

個別要素法による透過型砂防堰堤の押し込み変形の影響解析

防衛大学校 ○嶋川理 堀口俊行 別府万寿博 香月智

1. 緒言

平成26年長野県南木曾町読書地区で発生した土石流により、梨子沢第1砂防堰堤の上部が被災した¹⁾。この際、堰堤残存部分は水平材の押し込みにより、柱部材に変形が生じていた。梨子沢流域砂防堰堤に関する検討会の報告書¹⁾では、継手部の損傷と越流礫によって堰堤の水平材および上支保斜材の一部が損傷し、堰堤上部流出に至ったと推定されている。しかし、この損傷のメカニズムは不明確である。

そこで著者ら²⁾は、押し込み変形を考慮した模型実験によって、堰堤模型に押し込み変形が生じた場合に堰堤の頑健性に与える影響を検討した。その際、水平材の直下まで先行堆積礫が存在した場合に、最も押し込み変形が生じ、上支保斜材に損傷が生じた。しかし、堰堤がどのようなメカニズムで損傷に至ったのか不明である。

そこで本研究は、押し込み変形を考慮した模型実験の再現解析によって、破壊メカニズムを検証するものである。

2. 実験の概要²⁾

著者ら²⁾は、先行堆積礫高さ0%、30%、50%（それぞれ、S0、S30、S50）の3種類と母材強度比100%、母材強度比70%、母材強度比70%で押し込み変形を考慮したモデルの3種類の堰堤モデル（それぞれM100、M70、M70d）の組み合わせで9ケースの実験を行った。写真-1に、上支保斜材に損傷を生じた先行堆積礫高さ30%、継手強度が母材の70%、押し込み変形を考慮したケース（S30-M70d）の衝突後の状況を示す。屈曲している上流側柱材継手部と上支保斜材の継手部は破断には至っていないがやや毛羽立っており、損傷が生じている。また水平材は結合部の空隙に約7mmほど押し込まれていた。

同様に押し込み変形を考慮したS0-M70dとS50-M70dのケースでは、押し込み変形が約2-3mm生じたが、継手部に損傷および破断は生じなかった。

3. 個別要素法による再現解析

3.1 解析諸元

礫モデルは、球形要素、水路床は三角形平面要素を使用した。堰堤モデルは、円柱形要素を連結ばねで結合した。

表-1に、円柱形要素間の連結ばねの諸元を示す。ばね係

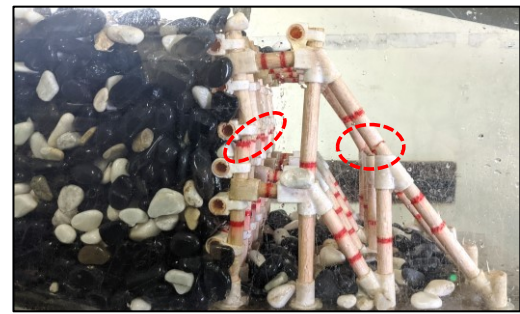


写真-1 衝突後の堰堤模型

表-1 連結ばねの諸元

項目	鋼管部	継手部
軸剛性 EA (N)	1.89×10^5	1.25×10^5
降伏軸力 (N)	2132	1360
破断ひずみ	0.032	0.032
曲げ剛性 EI ($N \cdot m^2$)	0.114	0.095
降伏モーメント M_y ($N \cdot m$)	1.0	0.7
破断回転角 θ_f (rad)	0.231	0.206
せん断剛性 GA (N/m)	1079	712
破断変形 (mm)	3.75	3.75

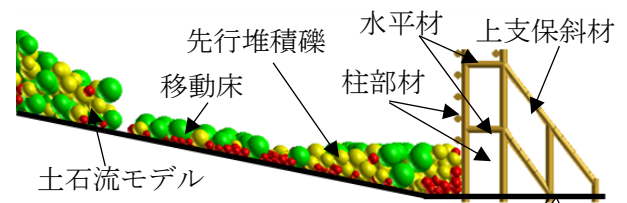


図-1 初期配置

数はバルサ材の引張、曲げ、せん断試験から決定した。実験で切り欠き部には継手部のばねを与え、その他の部分は鋼管部のばねを与えた。また、実験の連結部材を再現するため、円柱形要素を複数剛結した集合体要素を用いた。

