

土砂移動により亀裂が生じた堰堤の損傷メカニズムの分析

国土交通省北陸地方整備局湯沢砂防事務所

越智英人，平田遼，福島将史

日本工営株式会社 ○三池力，山下孝之，太田敬一，中野雅章，中村ゆかり

1. はじめに

我が国に整備されている砂防施設は、これまで出水や地震などによる損傷や時間経過に伴う劣化が生じており、施設が立地する場の条件は流水量や土石流・地すべり・崩壊の規模・頻度、地形・地質・地質等により千差万別である。本稿では、堤体に亀裂が生じている砂防堰堤の損傷発生メカニズムを分析し、どのような土砂移動（土石流、地すべり等）によって施設の損傷に至ったかを数値シミュレーションを用いて検討した結果を報告する。

2. 小赤沢砂防堰堤群の概要

小赤沢砂防堰堤群は、信濃川水系の一級河川中津川の支川である小赤沢川に位置する。小赤沢川は苗場山を源頭に山麓斜面の小赤沢集落内を流下し中津川に合流する。近年に至るまで豪雨による災害が記録されており、大正3年には豪雨に伴う崩壊により土砂や巨礫の流出が発生し、家屋流出・半壊11戸、死傷者20名という災害が発生している。昭和39年の小赤沢第1号砂防堰堤の施工以降、平成21年までに計28基の砂防堰堤が整備されている国土交通省所管の連続砂防堰堤群である。

3. 堰堤の損傷状況

小赤沢第1号砂防堰堤は堤高8.0m、堤長43mの重力式粗石コンクリート堰堤であり、昭和39年に竣工の砂防堰堤群で最も古い砂防施設である(写真-1)。堤体に複数の明瞭な亀裂が認められており、これらの亀裂は左岸袖部から水通しにかけて分布している。代表的な亀裂としては、「①袖部の押し出し亀裂」と「②堤体内部のたすき掛け状亀裂」が認められる(写真-2,3)。「①袖部の押し出し亀裂」は、袖部山側から水通し方向に向かって押し出されるように剪断状に開口しており、山側の擁壁は天端が歪んで狭まっている。「②堤体内部のたすき掛け状亀裂」は、水通し天端の下方には開口して下流側へ押し出すような亀裂が堤体前面をたすき掛け状に分布している。堤体ボーリング調査を実施した結果、これらの亀裂は堤体内部にも連続していることが確認された。左岸袖部斜面には幅80m、長さ70m、推定すべり面深度約10mの地すべりブロックが存在し(図-1)、ブロック末端部に設置された堰堤袖部の山留め擁壁の押し出し状の亀裂や樹木の根曲がり等より、過去に滑動していた可能性が推察される。



写真-1 小赤沢第1号砂防堰堤全景



写真-2 ①袖部の押し出し亀裂



写真-3 ②堤体内部のたすき掛け状亀裂

4. 損傷発生メカニズムの分析

堰堤の損傷状況および左岸斜面の地すべりの存在を考慮すると、地すべり滑動による損傷発生の可能性と、土石流等との複合的な土砂移動での外力による損傷発生の可能性が想定される。どのような外力条件によって堰堤に荷重が作用し、現在確認されている亀裂損傷が発生する原因を推定する目的で、数値シミュレーションを用いた二次元解析を実施した。地すべり滑動によって堰堤に作用する荷重を堤体と斜面にモデル化した地すべり解析により算定し、次に堤体をモデル化した亀裂解析により「①袖部の押し出し亀裂」と「②堤体内部の亀裂」が生じる際の荷重を算定し、両方の解析結果を比較することで、亀裂の発生原因を分析した。



図-1 地すべりブロック平面図

5. 地すべり解析

地すべり解析は、次のステップ解析に基づいて行った。【STEP1】自重計算により地盤の初期応力を設定、【STEP2】堰堤を設定し、すべり面の安全率0.98としてすべり面強度を低減、地すべり滑動が堰堤に荷重を作用【STEP3】堰堤に作用する荷重の算出

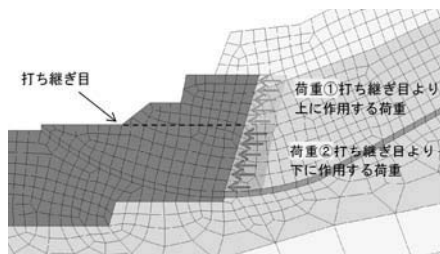


図-2 地すべり滑動による荷重の算出範囲

地すべり滑動が堰堤に作用する荷重を算出

した結果、袖部打ち継ぎ目より上部に作用する荷重は約 3,500kN (荷重①)、打ち継ぎ目より下部に作用する荷重は約 4,100kN (荷重②) となった(図-2,3)。荷重①は1号堰堤の袖部の肩の部分で最も大きな荷重分布となり、その直下で一旦小さくなるものの、深くなるに伴い荷重は大きくなっている。荷重②は、すべり面付近で最も大きな荷重分布となり、浅くなるに伴い荷重は小さくなっている。

