

名城大学理工学部 正員 新井宗之
 京都大学防災研究所 正員 高橋 保

1. はじめに: 固体粒子の高濃度に含む流れの構成則については多くの研究がなされてきている。これらの検討にあたっては多くの場合時間平均の流速分布形から、流動モデルを推定して構築されていると言える。しかしながら流れの微細な構造については定性的には示されている場合もあるが、十分に明らかにされているとは言えない。しかし、流れの構造を検討する上で重要なことは論を待たない。そこで微細な固体粒子を高濃度に含む開水路流れの流速変動の測定について 16mm 高速度カメラを用い、その映像を相関法を用いた画像解析を行い検討した。

2. 実験の概要: 実験水路は長さ 8m、幅 15cm、深さ 30cm の可変勾配水路で循環式水路である。実験砂は珪砂で中央粒径 $d_{50}=0.31\text{mm}$ 、密度 $\sigma=2.59\text{ g/cm}^3$ であり、濃度は断面平均容積濃度で $C=0.35$ で行った。水路勾配は $\theta=17.9^\circ$ である。流量は電磁流量計及び水路下流端での計量升を用いる方法により、水深はポイントゲージを用いて測定し 1.1cm である。水路下流端より約 1.5m の位置で、ガラス製水路側壁より高濃度流れを 16mm 高速度カメラ (NAC 社製, E10) により 1 コマ約 $1/4000\text{sec}$ で約 2 秒撮影を行った。

3. 解析及び考察: 得られた 16mm フィルムの映像は $512 \times 512 (512 \times 480)$ ピクセル、256 階調の画像データとして処理している。16mm フィルムはフィルムアナライザーに CCD カメラを取付けパーソナルコンピュータ用の画像入力インターフェイスを用いて画像データを取り込んでいる。画像入力インターフェイスボードは 512×512 ピクセル (画素) の解像度であるが CCD カメラとの関係から 512×480 画素で用いている。

微細な粒子を高濃度に含む流れにおいては任意の位置における流速を得ることが難しく、映像内の特定の粒子の移動軌跡から、その位置の平均流速を得ることとなる。そこで、パターン認識法の一つである相関法を用いて任意の位置のある領域の移動量を求めようとするものである。相関係数に基づく認識法において、図形概念 $J^{(r)}$ に属する標準図形を $g^{(r)}(x)$ 、任意の図形を $f(x)$ とすれば、Schwarz の不等式の関係から

$$d^{(r)} \equiv \frac{\int_{-\infty}^{\infty} f(x)g^{(r)}(x)dx}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} \{f(x)\}^2 dx} \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} \{g^{(r)}(x)\}^2 dx}} \quad (1)$$

なる定数 $d^{(r)}$ が定義され、 $|d^{(r)}|$ の値が十分 1 に近いならば $f(x)$ は $J^{(r)}$ に属する図形であると認識するものである¹⁾。

時刻 t の画像 (A) における任意の点 P_a を中心とする $m \times m$ の画素のそれぞれの濃度値を $a_{i,j}$ とし、それより Δt 後の画像 (B) における点 P_b を中心とする $m \times m$ の濃度値を $b_{i,j}$ とする。それぞれの $m \times m$ の式 (1) に関する離散化した関係式²⁾を用いて中心位置 P_b の相関係数 R_{ab} として求める。 Δt 時間後の画像において移動方向の領域の中で最大相互相関係数 R_{abmax} の位置を $m \times m$ の領域の移動位置と考えることができる。ここではその R_{abmax} を中心とした $i = -2 \sim 2, j = -2 \sim 2$ の R_{ab} の値を格子上的の重みとした重心位置を A 画像 $m \times m$ 領域の B 画像での移動位置とした。

以上の方法により 2 画像データから任意格子上的の速度ベクトルを得た例が図-1 である。図は水平方向が流下方向、垂直方向が水深方向を示している。 m 点 $\times m$ 点の画素を参照フレームと呼ぶと、この参照フレームの大きさによって得られるベクトルの大きさが変化することが示されている。特に参照