初期配置は、堰堤上流側の堆積部と後方の礫群に分け、上流から流速分布モデルを用いて礫群を流下させた。実験映像から、流速は $v=3.0$ m/sとして与えた。なお、堆積礫には後方の礫群が越流するまで流体力は作用しないものとした。

図-1にS30の初期配置と名称を示す。解析においても実験同様に、堆積高さが礫1個分の移動床を設置した。

解析は実験と同様に9ケース行ったが、そのうち押し込み変形を考慮した3ケースの解析結果を示すこととする。

3.2 解析結果

図-2にS0-M70dの衝突過程を示す。図-2(a)の $t=t_0$ sでは、土石流モデルの先頭部が堰堤に衝突し、堰堤高の約3割ほどまで礫が到達している。以降、S0の先頭部が堰堤に衝突した時間を $t=t_0$ sとする。図-2(b)の $t=t_0+0.10$ sでは、堰堤天端付近まで礫が到達しており、この際水平材の押し込みは7.5mmとなっており、その後は大きく増減してい

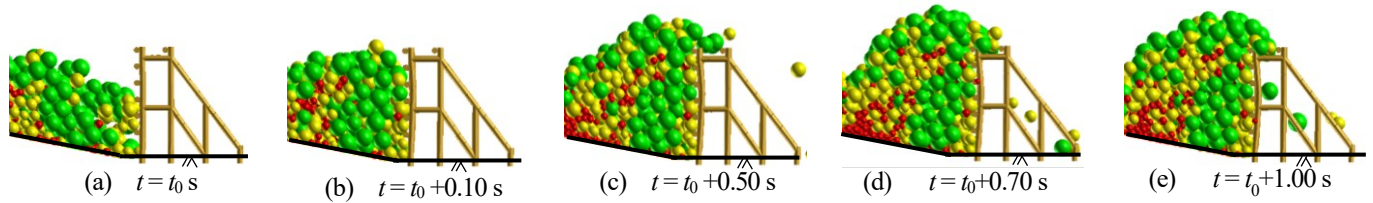


図-2 S0-M70d

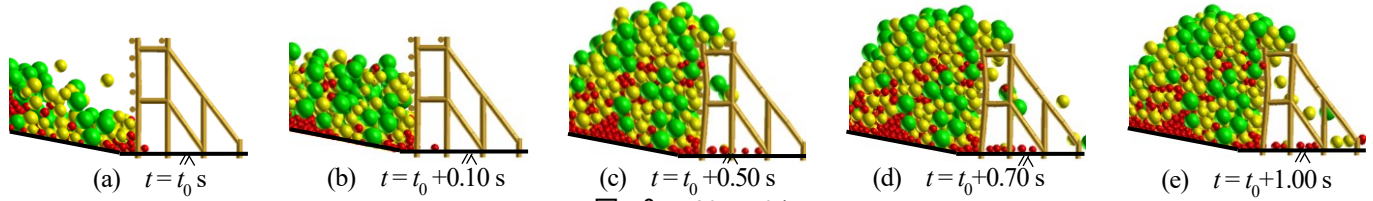


図-3 S30-M70d

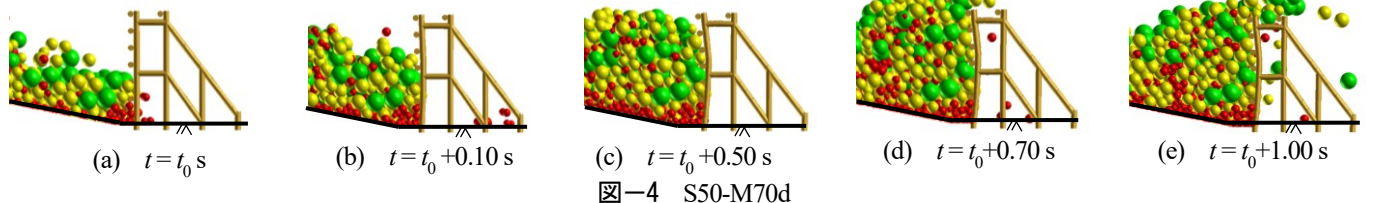


図-4 S50-M70d

ない。図-2(c)の $t = t_0 + 0.50$ s, 以降, 図-2(e)の堆積が完了した $t = t_0 + 1.00$ sでも部材に破断は生じなかった。図-3にS30-M70dの衝突過程を示す。図-3(a)の $t = t_0$ sでは, S0と比較して衝突が遅れており, 土石流モデルの先頭部は堰堤に到達していない。図-3(b)の $t = t_0 + 0.10$ sでは, 約7割の高さまで礫が到達している。図-3(c)の $t = t_0 + 0.50$ sで上支保斜材のうち2本の継手部が屈曲し降伏モーメントに達した。この際, 水平材の押し込みは9.8 mmとなっており, 以降も大きく増減していない。また, 図-3(d)の $t = t_0 + 0.70$ sで上支保斜材1本が新たに降伏モーメントに達した。図-4にS50-M70dの衝突過程を示す。