

可動堰下流側の河床保護対策に関する実験的な検討

Experimental Investigation on Countermeasures for Riverbed Protection Downstream of Movable Weir

安田陽一<sup>1</sup>, ○榊原慧<sup>2</sup>

Youichi Yasuda<sup>1</sup>, \*Satoru Sakakibara<sup>2</sup>

Abstract: During floods, localized scouring may occur downstream of movable weirs even if protective blocks are installed downstream of the apron. Laboratory studies indicated that installing the assembled boulders within the protected zone might help mitigate localized scouring. Furthermore, establishing a transition zone using crushed stones is crucial. In this report, the authors discuss the installation length of crushed stones required to reduce the impact of deflected flow on the riverbed formed by collisions with the gate support pillars, based on flow velocities near the riverbed.

1. はじめに

河川横断構造物の一つに可動堰があり、利水目的にゲートなどで堰上げている。洪水時には、ゲートを倒伏、または全開放する。堰堤下流側において、河床洗掘対策として護床ブロックを設置することが一般的である<sup>[1]</sup>。しかし、護床ブロックを通過する流れにより護床ブロック下流で局所洗掘が生じ、ブロックが流出、河床低下の生じる場合がある。可動堰のゲート支柱への衝突による偏向流れの減衰に護床ブロックは寄与しないことが挙げられる。橋脚と同様に、支柱に衝突した流れが偏向し、主流が底面付近に降下することが懸念される<sup>[2]</sup>。可動堰下流側の河床洗掘対策として、支柱に衝突し偏向した流れを緩和し、主流を水面に向かって上昇させることが重要である。本研究室では、可動堰直下の水叩き下流に巨礫による石組みを設置することを考案し、石組み設置によって主流の上昇がみられた<sup>[3][4]</sup>。また、偏向流れによる底面負荷に対して、石組みの設置形状を「すり鉢状」とし、石組み区間下流側に碎石（原型では栗石サイズの割石）による遷移区間を設けることを提案した。ここでは、底面付近の流速に着目し、底面近くの流速を軽減するために必要な碎石による遷移区間長を考察した。

2. 実験概要

水路長さ 17 m、高さ 0.60 m、幅 0.80 m の可変勾配型の水平水路で行った。水路勾配は水平とし、水路中央部に可動堰模型（幅 0.796 m、長さ 1.00 m、高さ 0.05 m）およびゲート支柱模型（幅 0.04 m、長さ 0.20 m）を設置した。水叩き下流では平均サイズ 92 mm の割石による石組みを設置し、すり鉢状になるよう調整した。その下流では、平均サイズ 16.3 mm の碎石による遷移区間を設け、さらに下流に平均サイズ 5.3 mm の細石を用

いた (Figure 1)。石組み区間長  $L_b$ 、遷移区間長  $L$ 、河床再現区間長  $L_g$  の設定条件を Table 1. に示す。なお  $L$  は 0.70 m および 1.40 m の 2 ケースとした。

模型設置前の状態で河床再現区間として使用する細石が掃流する直前の必要水深を検討するための実験 1 を行った。実験 1 の結果に基づき、可動堰下流の河床保護対策の実験 2 のため、模型、石組み、碎石を設置し、細石による河床再現区間を設けている (Figure 2)。

流量は洪水時の流量を想定し、本実験水路に流せる上限の流量  $Q = 0.144 \text{ m}^3/\text{s}$  としている。流速の測定は KENEK 社製の 2 次元 I 型プローブ（先端から検出部までの高さ 9 mm、プローブの内径 4 mm）を有する電磁流速計で測定した（測定時間 90 秒、流下方向の採取間隔 20 mm）。

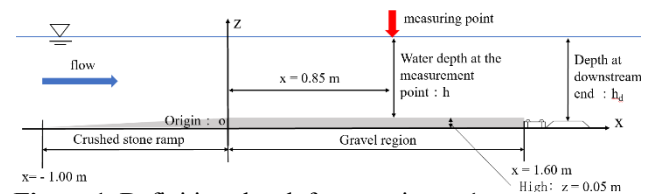


Figure 1. Definition sketch for experiment 1.

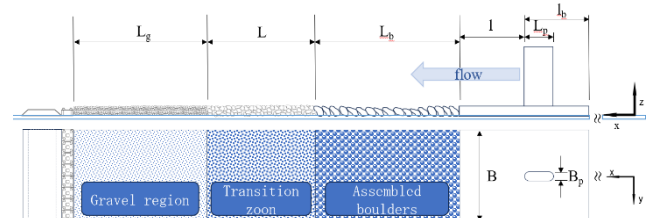


Figure 2. Definition sketch for experiment 2.

