

土石流堆積区間における連続する鋼製透過型砂防堰堤の透過部間隔設定の一考察

株式会社建設技術研究所 ○今井健太, 吉田圭佐, 古山剛, 奥野敏也, 岸根泰三, 柳崎剛
国土交通省関東地方整備局日光砂防事務所 木下篤彦^{※1}, 土田元気, 穂田雄高^{※2}, 江口彰友^{※3}, 松下勇也

※1現：内閣府沖縄総合事務局 開発建設部 ※2現：国土交通省関東地方整備局 渡良瀬川河川事務所 ※3現：国土交通省関東地方整備局 河川部

1. はじめに

日光砂防管内の鳴沢上流域では、土石流対策施設として鋼製透過型砂防堰堤が上下流に2基連続して計画されており、流域全体における計画時の整備率は土砂・流木ともに100%となる。透過型砂防堰堤が上下流に連続する場合、上流側の堰堤で巨礫の大部分が捕捉されると、下流側堰堤には透過部を閉塞させるに足る量の巨礫が到達しなくなることから、透過部で十分に土砂を捕捉できない可能性がある。¹⁾

また、『新編・鋼製砂防構造物設計便覧（令和3年度版）』には、土石流流下区間（河床勾配1/6勾配より急勾配となる区間を想定）において複数基の鋼製透過型砂防堰堤を配置する場合の縦部材純間隔の設定方法が記載されているが、当該砂防堰堤の配置区間は、河床勾配区分では土石流堆積区間（河床勾配1/30～1/6程度を想定）となるため、上記の記述に該当しない。

本発表では、土石流堆積区間に連続する鋼製透過型砂防堰堤の部材間隔が機能・効果に及ぼす影響を把握するため、地形の一部を切り出した水路実験を行い、その結果を考察したうえで、上流側の砂防堰堤設計に反映させた事例について報告するものである。

2. 基本条件

鳴沢上流域には第3砂防堰堤および第4砂防堰堤の2基が透過型として配置されており、堰堤間距離は300m程度である（図1）。基本諸元は表1に示すとおりであり、第3砂防堰堤の縦横部材間隔は『新編・鋼製砂防構造物設計便覧（令和3年度版）』に基づき、 D_{80} の1.0倍とした。

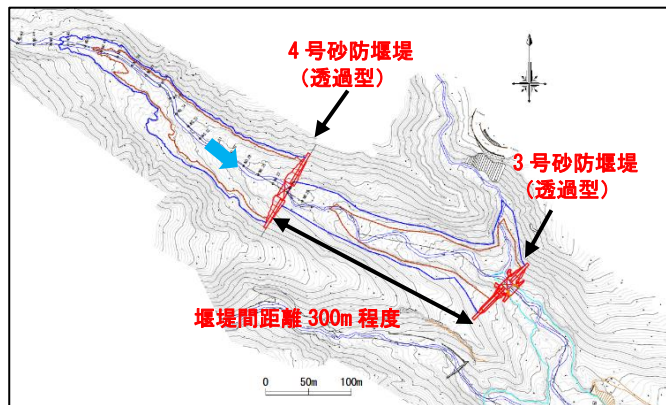


図1 施設配置状況

表1 基本諸元

	第3砂防堰堤 (下流側)	第4砂防堰堤 (上流側)
開口幅	10.0m	20.0m
透過部の高さ	12.0m	12.0m
現河床勾配	1/7.6	1/8.4
土石流ピーク流量	318m ³ /s	318m ³ /s
清水流量	111.10m ³ /s	79.33m ³ /s
最大礫径 D_{95}	1.10m	1.10m
最多礫径 D_{80}	0.85m	0.75m

