

石組み斜路の流速場に関する浸透流の有効性

Effect of Seepage Flow Inside Ramp with Assembled Boulders on Velocity Field

安田陽一<sup>1</sup>, ○宮澤大悟<sup>2</sup>

Youichi Yasuda<sup>1</sup>, \*Daigo Miyazawa<sup>2</sup>

Abstract: Recently, the ramp with assembled boulders entirely on the downstream side of the drop section was proposed, considering the balance between disaster prevention and environmental aspects. While the ramp with assembled boulders is also constructed in Sabo area, the base is reinforced with concrete to ensure gravel stability. This report presents the stability of the ramp with a 1:5.5 gradient during floods and its flow velocity field, focusing on a permeable base inside the ramp with the assembled boulders. Experimental results showed that flow velocities near the bottom of the ramp with assembled boulders decrease.

1. はじめに

河川には、洪水調整や安定した水利用、河床勾配の安定化を目的として、床固工や砂防ダムなどの河川横断構造物が設置されている。このような河川横断構造物では、水生生物の移動の障害となる。水生生物の移動環境を確保するために、魚道が部分的に設置される[1],[2]。

本研究室では、防災面と環境面のバランスを考慮して、河川横断構造物の落差に全断面の石組みによる粗礫斜路を設置することを提案している[3],[4]。粗礫斜路は砂防区間でも施工されているが、礫の安定性を考慮して底部はコンクリートで固めている。河川管理上、石組みの安定性が求められている。その中で、石組み斜路の土台を透過性に置き換えて、碎石と細石の比較をすると、細石の場合、斜路の始端で流出したが、碎石の場合、石組みが安定していた[5]。

ここでは、10分の1縮尺の模型を用いて落差下流側の石組み斜路の土台を透過性とし、洪水時の石組み斜路の流速場について実験的に検討を行った。

2. 実験方法および実験条件

長さ 17 m, 幅 0.80 m, 高さ 0.60 m の可変勾配型矩形水路に巨礫による石組み模型を設置した (Figure 1)。石組み斜路の縦断勾配を 5.5 分の 1 とし、横断方向に 5~7%の勾配を設けてすり鉢状に設置している。Table 1 に示す実験条件の下で行った。使用した石材を Table 2 に示す。

流量は最大流量に設定し、下流水深は限界掃流力に近い状態に設定している。水面形および河床の凹凸形状の測定にはポイントゲージを用い、流速測定には KENEK 社製 2 次元 I 型電磁流速計 (1 測定当たりの測定時間 90 sec, 接取間隔 20 Hz) および KENEK 社製プ

ロペラ流速計 (測定時間 20 sec) を用いた。また、礫間の浸透流を計測するために直径 0.007 m のメッシュ状の材料を内径 0.045 m の筒状にして設置した。

$x$  は落差下流端を起点とした水平方向の座標,  $y$  は水路中央を原点とし、左岸側を正とした横断方向の座標,  $z$  は水路床を基準とした鉛直上向きを正とした座標である。

Table 1. Experimental conditions.

$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	$h_d$ (m)	$B$ (m)
0.152	0.3471	0.796

Note:  $Q$  = discharge,  $h_d$  := downstream water depth,

Table 2. Experimental stone material.

Stone material	Average Size(m)	Porosity Ratio
Crash stones	0.0924	0.51
Gravel mount	0.0163	0.423

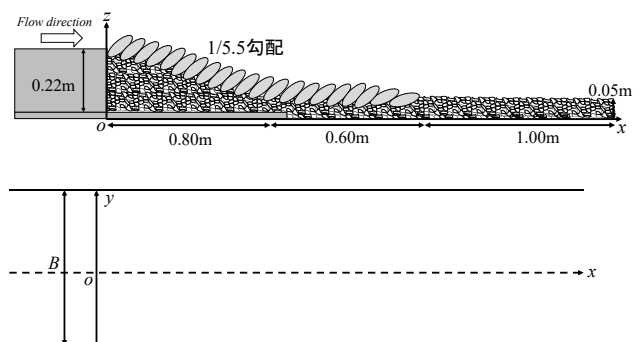


Figure 1. Experimental model

1: 日大理工・教員・土木 2: 日大理工・院 (前)・土木

3. 実験結果

Figure 2 に水面形および河床形状を示す. △の凡例は河床形状を示す. また, 赤線が Figure 3 での流速の測定位置を示す. Figure 2 に河床形状が示されているように, 石組み斜路の側壁側では, 水路中央付近よりも高くなるように設置していることが示される. 水面形では, 斜路区間で横断方向に一樣な水面になり, 斜路勾配に平行な水面になることが示された. また, 流量規模が大きいことで水面形に礫の凹凸形状が反映されない. Figure 3 に石組み斜路区間の流速分布を示す. Figure 3 には, (1)と(2)の方程式が含まれている.(1)は, 乱流粗面に適用される対数則分布を示す. (2)は, 階段状水路で適用される 1/5 乗則分布を示す. これらの方程式では,  $\bar{u}$ は流下方向の時間平均流速,  $u_{max}$ は最大流速,  $z_{max}$ は最大流速の位置,  $V_*$ は摩擦速度,  $k_s$ は基準点からの平均粗度高さとなる. 摩擦速度は, 最大流速を代用して計算しています.

