

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

(株) 建設技術研究所 ○溝口裕也, 戸舘 光, 今井健太
青森県 伊賀隆幸, 三浦功誠
(一財) 砂防・地すべり技術センター 嶋 丈示
(株) C T I リード 丸田 龍一郎

1. はじめに

下北地域県民局管内では、竣工後に改築実績がなく50年以上経過している施設も多く、老朽化による機能の低下が懸念されるところである。対象溪流である小松野川では、老朽化対策として現行基準への適合ならびに機能向上のための改築が計画されている。

最下流端の4号堰堤は現在補強工事が行われており、透過型への改築が予定されている。2基目、3基目にあたる1号堰堤と5号堰堤も機能向上のため透過型への改築検討が進められているが、連続する砂防堰堤群が透過型になった場合、上流側の堰堤で大礫が捕捉されると下流側には中小礫しか流下しなくなるため、下流堰堤の透過部で十分に土砂を捕捉できない現象が生じる可能性がある。また土石流危険溪流であっても、砂防堰堤群が設置された状況では、溪床は階段状になり溪床勾配は緩くなるため、土石流は集合流動形態から各個運搬形態に変化し、土石流対応の透過型では土砂が捕捉されない可能性がある。本発表では、連続する砂防堰堤の型式と配置が、機能・効果に及ぼす影響を把握するため水路実験を行い、その結果を考察し、改築設計に反映させた事例について報告するものである。

2. 現況施設配置状況

小松野川には現在、砂防堰堤6基、治山堰堤2基が整備されており、堤高は5～7mと全体的に低く、砂防堰堤は3号堰堤を除き全て不透過型型式である。下流域には人家が多く存在し、これらが保全対象となる。また、現況整備率は土砂56.2%、流木23.3%と低い状況にある。

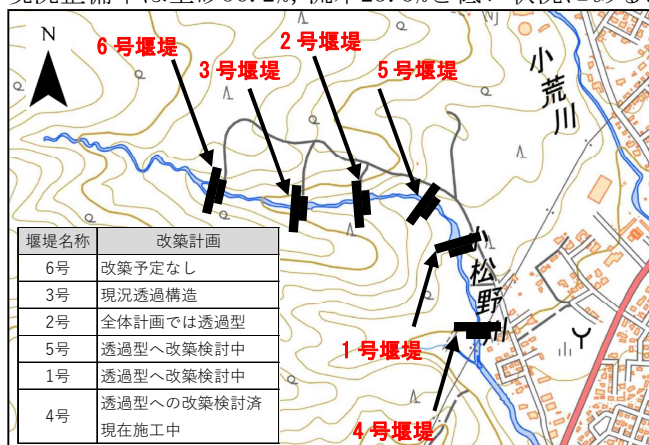


図1. 小松野川現況施設配置状況

3. 基本諸元

当該流域は西から東へ流下するほぼ直線上の溪流であり、平均溪床勾配は上流0次谷(L=1.77km)で1/4.7、下流1次谷(L=2.01km)で1/12.7となっており、砂防堰堤工群のみに着目すると1/9.0と、土石流は集合流動運搬から各個運搬に変化する移行領域(土石流堆積区間)に該当する。また、礫径調査は4号～5号堰堤間で、最大礫径 D_{95} は60cm、最多礫径 D_{80} は30cmであった。なお、計画流出量は土砂24,390 m^3 、流木1,385 m^3 である。

4. 実験概要および結果

4. 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。また、小松野川には湾曲部はあるものの川幅が大きく変化しておらず、縦断形状の変化が土石流の流下形態への影響度が大きいと考えられることから、実験は直線水路(W=0.3m, H=0.3m, L=10.0m)で行うこととし、給水能力、給砂量および粒径の相似性の関係から、縮尺は1/70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45°の斜面を設置した。

対象とする堰堤は、水路延長の関係から4号、1号、5号堰堤の3基として、水路溪床ならびに堰堤堆砂敷は固定床とした。実験では、不透過型、透過型の組み合わせの違いによる下流への流出土砂量と粒度分布、堆積土砂量の変化を比較するものとした。

