

インドネシア・アンボン島天然ダムの越流侵食の実態：地形調査と粒径調査

独立行政法人土木研究所 ○梶昭仁^{※1}、石塚忠範、森田耕司^{※2}、
高原晃宙、一色弘充^{※3}、松澤真^{※4}

八千代エンジニアリング(株) 福島淳一、竹島秀大、西尾陽介

※1 現 (株)東京建設コンサルタント、※2 現 国土交通省

※3 現 応用地質(株)、※4 現 パシフィックコンサルタンツ(株)

1. はじめに

平成 23 年台風 12 号による豪雨に伴い紀伊半島で大規模な天然ダムが複数形成され、天然ダム決壊時の被害範囲の推定が数値シミュレーション手法を用いて行われた¹⁾。数値シミュレーションの精度を検証する上では、天然ダム決壊前後の形状データに加えて、天然ダムを構成する材料の粒度分布や決壊により流動化した土砂の堆積・侵食状況、堆積した土砂の粒度分布・土砂濃度などに関するデータを蓄積していく必要がある。

実際に形成した天然ダムにおける決壊洪水時の地形変化や洪水流量、下流被害などに関するデータが報告、蓄積される一方で天然ダム形成時の内部構造や越流侵食後の流出土砂に関するデータの報告は限られており、大規模な天然ダムにおける実際の決壊事例の報告に関してはほとんどない状況である。

本報告では、大規模な天然ダムの越流侵食による被害範囲推定の高度化に向けて、実際に発生した天然ダム決壊洪水に関する以下のデータを現地計測し、さらに天然ダム決壊洪水での土砂堆積過程を分析する。

- ①越流決壊後の侵食形状と下流堆積形状
- ②流動に伴う縦断的、平面的な粒径の変化

2. 調査方法

2.1 調査対象

調査対象はインドネシア共和国マルク州アンボン島に位置するワイエラ川で形成した大規模な天然ダムである。2012 年 7 月 13 日にワイエラ川の河口から約 3km 上流地点の右岸斜面で崩壊が発生し天然ダムが形成した。天然ダム地点より下流の延長約 2km 区間は谷地形であり、その谷出口から海までの延長約 1km 区間は集落が存在する扇状地である。天然ダムは形成から約 1 年後の 2013 年 7 月 25 日に越流決壊が生じた。決壊によって発生した洪水は谷地形を流下し、扇状地において氾濫し、氾濫した土砂と水は海まで達した。

2.2 調査方法

2.2.1 地形調査

越流決壊前後の衛星写真より作成された数値標高モデル (DEM) のデータを用いて、河床標高とその変動量、河床勾配の縦断図を作成した。また、5 万分の 1 スケールの地形図より、天然ダム形成前の河床標高を作成した。

2.2.2 粒径調査

粒径調査は決壊前 1 箇所、決壊後 6 箇所の計 7 箇所で行った。流動化した土砂の縦断的、平面的な粒径分布を把握するため、現地において堆積土砂の状況を確認し、試料採取地点を設定した (表 - 1、図 - 1)。(A) 河道内と (B) 扇状地右岸では区間内および周辺一帯がほぼ同様の河床材料であると現地踏査で判断できたため、それぞれ 1 箇所の調査地点とした。

調査方法は基本的に容積サンプリング法を用いることとし、各地点で縦 50cm×横 50cm ×深さ 10cm を採集し、粒径 75mm 以上は 1 個毎に短径、中径、長径、重量を計測し、粒径 75mm 未満はふるい分け試験を実施した。(C2) 扇状地左岸中上流地点についてはこぶし大以上の礫が集中して存在し、容積サンプリング法では採取が困難であったため、線格子法により粒径分布を把握することとした。線格子法の格子サイズは 2m とし、縦 25 地点×横 4 地点の 100 地点に存在する礫の長径、中径、短径を計測し、体積換算した値をもとに粒径加積曲線を作成した。