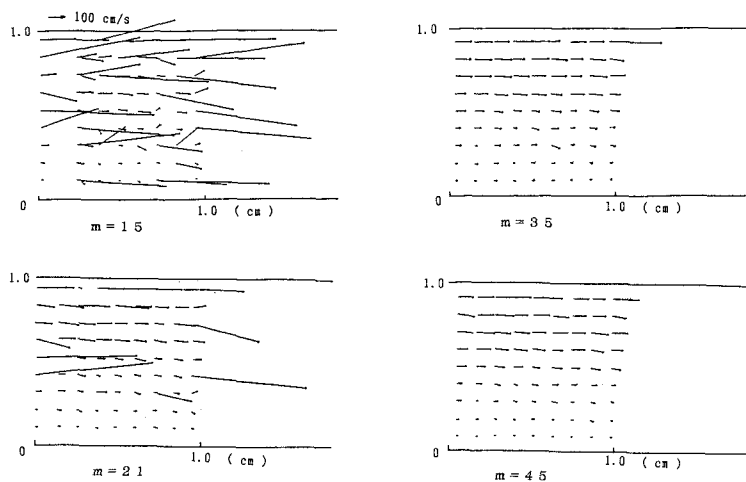


図-1 参照フレームの大きさ
m と異常ベクトル
発生の関係

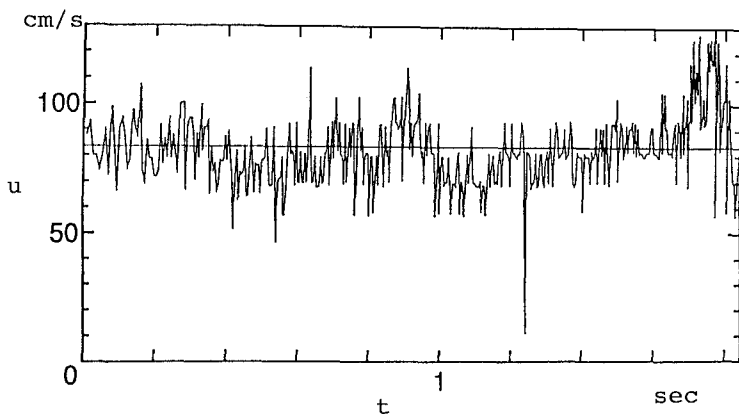


図-2 流下方向流速成分の時系列変化

フレームが小さいと異常に大きなベクトルが計算されてしまうことを示している。この例では $m=15$ の場合にはその異常と思われるベクトルが非常に多く、 m の増加とともに減少している。この m の大きさは画像パターンとの相対的な値であると考えられる。また、 m が大きくなれば当然のことながら処理に長時間を要するようになる。ここでの結果からは $m=45$ 程度でほぼ異常と思われるようなベクトルがかなり減少することが示され、時系列変化の流速を得るにはこの $m=45$ を用いた。

図-2 は、水路床から 0.82cm の位置の流下方向速度成分 u の時系列変化の図である。一部かなり小さな値も示されているが、速度成分の変動のあることが示されている。この場合の速度成分の乱れ強さは $\sqrt{u'^2}=13.6\text{cm/s}$ である。また摩擦速度は $u_* = 17.7\text{cm/s}$ である。水面近傍であるが乱れを生じていることが示されている。

4. おわりに：固体粒子を高濃度に含む流れの速度成分の時系列変化を得る一方法について述べた。水路側壁面からの撮影で高濃度のため側壁の効果を無視できない領域での測定となっている。今後撮影方法等について検討して行きたい。

参考文献

- 1) 磯部 孝編；相関函数およびスペクトル－その測定と応用－，東京大学出版会，昭 42.
- 2) 藤田一郎；開水路合流部の流れの構造に関する研究，学位論文，1990.1.