

低落差下流の減勢機能に対する石組み粗礫斜路の設置効果

Effect of installation of stacked boulders on dissipation facility below low drop structures

日本大学理工学部 正会員 安田 陽一

日本大学大学院理工学研究科 学生会員 ○増井 啓登

1. まえがき

堰や床止めなどの落差を有する横断構造物では、落差下流側で跳水などの潜り込んだ流れを形成させる減勢方法が、河川砂防技術基準によって規定されている¹⁾。しかし、越流した高速流の持つ高いエネルギーによって、落差下流側の河床低下または川岸が侵食される事例が多発している²⁾。

これらの河床低下対策として、本研究室では、低段落水路となる相対落差を対象に、落差部下流側にて潜り込み流れが形成される領域³⁾で、水面付近に主流を位置させ、河床への負荷が軽減される石組み粗礫斜路式減勢工を提案している⁴⁾。その一方で、同一の流量、落差高さ、下流水位に対して、石組み粗礫斜路の設置有無によって減勢機能が、どのように異なるのか定量的に比較したものが提示されていない。

本研究では、低段落水路を対象に、同一の相対下流水深および相対落差の条件のもとで、石組み粗礫斜路の設置有無によって、落差下流側の流況、流速特性の違いを実験的に示した結果を報告する。

2. 実験方法

実験は、矩形断面水平水路（水路幅 $B=0.80$ m、水路高さ 0.60 m、水路長さ 14.5 m）を用いた。落差下流側で形成される跳水では、落差模型（高さ 0.10 m、幅 0.798 m、長さ 1.40 m）を設置し、石組み粗礫斜路式減勢工では、堰高さ s を設定できる板（高さ 0.032 m、幅 0.798 m、長さ 1.40 m）を重ねるように設置した。それぞれ低段落水路となる範囲³⁾である $0.5 \sim 1.5 \leq h_m/h_1 \leq 8.0 \sim 9.0$ を対象に、相対落差 h_m/h_1 （ h_m は落差高さ、 h_1 は段落上の射流水深）、段落上のフルード数 F_1 （ $F_1 = V_1/\sqrt{gh_1}$ 、 V_1 は h_1 における平均流速、 g は重力加速度）、斜路の設置勾配 i を表 1 に示す条件のもとで実験的検討を行った。ここで、段落上とは落差模型下流端から $3.5 h_1$ 上流側の位置であり、Brink depth で生じる流線の曲率の影響が無視できる³⁾。石組み粗礫斜路に用いた巨礫は $0.04 \sim 0.07$ m 径、砂利は $0.01 \sim 0.02$ m 径である。また、相対粗度 ε/d_c （ ε は斜路の凹凸高さ、 d_c は限界水深）は、斜路の凹凸高さをポイントゲージで測定した。

実験では、 h_m/h_1 および F_1 を与え、落差下流側の相対水深 h_d/h_1 （ h_d は落差下流側の水深）を水路下流端に設置しているゲートを用いて h_d を変化させ、各無次元量を設定し、動画および写真で記録した。また、流速特性を把握するために、各測定断面（落差模型下流端を原点とした流下方向および横断方向、鉛直方向）での流下

