

堰下流部における 3 次元流況の PIV 計測

鳥取大学大学院 学生会員 ○大谷 直寛
 磐田市役所 正会員 山下 貴弘
 鳥取大学大学院 正会員 梶川 勇樹

1. はじめに

堰上で支配断面が形成されるような流れの場合、堰直下では「潜り噴流流れ」とともに局所洗堀が発生し、その流況特性や洗堀深・洗堀形状について、主に河道縦断方向の中央部のみを対象として実験的・数値的に多くの研究がなされてきた。しかしながら、堰越流部は複雑な乱流構造となっているため、横断方向に一様に流下しているとは言い難い。近年、潜り噴流流れを対象とした 3 次元解析により、横断流況の発生の可能性が指摘されているが、実験により検証された例は数少ない。そこで本研究では、堰下流部の 3 次元流況特性の解明を目的とし、PIV 計測により流況の計測を行った。

2. 実験概要

1) 実験水路

本研究では、図-1 に示す循環式 2 次元水路 (長さ 10 m, 幅 0.5 m, 高さ 0.6 m) を用いて実験を行った。水路の底面は鋼製、水路側壁はガラス製である。水路下流部には水位調節ゲートが存在し、実験ケースに合わせて変動させた。流量は上流のバルブを用いて調節を行い、バケットにより算出した。

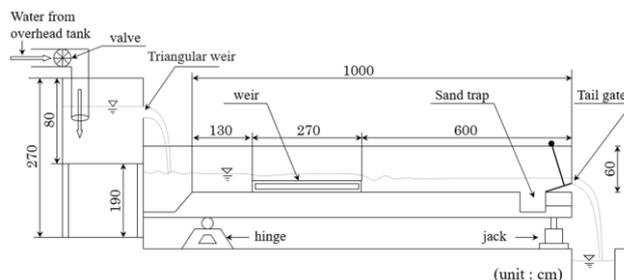


図-1 実験水路の概要

2) 実験条件

実験条件を表-1 に示す。本実験では、水路に木製堰を設置することで堰下流部の流況を再現した。流量は一定とし、木製堰の高さは 0.10 m とした。堰から 1.1 m 下流での水深を下流端水深 h_t と定義し、流況の設定は、潜り噴流・波状跳水の移行条件式より設定した。

表-1 実験条件

	堰高・ $W(m)$	流量・ $Q(m^3/s)$	水路・勾配・ $I(m)$	限界・水深・ $h_b(m)$	下流端・水深・ $h_t(m)$	流況
Case1-1	0.010	0.0147	1/247	0.0455	0.130	潜り噴流
0.140					波状跳水	

3) 撮影法・計測断面

本研究における計測軸を図-2 に示す。計測においては、縦断面・横断面・水平面の 3 断面に分け、それぞれ高速度カメラ、レーザー光源の位置を変更して配置した。なお、本研究の水深はポイントゲージを用いて、 $y = 5, 25, 45$ cm 断面の $x = -5, -3, 0, 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 110$ cm の箇所で計測した。

4) 実験手順

本研究における実験・PIV 解析手順を示す。

- ① 各計測断面で高速度カメラ、レーザー光源を配置し、キャリブレーション用画像の撮影を行う。キャリブレーション画像は水路に水を張った状態で行う。

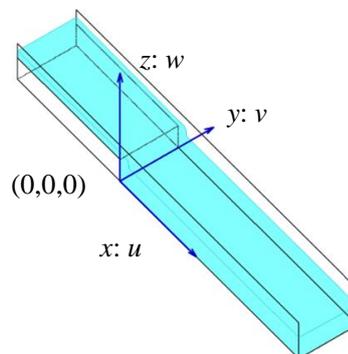


図-2 計測軸

キーワード 堰下流部, 潜り噴流流れ, 波状跳水流れ, PIV 計測

連絡先 〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南 4-101 鳥取大学大学院持続性社会創生科学研究科工学専攻

TEL 0857-31-5696, FAX 0857-28-7899

- ② 水路に通水し，下流端で指定の水深になるように水位調節ゲートを操作する。
- ③ 堰の越流部において，所定の流況であることを確認後，レーザー光を照射し，水路の上流からトレーサー粒子を流すと共に撮影を行った。また，レーザー光出力は約 3 A に設定した。
- ④ PIV 解析の解析格子は全ケースにおいて $\Delta x, \Delta y, \Delta z = 1 \text{ cm}$ に設定し解析を行い，全フレームの平均流速を使用した。

