

II-153

複断面開水路における組織渦の時空間相関解析

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

1. はじめに

組織渦の解析には時空間相関解析を用いる方法がある。Nezuら(1993)<sup>1)</sup>は河床波をもつ開水路流で流速 $\tilde{u}$ ,  $\tilde{v}$ を2測点で3次元的に同時計測し、流速の時空間相関に条件付きサンプリング手法を適用し、砂堆クレスト部ではく離れた渦の再付着点付近から発生するコルクボイル渦の発生過程や運動量の相互作用を解明している。また最近、画像解析的に流速を計測するPIV法と呼ばれる技術が開発されている<sup>2)</sup>。本研究は複断面開水路流れの組織渦をこのPIV計測法で解析するものである。

2. 水理条件と実験方法

計測された水理条件は表-1、座標系および各パラメータは図-1に定義される。ケースRでは高水敷上に粗面にし、ケースVでは高水敷上に植生(かん木)モデルを設置した。撮影および画像解析のための装置は図-2に示され、PIV法により図-1のA~Cの水平断面層内の流速 $\tilde{u}$ ,  $\tilde{w}$ の時系列が計測された。

3. 組織渦の抽出方法

振動流、非定常流、組織乱流などの流速変動は次のように分離して取り扱うのが一般的である。

$$\tilde{u}_i = U_i + \langle U_i \rangle + u_i \quad (1)$$

ここで、 $U_i$ は平均流速、 $\langle U_i \rangle$ は周期変動成分、 $u_i$ は高周波乱れ成分である。本解析では、フーリエ成分法を用いて分離を行った(図-3)。フーリエ変動成分 $\langle U_i \rangle$ を2次元的に表示したものが図-4で、図-5に模式的に説明される。組織渦の抽出は4象限区分法を用いて行った(図-6)。なお、しきい値 $H$ は、目視によるカウントと比較検討して $H = 0.015$ に決定された。

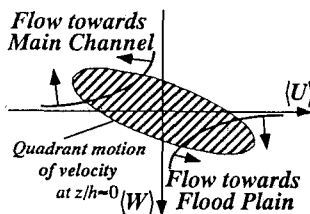


図-5 フーリエ変動成分の変動軌跡の概形

表-1 水理条件

| Case | $I_b$     | $B$<br>[cm] | $B_1/B$ | $H$<br>[cm] | $H/D$ | $U$<br>[cm/s] | $R_s$<br>$\times 10^4$ | $F_r$ |
|------|-----------|-------------|---------|-------------|-------|---------------|------------------------|-------|
| R0   | $10^{-3}$ | 30          | 0.33    | 5.5         | 1.1   | 27.6          | 1.5                    | 0.38  |
| R1   | $10^{-3}$ | 30          | 0.33    | 6.0         | 1.2   | 27.0          | 1.6                    | 0.35  |
| R2   | $10^{-3}$ | 30          | 0.33    | 7.0         | 1.4   | 27.4          | 1.9                    | 0.33  |
| V2   | $10^{-3}$ | 30          | 0.33    | 7.0         | 1.4   | 27.3          | 1.9                    | 0.33  |

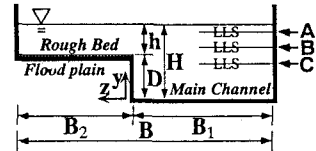


図-1 パラメータの定義

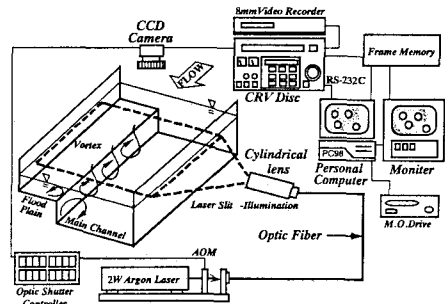


図-2 撮影および画像解析装置

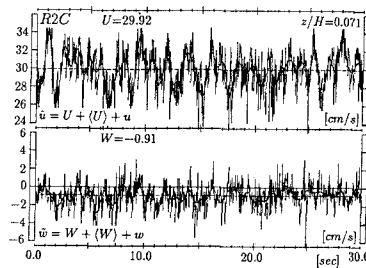


図-3 フーリエ成分の分離

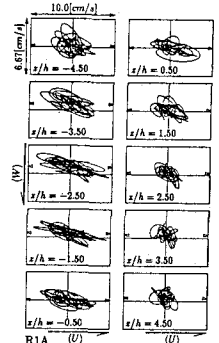


図-4 フーリエ変動成分の2次元表示

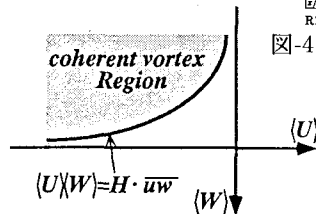


図-6 4象限区分法による組織渦の抽出

#### 4. 条件付き時空間相関解析

一般に時空間相関係数は固定された代表点  $P$  と任意の点  $Q$  の流速成分  $u_i, u_j$  の時空間相関係数  $C_{u_i u_j}$  として次式で定義される<sup>3)</sup>.

