

鋼製透過型砂防堰堤への土石流衝突時に作用する土石流荷重の推定に関する研究

防衛大学校 ○堀口俊行 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多くの鋼製透過型砂防堰堤が建設されてきた。その中で格子型構造は、今まで大きな破壊事例がなく、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はるかに大きく超えていたためであるが、どのような荷重を受けて損傷したのか不明な点が多く残されている。そのため、部材を破壊する土石流の荷重を評価できる解析手法が必要となってきた。

そこで本研究は、この実際の土石流災害の事例を基に、個別要素法を用いて礫を含む土石流作用時の鋼製透過型砂防堰堤の各部材に作用する衝撃荷重を算定しようとするものである。

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くの家屋や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、何れの施設も一部破損し、梨子沢第1砂防堰堤は上部が損傷した。資料¹⁾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。

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、いずれの部材も損傷しており、中でも天端付近の損傷が生じ、天端の水平部材が外れ、最上部が倒れたと推定されている¹⁾。

3 個別要素法²⁾による解析

本研究では、土石流中の礫および構造物の部材も剛体要素とし、その要素間をバネ要素で接続した。各要素が接触状態にある場合は、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り変位を求め、個々の要素

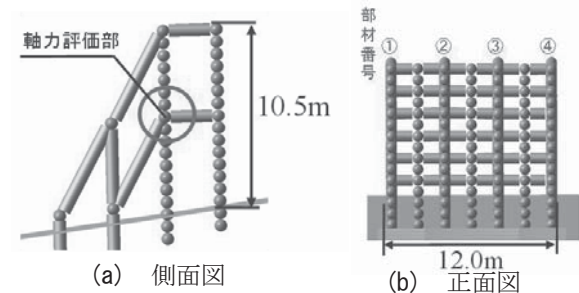


図-1 解析モデル

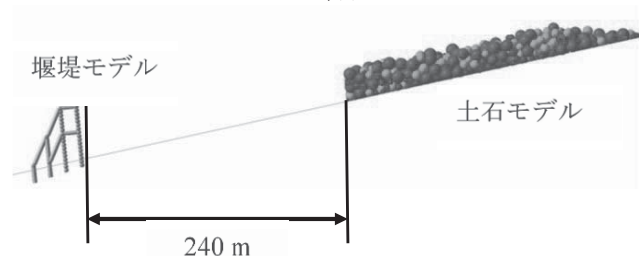


図-2 初期配置

表-1 解析基本値

項目		値	
水路	勾配 θ°	11.3 (1/5)	
	長さ(m)	240	
	幅(m)	12	
	粗度係数	0.1	
	円柱形要素 (粗度用)	202	
流水	初期流速	12.0m/s	
	水深	3.3 m/s	
	土石流流速	6.3 m/s	
	抗力係数	0.49	
堰堤モデル	球形要素	139	
	円柱形要素	76	
連結要素間	ヤング率	2.1×10^{11}	
	ポアソン比	0.3	
	減衰	1.0	
	断面二次モーメント	2.0×10^{-4}	
要素間ばね	ばね定数	法線方向 K_n (N/m)	1.0×10^7
		接線方向 K_s (N/m)	3.5×10^{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 Δt (s)	1.0×10^6	

の運動を追跡するものである。このため、礫と部材要素間バネ要素に生じる力から巨礫の衝突荷重を算定するものである。

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モデル

表-2 礫モデルの個数

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

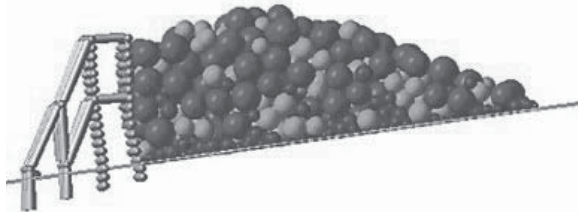


図-4 最終堆積形状

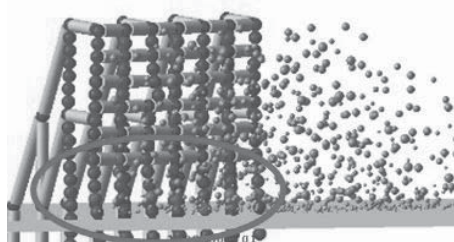


図-5 各部材の圧力コンター

と図-2 に示す河川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た。最終的に堰堤の水平部材に生じる荷重(図-1 の○印)を計算するものである。図-2 に示す初期位置は、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 で水路モデルには底面粗度を用いている。

表-1 は文献2) を参考に解析基本値を示している。

4.2 土石流モデル

図-3 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 透過型堰砂防堤モデル

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-4 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。解析結果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-5 に各部材に働く

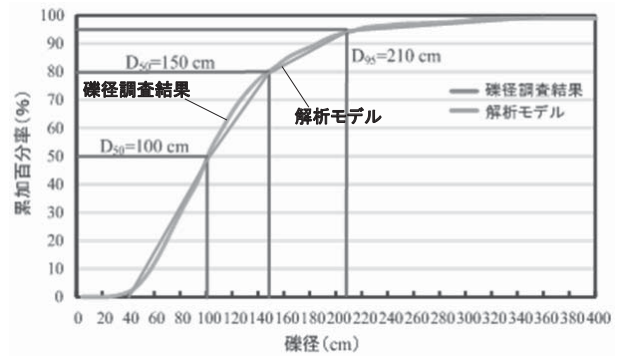


図-3 礫径累加百分率¹⁾

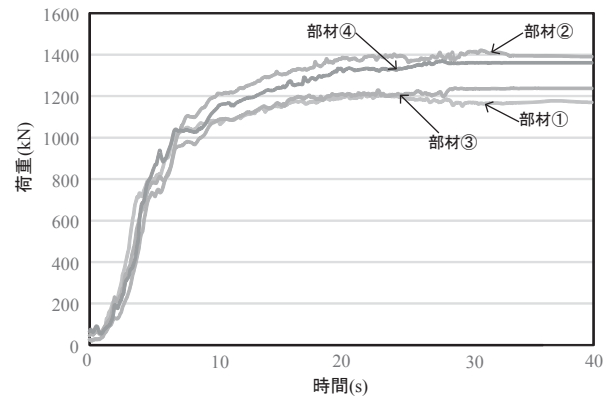


図-6 荷重～時間関係

圧力コンター図を示す。これは、上端よりも下端が赤く出ていることから下端に大きな荷重が集中していることわかる。図-6 に、1~2 列目を接続する水平部材に生じる荷重を示す。各部材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起する押し込みの荷重作用があったことを示している。

5 結言

- (1) 個別要素法を用いて礫衝突時の格子型鋼製透過型砂防堰堤の変形に対応した土石流荷重を算定することができた。
- (2) 本法は、実物大の堰堤と実物大の土石流を個別要素法で再現することができた。
- (3) 本法は、今後、実物大の土石流を受ける鋼製透過型砂防堰堤の捕捉機能と安全性能を同時に評価できることが可能である。

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) 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。