

天然ダムの形成条件や河道条件が決壊規模に及ぼす影響

京都大学大学院農学研究科 ○中谷加奈・古谷智彦・水山高久
京都大学防災研究所 長谷川祐治
立命館大学理工学部 里深好文

1. 背景と目的

土砂災害の中で土石流・地すべり・がけ崩れと比較すると天然ダム形成の頻度は高くない。しかし、形成した天然ダムが決壊した場合に想定される被害は大きく、下流への影響を適切に推定し、効果的な対策を検討する必要がある。天然ダムは三角形に近い形状や台形等の形状で形成され、形状や粒径等の構成材料により決壊規模が異なる。勾配や河道幅などの河道条件なども影響する。しかし、構成材料の飽和度による違いはあまり検討されていない。また、単体の天然ダム越流・決壊に着目した既往研究は多数あるが、複数個の天然ダムについては、一溪流に連続して形成した事例（平成 16 年中越地震による芋川流域や、平成 20 年岩手・宮城内陸地震による迫川流域）があるにも関わらず、これまでほとんど検討されていない。

本研究では、水理実験・数値シミュレーションを実施して、天然ダムの形成条件や河道条件が決壊に及ぼす影響を、特に天然ダムの個数に着目して検討する。

2. 実験

実験には長さ 475cm、幅 10cm の直線矩形断面水路を使用し、水路の下流に三角堰のある量水槽を設置した。通水中は水路左岸からの映像と超音波センサで時系列的な変化を記録した。超音波センサは天然ダム上流の水位変化（複数の天然ダムの場合は下流側のみ）と、下流の量水槽の水位変化より別途求めた H - Q 関係式から流量を算出した。実験は一様砂で実施し、水路床には粗度として 1.4 mm の砂を貼り付けた。上流からの供給流量は全て 0.5L/s として天然ダムが流出（1 度では河床が安定）するまで水を供給した。表 1 に実験条件を、表 2 に砂の緒元を示す。天然ダムの個数は単体と 2 個で実施し、2 個の条件は単体と総土砂量が同じになるケース、及び 1 個の場合と同じ大きさのケース（総土砂量は 2 倍）を実施した。天然ダムは図 1 に示す高さ 6.5 cm（土砂量 2.11 L）と高さ 4.6 cm（土砂量 1.05 1L）の二種類の台形として、法勾配は上下流とも 1:4、天端長は高さ

同じとした。Case1-18 では天然ダム形成時に乾燥砂を用いて、容積濃度 C^* に対して水の量を調整して天然ダムが飽和に近い条件となるようにした。Case19、20 は含水率が 22.7%、22.0% の不飽和状態になるように水を混合した。

結果から、全ケースで全幅で越流して横侵食は発生しなかった。1 個のケースや 2 個での上流側の天然ダムは天端まで湛水した後に越流・侵食する。一方、2 個の下流側の天然ダムは完全に湛水する前に越流・侵食が発生した（写真 1）。

以後、本原稿では 1 度の結果を示す。図 2 に下流の流量を、図 3 に天然ダム上流の水位変化を示す。計測点に水が到達した時刻を 0 秒とした。ピーク流量は、飽和では 6 号でやや大きく、不飽和はほぼ同じであった。天然ダム上流側の湛水位の低下から侵食速度が示されるが、飽和では 6 号が速く不飽和はほぼ同じである。

表 1：実験ケース（※Case19, 20 以外は飽和）

Case	砂	勾配 (°)	天然ダム	
			個数	高さ (cm)
1	5 号	1	1	6.5
2	6 号			
3	5 号	3	1	6.5
4	6 号			
5	5 号	6	1	6.5
6	6 号			
7	5 号	6	2	6.5
8	6 号			
9	5 号	3	2	6.5
10	6 号			
11	5 号	1	1	4.6
12	6 号			
13	5 号	1	2	4.6
14	6 号			
15	5 号	3	2	4.6
16	6 号			
17	5 号	6	2	4.6
18	6 号			
19	5 号	1	1	4.6 (不飽和)
20	6 号			

表 2：実験砂の緒元

砂	密度 σ (g/cm ³)	粒径 d (mm)	容積濃度 C^*	内部摩擦角 (°)
5 号	2.587	0.6	0.587	36.1
6 号	2.608	0.35	0.574	37.0

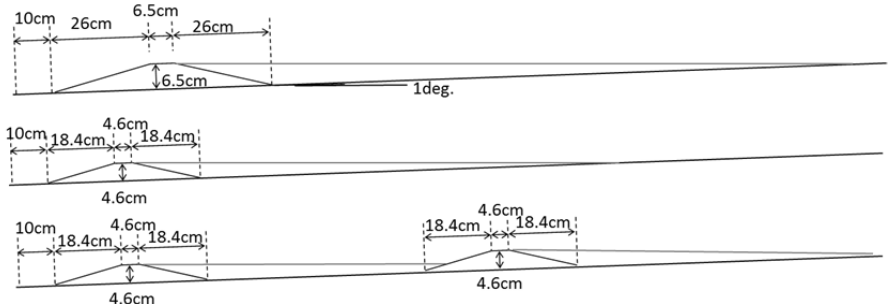


図 1：天然ダムの形状、形成位置（1 度のケース）

2 個のケースは、単体と比較して総土砂量が同じ場合も、単体と同じ大きさでも、ピーク流量が大きかった。

3. 数値シミュレーション

汎用土石流シミュレータ Kanako のデータ入出力部を変更したプログラムを用いて、実験スケールで解析を可能とした。土砂や水路の緒元は実験条件と同じとし、 $\Delta x=5\text{cm}$ (Δx に合わせて位置を微調整)、 $\Delta t=0.002\text{s}$ 、 $\delta e=0.00035$ 、 $\delta d=0.005$ とした。