4. 2 実験条件

1) 水路勾配：4号堰堤から5号堰堤まで勾配は変化しているが、改築対象区間の中間値の1/9を基本として、土石流挙動確認のため1/4とした場合を加えた。

2) 対象流量：土石流ピーク流量125.8 m^3/s

3) 供給土砂量：1波の土石流による流出する土石量7,970 m^3 と2回で分かれて流出する場合も想定し、3,985 $m^3 \times 2$ として供給するケースも実施する。

4) 実験砂：礫径調査結果を基本とするが、全量の容積調査ではないため、全国の主な土石流発生溪流の粒度分布加積曲線を参考に粒度分布を設定した。

5) 型式モデル：不透過型型式を含む実験ケースの場合、満砂している状態を想定したモデルとした。

4. 3 実験ケース

実験ケースを下表に示す。なおCASE1, CASE2およびCASE7_1, CASE7_2は比較参考実験である。

表 1. 本実験ケース一覧

CASE	水路勾配	供給土砂量 (m^3)	清水流量 (m^3/s)	4号堰堤	1号堰堤	5号堰堤
1	1/4	7,970	69.7	—	—	—
2	1/4	7,970	69.7	—	不透過 (満砂)	不透過 (満砂)
3_1	1/9	7,970	90.2	透過	不透過 (満砂)	不透過 (満砂)
3_2	1/9	3,985×2	90.2	透過	不透過 (満砂)	不透過 (満砂)
4_1	1/9	7,970	90.2	透過	透過	透過
4_2	1/9	3,985×2	90.2	透過	透過	透過
5_1	1/9	7,970	90.2	透過	透過	不透過 (満砂)
5_2	1/9	3,985×2	90.2	透過	透過	不透過 (満砂)
6_1	1/9	7,970	90.2	透過	不透過 (満砂)	透過
6_2	1/9	3,985×2	90.2	透過	不透過 (満砂)	透過
7_1	1/9	7,970	90.2	不透過 (満砂)	不透過 (満砂)	不透過 (満砂)
7_2	1/9	3,985×2	90.2	不透過 (満砂)	不透過 (満砂)	不透過 (満砂)

4. 4 実験結果

1) 土石流フロント部の土砂濃度の変化

4号堰堤から流出する土石流フロント部の土砂濃度と水路全長間長(L_0)に占める1/2堆砂勾配区間長の累計(L_1)の割合を表2に示す。参考実験として実施したCASE1, CASE2では堰堤の有無により土砂濃度に影響を与えることを確認した。CASE3以降の実験では、 L_1/L_0 の値が大きいほど勾配が緩い区間が長いことを示し、不透過型の設置数が多い、すなわち緩い区間が長いCASEほど土砂濃度は小さくなることを確認した。

表 2. 土石流フロント部の流出土砂濃度と L_1/L_0 との関係

CASE	水路勾配	採取土砂量 (cc)	容積土砂 濃度 (%)	1/2堆砂勾配 区間長 L_1 (mm)	水路全長間長 L_0 (mm)	L_1/L_0
1	1/4	3,900	53.8	0	7,241	0.000
2	1/4	3,750	43.0	1,656	7,241	0.229
3_1	1/9	260	4.1	2,129	7,241	0.294
4_1	1/9	275	5.5	1,175	7,241	0.162
5_1	1/9	320	5.2	1,652	7,241	0.228
6_1	1/9	250	4.8	1,652	7,241	0.228
7_1	1/9	200	2.9	2,484	7,241	0.343

2) 4号堰堤からの流出土砂

4号堰堤から流出する土砂を実験ケースごとに、土石流フロント部と全流出土砂に分けて採取し、 D_{80} 以上の土砂が流出する割合を表3に整理した。

表 3. 粒径 D_{80} 以上の流出土砂量 (上段 1 波, 下段 2 波)

CASE	土石流フロント部土砂量			下流端流出土砂量		
	D_{80} 以上 (cm^3)	土砂全量 (cm^3)	D_{80} 以上 割合	D_{80} 以上 (cm^3)	土砂全量 (cm^3)	D_{80} 以上 割合
3_1	1.0	260	0.4%	554.7	2,980	18.6%
4_1	6.4	275	2.3%	117.0	2,880	4.1%
5_1	21.8	320	6.8%	110.3	2,860	3.9%
6_1	21.0	250	8.4%	242.6	3,180	7.6%
7_1	0.9	200	0.5%	188.0	2,880	6.5%

