

防衛大学校 ○堀口俊行 辻 佳成 香月 智  
 (一財) 砂防・地すべり技術センター 嶋 丈示  
 砂防鋼構造物研究会 石川信隆  
 政策研究大学院大学 水山高久

## 1 緒言

近年、土石流対策工として、格子型の鋼製透過型砂防堰堤が建設されている。本構造は、破壊事例が無く、鋼製透過型砂防堰堤の中でも頑強であり、冗長性を有する構造物であるとされていた。しかし、長野県南木曾における土石流災害で梨子沢第1砂防堰堤の上部の部材が損壊した。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、どのような荷重を受けることで破壊となるのか不明な点が多く残されている。そのため、各部材に生じる土石流の荷重を評価・検討できる解析手法の開発は、必要不可欠なものと考えられる。そのため、まずは実際の土石流の被災事例を基に簡易的に検討できる手法が望まれる。

そこで本研究は、実際の土石流災害の事例を基に礫衝突時の鋼製透過型砂防堰堤の作用力の基礎的段階として、個別要素法を用いて堰堤の各部材に作用する荷重をシミュレーションし、各部材に生起している衝撃荷重を考察するものである。

## 2 梨子沢第1砂防堰堤被災状況

平成26年7月9日において長野県木曾郡南木曾町の梨子沢で、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った。流域に設置された3基の砂防堰堤では、巨礫を捕捉したが、鋼製透過型砂防堰堤である梨子沢第1砂防堰堤の上部が損傷した。資料<sup>1)</sup>によると、残存する1~2列目の水平部材は押し込まれてほぼ均一に変形している。

ところで、事後の分析では、この損傷メカニズムは、梨子沢第1砂防堰堤の天端上を設計外力の極めて大きな礫を含む土石流が高速で砂防堰堤の最上流部の捕捉面に衝突して継手部を破損し、礫が流下することにより、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<sup>1)</sup>。

## 3 個別要素法<sup>2)</sup>

P.A. Cundallにより考案された個別要素法は、まず各要素が接触状態にあることを判定する。接触したならば、要素間に設定した要素間ばねの接触力を算定し、時々刻々、運動方程式を解くことによ

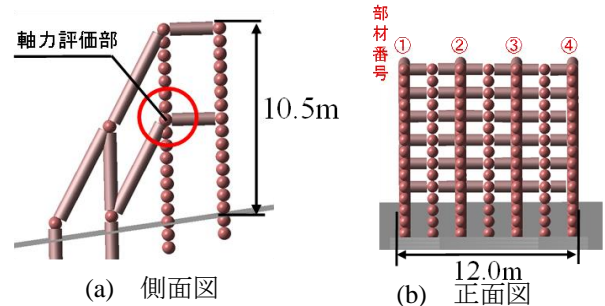


図-1 解析モデル

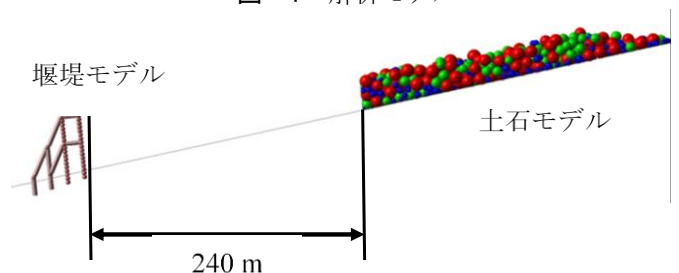


図-2 初期配置

表-1 解析基本値

項目		値	
水路	勾配 $\theta^\circ$	11.3 (1/5)	
	長さ(m)	240	
	幅(m)	12	
	粗度係数	0.1	
流水	円柱形要素 (粗度用)	202	
	初期流速	12.0m/s	
	水深	3.3 m/s	
	土石流流速	6.3 m/s	
堰堤モデル	抵抗力係数	0.49	
	球形要素	139	
連結要素間	円柱形要素	76	
	ヤング率	$2.1 \times 10^{11}$	
	ポアソン比	0.3	
	減衰	1.0	
要素間ばね	断面二次モーメント	$2.0 \times 10^{-4}$	
	ばね定数	法線方向 $K_n$ (N/m)	$1.0 \times 10^7$
		接線方向 $K_s$ (N/m)	$3.5 \times 10^{56}$
	減衰定数 $h$	0.2	
	粘着力 $C$ (N)	0	
	摩擦角 $\tan\phi_e$	0.404(22°)	
時間条件	時間刻み $\Delta t$ (s)	$1.0 \times 10^6$	

り変位を求め、個々の要素の運動を追跡するものである。このため、巨礫の衝突荷重の評価に適している。

## 4 解析結果

### 4.1 解析の概要

解析は、図-1に示す鋼製透過型砂防堰堤と河川

表-2 礫モデルの個数

礫径	色	礫個数
D <sub>50</sub> = 100 cm	青	2000
D <sub>80</sub> = 150 cm	緑	1200
D <sub>95</sub> = 210 cm	赤	800

