

砂防堰堤の堆砂条件を考慮した捕捉機能に関する検討

京都大学大学院農学研究科
京都大学大学院農学研究科
広島大学大学院先進理工系科学研究科
立命館大学理工学部

正会員
非会員
正会員
正会員

○中谷 加奈
鈴木 裕里
長谷川祐治
里深 好文

1. はじめに

砂防堰堤が設置された溪流では、土石流発生時に堰堤が土砂を捕捉して被害を防止軽減する。2016 年改訂の砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）¹⁾では流木対策への有効性から「透過構造を有する施設を原則」と形式の選定方針が示された。一方、砂防施設は明治時代以降に整備が進み、整備された砂防堰堤は 60,000 基以上に達して、竣工後 30～50 年以上経過した施設が多数現存する。整備された砂防堰堤の多くは不透過型で²⁾，捕捉効果を発揮するために除石による空容量の確保が求められる。しかし、平常時の土砂流出により堰堤上流に堆積する事例も見られ、全ての堰堤を常に空に保つことは難しい。一方で、堆砂を考慮した堰堤の土砂捕捉効果や土砂流出抑制に関する定量的な検討は殆どない。筆者らは³⁾，水理実験により初期堆砂がある条件でも堰堤の土砂捕捉や土砂流出ピークの抑制は期待できるものの、空き容量が大きいほど効果が大きいことを確認した。また、初期堆砂が不飽和の条件では飽和よりも効果が大きいことを確認したが、限られた条件下だった。実際の初期堆砂は、土石流発生前に降雨流出により水が十分に流下した飽和の状態、あるいは堰堤の上流では降雨や水流出が少なく比較的乾いた不飽和の状態で土石流が流下する、どちらの条件も想定される。

本研究では、初期堆砂が堰堤の捕捉機能に及ぼす影響を把握することを目的として、初期堆砂の飽和・不飽和の条件に着目しながら水理実験により検討した。

2. 実験方法

実験には、長さ 450 cm，幅 10 cm，勾配 15° の矩形断面水路を用いた（図-1）。水路床にはほぼ様な粒径 1.4 mm の砂を貼り，実験砂は平均粒径 2.81 mm，密度 2.59 g/cm³，空隙率 0.48 の珪砂を用いた。堰堤模型は高さ 13 cm，10 cm の二種類を用いて，水路下流端に設置した。初期堆砂は堰堤

天端まで水平勾配で堆積させた状態について飽和と不飽和の条件を実施し，比較のため空の状態も実施した。水路上流端から 390-450 cm の間に土砂を敷き詰めて，水を 0.61 l/s で供給し，侵食により土石流を発生させた。水路上流端への供給開始から 15 秒後にポンプを停止した。堰堤で捕捉した土砂を捕捉土砂と呼ぶが，実験前に堆積させた初期堆砂の土砂量は除いている。堰堤から下流に流出した土砂を流出土砂とした。流出土砂は堰堤天端の流出開始から 3 秒毎に 12 秒間採取した。堰堤天端から水路勾配の 1/2 の勾配の状態を満砂と想定して，満砂の土砂量を供給土砂量とした。表-1 の左に実験ケースを示す。表中の土砂量は全て空隙込みである。実験は各条件で3回実施することを基本とした。初期堆砂を不飽和とした条件は，浸潤面が堰堤高の半分の高さになるよう水を供給した。初期堆砂が飽和の条件，ならびに水路上流に敷く供給土砂には，実験の開始直前まで水を供給した。堰堤の捕捉効果を検討するために，以下のように R_c と R_f を定義した。

$$R_c(\%) = \text{捕捉土砂量} / \text{供給土砂量} \times 100$$

$$R_f(\%) = \text{捕捉土砂量} / \text{空き容量} \times 100$$

(1)
(2)

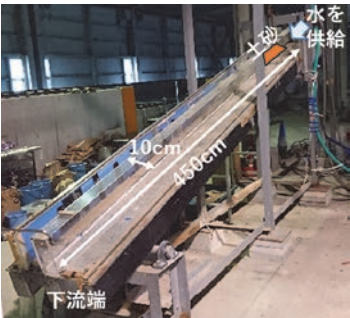


図-1 実験水路の概観

3. 実験結果と考察

実験結果の捕捉土砂量， R_c ， R_f ，初期堆砂を敷いた条件では，土石流が堆砂の上流端に到達してから堰堤の天端を越流するまでに要する時間 T を表-1 の右に示す。

