

京都大学工学部 正 員 橋津家久
ハザマ 正 員 ○佐伯賢一
京都大学大学院 学生員 阿部 崇

1. はじめに

複断面開水路流れで高水数先端部付近のせん断層は不安定な領域であり乱れの非等方性が原因で斜昇流(組織渦)が間欠的に発生し、洪水時の複断面開水路流れの挙動とそれに伴う諸現象を解明するための研究が最近多く行われている。さらに近年、シート状のレーザー光線とCCDカメラを使って水流に追従する微細粒子を画像解析して広領域の流速場を瞬時に解析するPIV(Particle-Image Velocimetry)法と呼ばれる画像解析技術が開発されてきた¹⁾。レーザー流速計(LDA)ではせいぜい2台のLDAを駆使してその時空間相関を求めるのがやっとである²⁾が、平面内の各点の同時刻の情報を得ることができるPIVはバースト現象をはじめとする組織渦を解析できる有力な計測法である。本研究は、複断面開水路流れをPIVで計測し、条件付きサンプリング手法を流速の時空間相関解析に適用し高水数近傍で発生する組織渦の全体像を解明することを目的とする。

2. 計測方法

2.1 水理条件

アクリル板製の複断面水路の高水数を粗面とし、表-1に示される定常な水理条件で実験を行った。なお、ケースV2では高水数上に植生(tree)モデルを設置した。座標および各変数は図-1に定義され、水平面A, B, Cでレーザーライトシート(LLS)を照射し、高水数先端部を画像中央とする水平面の20×20cmの範囲をCCDカメラによる撮影範囲とした。

2.2 撮影および画像解析

実験水路は循環式で、直径100μmの中立微細粒子をトレーサとして一様に混入した。図-2に示されるように光ファイバーケーブルで導かれた2Wのアルゴンイオンレーザー光をシリンドリカルレンズで厚さ2mmのLLSとして照射した。LLSより70cm上方に設置されたCCDカメラを通じて撮影された画像は光ディスクに記録された。フレームメモリボードを介してコンピュータに読み込まれた4時刻の画像データを用い、任意の点に存在する同一粒子の速度ベクトルを算出し格子点上の流速ベクトルに補間した。

3. 理論的考察

条件付きサンプリング法によって抽出される流速の時空間相関係数($C_{u_i u_j}$)は次式で記述される³⁾。

$$(C_{u_i u_j}(x, \Delta x; z, \Delta z; t, \tau)) = \frac{\int_T u_i(x, z, t) u_j(x + \Delta x, z + \Delta z, t + \tau) \cdot I(x, z, t) dt}{u'_i u'_j \cdot \int_T I(x, z, t) dt} \quad (1)$$

ここで、 $\Delta x, \Delta z$ は遅れ距離、 τ は遅れ時間、 $I(x, z, t)$ は判別条件関数である。さらに、平均渦径 L_x は空間相関 $R_x(x, r)$ を用いて次式で定義される³⁾。

Iehisa NEZU, Ken-ichi SAEKI, Takashi ABE

表-1 水理条件

Case	I_s	H [mm]	B_1/B	H/D	Q [ℓ/s]	U [cm/s]	R_s	F_r
R0	1/1000	55.00	0.3333	1.100	1.7921	27.58	15200	0.376
R1	1/1000	60.00	0.3333	1.200	2.1591	26.99	16200	0.352
R2	1/1000	70.00	0.3333	1.400	3.0151	27.41	19200	0.331
V2	1/1000	70.00	0.3333	1.400	2.9975	27.25	19100	0.329

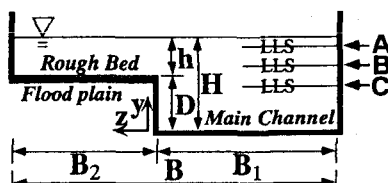


図-1 形状パラメータと座標系

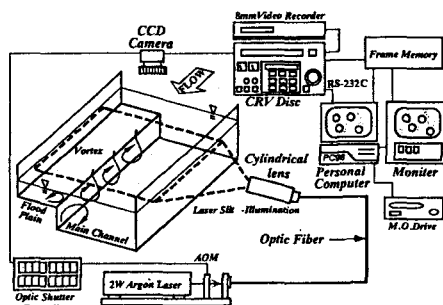


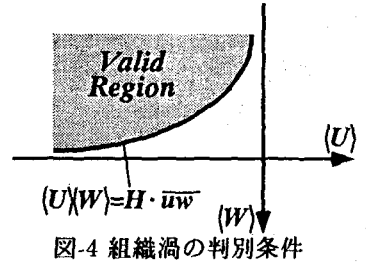
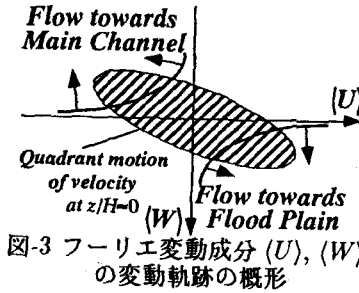
図-2 可視化および画像解析装置

$$L_x \equiv \int_0^\infty R_x(x, r) dr, \quad R_x(x, r) = \frac{\overline{u(x)u(x+r)}}{\overline{u'(x)u'(x+r)}} \quad (2)$$