図-4(a)の $t = t_0$ sでは, S0, S30と比較して, 流下が遅れており, 土石流モデルの先頭部は堰堤まで到達していない。図-4(b)の $t = t_0 + 0.10$ sでは, 堰堤高の約6割ほどの高さまで礫が到達している。この際, 水平材の押し込みは6.7 mmとなり, 以降も大きく増減していない。図-4(c)の $t = t_0 + 0.50$ s以降, 図-4(e)の堆積が完了した $t = t_0 + 1.00$ sでは, S0, S30と比較して越流が生起しているが, 各部材に損傷は生じなかった。図-3のS30-M70dのみ上支保斜材が降伏モーメントに達した原因を検討するため, 集合体要素を介して上部支保斜材と連結されている上部水平材の軸力応答を確認した。図-5に, 各ケースにおける上部水平材4本に作用した軸力の合計値を示す。S30-M70dでは, 最大値が320 Nと最も大きくなっており, 唯一顕著にピークを生じている。また, 上支保斜材が降伏モーメントに達した際には, 軸力応答が低下している。これはS0-M70dと比較して上部に礫が到達しやすく, かつ, 捕捉面がS50-M70dと比較して広く, 捕捉面に作用

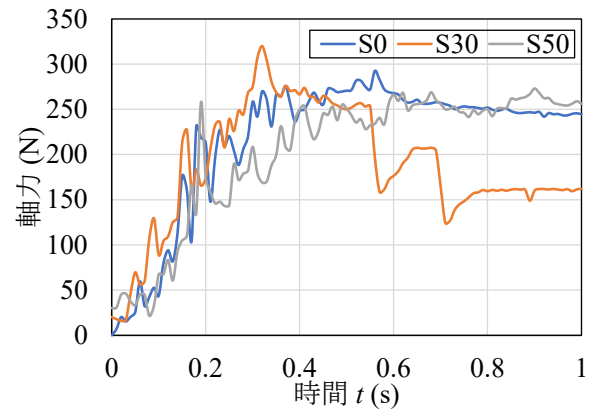


図-5 水平材の軸力応答

する荷重が大きくなったことが要因と推定される。

4. 結言

本研究は, 堰堤模型実験の再現解析により, 破壊のメカニズムを検討したものである。以下に成果を示す。

- 1)押し込み変形を考慮し, 下部水平材の直下まで先行堆積礫が存在した場合に上支保斜材が降伏した。
- 2)個別要素法解析によって上支保斜材の継手部は曲げによって降伏したことを示した。
- 3)継手部が降伏した要因は, 押し込み変形の作用する水平材付近への作用荷重が大きくなることによると推定される。

参考文献

- 1)国土交通省中部地方整備局多治見砂防国道事務所: 梨子沢流域砂防堰堤に関する検討会, 2014。
- 2)嶋川理, 堀口俊行, 別府万寿博, 香月智: 鋼製堰堤の全体破壊に及ぼす接合部の押し込み変形の影響, 構造工学論文集, Vol.68A, pp.896-906, 2022。