3. 調査結果と考察

3.1 地形の変化

天然ダムは決壊後も形成前の元河床までは侵食していなかった (図 - 2 (a))。また、天然ダム直下に土砂が堆積していた (図 - 2 (c))。扇状地区間の勾配は決壊前後とも 0.9° で変化がなかった (図 - 2(b))。天然ダム区間の勾配は決壊前の 6.8~19.1° から 2.8° に緩くなり、天然ダム形成前の河床勾配に近い値となった。河道区間の勾配は

表 - 1 粒径調査地点と計測方法

天然ダム 状況	採取位置	計測方法	
		容積採取	線格子法
決壊後	(A)河道	○	
	(B)扇状地 右岸	○	
	(C1)扇状地 左岸上流	○	
	(C2)扇状地 左岸中上流		○
	(C3)扇状地 左岸中下流	○	
決壊前	(C4)扇状地 左岸下流	○	
	(D)天然ダム形成土塊	○	



図 - 1 粒径調査位置図

決壊前の1.1°から2.0°~3.5°に変化し、急勾配となった。扇状地の上流の河道区間には湾曲部や狭窄部が存在するため、土砂がスムーズに流下せず、堆積が進行したことで勾配が急になったと考えられる。

3.2 粒径の変化

既往の調査事例や実験結果より、扇状地に流下した土石流の先頭部、堆積縁付近には大きな粒径が集中することが報告されている²⁾。本調査では、(C4)扇状地左岸下流地点と(B)扇状地右岸地点の粒度分布は他地点と較べて小さい粒度分布であり、(C2)扇状地左岸中上流地点は大きい粒径であった(図-3)。

このような粒径の平面分布となった要因を水理量と地形調査の結果から考察する。現地計測した痕跡水位、地形データより、マンニング則(粗度 $n=0.05$)と岩垣の式を用いて、河道湾曲部区間と巨礫が集中して堆積していた(C2)地点の移動限界粒径を算出した結果を図-4に示す。(C2)地点の移動限界粒径は(C1)地点と較べて小さく、(C2)地点の d_{50} である粒径約88cmを下回っていた。このため、巨礫を含む土石流の先頭部が(C2)地点で停止・堆積したと推定する。また、(B)地点と(C4)地点に小さな粒径が分布していたことから、土石流先頭部が(C2)地点に停止・堆積後、小さな粒径を含む後続流は巨礫群を避けて右岸側に進路を変更したり、一部は巨礫群を乗り越えながら、巨礫群中の細粒分を下流へ流出させたりして氾濫したと推察する。さらに、扇頂部直上流は左岸側を外岸とした湾曲部であるため、土石流先頭部は左岸側に偏ったものと推察する。加えて、(B)地点付近に存在した工事用に掘削したと思われる縦穴では元地盤高から約1mの厚さで土砂の堆積が確認でき、その内部構造は礫分と砂分が層状に堆積していた。このため、発生した土石流は流下中に首振り現象もしくは複数の段波を発生させていた可能性があるかと推察する。

4. おわりに

大規模な天然ダムの越流侵食による地形変化、粒径分布を調査した。地形の変化は既往の調査事例とほぼ同様の特徴をもっていた。粒径の縦断的な分布は推定した移動限界粒径との関連性がみられ、平面的な粒径変化をもとに扇状地における氾濫過程を推察した。本調査で対象とした氾濫域は海域へと流出していたため、氾濫範囲の先端部の状況が不明である。今後は氾濫域先頭部を含めたデータの蓄積が必要である。

参考文献

- 1) 小山内信智、「平成23年9月紀伊半島における土砂災害の概要と河道閉塞への対応状況」、(社)日本地すべり学会平成23(2011)年台風12号災害に関する情報サイト、
- 2) 高橋 保、「土石流の停止・堆積機構に関する研究(2)-土石流扇状地の形成過程-」、京大防災研究所年報、第23号B-2、P443-456、1980