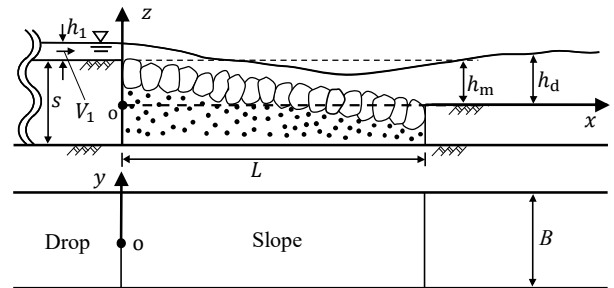


図 1 石組み粗礫斜路式減勢工の定義図

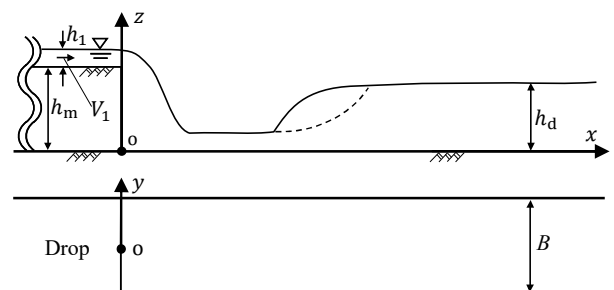


図 2 落差下流側での跳水の定義図

表 1 実験条件

	h_m/h_1 (-)	ε/d_c (-)	F_1 (-)	i (-)	$R_e \times 10^4$ (-)
Stacked Boulders	0.79	0.09~0.18	1.00	1/10	11.7~12.2
Hydraulic jump	0.79	-	1.00	-	10.8~11.9

方向の流速 u の測定を行った。なお、KENEK 社製の I 型プローブを有する 2 次元電磁流速計（測定時間 30 sec、測定間隔 0.05 sec (20 Hz)）およびプロベラ式流速計（測定時間：20 sec）を使用した。

3. 落差下流側での主流の発達状況に関する比較検討

図 3、4 は、同一の h_d/h_1 の条件下で、各減勢方法における主流の位置の発達状況を示す。各測定断面における落差下流側の最大流速 U_{max} （時間平均した値）が生じる鉛直位置 z_1 を d_c で無次元化し、流下方向の測定位置 x を無次元化した x/d_c との関係で整理した。

図 3、4 に示されるように、与えられた h_m/h_1 、 h_d/h_1 に対して、段落上で限界流が形成される条件下では、石組み粗礫斜路式減勢工の場合、水面に沿った流れが形成されているのに対して、跳水による減勢方法の場合

キーワード 低段落水路、主流の位置、底面流速の減衰、局所流、石組み型減勢工

連絡先 東京都千代田区神田区神田駿河台 1-8 TEL.03-3529-0409 E-mail.cske19006@g.nihon-u.ac.jp

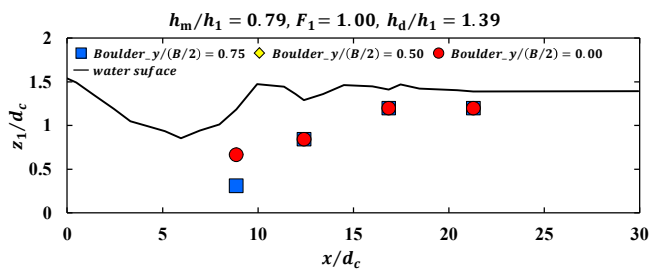


図3 主流の発達状況(粗礫斜路式減勢工有りの場合)

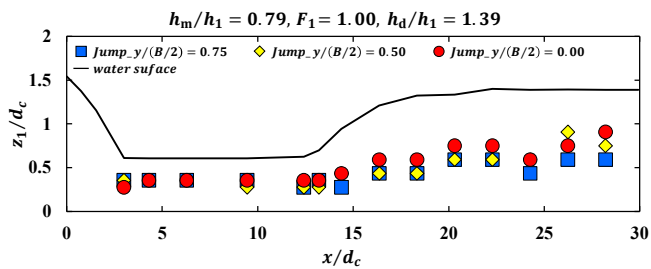


図4 主流の発達状況(粗礫斜路式減勢工無しの場合)

は、露出射流が形成された。また、石組み粗礫斜路式減勢工では、少なくとも x/d_c が 9.0 以上で主流の位置が水面に向かう。一方、跳水による減勢方法では、 $x/d_c < 25$ の範囲でも、主流が底面付近に位置することがわかる。このことから、跳水を用いた減勢方法では、河床への負荷が大きくなるが、石組み粗礫斜路のような減勢方法だと、速やかに主流を水面付近に上昇させることが推定される。

4. 落差下流側での流速の減衰状況に関する比較検討

図5は、同一の h_d/h_1 の条件下で、各減勢方法における最大流速の減衰状況を示す。各測定断面における落差下流側の最大流速 U_{max} (時間平均した値) を限界流速 V_c で無次元化し、流下方向の測定位置を無次元化した x/d_c との関係で整理した。

