

## 低段落水路における粗礫斜路式減勢工の提案

## Proposal of energy dissipator due to stacked boulders in sloping apron below low drop

安田陽一<sup>1</sup>, ○増井啓登<sup>2</sup>Youichi Yasuda<sup>1</sup>, \*Keito Masui<sup>2</sup>

**Abstract:** The energy dissipation due to jump formation has been applied for drop structure. But, river bed scouring was occurred by the flow over drop structure during flood stages. From the view point of protection against scouring below drop, the formation of surface jet flow should be recommended. This report presents the proposal of energy dissipator due to stacked boulders in sloping apron below low drop. The experimental investigation reveals that a high velocity flow passing over the stacked boulders decays along the water surface by the formation of surface jet flow. The maximum velocity decays for several types of relative downstream depths were shown under given Froude number and relative drop height.

## 1. まえがき

ダムなどの落差を有する構造物が放流される高速流の持つ高いエネルギーによって、落差構造物下流側の河床低下または川岸は侵食されることを防ぐ為に、減勢工が設置することが規定とされている<sup>[1]</sup>。従来の減勢方法として、主に跳水現象を用いたものが一般的であり、特に段落部を設けて潜り込み流れを利用し、跳水を安定した位置で形成させる方法がある。しかし、跳水中の主流が常に河床に沿う状態となるため、護床ブロック等による河床保護を行っても、河床低下および局所洗掘を招く事例が頻発している<sup>[2]</sup>。すなわち、跳水による減勢工では河床低下対策の抜本的な解決に至らない。河床低下対策として、落差部において潜り込ませるのではなく、主流を河床に衝突させないために、水面に沿う流れを形成させることが重要である。ここでは、低段落水路の範囲となる相対落差を対象に、段落部の流れでは潜り込み流れが形成される領域で主流を水面に沿うように、粗礫を用いた粗礫斜路式減勢工の提案をする。また、段落上のフルード数と減勢工の勾配を変化させ、粗礫斜路およびその下流側の減衰状況について実験的検討を行った。

## 2. 粗礫斜路式減勢工の提案

段落部からの射流の流れに礫による形状抵抗が生じるようにし、かつ礫による斜路の勾配を小さくすることによって射流からの常流へ遷移する流れが水面に沿うように石組みを有する粗礫斜路式減勢工を提案する (Figure 1 を参照)。石組み設置区間では礫の傾きが 20~40° となるようにし、石同士の接点を常に持たせ、下の石を上の上の石で押さえ込むように石組みしている。

## 3. 実験方法

実験には水路幅 0.80m、水路高さ 0.60m、水路長さ 18m を有する長方形断面水平水路を用いた。また、段落高さ  $s$  を設定できる板 (高さ 0.032m、幅 0.798m、長さ 1.40m) を重ねるように設置し、低段落水路を対象に

実験を行った。粗礫斜路式減勢工に用いた巨礫は 0.04~0.07m 径、砂利は 0.01~0.02m 径のものを用いて、所定の減勢工の寸法 (流下方向長さ  $L$ 、幅  $B$ 、減勢工の勾配  $i$ ) に合わせて設置した。Table 1 に示す実験条件のもとで、相対落差  $s/h_1$  ( $s$ : 段落高さ,  $h_1$ : 段落上の斜流水深)、段落上のフルード数  $F_1$  ( $F_1 = V_1/\sqrt{gh_1}$   $V_1$ : 段落上の平均流速,  $g$ : 重力加速度) および粗礫設置区間の勾配と設置長さを変化させ、さらに、下流水深  $h_a$  を水路下流端に設置しているゲートを用いて変化させ、主流が水面に沿った流況であることを確認し、減勢状況を把握するために各測定断面の流速 (鉛直方向  $z$ 、横断方向  $y$ 、流下方向  $x$ ) の測定した。なお、流速の測定にはプロペラ式流速計 (KENEK 社製) を用いた (時間平均時間: 20 秒)。また、流況観測を動画、写真に記録した。

Table 1. Experimental conditions

$s/h_1$ (-)	$Q$ ( $m^3/s$ )	$F_1$ (-)	$i$ (-)	$L$ (m)	$Re$ (-)
3	0.0287	2	5%	1.08	42607~44084
			10%	0.54	
	0.043	3	5%	1.08	63911~66127
			10%	0.54	



Figure 1. Physical model of stacked boulders in sloping apron below drop.

1: 日大理工・教員・土木 2: 日大理工・土木・学部

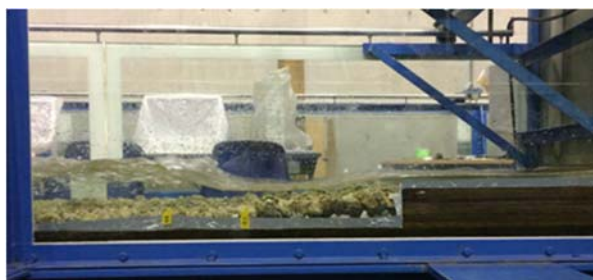


Figure 2. Flow condition for  $F_1=3$ ,  $i=5\%$ , and  $h_d/h_1=5.31$ .