計算結果の下流からの流量を図4（開始時刻は実験と

同様）に示す。モデルの仕様上、飽和したケースのみを対象とした。実験と解析におけるピーク流量と流入流量の比を表3に示す。

実験と比較して砂の違いによる流量やピーク流量の差は小さい。1 個のケースは実験と比較的近いピーク流量を示したが、2 個では計算の方が小さい。総土砂量が同じ 1 個と比較して 2 個の方が小さい点が異なる。これは、上流側の天然ダムや複数の天然ダム間の水・土砂の挙動が十分表現されていないためと考えられる。



写真 1：Case17 の下流の天然ダム越流時

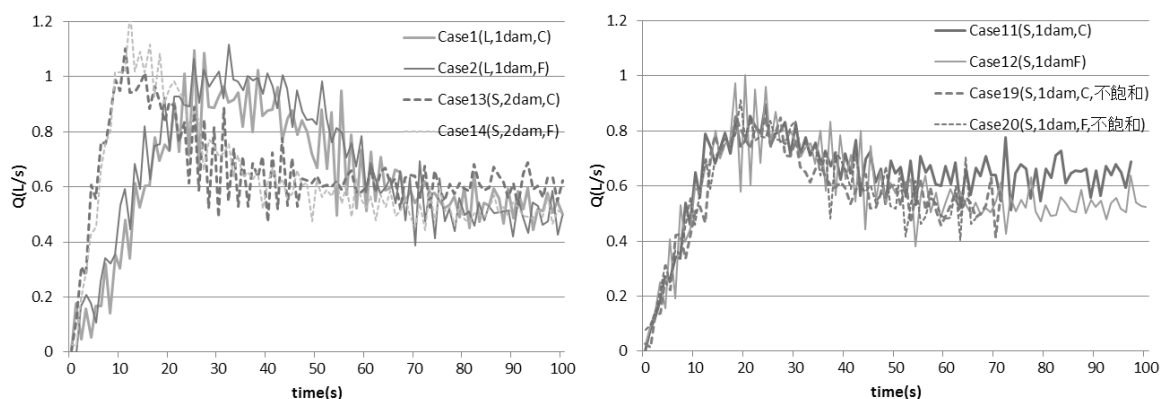


図 2：勾配 1 度での下流端からの流量（左図：総土砂量が同じケース、右図：天然ダム高 4.6 cm で 1 個のケース）
（図中の凡例：L は高さ 6.5 cm、S は高さ 4.6 cm を、1dam は 1 個、2dam は 2 個、C は 5 号砂、F は 6 号砂の天然ダムのケース）

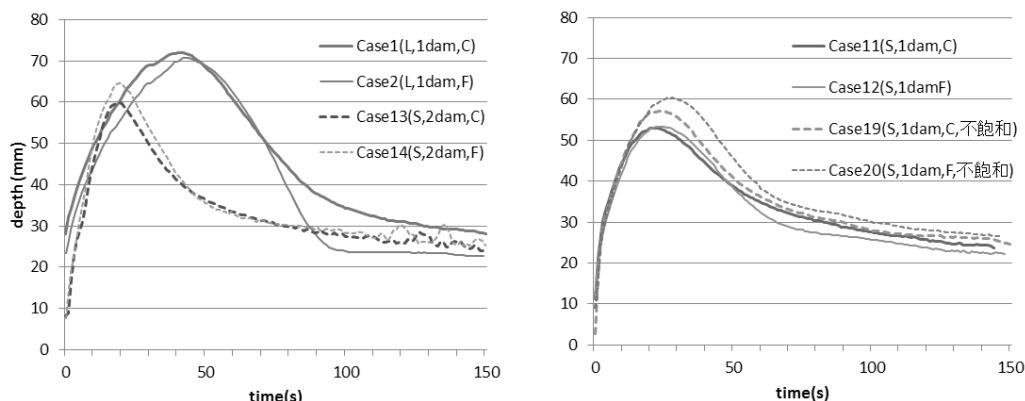


図 3：勾配 1 度での天然ダム上流の水位変化（左図：総土砂量が同じケース、右図：天然ダム高 4.6 cm で 1 個のケース）

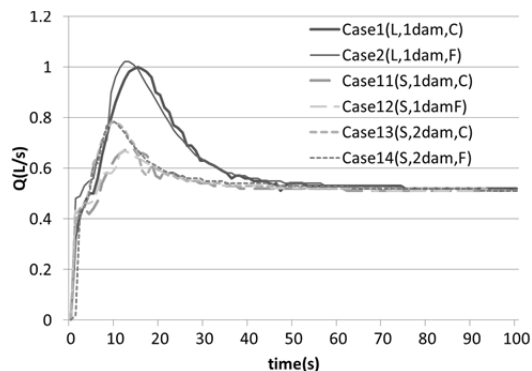


図 4：解析結果の下流端流量（1 度）

表 3：1 度でのピーク流量と流入流量の比（E:実験、S:解析）
（L:高さ 6.5 cm、S:高さ 4.6 cm、C:5 号、F:6 号の天然ダム）

		E, C	E, F	S, C	S, F
飽和	L, 1 dam	2.19	2.23	2.00	2.04
	S, 2 dam	2.20	2.47	1.56	1.58
	S, 1 dam	1.80	2.01	1.36	1.34
不飽和	S, 1 dam	1.71	1.83	解析なし	

謝辞

本研究は、公益財団法人河川財団の平成 26 年度河川整備基金の助成を受けて実施しました。また、京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリーの施設で実験を行いました。ここに記して感謝致します。