

ハイドログラフの違いが砂防堰堤による土石流の流量低減に及ぼす影響に関する水路実験

国土交通省国土技術政策総合研究所 ○松本直樹、内田太郎、桜井亘

株式会社建設技術研究所 松原智生、西口幸希、日名純也

1. はじめに

砂防堰堤の土砂捕捉機能に関する研究は、水路実験や数値解析等によりこれまで数多く実施されてきており、透過型砂防堰堤や不透過型砂防堰堤等の型式によらず土石流に対する砂防堰堤の土砂捕捉効果についての知見は多く得られている¹⁾。しかし、既往の研究では、比較的急勾配な土石流区間(10°以上)を流下する土砂濃度が高い土石流を対象にした検討が多く、比較的緩勾配な土石流区間(5°程度)を流下する土砂濃度が低い土石流に対しては、松本ら²⁾の検討により、土砂は捕捉するものの、堰堤下流への流量の低下は大きく見込めない可能性があることが指摘されている。しかし、松本ら²⁾の検討を含む既往の検討の多くが、流量一定の矩形のハイドログラフで検討されているため、立ち上がりの傾きが急で、継続時間が短いパターンのハイドログラフをもつ山地流域で発生する土石流に対する砂防堰堤の施設効果の検討も必要であると考えられる。そこで、本報告は、土砂濃度が低い土石流に対する緩勾配区間に設置する砂防堰堤の施設効果に関して、ハイドログラフの違いと砂防堰堤の型式の違いによる施設効果の影響に関して水路実験を実施した。

2. 実験の概要

2.1. 実験条件

実験は1/30程度の縮尺を想定し、実験装置は、長さ10m、幅30cm、高さ50cmの可変勾配水路を用いた。実験砂は、過去の既往災害等を考慮し、95%粒径32mm、50%粒径8mmの混合砂を用いた。また、実験は、固定床上に上流から給水・給砂し土石流を発生させ、土石流の水深4点(堰堤下流側1m、堰堤上流側25cm、50cm、1m)および上流投入量と水路末端(堰堤下流2m)での水および土砂の流出量の時系列変化を計測した。併せて、実験状況は、水路側壁および鉛直方向からビデオで撮影した。

2.2. 実験ケース

実験は、勾配5°、堰堤の型式4パターン(堰堤なし、不透過型、透過型2種類)、ハイドログラフ4パターンを組み合わせた計16ケース実施した(表-1)。また、堰堤模型は、高さ25cmとし、透過型は、鋼製スリットタイプで透過部の幅は、水平・鉛直純間隔ともに95%礫径の1.0倍とし、開口幅は、堰上げが発生しない透過部が広い型(開口部の幅/水路幅1.0倍)と堰上げが発生する透過部が狭い型(開口部の幅/水路幅0.5倍)の2種類実施した。ハイドログラフは、図-1に示す、供給土砂量は堰堤容量分(計画堆砂勾配が元河床勾配の2/3倍で堆積した容量)とし、立ち上がりが急で、継続時間が短い三角形のハイドログラフ(以下、「ハイドロ1のケース」という。)を基本に、ピーク流量と供給土砂量が同量の矩形ハイドログラフ(以下、「ハイドロ2のケース」という。)とピーク流量が半分で供給土砂量が同量の台形型のハイドログラフ(以下、「ハイドロ3のケース」という。)、ピーク流量が同量で供給土砂量が1.5倍の台形型のハイドログラフ(以下、「ハイドロ4のケース」という。)の4パターン実施した。供給地点での土砂濃度は、2.2~3.3%である。

3. 実験結果

3.1. 土砂捕捉量

表-2は、各実験条件における砂防堰堤による土砂捕捉量である。堰堤の型式、ハイドログラフの違いに関係なく、堰堤容量に対する捕捉率は90%以上となった。また、ハイドロ4のケースにおいても、堰堤容量以上の土砂量を捕捉した結果となった。また、図-2はピーク流量時の流出土砂量の無施設時に対する割合を比較した図である。ハイドロ1のケースは、ケース9とケース13を比較した場合、流出土砂量が1割違う結果となった。これは、図3に示すように、透過部が狭い型の場合、堰上げにより土砂が堆砂肩を形成しながら堆積し、ピーク時に堰堤まで堆積土砂が到達しなかったため、透過部が広い型に比べ透過部からの土砂の流出が少なかったものと考えられる。一方、ハイドロ2のケースやハイドロ3のケースのように、流量が一定の時間が長い場合においては、ピーク流量の大きさにより下流への流出土砂量

