

可動堰下流側の河床洗堀に対する護床工の礫間空隙の影響

Effect of gaps between boulders of revetments on local scouring downstream of movable weirs

安田陽一<sup>1</sup>, ○鈴木俊太朗<sup>2</sup>

Youichi Yasuda<sup>1</sup>, \*Shuntaro Suzuki<sup>2</sup>

Abstract: In the case of a movable weir, the riverbed protection by protection blocks has been installed the downstream of a concrete apron. The authors proposed the installation of consecutively assembled boulders. For hydraulic design, the stability of assembled boulders should be required during flood stages. In this report, the effect of gaps between boulders on protection against riverbed scouring is shown. The experimental results yield that boulders with filling gaps may not help for the protection of riverbed scouring.

1. はじめに

堰に設置された水叩き下流側では局所洗堀が生じることから河川構造令および設計基準では、水叩き下流側の護床工として護床ブロックを設置するなどの河床低下対策が示されているが、実際には護床ブロックが流出し、河床低下が発生している。多くの研究者により、水叩き下流側の河床の局所洗堀の軽減方法が示されているが<sup>[1],[2]</sup>、跳水が形成される状態、すなわち可動堰のゲートが開放されていない状態を想定した検討である。洪水時には可動堰はゲートを開放するが、その状態の河床変動には不明な点が多い。ゲートが開放された場合にはゲートを支持する支柱、導流壁が残るため、洪水流が支柱を通過する際に、水面勾配が大きくなり、支柱から底面付近の流れが大きくなる<sup>[3]</sup>。水叩き下流側での局所洗堀について、著者らの研究<sup>[4]</sup>により護床ブロックに代わり石組みを用いることで河床低下の軽減への有効性を示した。河川管理の立場から、実河川において石組みを用いる場合、安定性確保の観点から巨礫の空隙を埋められることがある。空隙を埋めた影響を明確にするため、本研究では礫の隙間を埋めた場合と埋めていない場合の水叩き下流の河床変動に着目して、空隙の有効性について実験的検討を行った。

2. 実験方法

実験は、水路幅  $B=0.80$  m、高さ  $0.60$  m、水路長  $15.0$  m を有する矩形断面水路を使用して行った。使用する記号の定義図を **Figure1** に示す。 **Table1** に示す実験条件のもと ( $Fr_d = q / \sqrt{gh_d}$  : フルード数,  $h_d$ : 下流水深), 水路横断方向中央に厚さ  $B_p = 0.040$  m、円頭部の半径  $0.020$  m、長さ  $L_p = 0.20$  m、高さ  $0.5$  m を有する長楕円の支柱を設置し、長楕円支柱直下流部に厚さ  $60$  mm、長さ  $\ell = 0.51$  m の水叩きを設置した。また、水叩き下流端から相対長さ  $L_s/d_c = 6.71$  ( $d_c = \sqrt[3]{q^2/g}$  : 限界水深,

$q$ : 単位幅流量,  $g$ : 重力加速度) となるように石組みを設置し、水路中央を境に右岸側の礫の隙間を埋めている (**Photo1** 参照)。石組み下流端から  $0.2$  cm~ $1.5$  cm 程度の砂利を厚さ約  $6$  cm で  $L_g = 1.20$  m 区間で設置した。水深および移動床の測定にはポイントゲージ、流速測定には KENEK 社製の 2 次元 I 型電磁流速計 (測定時間  $90$  sec, 測定間隔  $0.05$  sec (20 Hz)) を用いた。

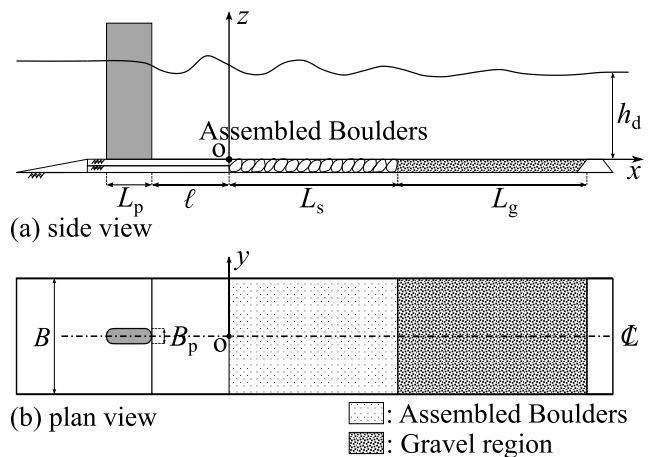


Figure1. Definition sketch



Photo1. Installation of assembled boulders

Table1. Experimental conditions

$q$ (m <sup>2</sup> /s)	$\ell/d_c$	$\ell/L_p$	$L_s/d_c$	$B_p/B$	$Fr_d$
1.80.E-01	3.42	2.55	6.71	0.05	0.553

1 : 日大理工・教員・土木 2 : 日大理工・院 (前)・土木

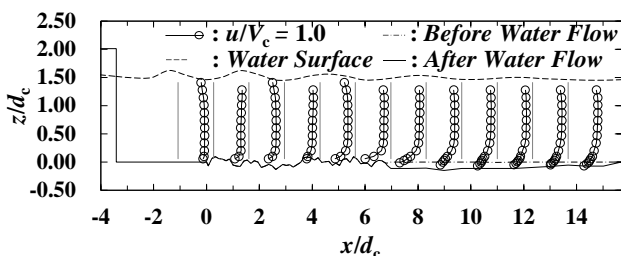
3. 水叩き下流側での水面形と河床形状

水叩き下流側における  $y/(B/2) = -0.75, 0.75$  での水面形, 通水前後の河床形状を **Figure2** に示す.  $y/(B/2) = -0.75$  では石組み終端から河床再現区間下流側にかけて, 平均的に  $z/d_c = -0.10$  の洗堀が全体で生じている.  $y/(B/2) = 0.75$  では洗堀が生じている. また,  $x/d_c = 11.0$  付近で  $z/d_c = -0.12$  で最も洗堀している.  $y/(B/2) = -0.75$  では, 洗堀の程度は小さい. これは,  $y/(B/2) = 0.75$  の場合, 波状水面の凹凸が大きく, 河床に与える影響が大きいものと考えられる.

