15 開水路合流部における底面流況の可視化

岐阜大学工業短期大学部

藤田 一郎[○]

岐阜大学工学部

河村 三郎

Visualization of Near-Bed Flow-Patterns at a Confluence

by Ichiro FUJITA^{*} and Saburo KOMURA^{**}

Flow patterns at a confluence were investigated by using the oil film method and the particle tracing method in open channel flow. From the visualized images, the existences of a secondary flow at a confluence and a stagnant region just upstream from the junction were suggested; which are strongly related to the local scour at a confluence in movable bed. Also, a simple method for obtaining the width of a dead water zone by using a dividing streamline was proposed.

1. まえがき

開水路の合流部では、二つの流れがある角度で交わり、自由混合層が生じると同時に、合流点の直下流部で支川からの流れが剝離し、死水域（剝離泡）が形成される。ここで生じている流れは非常に強い三次元性を有する複雑な流れであり、その流れの特性に関してはいくつかの研究例があるものの¹⁾、まだ、十分に解明されているとは言い難い。特に、自然河川のような移動床を有する場合には、合流点での局所洗掘や合流点の下流で生じる砂州が問題となるが、このような現象の発生原因については不明な点が多い。本研究はこのような移動床の問題点を含めて考えた場合に、特に重要となる底面付近の流れを可視化することにより、合流部で発生する流れの特性を明らかにしようとするものである。

2. 実験装置及び実験方法

Fig.1 に水理量等の定義図を示す。実験水路は本川・支川長がそれぞれ10、2.5mのアクリル樹脂製の循環水路で、本川、支川幅はそれぞれ30cmと10cmである。合流角は合流点のユニットを取り替えて、 30° 、 60° 、及び 90° にできる。水理条件は流量比 $Qr (= Q_2/Q_3)$ 、およびレイノルズ数 $Re (= U_3 h_3 / \nu)$

Fig.1 Definition Sketch

^{*} College of Technology, ^{**} Faculty of Engineering, Gifu University,
Gifu 501-11, Japan

または、フルード数 Fr をパラメータとして変化させた。ここに、 h_3 , U_3 はそれぞれ、本川下流の平均水深、および、断面平均流速である。添字 1, 2, 3 はそれぞれ本川上流、支川、本川下流に関する値を示す。なお、水路床面はアクリル樹脂による滑面である。

底面流況の可視化は油膜法を用いて行った。油膜の材料には白色のポスターカラー原液を 2 倍程度に薄めた染料を用いた。ここで行った可視化の方法は通常の油膜法とは異なっており、最初から水路床全面に油膜を塗っておくのではなく、初期の段階で本川・支川の合流点より少し上流側の横断面上に帯状に染料を塗布した。塗布された染料の一部は時間の経過とともに壁面に付着しながら下流に向かって引き伸ばされ、その結果、数分後に底面近傍の流れを示す筋状のパターンが得られた。このような手法を用いたのは本川と支川の流れを明確に区別するためである。なお、流速が大きい場合には染料が短時間に流失しやすくなるので、原液に近い濃度の染料を再補給した。

底面の流れの可視化と並行して水表面流況も発泡スチロール粒子を用いて可視化し、ビデオに記録した。ビデオ画像からは Fig.1 に示す分離流線および、剝離流線の軌跡を求めた。

3. 実験結果及び考察

3.1 合流角による影響

Photo.1 に流量比 $Qr=0.2$ 、 $Re=16700$ 、 $Fr=0.3$ の場合の底面流況を示す。本川の底面流線はいずれの場合も支川の流入の影響を受け、合流点で円弧状に湾曲し、その後、再び本川に平行な軌跡をたどっていることがわかる。染料の境界線を底面の分離流線と名付けるとすれば、底面の分離流線は合流角の増大にともない、曲率が

Photo.1 Flow patterns near the bed at $Re=16700$, $Fr=0.3$ and $Qr=0.2$

Fig.2 Surface and near-bed flow-patterns at a confluence ($Re=16700$, $Fr=0.3$, $Qr=0.2$)

