

## 個別要素法による透過型砂防堰堤の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

我が国で発生する土砂災害は増加傾向にあり，短期的な豪雨の影響を受けて激甚化している．土砂災害のうち土石流は，熱海市伊豆山土石流災害に代表されるように，市街地やインフラに与える影響が極めて大きくその対策は急務となっている．土石流の対策構造物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，鋼材を使用し，頑強で冗長性を有する構造物である．しかし，平成26年長野県南木曾町で発生した土石流では，写真-1(a)に示すように梨子沢第1砂防堰堤の上部が破断し梨子沢下流に流出した．写真-1(b)に示す残存した下流部分は2列目の柱部材に対し水平材が押し込まれ，押し込み変形を生じていた．このことから，著者ら<sup>2)</sup>は押し込み変形が堰堤の損傷に与えた影響を明らかにするため，相似則を考慮した縮小模型実験と個別要素法解析を行った．その際，押し込み変形を考慮した際に，堰堤模型の上支保斜材に損傷が生じた．また，模型実験の再現解析から，曲げによる損傷であることが明らかになった．しかし，実規模での検討は不明確であった．

そこで本研究は，鋼管およびその継手部の強度を断面分割法で推定したうえで，その強度特性を結合部の構成則に導入した個別要素法解析により，梨子沢第1砂防堰堤の破壊メカニズムを推定するものである．

## 2. 解析手法

図-1(a)に示す堰堤モデルの側面図は複数の円柱形要素を接触判定によらない常設の連結ばねで結合している．堰堤は，上流側と下流側で鋼管と継手部がそれぞれ異なる部材を用いており，鋼管直径 $\phi$ は全て609 mmで，鋼管厚さ $t$ は上流側から22 mm（赤），12.7 mm（緑），16 mm（青）である．礫衝突を受ける最上流面はSTK490，その他はSTK400が用いられている．継手部は上流側からフランジプレートの厚さ $t=41$  mm（黒），32 mm（灰），36 mm（白）であり．図-1(b)に示す正面図の河床とコンクリートの袖部は三角形の平面要素を組み合わせて作成した．さらに，連結ばねの構成則は断面分割法で計算した．その際の有効断面積は，



写真-1 梨子沢第1砂防堰堤

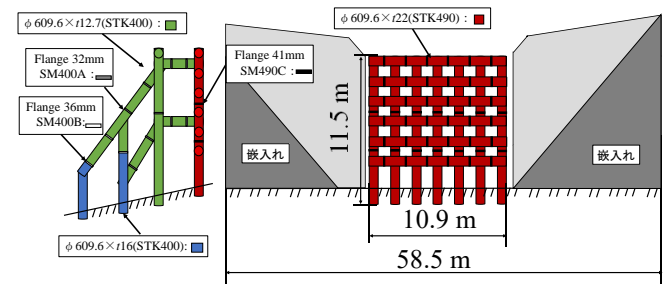


図-1 堰堤モデル

鋼管は全断面を引張，圧縮に対して有効とした．継手部は，圧縮側はフランジおよびボルトを有効とし，引張側はボルトのみを有効とした．

表-1に，解析パラメータを示す．なお，構成則は降伏時のモーメント，軸力，せん断力と破断時の最大変形を計算結果と等しくしたうえで，破断までのエネルギーが等価となるようにバイリニアで与えた．また，被災事例では，堰堤の残存部分に押し込み変形が生じていた．そのため，押し込み変形を再現するために水平材と柱部材の結合部は修正エリナス式<sup>3)</sup>から算出した押し込み変形の剛性値を用いた．

図-2に，解析モデルの初期配置を示す．堰堤上流側に堰堤高の30%まで礫モデルを堆積させた．そのうえで，流水は流速分布モデルを用いて上流側から礫を流下させた．

## 3. 解析結果

図-3には，押し込み変形無の解析結果を示す．図-3(a)は，土石流モデルの先頭部が堰堤に衝突した状況を示す．以後，土石流モデルの先頭部が堰堤に到達した時間を $t=t_0$  sとする．図-3(b)は， $t=t_0+2.0$  s，図-3(c)は， $t=t_0+4.0$  sの堆積

キーワード 土石流，透過型砂防堰堤，個別要素法，破壊メカニズム

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

過程を示す。礫は堰堤の天端まで達しているが、堰堤に変形は見られない。図-3(d)の  $t=t_0+6.0$  s は、堰堤が全体的に下流側に傾いているが、連結部の破断は見られなかった。

図-4 は、下部水平材に押し込み変形を考慮したモデルの解析結果を示す。図-4(a)の  $t=t_0$  s における変形は、押し込み変形無のモデルと変わらない。図-4(b)の  $t=t_0+2.0$  s では、下部水平材が押し込まれ、堰堤の上部が台形状に変形している。そのうえで、土石流モデルが堰堤天端に到達するまでに、上流側柱材の継手部が全て破断している。図-4(c)の  $t=t_0+4.0$  s では、2列目柱材4本中3本が破断した。この際、上支保斜材は4本のうち2本が破断した。図-4(d)の  $t=t_0+6.0$  s では、上支保斜材が全て破断し、堰堤上部が流出した。