4. 時空間相関解析

組織渦による流速変動成分と乱れ成分とを区別して式(3)に示されるように流速を取り扱うのが一般的である。

$$\tilde{u}_i = U_i + \langle U_i \rangle + u_i \quad (3)$$



高水数近傍での流速成分 $\tilde{u}$, $\tilde{w}$ のフーリエ成分 $\langle U \rangle$, $\langle W \rangle$ の変動は図-3に模式的に示される。図-4に示す抽出領域を組織渦の判別条件関数 I とし式(1)による条件付き時空間相関の一例を図-5に示したが高相関の領域が移流されていく様子がわかる。また、式(2)に定義される平均渦径と条件付きサンプリングによって抽出された組織渦の移流速度から組織渦の時間的な推移を図-6にトレースした。

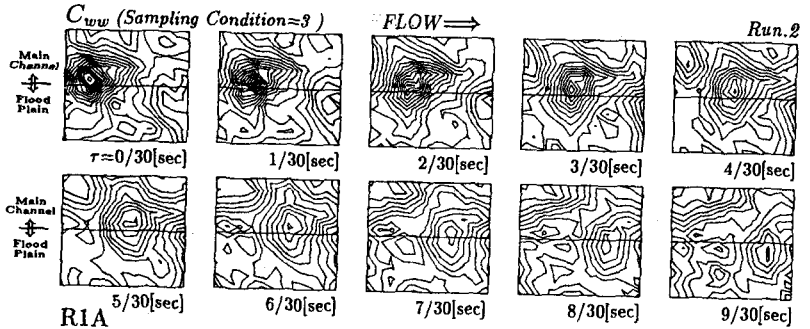


図-5 条件付き時空間相関 C_{ww}

5. 結果

まず適切な可視化撮影方法、トレーサ追跡方法、格子上の流速への補間方法を検討した。また、条件付きサンプリング手法による時空間相関解析や平均渦径を算出することで、組織渦像をとらえた。最後に組織渦の3次元的概念を図-7に示す。

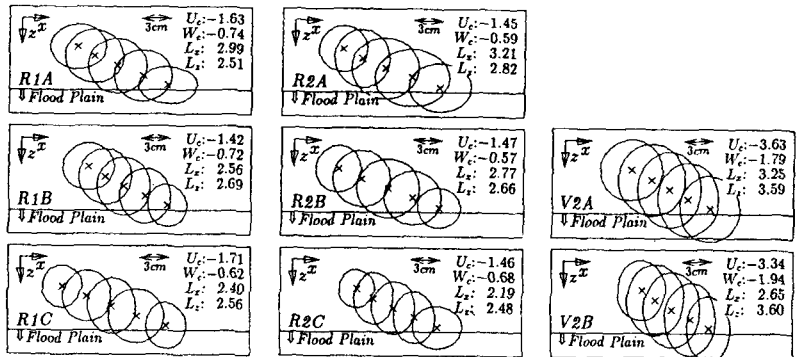


図-6 組織渦の平均渦径と移流速度

(参考文献)

- 1) 津田宜久・小林敏雄・佐賀徹雄: 汎用 PIV システム (Current) の開発, 流れの計測大阪シンポジウム論文集, No.6, pp.47-52, 1991.
- 2) Nezu, I. and Nakagawa, H.: Three-dimensional Structures of Coherent Vortices Generated behind Dunes in Turbulent Free-surface Flows, Proc. 5th Int. Symp. Refined Flow Modelling and Turbulence Measurements, pp.603-612, 1993.
- 3) Nezu, I. and Nakagawa, H.: Turbulence in Open Channel Flow, IAHR Monograph, Balkema, 1993.

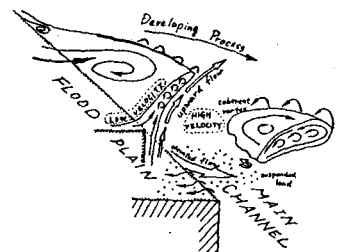


図-7 複断面開水路の組織渦の模式的把握