

京都大学工学部 正 員 橋津家久
竹中土木 正 員 ○阿部 崇
京都大学工学部 正 員 中川博次

1. はじめに 複断面開水路流れの乱流構造および組織渦は、低水路と高水数間の流速差によって生じるせん断層に特徴づけられる。この低水路・高水数間の流速差に伴う流体混合や各種の物質輸送が、接合部付近から生じる強い斜昇流に関係し、複雑な二次流構造を形成させる要因となっている。二次流の計測は従来のホットフィルム流速計では精度的に困難であったが、近年実用化されてきたファイバー・レーザ流速計(FLDA)によって計測が可能にすることができるといえる¹⁾。本研究は、このFLDAを駆使して法面を有する複断面開水路流れの形状の影響、すなわち法面の傾斜角による効果を実験的に検証する。

2. 実験方法 実験は、長さ8m、幅30cm、高さ25cmの可変勾配型循環式水路で行われた(図-1)。三成分の瞬間流速($\bar{u}$, $\bar{v}$, $\bar{w}$)が、高精度に計測された。水面上方からの計測は水面の変動が大きいので、自由水面の小

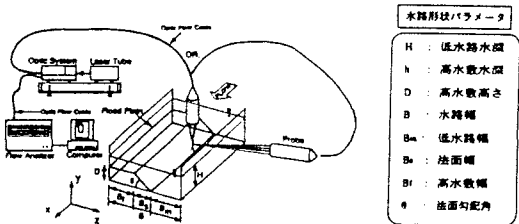


図-1 実験水路図

さい流れ(およそ $Fr=0.1$ 程度)で計測した。2組のビームは流下方向に対して45度にセットし、計測後Nezu & Rodi²⁾方式の角度補正を行い連続式を満足させた。法面の勾配は矩形の複断面を含めて3種類行った。

3. 平均流速の分布特性

図-2は、平均流速 U を最大流速 U_{max} で無次元化したコンターを $\theta=90^\circ, 45^\circ, 26.7^\circ$ の場合で比較したものである。また、図-3は、二次流を U_{max} で無次元化してベクトル表示したものである。低水路・高水数間の接合部から低水路側の自由水面に向かって「斜昇流」は顕著で法面勾配を有するケースでも見られる。また、法面の傾斜が緩くなるにつれて、高水数先端から低水路側の自由水面に向かう主流速 U のコンターラインの突出が低流速平均速度領域の広がりとして、小さくなっていくのが見られる。すなわち図-3で顕著

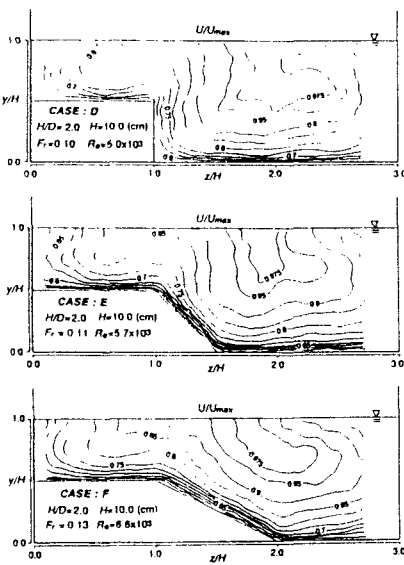


図-2 平均主流速 U のコンター

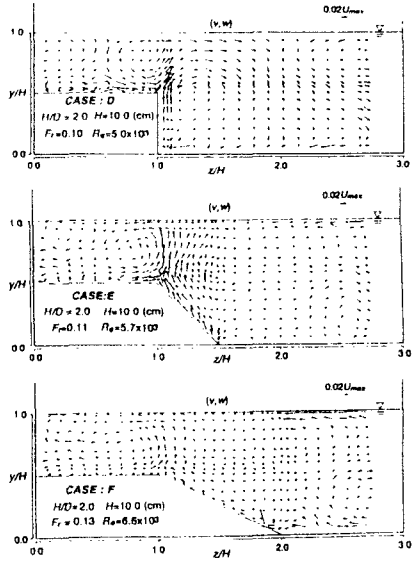


図-3 二次流ベクトル図

表-1 斜昇流の特性

CASE	D	E	F
形状			
鉛直成分 V	強い	強い	強い
横断成分 W	強い	強い	強い
二次流ベクトルの大きさ $\sqrt{V^2+W^2}$	強い	接合部で強い	強い
角度 θ	約45°方向	ほぼ鉛直方向	ほぼ鉛直方向

