

# 低落差構造物における水叩き下流側での石組みによる河床保護に関する実験的検討

Experimental investigation on bed protection due to the installation of assembled boulders below apron

日本大学理工学部土木工学科 正会員 安田 陽一  
日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻 学生会員 ○鈴木 俊太郎

## 1. はじめに

可動堰や固定堰等の水叩きを有する河川構造物下流側では、洪水流が生じた際に局所的な洗掘から河床低下が生じている。利水堰や床止め等の落差を有する河川構造物周辺の流況は、河川流量と落差下流側の水深との関係に依存し、落差下流側の河床保護の視点から、各流況の流速特性を把握することが重要である<sup>1)</sup>。本研究では、落差直下流部に形成される跳水に関して、限界水深（流量）に対する落差高さ（以下、相対落差とする）が小さい条件下では、落差下流面の形状に依らず跳水部下流側まで主流が底面に位置する、すなわち河床への負担が大きいことが安田ら<sup>2,3)</sup>によって明らかにされている。このため、主流が底面付近に位置する結果、水叩き下流側では、局所洗掘が生じ、河床低下が生じるものと推定される。従来、護床ブロックにより洗掘対策を行っているもののブロックの重さによる対策であり、形状抵抗による主流の偏向を目的としていない。

本研究では、水叩き下流側に石組みの護床区間を設けることで石組みの形状抵抗により、主流を上昇させ、水叩き下流側での河床保護対策が可能であることを実験的に明らかにした。

## 2. 実験概要

実験では、長方形断面水平水路（水路幅  $B = 0.80$  m, 水路高さ  $0.10$  m, 水路長さ  $15$  m）に落差模型（横断方向長さ  $0.796$  m, 落差高さ  $H = 0.1$  m, 流下方向長さ  $L = 1.0$  m）を設置し、低落差下流側に水叩き  $\ell = 0.317$  m を設置し、水叩き下流端から  $L_s = 0.60$  m にわたり、護床工として石組み区間を設けた。また、石組み下流端から礫（ $0.20 \sim 1.5$  cm 径）を  $5.5$  cm の厚さで  $L_g = 1.0$  m 設置した。記号の定義図を **図 1** に示す。水理条件は、相対落差  $H/d_c$  ( $H$ : 落差高さ,  $d_c = \sqrt[3]{q^2/g}$ : 限界水深), 相対下流水深  $h_d/d_c$  ( $h_d$ : 下流水

深), 単位幅流量  $q$  を既往研究<sup>2),3)</sup>と同一条件となるよう **表 1** に示すように設定した。水深および河床形状の測定はポイントゲージ ( $1$  mm 判読可) を用いた。なお、河床形状の測定には、ポイントゲージのロッドを使用している。また、流速の測定は KENEK 社製の 2 次元 I 型電磁流速計 (測定時間  $30$  sec, 測定間隔  $0.05$  sec ( $20$  Hz)) を用いた。

## 3. 水叩き下流の河床形状

**図 2** に各測定断面における水面形および通水前と通水後での河床形状について示す。低落差を乗り越えた流れから跳水が形成される。図に示されるように、水面形について、横断方向に対する変化は見られない。河床形状について、通水前後の礫床の違いに着目し、 $y/(B/2) = 0, 0.50$  の位置で比較すると、石組み下流側の河床状態はほとんど変化が見られない。わずかに石組み直下流で掘られ、その下流側で堆積が見られるものの、局所的な深掘れが生じることもない。このため、河床洗掘への対策として、石組みを用いることは有効であると推定される。

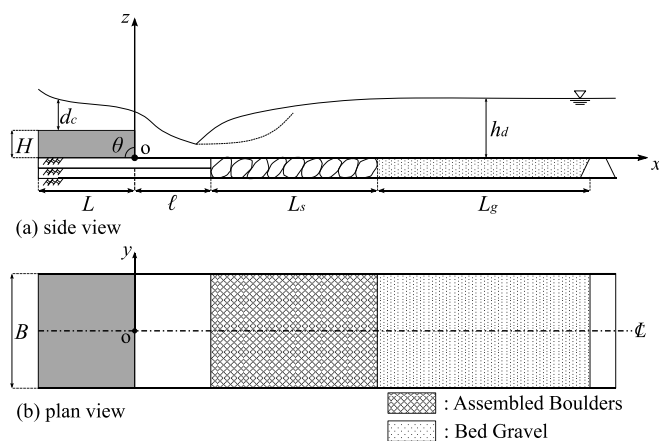


図 1 記号定義図

表 1 実験条件

$H/d_c$	$h_d/d_c$	$q$ ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	$L_s/\ell$	$\theta$ ( $^\circ$ )
1.20	1.77	0.0754	1.62	90

キーワード 水叩き, 洪水流, 低落差構造物, 石組み, 河床保護

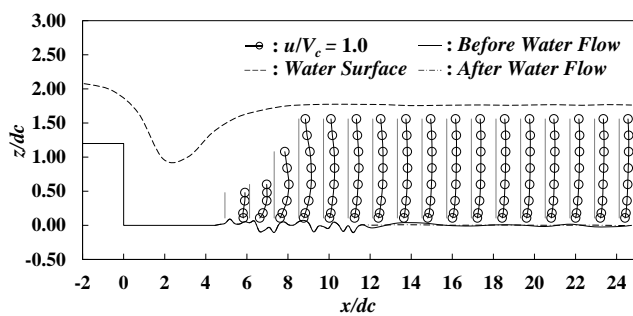
連絡先 〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14 TEL ; 03-3259-0409 E-mail ; yasuda.youichi@nihon-u.ac.jp