3. 実験概要および結果

3.1 実験概要

土石流の流下特性として直進性が卓越する流れが挙げられる。鳴沢は縦断勾配が概ね一定であることから、河床勾配を一体で表現できる直線水路で実験を行うこととし、縮尺は1/80とした。また、直線水路では堆砂や侵食による川幅の変化が再現できないため、現地の地形に近づけるよう左右岸に傾斜角25°の斜面を設置する。加えて、流路部分では上流側で底幅0.25m（現地で20m）、下流側で0.125m（現地で10m）を平坦に確保し、台形断面模型としたうえで、底面と側面に実験砂の塗布により粗度調整を行った。



写真1 実験水路

3.2 実験条件

予備実験を行い、土砂供給地点から下流側の第3砂防堰堤地点まで土砂を到達させるための実験条件を表2に示す。なお、鳴沢は土石流堆積区間に相当することから石礫が土石流の先端に集中する「土石流状態」による流下状態とならない傾向にあるため、清水流量（79.33m³/s）を用いることとした。

表2 実験条件

水路	幅0.5m, 高さ0.5m, 長さ10.0m
水路勾配	1/8
給砂・給水方法	①段波を形成させるための土砂堆積(10l) + 段波を形成させる湛水 ②「①」供給後、清水流量(1.39l/s)を定流+10l/minで給砂(100l) ③「①」+「②」を2回実施(合計220l) ④「③」の後、清水流量(1.39l/s)を定流で給水

3.3 実験ケース

予備実験を実施したうえで、実験ケースは表 3のとおり設定した。評価項目は施設の機能として土砂捕捉効率が確認できるように以下3つの観点で評価した。

- ①施設効果量（流出土砂）
- ②分級効果（ふるい分け試験結果）
- ③鋼材重量

表 3 実験ケース

CASE	部材間隔		備考
	下流側施設	上流側施設	
CASE-1	縦部材：D80×1.0 横部材：D80×1.0	設置なし	CASE-2以降の実験の差異を確認するために実施
CASE-2	縦部材：D80×1.0 横部材：D80×1.0	縦部材：D80×1.0 横部材：D80×1.0	基本ケースとして河床勾配から設定される部材間隔の捕捉効果を確認するために実施
CASE-3	縦部材：D80×1.0 横部材：D80×1.0	縦部材：D80×1.5 横部材：なし	CASE-2と比較して、上流側堰堤の部材間隔を広く設定した場合の下流側堰堤の捕捉効果を確認するために実施
CASE-4	縦部材：D80×1.0 横部材：D80×1.0	縦部材：D80×1.5 横部材：中段より上部をD80×1.0	CASE-3と比較して、上流側堰堤の捕捉効果向上を図るため、横部材を上部にD80×1.0倍で配置して捕捉効果を確認するために実施
CASE-5	縦部材：D80×1.0 横部材：D80×1.0	縦部材：D80×1.5 横部材：中段より上部をD80×1.5	CASE-3とCASE-4を比較し、上流側堰堤の捕捉効果の差異を確認するため、横部材を上部にD80×1.5倍で配置して捕捉効果を確認するために実施

3.4 実験結果およびまとめ

各ケースの実験結果は表 4に示すとおり、3つの観点による比較結果を以下に示す。

1) 施設効果量（流出土砂）

上流側、下流側における「流出土砂」はCASE-3が最も少なくなるが、最終的な捕捉量の合計は全体の差異が1%程度となり、各ケースにおいて大きな差異がない。

2) 分級効果（ふるい分け試験結果）

下流側堰堤の縦横部材間隔は0.85mであり、透過部が完全に閉塞するための条件は「 $D_{95} \times 1.5$ 以下²⁾」とされている。このことから、礫径 $\phi 0.6m (=0.85/1.5)$ 以下であれば閉塞可能となるため、「4.8mm(実スケール0.6m)ふるい通過質量百分率」を第3砂防堰堤の下流側で確認した。「4.8mmふるい通過質量百分率」では、割合の高いCASE-5が最も良いケースとなり、流出量に通過百分率の逆数をかけた「4.8mmふるい通過土砂量(Q)」をみると、CASE-5と比べて、CASE-3で約65%、CASE-4で27%の差が生じていることから、CASE-5における捕捉に寄与する礫径の捕捉状況が良いことを示している。

