

第Ⅱ部門

開水路小角度合流部における流れの三次元特性

神戸大学工学部

学生員 ○田中 俊史

神戸大学大学院工学研究科

学生員 門谷 健

神戸大学大学院工学研究科

正会員 藤田 一郎

1. 研究の目的

基本的な開水路合流部の流れは、合流する流れの境界に生じる自由せん断層と支流の流れが水路側壁から剥離して生じる剥離せん断層によって特徴付けられる。自由せん断層に沿う二次流は合流点における局所洗掘に影響を及ぼす点、剥離せん断層の存在は洪水の疎通能力を低下させる点で河川工学上重要であるといえる。合流部に関する研究は数多く行われている¹⁻²⁾が、開水路合流直下流部における三次元構造の詳細に関しては不明な点が多い。そこで本研究では、特に自由せん断層に関する特徴に着目し、小角度の合流部における二次流の三次元構造の解明を試みた。

2. 実験概要

本研究では、幅 70cm、長さ 4m、深さ 10 cm のアクリル樹脂製水路の中で、長さ 2m、高さ 10 cm、厚みが 1 cm のアクリル板により本流と支流が 15 度で交わる合流水路を作成し実験を行った。二次流の発生位置を詳細に調べるため合流後のフルード数を 0.2, 0.4 の 2 通り設定し、本流と支流で流量比を 1:1, 3:5, 5:3 と変化させたケースで実験を行った。なお、合流点から本流の右岸に垂線を下ろし交わる点を原点とし、流下方向に x 軸、水路横断方向に y 軸、鉛直方向に z 軸と定義した。

3. 底面流れの可視化

今回の実験水路の底面は滑面であるため、染料注入によって底面極近傍の流れを可視化する工夫をした。白色ポスターカラー溶液の原液を 2 倍に薄めた高濃度溶液を注射針で底面に線状に塗布したところ、底面流れに沿って溶液が伸長し時間がある程度経過しても明瞭な底面流線が得られることがわかった。図-1 は合流直下部での可視化画像の例であるが、合流部で発生する二次流の影響を受けて底面流線が分離する様子が良好に可視化されている。

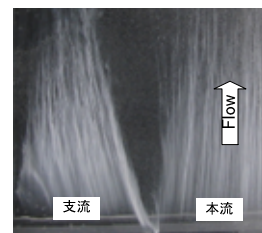


図-1 底面流線の可視化

4. 内部流速の可視化計測方法

図-1 で確認した二次流の三次元構造を解明するために水平断面計測と鉛直断面計測を行った。撮影方法の模式図を図-2、図-3 に示す。トレーサーにはナイロン粉末粒子(粒径約 $50\mu\text{m}$)を用い、水平断面計測では計測断面を $z=0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 3.8\text{cm}$ の 9 断面とし、PIV(Particle Image Velocimetry)解析により流下方向と横断方向の速度ベクトルを、鉛直断面計測では計測断面を $y=10\sim 20$ は 1 cm 間隔、 $y=6\sim 10, 20\sim 24\text{ cm}$ は 2 cm 間隔の 15 断面とし、流下方向と鉛直方向の速度ベクトルを算出した。PIV は藤田³⁾によって開発された時空間微分法による PIV を用い、鉛直方向の速度ベクトルなどの微小な流速の変化に対しても解析結果が得られることを確認した。