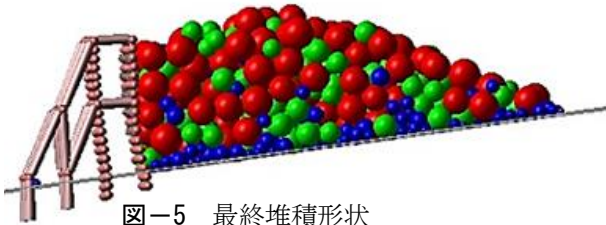


図-5 最終堆積形状

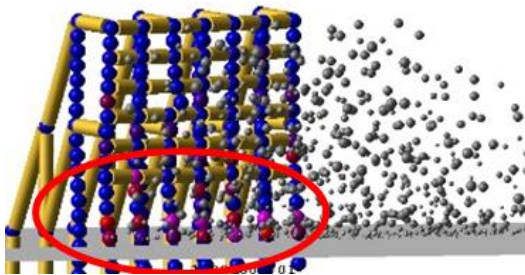


図-6 各部分のコンター図

をモデル化した水路に設置し、土石流モデルを流下衝突させ、堰堤の水平部材に生じる圧縮荷重を計算するものである。図-2に初期位置を示す。初期位置は、衛星観測結果から、直線的に堆積した距離を求め決定した。水路の勾配は1/5である。また、水路モデルには底面粗度を用いている。

表-1には、文献1)を参考に解析基本値を示している。

#### 4.2 土石流モデル

図-4に、文献1)を参考に実際の礫径調査によって得られた結果と土石流モデルとした礫径累加関係を示している。その際、表-2には、礫モデルとして算出した要素数を示している。礫は球形要素を用いてモデル化した。

#### 4.3 透過型砂防堰堤モデル

図-1に示す透過型砂防堰堤モデルは、有効高10.5 m、堰堤幅12.0 mである。鋼管は、円柱形および球形要素により再現した。

#### 4.4 解析結果

図-5に、土石流流下後の最終堆積形状を示す。堰堤背面において礫要素が水平に堆積しており、被災状況を再現できている。図-6に各部分に働く荷重をコンター図で示している。赤色が濃く出るほど大きな荷重を受けている。解析結果から下端部が濃

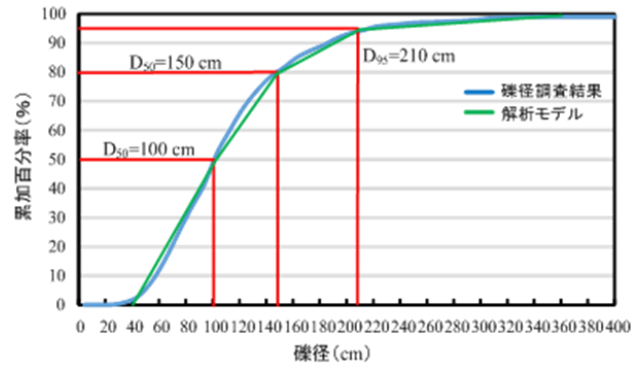


図-4 礫径累加百分率<sup>1)</sup>

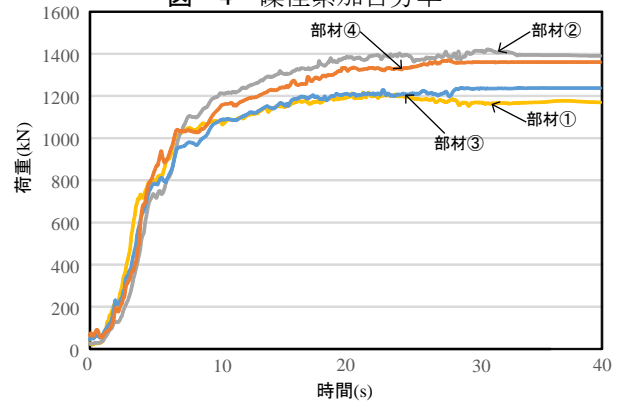


図-7 荷重～時間関係

い赤色になっていることから、土石流モデルを衝突させることにより、鋼材の下端部に荷重が集中していることがわかる。図-7に、1~2列目を接続する水平部材に生じる荷重を示す。各部分に働く荷重は左右で概ね均一になっている。つまり、被災した堰堤の1~2列目の水平部材は、均一に損傷していることから、越流する礫の衝突だけではなく、土石流先頭の礫が衝突することによって生じる押し込みの荷重作用も無視し難い大きさであったことが判る。

#### 5 結言

本研究は、礫衝突時の格子型鋼製透過型砂防堰堤の作用力の基礎的検討を行うために、個別要素法を用いて、各部分に働く荷重を評価することとし、土石流荷重による影響を検討した。

個別要素法を用いて求めた各部分に作用する最大衝撃荷重は、実堰堤に生じた変形状況と良く対応している。

#### 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) 渋谷一，香月智，大隅久，石川信隆：3D-DEMによる流木捕捉工の捕捉シミュレーション解析，砂防学会誌，Vol.63，No.6，p.13-72，2011。