

越流礫による透過型砂防堰堤の斜材損傷シミュレーション

防衛大学校 ○ 学生会員 齋藤和樹 正会員 堀口俊行

1. 緒言

わが国では、大規模化した土石流災害によって対策構造物の損事例が報告されている。中でも、令和元年東日本台風の影響で、富士川水系大武川で発生した土石流によって大武川第5砂防堰堤と朴の木上流の砂防堰堤の部材が一部破損した。写真-1に示すように、大武川第5砂防堰堤である鋼製透過型砂防堰堤（以下、透過型）は、越流した土石流によって堰堤下流部の斜材が破損している。これは、透過型の高さを乗り越えた巨礫が斜材に沿って流れることや越流した巨礫が鋼管に落下したことで生じたと考えられている。このような現象を防ぐためには、既存の構造物にとって補強、もしくは新設構造物には堰堤の構造形式を変えて、巨礫に対して対応できる最適な透過型を検討する必要がある。

ところで、筆者ら¹⁾²⁾は、透過型における損傷原因究明のために個別要素法で解析的に検討している。堰堤前面が損傷した南木曾町における事例では補強対策として継ぎ手の強度を向上させることや前置減勢工の設置で対策できることを検討してきた。

そこで本研究は、個別要素法を用いて被災事例を参考に、実スケールでの損傷要因分析を試みるものである。そのためには、損傷が生起するための解析条件を設定して、礫の衝突時の初期条件による部材の破損の有無を検証する。

2. 大武川第5号砂防堰堤の被災状況

令和元年東日本台風では、富士川流域で甚大な被害が生じた昭和34年災害の301 mm/日を上回る526 mm/日を記録した。そのため大武川流域では、計画を上回る規模の土石流が発生した。図-1に示すように、第5号砂防堰堤は大量の土石流を捕捉したのち満砂状態となり、土砂や礫などの越流が生じることで透過型の斜材が損傷・脱落した。脱落した部材は、下流側の斜材5列の内中央3列である。部材脱落の過程は、上流側部材が自立していることから推定して流出した土石流により満砂その後に越流した土石流もしくは転石などが二列目、三列目の部材に衝突し破損、最終的に脱落に至ったも

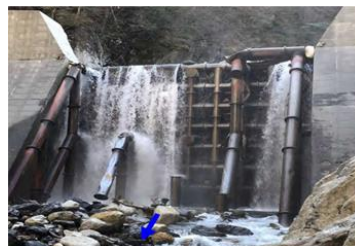


写真-1 大武川第5砂防堰堤

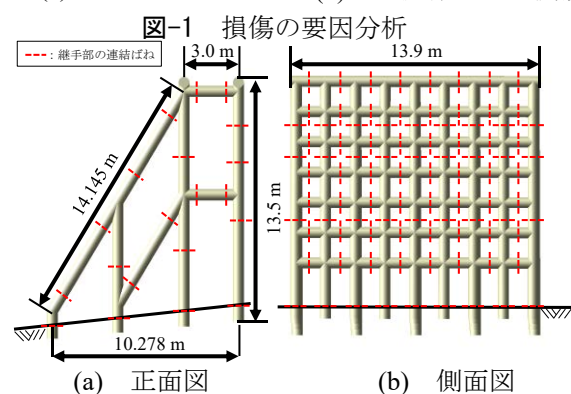
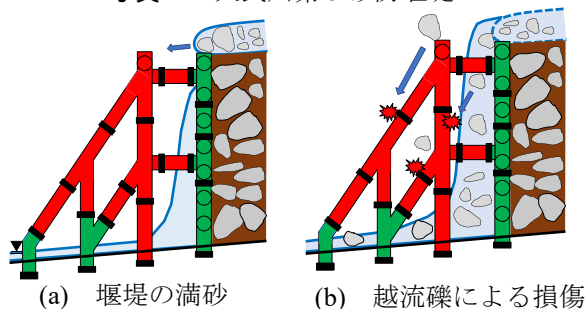


図-2 堰堤モデル

表-1 解析条件

解析条件	case	礫径 ϕ [mm]	初速度 V_0 [m/s]
自由落下	1	4000	0.0
	2		
後部衝突	3	4500	2.5
前部衝突	4		

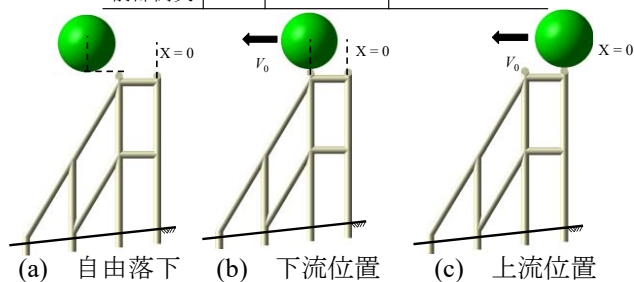


図-3 解析条件

のと考えられる。設計荷重（衝撃力）は弾性領域までの変形を許容するが、残存する鋼管に塑性領域まで変形したものが確認されることから少なくとも累積衝撃力は設計荷重の数倍に及んだと思われる。

キーワード 個別要素法, 越流礫, 損傷解析, 断面分割法

連絡先〒239-0811 神奈川県横須賀市走 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL:046-841-3810 e-mail:em61030@nda.ac.jp

3. 損傷シミュレーションの概要

ここでは、斜材の損傷を検証するために3つの解析条件を設けて検討する。

3.1 解析モデル

図-2に、解析モデルを示す。透過型モデルは、円柱形要素232個で作成し、高さ13.5m、横13.9mである。

中空鋼管は円柱形要素とし、部材を溶接している部分は集合体要素で形状を実際の形に合わせている。継ぎ手を表現している部分は、文献2)を参考にしている。解析初期値は、文献1)を使用した。

