

低段落水路における粗礫斜路式減勢工の提案 Proposal of Sloping Energy Dissipator with Stacked Boulders in Low Drop Structures

日本大学 正会員 安田 陽一
日本大学 学生会員 ○増井 啓登

1. まえがき

河川中に堰や落差工など落差を有する横断構造物から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が侵食される。これを防ぐ為に、水叩きや護床工を設置することが河川砂防技術基準によって規定とされている¹⁾。

落差構造物下流側が洪水流によって洗掘された後に災害復旧として護床工を施工する場合、水叩き面より段差を設けて計画されることが一般的である。この低段落を有する護床工では、水叩き上から越流した流水が潜り込むことで、護床工上で跳水を起し減勢することが可能である。しかし、この潜り込み流れにより局所洗掘が再び生じ、護床工そのものが危険な状態に陥り、河床低下に繋がる事例が頻発している²⁾。

つまり、局所洗掘および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、主流の位置が河床に衝突しないように、水面に沿った流れを生み出すことが重要である。

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²⁾で水面に沿う流れとなるように、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粗礫斜路の設置勾配を変化させ、形成した各流況の様子および粗礫斜路下流側の最大流速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

礫による形状抵抗が生じるようにし、かつ粗礫斜路の勾配を小さくすることによって、射流から常流へ遷移する流れが水面に沿うような石組みを有する粗礫斜路式減勢工を提案する（写真1、2を参照）。

粗礫斜路の設置区間では礫の傾きが20~40°となるようにし、礫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をしている。



写真1 粗礫斜路模型 写真2 粗礫斜路における流況

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を有する矩形断面水平水路を用いた。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、低段落水路となる範囲である $0.5 \sim 1.5 \leq s/h_1 \leq 8.0 \sim 9.0$ 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径であり、表1に示す減勢工の寸法（流下方向長さ L 、減勢工の勾配 i ）に合わせて設置した。さらに、粗礫斜路の設置勾配を自由に設定できるようにするため、粗礫斜路を固定するための木材（高さ0.042m、幅0.798m、長さ0.042m）の天端と段落部上端の天端との高低差 h_m を一定にし、流下方向長さ L との比 h_m/L で設置勾配 i を定める方法とした。

表1に示す通り、相対落差 s/h_1 （ s ：段落高さ、 h_1 ：段落上の斜流水深）を一定にし、段落上のフルード数 F_1 （ $F_1 = V_1/\sqrt{gh_1}$ V_1 ：段落上の断面平均流速、 g ：重力加速度）、設置勾配 i を変化させた場合と限界流および設置勾配 i を一定し、相対流量 s/d_c （ d_c ：段落上の限界水深）を変化させた場合と分け系統的に検討した。ここで、段落上とは段落上付近での主流による流線の曲率の影響が無視できる範囲、すなわち段落上端から $3.5h_1$ 上流側の位置としている。

また、下流水深 h_d 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、最大流速の減衰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：20s）。流況観察については、動画および写真で記録した。

表1 実験条件

s/h_1 (-)	s/d_c (-)	F_1 (-)	i (-)	h_m (m)	L (m)	$R_e \times 10^3$ (-)	
3.00	3.00	1.00	1/20	0.054	1.08	2.13~2.20	
			1/10		0.54		
	1.89	2.00	1/20		1.08	4.26~4.40	
			1/10		0.54		
	1.44	3.00	1/20		1.08	6.40~6.60	
			1/10		0.54		
	1.16	1.16	1.00		0.54	8.88~9.18	
	0.84	0.84				14.5~15.0	

キーワード 粗礫斜路式減勢工、水面に沿う流れ、低段落、最大流速の減衰状況、潜り込み流れ

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.cske15194@g.nihon-u.ac.jp

4. 粗礫斜路式減勢工で形成される各流況の 水理量間の関係について

図1は粗礫斜路式減勢工における水面に沿う流れの形成領域を示す。Ohtsuら³⁾によって、鉛直面を有した段落部における射流から常流へ遷移する流れについて研究がなされており、潜り込み流れ plunging flow と定めた流況は limited jump から maximum plunging condition までの流況となり、図1の縦線で囲まれた領域に該当する。

今回の実験から得られた水面に沿う流れの領域の下限值および上限値と定めたデータをプロットした結果、従来の段落流れで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に変化させることが示せた。ここで、下限値とは粗礫斜路を固定する木材の上を通過する水面が水平になり始めた時の下流水深 h_d 、上限値とは段落上端部を越流する水面が水平になり始めた時の下流水深 h_d と定めている。

