

流跡線画像解析（PSV）に関する検討

岐阜大学大学院 学生員 遠松 篤
岐阜大学工学部 正 員 藤田一郎
日産自動車 平工良三

1. はじめに

近年、流れ場の二次元、三次元計測手法として画像解析を取り入れたPIVあるいはPTVといった方法が採用されるようになってきている。それらの大きな特徴は、一目で瞬間的な流れの状況を定性的に把握できる点にある。しかしながら、粒子群の密度が高い場合には流跡が重なり合うことが多くなるため、従来の流跡線画像解析では定量的なデータを引き出すのは容易ではなかった。そこで本研究では、平工の提案した一枚の流跡線画像から流跡線分布を得る手法¹⁾に着目し、流跡線画像のシミュレーションや実際の噴流によって、精度に関する検討を行った。その手法は、テンプレート内の平均的な流跡の方向と長さを流跡の重なりとは無関係に定量化できる点が優れている。

2. 流跡線画像解析の手法

平工の方法はgray-levelの流跡線画像を対象とし、その中で任意に設定したテンプレート中の画像情報に対して以下のような操作を施すことによって、テンプレート中の流跡の平均的なベクトル量を得ようとするものである。

(1) トレーサの移動方向の算出方法

流跡の輝度勾配ベクトル $\vec{g}(x, y)$ を考え、これを複素表示したものを $\vec{g}(z) = r \cdot \exp(i\theta)$ とする。さらに、 θ のみを2倍した複素関数 $\vec{h}(z) = r \cdot \exp(i\lambda)$ （ここで、 $\lambda = 2\theta$ ）を導入すると、図-1のような関係になる。この図より、垂直方向を向いていたものは打ち消し合い、反対方向を向いていたものは強調し合うことがわかる。これより、 λ の方向を決定することができる。

(2) トレーサの移動距離の算出方法

テンプレート中の平均輝度勾配の絶対値 $\bar{r}$ と、各点の輝度勾配の絶対値のテンプレート内での単純和 Σr とを利用して、無次元量 $\bar{r} = \bar{r} / \Sigma r$ を定義する。ここで、2つの長さの異なるトレーサ粒子の輪郭線（長さを la 、 lb 、直径を d とする）を考える。 $\bar{r}$ は移動距離に比例するため、 $\bar{r}a / \bar{r}b = la / lb$ のように表される。また、 Σr は輪郭線の周長に比例するため、 $\Sigma ra / \Sigma rb = (2la + \pi d) / (2lb + \pi d)$ のように表される。この2式より、

$$\bar{r}a / \bar{r}b = \frac{la}{2la + \pi d} / \frac{lb}{2lb + \pi d} \quad \text{よって、} \quad lb = \frac{\bar{r}b \cdot la \cdot \pi d}{2\bar{r}a \cdot la + \bar{r}a \cdot \pi d - 2\bar{r}b \cdot la}$$

この式を、既知の流速に対する比に換算するために、 $\bar{d}$ を導入し次のようにする。

$$\frac{lb}{la} = \frac{\bar{r}b \cdot \bar{d} \cdot \pi}{2\bar{r}a + \bar{r}a \cdot \bar{d} \cdot \pi - 2\bar{r}b} \quad (\bar{d} = d/la)$$

これより、既知の流速に対する比を求めると、テンプレート中の空間的流速が求まる。以上の手法をPSV (Particle Streakline Velocimetry) と呼ぶことにする。

3. 流跡線画像のシミュレーションと考察

流跡線画像を以下のように生成した。直径 D の粒子を画像内にランダムに配置し、それを与えられた流れに沿って微小ステップずつ移動させるとともにその移動中の輝度を保持させることにより、流跡線画像が得られる。本研究では、直径 D を3, 4, 5画素とし、 400×400 画素の画像内に $N = 300 \sim 1800$ 個の粒子を配置することで粒子密度を変化させた。以上の方法により、一様流に対する画像と、自由せん断流に対する画像を生成した。無次元流速 $U = 1$ 及び2に対する平均流速及び標準偏差の分布を図-2、3に示す。平均流に関しては各ケースとも非常に良好な結果を示しているが、標準偏差で比較すると粒子密度が高いほど好結果が得ら

