

小角度開水路合流部の三次元画像計測

神戸大学大学院工学研究科 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

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を計測したデータはほとんどない。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を明らかにするために高精度な画像計測を行った。底面付近で得られたデータからは底面摩擦速度を算出し、その分布特性について検討した。

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⁴⁾。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。

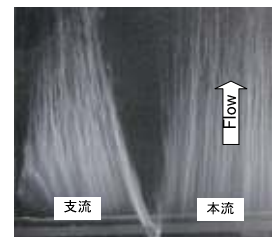


図-1 底面流線の可視化

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 $50\mu\text{m}$)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 $y=10\sim 20\text{cm}$ は 1 cm 間隔、 $y=6\sim 10\text{cm}$, $20\sim 24\text{cm}$ 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良好な結果が得られることを確認した。

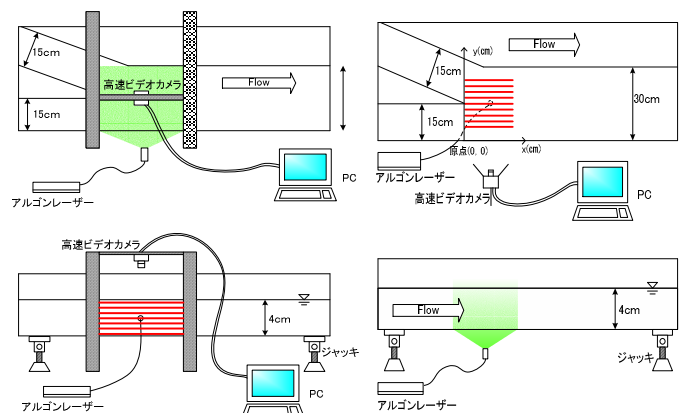


図-2 水平断面の可視化

図-3 鉛直断面の可視化

キーワード 合流, 二次流, 摩擦速度

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院工学研究科 TEL(078)881-1212

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成分の横断面コンターを図-4 に示す. 図-4(a)が水平断面計測で得られた平均値, 図-4(b)が鉛直断面計測で得られた平均値である. どちらも合流後の平均断面流速で無次元化している. 2つの計測方法で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 $y=9, 25\text{cm}$ 付近では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.

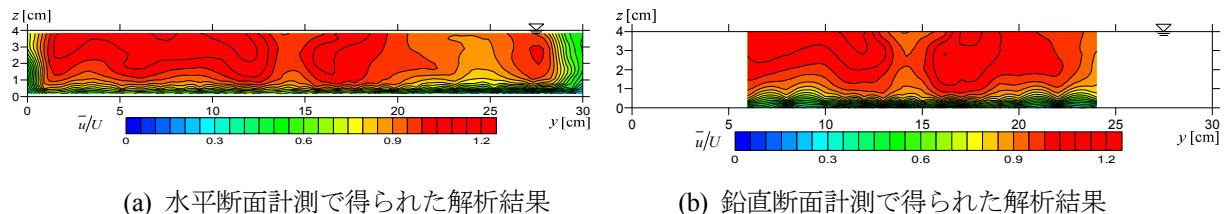


図-4 流下方向流速の横断面コンター図

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. また, $z=0.2\text{ cm}$ の水平断面データを用い二層モデルにより摩擦速度 u^* を算出した. 図-6 が上述のケースの摩擦速度のコンターである. $y=15\text{ cm}$ の合流点付近で相対的に値が高くなっていることがわかる. この地点は図-5 において下降する二次流が発生している点であり, 二次流の発生に伴い, 摩擦速度が大きくなっている. 従って, 移動床であれば合流付近で局所洗掘が生じることが予測される. 流量比が異なるケースでは下降流の位置に変化がみられた. 摩擦速度分布については分離流線に沿った局所的増大はみられなかった.

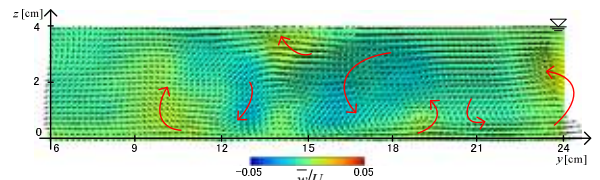


図-5 横断面内ベクトル図($x=15\text{cm}$)

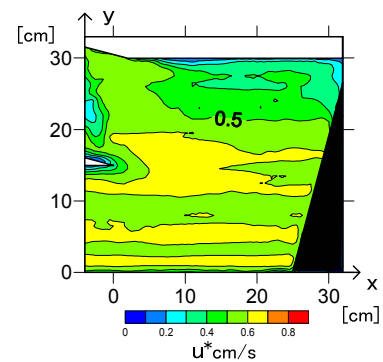


図-6 底面摩擦速度分布($z=0.2\text{ cm}$)

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摩擦速度に変化がみられることがわかった. 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ことが今後の課題である.

7. 参考文献

- 1) Weerakoon, S. B. and Tamai, N.: Three-dimensional calculation of flow in river onfluences using boundary fitted coordinates, J. Hydrosience 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.
- 4) 門谷 健・藤田一郎: 小角度で合流する開水路流の三次元性, 水工学論文集, 53巻, pp.925-930, 2009.