4. 水叩き下流側での時間平均流速

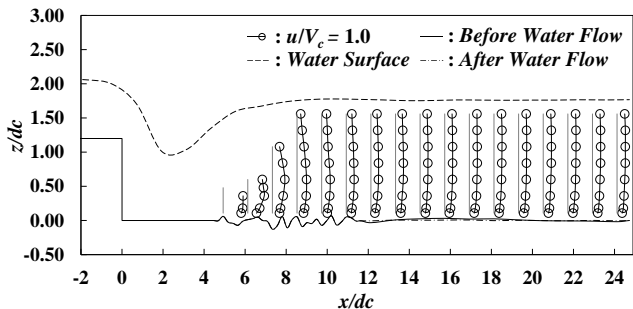
図2に各測定断面での時間平均流速の鉛直方向分布を示す。図に示されるように、 $y/(B/2)=0, 0.50$ に共通して、水叩きを越え、石組み区間で主流が水面に向かうことを確認した。また、石組み設置区間下流側では、底面付近の時間平均流速は常に小さくなることを確認した。

図3に各測定断面の主流（最大流速）の位置の流下方向の変化を示す。図に示されるように、石組み区間で底面付近に位置していた主流の位置は水面に向かって上昇していき、石組み設置下流端（ $x/d_c=10$ 付近）を越えたあたりから、水深の7割付近に主流が位置する。また、図4に各測定断面における底面付近（ $z/d_c=0.108$ ）の時間平均流速  $u_b$  を限界流速で無次元化した流下方向の変化を示す。図に示されるように、石組み設置区間で、底面付近の流速が減衰され、その下流側では流速の変化は小さい。また、横断方向に対して、石組み設置区間における流速の減衰状況に違いがみられ、石組み設置区間下流側では、 $y/(B/2)=0$ と0.50で流速の無次元量に差が生じている。これは、水叩き下流で主流が上昇したときに形成される流れの3次元性によるものと考えられる。

なお、石組み設置区間を0.40mにすると、石組み直下の0.20m区間で局所洗堀が生じることを確認している。この点は乱れを含めてさらに検討する。



(a)  $y/(B/2) = 0$



(b)  $y/(B/2) = 0.50$

図2 水面形、河床形状および流速分布の変化

5. まとめ

低落差における水叩き下流側で生じる河床低下への対策として、護床ブロックに変わり石組みを設置することを提案し、底面付近に沿った状態である主流を上昇させることによる河床保護の可能性について実験的に検討した。その結果、表1に示す実験条件の下、水叩き下流側に  $L_s = 0.60$  m の石組みの護床工区間を設けることで石組み下流側における礫床区間で河床低下の原因となる局所洗堀がほとんど生じないことを示した。すなわち、河床低下対策の手段として、有効であることが期待される。今後は、流量を変化させた場合の必要石組み設置区間や乱れによる影響について検討をしていく必要がある。

参考文献

- 1) (財)国土開発技術研究センター編：改定 解説・河川管理施設等構造令，pp.171-173；222，(社)日本河川協会，山海堂，2000。
- 2) Yasuda, Y., Shinozaki, R., Flow characteristics of hydraulic jumps below low drop structures, 12th International Symposium on Ecohydraulics, Japan, Tokyo, August, 2018.
- 3) 安田陽一，篠崎遼太：落差直下流部に形成される跳水内部の流速特性に対する落差形状の影響，水工学論文集，63巻，2018。

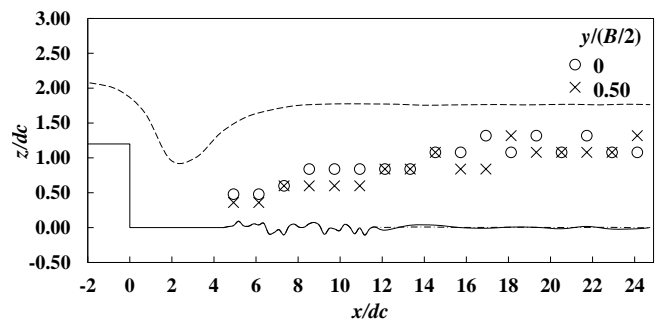


図3 各測定断面の主流位置の流下方向変化

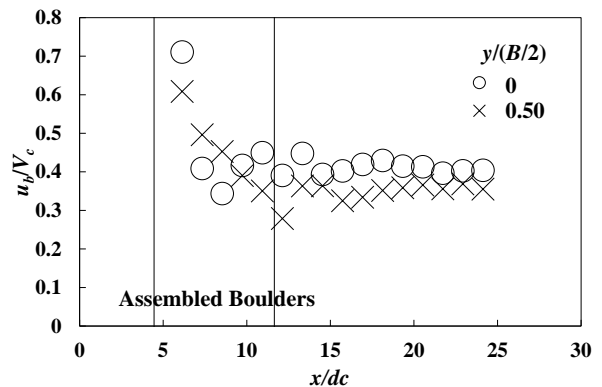


図4 底面付近の時間平均流速の流下方向変化