

開水路における平行合流と小角度合流の流れ構造の相違

神戸大学大学院工学研究科 学生員 ○戸田 敦士
 西日本旅客鉄道株式会社 正会員 田中 俊史
 神戸大学大学院工学研究科 正会員 藤田 一郎

1. はじめに

開水路における合流部は幅や流量の異なる2つ以上の流れが交わることで流れが複雑になる地点であり、合流に伴う二次流の発生は、河床の局所洗掘要因にもなるため河川工学上重要である。これまで合流部に関しては数多くの実験が行われ、合流境界の自由せん断層で生じる二次流が合流部で下降流を発生させ、局所洗掘に影響を及ぼし¹⁾、このせん断層の変化により、合流部の流れは非常に複雑な三次元流となっていること²⁾等が明らかとなっている。しかし、開水路合流部の二次流（下降流）の発生要因に関しては十分に検討されていないのが現状である。二次流の発生要因としては、合流後の水路幅変化による急拡・急縮や大角度合流部でみられる剥離渦の影響等も考えられるが、本研究では基礎的な検討として、純粋な合流のみによる影響を調べるため、合流前後の水路幅の和が変化しない条件下で、合流角が0度と10度の2ケースについて詳細な画像計測を行った。

2. 実験方法

実験には図1に示す、長さ4m、本支流幅 $B_1 = B_2 = 15\text{cm}$ 、合流後の水路幅 $B_3 = 30\text{cm}$ の循環式開水路を製作して行った。合流部は水路中央付近に位置し、合流角を自在に変化させることのできる仕組みとなっている。実験は表1に示すように、合流角が0度と10度、流量比を1:1, 2:1, 3:1の計6ケース行ったが、ここでは流量比が1:1の実験ケースを対象として考察を行う。平均水深は4.0 cm、フルード数は $Fr = 0.2$ と一定である。流れの可視化にはレーザーライトシートを用い、水平及び鉛直の断面に照射して得た可視化映像を高速度カメラで撮影し、PIV解析に用いた。PIVでは、高精度に二次流を捉えるため三枚連続画像を用いた時空間微分法に基づくPIVを使用した。

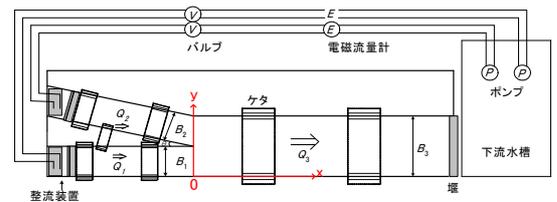


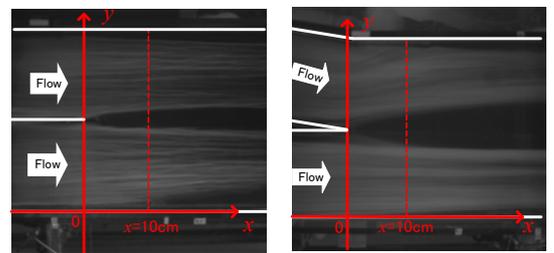
図-1 実験装置

表-1 実験ケース

Case	θ (度)	Q_1 (l/s)	Q_2 (l/s)	Q_3 (l/s)	Q_r	h (cm)	Fr_1	Fr_2	Fr_3
Q1-0	0	0.752	0.752	1.503	0.5	4	0.2	0.2	0.2
Q2-0		1.002	0.501		0.33		0.27	0.13	
Q3-0		1.127	0.376		0.25		0.3	0.1	
Q1-10	10	0.752	0.752	1.503	0.5	4	0.2	0.2	0.2
Q2-10		1.002	0.501		0.33		0.27	0.13	
Q3-10		1.127	0.376		0.25		0.3	0.1	

3. 実験結果及び考察

図-2は予備実験として白色染料を上流部から横断方向に一様に散布することで得られた底面流線である。合流部先端から、下流部に向かって染料のまったくない楔状の領域が形成されていることがわかる。これらの領域には下降流が存在すると考えられ、合流角の違いに起因して領域の形状が異なることが確認できる。即ち平行合流では、ほぼ上下対称になっているのに対し、合流10度では、支流側(上流)の底面流線が左岸側にシフトしている。これは、合流角が10度と小さい値ではあっても、底面付近の横断方向の圧力分布は合流部隅角部が相対的に低くなっており、底面流線が低圧側に向かった結果と考えられる。



(a) 平行合流 (b) 10度の合流

図-2 白色染料による底面可視化 (Qr=0.5, 多重合成)

キーワード 開水路 合流部 二次流

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市民工学専攻 藤田一郎 Tel : 078 - 803 - 6439