3. 実験結果

1) 縦断面

縦断面流速ベクトルの結果を図-3, 4 に示す。これらは各断面で計測した流速値(u, w)より描いた流速ベクトル図であり，(a)側壁近傍($y = 5 \text{ cm}$)，(b)水路中央($y = 25 \text{ cm}$)である。背面コンターは(u, w)の合成流速値である。また，水路中央及び側壁近傍における $x = 10 \text{ cm}$ から 10 cm 毎の流下方向流速分布の比較を図-5 に示す。

(a) 潜り噴流流れ

図-3 を見ると，主流水脈が河床に衝突した後，水路底に沿って流下している。また，潜り噴流流れの特徴である水面付近の逆流域も見られた。水面付近の逆流域の範囲は堰高が高いケースほど広域に及んでいた。図-5(a)の水面での逆流域の範囲について，中央のほうが両側壁に比べて広範囲に位置している。

(b) 波状跳水流れ

図-4 を見ると，主流水脈が水面付近を流下し，水底では逆流域がみられる。潜り噴流流れでは，堰直下における逆流域は時計周りにのみ発生していた。また，図-5(b)の流下方向流速分布図より，水路中央と両側壁の逆流域の範囲においては差がないものの，流下方向流速は左岸に比べ水路中央と右岸において，強い流速値が示された。