Figure 3. Flow condition for  $F_1=3$ ,  $i=10\%$ , and  $h_d/h_1=5.31$ .

#### 4. 流況の説明

Figure 2, Figure 3 は粗礫斜路式減勢工に形成された流況の一例を示す。図に示されるように、段落上を通過する射流の流れが粗礫上で水面に沿う流れとなることが確認できた。また、Table 1 に示す実験条件では、鉛直面を有する段落部での潜り込み流れが形成される領域内で常に水面に沿う流れとなった。これは、粗礫による形状抵抗および粗礫設置勾配が小さいことによつて射流から常流へ遷移するときに主流が水面に沿い易くなったためと考えられる。粗礫設置勾配  $i$  による違いによつて、 $i$  が大きくなるほど斜流から常流へ遷移するときの流線の曲がりが大きくなる。ただし、水面に沿う流れの領域では、波状跳水で見られる定常的な波の凹凸が形成されず、短区間で水面が安定する状態となる。

#### 5. 最大流速の減衰状況

Figure 4, Figure 5 は、段落部より下流側の最大流速の減衰状況を示す。図に示されるように、 $F_1=3$  の場合、 $i=5\%$ ,  $10\%$  共に、 $x/h_1 < 50$  の範囲で最大流速が減衰していることが分かった。また、 $i=5\%$ ,  $i=10\%$  ともに  $x/h_1 \leq 30$  で最大流速の減衰が大きく、粗礫による形状抵抗が大きかったものと考えられる。なお、 $30 \leq x/h_1 \leq 50$  では主流の位置（各測定断面において流下方向の流速が最大となる位置）が水面近くにあることから、自由噴流と同様な減衰状況となる。

#### 6. まとめ

主流を河床に衝突させないために、低段落水路の範囲となる相対落差を対象に、粗礫を用いた粗礫斜路式減勢工の提案をした。

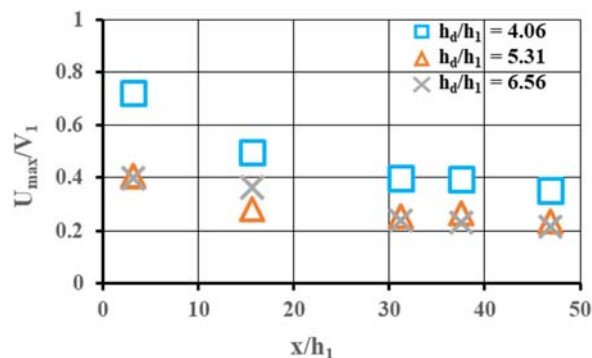


Figure 4. Maximum velocity decay along center line for  $F_1=3$  and  $i=5\%$ .

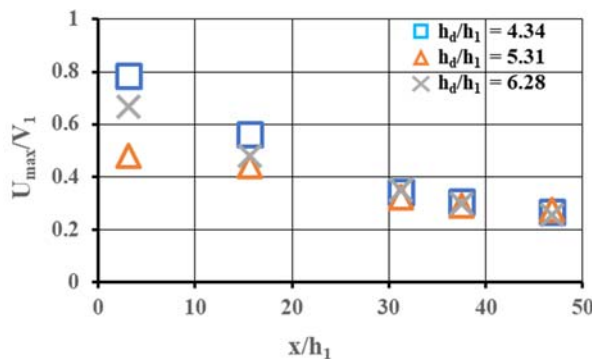


Figure 5. Maximum velocity decay along center line for  $F_1=3$  and  $i=10\%$ .

低段落水路の範囲となる相対落差を対象に、粗礫斜路式減勢工による主流が水面に沿う流れについて実験的検討を行った。その結果、鉛直面を有する段落部での潜り込み流れが形成される領域内で段落上を通過する流れが水面に沿う流れとなることを確認した。粗礫設置勾配  $i$  が大きくなるほど射流から常流へ遷移する際に流線の曲がりが大きくなった。段落部下流側の最大流速の減衰状況では、 $F_1=3$  の場合、 $i=5\%$ ,  $10\%$  共に、 $x/h_1 < 50$  の範囲で減衰し、 $x/h_1 < 30$  で最も減衰が大きくなった。今後は、相対落差や段落条のフルード数、減勢工の勾配の条件を拡張し、最大流速の減衰状況および流速分布など検討を行い、提案した減勢工の有効性を確立していきたい。

#### 参考文献

- [1] 建設河川局監修：「建設省河川砂防技術基準（案）同解説・設計編[I]」，改訂新版，技法堂出版，pp.48-60，2012
- [2] 安田陽一：「石組みを利用した減勢工に関する実験から実務への適用とその結果」，土木学会河川技術論文集，第 23 巻，pp.639~644，2017.
- [3] Ohtsu, I. and Yasuda, Y., "Transition from supercritical to subcritical flow at an abrupt drop", Journal of Hydraulic Research, IAHR, Vol.29, pp.309-328.1991