

急勾配河川に形成された天然ダムの決壊機構に関する実験的研究

Experimental study on the failure mechanism of landslide dams formed in steep gradient river

○阪本さよ・王功輝・釜井俊孝

○Sayo SAKAMOTO, Gonghui WANG, Toshitaka KAMAI

In recent years, the break of natural dam formed by landslides has become a major social problem in Japan and abroad. By now some studies had been performed by different approaches to understand the breaching mechanisms of natural dam. However, most of the studies were carried out for studying on those landslide dams formed on rivers with gentle slope (3° to 5°), although there are some instances where river are formed in steep rivers of 10° to 15° . In this study, by using a flume we examined the failure process of natural dams formed in steep river gradient due to the increase of water level in the reservoir behind the dam. By using different samples, or the sample with different initial saturation degrees, we analyzed the failure mechanisms of landslide dams by monitoring the variation of moisture, pore-water pressure of soils at differing locations and movement.

1. はじめに

国内外で大地震時や集中豪雨を誘因とした地すべりや大規模崩壊が発生し、しばしば天然ダムを形成する。形成された天然ダムは、構造が脆弱、かつ土砂の自重や越流水により容易に崩壊し、時として湛水した河川水とともに一気に流下し、甚大な二次災害を引き起す場合もある。

従前の研究では水路実験、物性調査、及び統計的検討の観点から天然ダムの破壊機構の解明が展開され、殆どが緩勾配($3^\circ \sim 5^\circ$)の河川を対象として実施されてきた。しかし、2006年佐賀県伊万里市の天然ダムのほか、河川勾配が $10^\circ \sim 15^\circ$ と緩勾配河川に比べ不安程度が高く、決壊危険性の高い急勾配河川に形成された事例も少なくはない。

そこで本研究では、急勾配河川に形成された天然ダムの破壊機構を解明することを目的とし、堤体模型を水槽内に作成し、この堤体を構成する材料、堤体内部の初期飽和度、及び水槽傾斜角度を変化させ、ダム上流部(湛水池)の水位上昇による堤体の破壊実験を実施した。

2. 研究手法

河川を想定した水槽(200cm×40cm×25cm)に、天然ダム模型(120cm×20cm, 天端長さ: 15cm; 傾斜角: 20°)を作成し、河川水は圧カバルブで水圧を調整しながら三角堰(85.0cm×30.7cm×29.3cm, 切りかき 90°)へ注水し、流量 0.002l/s に決定した後、水槽内の整流板の中に注水した(図-1)。堤体は台形型とし、異なる試料を用いて突き固めをした。堤体の破壊過程を測るために水圧計 9 個と、同位置に土壌水分計 9 個、変位計のターゲットを所定の位置に設置した。水圧計と変位計は、50Hz のサンプリ

ング速度で PC へ、土壌水分計は独立した計測システムで 1Hz のサンプリング速度で計測した。実験条件は、珪砂 7 号(S7; 括弧内の記号は実験番号で使用する)、珪砂 8 号(S8)、テフラ(T)の 3 種類、初期飽和度 10%(L)と 10%で模型を形成した後霧吹きを使用し飽和度を高めた場合(H)の 2 種類、水槽角度は $3^\circ(3)$ 、 $10^\circ(10)$ 、 $15^\circ(15)$ の 3 種類で行った。

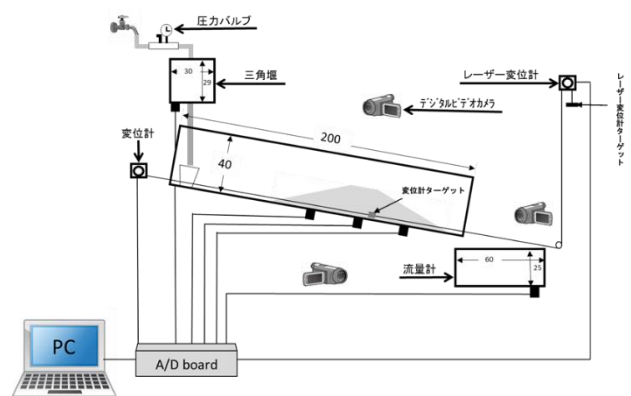


図-1 実験装置

3. 実験結果と考察

これにより、湛水池の水位の上昇やダム堤体の破壊に伴う堤体内部における水分・水圧の変化、堤体土層の変位、及び破壊様式の関係から、天然ダムの破壊機構について検討した。本研究を通じて以下に示す(1)~(4)が解明された。

(1) 表-1 で示す通り、天然ダムの崩壊形式は、越流による侵食破壊、後退性崩壊による地すべり性破壊、及びダム堤体が一体となって滑る一体型地すべり性崩壊の 3 種類であった。そのうち後退性崩壊による地すべり性破壊は粒径が粗い珪砂 7 号とテフラの場合に認められ、一体型地すべり性

崩壊は粒径が細かい珪砂 8 号の場合のみ認められた現象であった。このような違いは透水係数あるいは細粒分の含有量の違いによるものと推察した。

表-1 実験結果

| 実験番号 | 試料 | 水槽角度 [°] | 崩壊型 | e:間隙比 |
|------------|------|----------|-------|-------|
| S7-10-H | 珪砂7号 | 10 | 後退性崩壊 | 1.27 |
| S7-10-L | 珪砂7号 | | 後退性崩壊 | 1.17 |
| S7-15-H | 珪砂7号 | | 後退性崩壊 | 1.12 |
| S7-15-L | 珪砂7号 | 15 | 後退性崩壊 | 1.06 |
| S8-10-H | 珪砂8号 | | 一体型 | 1.46 |
| S8-10-L | 珪砂8号 | 10 | 越流 | 1.35 |
| S8-15-H | 珪砂8号 | | 一体型 | 1.22 |
| S8-15-L | 珪砂8号 | | 一体型 | 1.22 |
| T-3-H | テフラ | 3 | 後退性崩壊 | 1.27 |
| T-10-H (1) | テフラ | 10 | 後退性崩壊 | 1.45 |
| T-10-H (2) | テフラ | | 後退性崩壊 | 1.20 |
| T-10-L | テフラ | | 越流 | 1.33 |
| T-15-H (1) | テフラ | 15 | 後退性崩壊 | 1.30 |
| T-15-H (2) | テフラ | | 後退性崩壊 | 1.40 |
| T-15-L | テフラ | | 越流 | 1.40 |