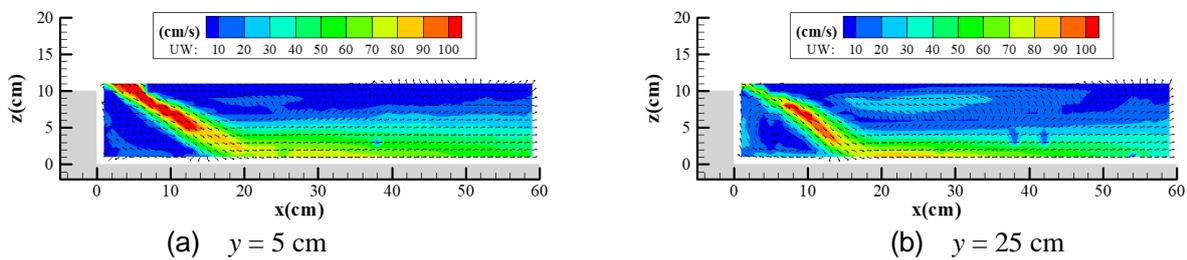


図-3 case1-1 における縦断面流速ベクトル図

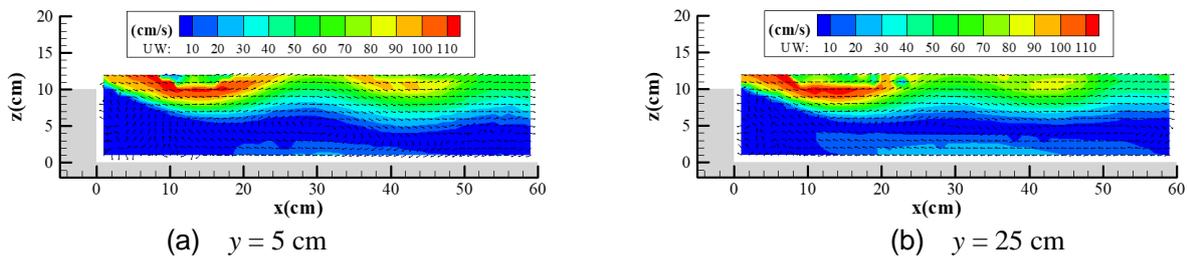


図-4 case1-2 における縦断面流速ベクトル図

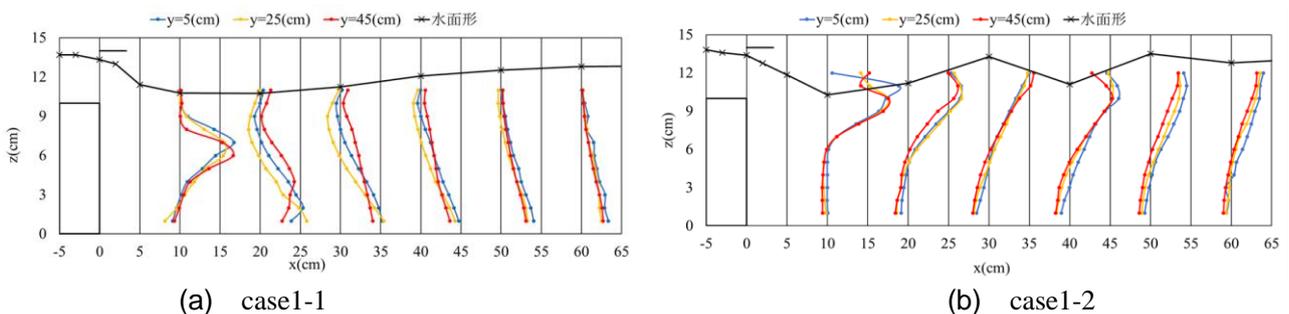


図-5 水路中央，両側壁の流化方向流速分布

2) 水平面

水平面流速ベクトルの結果を図-6に示す. この図は, $x = 0 \sim 60$ cmの水面付近で計測した流速値(u, v)より描いた流速ベクトル図である.

(a) 潜り噴流流れ

図-6(a)より, 水面での逆流域は, 両側壁よりも水路中央で広域に広がっていた. また, 両側壁の逆流域下流端では, 水路中央に向かう流れが発生し, さらに上流側の逆流域終端では水路中央から両側壁に向かう特徴的な流況が見られた. この上流側の逆流域の水流は, 再び主流水脈と合流していると思われる.

(b) 波状跳水流れ

図-6(b)より, 波状水面の1波目と2波目の山頂と谷の流速差が分かる. また, 波状跳水流れは潜り噴流流れに比べ, 流下方向流速の横断方向変化が小さく, ほぼ一様に流下しており, 水路中央の流速が強い値を示していた.

3) 横断面

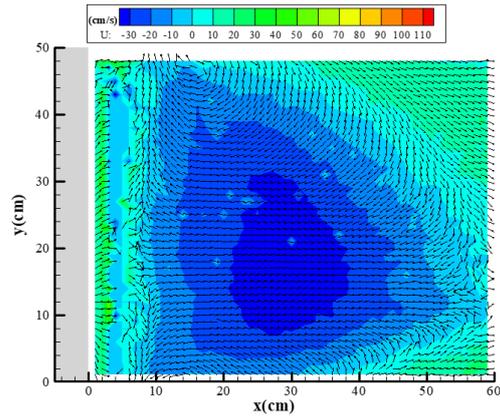
各ケースの横断面流速ベクトルの結果を図-7, 8にそれぞれ示す. これらは各断面で計測した流速値(v, w)より描いた流速ベクトル図である. (a) $x = 10$ cm, (b) $x = 20$ cm, (c) $x = 40$ cm, (d) $x = 60$ cm, (e) $x = 80$ cm, (f) $x = 100$ cmの断面である.

(a) 潜り噴流流れ

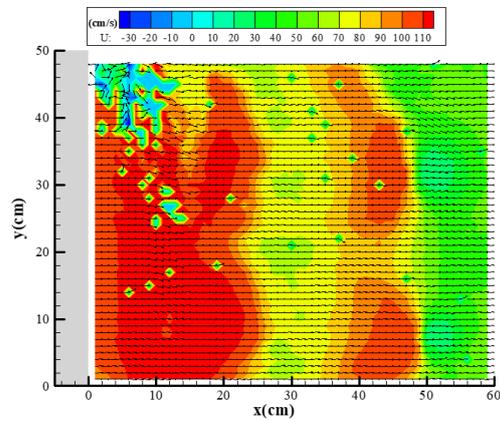
主流水脈が河床に再付着する前である $x = 10$ cmの断面では, 鉛直下向きの流速が卓越している. その後, 河床に衝突した後 ($x = 20 \sim 40$ cm付近) に水底付近では水路中央から両側壁に向かい, 水面付近では両側壁から水路中央に向かう流れが見られた. 特に, 堰高が高く下流端水深が大きいケースほど, 水面付近での側壁から中央に向かう流れが顕著であった. その後, $x = 60, 80$ cmの断面で渦流が発した後に, $x = 100$ cm断面では消失, 横断方向の流れが弱まる流況が確認された.

