

開口部を有する上向越流堰の直下流における乱流特性について

熊本大学大学院 学生会員 ○宇根 拓孝
 熊本大学大学院 正会員 大本 照憲
 熊本大学大学院 学生会員 安達 幹治

1. はじめに

ダムや堰などの河川横断構造物は川が本来有する連続性を遮断、物理・生物環境の多様性を消失、さらに自然攪乱を抑制する傾向を持つことが指摘されている。米国では堰を含めたダムの老朽化や河川環境の劣化を改善するために既に 500 以上の堰やダムが撤去されている¹⁾。また、側岸浸食の抑制、流砂の促進、河道の安定性、瀬と淵の創出のために Cross-Vane, W-Weir あるいは J-Hook Vane の検討がされている²⁾。

既往研究として Zhang ら³⁾は、粒径や比重の異なる各種の路床材料を敷きならした水路に開口部を有する種々の堰を設置し、越流状態における堰上流域における河床の洗掘特性や堰周辺の局所流を検討した。また、住田ら⁴⁾は、アスペクト比の比較的大きい実験水路を用い、堰開口部の形状や大きさが堰上流の河床変動に与える影響、洗掘に伴う流路の形成を検討している。しかし、開口部を有する堰が堰下流域の河床変動に与える影響については研究例が少なく、部分撤去された堰下流域の河床の洗掘・堆積特性や流れについての研究事例は皆無に等しい。加藤清正の時代に築造されたとされる球磨川の遙拝堰や菊池川の白石堰は、その平面形状から八の字堰と言われ、堰が側岸から上流に向きを取っていた。開口部は舟運のために開かれたものであり、遙拝堰においては堰の長さは 200 間、開口部は 20 間であった。

本研究では、開口部を有する上向越流堰において堰下流域に発達した砂州上の流れの三次元構造について直角越流堰との比較を基に検討した。

2. 実験方法

実験は全長 10m、幅 $B=40\text{cm}$ 、高さ 20cm のアクリル樹脂からなる循環式可変勾配水路を用いて行った。

図-1 に示す様に上流端から下流 5m の水路中央部に幅 10cm の開口部を有する堰を設置し、堰上流 4.5m 区間および下流側 4.5m 区間には相対越流水深に応じて移動床厚を

3cm から 10.5cm の範囲で敷き均し、平均粒径 1.7mm で一様な粒径の珪砂を用いた。堰の向きは側岸の法線を基準にして側岸に直角 ($\theta=0^\circ$)、上向き ($\theta=10^\circ$) および下向き ($\theta=-10^\circ$) の 3 種である。開口部の底面は珪砂で構成され洗掘を許容している。堰上流側の河床高は、下流側の河床高に較べて 1cm 高く設定した。

相対越流水深 H/D_w は、越流水深 H を堰高 D_w 除した値である。実験は、相対越流水深に応じた河床高に砂を敷き均し、一定の流量 ($Q=4.3\text{l/s}$) および水路勾配 ($I=1/500$) の基で下流側の堰操作を行い、何れのケースにおいても 24 時間以上通水の後に、河床が平衡状態に達したことを確認し、河床高を計測した。なお、堰の局所洗掘の影響が及ばない地点で断面平均流速が約 20cm/s において相対越流水深 H/D_w を系統的に変化させた。座標系は開口部がある水路中央底面を原点とし、流下方向に x 軸、横断方向に y 軸、鉛直下方向に z 軸をとり、右手系とする。また、それぞれの流速成分を u, v, w 、時間平均成分を U, V, W 、変動成分を u', v', w' と表す。水位および河床高の計測には、それぞれ、ポイントゲージおよび超音波水位計を用いた。流動機構の検討は、相対越流水深 $H/D_w=0.83$ の上向き、直角および下向きにおける水面形、流速の点計測および多点同時計測を行った。表面流の計測には流速の多点同時計測が可能なビデオカメラを用いた PIV (Particle Image Velocimetry) 法を、流速の点計測には I 型および L 型の電磁流速計を用いた。