キーワード
砂防堰堤，捕捉機能，初期堆砂，土石流，水理実験

連絡先
〒606-8502 京都市左京区北白川追分町 Tel:075-753-6087

表-1 実験ケースと実験結果

Case	実験条件					実験結果			
	堰堤高	供給土砂量	初期堆砂量	堆砂条件	空き容量	捕捉土砂量	Rc	Rf	堆砂の上流端到達から天端越流にかかる時間 T
	cm	cm ³	cm ³		cm ³	cm ³	%	%	s
1	13	6,421	3,154	天端まで水平堆砂(飽和)	3,267	3,000	46.7	91.8	0.70
2						3,085	48.0	94.4	0.66
3						2,836	44.2	86.8	0.64
4			0	天端まで水平堆砂(不飽和)	3,267	4,023	62.7	83.1	2.41
5						4,082	63.6	84.3	2.24
6						3,897	60.7	80.5	2.26
7			0	空	6,421	4,823	75.1	75.1	
8						4,804	74.8	74.8	
9						4,993	77.8	77.8	
10	No dam		-	-	-	-	-	-	
11	10	3,799	1,866	天端まで水平堆砂(飽和)	1,933	904	23.8	46.8	0.87
12						998	26.3	51.6	0.85
13						1,095	28.8	56.6	0.83
14			0	天端まで水平堆砂(不飽和)	1,933	1,120	29.5	39.1	1.21
15						1,251	32.9	43.7	1.60
16						1,199	31.6	41.8	1.25
17			0	空	,3799	2,641	69.5	69.5	
18						2,681	70.6	70.6	
19						2,697	71.0	71.0	
20	No dam		-	-	-	-	-	-	

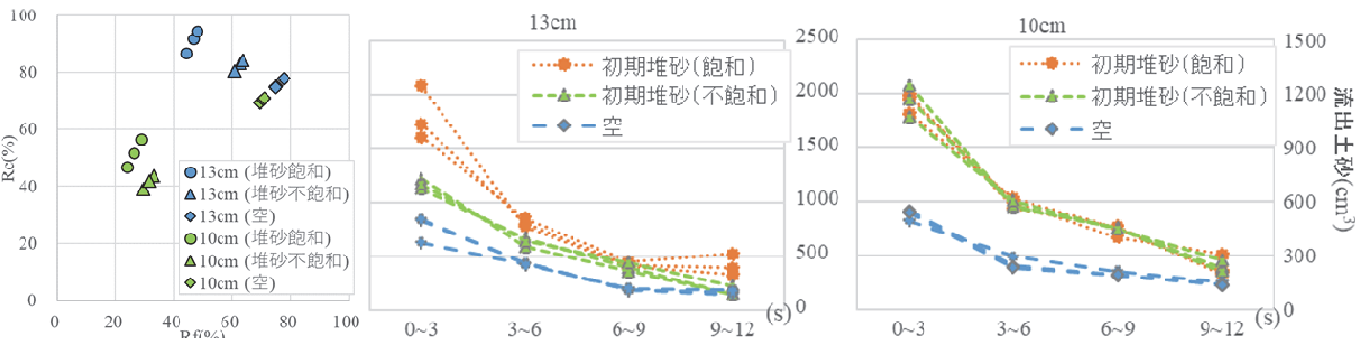


図-2 実験結果の Rc と Rf の対応 (左), 堰堤高 13 cmの流出土砂 (中央), 堰堤高 10cmの流出土砂 (右)

表-2 土砂流出ピークの比較 (堰堤無しを 1 としたときの, 堰堤有りの同条件の 3 ケースの平均値)

堰堤	堆砂 (飽和)	堆砂 (不飽和)	空
13 cm	0.37	0.24	0.16
10 cm	0.41	0.41	0.19

捕捉土砂量は空が最大で、次に不飽和の初期堆砂、飽和の順だった。実験観察から、不飽和の堆砂に流れが到達すると、水が堆砂に浸透して土石流内部の間隙水圧が小さくなることで、せん断抵抗力の作用が強くなり、堆積が進んで捕捉土砂が多くなったと推測される。図-2 に Rc と Rf の対応、各堰堤の流出土砂を示す。Rf は空で最大で、次に不飽和の堆砂、飽和が最小で、13 cm が 10 cm より大きい。Rc は 13 cm では飽和、不飽和、空の順に小さくなるが、10 cm は空が最大で、次に飽和、不飽和になる。流出土砂は、13 cm

は飽和の堆砂が全時刻で最大で、次に不飽和、空の順に小さく、10 cm は空が最小で、堆砂の飽和・不飽和による差が殆どない。表-2 の堰堤無しとの流出ピークの比較からも、空の抑制効果が最大で、13 cm は不飽和の効果が飽和よりも大きい。10 cm は飽和・不飽和の差がない。表-1 に示した堆砂の通過に要する時間 T の平均から、不飽和は飽和と比較して 13cm は 3.4 倍、10cm は 1.6 倍長い。10cm 不飽和は堆砂の通過後に堆砂が飽和状態で流れるため流出土砂の差がなく、13cm 不飽和は堆砂が飽和に達しない状態で天端から流出するため流出土砂に差が生じたことが推測される。

謝辞 本研究は京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリーの実験施設を利用しました。**参考文献** 1)国土交通省砂防部(2016), 2) 國領ら (2015), 砂防学会研究発表会概要集 A, 90-91, 3)中谷ら (2020) , 第 10 回土砂災害に関するシンポジウム論文集,115-120