

天然ダム越流侵食に対する 侵食抑止工の効果に関する水路実験

梶 昭仁・清水武志・森田耕司・石塚忠範

1. はじめに

平成23年9月の台風12号豪雨¹⁾のように大規模崩壊の土砂によって河道閉塞すると、天然ダム^{*}が形成され、その上流側は湛水する。湛水位の上昇により越流すると、天然ダム土塊を下方侵食あるいは側方侵食しながら土砂を取り込んで流出する。この土石流・洪水流（以下、土石流）は一般に土砂濃度が小さいものの、ピーク流量や総流出量が大きいため、下流域に甚大な被害を及ぼす。天然ダムによる被害を防止、軽減するための方法は、天然ダム侵食防止あるいは侵食速度の抑制によりピーク流量を低下させる対策や、砂防堰堤などにより土砂の捕捉を行うことなどである。国内の天然ダム対策の事例では平成16年の新潟県中越地震²⁾や平成20年の岩手・宮城内陸地震³⁾において天然ダム天端から下流にかけて侵食防止のため排水路を施工する構造物対策が実施された。海外では平成24年にインドネシア・アンボン島で形成した天然ダムにおいて同様に排水路の整備が行われた事例があり、この事例では施工中に、越流によって構造物が流出した⁴⁾。また、天然ダムでは水みちは明瞭でないこともあるため、排水路以外の部分に水みちが形成されて侵食が始まる事例がある。このような場合、流路位置を固定せずに土砂を捕捉できる工法が有効と考えられる。そこで本報告では、構造物施工中の天然ダム越流侵食を想定した排水路の配置と侵食抑制と関係や、排水路のような剛体とは異なる柔軟な土砂捕捉工法の効果について、水路実験による試行結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 実験方法

2.1.1 実験水路、天然ダムの諸元

用いた実験水路は、底面幅20cm、深さ30cm、長さ500cm（側面：透明アクリル板）、底面勾配5度（約1:11.4）である。水路の底面は板張りで、天然ダムと湛水部分の底面に2~3cmの玉石を張り付けた。水路内に水路から越流開始地点までの高さ

20.5cm、天端長8cm、天端勾配5度、上下流のり勾配1:2の台形状の天然ダムを作成する。上流の湛水池の満水容量は6,000cm³（=6ℓ）である。天然ダムの構成材料には、珪砂4号（0.6~1.2mm）と珪砂5号（0.3~0.8mm）を同重量分ずつ混合した材料を用いる。天然ダムの作成にあたっては必要な材料を数回に分けて人力で、下層より押し固めながら成型した。天然ダム天端部分から下流側のり尻まで予め排水路を設置するための溝（幅6cm、深さ1cm）を作成した。このように作成した天然ダムは、予備実験によって、越流発生前に浸透による破壊が生じないことを確認している。

2.1.2 越流侵食発生方法

水路内に天然ダムを作成後、水路の上流側より一定量100cc/s（0.1ℓ/s）を給水し、天然ダムを湛水させ、越流、侵食までの一連の現象を発生させる。ただし、湛水による天然ダム内への浸透を軽減するため、越流開始直前まではバケツを用いて給水量を追加し、湛水位を急上昇させる。

2.2 実験ケース

図-1に示すように、Case1~5の実験を行った。

Case1~3は、侵食抑制のための排水路（以下、排水路）施工中の天然ダム越流侵食発生を想定し、施工順序による天然ダム侵食過程等の相違を調査するための実験である。排水路が無いCase1を基準として、下流のり面下部からの施工を想定したCase2、および上部からの施工を想定したCase3に対して、侵食過程や流出量変化、ピーク流量発生までの時間を比較する。排水路は浮力による浮き上がりを軽減するため、天然ダムと接する面に鉛板を貼りつけたプラスチック板を用いた。

