、上流側の継手部の一部の要素間ばねが破断し、下流側に押し込まれている。 $t=t_0+0.15\text{ s}$ で上流側の縦部材が継手とその他の縦部材で破断して完全に切り離され、下流側の縦部材1本を残して全て破断した。ここまでの時間スケールと堰堤の上段が破壊していく過程は実験と類似している。 $t=t_0+0.2\text{ s}$ で残りの下流側縦部材が破断し、堰堤上部が流出した。

5. 結 言

本研究は、透過型の模型実験および個別要素法解析によって、破壊に至る現象と被災事例を比較し、その破壊メカニズムについて検討したものである。実験と解析による検討結果から、継手の影響を考慮することで堰堤が破壊に至る現象を再現できた。

参考文献

- 1) 平松晋也ら: 平成26年7月9日長野県南木曽町で発生した土石流災害, 砂防学会誌, Vol67, No.4, pp.61-82, 2014.
- 2) Horiguchi T., Richefeu V.: Post-analysis simulation of the collapse of an open sabo dam of steel pipes subjected to boulder

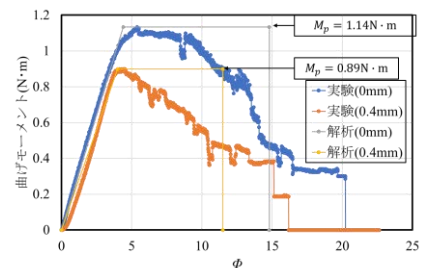


図-1 曲げモーメント～曲率関係(実験と解析)

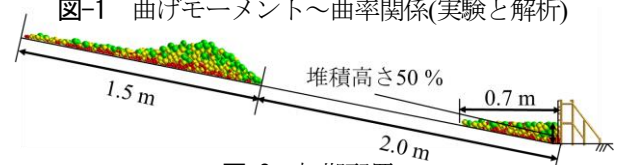


図-2 初期配置

表-2 解析結果

堰堤モデル	Type A	Type B	Type C
継手 100 %	○	○	×
継手 70 %	○	×	×

○: 損傷・破壊無し ×: 破壊

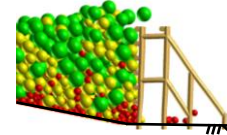


図-3 解析結果(Type A)

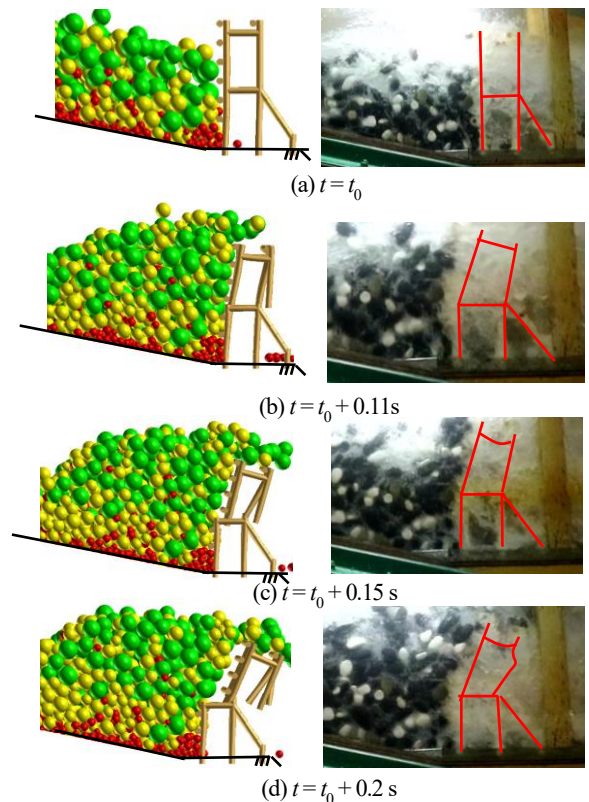


図-4 解析結果と実験結果の比較(Type B)

laden debris flow, International Journal of Sediment Research 35(6), pp.621-635, 2020.

- 3) 大野峻矢, 嶋川理, 堀口俊行, 香月智: 大規模土石流モデルを用いた透過型砂防堰堤における破壊事例に関する研究, 土木学会関東支部年次講演集, Vol.48, I-21, 2021.