

粗礫斜路下流側における流速特性に関する実験的検討

Experimental Study related to Velocity Characteristics Downstream Sloping with Stacked Boulders

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⁾。

洪水流が発生した場合、落差構造物下流側で局所洗掘を生じる事例が後を絶たない。これは、越流した流水が潜り込むことで、最大流速が河床付近に位置し、かつ下流側遠方まで続いてしまうことが、主要要因として挙げられる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、段落部の流れでは潜り込み流れが形成される領域²⁾で、主流の位置を河床に衝突しないように、水面に沿った流れを形成させる粗礫斜路式減勢工を提案している³⁾。

ここでは、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って形成された水面に沿う流れにおいて、粗礫斜路下流側の流速分布に着目し、粗礫斜路の設置勾配と相対落差を変化させた場合について実験的検討を行った。

2. 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 0.798 m、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。また、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。さらに、相対粗度 ε/d_c (ε : 粗礫の凹凸高さ、 d_c : 段落上の限界水深) は、粗礫斜路の形状をポイントゲージで測定し表した。

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/h_1 (限界流の場合、 $h_1 = d_c$) 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、主流の位置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)。

表 1 実験条件

s/h_1 (-)	ε/d_c (-)	F_1 (-)	i (-)	h_m (m)	L (m)	$R_e \times 10^4$ (-)
3.00	0.47~0.63	3.00	1/20 1/10	0.054	1.08 0.54	6.40~6.60
1.16 0.84	0.18~0.24 0.13~0.18	1.00	1/10		0.54	8.88~9.18 14.5~15.0

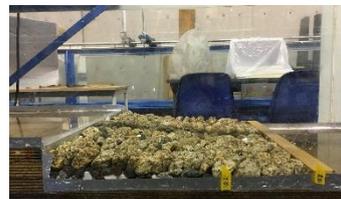


写真2 粗礫斜路模型



写真3 使用した粗礫

3. 粗礫斜路下流側の流速分布について

各測定断面における粗礫斜路下流側の流速 u 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 h_1 に対する流下方向における各流速の鉛直方向位置 z_1 との関係 z/h_1 で整理したものを、図 2, 3, 4, 5 に示す。それぞれの流速分布において、粗礫斜路終端部を原点 $x = 0$ とした流下方向の測定距離を凡例で示している。図 2, 3 に示されるように、段落上のフルード数 F_1 が射流の場合、水面に沿う流れが形成される h_d/h_1 の範囲内では常に主流の位置が水面付近であることが分かった。この傾向は、設置勾配 $i = 1/20$ の場合でも同様の結果が得られた。

また、図 4, 5 に示されるように、段落上のフルード数 F_1 が限界流の場合でも、水面に沿う流れが形成される h_d/h_1 の範囲内では常に主流の位置が水面付近であることが分かった。この傾向は、相対落差 $s/h_1 = 1.16$ の場合でも、同様結果が得られた。

キーワード 粗礫斜路式減勢工、水面に沿う流れ、低段落、主流の位置、河床低下対策

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

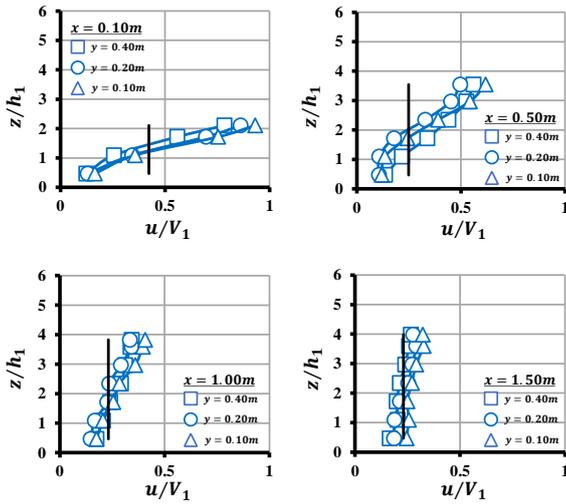


図2 下限値における流下方向の流速分布の変化 ($F_1=3.00, s/h_1=3.00, i=1/10, hd/h_1=4.34$)