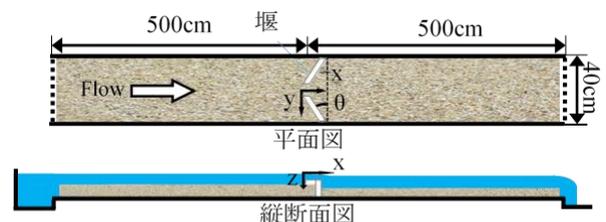


図-1 実験水路の概要

キーワード 開口部を有する堰、河床形状、砂州、局所洗掘、三次元乱流、二次流セル

連絡先 〒860-8555 熊本市中央区黒髪 2-3-52

3. 実験結果

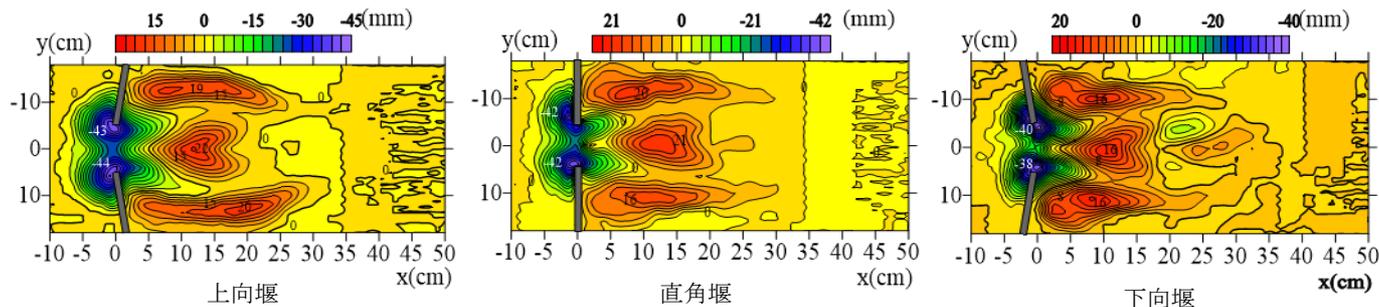


図-2 河床形状 ($H/D_w=0.83$)

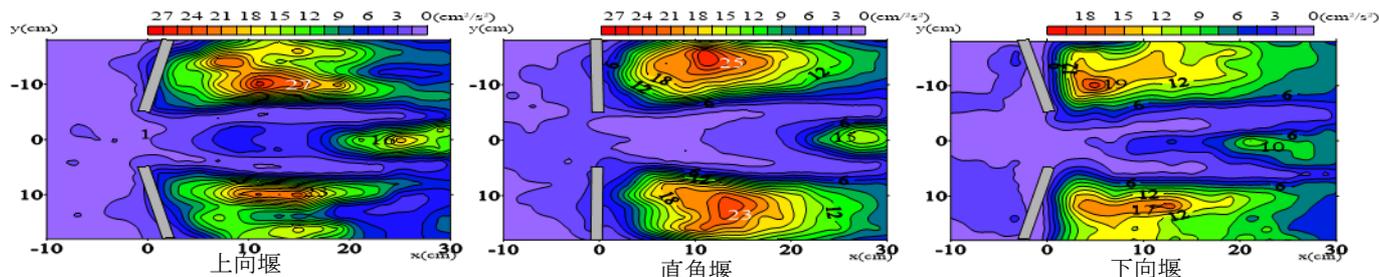


図-3 乱れエネルギーの平面コンター (水面下 3.5cm)

(1) 静的平衡河床形状

図-2 は、それぞれ、断面平均流速が 20cm/s における上向き堰および下向き堰の河床洗掘・堆積形状のコンターを示す。なお、コンターの数値は初期平坦河床から変化量を mm 単位で表示した。

上向き堰および下向き堰における洗掘は、堰開口部周辺に集中し、洗掘の面的広がりおよび深さは相対越流水深の増加に従って小さくなる。また、上向き堰と下向き堰との比較では洗掘の面的広がりには上向き堰の方が大きい。

(2) 堰開口部下流の乱れ特性量

図-3 に上向、直角および下向堰のそれぞれ水面下 3.5cm における乱れエネルギーの平面コンターを示す。

水面下 3.5cm における乱れエネルギーの空間分布は、いずれも堰背後および堰開口部下流の $x=20\sim 30\text{cm}$ の範囲において比較的大きい領域があることが分かる。堰背後において直角堰は堰中央の $y=\pm 15\text{cm}$ 付近、また下向堰は堰先端より若干側岸寄りの $y=\pm 10\text{cm}$ 付近での乱れエネルギーの極大値を取ることが分かる。上向堰の極大値は、下向堰と同様に堰先端より若干側岸寄りの $y=\pm 10\text{cm}$ 付近で発生している一方で、側岸近傍にも発生していることが分かる。また堰背後における乱れエネルギーの極大値の大きさは、上向堰、直角堰および下向堰の順で小さくなる。

堰開口部下流の乱れエネルギーは、上向堰で最も大きく、直角および下向きの順で小さくなる。図-2 が示すように、開口部中央の砂州堆積厚が上向堰で最も大きく、直角および下向きの順で小さくなることから、堰開口部下流に発生した砂州の剥離によるものと推察される。

参考文献

- 1)ハイムツ科学・経済・環境センター編,青山己織訳: ダム撤去, 岩波書店,2004
- 2) Rosgen, D.: The Cross-Vane, W-Weir and J-Hook Vane Structures...Their Description, Design and Application for Stream Stabilization and River Restoration., PROCEEDINGS of Wetlands Engineering & River Restoration 2001 Edited by Donald F. Hays,; pp. 1-22. ,doi: 10.1061/40581(2001)72,2001
- 3) Zhang H., Muto, Y., Nakagawa, H and Nakanishi, S.: Weir removal and its influence on hydro-morphological features of upstream channel, Journal of applied mechanics, Vol.15, No2, pp.591-599, 2012.
- 4) 住田英之, 武藤裕則, 田村隆雄: 堰の部分撤去に伴い上流側へ発達する流路の形状について, 土木学会論文集 B1(水工学)Vol.71,No.4,I925-I930,2015