(b) 波状跳水流れ

$x = 10$ cm断面では, 鉛直下向きの流速が強く現れ, $x = 20$ cmでは鉛直上向きの流速が卓越している. また, 特に $x = 20$ cmの断面にて水底側壁部から中央に向かって流れ, 再び側壁に向

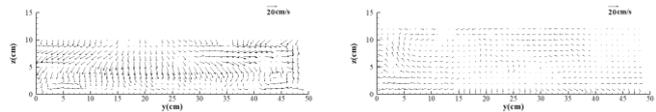


(a) case1-1



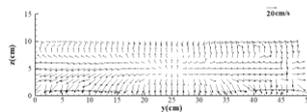
(b) case1-2

図-6 水面付近の水平面流速ベクトル図



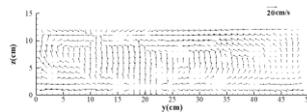
(a) $x = 10$ cm

(d) $x = 60$ cm



(b) $x = 20$ cm

(e) $x = 80$ cm



(c) $x = 40$ cm

(f) $x = 100$ cm

図-7 cae1-1における横断面流速ベクトル図

かう流れが現れた。 $x = 40 \text{ cm}$ では潜り噴流流れとは逆に、水面付近では水路中央から両側壁に、水路底では両側壁から水路中央に向かう流れが生じていた。 $x = 60 \text{ cm}$ 以降は潜り噴流流れ同様に渦流が発生し、流下するにつれて消失し、横断方向、鉛直方向の流速ともに弱まった。

4. まとめ

(1) 潜り噴流流れ

堰を越流した主流水脈は側壁方向に広がりながら河床に衝突し、堰直下と水面付近に弱い逆流域を形成する。水面付近の逆流域は水路側壁より水路中央において広域に及び、水面を逆流した流れは左右両側壁に流れ込み再び主流水脈と合流する。この両側壁に向かう逆流域は、堰を越流した主流水脈が横断方向に広がる事によって引き起こされと考えられる。また、水路横断方向の逆流域の範囲や流速の差によって、横断方向に広がりながら流下する主流水脈は再付着後にさらに横断方向に広がる。その後の渦流が発生したのは横断方向の流況が影響していると考えられる。横断方向の流況は流下するにつれて弱まり、渦流も消失する流れとなる。

(2) 波状跳水流れ

堰を越流した主流水脈は水面を波状に流下すると共に水底に逆流域を形成する。また、横断方向に水底から水路中央に弧を描きながら、再び側壁に流れ込む流況が発生する。潜り噴流流れ同様に渦流が発生するが潜り噴流流れとは異なり鉛直方向の強い流速差によって生じると考えられる。流下するにつれ渦流は消失する。

参考文献

- ・ 渡辺勝利, 蒲生諒, 安部一輝, 佐賀孝徳: 段落ち流れの側壁付近における二次流れの構造, 土木学会論文集 B1(水工学)Vol, No.4, I_703-I_708, 2014.
- ・ 梶川勇樹, 檜谷治: 堰下流部の潜り噴流流れの再現性に関する鉛直 2 次元モデルおよび 3 次元モデルの比較, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.72, No4, PPI_553-I558, 2016.

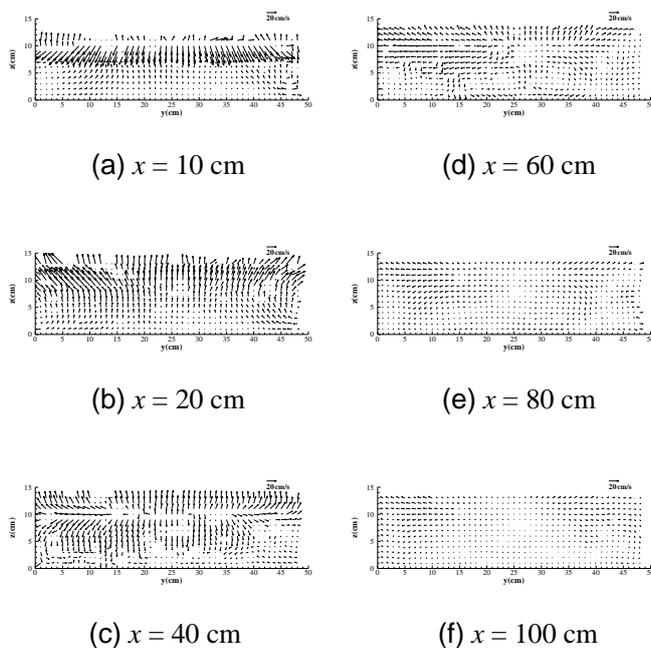


図-8 case1-2 における横断面流速ベクトル図