

開口部を有する越流堰が河床変動および流れの構造に与える影響

熊本大学工学部 学生会員 吉田 樹宏
 熊本大学工学部 学生会員 宇根 拓孝
 熊本大学大学院 正会員 大本 照憲

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⁾。

日本では熊本県南部を流れる一級河川・球磨川において河口より約 20km 上流の八代市坂本町地先にある発電用の荒瀬ダムは、2012 年度より段階的な部分撤去法が適用された。そのため熊本県企業局²⁾ではダム撤去が河床変動、河川環境に与える影響を検討している。

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。

本研究では、動的河床の前に静的平衡河床を対象に、開口部を有する堰において相対越流水深が堰下流の河床変動に与える影響および堰下流域に発達した砂州の基本特性および河床上の流れの三次元構造について検討した。

2. 実験方法

実験は全長 10m、幅 B=40cm、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。開口部の底面は珪砂で構成され洗掘を許容している。なお、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。

表-1 に移動床実験の条件を示す。相対越流水深は、越流水深を堰高で除した値である。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 ($I=1/500$) の基で下流端の堰操作を行い、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の上、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 10cm/s および 20cm/s において相対越流水深を系統的に変化させた。表中の U は堰より上流 3m 位置における断面平均流速、 H は越流水深、 D_w は堰高である。 K_I は断面平均流速 U に対する河床材料の移動限界流速 U_{cr} で Melville⁵⁾によって提示された K ファクターの中の流れの強さに相当する。

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、鉛直下向方向に 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、表-1 の Case2-4 において水面形、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。

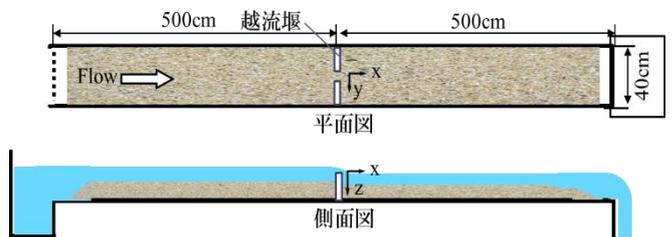


図-1 実験水路の概要

表-1 実験条件

Case	$U(\text{cm/s})$	Fr	K_I	$H(\text{cm})$	$D_w(\text{cm})$	H/D_w
1-1	10	0.1	0.23	0	11	0
1-2				2	9	0.22
1-3				3	8	0.38
1-4				4	7	0.57
1-5				5	6	0.83
1-6				5.5	5.5	1.0
2-1	20	0.27	0.47	1	4.5	0.22
2-2				1.5	4	0.38
2-3				2	3.5	0.57
2-4				2.5	3	0.83
2-5				2.7	2.8	0.97
2-6				3	2.5	1.2

3. 実験結果

3.1 静的平衡河床形状

図-2 は、断面平均流速 20cm/s における河床洗掘・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。断面平均流速 20cm/s 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事が分かる。また、洗掘幅は堰下流に較べ、上流側で大きくなる事が分かる。堰先端部の馬蹄形渦に伴う下降流位置で局所洗掘が大きくなる事が推察される。断面平均流速 20cm/s における顕著な砂州は、水路中央および左右岸に沿って形成され、左右岸の砂州の高さが水路中央のそれに較べて大きく、堆積形状は相対越流水深が 0.22~0.83 の範囲で類似している。

相対越流水深に対する最大洗掘深および最大堆積厚の変化を図-3 に示す。最大洗掘深および最大堆積厚は、静的平衡河床においては相対越流水深の増大に伴って指数関数的に減少する事が分かる。相対越流水深が増大するに従って、堰開口部を通過する流量および流速が相対的に減少し、その結果として堰への接近流速、堰先端の馬蹄形渦が弱まったことが示唆される。

断面平均流速 20cm/s における堰直上流における洗掘の横断形状を図-4 に示す。堰直上流における洗掘の横断形状は、全て W 形状で類似し、堰先端の $y = \pm 5\text{cm}$ で極大洗掘深を示し、開口部中央 $y=0\text{cm}$ で盛り上がり、相対越流水深の増大に伴い洗掘傾向は弱まっている。