水面に沿う流れとなる h_d/h_1 の範囲は、従来の段落流れで潜り込み流れが形成される h_d/h_1 の範囲に対して、 $F_1 = 1.00, 2.00$ では約80%, $F_1 = 3.00$ では100%の割合に該当しているため、洗掘対策において水面に沿う流れによる減勢方法に十分期待できることがわかった。

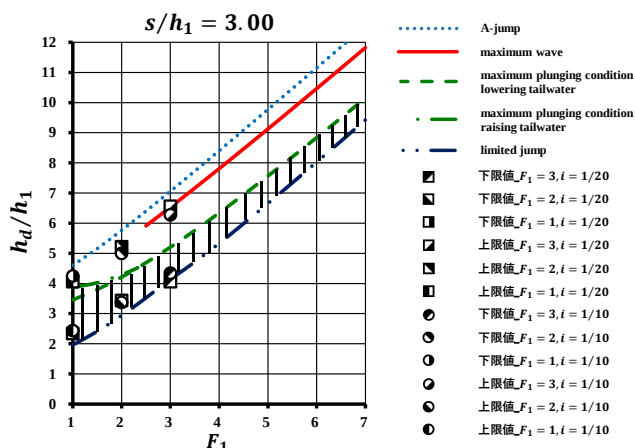


図1 鉛直段落ちと粗礫斜路における形成領域の比較
 $h_d/h_1=f(F_1, i, s/h_1)$

5. 最大流速の減衰状況について

各測定断面における段落部下流側の最大流速 U_{max} （時間平均した値）と段落上の断面平均流速 V_1 で無次元化し、段落上の射流水深に対する流下方向の位置 X/L （ X ：段落上端部を基準とする流下方向座標）との関係を整理し、図2、3に示す。図に示している通り、段落上を射流で通過する場合には $1.00 < X/L < 4.00$ の範囲で最大流速が減衰しており、設置勾配 $i = 1/20$ の方が $i = 1/10$ と比べ、粗礫の形状抵抗が大きいので減衰が早期に発揮されると考えられる。

このことから、段落上を限界流で通過する場合を検討していくにあたり、粗礫の形状抵抗が小さくなる設置勾配 $i = 1/10$ を一定にし、相対落差 s/h_1 （この場

合、 $h_1 = d_c$ である）を変化させた条件のものを図3に示す。図に示している通り、段落上を限界流で通過する場合でも $1.00 < X/L < 4.00$ の範囲で最大流速が減衰した。

これにより、段落上を射流および限界流を通過する場合において、粗礫斜路式減勢工による最大流速の減衰が認められた。

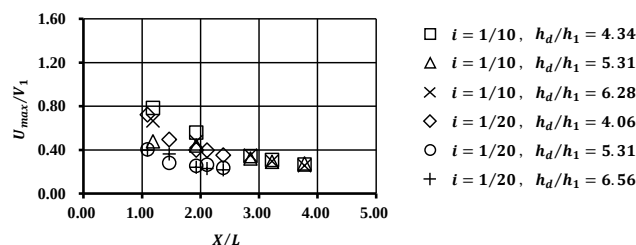


図2 最大流速の減衰状況 ($F_1=3.00, s/d_c=3.00$)

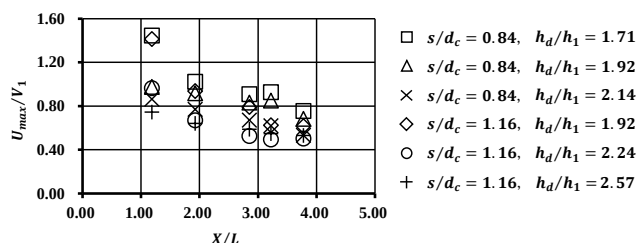


図3 最大流速の減衰状況 ($F_1=1.00, i=10\%$)

6. まとめ

主流の位置を河床に衝突させないように、水面に沿う流れを生み出すため、低段落水路の範囲となる相対落差 s/h_1 を対象に、粗礫斜路式減勢工の提案をした。

水面に沿う流れの形成領域と段落部下流側における最大流速の減衰状況に着目し、段落上を射流および限界流で通過する場合に分け、段落上のフルード数 F_1 、粗礫斜路の設置勾配 i ならびに相対落差 s/h_1 による系統的検討を行った。

今後は、設置勾配 i の違いによる流線の曲率の考察や粗礫斜路式減勢工の普遍性についての検討を行い、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) 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
- 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