

## 既設鋼製砂防堰堤の上流側に配置する減勢工に関する実験的考察

防衛大学校 ○小松喜治 堀口俊行 香月 智

## 1. 緒言

近年、土石流の影響により砂防堰堤が損壊するといった事例が発生している。これらの損壊例では、設計荷重に対しては十分な耐力があるものの、想定された設計荷重をはるかに超える外力によって損壊したとされている。

著者ら<sup>1)</sup>は、南木曽で発生した土石流における被災事例を参考に、鋼製砂防堰堤前面傾斜が衝撃荷重に及ぼす影響について検討した。その結果、堰堤前面下部に先行して到達した礫群がわずかに速度を失うことで堆積し、後続して到達する礫群がせり上がる間に生じる摩擦により制動効果を発揮するとの知見を得た。

そこで本研究は、先行停止礫の制動効果を活用するために、既存堰堤の前面から若干離隔したところに小規模の透過型堰堤（以下、減勢工と呼称する。）を設置することにより土石流の衝突エネルギーを減勢する方法を提案する。

## 2. 実験の概要

## 2.1 実験装置

本実験では、水路長 4.5 m、水路幅 30 cm、深さ 50 cm であり、水路勾配 ( $\theta = 0 \sim 20^\circ$ ) は任意に設定ができる可変勾配型直線水路を用いた。本実験は南木曽をモデルとしているため勾配は  $11.3^\circ$  と設定した。

また、本実験では堰堤に水平方向に作用する荷重を計測するために分力計と 2 個のロードセルを使用して実験を行った。

## 2.2 堰堤モデル

写真-1 に堰堤モデルを示す。堰堤モデルは、高さ 270 mm、幅 290 mm、奥行き 50 mm であり、径 16 mm の木製円柱の内部を貫く直径 12 mm の鋼材によって部材を固定している。

## 2.3 前置減勢工

写真-2 に、減勢工の設置要領を示す。柱が等間隔に立っている減勢工を設置した。前置減勢工の間隔は、最大礫径 (D) の 1 倍とし、減勢工高 (h) と離隔距離 (L) を変化させて実験を行った。ここで D は最大礫径の 3 cm を表している。減勢工の高さは 1～3D、本堰堤との離隔距離は 1D および 2D と変化させた。

## 2.4 土石流モデル

表-1 に礫の諸元を示す。礫モデルは、呼称粒径 10 mm、20 mm、30 mm を体積比 1:1:1 で混合しており、前置減勢工のない場合に、土石流の礫が堰堤を乗り越えない限界となるように設定したものである。

## 2.4 実験ケース

実験ケースは、以上の条件を組み合わせる表-2 に示す 7 ケースとなり、各ケース 5 回ずつ行った。以後、実験ケースは堰堤モデルと減勢工の条件を組み合わせ、表-1 に示す呼称名を用いるものとする。

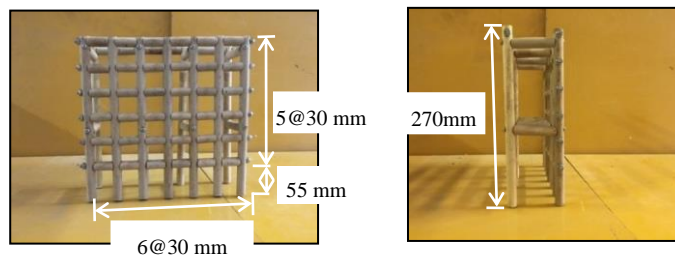
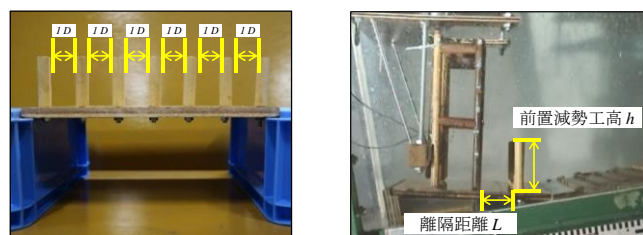


写真-1 堰堤モデル



(a) 正面図

(b) 側面図

写真-2 前置減勢工

表-1 礫の諸元

呼称	比重	粒径	質量 (kg)	備考
礫モデル・小	2.6	15 mm 以下	16	玉砂利
礫モデル・中		16 - 25	12	
礫モデル・大		26 mm 以上	7	