(2)テフラを使用した実験において、水槽の傾斜角度を 10° と 15° の 2 ケースの変位計データを検討したところ、前者より後者の場合における崩壊土塊の移動速度が速かった(図-2)。

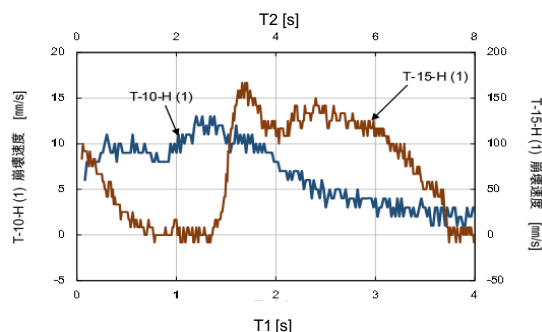


図-2 変位計のターゲットを含む土塊の移動開始時からの継時変化(T1;T2)と崩壊速度 T1: T-10-H(1); T2: T-15-H(1)

(3)図-3 に T-10-H(1)の堤体上流側から下流へ 60cm 進んだ箇所に底面から 5 cmおきに設置した水圧計の継時変化を示し、この時の 4055.0s ~ 4056.5s の水圧の継時変化を拡大したものを図-4 に示した。以下には水圧計と堤体の破壊までの状況を【1】～【3】として示す(図-4)。

【1】(60, 5), (60, 10)の赤矢印に注目すると、この時から水圧が上昇しているのが分かる。この水圧の上昇は、せん断変形が(60, 5), (60, 10)から始まったことを示しており、破壊準備に入ったと考えられる。

【2】(60, 0)の赤矢印に注目すると、この時から水圧が上昇しているのが分かる。この水圧の上昇は、せん断変形もしくは水圧の伝播が【1】の(60, 5), (60, 10)から堤体底部(60, 0)へ伝わり、破壊準備に入ったと考えられる。次に(60, 15)の赤矢印

に注目すると、この時から水圧が低下しているのが分かる。この水圧の低下は、せん断変形が伝わり(60, 15)にも伝わりクラックが生じたと考えられる。このクラックについてはデジタルビデオカメラで確認することが出来た。

【3】(60, 5), (60, 10), (60, 0)の赤矢印に注目すると、この順に水圧が低下しているのが分かる。この水圧の低下は、すべり面に近い堤体高さ 20 cm の真ん中から先に破壊し、その後に(60, 0)と堤体の底部が破壊したと考えられる。

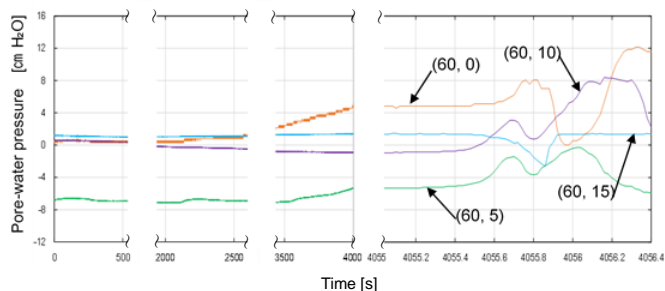


図-3 T-10-H(1)の 60cm 縦断方向に設置した水圧の変化 ※(X, Y)=(堤体の上流端を 0, 底面を 0 とした時の長さ)と高さ)

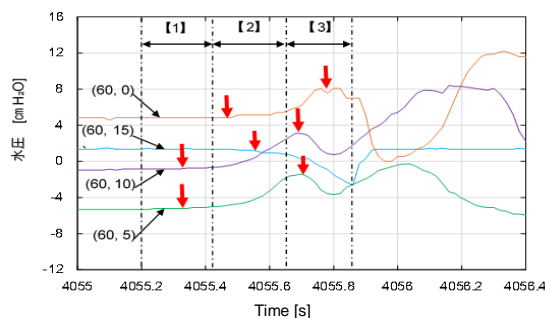


図-4 図-3 の 4055.0-4056.5s の水圧の継時変化

(3)を纏めると、破壊面の発達過程を堤体内部における間隙水圧の変化から解明した。即ち、後退性崩壊および一体型崩壊において、間隙水圧の上昇が開始するとともに、せん断変形が発生し、下部へ変形が伝達された後に上部へ転じ、天端にクラックが生じた。その後、地すべり性崩壊が発生することが見いだされた。

(4)先行して発生した崩壊によりダム堤体内部では新たに別の箇所で間隙水圧の上昇が開始されているのを確認し、これが次の崩壊を引き起こす際のすべり面に近い箇所から反応を示していた。このことは、崩壊域の拡大を検討するうえで、新たに間隙水圧が上昇する箇所の有無を把握することが、後退性崩壊の詳細な発生機構の解明に関する糸口をつかむことだけでなく、ダム堤体における決壊危険度の予測精度を向上することにも繋がる、重要な鍵となることを意味する。