表-1 実験ケース

ケース	堰堤型式	ハイドロケース
1	なし	ハイドロ1
2		ハイドロ2
3		ハイドロ3
4		ハイドロ4
5	不透過	ハイドロ1
6		ハイドロ2
7		ハイドロ3
8		ハイドロ4
9	透過 (透過部広い型)	ハイドロ1
10		ハイドロ2
11		ハイドロ3
12		ハイドロ4
13	透過 (透過部狭い型)	ハイドロ1
14		ハイドロ2
15		ハイドロ3
16		ハイドロ4

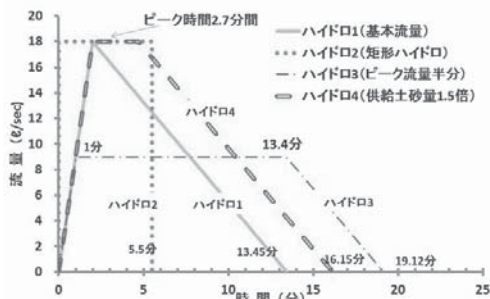


図-1 ハイドログラフ

表-2 土砂捕捉量

ケース	堰堤形式	計画捕捉量 (g)	供給土砂量 (g)	捕捉量 (g)	捕捉率
5	不透過	321	321	302	0.94
6				316	0.98
7				319	0.99
8				479	408
9	透過 (透過部広い型)	321	321	303	0.94
10				294	0.91
11				313	0.97
12				479	383
13	透過 (透過部狭い型)	321	321	307	0.96
14				296	0.92
15				316	0.98
16				479	412

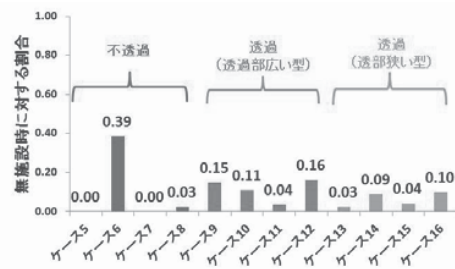


図-2 供給流量ピーク時の無施設ケースに対する流出土砂量の割合

が異なるものの、透過部の幅の違いによらず下流への流出土砂量はほぼ同等となった。以上のことから、堰上げが生じる場合であっても透過部の水平・鉛直純間隔を狭くすることで、出水後半の土砂の流出が防げることが分かる。また、不透過型のケース 6 において、流量供給ピーク時の流出土砂量が大いのは、ピークの後半に堰堤を乗り越えるような現象が生じたためである。なお、同様な現象はその他のハイドロのケースでも生じているがピークからは遅れて生じている。

3.2. 流量

図 4(A)~(C)は、ハイドロ 1 のケースにおける各堰堤の堰堤下流側の水位計により計測した水位を流量に変換して得られたグラフに、水路下流端で直接採取した流量を重ねたグラフである。図 4(A)の不透過型の流出流量は、供給開始時から供給流量と同等程度の推移を示していることが分かる。一方、図 4(B)、(C)の透過型に関しては、供給流量ピーク時の流量に比べ流出流量は小さく、その後供給流量と同等の流量に推移していることがわかる。ピーク流量時前後の堰堤直上流部の水位計で測定した水位を拡大した図 5 からわかるように、供給流量ピーク時 (120 秒付近) において透過型と不透過型の水位が大きく異なっていた。

また、透過部が狭いケースの水位が高いことがわかる。これは、透過部が狭いケースは、図 3 に示したように、供給流量ピーク時には土砂が堰堤に到達していないことから、堰堤直上流の水位の上昇は堰堤による堰上げによって生じたものと考えられる。すなわち、堰堤上流側に堰上げによる水の貯留が、流出流量低下につながったものと考えられる。

