

開口部を有する斜め越流堰が河床変動および平均流場に与える影響

熊本大学工学部 学生会員 村山 祐暉
熊本大学教授 正会員 大本 照憲
熊本大学大学院 学生会員 宇根 拓孝

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。具体的には生態系の劣化現象に対して、横断構造物の下流における流量・流砂量の減少、水温・水質の不連続性、濁水の長期化、横断構造物における上下流間での水生生物の移動阻害が要因として挙げられる。

そのため、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、魚類の生息環境改善、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⁾。

Dawei Guan ら³⁾は、堰下流における河床の洗掘形状、流れのパターンおよび乱流特性について議論し、堰が横断方向に一樣な形状であっても堰下流には二次流が発生し、流れの三次元構造が顕著に表れることを指摘した。

類似の局所流現象として橋脚や橋台、水制の局所洗掘がある。Melville⁴⁾は、橋脚や橋台に関する既往研究を取り纏め、極大洗掘深の経験式を提示している。

既往研究において開口部を有する堰が河床変動に与える影響について検討された事例は少ない。

Zhang ら⁵⁾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⁶⁾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、開口部を有する堰が下流域の河床の洗掘・堆積特性や流れに与える影響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. 実験装置および方法

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。

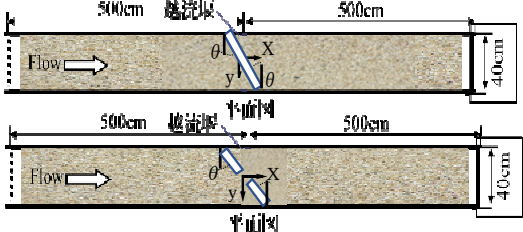
図—1 に示す様に上流端から下流 5m の水路中央部に幅

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一樣な厚さで平均粒径 1.7mm、均等係数 1.50 の珪砂を敷き均した。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。本研究では、静的平衡河床を対象としているために堰の影響が及ばない上流域および下流域で平均粒径の河床材料が掃流されない限界掃流力以下の流量に設定した。なお、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 ($Q = 4.3 \ell / s$) 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、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 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_t 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 Melville⁷⁾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、鉛直下方向に z 軸を取り、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。



図—1 実験水路の概要

表—1 実験条件

堰の種類	case	$U(\text{cm/s})$	K_t	$H(\text{cm})$	D_w	H/D_w
斜め堰(開口)	A-1	20	0.47	3	2.5	1.2
	A-2			2.75	2.75	1
	A-3			2.5	3	0.8
	A-4			2	3.5	0.6
	A-5			1.5	4	0.4
	A-6			1	4.5	0.2
斜め堰(非開口)	B-1	20	0.47	3	2.5	1.2
	B-2			2.75	2.75	1
	B-3			2.5	3	0.8
	B-4			2	3.5	0.6
	B-5			1.5	4	0.4

3. 実験結果

(1) 静的平衡河床形状

図-2、図-3 は、それぞれ、断面平均流速が 20cm/s における斜め堰(開口), 斜め堰(非開口)の河床洗堀・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の変化量 mm 単位で示した。

開口部を有する堰における洗堀は、堰開口部周辺に集中し、洗堀の面的広がりおよび深さは相対越流水深の増加に従い小さくなる。また、開口部を持たない斜め堰については、左岸側に洗堀が集中し、洗堀の面的広がりおよび深さについては開口部を持つ斜め堰と同様、相対越流水深の増加に従い小さくなる。

相対越流水深に対する最大洗堀深および最大堆積厚の変化を図-4 に示す。

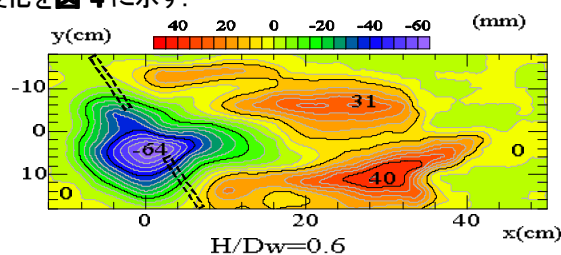


図-2 河床形状(斜め堰開口)

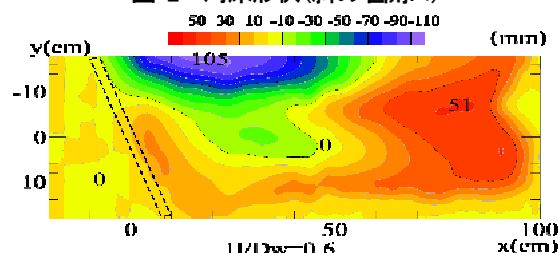


図-3 河床形状(斜め堰非開口)

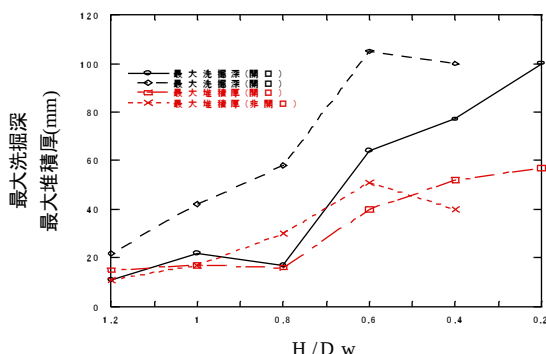


図-4 最大洗堀深と最大堆積厚と相対越流水深

(2) 斜め堰(非開口)における局所流

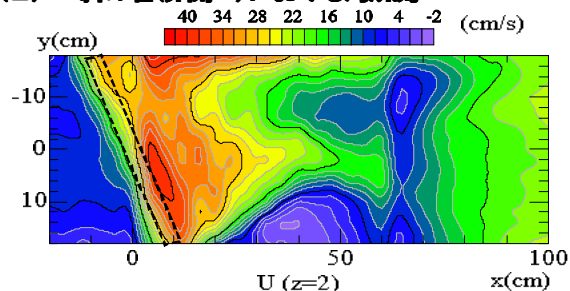


図-5 主流速 V の平面コンター(z=2.0cm)

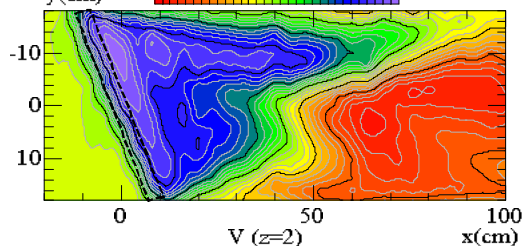


図-6 z=2.0cm における流れの向き

図-4、図-5 はそれぞれ相対越流水深 0.6 における非開口の斜め堰の主流速 U, V をコンター図で表したものである。どちらも越流部と左岸側壁部で大きな変化量を示している。

また、図-6 では相対越流水深 0.6 の河床形状のコンター図に、z=2.0cm で計測した主流速から表面流の流れの向きを矢印で表した。

4. 結論

本研究では、静的並行河床を対象に、斜め堰が開口部の有無によって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流れの三次元性について検討した。

河床変動については洗堀箇所、堆積の規模で顕著な違いが見られた。

参考文献

- 1)ハインツ科学・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)Guan, D., Melville, B., and Friedrich, H. Flow Patterns and Turbulence Structures in a Scour Hole Downstream of a Submerged Weir, J. Hydraulic Engineering, Vol.140, No.1, pp.68-76, 2013.
- 4)Bruce W. Melville Pier and Abutment Scour: Integrated Approach, J. Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.123, No.2, pp.125-136, 1997
- 5)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, No.2, pp.591-599, 2012.
- 6)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, 201