CASE	土石流フロント部土砂量			下流端流出土砂量		
	D_{80} 以上 (cm^3)	土砂全量 (cm^3)	D_{80} 以上 割合	D_{80} 以上 (cm^3)	土砂全量 (cm^3)	D_{80} 以上 割合
3_2_2	15.0	250	6.0%	126.0	2,100	6.0%
4_2_2	8.0	250	3.2%	197.9	1,940	10.2%
5_2_2	12.3	350	3.5%	323.2	2,260	14.3%
6_2_2	12.4	230	5.4%	151.9	1,420	10.7%
7_2_2	12.7	310	4.1%	164.6	2,420	6.8%

1波の場合, CASE3, CASE7では土石流が減勢され土石流フロント部では集合流動ではなかった可能性がある。特にCASE3では, 下流の流出土砂 D_{80} 以上の土砂が多く, 巨礫が流出する可能性がある。2波の場合は, 最初の1波目で各堰堤においてその機能を発揮するため, 2波目はさらに減勢される。その状況はCASE4, 5, 6で1波の場合ほど効果的ではないことが確認される。

3) 堰堤型式と土砂捕捉効果

1号堰堤および5号堰堤の堰堤型式の違いによる土砂捕捉効果を表4に整理した。なお, 堰堤が複数基連続して配置されている場合, 上流側の堰堤で土砂捕捉あるいは調節効果が発揮されると, 下流側への流出土砂量が減少するため, 1号堰堤および5号堰堤の土砂捕捉量の合計で評価するものとした。結果, CASE4が総合的に見て捕捉効果は高くなることを確認した。

表 4. 砂防堰堤型式の違いによる土砂捕捉量 (上段 1 波, 下段 2 波)

CASE	流出土砂量 (%)	4号堰堤土砂 捕捉量 (%)	1号堰堤土砂 捕捉量 (%)	5号堰堤土砂 捕捉量 (%)	1号+5号の土砂 捕捉量 (%)
3_1	12.8	12.3(透過)	28.1(不透過)	46.7(不透過)	74.8
4_1	12.4	4.1(透過)	22.8(透過)	60.7(透過)	83.5
5_1	12.3	4.4(透過)	31.8(透過)	51.5(不透過)	83.3
6_1	13.7	10.0(透過)	14.7(不透過)	61.6(透過)	76.3
7_1	12.4	12.6(不透過)	27.2(不透過)	47.8(不透過)	75.0

CASE	流出土砂量 (%)	4号堰堤土砂 捕捉量 (%)	1号堰堤土砂 捕捉量 (%)	5号堰堤土砂 捕捉量 (%)	1号+5号の土砂 捕捉量 (%)
3_2	9.1	7.1(透過)	18.6(不透過)	65.3(不透過)	83.9
4_2	8.4	4.1(透過)	13.2(透過)	74.4(透過)	87.6
5_2	9.7	4.0(透過)	23.1(透過)	63.2(不透過)	86.3
6_2	6.1	5.6(透過)	8.4(不透過)	79.8(透過)	88.2
7_2	10.4	8.5(不透過)	17.6(不透過)	63.4(不透過)	81.0

5. 考察

実験の結果より, 4号堰堤, 1号堰堤, 5号堰堤を組合せた場合に効果的なのはCASE4_1およびCASE5_1となったが, D_{80} 以上の流出土砂量に着目するとCASE4_1の方が土石流に含まれる巨礫が少なく, より効果的であるといえる。ただし, 3基全てを透過型とした場合, 上流の堰堤ほど多く土砂を捕捉する傾向にあり, 4号堰堤の捕捉土砂量は土石流規模の大小に関わらず少なくなる。

また, 今回の実験における土石流1波の場合と2波の場合を比較すると, 2波の場合では, 上流の5号堰堤で大量の土砂を捕捉することで, 4号堰堤に流れ込む土砂量および下流に流出する土砂量が1波の場合よりも少なくなっている。この傾向は全てのケースでいえる。

今回の実験では流木を考慮していないが, 5号堰堤, 1号堰堤で流木が捕捉され, それに付随して礫の捕捉も多くなり, 4号堰堤に流れ込む土砂はさらに細かな粒径のものになり, 量も少なくなると考えられる。

以上より, 4号堰堤が設計時に想定された効果を発揮するためには, 透過部の鋼材間隔を狭めるなど改善策が求められる。