

低落差部に設置する大粗度斜路式減勢工での石組みの違いに着目した比較検討 Comparison of different installation of stacked boulders at roughness sloping chute below low drop structures

安田陽一¹, ○増井啓登²
Youichi Yasuda¹, *Keito Masui²

Abstract: The installation of stacked boulders as a roughness sloping chute is effective for the protection of riverbed during flood stages. The transverse configuration of stacked boulders might affect the possibility of bank erosion, because a surface jet flow is formed below stacked boulders. By considering the protection against bank erosion, the stacked boulders were installed in order to form a parabolic shape transversely. The experimental investigation yields that parabolic installation of stacked boulders is important for the protection. The velocity profiles were compared between parabolic and flat shapes in the installation of stacked boulders.

1. まえがき

実河川では、頭首工や落差を有した床固め工など低落差構造物が多く設置されている。わが国では河川砂防技術基準^[1]に基づき、これらの構造物から越流する流れに対して、エネルギーを減勢させるために跳水式減勢工が多く採用されており、水叩きや護床工などを併用することが一般的である。しかし、この跳水現象には、最大流速が底面付近に位置し、かつ下流側遠方まで続いていく特徴を持つ。その影響により、護床工の設置区間より下流側で河床砂礫が吸い出され、流速の変動に伴う掃流力が増加し^{[2],[3]}、洪水後では護床ブロックの不等沈下や局所洗掘が起きる事例が多発している^[4]。本研究では、相対落差高さ（段落ち上部の限界水深に対する落差高さ）が小さい場合を対象に、落差部下流側にて潜り込み流れが形成される領域^[5]で、主流を水面付近に向かわせる流況（Surface jet flow と呼ぶ）を形成させ、河床への負荷の軽減ができる大粗度斜路式減勢工を提案している^[6]。最近の研究により、石組み粗礫斜路と護床ブロックを併用して用いた場合（Gravel slope and Protection blocks type と呼ぶ）では、跳水式減勢法と比べ河床保護に対して効果的であることを示している。

ここでは、相対落差高さが小さい範囲で、Gravel slope and Protection blocks type を対象に、側岸浸食防止を考慮し、石組みの横断形状の違いによる落差部下流側での主流の発達状況および流速分布の違いを検討した。

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 15 m）に、落差模型（落差高さ $s = 0.10$ m, 幅 0.798 m, 長さ 1.00 m）を設置し、Table 1 に示す条件下で実験的検討を行った。なお、 d_c は限界水深（ $d_c = \sqrt[3]{q^2/g}$, q は単位幅流量, g は重量加速度）である。 R_e はレイノルズ数（ $R_e = q/\nu$, ν は動粘性係数）である。 F_1 は段落ち上部のフルード数（ $F_1 = V_c/\sqrt{gd_c}$, V_c は d_c での流速）である。

石組みの礫は、長辺約 0.08 m, 短辺約 0.05 m, 高さ約 0.04 m であり、基盤として用いた砂利の径は $0.01 \sim 0.02$ m である。コンクリート製護床ブロック（會澤高圧コンクリート株式会社製）の寸法は、高さ 0.038 m,

幅 0.10 m, 長さ 0.10 m である。Table 1 に示されるように、斜路の勾配 i ($i = s/L$, L は斜路の水平距離) は $1/10$ とした (Figure 1 参照)。護床ブロックは、ホロースケヤータイプとし、突起部 0.01 m を有するブロックを使用した。ここでは、落差高さの 15 倍相当まで護床ブロックを設置した。

実験は、斜路下流側で Surface jet flow が形成され始める相対下流水深 h_d/d_c (h_d は下流水深) に合わせ、水面形、石組み設置区間の石組み、および護床ブロックの凹凸形状について、ポイントゲージで測定した。さらに、主流の位置を把握するために各測定断面の流下方向の流速 u を、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 s, 測定間隔 0.05 s）およびプロペラ式流速計（測定時間 20 s）を使用した。

なお、石組みの仕方に関して、斜路の礫の高さを横断的に変化させてない場合を Flat style, 斜路中央部の礫の高さを側壁付近よりも低くした場合を Parabolic style とする。Figure 1 に示す x は落差部終端に原点をとった流下方向の座標, y は水路中央部に原点をとり、左岸側を正とした水路横断方向の座標, z は水路床に原点をとった鉛直方向の座標である。

Table 1. Experimental conditions

Type	Style of Stacked Boulder	s/d_c (-)	h_d/d_c (-)	F_1 (-)	i (-)	$R_e \times 10^4$ (-)
Gravel slope and Protection blocks	Flat	0.79	1.41	1.00	1/10	12.7~12.9
	Parabolic					

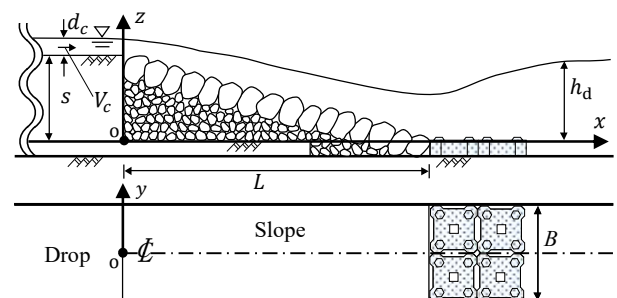


Figure 1. Definition sketch of Gravel slope and Protection blocks type

3. 落差部下流側での主流の発達状況

Figure 2, 3 は, Gravel slope and Protection blocks type における Surface jet flow の水面形および主流の発達状況を示す。図中のデータは, $y/(B/2)$ ごとの主流の位置 (プロット) および水面形の違いを示し, 護床ブロックの設置終端位置は $x/d_c = 11.8$ である。

