

京都大学工学部 正 員 欄津家久
竹中土木 正 員 阿部 崇
京都大学大学院 学生員 ○中山忠暢

1. はじめに 複断面開水路流れでは低水路と高水敷の形状的な不連続性によりせん断層が形成され、高水敷端部付近より間欠性及と三次元性を持つ斜昇流が発生する。この発生・発達・消滅を繰り返す組織渦によって低運動量の流体塊が低水路側の水面付近に輸送され、この解明は河道計画や水工設計上で要請が大きい。本研究は近年の画像解析の急速な進展の中で生まれたPTV法を用いて得た空間内の瞬時の多点速度情報により、時空間相関解析や条件付きサンプリング手法を用いて組織渦の抽出を行おうとするものである。

2. 実験および画像解析方法 本実験は、図-1に示すように全長8(m)、幅30(cm)、深さ25(cm)の可変勾配型循環式水路内に高さ5(cm)の高水敷を右岸側に設置して行った。表-1に水理条件を示す。実験は法面勾配が90度のケースCと26.7度のケースFの2通りについて行った。トレーサ粒子として直径100(μm)、比重1.02のナイロン12粒子を用い、厚さ約2(mm)のレーザライトシート(LLS)をx-z平面に平行に照射して、20×20(cm)の範囲を上方からCCDカメラで撮影した。撮影された画像は光ディスクに記録されフレームメモリーボードを介してコンピュータで処理された。この際4時刻の連続した画像を用いて流速ベクトルを算出し、重み付け平均によって格子点でのベクトルに補間したり。

表-1 水理条件

CASE	1/b	H (cm)	B ₁ /B	D ₁ /B	H/D	Re (x10 ³)	Fr
C	1/10000	10.0	0.333	1:0	2.0	2.715	0.065
F	1/10000	10.0	0.333	1:2	2.0	6.599	0.132

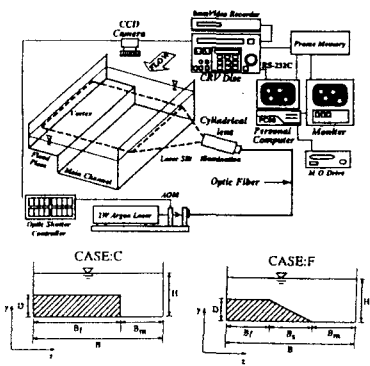


図-1 実験および画像解析装置

3. 実験結果および考察 PTV法で組織渦を抽出するにあたってまずPTV法の精度を調べるために、同一の水理条件のもとで計測したファイバーレーザ流速計(FLDA)による結果との比較を行った。図-2は平均主流速Uの両者の計測誤差を示しそれぞれほぼ同一点での最大流速で無次元化してある。これより境界部・画像解析範囲の端部で誤差が大きくなっているが、全体的に誤差は5%程度でPTVによる計測は比較的よい精度を持つことがわかる。また標準偏差σの鉛直方向分布は高水敷高さ付近で最大になっているのがわかる。

図-2は平均主流速Uの両者の計測誤差を示しそれぞれほぼ同一点での最大流速で無次元化してある。これより境界部・画像解析範囲の端部で誤差が大きくなっているが、全体的に誤差は5%程度でPTVによる計測は比較的よい精度を持つことがわかる。また標準偏差σの鉛直方向分布は高水敷高さ付近で最大になっているのがわかる。

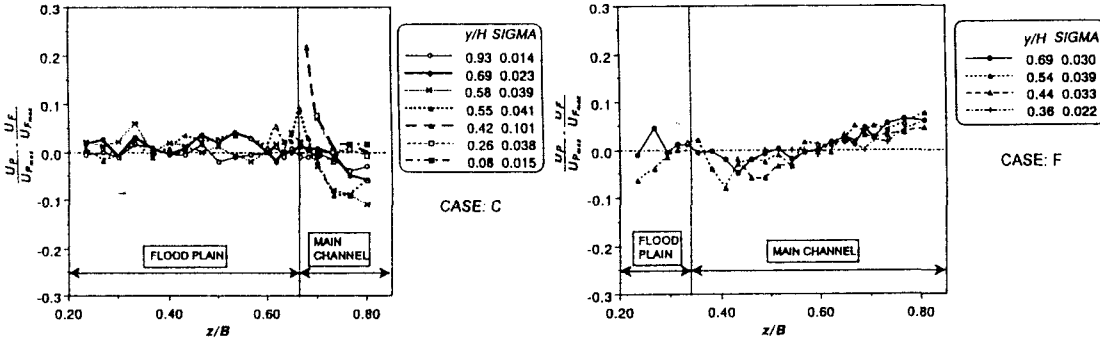


図-2 PTVとFLDAの誤差(平均主流速U)

流下方向に距離Δx離れた点の主流速の乱れ成分の同時空間相関係数C_{uu}(Δx, τ=0)、平均渦径L_xは次のように与えられる。

$$C_{uu}(\Delta x, \tau=0) = \frac{u(x_0, t) u(x_0 + \Delta x, t)}{u'(x_0, t) u'(x_0 + \Delta x, t)}, L_x = \int_0^\infty C_{uu}(\Delta x) d(\Delta x)$$

図-3は固定点×に対する横断方向乱れ成分の時空間相関係数C_{ww}の分布である。これより高相関領域が時間とともに主流方向に伸びていく様子が読みとれる。表-2は渦の移流速度と平均流速との関係を示しており、