$$\frac{\bar{u}}{V_*} = 5.75 \text{LOG} \left( \frac{z}{k_s} \right) + 8.5 \quad (1)$$

$$\frac{\bar{u}}{u_{max}} = \left( \frac{z}{z_{max}} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (2)$$

Figure 3 に示されるように, 礫間内の流れを(1)と(2)の方程式では, 表すことが現時点ではできないことから礫上の流速を示している. その結果, 石組み斜路の底面付近の流速は, 式(1)および式(2)から推定される流速と比べて常に小さいことが示された. これは, 石組み斜路の礫の凹凸形状と礫間の浸透流による影響で流速が抑制されたと考えられる.

4. まとめ

縦断方向に 5.5 分の 1 勾配を有する石組み斜路を対象に洪水時の流速場について実験的検討を行った. 水面形は, 石組み斜路区間で横断方向に一樣になり, 石組み斜路の勾配に平行な水面になることが示された. 石組み斜路の流速分布では, 礫の凹凸形状と礫間の浸透流によって底面付近の流速が抑制されたと考えられる. 今後は, 石組み斜路下流側の河床保護区間の設定根拠を示す目的で行う.

5. 参考文献

[1] 安田陽一, 技術者のための魚道ガイドライン, コロナ社, 144 pages, 2011.  
 [2] 安田陽一, 河川整備の土木技術から見た通し回遊性の水生生物の保全に向けた貢献, 海洋と生物 225, 生物研究社, Vol. 38, No. 4, pp. 387-396, 2016.

[3] 安田陽一, 増井啓登: 「低段落差部における石組み粗礫斜路と鉛直段落の減勢工との比較」, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.76, No.2, pp.559-564, 2019.  
 [4] Yasuda, Y. and Fuchino, N. (2022) Stability of Consecutive Stacked Boulders behind Check Dams during Flood Stages, River Flow 2022, IAHR, Web-conference, C2, 9<sup>th</sup> November.  
 [5] 安田陽一, 宮澤大悟: 「巨礫による石組み斜路における流速場に対する礫間の浸透流の影響」, 令和7年度土木学会全国大会第 80 回年次講演会, 11PM2-Ge-02, 2025.

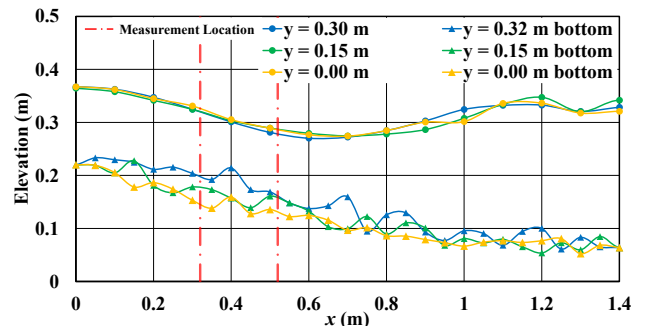
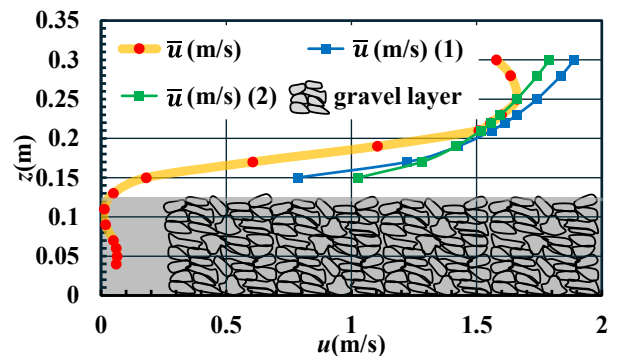
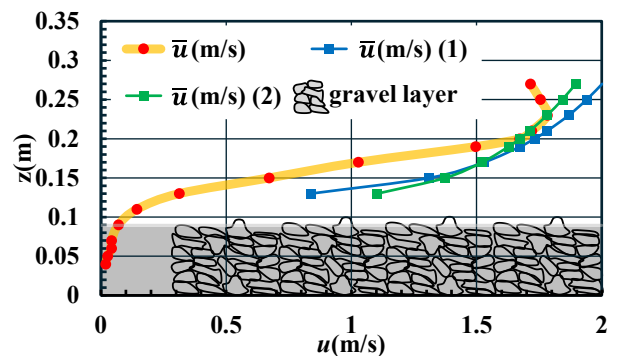


Figure 2. Water surface and bottom profiles on the ramp.



a)  $x=0.32 \text{ m}, y=0.02 \text{ m}$



b)  $x=0.52 \text{ m}, y=0.00 \text{ m}$

Figure 3. Velocity profiles .