

個別要素法を用いた鋼製透過型砂防堰堤の破壊再現シミュレーション

防衛大学校 学生会員 ○小泉香那子 正会員 堀口俊行, 香月智
砂防鋼構造研究会 フェロー 石川信隆

1 緒言

近年の災害において、大型の台風や集中豪雨に由来することが多く、土石流の発生は増加傾向にある。平成 29 年 7 月には、九州北部豪雨によって大量の流木を含んで土石流が民家を破壊し、多くの生活地域に被害を出している。同年 8 月には、京都市で発生した土石流は不透過型砂防堰堤の天端部分が壊れて下流まで流れる事例も発生しており、その対策が急務である。

そのため、土石流対策の一つに、透過型砂防堰堤が建設されている。これは、平時での河川の連続性を維持させるために水や小砂礫が流れる機構になっている。この機構は、一旦土石流が発生すると透過部に巨礫が閉塞することで、後続土砂も含めて土石流を堰き止めるものである。

写真-1に示す格子型の鋼製透過型砂防堰堤は、平成 24 年 7 月に長野県南木曾で発生した土石流によって破壊した事例である。今までの被災においてこのような事例はなく、本構造物の中で最も頑強であり、冗長性を有する構造物とされてきた。しかし、長野県南木曾における土石流災害で梨子沢第 1 砂防堰堤の上部が損壊した¹⁾。これは、土石流の流速や礫径が設計値を超えていたためであるが、どのような荷重が破壊の主因となったかは不明である。ところで、個別要素法は離散や分離を容易に取り扱えるので、部材が崩壊するような問題に適しているものと考えられる²⁾。

そこで本研究は、土石流衝突時の鋼製透過型砂防堰堤の被災事例を再現するために、提案手法を用いてメカニズムを解明するものである。

2 梨子沢第 1 砂防堰堤被災状況¹⁾

平成 26 年 7 月 9 日、長野県南木曾郡、南木曾町梨子沢で台風 8 号に伴う集中豪雨により土石流が発生し、梨子沢の下流では、多数の人家や JR 中央本線、国道 19 号線が被災し、死傷者を伴う災害となり、流域に設置されている 3 基の砂防堰堤は巨礫を捕捉した。**写真-1(a)**に示すように鋼製透過型砂防堰堤のある梨子沢第 1 砂防堰堤の上部が損傷した。また、**写真-1(b)**に残存する 1~2 列目の水平部材は押し込まれており、均一に変形している。分析結果によると、この損傷メカニズムは梨子沢第 1 砂防堰堤の天端付近の損傷が生じ、天端水平部材が外れ、最上部が倒れたと推定されている。

3 解析結果の概要

3.1 解析モデル

図-1は、鋼製透過型砂防堰堤を実際の河川に模したモデルである。河川幅は、鋼製区間の幅を表現しており、通常の河川幅より小さい。その他の初期位置は衛星観測結果から直線的に堆積した距離を基に算出した。水路モデル内の底面粗度は、災害調査から得られた粗度係数からマニング式を用いて決定した。



