

## 個別要素法による実災害における透過型砂防堰堤の再現シミュレーション

防衛大学校 学生会員 ○嶋川理 正会員 堀口俊行 香月 智

## 1 緒言

近年の災害は、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。また、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。

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礫が流れる機構となっている。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月に長野県南木曽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、長野県南木曽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<sup>1)</sup>。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<sup>2)</sup>。

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<sup>1)</sup>

平成26年7月9日、長野県南木曽郡、南木曽町梨子沢で台風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。



写真-1 梨子沢第1砂防堰堤被災状況

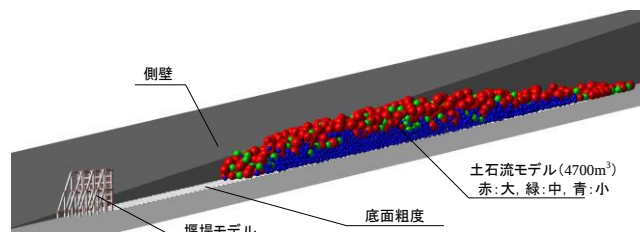
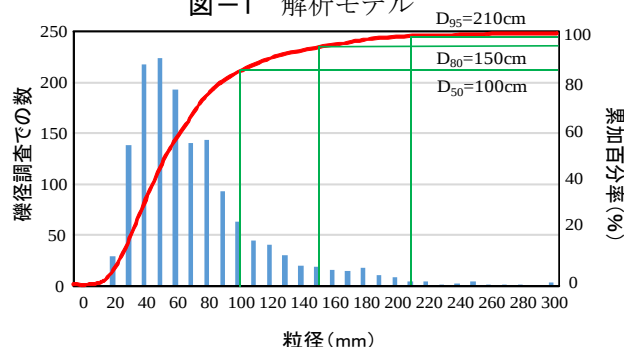


図-1 解析モデル

図-2 粒径分布<sup>1)</sup>

## 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樣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12.0m、幅10.0m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列目とそれ以外の要素間ばねの剛性値を変えて表現した。

## 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、石礫のみの土石流としてモデル化しているので粘性は0とし

キーワード 土石流、個別要素法、破壊シミュレーション、断面分割法

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

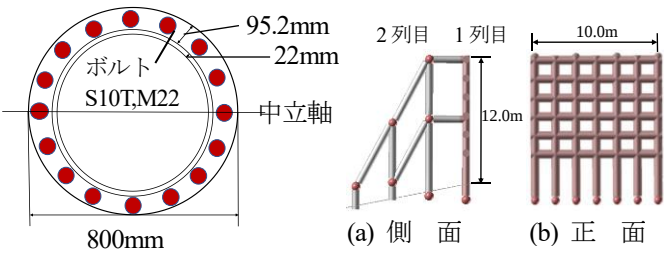


図-3 継手部

図-4 堰堤モデル

表-1 解析初期値

| 項 目            |               | 値                    |                   |
|----------------|---------------|----------------------|-------------------|
| 流水             | 流速(m/s)       | 10.0                 |                   |
|                | 水深(m)         | 7.0                  |                   |
|                | 抗力係数 $C_D$    | 0.49                 |                   |
| 礫モデル<br>(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          | 接触ばね          | 法線方向 $K_n(N/m)$      | $1.0 \times 10^7$ |
|                |               | 接線方向 $K_n(N/m)$      | $3.5 \times 10^6$ |
|                | 減衰定数          |                      | 0.8               |
|                | 摩擦係数          |                      | 0.404             |
| 計算条件           | 時間刻み(s)       | $1.0 \times 10^{-6}$ |                   |