Case4~5は、施工性が比較的容易であることが想定され、かつ、水みちの位置によらずに土砂を捕捉できる工法としてネット状の柔軟な捕捉工の試行実験を行う。柔軟な捕捉工の土砂捕捉条件の調査を目的とした実験である。柔軟な捕捉工には園芸用のネット（3×1mm間隔）を用いた。ふとん籠模型を載せて、ネットの上下流端を初期固定する。ネットの上流端について、Case4は天然ダム天端、Case5

Experimental study on the function of erosion prevention works against overtopping of landslide dam

*土木用語解説：「天然ダム」と「河道閉塞」

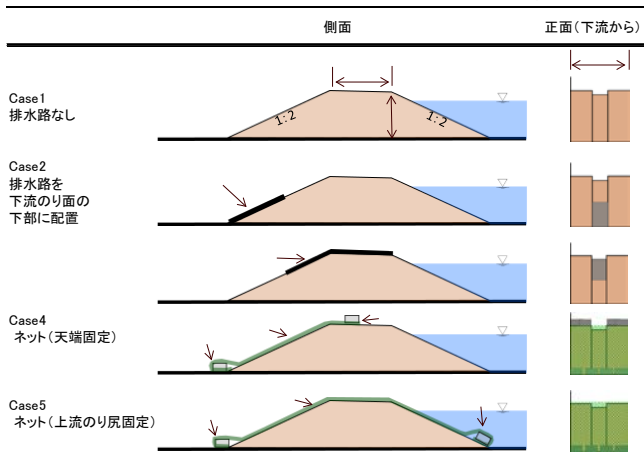


図-1 検討ケースイメージ図

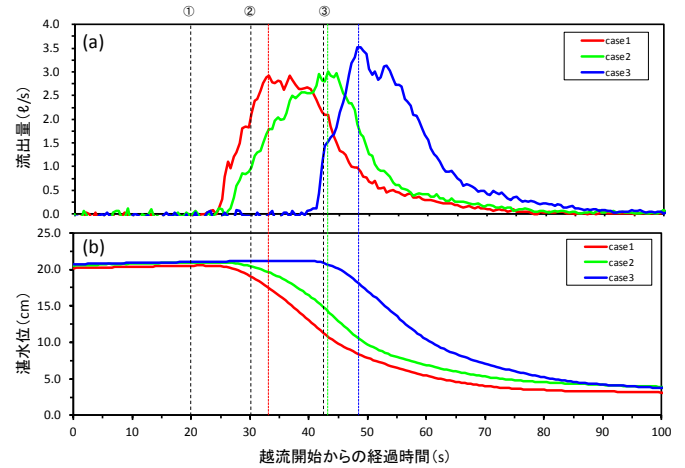


図-3 流出量・湛水位の計測結果。Caseと同じ色の縦線はピーク流量の時刻、①～③は図-2と同様の時刻

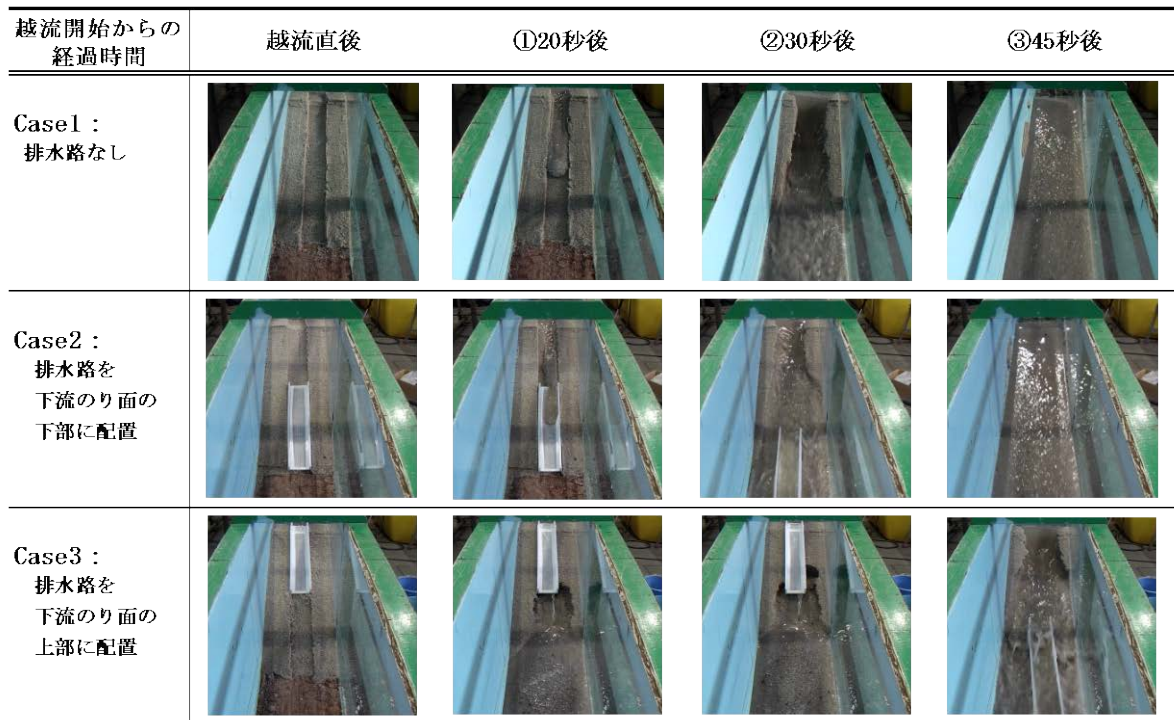


図-2 越流後の経過

表-1 Case1から3のピーク流出状況

	流出量 (ℓ/s)	Case1のピーク流量との比	ピーク流量までの時間(s)
Case1	2,917	-	33
Case2	3,008	1.03	43
Case3	3,527	1.21	48

は湛水池内の上流のり尻とし（図-1）、ネットの下流端は共に天然ダム下流のり尻とする。

2.3 流出量の測定方法

Case1~3では、越流開始後、天然ダム土塊の侵食に伴って流出する土石流の流量（＝流出量）の時間変化をみる。天然ダムの湛水位は、湛水域内に設置した水位計により、0.5秒間隔で計測した。流出量は、天然ダム形状から推定した湛水量と湛

水位の関係式を用いて算出する。天然ダムの天端が侵食されると上流のり面の形状が変化するものの、湛水位以深の残存している土塊の形状は初期のままであるため、実験開始から終了時までこの関係式を用いる。実験の状況は、ビデオカメラ（正面、側面、上面）で撮影し、越流後の侵食過程を記録する。なお、Case4とCase5については、土砂の捕捉状況のみを報告する。