Iehisa NEZU, Takashi ABE, Tadanobu NAKAYAMA

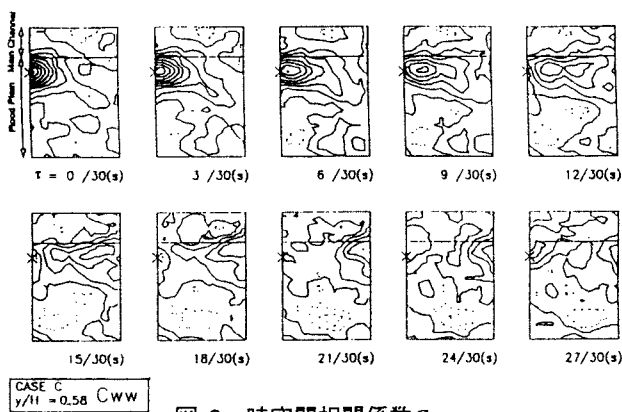


図-3 時空間相関係数 C_{WW}

表-2 移流速度と平均流速

y/H	fixed point	$\bar{U}_s$ (cm/s)	$\bar{W}_s$ (cm/s)	$\bar{U}$ (cm/s)	$\bar{W}$ (cm/s)	$\bar{U}_s/\bar{U}$	$\bar{W}_s/\bar{W}$
0.85	B	17.800	0.000	18.405	0.253	0.967	0.000
0.85	A	18.790	-0.165	19.013	-0.273	0.988	0.604
0.58	A	18.900	1.100	19.068	0.337	0.991	3.264

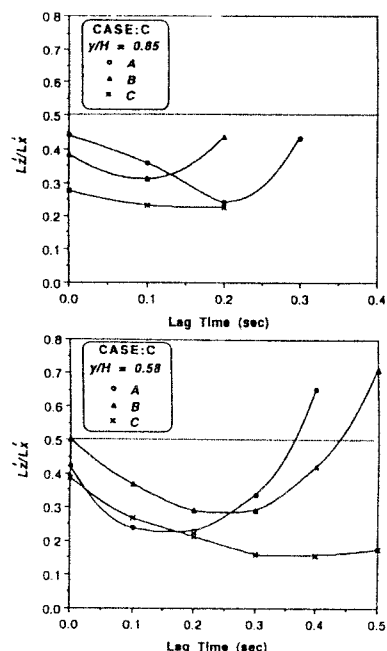


図-4 渦の偏平率の時間変化

主流方向に対しては移流速度は平均流速の約9割となり従来の結果とほぼ一致するが、横断方向に対してはスケールが小さく補間が適当でなかったため値にばらつきが見られる。図-4は横断方向・流下方向の平均渦径の比(偏平率 $\Gamma = L_z/L_x$)の分布である。高水敷高さ付近($y/H = 0.58$)においては、境界部から離れたところ(基点C)では時間とともに偏平率が単調に減少していくのに対して、境界部(基点A,B)ではいったんは偏平率が減少していくがある時刻を境として増加していく。水面付近($y/H = 0.85$)においてはそれほど顕著ではない。

無条件時空間相関解析では時空間的に流速の時系列全てを平均化してしまい、間欠性の組織渦の構造・位相パターンや輸送現象などの特徴が打ち消されてしまう。そこで条件付きサンプリング手法の1つである四象限区分法²⁾を用いて組織渦構造の特徴をとらえた。図-5はフーリエ変動成分による全レイノルズ応力 $-\bar{u}\bar{w}$ の各象限への寄与率を乱れ強度 u', w' の積で無次元化して表したものである。これより接合部近傍における低水路側の固定点($z/B = 0.73$)においては第二象限($RS2: u < 0, w > 0$)の寄与の方が大きいのにに対し、高水敷側の固定点($z/B = 0.60$)においては第四象限($RS4: u > 0, w < 0$)の寄与の方が大きいことがわかる。これは低速流体(組織渦)が高水敷側から低水路側へ、それを補う高速流体(補完流)が低水路側から高水敷側へ移流していることを示している。

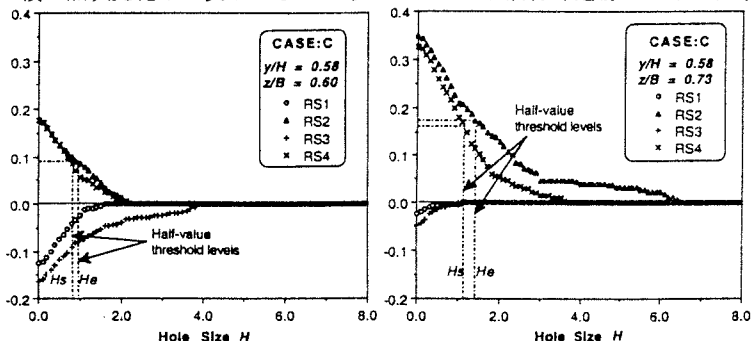


図-5 レイノルズ応力 $-\bar{u}\bar{w}$ の各象限への寄与率

4. おわりに 本研究ではまずPTV法の精度を検証し、それから時空間相関解析および四象限区分法を用いて組織渦構造の一端が示された。今後、補間・判別関数・しきい値の決定手法をより詳細に検討したい。

<参考文献>

- 1) Nezu, I., Nakagawa, H. and Saeki, K., ASCE Symp., Buffalo, 1994, pp.406-415.
- 2) Nezu, I. and Nakagawa, H. : Turbulence in Open Channel Flow, IAHR Monograph, Balkema, 1993.