(a) 正面図 (b) 水平部材圧縮状況

写真-1 梨子沢第 1 砂防堰堤被災状況

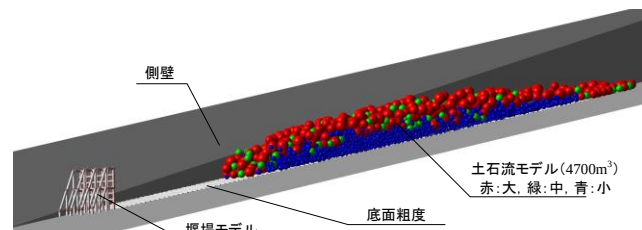


図-1 解析モデル

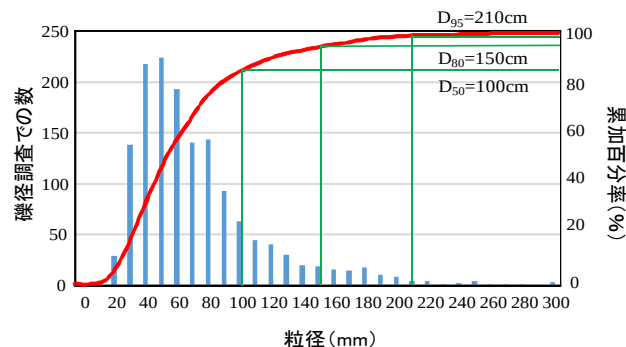


図-2 粒径分布¹⁾

3.2 土石流モデル

図-2に、土石流モデルを作成するために調査で得られた粗度分布を示す。これより、粒径 D_{50} 、 D_{80} 、 D_{95} を決定した。その 4 つの区分を用いることで、粒径範囲を定め、その境界内において一様乱数から粒径を算出した。

3.3 透過型砂防堰堤モデル

図-4に示す堰堤モデルは、高さ 12.0 m、幅 10.0 m の透過型鋼製砂防堰堤である。モデルには、円柱形要素と球形要素間を連結ばね要素を用いて構成した。被災の様子から、2 列目の部材では押し込み座屈が見られたことを考慮し、実際の被災状況に近づけるために 2 列目やそれ以外の要素間ばねの剛性値を変えて表現することにした。

3.4 解析基本値

表-1に、解析基本値を示す。ここでの流速や状況は文献 1) の報告書と同じである。ばね定数は、礫と鋼管の実験データにより決定した。摩擦や粘性は、石礫のみの土石流

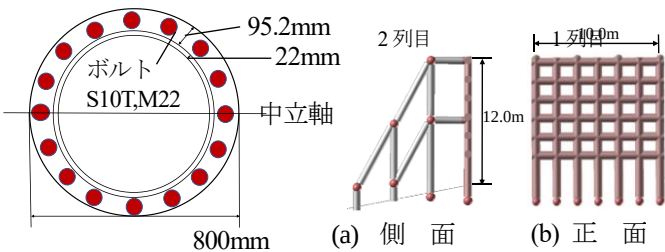


図-3 継手部

図-4 堰堤モデル

表-1 解析初期値

項目			値
流水	初期流速(m/s)		10.0
	初期水深(m)		4.0
	抗力係数		1.0
礫モデル	球形要素	粒形(20～60cm)	4200 個
		粒形(60～100cm)	4000 個
		粒形(100～300cm)	1500 個
要素間ばね	接 線 ば ね	法線方向 Kn(N/m)	1.0×10 ⁷
		接線方向 Ks(N/m)	3.5×10 ⁶
	定数		
	摩擦係数 tanφ		0.404
計算条件	時間刻み		1.0×10 ⁻⁶

表-2 堰堤モデルの連結ばね定数

項目		値
継手部分 (1列目)	軸力応力 EA(N)	$5.8420E \times 10^{10}$
	曲げ応力 EI(N/m ²)	$1.3580E \times 10^9$
継手部分 (2列目)	軸力応力 EA(N)	$1.0611E \times 10^9$
	曲げ応力 EI(N/m ²)	$2.8664E \times 10^6$
鋼管の溶接部分 (押し込み座屈)	軸力応力 EA(N)	$4.7606E \times 10^9$
	曲げ応力 EI(N/m ²)	$1.3257E \times 10^7$

としてモデル化しているので粘性は0とした。また、摩擦は、文献2)を参考にした。表-2に、鋼管部材間の連結ばねの値を示している。それぞれ、図-4に示すボルトと中空管における断面分割法を用いて決定した。また、押し込み座屈部分は、修正エリナス式³⁾を用いて、パラメータを決定した。

4 破壊シミュレーション

図-5に、継手部とエリナス式から得られたパラメータを用いた解析と図-6に中空管鋼材(継手部なし)として決定したパラメータを用いた解析を示している。まず、図-5において中空管の解析において土石流が衝突した後、一段目の部材が少し傾いている。さらに衝突後、継手を用いている解析では、衝突後、図-5(b)の○で囲んだ部分が大きく変形している。