図-5 は、堰堤部材の破断の時系列を明らかにするために、各部位のうち最初に破断した部材の応答を示す。押し込み変形無では総じて、降伏モーメントの半分ほどの応答しか生じていない。押し込み変形有の各部位は曲げによって破断し、上流側柱部材、2列目柱部材、上支保斜材の順に破断に至った。衝突過程と比較すると、最上流面柱部材は、土石流モデルの先頭部衝突時、水平材の押し込み変形の増加とともに破断している。2列目の柱材および上支保斜材は、土石流モデルが堰堤天端を越流した以降に破断している。水平材の押し込み量は、増減しつつ最大で 587 mm 押し込まれた。被災後の堰堤残存部分では鋼管径 609 mm に対して 535 mm の押し込み変形が生じていた。解析では押し込み変形がやや過大ではあるが概ね再現できている

3. 結 言

本研究は、個別要素法によって堰堤の破壊メカニズムについて検討した。押し込み変形無の解析では、継手部は破断に至らなかった。被災事例と同様に、押し込み変形を考慮した解析は、堰堤が継手部で破断し、上部流出に至った。

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)嶋川理, 堀口俊行, 別府万寿博, 香月智:押し込み変形が作用する透過型砂防堰堤の破壊再現シミュレーション, 第49回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, I-16, 2022.
- 3)星川辰雄, 石川信隆, 彦坂熙, 阿部宗平:局部変形とひずみ速度効果を考慮した鋼管固定はりの衝撃応答変位, 土木学会論文集, No.513, I-31,101-115, 1995.

表-1 解析パラメータ

項目	値	
堰堤モデル	円柱形要素	496
	集合体要素	74
礫モデル	$D_{95}-D_{100}$ (1.6-3.0 m)	250
	$D_{80}-D_{95}$ (1.0-1.6 m)	750
	$D_{30}-D_{80}$ (0.6-1.0 m)	1500
	$D_{50}$ (0.6 m)	2500
流体力	流速 (m/s)	9.7
	水深 (m)	3.3
鋼管 $t=22$ mm	曲げ剛性 $EI$ (N·m <sup>2</sup> )	$2.36 \times 10^7$
	降伏モーメント $M_y$ (N·m)	$3.71 \times 10^6$
鋼管 $t=12.7$ mm	曲げ剛性 $EI$ (N·m <sup>2</sup> )	$7.64 \times 10^6$
	降伏モーメント $M_y$ (N·m)	$1.80 \times 10^6$
鋼管 $t=16$ mm	曲げ剛性 $EI$ (N·m <sup>2</sup> )	$1.27 \times 10^7$
	降伏モーメント $M_y$ (N·m)	$2.25 \times 10^6$
継手 SM490	曲げ剛性 $EI$ (N·m <sup>2</sup> )	$6.78 \times 10^7$
	降伏モーメント $M_y$ (N·m)	$2.41 \times 10^6$
継手 SM400A	曲げ剛性 $EI$ (N·m <sup>2</sup> )	$6.45 \times 10^7$
	降伏モーメント $M_y$ (N·m)	$2.36 \times 10^6$
継手 SM400B	曲げ剛性 $EI$ (N·m <sup>2</sup> )	$6.45 \times 10^7$
	降伏モーメント $M_y$ (N·m)	$2.36 \times 10^6$
要素間ばね	接線方向	$1.0 \times 10^7$
	法線方向	$3.5 \times 10^6$
押し込み剛性	軸剛性 $E4$ (N)	$2.0 \times 10^3$
	時刻刻み	$1.0 \times 10^{-6}$

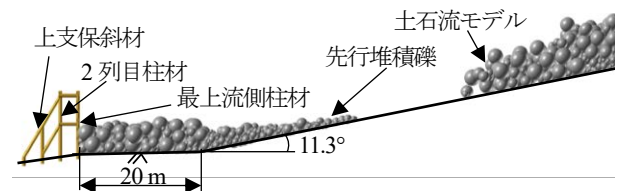


図-2 初期配置

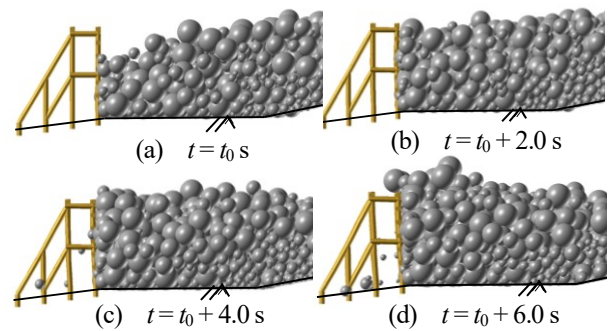


図-3 押し込み変形無

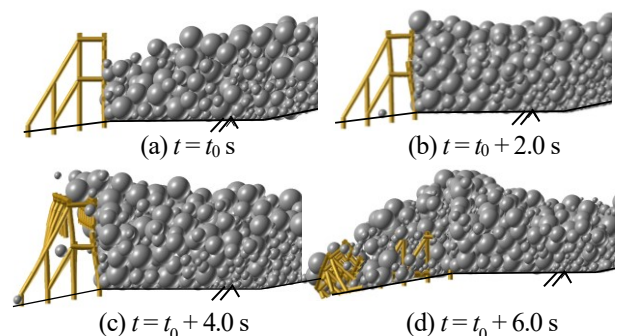


図-4 押し込み変形有

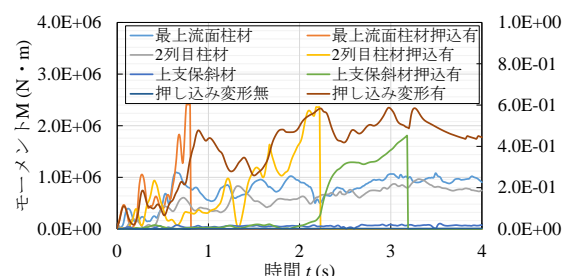


図-5 内部応答