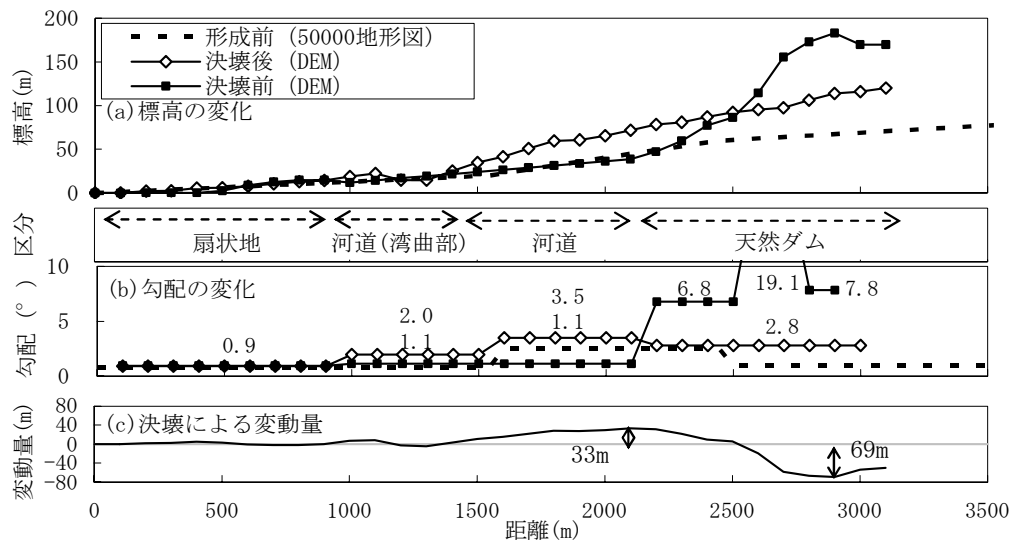


図-2 決壊前後諸元縦断面図

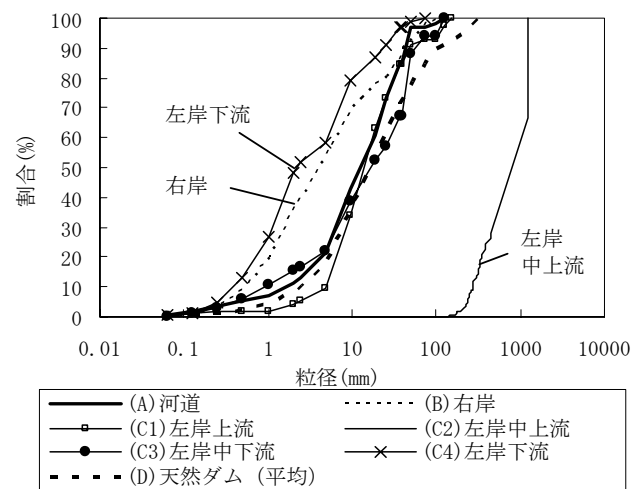


図-3 粒度分布

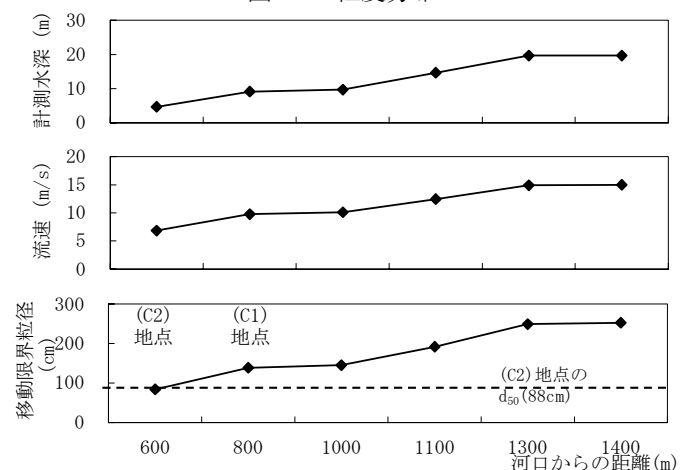


図-4 移動限界粒径