一方、透過部が広いケースについては、図 3 に示したように、供給流量ピーク時には、土砂が堰堤まで到達し堆砂しており、ビデオ映像から 120~130 秒付近で生じた水位上昇は主に土砂の堆積によるものであることが確認された。流出流量の低下が生じた要因として、流下している水の一部が堆積土砂に浸透し、浸透流を形成したため、平均的な流速が遅くなった結果、下流への流出が一時的に遅れ、流量が低下した可能性が考えられる。実際に、目視によっても浸透流の発生を確認された。さらに、表 1 で示したようにハイドロ 4 のケースにおいても、透過型で多くの土砂を捕捉したことにもこの浸透流が寄与している可能性が考えられる。

図 4(D)~(F)は、透過部が狭いケースのハイドロ 2~4 のケースにおける水路下流端で直接採取した流量を示したグラフである。ハイドロ 2 のケースのように大きな流量を一定に与え続けた場合や、ハイドロ 3 のケースのように小さいピーク流量を長く与え続けた場合は、供給開始時から供給流量と同等程度の推移を示しており流出流量の低下は顕著には起きず、土砂量が大いハイドロ 4 のケースについても、供給流量ピーク時には流量低下が認められるものの、堰堤に土砂が貯まる供給流量ピーク時後半においては、供給流量と同等程度の推移を示した。

4. まとめと今後の課題

本実験から、緩勾配区間における土砂濃度が低い土石流を対象に、ハイドロ 1 のケースのように、立ち上がり之急で、継続時間が短い現象に関しては、土砂捕捉並びに流量低減効果を期待した場合、出水後半の過剰な土砂流出が生じないように透過幅の間隔を狭くした透過型堰堤が有効であることが考えられた。また、透過型砂防堰堤では、堆積土砂中に浸透流が土砂捕捉やピーク流量低減に寄与している可能性が考えられた。一方、浸透流と表面流ではスケール依存性が異なるため、本実験では、浸透流の影響が過大に評価されている可能性がある。浸透流の影響を評価するためには、更なる検討が必要である。

<参考文献>

- 1) 例えば、水山ら：格子型ダムのピーク流砂量減少率に関する研究、砂防学会誌 Vol. 47, No. 5, 1995.
- 2) 松本直樹ら：砂防堰堤上下流における土石流の流量・水深の変化に関する水路実験、砂防学会研究発表会概要集 B, 256-257, 2015



図-3 供給流量ピーク時の状況
(左：透過部広い型、右：透過部狭い型)

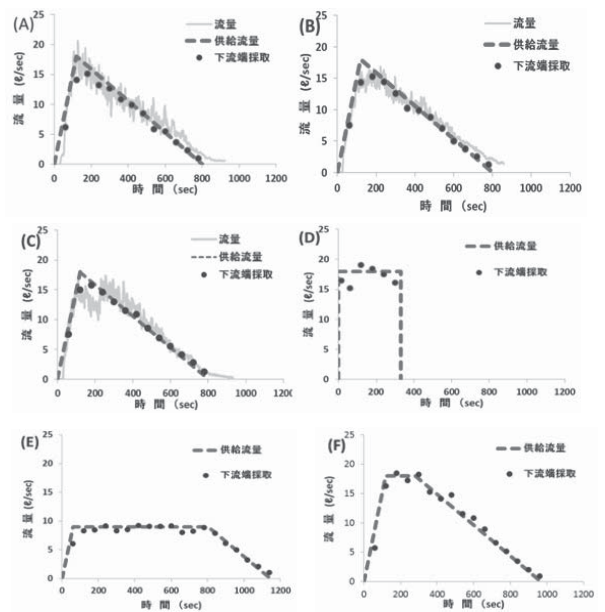


図-4 流量の測定結果(A)ケース 5 (B)ケース 9(C)ケース 13 (D)ケース 14 (E)ケース 15 (F)ケース 16

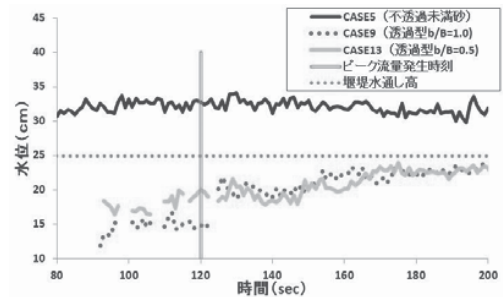


図-5 堰堤直上流の水位測定結果