Figure 2, 3 に示されるように, $10.0 \leq x/d_c \leq 15.0$ に注目すると, Parabolic style は Flat style と比べて, $y/(B/2)$ の値に関わらず主流を水面付近に上昇している。これは, 主流の横断方向の偏向がなくなったためと考えられる。

以上より, 斜路の石組みを工夫することで, 側壁付近の主流を水面付近に上昇させることが可能である。

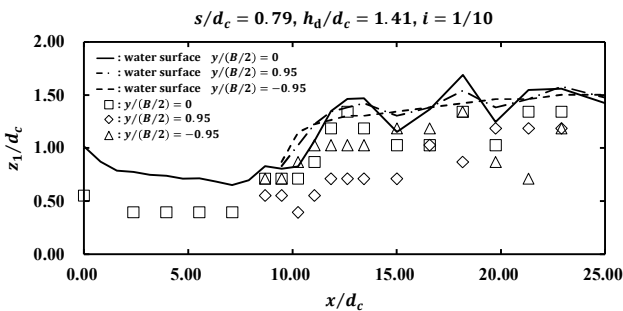


Figure 2. Development of main flow for Flat style.

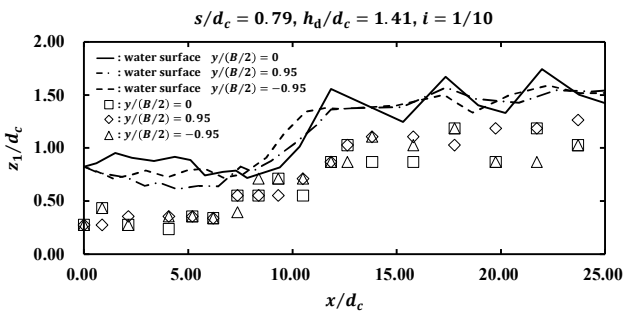


Figure 3. Development of main flow for Parabolic style.

4. 落差部下流側での流速分布

Figure 2, 3 に示す流況を対象に, 落差部下流側での流速分布を Figure 4, 5 に示す。図中のデータは, $y/(B/2)$ ごとの流速分布の違いを示す。

Figure 4, 5 に示されるように, $12.6 \leq x/d_c \leq 19.7$ で主流が水面に向かって上昇しているため, 底面付近では遅い流れが下流側遠方まで形成されることが分かる。また, Parabolic style は Flat style と比べて, $x/d_c \geq 15.8$ で側壁付近の流速は, $y/(B/2) = 0$ の流速よりも小さくなっている。なお, Parabolic style の一部で逆流が確認された理由は, 流線の曲率の影響から主流が上昇する際に, 底面付近で滞留した流れが形成されたものと考えられる。

以上より, 斜路の石組みを工夫することで, 流れを水路中央部に集められ, 側壁付近の流速を制御できることが分かった。

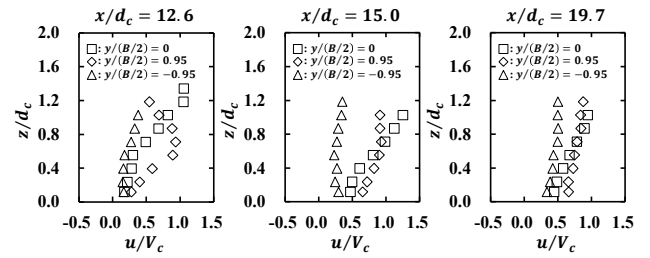


Figure 4. Velocity profile below stacked boulders for Flat style ($s/d_c=0.79, h_d/d_c=1.41, i=1/10$).

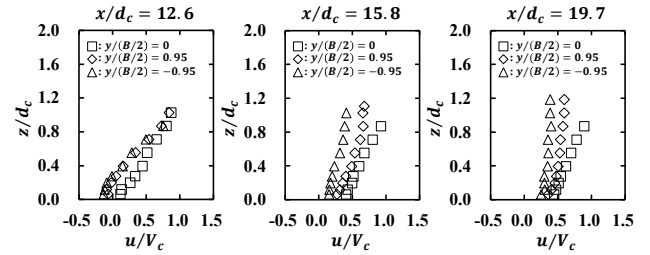


Figure 5. Velocity profile below stacked boulders for Parabolic style ($s/d_c=0.79, h_d/d_c=1.41, i=1/10$).

5. まとめ

相対落差高さ s/d_c が小さい低落差の範囲で, Gravel slope and Protection blocks type を対象に, 石組みの仕方を2種類に分け, 落差部下流側での主流の発達状況および流速分布の違いについて比較検討した。

その結果, 斜路中央部の礫の高さを側壁付近よりも低くした石組み (Parabolic style) にすることで, 斜路下流側の流れが水路中央部に集まり易くなり, 側壁付近の流速を減勢させつつ, どの $y/(B/2)$ でも主流を短区間で水面付近に上昇させることが分かった。

今後は, s/d_c を変化させ, 今回と同様な結果が得られるのかを, 検討を進めていく予定である。

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] 中川博次, 辻本哲郎, 清水義彦, 村上正吾:「堰の一被災機構としての護床工からの砂のぬけ出しによる空洞化の進行過程」, 第31回水理講演論文集, pp.359-364, 1987.
- [3] 川口広司, 諏訪義雅, 高田保彦, 末次忠司:「護床工下の河床材料の抜け出し及び下流跳水の非定常性と護床工の応答特性」, 河川技術論文集, 第8巻, 2002.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Yasuda, Y. and Masui, K., "Proposal of sloping energy dissipator with stacked boulders in low drop structures", The 22nd IAHR-APD, Sapporo, Japan.