

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

防衛大学校 学生会員 ○大野峻矢, 嶋川理 正会員 堀口俊行, 香月 智

1. 緒言

我が国は、脆弱で急峻な地形が多く、集中豪雨や台風が発生するため、自然災害が頻発している。中でも、住宅地の近くでは、衝撃力を伴う石礫型土石流が生起しており、毎年のように被害を出している。そのための対策として、鋼製透過型砂防堰堤（以下、透過型）が建設されている。透過型は、通常、環境面を考慮して河川の連続性を維持するために、小砂礫や水を通過させるが、土石流発生時に巨礫や流木を捕捉することで、土石流全体を止めることができる。しかし、平成 26 年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¹⁾。著者ら²⁾は、この破壊現象の再現検証について、現地観測データと被災後の礫径調査における土石流モデルを用いて、実スケールにおける個別要素法解析により土石流流体力の推定および損傷原因のメカニズムについて検討がなされている。

しかし、現地で実際にどのようにして、各部材が破断に至ったのか、部材の弱点部についての詳細な評価や検証について不十分である。さらに、南木曾土石流では礫が堰堤を越流し、下流側部材を破壊したことが堰堤全体の破壊につながったと推測されているが、その他の要因分析についても検討の余地が残されている。また、部材における弱点とされている継手での破断が目立つためフランジを含めた継手の存在についても検討する必要があることが示されている³⁾。

そこで本研究は、透過型砂防堰堤の破壊事例を検証するために大規模な土石流モデルを外力荷重として 3 種類の異なる構造形式の堰堤モデルを用いて実験的に検討するものである。

2. 実験モデル諸元

2.1 土石流モデル

土石モデルとして 3 種類の礫径を用いており、それぞれ $D_{95} : 40 \text{ mm}$ (25.5 kg), $D_{80} : 30 \text{ mm}$ (31.5 kg), $D_{60} : 20 \text{ mm}$ (18.0 kg) である。土石モデルは、現地の礫径調査をもとに分布を合わせることにした²⁾。その礫量については、堰堤の捕捉時に満砂になるようにするため、総量 75 kg とした。土石流は、上流側で水を溜め、一気に開放するというダムブレイク方式で行った。

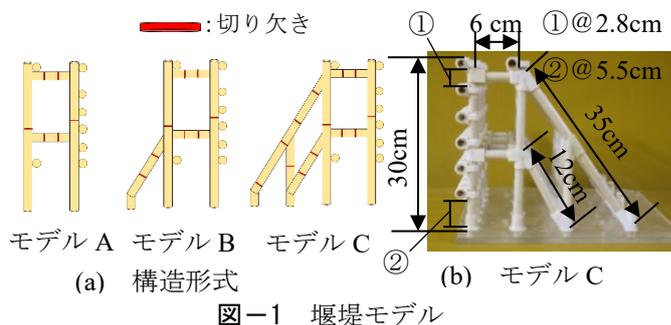
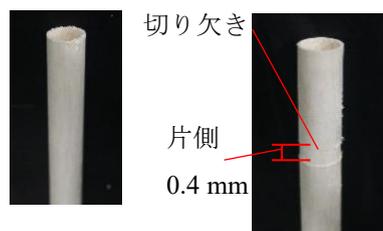


図-1 堰堤モデル



(a) 切り欠きなし (b) 切り欠きあり
写真-1 バルサ材

表-1 実験ケース

勾配 θ	継手強度	堰堤モデル	初期堆積量
11.3°	あり なし	A, B, C	50% なし



写真-2 礫の初期堆積状態

2.2 可変勾配型直線水路

使用した実験装置は、長さ 4.35 m、幅 30 cm、高さ 50 cm であり、その中間で勾配が変化させることができる勾配変化型である。本実験では、堰堤モデルの設置側は河床勾配 11.3° とし、それよりも上流側は段波形成のため急勾配とした。

2.3 堰堤モデル

図-1 に、各堰堤モデルの構造形式とモデル C の諸元を示す。また、構造形態における特性を表現するために部材の配置を変えることで、モデル A, B, C を作成した。まず、モデル A は、土石流の衝撃荷重を直接受けるところだけを取り出したものとした。モデル B は、下流側に斜材を入れることで下端部前面に配置している部材の破壊を低減させるために入れた。モデル C は、本研究で検討している実際の堰堤

