

京都大学工学部 正 員 棚津家久
鴻池組 正 員 志村拓也
京都大学大学院 学生員○上矢博之

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敷間の流速差によって生じるせん断層流れに特徴づけられる。この流れに対して、ファイバーレーザ流速計(FLDA)および代数応力モデルを用いた数値計算によって詳細な計測・解析を行い検討する。その際、一定の水深、水路幅に対して高水敷幅を変化させることにより、高水敷の幅が複断面開水路流れに及ぼす影響を解明するものである。

2. 実験方法 瞬間流速の点計測には4ビーム後方散乱型2成分ファイバーレーザ流速計を用いて、水路側壁方向と水路上方の2方向より(U, V, W)の三次元計測を行った。また、プローブ取り付け時には微小な誤差が生じることからNezu & Rodi(1986)¹⁾と同様の連続式による方法で角度補正処理を行った。なお、本実験では角度補正角は最大で0.5度程度であった。実験条件は、表1のように決定した。

3. 平均流速の分布特性 図1は2次流(V, W)を主流速の最大流速 U_{max} で無次元化してベクトル表示したものである。同時に数値計算による解析結果も示す。低水路と高水敷との境界部から低水路側の斜め上方に向けて、斜昇流と呼ばれる2次流が発生している様子がよく現れている。さらにはコーナー付近や高水敷上においても2次流セルが存在していることがわかる。また低水路中央において、境界部からの2次流セルと低水路側壁からの2次流セルとで下降流が生じている。また数値計算結果とも比較的良好な一致を示している。

次に平均主流速Uのコンターを示す(図2)。境界部付近において先述の斜昇流と一致したコンターラインの突出が現われている。低水路内における特徴的な現象としては最大流速点が水面から下方に降下するという最大流速点の降下現象が挙げられる。ケースS-Aの高水敷幅が長いケースでは、高水敷上においても同様な流速点の降下が現れている。このような斜昇流の影響が強いようなケースにおいては、最大流速点を含めた流速分布に複雑な変化が現われている。低水路の幅が長い方が最大流速点の降下量は大きく、このため低水路底面におけるコンターラインの間隔が狭められ、逆に高水敷上では緩やかな分布となる。これは上昇流と下降流による影響と考えられる。これらの特徴は数値計算による解析でも現われている。

4. 底面せん断応力の分布特性 対数則から決定した摩擦速度を用いた、底面せん断応力 $\tau_b = \rho U_*^2$ の高水敷上の分布を図3に示す。実験値と数値計算による結果とが比較的良好に一致しており、本乱流数値計算モデル²⁾が妥当であることを示している。高水敷幅が長いケースでは高水敷上でせん

表1 実験条件表

TYPE	S	H(cm)	B/H	h/H	Q(Qs)	Um (cm/s)	Umax (cm/s)	Re	Fr
S-A	1/5000	10.0	0.5	0.5	2.6	8.37	11.16	4255	0.085
S-B	1/5000	10.0	0.375	0.5	3.1	9.03	11.91	4999	0.091
S-C	1/5000	10.0	0.25	0.5	3.3	9.34	12.41	5671	0.094

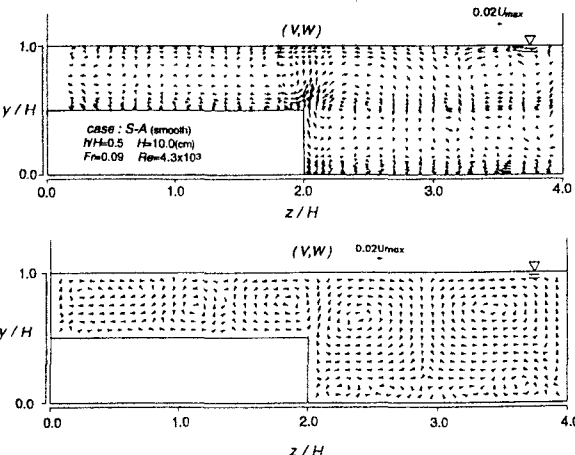


図1 2次流ベクトル図(上:実験値,下:計算値)

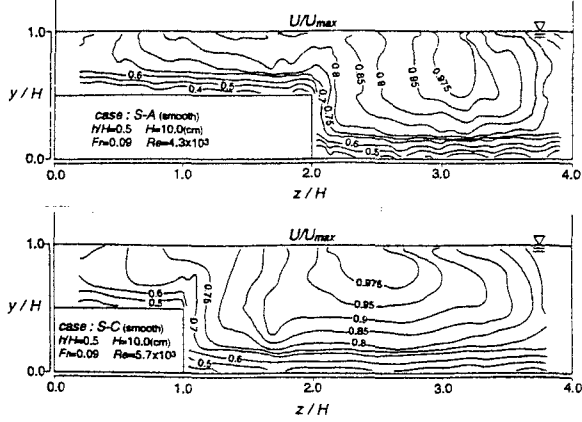


図2 平均主流速Uのコンター(上:caseS-A,下:caseS-C)