図5に示されるように、与えられた h_m/h_1 , h_d/h_1 に対して、段落上で限界流が形成される条件下では、どちらの減勢方法でも、 x/d_c が 13 以上では、減衰傾向は概ね変わらないことがわかった。

図6は、同一の h_m/h_1 , h_d/h_1 の条件下で、各減勢方法における底面流速の減衰状況を示す。各測定断面における落差下流側の底面流速 u (時間平均した値) を V_c で無次元化し、流下方向の測定位置を無次元化した x/d_c との関係で整理した。

図6に示されるように、与えられた h_m/h_1 , h_d/h_1 に対して、段落上で限界流が形成される条件下では、 $x/d_c < 21$ の範囲で変化傾向が大きく異なり、石組み礫斜路式減勢工では、底面付近の流速が小さく、河床への負荷が小さくなることが推定される。一方、跳水を用いた減勢方法では、射流区間が形成され、 $x/d_c < 21$ の範囲では底面付近の流速が石組み礫斜路式減勢工の場合より常に大きい。射流区間を除いても、河床への負荷が大きくなることが推定される。

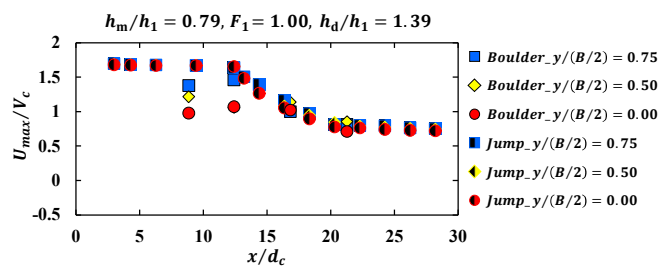


図5 最大流速の減衰状況

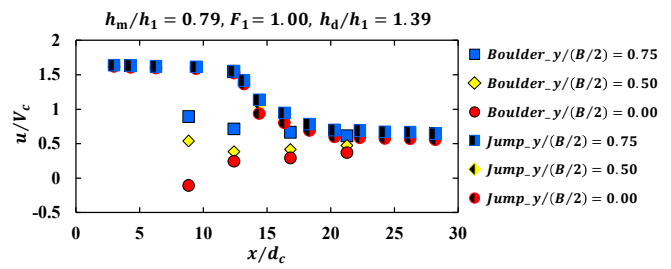


図6 底面流速の減衰状況

5. まとめ

低段落水路の範囲となる相対落差 h_m/h_1 を対象に、同一の相対下流水深 h_d/h_1 の条件のもとで、石組み粗礫斜路の設置有無による落差下流側の流況、および流速特性の違いを実験的に検討した。その結果、主流の位置や底面付近の流速の減衰状況から、設計基準で規定されている跳水を用いた減勢方法では、河床への負荷が大きくなるが、石組み粗礫斜路を用いた減勢方法では、河床保護に対して効果的であることを示した。

今後は、落差直下流部に跳水が形成される相対下流水深 h_d/h_1 に対して、石組み粗礫斜路の設置有無による比較検討を行う。

参考文献

- 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
- 阿部宗平，下東久巴，福本晃久：床固工水叩き下流の局所洗掘と護床工の形状，土木技術資料 29-5，1987
- Ohtsu,I.and Yasuda,Y,” Transition from supercritical to subcritical flow at an abrupt drop”, Journal of Hydraulic Research,IAHR,Vol.29,pp309-328.1991
- 安田陽一，増井啓登：低落差部に設置する大粗度斜路式減勢工の提案，土木工学論文集 B1（水工学），Vol.75，No.2，I_559- I_564，2019.
- 安田陽一，篠崎遼太：落差直下流部に形成される跳水内部の流速特性に対する落差形状の影響，土木工学論文集 B1（水工学），Vol.74，No.5，I_727- I_732，2018.
- 安田陽一，篠崎遼太：低落差部に形成される潜り込み流れの流速特性に関する実験的検討，土木工学論文集 B1（水工学），Vol.75，No.2，I_805- I_810，2019.