3. 実験結果と考察

3.1 排水路工（Case1～Case3）

3.1.1 越流後の侵食過程

ビデオカメラで撮影したCase1~3までの越流開

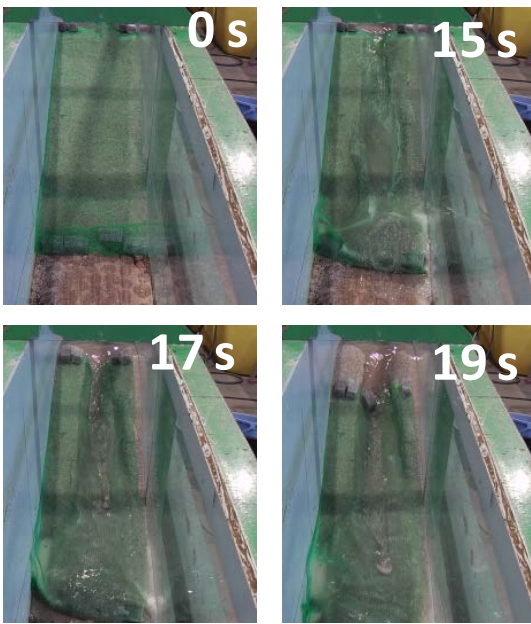


図-4 Case4におけるネット流出までの経過

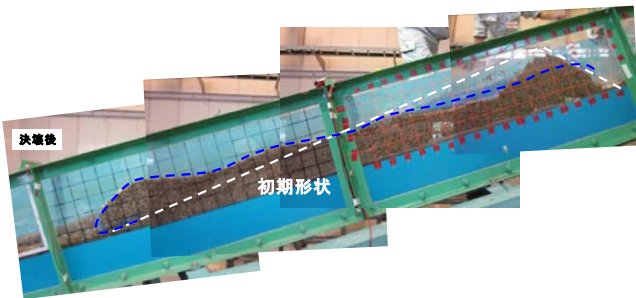


図-5 ネットにより土砂を捕捉した実験⁵⁾。越流侵食後の天然ダムの土塊の様子。白破線は初期形状、青破線は侵食後のネット位置を示す

始からの侵食過程を観察した(図-2)。以下の①~③は図-2中の時間を表す。

(1) Case1

①最初に越流部で侵食が発生し、流水が溝の土砂を運搬する。天端を低下させながら下流に高濃度の土砂を輸送する。②河床侵食の進行に伴って側方侵食が発生し、水みちが水路側面に達するまで拡幅し、流出量がピークに達する。③水路全面に河床侵食が進行し土砂がほとんど流出する。

(2) Case2

①土石流の流速は粗度の小さい排水路に達すると大きくなる。②越流部の侵食の進行に伴い流量が大きくなり、排水路内から溢れた流水と土砂が、排水路の外側縁部を侵食し、排水路が流失する。③排水路の流失しピーク流量に達した後はCase1と同様である。

(3) Case3

①排水路より下部に流水が達すると直下の土

砂が急激に侵食され始める。②排水路の下端付近の天然ダム堤体が頭方に侵食される。③排水路の下側半分程度まで上流側に侵食前線が達すると排水路がずれ落ち、排水路が流失する。

3.1.2 流出量の時間変化と侵食過程の関係

図-3に越流量(a)と湛水位(b)の時間変化を示す。Case2は湛水位がCase1より低下した後にピーク流量となる。これは、越流開始後、まず天端の下方侵食に伴い湛水位が低下するものの斜面下部は排水路で安定しているため、少しずつ流出量が増加し、排水路が流出した後にピーク流量に至るためである。Case3はCase1と比較すると、初めのうちは排水路が機能して天端が下方侵食されないため湛水位を保持しているものの、この間に排水路より下部の天然ダムが侵食されるため、排水路の流出後、天然ダムが縦断的に薄くなり、下流のり勾配が急勾配になっていることからCase1よりもピーク流量が大きくなる。ピーク流量とピーク流量までの時間の関係を表-1にまとめた。

3.2 ネット (Case4~Case5)

3.2.1 越流後の経過

(1) Case4

図-4に示すように、湛水の越流が開始して侵食が始まる(0 s)。土石流がネット下流端のふとん籠に到達した直後、ふとん籠が下流方向に滑る(15 s)と同時に、ネット上流側はそれに引きずられて下流方向に移動する(17 s)。そのままネットは土石流の流出とともに流失する(19 s)。

(2) Case5

土石流がネット下流端のふとん籠に到達した直後、ふとん籠が下方に滑ると同時にネット上流側はそれに引きずられて下流方向に移動する。はじめは上流端のふとん籠が引張力を発揮するものの、下流端のふとん籠が圧力に耐えきれず流下すると、上流端のふとん籠は抵抗を発揮せず天端も越える。ネットは土石流に巻き込まれて流失する。