表-2 堰堤モデルの連結ばね定数

| 項 目                   |                        | 値                    |
|-----------------------|------------------------|----------------------|
| 継手部分                  | 軸力剛性 $EA(N)$           | $6.075 \times 10^7$  |
|                       | 曲げ剛性 $EI(N \cdot m^2)$ | $2.050 \times 10^6$  |
|                       | 破断荷重(MPa)              | 900                  |
|                       | 破断伸び率(%)               | 14.0                 |
| 鋼材部分                  | 軸力剛性 $EA(N)$           | $4.760 \times 10^9$  |
|                       | 曲げ剛性 $EI(N \cdot m^2)$ | $1.3257 \times 10^7$ |
|                       | 降伏強度(MPa)              | 315                  |
|                       | 破断伸び率(%)               | 14.0                 |
| 鋼管溶接部分<br>(修正エリナス式参照) | 軸力応力 $EA(N)$           | $4.3469 \times 10^7$ |
|                       | 曲げ剛性 $EI(N \cdot m^2)$ | $1.2104 \times 10^6$ |
|                       | 降伏強度(MPa)              | 315                  |
|                       | 破断伸び率(%)               | 92                   |

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<sup>3)</sup>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、継手部なしの解析と図-6 に継手部ありの解析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 は、全体の構造物として衝突時に傾くが、満砂状態にあっても堰堤が破断することはないことがわかった。

次に、図-6 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、図-6 (b) の○で囲んだ部分が大きく変形している。図-6 (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、図-6 (d) では中段あたりの部材が破断する。部材が変

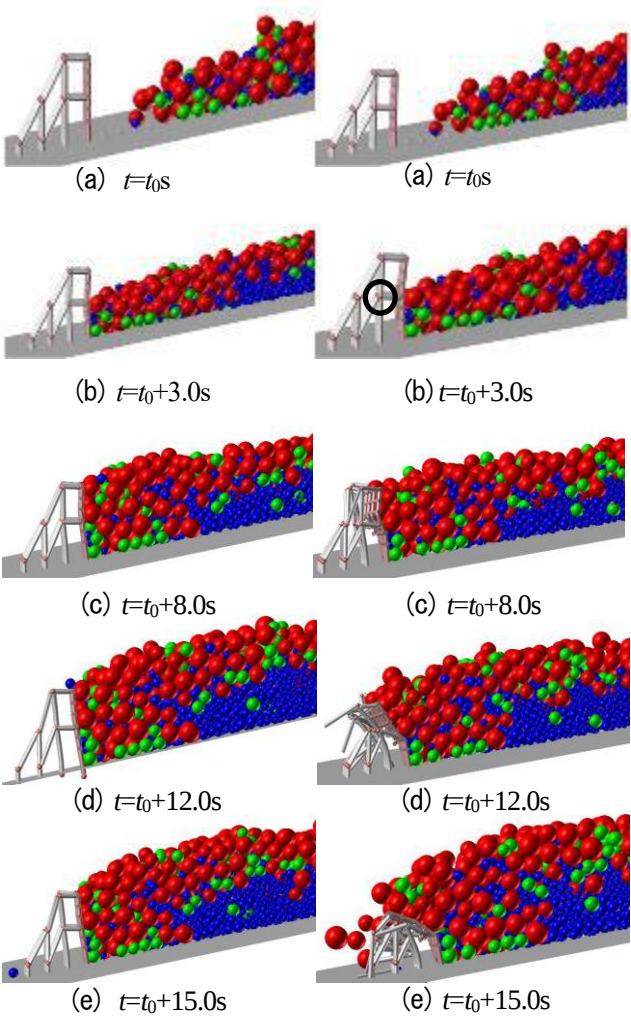


図-5 継手部なしの解析 図-6 継手部ありの解析

形することで、上部構造が連続性を失い、一気に流されている。図-6 (e) では土石流とともに部材が流される直前である。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。

5 結 言

本研究は、個別要素法を用いて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。その際、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<sup>3)</sup>を用いた。

この結果、堰堤モデルの上部が破壊し、実際の被災状況に近い解析例を示すことができた。

今後は、防災対策としてより一般的な破壊現象のメカニズム解析を検討する必要がある。

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) 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.