3) 鋼材重量










最上流面に相当する部材のうち、「縦部材： $\phi 600 \times t22$ 」, 「横部材：構造部材 $\phi 600 \times t22$ ・機能部材 $\phi 267.4 \times t9.3$ 」として部材の延長より重量を算出した結果、最も重量が軽いCASE-3を1とした場合、最も重いCASE-2で65%増の重量と明確な差があるが、CASE-4およびCASE-5との差は2%程度となっている。

4) まとめ

上記内容を整理した結果、以下のとおりとなる。

捕捉量：CASE-2 < CASE-5 < CASE-4 < CASE-3
 流出量：CASE-5 > CASE-2 > CASE-4 > CASE-3
 分級効果：CASE-3 < CASE-4 < CASE-2 < CASE-5
 鋼材重量：CASE-2 > CASE-4 > CASE-5 > CASE-3

表 4 実験結果一覧

	CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4	CASE-5
上流側堰堤 透過部部材間隔					
上流側堰堤 最上流部材重量 (t)		99.9	80.5	62.2	61.5
下流側堰堤 透過部部材間隔					
1) 110目	76.9	40	40	40	40
上流堰堤	—	68	65.4	66	65.8
下流堰堤	32	0	2	1.5	1.9
流出土砂	1.1	2	2.6	2.5	2.3
2) 200目	—	136.7	100	100	100
上流堰堤	—	114	111.3	110.4	111.8
下流堰堤	—	22.7	8.7	8.6	8.6
合計	82	0.4	4	4.2	3.6
220目	2.3	5.6	4.7	5	4.6
水のみ	—	112.1	101.4	111.6	111
上流堰堤	—	112.1	101.4	111.6	111
下流堰堤	186.7	85.1	107.9	97	97.2
流出土砂	8.3	11.6	10.7	11.4	11.8
最終捕捉量合計 (上流堰堤+下流堰堤)	186.7	207.2	209.3	208.6	208.2
4.8mmふるい通過質量 (%)	68.8	86.9	77.5	83.7	87.6
4.8mmふるい通過 土砂量 (Q)	2.61	1.62	2.41	1.88	1.46

ここで、流出量および捕捉量については各ケースで明確な差が認められないことから「分級効果」および「鋼材重量」で比較する。その結果、鋼材重量はCASE-3, CASE-4, CASE-5の中で中位となるが、分級効果が最も優れるCASE-5（上流側施設の縦部材：D₈₀×1.5、横部材：中段より上部をD₈₀×1.5）を最適案として取り入れることとした。

4. 考察

鋼製透過型砂防堰堤を2基連続で配置する場合、上流側および下流側で効果的に礫捕捉ができるよう分級効果に着目する必要があると考えられる。最適案としたCASE-5では下流側堰堤に流出する粒径が粗い材料となることで、下流側堰堤での捕捉が早期に発揮されるうえ、流出土砂の粒径は細くなったと考えられる。

加えて、機能部材の間隔が広がることで、鋼材重量が低減され、材料費や施工費のコスト縮減を図ることができた。

また、予備実験の中で、土石流堆積区間における鋼製透過型砂防堰堤の部材間隔をD₉₅×1.5とした場合、土砂捕捉機能が発揮できておらず、D₈₀×1.0とした場合、土砂捕捉を確認している。

したがって、土石流堆積区間における鋼製透過型砂防堰堤の部材間隔は最多礫径帯のD₈₀を用いた部材間隔とすることが重要であると確認できた。

参考文献

- 1) 溝口ら(2023):連続する砂防堰堤の型式と配置が機能・効果に及ぼす影響について,令和5年度砂防学会研究発表会概要集, p.309-310
- 2) 土石流対策技術指針(案)平成12年7月 建設省砂防部砂防課