表-2 実験ケースと呼称名

離隔距離 (L)	実験名	前置減勢工高 (h)			
		減勢工無	1D	2D	3D
1D	case-	none	L1D- h1D	L1D- h2D	L1D- h3D
2D			L2D- h1D	L2D- h2D	L2D- h3D

※ D・・・最大礫径

## 3. 実験結果

## 3.1 衝突堆積過程

写真-3 に、case-none の衝突堆積過程を示す。写真-3(a)は、衝突直前のものであり、堰堤に近づく土石流は底面粗度によって流水と礫材の前面が高く盛り上がる段波形状で接近している。写真-3(b)は、土石流の先端が堰堤に到達したときのものである。径の大きい白い礫が先端に集中する偏析が生じ、堰堤下部に衝突し始めている。また、先端部の水は堰堤を抜け、礫のみが衝突している。写真-3(c)は、土石流荷重が最も大きくなるときのものである。このときに堰堤前面で止められた礫の高さは最高点に達している。写真-4 に case-L2D-h3D の衝突堆積過程について示す。写真-4(a)は、衝突前のものであるが case-none の場合とほぼ同じ流下形状で接近している。写真-4(b)で、土石流の先端が前置減勢工に到達している。先行した礫は前置減勢工によって捕捉され、後続の礫が接近しており、水のみが減

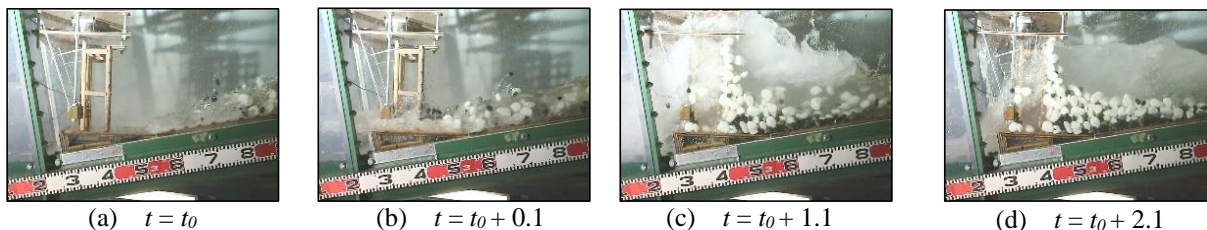


写真-3 礫の衝突堆積過程（case-none）

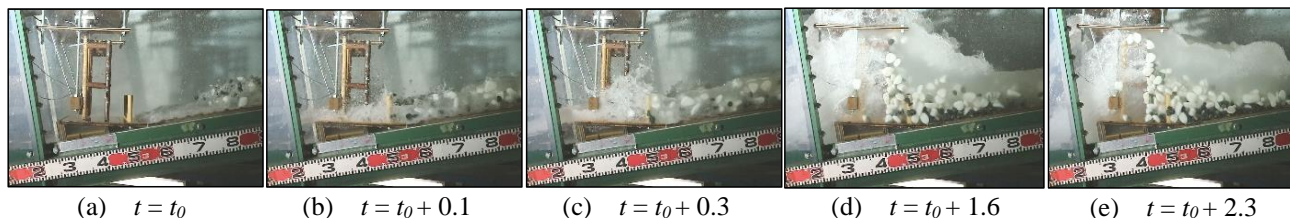


写真-4 礫の衝突堆積過程（case-L2D-h3D）

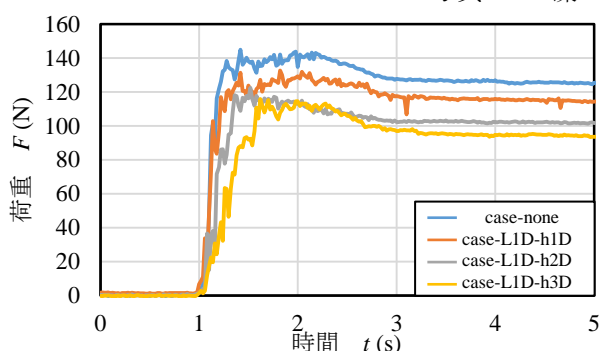


図-4 減勢工高ごとの荷重～時間関係 ( $L = 1D$ )