図-3 に平行合流, 図-4 に合流角 10 度で得られた二次流ベクトルを比較した. 但し, これらの図の両端は側壁ではないことに注意されたい. これは, 鉛直縦断面の計測を水路中央の自由せん断層の部分に絞ったからである. まず, 図-3 の平行合流の場合, 分布は必ずしも対称にはなっていないが, 合流部直下流の $x=10\text{cm}$ の横断面において水路中央部で上昇流が発生していることがわかる. 一般的に長方形断面の開水路では, コーナーに向かう二次流が側壁に沿って上昇することが分かっているが, 平行合流の場合の上昇流は, 互いに独立して発達してきた二つの開水路流が, 突然側壁が取り除かれた形で交わることが発生要因となる. 即ち, 支流の右岸側壁に沿った上昇流と, 本流の左岸側壁に沿った上昇流が接することで水路中央に上昇流が現れることになる. 一方, 底面付近ではコーナーに向かう本流と支流の下降流が接することで合流後も下降流が維持される. このような二次流の構造は $x=20\text{cm}$ や $x=45\text{cm}$ の断面でも確認できるが, 更に下流の $x=85\text{cm}$ ではほとんど消失していることが分かる. 一方, 図-4 に示した合流角 10 度のケースは, 僅かな合流角を与えたにすぎないが, 二次流ベクトルのパターンは大きく変化している. $x=10\text{cm}$ の横断面では, 水面付近の水路中央で僅かに上昇流を確認できるが, 全体的には反時計回りのセル状の二次流が卓越している. これは, 底面流線の可視化でも明らかにされたが, 支流側の合流部隅角部で相対的に圧力が低下するために, 底面付近の流れが支流側の側壁に向かうことが大きな要因である. この横断方向の二次流は, 水路底面に向かう下降流発生誘因となっている. 本流側で下降する二次流は, 支流側で発生する強い二次流に連行される形で維持される. 支流側の二次流は, $x=10\text{cm}$, $x=45\text{cm}$ の断面でも強く残り, $x=85\text{cm}$ でも消失していないことが分かる.

4. おわりに

開水路を小角度で合流させたときの流れ構造を可視化画像の三次元計測により調べた結果, 平行合流と 10 度合流では下流で発達する構造に違いが生じること, また, その違いは隅角部で生じる低圧域の発生の有無によることを明らかにした.

参考文献

- 1) Biron, P., Best, J.L., and Roy, A.G.: Effects of bed discordance on flow dynamics at river channel confluences, *Journal of Hydraulic Engineering*, 122, 676-682, 1996.
- 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.

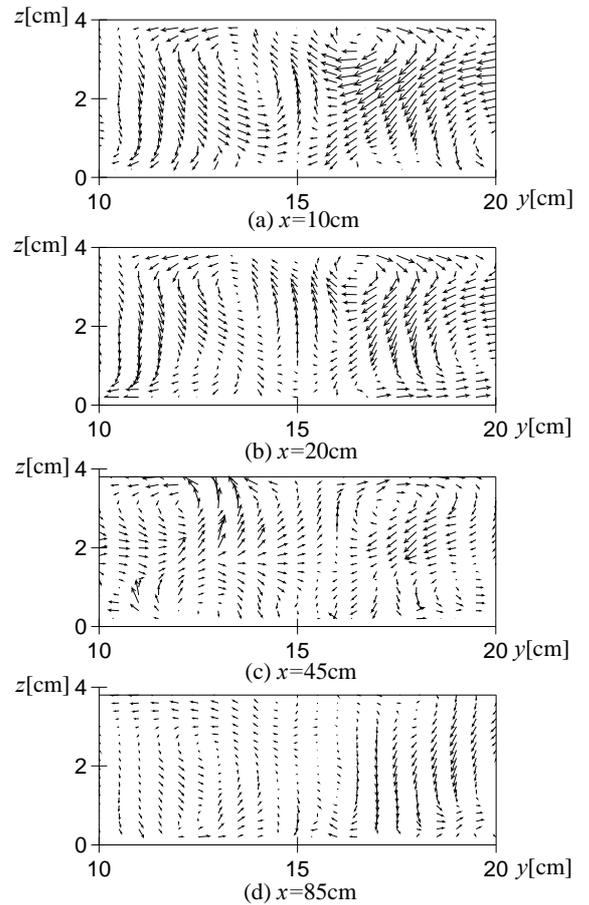


図 3 平行合流での横断面内ベクトル図

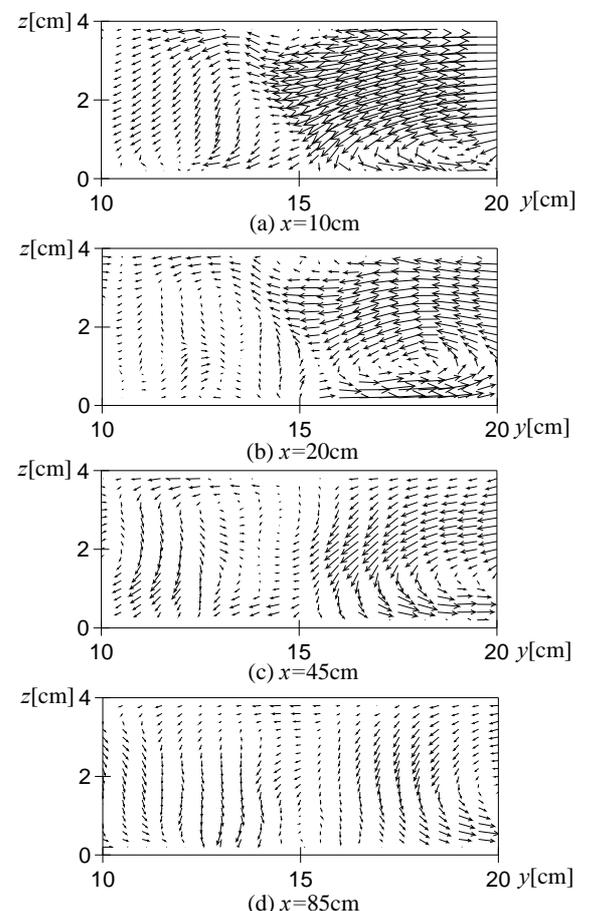


図 4 合流角 10 度での横断面内ベクトル図