35 C C D カメラとストロボスコープを用いた三次元流れの解析

東大院 石井 良夫^{*}、お茶の水大 大島 裕子

Three-Dimensional flow analysis using
CCD camera and Stroboscope

by Yoshio ISHII^{*}, Yuko OSHIMA^{**}

Three-dimensional visualized flow analysis of unsteady flow structure was quantitatively carried out by means of personal computer with image processing system. Images of the flow field visualized with dye are three-dimensionally captured by CCD camera and stroboscope.

Time sequences of digitized images of stroboscope are stored in computer memory using a memory board and are analyzed successively. This system is able to prepare larger amount of time sequential data than a usual camera system does. The system is applied to study turbulence transition of three-dimensional pipe flow.

1. はじめに

流れの可視化技術は、最近のコンピュータによるデジタル画像処理技術の向上・普及によって、定性的だけではなく定量的なデータをも得られるようになった。(1)~(2)しかしイメージコンバーターにより映像データを読み取るためには比較的長い時間が必要であり、普通のカメラによって撮影された写真映像をデジタル化する方法では多数の画像を処理することができない。しかし、近頃のデジタルビデオ装置の発達とともに、ビデオカメラを用いて映像信号を直接コンピュータに取り込むことが可能になったので、これをストロボ発光と併せ用いて、高速の現象を研究した。

この実験では、C C D カメラ、ストロボ・フラッシュライト、ストロボビジョンスコープを併せ用いて、可視化された流れの時間映像を記録し、その画像を一画面ずつコンピュータによって解析した。この方法は、時間的空間的に変化する現象、例えば層流から乱流への遷移現象⁽³⁾などを解析するとき有効である。

2. 画像処理システム

2.1 ストロボ・フラッシュライトとC C D カメラによる撮影

この方法は、ストロボの発光と同期して画像をビデオ上に記録するもので、カメラとビデオの長所を併せ持っている。すなわち、可視化された流れ場の全画像を高速で記録することが可能である。この組み合わせによって最高 1/30 秒ごとの画像を計算機に読み込むことができる。

^{*} Graduate Student, Tokyo University, Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo, 113 Japan

^{**} Faculty of Science, Ochanomizu University, Otsuka 2-1-1, Bunkyo-ku, Tokyo, 112 Japan

円管流の遷移の実験についてその概略図を図1に示す。この実験では、円管上面に鏡を傾けて置き一台のCCDカメラの画面上に、上方と水平の二つの方向からみた像を同時に撮影した。

2.2 画像処理の方法

図2にビデオテープに記録された画像からの処理の流れ図を示す。まず前節に述べた方法でビデオテープに撮影された画像をマイクロコンピュータのイメージメモリボードを用いて一画面ずつフロッピーディスク上にデジタルデータとして出力する。ここでビデオの一つの画像は、各点で63段階の明るさをもつ 640×400 の点として置き換えられる。次にそのデジタルデータより画像上での染料の位置を決める。まず画像上で基準となる位置（ここでは円管入口の上下点と染料の消える点）を決め、つぎにその範囲内で染料の位置を探す。この点の位置は $X(Z)$, $Y(Z)$ の二つの配列で表され、これをデータとして保存し、このデータをもとに三次元的な表示を行なう。

また、ビデオに記録された一画像がある時刻における時間映像を表しているので、連続した画像を処理し重ね合わせると現象の時間変化がわかる。

a) 画面上の修正

二つの方向から見た画像の大きさの差を修正するために次式の補間法をもちいる。

$$X_i = \frac{X_{j+1}(Z_{j+1} - Z_i) + X_{j+1}(Z_i - Z_j)}{Z_{j+1} - Z_j} \dots 1)$$

b) 染料の位置の読取

決められた Z の値での染料の位置を決定するには、 ZY 面上で、 $Z = \text{const}$ 線上の一番明かるい点を探し、その点を中心として前後に5つの点の範囲内で明るさの

重みつき平均を次式によって計算し $Y(Z)$ 位置を求める。次に ZX 面の映像について同

Fig.1 Schematic Diagram of Experimental Apparatus

Fig.2 Method Flow Chart

Fig.3 X-Z, Y-Z Coordinate

様の計算を行ない $X(Z)$ を求める。

$$Y(Z) = \frac{\sum (L_i \times Y_i)}{\sum Y_i} \dots 2)$$

ここで、 Y_i は Z の値における Y の位置、 L_i は各 Y_i での明るさ、そして $Y(Z)$ は求めるべき染料の位置である。

3. 実験方法

水槽 (50cm × 400cm × 50cm) に水を貯め、直径 3cm の円管の出口にある絞り弁で流量を調節する。入口には、乱れなく水を流入させるためにベルマウスをつけた場合と、また擾乱を与えるために入口付近に直径 2cm のオリフィスを入れた場合について実験した。トレーサーとしてフルオレセインナトリウムの水溶液を上流より周囲の流れを乱さないように円管の中に流入させた。実験のレイノルズ数は約 2500 であった。

4. 結果及び考察

図 4 は時間的に変化している円管内の層流から乱流への遷移について (a) 可視化された流れの写真、(b) 画像処理をした $X-Z$ 、 $Y-Z$ の図、(c) トレーサーの三次元的な振舞を表した図を示した。このようにストロボ・フラッシュライト、CCD カメラおよびストロボビジョンスコープを用いることによって、可視化された現象を三次元空間内に表示することができた。以下にこの方法の特徴を述べる。

- 1) 層流から乱流への遷移現象をデジタル的に画像を取り入れ、一画面毎の解析が可能である。
- 2) このような映像を時間的に追跡することが可能である。一定時間ごとに時間映像を取り入れ、時間的な変化の振舞を解析できる。
- 3) 実験結果を三次元空間内に再現することが可能である。
- 2) すべてのデータ処理が自動的におこなわれる。

(Time 1)

Fig.4 Transition from Laminar to Turbulence

Fig.4 Transition from Laminar to Turbulence (cont)

5. おわりに

以上に述べた方法で、円管内の流れの遷移現象の映像処理をおこなうことができたが、今後のデジタルビデオ機器の発達などにより、さらに精度の高い情報が画像処理により求め得るようになると思われる。しかし、求めるべきデータを多く含んだきれいな可視化画像を得ることが重要である。

謝 辞

この研究にあたりご指導を頂いた宇宙科学研究所の大島耕一教授に、またプログラムの開発にあたりご協力を頂いた井筒直樹博士に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 小林敏雄, 佐賀徹雄: "流跡写真から如何にして速度情報を得るか", 流れの可視化 Vol.6, No.20, pp.42~49.
- 2) 山川正則, 岩重健五, 小林敏雄: "TVカメラを用いた三次元流速分布測定システムの開発", 流れの可視化 Vol.6, No.22, pp.109~114.
- 3) 石井良夫, 神田英貞, 大島耕一: "円管流の遷移", 飛行体のシンポジウム講演集 1987.2.9. pp.13~17