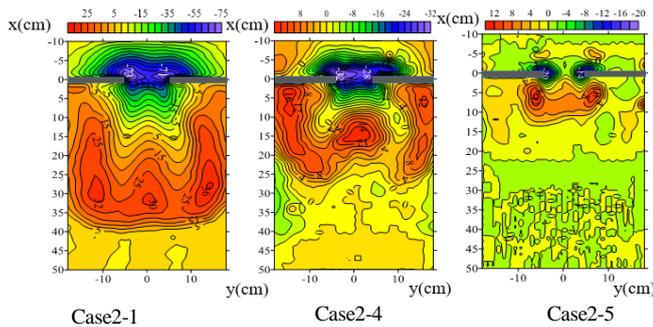


図-2 河床変動 ($U=20\text{cm/s}$)

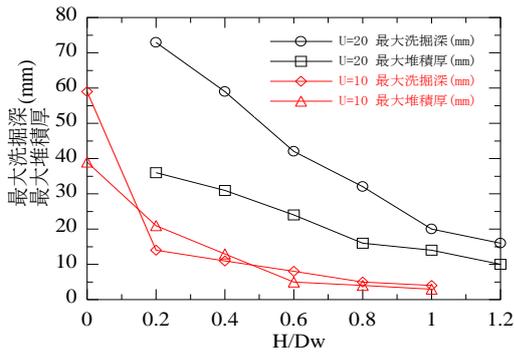


図-3 最大洗掘深・最大堆積厚と相対越流水深

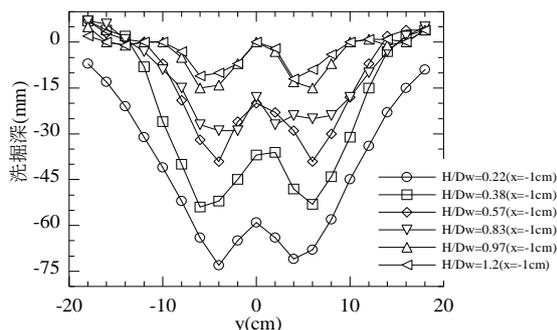


図-4 洗掘の横断形状

3.2 堰開口部下流の局所流

図-5 は、それぞれ、堰下流域の $x=10\text{cm}$ および 30cm における二次流の鉛直方向成分 W の鉛直面内のコンター図を示す。

二次流の鉛直方向成分 W は、極めて規則性の高い空間分布を示し、上昇流は砂州の峰部に当たる水路中央 $y=0\text{cm}$ および $y=\pm 15\text{cm}$ 付近で、下降流は砂州の中間の谷部に位置する $y=-10\text{cm}\sim-5\text{cm}$ および $y=3\text{cm}\sim 8\text{cm}$ の区間で発生していることが認められる。堰前面で発生した横断方向に軸を持つ馬蹄形渦は堰開口部を流下するに従って流下方向に軸を持つ縦渦に向きを変え、その外側には逆回転の縦渦が形成されたことが認められる。これらの縦渦は上昇流および下降流の大きさから、 $x=10\text{cm}$ で最も強く流下に従って若干弱まっていることが分かる。

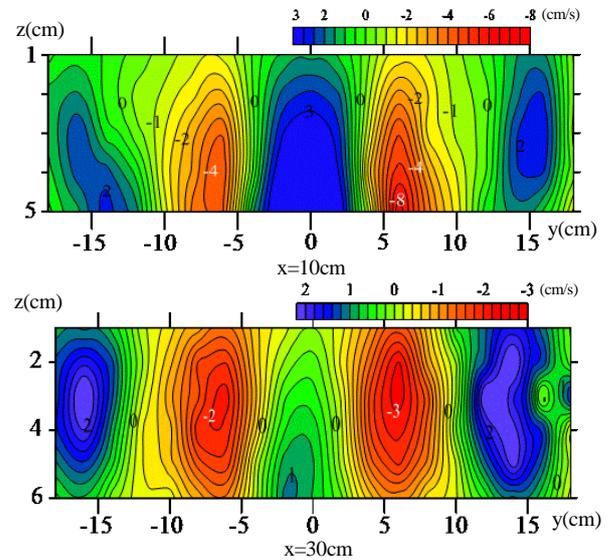


図-5 二次流 W の鉛直コンター

4. 結論

本研究では、静的平衡河床を対象に開口部を有する堰が下流の河床変動に与える影響および堰下流域に発達した砂州上の流れの三次元性について検討した。

参考文献

- 1) ハイテック科学・経済・環境センター編, 青山己織訳: ダム撤去, 岩波書店, 2004
- 2) 熊本県企業局総務経営課荒瀬ダム撤去室: http://www.arasedamtekkyo.hinokuni-net.jp/02_page/05_kyougikaitou/
- 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, 1925-1930, 2015
- 5) Bruce W. Melville: Pier and Abutment Scour: Integrated Approach, J. Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.123, No.2, pp.125-136, 1997