$$C_{u_i u_j}(x, \Delta x; z, \Delta z; t, \tau) = \frac{u_i(x, z, t) u_j(x + \Delta x, z + \Delta z, t + \tau)}{u_i' u_j'} \quad (2)$$

ここで,  $(x, z)$  は点  $P$  の座標,  $\Delta x, \Delta z$  は点  $Q$  の点  $P$  に対する遅れ距離,  $\tau$  は遅れ時間である. また, 条件付きサンプリング法によって抽出される時空間相関係数  $(C_{u_i u_j})$  は次式で記述される.

$$\begin{aligned} & \langle C_{u_i u_j}(x, \Delta x; z, \Delta z; t, \tau) \rangle \\ &= \frac{\int_T u_i(x, z, t) u_j(x + \Delta x, z + \Delta z, t + \tau) \cdot I(x, z, t) dt}{u_i' u_j' \cdot \int_T I(x, z, t) dt} \quad (3) \end{aligned}$$

なお,  $I(x, z, t)$  は抽出条件関数である. 表-2 に示される固定点  $P$ , 抽出条件  $I$  で式 (3) に定義される時空間相関を求めた. この一例が図-7 に示される.

#### 5. 平均渦径と移流速度

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<sup>3)</sup>.

$$L_x \equiv \int_0^\infty R_x(x, r) dr, \quad R_x(x, r) = \frac{\overline{u(x)u(x+r)}}{u'(x)u'(x+r)} \quad (4)$$

組織渦の平均渦径と移流速度を時間的な推移としてトレースしたものが図-8 である.

#### 6. 最後に

本研究では, 流速変動の抽出条件を用いて組織渦を抽出する方法を考察し, 条件付きサンプリング手法を用いて組織渦のみを抽出して流速の時空間相関を求めた. また, 組織渦の平均渦径, 移流速度を計算することで組織渦の時間的な動特性, 空間的な形態をとらえた.

表-2 固定点  $P$  と抽出区分象限

| Run.No. | Fixed Point $P$ | Smpl. Cond.  |
|---------|-----------------|--------------|
| 8       | $z/H \approx 0$ | Non          |
| 2       | $z/H \approx 0$ | 3rd-Quadrant |
| 3       | $z/H \approx 0$ | 1st-Quadrant |
| 6       | $z/H \approx 0$ | 2nd-Quadrant |
| 7       | $z/H \approx 0$ | 4th-Quadrant |

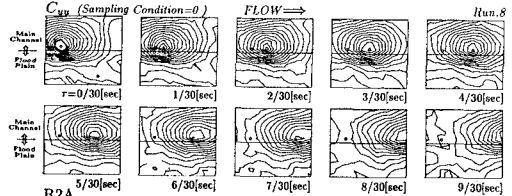


図-7(a) 条件付き時空間相関  $C_{u_i u_j}$

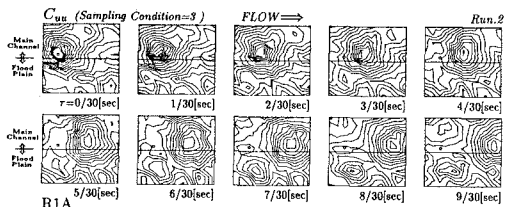


図-7(b) 条件付き時空間相関  $C_{u_i u_j}$

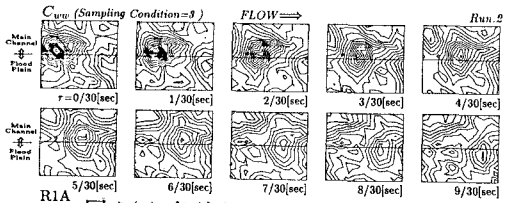


図-7(c) 条件付き時空間相関  $C_{u_i u_j}$

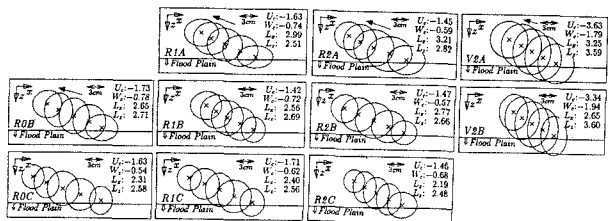


図-8 組織渦の平均渦径と移流速度

#### (参考文献)

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) Nezu, I. and Nakagawa, H.: Turbulence in Open Channel Flow, IAHR Monograph, Balkema, 1993.