Table 1. Parameters of the movable weir model

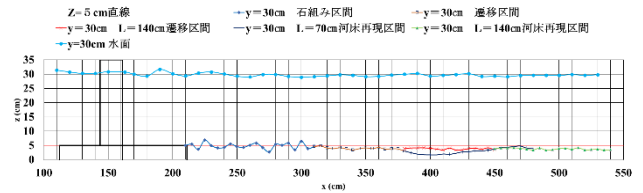
(m)	$L_g$	$L$	$L_b$	$l$	$L_p$	$l_b$	$B$	$B_p$	$Q(\text{m}^3/\text{s})$
$L=0.70$	0.97	0.70							
$L=1.40$	0.90	1.40	1.00	0.50	0.172	0.50	0.80	0.050	0.144

凡例:  $l$  水叩き区間長,  $L_p$  支柱模型流下方向長さ,  $l_b$  支柱台座区間,  $B$  水路幅,  $B_p$  支柱模型横断方向長さ

1: 日大理工・教員・土木 2: 日大理工・学部・土木

### 3. 水面形と底面形状

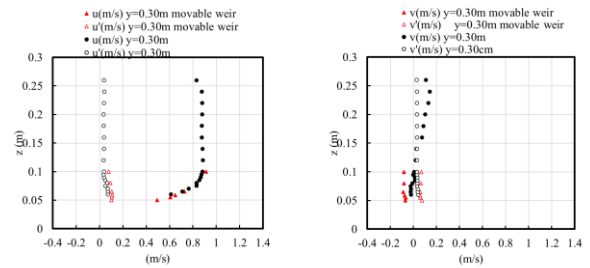
可動堰下流側の水面形および底面形状を **Figure 3.** に示す. ここに示す水深は **Figure 1.** に示す状態で, 設定流量のもとで細石が掃流する直前の下流端水深を定めている. 図に示されるように, 通水時間が 30 時間を経過した状態から碎石による遷移区間長によって, 局所洗掘が生じている.



**Figure3** Water surface profile and bottom surface shape.

### 4. 底面付近の流速と乱れ強さの検討

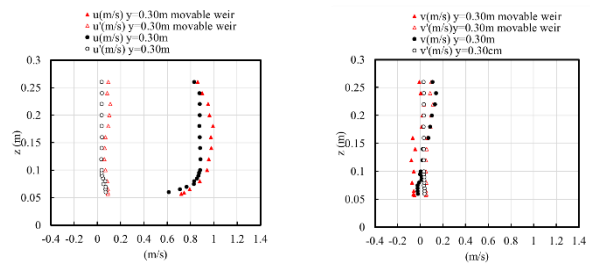
遷移区間長を 1.40 m とした状態での  $x = 4.70$  m,  $y = 0.30$  m における流速分布を **Figure 4.** に示す. 図中, 塗りつぶし記号は時間平均流速を, 白抜き記号は標準偏差 (乱れ強さ) を示す. また, 図中丸形で示すマークは実験 1 で記録した流速を示す. **Figure 4(a).** に示されるように, 流下方向の時間平均流速  $u$  と標準偏差 (乱れ強度)  $u'$  を比較すると, 底面付近の流速分布は実験 1 で得られた時間平均流速・乱れと違いはほとんどない. また, 横断方向流速  $v$  と乱れ強さ  $v'$  の分布について, **Figure 4(b).** に示されるように, 乱れは同程度だが, 時間平均流速では可動堰の実験 2 の方が偏向した流れの影響を受けて, 左岸側側壁から水路中央方向へ向かう流速が卓越している.



(a)  $u$  and  $u'$  (b)  $v$  and  $v'$

**Figure 4.** Flow velocity distribution at  $x = 4.70$  m,  $y = 0.30$  m ( $L = 1.40$  m).

遷移区間長  $L = 0.70$  m での  $u, u'$  および  $v, v'$  の比較を **Figure 5.** に示す. **Figure 3.** に示すように水面に定常的なうねりが生じる領域を碎石による遷移区間が包含していない  $x = 3.80 \sim 4.50$  m で局所洗掘を生じている. この場合, **Figure 3.** の河床再現区間  $x = 4.70$  m の流速と支柱の無い際の流速を比較すると, 底面付近の時間平均流速は支柱のある方が約 0.1 m/s 大きい. これは, 偏向流れによる影響が大きいものと考えられる.



(a)  $u$  and  $u'$  (b)  $v$  and  $v'$

**Figure 5.** Flow velocity distribution at  $x = 4.70$  m,  $y = 0.30$  m ( $L = 0.70$  m).

碎石による遷移区間を適切に設定することで河床再現区間での底面付近の流速が減勢されることが推定される. 底面付近の流速が減勢する要因は碎石の礫間を浸透する流れによるものと考えられ, 橋脚下流側での碎石内の浸透流の流速分布<sup>[4]</sup>がその可能性を示している.

### 5. まとめ

河床保護の視点から可動堰下流側に碎石による遷移区間を設けた場合, 支柱に衝突して形成される偏向流による影響が底面付近で軽減できるための遷移区間長さでなければ, 局所洗掘が抑制できないことを, 底面付近の乱れおよび時間平均流速の結果から推定することができた.

### 5. 参考文献

- [1] 国土技術研究センター編, 改定 解説・河川管理施設等構造令, 日本河川協会, 423 pages, 2008.
- [2] Yasuda, Y. and Ishitsuka, T. : Experimental Investigation on Countermeasures for Gravel Bed Scouring and Driftwood Deposition Around Pier, Journal of Environmental Science Studies., Vol.6, No.2, pp.26-37, 2023.
- [3] Yasuda, Y., Yasuda, K., and Beretta Piccoli, P., River Improvement, Chapter 22, Eel Science, The Japanese Society of Fisheries Science 2023, Springer, Singapore, pp. 293-303, 2023.
- [4] 安田陽一, 安田康平, 鈴木俊太郎: 人工石組み周辺の避難可能領域と主流との関係, 土木学会, 第 77 回年次学術講演会, II-196, 2022.
- [5] 安田陽一, 田中佑青(2025): 石組みと碎石による遷移区間設置による橋脚下流の河床保護に関する実験的検討, 第 80 回年次学術講演会, II 部門, Je-14. .