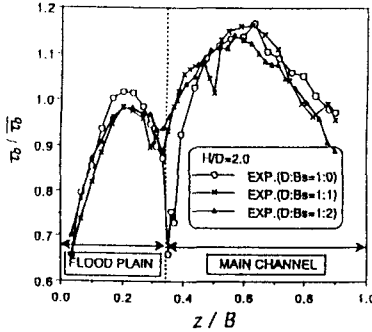
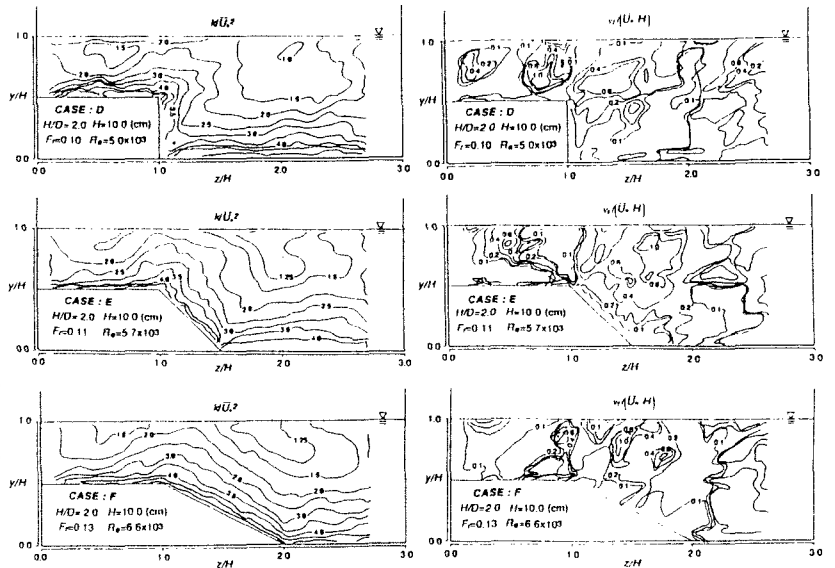


図-3 底面せん断応力分布

な斜昇流が図-2で示すコンターの接合部の突出した形状を示すものとなっていると説明できる。また、「最大流速点の降下現象」も見られ、法面の傾斜にあわせてコンターラインが傾斜して低水路側に押し出されていく様子が顕著に観察される。接合部近傍の斜昇流の特性は表-1にまとめた。すなわち、二次流ベクトルは法面の傾斜が緩やかになるにつれて小さくなるのがわかる。



4. せん断応力分布特性 図-5 乱れエネルギー k のコンター 図-6 渦動粘性係数 ν_t のコンター

図-4は、底面せん断応力 τ_b の横断分布であり、その横断平均値 $\bar{\tau}_b$ で無次元化してケースによって低水路と高水路間の相対的な比較をしている。なお、摩擦速度 U^* は対数則により決定したものである。傾斜が緩いと接合部よりも低水路側の法面付近でせん断応力分布はややなだらかな形状となっている。また、低水路中央部で分布はピークに達し、いずれも接合部の低水路側あるいは低水路側壁で急減している。しかも、その傾向は $\theta=90^\circ$ で特に顕著である。

5. 乱れ分布特性 図-5は乱れエネルギー k を断面平均の摩擦速度 $\bar{U}^*$ の2乗で無次元化したコンターである。接合部付近に見られる高エネルギー領域の低水路自由水面領域への突出は、主流速 U のコンターで示されたものと非常に類似しており、法面の傾斜による特性も同様である。また、減速流によって接合部付近における乱れエネルギーが大きくなっていることもよくわかる。すなわち、接合部における乱れの非等方性によって低水路と高水路間の運動量輸送や物質輸送に対して与える影響を示したものと言える。

6. 渦動粘性モデルへの適用 レイノルズ応力 $-\overline{uw}$ と流速勾配 $\partial U / \partial z$ から渦動粘性モデルを適用して得られた渦動粘性係数 ν_t のコンターを図-6に示す。法面の傾斜による渦動粘性係数への効果としては、勾配が緩くなるにしたがい渦動粘性係数が大きな値をとる領域が低水路側に移っていく様子がわかる。すなわち、傾斜が緩やかになると複断面河道の接合部における、河床形状の不連続性による影響が緩和されていくものと考えられる。その一方で、今回実験的に渦動粘性係数を表現したが、従来より計測による誤差から渦動粘性係数を精度よく表せたものは皆無であり、今後さらに高精度な計測・解析が望まれる。

7. おわりに 斜昇流に対して自由水面や側壁の影響が比較的小さいような水深の深い場合において調べた結果、法面勾配を有する複断面開水路流れの接合部近傍の二次流構造は、法面の勾配によって大きく変化をみせることがわかった。さらに斜昇流の大きさは、今回行ったケースの中では法面の勾配が 45° のとき一番大きくなるということがわかった。今後、さらに細かく法面の勾配を変えることで、最も斜昇流の強くなる場合がわかるようになるといえる。また、レイノルズ応力 $-\overline{uw}$ と流速勾配 $\partial U / \partial z$ の関係から渦動粘性モデルを適用し、渦動粘性係数 ν_t を平面的に表現することでそのモデルの妥当性を示すことができた。従来まで、このような渦動粘性係数を表せたものは非常に少なく貴重な結果といえる。

参考文献

- 1) Tominaga, A. & Nezu, I. (1991), J. Hydraulic Eng., ASCE, vol.117, No. 1, pp.21-41.
- 2) Nezu, I. and W. Rodi. (1986): Open-Channel Flow Measurements with a Laser Doppler Anemometer, J. Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 112, pp. 335-355.