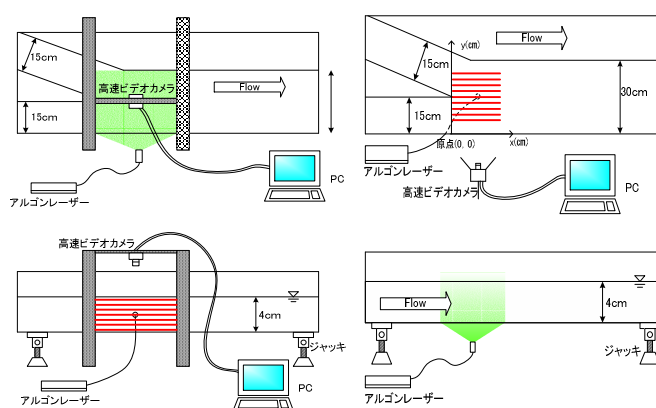


図-2 水平断面の可視化

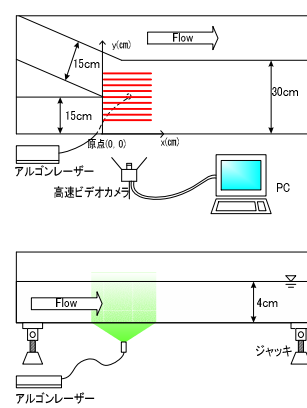


図-3 鉛直断面の可視化

5. 内部流速の可視化計測方法

合流後のフルード数が 0.2, 本流と支流の流量比が 0.75(l/s):0.75(l/s) のケースの $x=15\text{cm}$ における流下方向の速度ベクトルの横断面コンター図を図-4 に示す. 図-4(a)が水平断面計測で得られた 10 秒間の平均の解析結果, 図-4(b)が鉛直断面計測で得られた 8 秒間の平均の解析結果であり, どちらも合流後の平均断面流速で無次元化している. どちらの計測方法でも同様の分布図が得られていることから双方の計測精度の正確性がみてとれる. また, 合流点付近($y=15\text{cm}$)や $y=9, 25\text{cm}$ 付近で流速の相対的な低下がみられる. これは合流後に発生する二次流の影響による流速の低下であると推測できる. この二次流を確認するために, 同時に得られた横断方向と鉛直方向の速度ベクトルの値を用い, 横断面内ベクトル図を作成した.

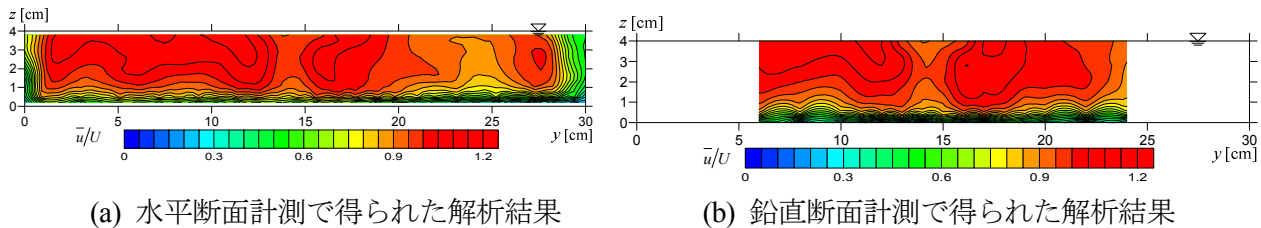


図-4 流下方向流速の横断面コンター図

図-5 が $x=15\text{cm}$ における横断面内のベクトル図である. コンターの値は鉛直方向の流速成分を示す. 本流側に時計回りの, 支流側に反時計回りの二次流が確認でき, 合流地点より下流域では複雑な三次元の流れ場が形成されていることがわかる. これらより流下方向流速の $y=9, 24\text{cm}$ 付近で流下方向の流速が低下していたことも説明できる. さらに特徴的な現象として $y=15\text{cm}$ の混合層付近の水面で上昇流が見られる. これは, ほぼ流下方向に流れる本流に支流からの流れがぶつかることで一部は沈み込み強い下降流に, 水面付近の流れは上昇流となって水面に現れる現象であると考察できる. また, 本流と支流の流量比を変化させたケースでも同様の解析を行った. 支流側の流量が大きいケースでは支流側に大規模の渦構造が, 支流側の流量が小さいケースでは支流側で小規模な渦構造が確認できた. 流量比を変化させることで下降流の位置に違いがみられたので, 移動床であれば局所洗掘の位置に影響を及ぼすことが考察できる. また混合層付近の水面の上昇流にも違いがみられ, 支流側の流量が小さいほど底面まで沈み込む流れが少なく, 上昇流へと変化する割合が大きいことがわかった.

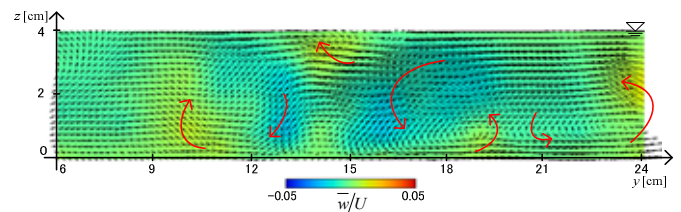


図-5 横断面内ベクトル図($x=15\text{cm}$)

6. おわりに

本研究では, 合流角が 15 度の開水路合流部の流れ場の三次元特性について基礎的な検討を行った. 底面流線の可視化から底面近傍では, 二次流の影響により分離流線が確認できた. また, 内部流計測からは流量比の違いにより二次流の規模や発生位置に変化がみられることがわかった. 合流点の底面せん断応力分布を求め二次流の影響により局所洗掘の特性を検討することが今後の課題である. また, 合流角, 水深などの水理条件を変化させ, さらなる合流部流れの三次元特性を調べていく.

7. 参考文献

- 1) Weerakoon, S. B. and Tamai, N.: Three-dimensional calculation of flow in river confluences using boundary fitted coordinates, J. Hydroscience and Hydraulic Engineering, 7, pp.51-62, 1989.
- 2) 藤田一郎・河村三郎: 開水路合流部流れの三次元構造, 水工学論文集, 34巻, pp.301-306, 1990.
- 3) 藤田一郎: 時空間微分に基づく高精度PIVの開発, 水工学論文集, 48巻, pp.721-726, 2004.