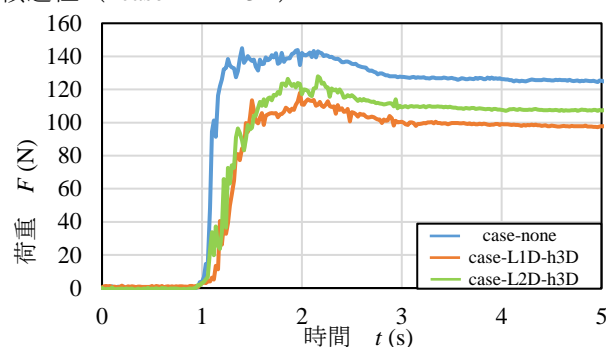


図-5 離隔距離ごとの荷重～時間関係 ( $h = 3D$ )

勢工と堰堤を抜けて流下している。写真-4(c)は、後続の礫が減勢工を乗り越え、礫が堰堤に衝突するときのものである。減勢工により停止した礫を乗り越えた後続の礫が堰堤に衝突している。写真-4(d)は、最大衝撃荷重時のものである。case-none とよく似た堆積形状をしているが、下部に停止している礫（形状がぼやけていない）の領域が、若干 case-none よりも上流側に伸びている。また、堰堤と減勢工の間隙を飛び越すように衝突している。

### 3.2 前置減勢工高による効果

図-1は、離隔距離  $1D$  のときの減勢工高ごとの荷重～時間関係を示す。減勢工が無い場合、 $0.4$  s で最大衝撃荷重  $145$  N に達している。減勢工高  $1D$  のときも同様に  $0.4$  s で最大衝撃荷重  $132$  N に達しており、無い場合と比較した場合、明らかに低減されている。また、前置減勢工高  $2D$  のときは  $0.5$  s で最大衝撃荷重  $122$  N に達し、減勢工高  $3D$  のときは  $0.6$  s で  $115$  N に達している。ここで、減勢工高が  $3D$  のものを設置することにより約  $20\%$  低減している。よって、減勢工高を高くするにつれて、最大衝撃荷重およびそれに達するまでの時間は長くなっている。つまり、減勢工によって停止した礫が後続の礫との間に摩擦が働くことで土石流の衝突する速度は低下し、土石流の衝突するときの荷重は低減されているということが考えられる。

### 3.3 離隔距離による効果

図-2は減勢工高  $3D$  のときの離隔距離ごとの荷重～時間関係を示す。減勢工がない場合は、土石流が衝突と同時に荷重が急激に増加するのに対して、減勢工を設

置することで荷重はなだらかに増加し最大値に達している。これは写真-4に見られるように、減勢工を設置したことにより、先行礫は減勢工が無い場合よりも堰堤の手前で停止するため、後続礫は停止した礫と衝突する距離は延び、減速させているためと考えられる。また、離隔距離  $2D$  よりも  $1D$  の方が荷重はほぼ全領域で小さくなっていることがわかる。ここで、case-none における最大衝撃荷重は  $145$  N、case-L1D-h3D では  $118$  N、case-L2D-h3D では  $128$  N であり、比較すると離隔距離  $1D$  に設置することにより約  $20\%$  低減している。

## 4. 結 言

- 1) 減勢工を設置すると、土石流の衝撃荷重の立ち上がりの時間が長くなり緩やかになる。その結果、衝撃荷重の最大値も小さくなり、かつ、その低減の影響を受けて、静止状態での堰堤に作用する堆砂圧としての荷重も小さくなる。また、本実験においては減勢工高  $3D$ 、離隔距離  $1D$  のとき効果が生ずると考えられる。
- 2) 本研究では、減勢工の高さおよび離隔距離に関する比較であったが、今後は前置減勢工の形状や河川横断方向の間隔についても検討する必要がある。

## 参考文献

- 1) 小松喜治, 堀口俊行, 香月智, 石川信隆, 水山高久: 鋼製透過型砂防堰堤の前面傾斜角が土石流衝撃荷重に及ぼす影響, 構造工学論文集, Vol.64A, pp.779-788, 2018.3.