

論文の内容の要旨

1 申請者

防衛大学校 嶋川 理

2 論文題目

鋼製透過型砂防堰堤の損傷分析に対する個別要素法適用に関する研究

3 論文の内容の要旨

我が国の国土は急峻かつ脆弱であり、土砂災害が頻発している。特に近年は、短期的かつ局所的な強雨により土砂災害の発生件数は増加傾向にある。このような背景の中、平成 30 年の土砂災害発生数は 3459 件であり、過去最多件数を記録した。土砂災害の中でも石礫型土石流は先頭部に巨礫が集中し住宅等の大規模な破壊を招く恐れがあるため、対策構造物の設計において衝撃荷重として考慮する必要が高まってきた。土石流の対策構造物である鋼製透過型砂防堰堤は、通常時は自然環境を考慮し土砂を通過させ、土石流発生時には土石流のフロント部の巨礫を捕捉し、不透過状態にすることで後続流を塞ぎ止めるものである。しかし、近年の降雨傾向に伴い堰堤の設計想定を上回る土石流が発生し、鋼製透過型砂防堰堤が被災し破壊に至る例も確認されている。このような鋼製透過型砂防堰堤の損傷事例に伴い、現行の設計荷重より大きなレベル II 荷重が提案されている。レベル II 荷重の設定にあたっては、鋼製透過型砂防堰堤に多数の巨礫が衝突する際の土石流荷重が再現でき、鋼製透過型砂防堰堤の限界状態を解析できる手法が望まれる。しかし、実規模の鋼製透過型砂防堰堤に巨礫が衝突することによる衝撃荷重については整理がなされておらず、不透過型砂防堰堤に対する礫衝突荷重の式を準用し、部材単位の照査を行っているのが現状である。

そこで本研究は、レベル II 荷重の導入にあたって、鋼製透過型砂防堰堤の破壊事例の検証、終局限界の評価および大規模土石流の荷重評価が可能となる解析手法を提案するものである。

なお、本論文は 9 章で構成され、各章の内容と成果の概要は以下の通りである。

第 1 章「序論」では、近年の我が国における気象条件の変化に伴う土砂災害について取り上げ、そのうえで土石流に関する既往の研究について整理した。現行の設計法による鋼製透過型砂防堰堤の被災あるいは破壊した事例から設計荷重の見直しが図られていること、また堰堤の破壊事例の検証、終局限界の評価および大規模土石流の荷重評価が可能な解析手法が必要であることを示した。

第 2 章「本研究で用いる個別要素法の基本式と手順」では、本研究で用いる個別要素法、すなわち球形要素、円柱形要素、三角形要素を構成要素とし、構造応答を表現するための円柱形要素を連結ばねで常時連結するモデルを概説する。加えて、本研究の特徴である連結ばねの構成則に破壊条件を導入して構造破壊をシミュレーション可能な個別要素法について述べた。

第 3 章「個別要素法による前面傾斜角の荷重低減効果解析」では、長野県南木曾町で起きた土石流が 2 つの鋼製透過型砂防堰堤に捕捉された事例を基にした実験について個別要素法を用いて再現解析を行い、縮小実験規模での解析における荷重の再現性と堰堤の前面傾斜角が土石流衝突荷重に与える荷重低減メカニズムについて明らかにした。

第4章「個別要素法による上流置減勢工の荷重低減効果解析」では、新たな設計荷重が導入された際に既存不適格となる堰堤に対する荷重低減策について個別要素法によって検討する。具体的には、堰堤の上流側に減勢工と呼称する副堤を設置した際の荷重低減メカニズムについて、既往の実験の再現解析を行いその荷重低減メカニズムを明らかにした。

第5章「南木曾における堰堤破壊の原因究明のための縮小モデル衝突実験」では、平成26年長野県南木曾町で発生した梨子沢第1砂防堰堤の損壊事例を対象として、縮小モデル実験を行う。このとき、報告書の推定破壊メカニズムに基づき、支保斜材の先行損傷と2列目柱部材に対する水平材の押し込み変形が堰堤の損傷に与える影響を明らかにした。

第6章「南木曾における堰堤破壊の原因究明への個別要素法解析」は、実験で生起した継手部の破壊について断面力に焦点を当てて分析するものである。その際に、個別要素法の連結ばねモデルを用いて、材料試験から得られたパラメータで再現シミュレーションを行い、その破壊メカニズムを明らかにした。

第7章「南木曾における実規模透過型砂防堰堤の損傷メカニズム解析」では、南木曾の実破壊事例において得られている基本条件を基にして個別要素法による解析を行い、破壊メカニズム推定に対する適用性を確認する。そのうえで、梨子沢第1砂防堰堤の被災状況の再現性とその破壊メカニズムを明らかにした。

第8章「個別要素法解析を用いた補強対策効果分析」では、第7章において破壊した解析ケースを対象に、現在検討がなされている補強効果の比較検討を行い、その有効性について検証した。

第9章「結論」では、本研究で得られた成果を総括し、今後の課題と展望について述べた。

4 キーワード

「鋼製透過型砂防堰堤」、「石礫型土石流」、「個別要素法」、「損傷分析」