さらに、図-5(c)では上端部で土石流が到達すると、くの字に変形しており、下端の部材が2つほど大きく変形している。図-5(d)では中段あたりの部材が破断することで、上部構造が連続性を失い、一気に流されている。図-5(e)では土石流とともに部材が流されている。これは、写真-1で示されている破壊現象に近いものとなった。

一方で、図-6において中空管鋼材のみの解析を行う

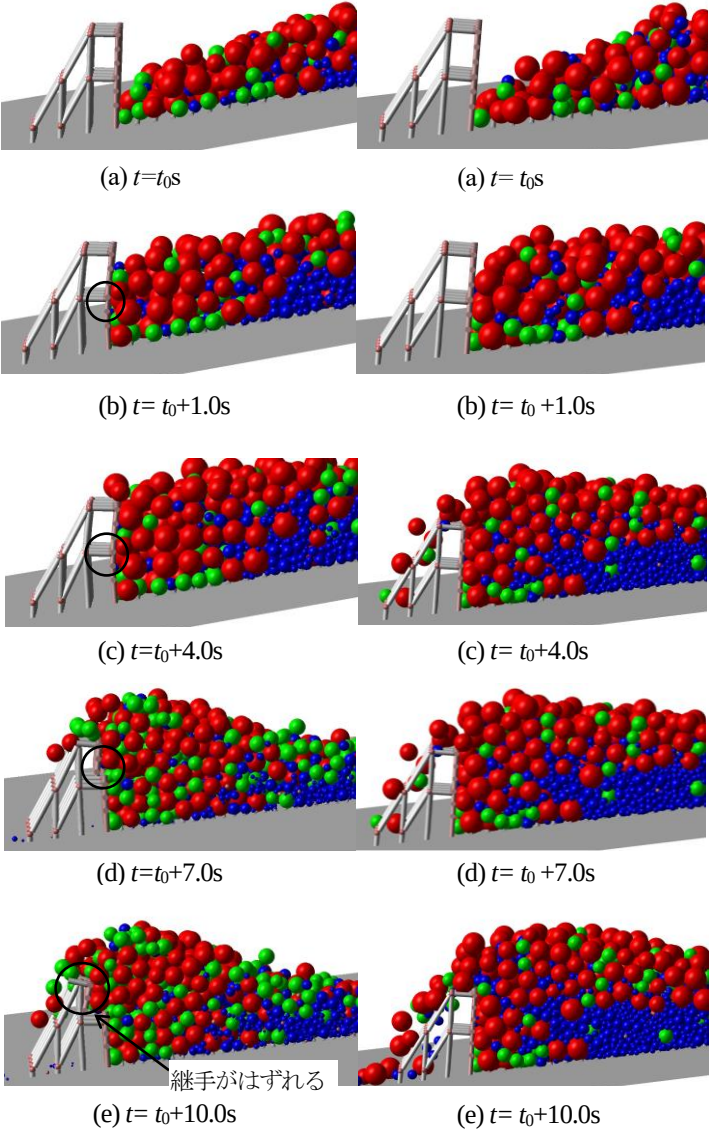


図-5 継手部

図-6 継手部

と、全体の構造物として衝突時に傾くが、土石流が越流しても部材が破断することはないことがわかった。

5 結言

本研究は、個別要素法を用いて被災例を基に堰堤の破壊現象の再現シミュレーションを検討したものである。

その結果、断面分割法を用いて継手部分を考慮し、押し込み座屈の部分について修正エリナス式³⁾を用いた場合には、堰堤モデルの上部が破壊し、実際の被災状況に近い結果を示すことができた。

今後は、防災対策として破壊現象のメカニズム解析を検討することで安全性能を高める手法として進めていきたい。

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) T.Horiguchi,S.Katsuki,N.Ishikawa：debris flow load acting on steel open Sabo dam, 12th SILOS, pp239-248, 2017.6
3) 星川辰雄，石川信隆，彦坂熙，阿部宗平：局所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，pp.101-115，1995.4。