断応力分布に凹部が見られる。これは先述の2次流分布に対応しているもので、大きい2次流セルが存在し、上昇流・下降流が存在することを示している。すなわち、 $z/B_f \approx 0.5$ 付近のせん断応力 τ_w の極大特性は、下降流部に対応しており、上層の高運動量が底面側に輸送されて底面せん断応力が増大するためである。壁面近傍や境界部付近では2次流の影響を受けせん断応力が急激に変化する。

5. レイノルズ応力の分布特性 次にレイノルズ応力 $-\overline{uw}$ について、断面平均の摩擦速度 U_τ の2乗で無次元化したコンターを示す

(図4)。大きな特徴としては $-\overline{uw}$ は低水路の高水敷側で正となり、

境界部へ向かってゼロに減少していく。境界部において激しい変化を示し、高水敷の境界部付近で負の領域が現れる。また数値計算でもこの特性は見られる。この現象は境界部において横断方向に大きな運動量輸送があることを表すものである。高水敷幅の変化により負の領域の広がりに変化が生じている。すなわち、高水敷幅が広いほど、負の領域が全体的に若干大きく広がっている。これは横断方向での流体の混合がより卓越していることを現わすものと考えられる。

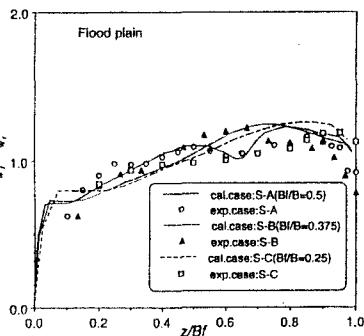


図3 底面せん断応力分布

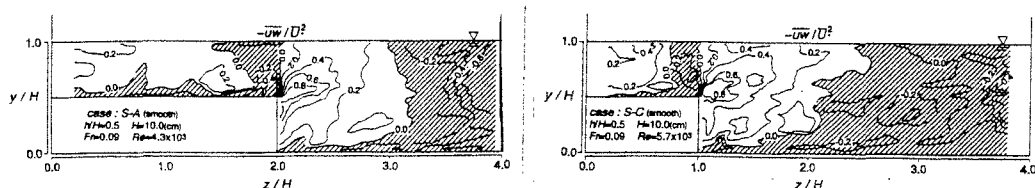


図4 レイノルズ応力 $-\overline{uw}$ のコンター(左: case S-A, 右: case S-C)

6. 乱れの非等方性の特性 開水路において、2次流は乱れの非等方性から発生することが知られている。このことから垂直応力差 $(\overline{w^2} - \overline{v^2})$ を摩擦速度 U_τ の2乗で無次元化したコンターを示す(図5)。境界部近傍を中心に負の領域が存在しており、複雑な挙動を示している。このことから複断面開水路流れにおいても乱れの非等方性が境界部での斜昇流の発生を支配していることがわかる。また境界部近傍の最小値は低水路内の最小値よりも小さい。境界部における負の領域が複断面開水路流れに特有なものであり、境界部での非等方性による2次流の影響が低水路断面内で強いことを示している。

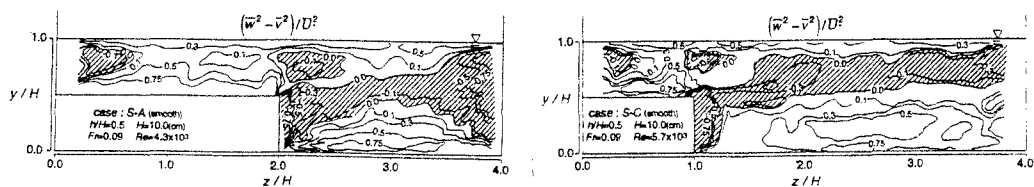


図5 垂直応力差 $(\overline{w^2} - \overline{v^2})$ のコンター(左: case S-A, 右: case S-C)

7. おわりに 高精度なFLDA流速計を用いて、高水敷幅を変化させて複断面開水路流れについての計測と乱流数値計算による検証を行った。その結果、数値計算との良好な一致していることがわかった。このような流れについては本数値計算モデルが妥当であると言える。また乱れの分布が高水敷幅により変化し、その結果2次流の発生に影響を与えていることが実験結果から良好に検証された。

参考文献

- 1) Nezu, I. and W. Rodi. (1986): J. Hydraulic Eng., ASCE, vol. 112, pp. 335-355
- 2) Naot, D., Nezu, I. and Nakagawa, H. (1993): J. Hydraulic Eng., ASCE, vol. 119, pp. 390-408