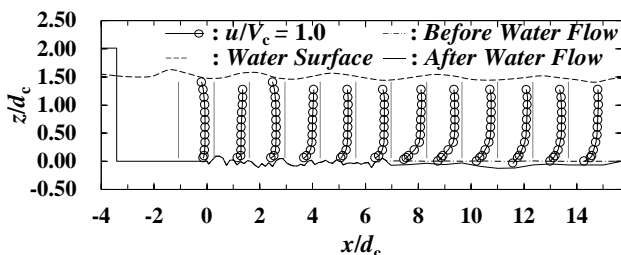
4. 水叩き下流側での流速特性

水叩きから河床再現区間までの  $y/(B/2) = -0.75, 0.75$  における流下方向への時間平均流速  $\bar{u}$  の分布を **Figure2** に示す. また, 水叩きから河床再現区間までの各測定断面 ( $y/(B/2) = -0.75, 0.75$ ) における底面付近の時間平均流速  $u_b$  の流下方向への変化を **Figure3** に示す. このとき, 河床再現区間では洗堀した河床からの一定の高さとしている.  $y/(B/2) = -0.75, 0.75$  を比較すると, ばらつきはみられるが, 石組み区間で徐々に減衰していく. ばらつきがみられるのは礫の凹凸による影響であると考えられる. 河床再現区間において, 石組み終端から  $x/d_c = 10.5$  付近まで流速が加速していく傾向が  $y/(B/2) = -0.75, 0.75$  のどちらの場合にもみられる. また, 測定断面による流速の大きさに明確な違いは生じていない. しかし, 河床形状より,  $y/(B/2) = -0.75$  の方が洗堀している状態であるが, 底面付近の流速の大きさが同程度となっているが空積みの場合の方が底面付近の流速の変動を抑えられているものと推定される.

石組み終端での石組み高さにおける流下方向流速の



(a)  $y/(B/2) = -0.75$



(b)  $y/(B/2) = 0.75$

**Figure2.** Water surface, bed and velocity profiles

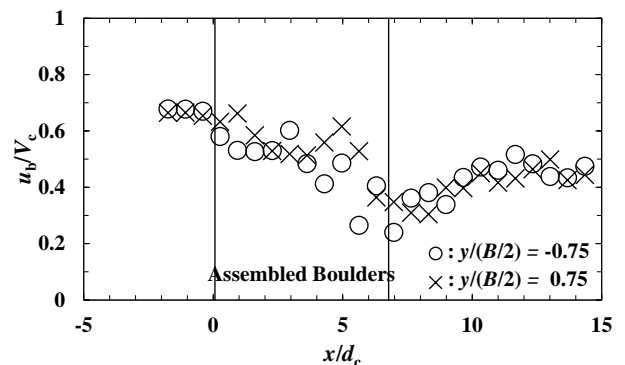
時系列変化を **Figure4** に示す. 流速の大きさを比較すると違いがみられない. 時系列変化を比較すると,  $y/(B/2) = -0.75$  では流速の変動幅が大きく, 礫の隙間を埋めた場合の方が乱れ強度が大きくなる. その結果, 洗堀に違いが生じたものと考えられる.

5. まとめ

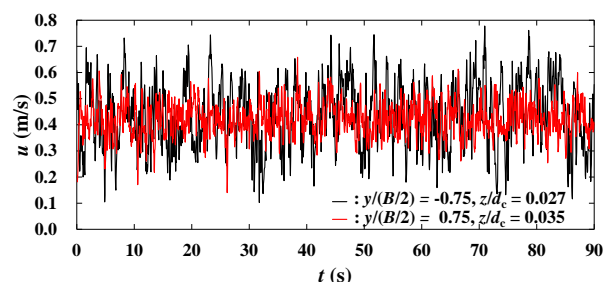
可動堰における河床洗堀への対策として, 石組みを設置する場合, 礫間の隙間を埋めることによる河床洗堀への影響について, **Table1** に示す実験条件の下, 実験的に検討を行った. その結果, 礫間の隙間を埋めることにより, 底面付近の流速特性に違いが生じ, 水叩き下流側での河床洗堀の違いが生じることを示した.

6. 参考文献

[1] Hamidifar, H., Omid, M.H., and Nasrabadi, M. : “Bed scour downstream of sluice gates”, Journal of Water Soil 24(4), pp.728-736, 2010.  
 [2] Siow-Yong, L. & Guoliang, Y. : “Scouring Downstream of Sluice Gate”, First International Conference on Scour of Foundations, ICSF-1, pp.395-409, 2002.  
 [3] 安田陽一, 鈴木俊太郎: 可動堰のコンクリート水叩き下流側の洗堀に対する支柱の影響, 令和4年度日本大学理工学部学術講演会, H-22.  
 [4] 安田陽一, 鈴木俊太郎: 可動堰水叩き下流側の河床保護に関する実験的検討, 第50回土木学会関東支部技術研究発表会, II-16, CD-ROM.



**Figure3.** Bottom velocity profiles



**Figure4.** Change of velocity with time series at  $x/d_c = 6.97$