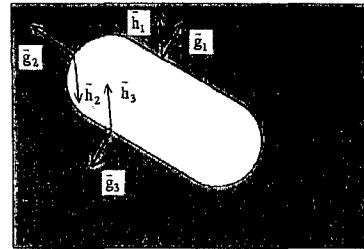


図-1 輝度勾配ベクトルと輝度勾配の関係

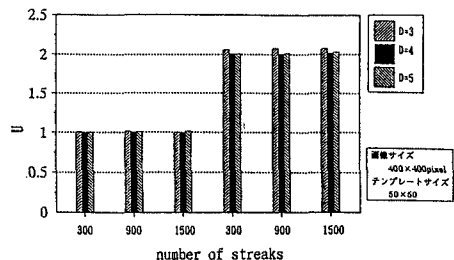


図-2 平均流速の分布

キーワード：流跡線、PSV、PIV、画像解析

連絡先：〒501-11 岐阜市柳戸1番1 TEL058-293-2433

れることが分かる。また、自由せん断流のシミュレーション画像例を図-4に示す。また、平均値及び標準偏差を図-5に示す。テンプレートは50×50pixelとした。流速の大きな部分においては若干与えた流れとのずれが見られるが、速度急変部においても良好に平均流速をとらえることができています。このケースでは誤差は最大10%程度であった。誤差の原因は、2つの流跡線がつながって1本の流跡線になったり、テンプレート内に流跡が完全に収まっていないことが考えられる。

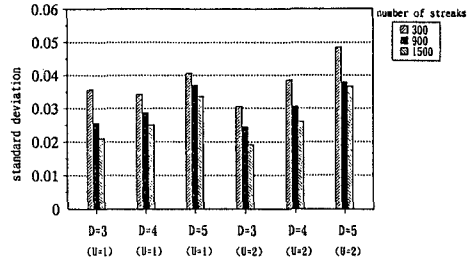


図-3 標準偏差の分布

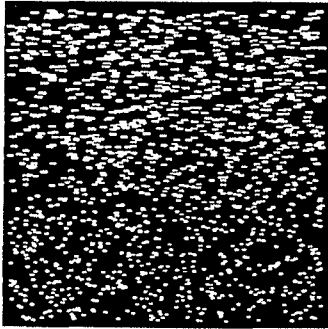


図-4 自由せん断流の画像例

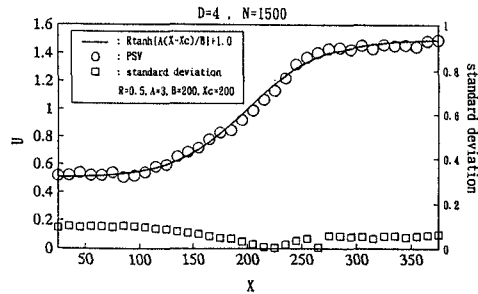


図-5 図-4の解析結果の平均値および標準偏差

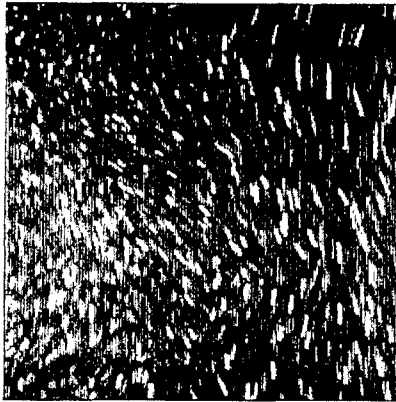


図-6 噴流の画像

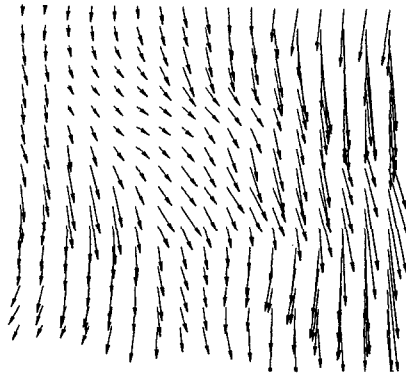


図-7 図-6に対する結果

4. 噴流に対する流跡線画像解析

図-6に示すような、実際の噴流画像に対しても画像解析を行った。図-6は噴流の中心軸より左側の画像である。画像サイズを387×388pixel（約3.65×3.59cm）、露光間隔を0.01122secとして解析した結果を図-7に示す。流跡線と算出されたベクトルは良好に一致していることがわかる。

5. 結論

本手法ではテンプレートから流跡がはみ出すような場合には、誤差が増すため、精度向上のためには新たな工夫が必要である。しかしながら、カメラ等のシャッター速度を調整することにより、従来の通常のCCDカメラによるPIV手法では不可能であった高速流に対する解析が可能となるため、今後さらに発展させていく予定である。

【参考文献】

- 1) 平工良三・鈴木敏夫：トレーサ画像による流れ場計測の一手法（第2報）、関西造船学会誌、第214号、pp.59-64、1990