3.2 解析条件

表-1に解析条件を示す。それぞれのケースは、解析時に検証する3つのパターンを基に示した。図-3には、上流側の堰堤前面位置を $x=0\text{ m}$ として、上流位置($x=0\text{ m}$)、下流位置($x=-3\text{ m}$)、自由落下(case1: $x=-5.3\text{ m}$, case2: $x=-5.5\text{ m}$)から巨礫が斜材に衝突する場合について示している。本解析では、損傷を生起する条件を検証するため、単純な解析条件を設けて検証している。

4. 損傷シミュレーション

図-4~6に解析結果を示す。図-4に礫径4500mmの損傷状況を示す。なお4500mm以上ないと天端の位置から落下させても部材は損傷しない。図-4(a)に示す礫モデルが斜材衝突後 $t=t_0+0.6\text{ s}$ に上部斜材が破断し、さらに図-4(c)に示す $t=t_0+1.2\text{ s}$ に3列目縦材及び下部斜材が破断した。図-5に後部位置からの巨礫による損傷状況を示す。自由落下の損傷状況と同様に、図-5(b)に示す $t=t_0+0.4\text{ s}$ に上部斜材が破断し、さらに図-5(c)に示す $t=t_0+0.8\text{ s}$ に3列目縦材及び下部斜材が破断した。図-6に、前部位置からの巨礫による損傷状況を示す。礫モデルが水平材に衝突後、図-6(b)に示す $t=t_0+0.5\text{ s}$ に上部水平材及び2列目縦材が損傷し、さらに図-6(b)に示す $t=t_0+1.5\text{ s}$ 後に3列目縦材と斜材が破断した。

表-2に各解析ケースの斜材衝突速度及び損傷箇所を示す。自由落下において礫径4000mmでは堰堤に損傷が生起しない。一方で、礫径4500mmでは斜材に損傷が生起するため、単一粒径が斜材に損傷を与えるには4500mm程度の礫径が必要である。また、前部衝突では自由落下・後部衝突の損傷箇所に加えて、水平材および2列目縦材が損傷しており、大武川第五砂防堰堤の損傷に近い景況を示しており、図-3(c)のように流下した巨礫によって損傷したと思われる。

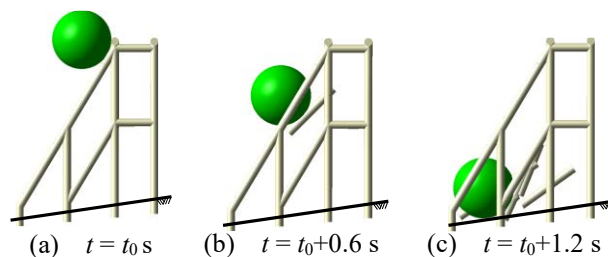


図-4 自由落下による損傷

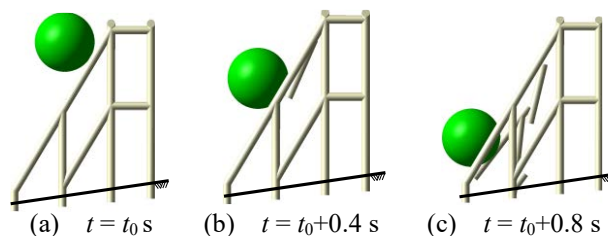


図-5 下流位置からの巨礫による損傷

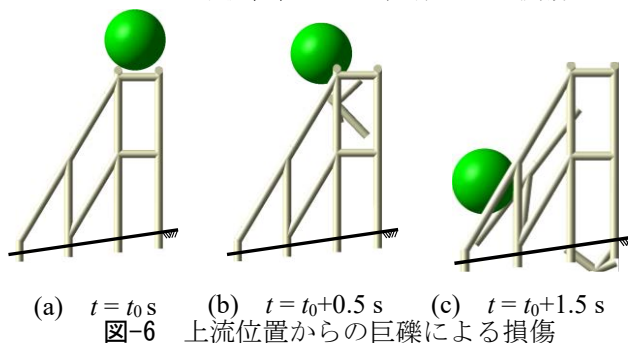


図-6 上流位置からの巨礫による損傷

表-2 解析結果

解析条件	case	礫径 ϕ [mm]	初速度 V_0 [m/s]	衝突速度 V [m/s]	損傷箇所
自由落下	1	4000	0.0	6.05	なし
	2	4000		6.76	上部斜材・3列目縦材・下部斜材
後部衝突	3	4500	2.5	8.17	上部斜材・3列目縦材・下部斜材
前部衝突	4	4500	7.0	7.77	水平材・2列目縦材・2列目縦材 上下部斜材・3列目縦材

5. 結論

本研究は、個別要素法を実スケールでの損傷要因分析を検討したものである。ここでは、損傷が生起するための解析条件を設定することで、越流礫による斜材の損傷に必要な巨礫の入力エネルギーや損傷の状況を示すことができた。本解析条件において、透過型の斜材に損傷を与えるには4500mm程度の礫径が必要だと検証できた。

参考文献

- Horiguchi T., Richefeu V. : Post-analysis simulation of the collapse of an open sabo dam of steel pipes subjected to boulder laden debris flow. *International Journal of Sediment Research* 35(6), pp.621-635, 2020
- 嶋川理, 堀口俊行, 別府万寿博, 香月智: 個別要素法による透過型砂防堰堤の破壊メカニズムに関する検討, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol. 77, No. 2 (応用力学論文集 Vol. 24), I_381-I_392, 2021.
- 嶋川理, 堀口俊行, 別府万寿博, 香月智: 鋼製堰堤の全体破壊に及ぼす接合部の押し込み変形の影響, 構造工学論文集, Vol.68A, pp.896-906, 2022.