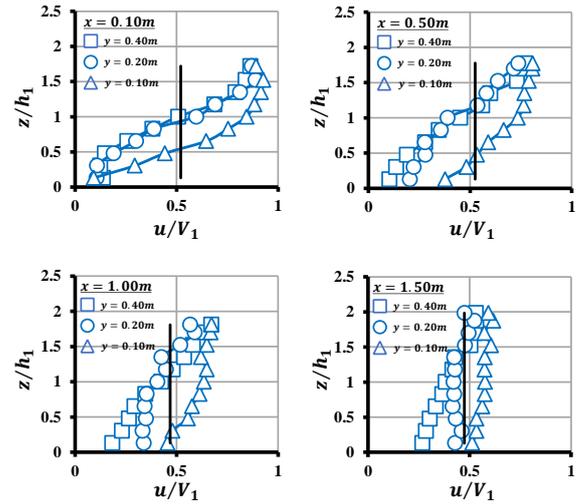


図5 上限値における流下方向の流速分布の変化 ($F_1=1.00, s/h_1=1.00, i=1/10, hd/h_1=2.14$)

以上のことから、段落上のフルード数 F_1 が射流・限界流のどちらでも水面に沿う流れが形成されている場合、主流の位置が速やかに水面に沿うように変化し、水面に沿った減勢方法が、河床低下対策に十分に期待できることが分かった。

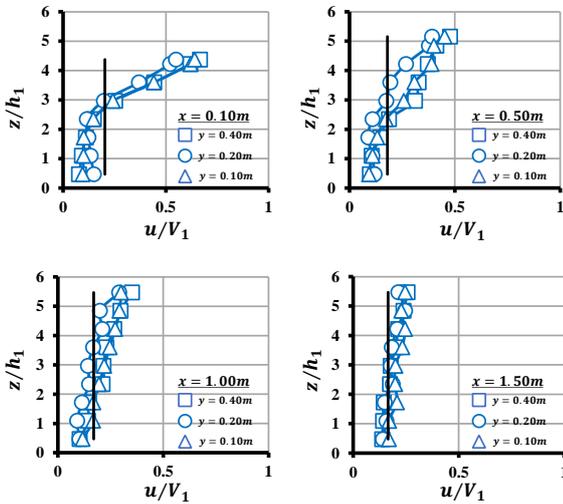


図3 上限値における流下方向の流速分布の変化 ($F_1=1.00, s/h_1=3.00, i=1/10, hd/h_1=6.28$)

4. まとめ

低段落水路の範囲となる相対落差 s/h_1 を対象に、粗礫斜路式減勢工によって形成された水面に沿う流れにおいて、粗礫斜路下流側の流速分布に着目し、粗礫斜路の設置勾配 i と相対落差 s/h_1 を変化させた場合について表1に示す実験条件のもとで実験的検討を行った。その結果、段落上のフルード数 F_1 を射流および限界流のどちらの場合でも、水面に沿う流れが形成されやすく、主流の位置が速やかに水面近くに位置することが分かった。

今後は、電磁流速計等を用いて水面に沿った流れにおける底面付近の乱流強度の分布と流下方向の流速分布との関係について整理し、提案している粗礫斜路式減勢工の実用性を検討していきたい。

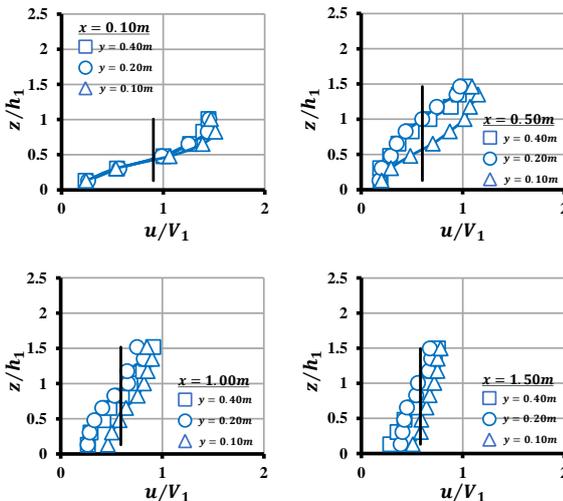


図4 下限値における流下方向の流速分布の変化 ($F_1=1.00, s/h_1=1.00, i=1/10, hd/h_1=1.71$)

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) 安田陽一，増井啓登：低段落水路における粗礫斜路式の減勢工の提案，第46回土木学会関東支部技術研究発表会，II-82，CD-ROM，2019
- 4) 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