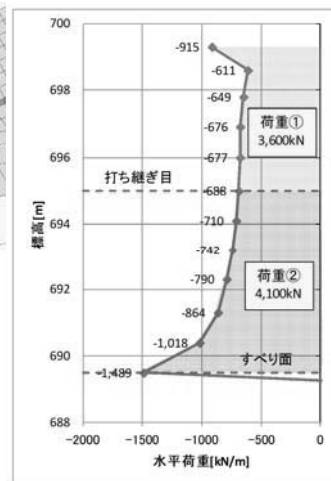


図-3 地すべり滑動による荷重算出結果

6. 亀裂解析

地すべり解析で得られた荷重①②について、亀裂解析ではこれらの荷重の分布を用いて「①袖部の押し亀裂」と「②堤体内部にたすき掛け状開口亀裂」のそれぞれが生じる際の荷重を算出し、それらと地すべり解析で算出した荷重①と荷重②を比較することにより亀裂の生じた原因を推定した。

亀裂解析は、次のステップ解析に基づいて行った。【STEP1】「①袖部の押し亀裂」を発生させる荷重を算出、【STEP2】押し亀裂発生後に大きなズレを生じさせる荷重との変位関係を確認、【STEP3】「②堤体内部のたすき掛け亀裂」を発生させる荷重を算出

亀裂解析の結果、「①袖部の押し亀裂」を発生させる袖部の全体荷重の合計値は約 3,200～4,800kN であり、地すべり解析による結果とほぼ同等であった。一方、「②堤体内部のたすき掛け状亀裂」を再現した結果、袖部の全体荷重は約 20,000～42,000kN となり、地すべり解析による結果とは大きく異なる結果となった(図-4)。

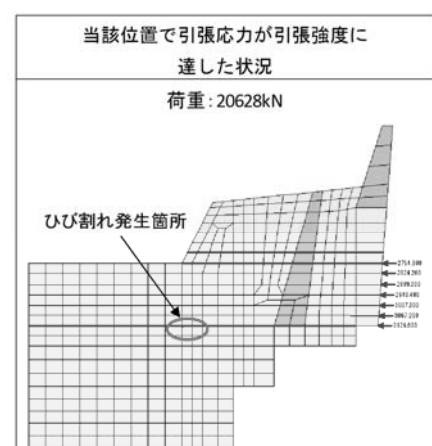


図-4 亀裂解析による荷重再現結果

7. 複合要因による亀裂発生メカニズム解析

地すべり解析と亀裂解析の結果の違いを踏まえ、地すべりの他に土石流等の異なる外力が複合的に作用するものと想定し、その上で「②堤体内部のたすき掛け状亀裂」の発生メカニズムを検討した。

地すべり解析結果で得られた荷重約 3,500kN を用いて亀裂解析のモデルに作用させ、その時の打継ぎ目の軸方向に発生する変位を求めた結果、打継ぎ目全体でズレが生じ、一体化は失われる可能性が示された。

打継ぎ目に沿って一体性が失われた水通し部付近から袖部にかけての堤体ブロックに作用する荷重を算出するため、片持ち梁の簡易的な解析モデルを設定した結果(図-5)、堰堤に亀裂が発生する際の上下流方向の荷重約 3,000kN が得られた。この荷重を土石流の衝撃力に換算した場合、礫径 1.5m とすると流速 5～10m/sec 程度であり、小赤沢川流域における土石流ピーク流量 365m³/sec での水通し断面における設計流速と同オーダーであることが確認された。

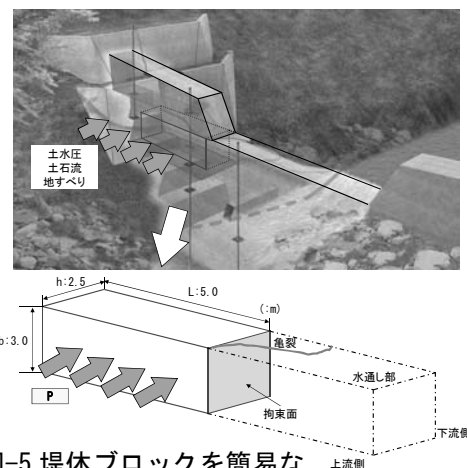


図-5 堤体ブロックを簡易な片持ち梁とした場合の解析モデル概念図

8. まとめ

地すべりからの作用荷重と、堤体の亀裂を発生させる作用荷重の双方を二次元数値解析で算出し比較することにより、地すべり単独か、それ以外の土石流等の土砂移動による複合的なものであるかをオーダーレベルではあるが推定することが出来た。砂防施設の損傷発生原因が把握できることにより、適切に補修・補強対策を計画することが可能になる検討手法として、これからの砂防施設の長寿化対策に資するものと考えられる。