キーワード 石礫型土石流, 鋼製透過型砂防堰堤, 直線水路実験, 破壊事例

連絡先 〒239-8686 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



(a) 継手モデルなし (b) 継手モデルあり
写真-3 モデル A 堆積 50%



(a) 継手モデルなし (b) 継手モデルあり
写真-4 モデル B 堆積 50%



(a) 継手モデルなし (b) 継手モデルあり
写真-5 モデル C 堆積 50%

の形状(南木曾モデル)である。写真-1に、堰堤部材である直径15mmのバルサ材を示す。バルサ材は、比重が0.1~0.3程度の非常に軽い木材である。鋼製部材における相似則を加味して、木材でモデル化しているためバルサ材を用いた。また、円柱形のバルサ材を加工することによって中空にして鋼管を模している。その上で、部材の連結部分はフランジと継手が用いられており、本来の鋼材部分より強度が小さいことが分かっているため、写真-1(b)に示すように旋盤で切り欠きを与えた。なお、継手部は、鋼材強度の70%とされており、別途行った切り欠き量と強度関係から推定されている。次に、部材の接合部材は、3Dプリンターにより作成しており、使用している材料はPLA樹脂である。本来は、連結部分は溶接にしているが、上流側の横部材が前面に来るようにして堰堤を作成している。表-2に実験ケースを示す。また、実際の現地調査における結果をもとにすると、写真-2に示すように堰堤高さの50%まで礫を堆積させておく要領をめぐり、堆積なしの状態ですり流下させるかという違いがある。

3. 実験結果

ここで示す実験結果は破壊性状の比較が行える初期堆積50%時のみの結果を示すこととする。

写真-3に、モデルAの実験結果を示す。どちらのケース

でも堰堤の根元から折れ、続いて後方の縦部材、水平材という順で破壊している。この結果から越流した礫により、下流側部材が完全に破損した状況を再現しておらず、梨子沢第1砂防堰堤のように上部部材のみが流出するといった破壊性状は生じないと考えられる。

写真-4に、モデルBの実験結果を示す。継手なしのモデルBは、破壊しなかった。一方、継手ありのモデルBは、堰堤上部が切り欠き部から破壊し、下流部まで部材が流れることがあるが、堰堤下部はそのまま残り、破損がなかった。これは、梨子沢第1砂防堰堤の破壊事例に近い破壊形態を示している。

写真-5に、モデルCの実験結果を示す。梨子沢第1砂防堰堤と同形のモデルCでは、いずれのケースも破壊しなかったことがわかった。

以上のことから、梨子沢第1砂防堰堤の破壊事例が生起する原因は、a)礫衝突の際に継手部の強度が少なくとも70%まで低下する必要がある。b)初期堆積しており、流速の早い大規模な土石流が衝突する必要がある。

4. 結言

本研究は、3種類の構造形状の異なる堰堤モデルを用いて大規模な土石流を受けたときの破壊性状の違いについて実験的に検討したものである。

- 1)モデルAは、堰堤下部の部材が破壊することで全破壊となった。また、モデルBは部材の中間あたりが破壊することが分かった。一方で、モデルCでは破壊の現象が見られなかった。
- 2)実際の被災事例を再現するには、礫の堆積状況をモデル化して継手部の部材強度を小さくする必要があることが分かった。これを入れることでモデルBは、実際の破壊事例に近くなった。
- 3)今後は、破壊に至るまでに生じている現象については、解析的な手法を適用する必要があるため、スケールの比較を加味して、メカニズムを解明していく予定である。

参考文献

- 1)平松晋也ら：平成26年7月9日長野県南木曾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 laden debris flow. *International Journal of Sediment Research* 35(6), pp.621-635, 2020.
- 3)園田佳巨, 土屋羊平, 玉井宏樹, 嶋丈示：鋼製透過型砂防堰堤の耐荷性能に関する基礎的研究、構造工学論文集、Vol.63A, pp.1019-1030, 2016.