3.2.2 ネットによる土砂捕捉の条件

3.2.1の条件は何れも下流端のふとん籠が土石流による圧力に抵抗できないことが、ネットで土砂を捕捉し続けられない原因と考えられる。また、本稿で記載しない他の土砂を捕捉できない実験ケースとして、土砂の移動範囲よりネットの幅が小さいと側方から土砂が流出しネットがねじれて

捕捉効果を失うような場合があった。

一方、天然ダム形状等が当実験と異なる実験において、Case5と同様の配置のネットを用いて、天然ダム越流侵食による土石流を捕捉した事例がある⁵⁾。同実験の天然ダム侵食前後の状況を図-5に示す。侵食過程は次の通りである。越流開始後、土石流はまず下流端のふとん籠に捕捉される。その圧力でふとん籠が下方に滑る。上流端のふとん籠はそれに応じて動くものの、天端を超えずに湛水池内で抵抗する。これによってネットが引っ張られ土砂捕捉能力を獲得する。その間に、下流端のふとん籠を土石流が乗越えることで、土砂の下に埋まり安定性が増す。土砂捕捉能力を保持したまま湛水量が減少したところで土砂の移動が停止する。

以上をまとめると、ネットのような柔軟な構造物の効果を発現するためには、土石流到達後に下流端が安定すること、およびそれによってネットの引張りが維持されるように上流端の条件を工夫する必要がある。

4. まとめ

排水路をCase2のように下部に設置すると、ピーク流量は対策なしのCase1とほぼ変わらないもののピーク流量発現時間を遅らせることが可能である。一方、Case3のように上部のみ設置した場合、ピーク流量発現時間は遅らせることが可能であるものの、ピーク流量が大きくなり、下流域における危険性が増加する可能性がある。この結果は排水路の施工順序に対して有益な情報の一つであると考えられる。排水路は水路を固定する工法であるが、実際の天然ダムは凹凸に富み明瞭な水路が形成されていない場合や、局所勾配が河道

のように安定せず流量の増加により流路が変わる場合がある。そのため、柔軟なネットを使った対策工法の効果に関する実験を試行した。試行結果から、越流侵食に伴う天然ダム土塊の変動推定範囲を覆うように設置し、下流端の安定性の確保と、引張力を維持するための上流端の安定が重要であると考えられた。

本報告は試験的な実験結果ではあるが、これまで示されていない有益な情報を含んでいると考えられている。今後、実験の各種条件を体系的に整理し、現場における施工の実現性等を踏まえて、ピーク抑制効果の高い工法を示したい。

参考文献

- 1) 森山裕二、岡本敦、水野正樹、内田太郎、林真一郎、石塚忠範：2011年台風12号による紀伊半島における土砂災害の速報、土木技術資料、第53巻、第12号、pp.4～7、2011
- 2) 国土技術政策総合研究所、(独) 土木研究所、(独) 建築研究所：平成16年(2004年)新潟県中越地震被害に係わる現地調査概要、国土技術政策総合研究所資料第248号、pp.31～58、2005
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutnn/tnn0248.htm>
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所、(独) 土木研究所、(独) 建築研究所：平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震被害調査報告、国土技術政策総合研究所資料第486号、pp.34～70、2008
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutnn/tnn0486.htm>
- 4) 石塚忠範：インドネシア・アンボン島で発生した天然ダム決壊洪水、河川、第69巻、第12号、pp.58～61、2013
- 5) 梶昭仁、石塚忠範、森田耕司、武澤永純、水野秀明、伊藤達平、秋山浩一：天然ダム侵食抑制対策工の水路実験、平成25年度砂防学会研究発表会概要集、pp.B-270～B-271、2013

梶 昭仁



(株)東京建設コンサルタント
(前 (独)土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム交流研究員)
Akihito KAJI

清水武志



(独)土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 研究員
Takeshi SHIMIZU

森田耕司



国土交通省都市局都市安全課都市防災対策推進室企画専門官(前 (独)土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム主任研究員)
Kouji MORITA

石塚忠範



(独)土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 上席研究員
Tadanori ISHIZUKA