増加していることが分かる。また、側壁に沿った底面流線は本川・支川とも合流点に接近すると点A(Fig.1)に到達する前に側壁からはがれている。はがれる位置は合流角が大きくなるほど合流点から離れている。このことは、流れが合流することにより、点A付近の圧力が淀み圧によって上昇し、淀んだ領域が形成されていることを示している。一方、支川の底面流線は驚くほどすべて合流部の隅角部に向かって集中しており、合流点での渦運動によって非常に低圧の領域が生じていることがうかがえる。これは、移動床においては支川からの土砂を合流点下流部に集中堆積させる大きな要因になると考えられる。

Fig.2 にPhoto.1 に対応する水面流の分離流線、及び死水域のビデオからの読み取り結果を示す。水面流に関しては、底面近傍でみられるような大きな淀み領域はほとんどみられず、側壁に沿って流下したトレーサ粒子はほぼ点Aまで到達した後、分離流線に沿った軌跡をたどる。Fig.2にはPhoto.1 から読み取った底面分離流線も同時に示されている。これより、合流部では水面と底面の分離流線の軌跡が大きくずれ、水面の分離流線が水路の中央寄りを通っているが、合流点の下流では両者はほぼ重なるような軌跡を描いていることがわかる。このことから、合流部の流れを次のように考えることができる。即ち、合流部において水面と底面の流向が著しく異なることから水面の分離流線に沿って、らせん流(二次流)が発達していると考えられる。特に、Fig.2 で斜線を施した部分(ここでは二次流発生領域と名付ける)では水面の分離流線の近くで下降し、底面付近で両側へ巻き上がる一対のらせん流が発達していることが推測できる。このことは、移動床ではほぼ水面の分離流線に沿ってらせん流(二次流)による局所洗掘が生じることを暗示している。

Fig.2 には合流点で剥離し、下流側の側

(a) $Q_r = 0.1$

(b) $Q_r = 0.4$

(c) $Q_r = 0.6$

Photo.2 Effects of discharge ratios at $Re=16700$ and $Fr=0.3$

Fig.3 Definition sketch of b_1

壁に再付着する剥離流線の軌跡（死水域）も示されているが、合流角の増大に伴い、その幅と長さが増大していることが分かる。底面流況の可視化画像からは直接、死水域規模に関するデータは読み取れない。しかし、前述のように水面・底面の分離流線が合流点の下流で一致すると仮定し、さらに、分離流線の下流における軌跡が流量比に比例して変化すると仮定すれば、Fig.3 に模式的に示すように支川

対岸から分離流線までの距離 b_1 のみを測定すれば、死水域幅を次式より間接的に求めることが出来る。

$$H_{cal}/B_3 = C[1 - (1 - Qr)b_1/B_3] \quad (1)$$

Cは1より少し大きい値をとる補正係数で、ここでは $C=1.4$ としている。このようにして求めた死水域幅 H_{cal} とトレーサによる可視化から直接求めた死水域幅 H_{ob} を比較したのがFig.4である。両者の一致は比較的良好といえる。

3.2 流量比による影響

Photo.2 に流量比 Qr を変化させて得られた底面流線のパターンを示す。 Qr の増大、即ち、相対的な支川流入量の増大にともない、底面分離流線の合流点での曲率は増大しており、より強いせん流が生じていることが推測できる。

3.3 レイノルズ数による影響

Photo.3に $Qr=0.2$ の場合で $Re=6700$ と $Re=33000$ の場合の底面流線を示す。 Re の増大に伴って死水域が発達するため、底面分離流線は支川の対岸側へ移動し、二次流発生領域の規模が増大していることがわかる。

4. まとめ

油膜法とトレーサ注入法による合流部の底面及び、水面の流れの可視化により次の成果を得た。

- (1)合流部では水面流の分離流線に沿って、らせん流（二次流）が生じる。
- (2)合流点の直上流の底面領域では大きな淀み領域が存在する。
- (3)支川の底面流線は合流点下流での発生渦の影響により、隅角部の一点に集中する。

5. 参考文献

- (1)板倉忠興：河川における乱流拡散現象に関する研究，土木試験所報告，No.83，1984。

Fig.4 Comparison of calculated and observed widths of dead water zone

(a) $Re=6700$

(b) $Re=33000$

Photo.3 Effects of Re for $Qr=0.2$ and $Fr=0.3$