A109 画像情報を用いた流れ場の 数値処理に関する基礎的研究

大阪工業大学 岸本学[○], 松島栄次, 北條勝彦

Basic Research on a Numerical Processing of a Flow Field using an Image Information

Manabu Kishimoto* , Eiji Matsushima* and Katsuhiko Hojo*

In an image processing velocimetry, the velocities at several points can be measured without contacting a flow, simultaneously. The physical quantities in a flow field as vorticity, stream function and pressure distribution have been obtained from the corresponding distribution of velocity.

The final object of our study is to obtain the pressure distribution of a flow field using an experimental data of pressure besides the data of image processing velocimetry.

As a preliminary step, a lid driven cavity flow is examined two-dimensionally using PIV in this paper. We applied SOLA method to the obtained velocity distributions so as to satisfy the continuity of flow. The physical quantities based on the obtained results are discussed in this paper.

1. はじめに

画像処理速度計測では、非接触の多点同時測定で速度分布が得られる。この分布から諸物理量を算出することで、流れ場の多様な客観的評価が可能となる。速度分布から流れ関数や圧力を算出する手法としては、基準点から順次積分を繰り返す方法¹⁾や、差分近似式に反復法を適用する方法²⁾が提案されている。

本研究では、最終的に、画像処理を用いた速度計測結果による圧力の反復計算の境界条件に、境界壁面上で測定した圧力分布を用いて、圧力を求めようとしている。今回はその前段階として、動作流体の1辺のみが駆動される正方キャビティ流れを扱い、任意の断面上の二次元の速度分布を、PIVにより測定している。そして、得られた速度分布に補間処理を施し、その結果が流れの連続性を満たすように SOLA 法を用いて補正を行ない、両者を比較している。本報では、これらの方法の妥当性についての検討を行っている。さらに、この補正結果を用いて渦度を、また反復計算により、流れ関数や圧力を算出している。

2. 実験装置

本研究で使用するキャビティ流れの実験モデルの概要を Fig.1 に示す。キャビティの内側寸法は、 $0.1 \times 0.1 \times 0.1\text{m}$ である。キャビティ上面に設置した回転する金属ベルトによって、動作流体が駆動される。ベルトの移動速度、キャビティ1辺の長さに基づいた Re 数を 3200 として実験を行っている。LLS (レーザーライトシート) 装置を用い、キャビティの奥行き方向 0.05m の断面を下方から照射している。用いたレーザーは 2W の Ar レーザである。追跡粒子

*Faculty of Engineering, Osaka Institute of Technology

16-1 Omiya, 5-Chome, Asahi-ku, Osaka 535

Fig.1 Experimental Apparatus

Fig.2 Image Analysis System

には、ハイポラスポリマー（粒径 0.34mm, 比重 1.008）を使用している。撮影装置には、毎秒 100 フレームで撮影可能なハイスピードビデオカメラを使用している。カメラにより撮影した画像は、VHS テープに記録される。この記録画像に、Fig.2 で示した画像解析システムでの各種の処理を施して、速度分布のデータを得る。また、速度分布は無次元時間 2 ごとに 11 回測定した速度の平均をとる。

3. 数値処理

3.1 速度ベクトルの補正

PIV により得た速度分布のデータは、ランダムに分布しているので、そのままでは処理し難い。したがって、記録画像より算出したオリジナルベクトルに、距離の逆数補間を施し、格子数 30×30 のグリッド上に再配置する。しかし、補間された個々のベクトルは、必ずしも流れの連続性を満たしているとはいえない。本来、流れは連続性を有している。よって、補間を施した速度分布に速度・圧力の同時反復法である SOLA 法を適用する。これにより、流れ場全体に関する速度の発散値をできる限り減少させ、流れが連続性を有するように補正した。

3.2 諸物理量の算出

ただし、 u : ベルトの移動方向(X)の速度、 v : ベルトの移動方向に垂直な方向(Y)の速度、 $\Delta X, \Delta Y$: X, Y 方向の格子間隔を表している。

3.2.1 渦度の算出

渦度の定義式より、次式が得られる。
$$\omega_{i,j} = \frac{v_{i+1,j} - v_{i-1,j}}{2\Delta X} - \frac{u_{i,j+1} - u_{i,j-1}}{2\Delta Y} \quad (1)$$

(1) 式に 3.1 で求めた補正後の速度分布のデータを代入し渦度を求める。

3.2.2 流れ関数の算出

流れ関数は、以下に示すように差分化できる。

$$\psi_{i,j} = \frac{1}{4}(\psi_{i+1,j} + \psi_{i-1,j} + \psi_{i,j+1} + \psi_{i,j-1}) + \frac{\Delta X}{8}(v_{i+1,j} - v_{i-1,j}) + \frac{\Delta Y}{8}(u_{i,j-1} - u_{i,j+1}) \quad (2)$$

(2) 式に、渦度の場合と同様に、補正後の速度分布のデータを代入し、SOR 法による反復計算を行い流れ関数を求める。反復計算には、キャビティ壁面上で $\Psi=0$ の境界条件を用いた。

3.2.3 圧力の算出

圧力は、以下に示すように差分化できる。

$$P_{i,j} = \frac{1}{4}(P_{i+1,j} + P_{i-1,j} + P_{i,j+1} + P_{i,j-1}) + \frac{\Delta X}{8} \left\{ \left(\frac{\partial P}{\partial X} \right)_{i-1,j} - \left(\frac{\partial P}{\partial X} \right)_{i+1,j} \right\} + \frac{\Delta Y}{8} \left\{ \left(\frac{\partial P}{\partial Y} \right)_{i,j-1} - \left(\frac{\partial P}{\partial Y} \right)_{i,j+1} \right\} \quad (3)$$

また、ナビエ・ストークス方程式より、以下の式が得られる。

$$\left(\frac{\partial P}{\partial X} \right)_{i,j} = \rho \left\{ v \left(\frac{u_{i+1,j} - 2u_{i,j} + u_{i-1,j}}{\Delta X^2} + \frac{u_{i,j+1} - 2u_{i,j} + u_{i,j-1}}{\Delta Y^2} \right) - \frac{u_{i,j}(u_{i+1,j} - u_{i-1,j})}{2\Delta X} - \frac{v_{i,j}(u_{i,j+1} - u_{i,j-1})}{2\Delta Y} \right\} \quad (4)$$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial Y} \right)_{i,j} = \rho \left\{ v \left(\frac{v_{i+1,j} - 2v_{i,j} + v_{i-1,j}}{\Delta X^2} + \frac{v_{i,j+1} - 2v_{i,j} + v_{i,j-1}}{\Delta Y^2} \right) - \frac{u_{i,j}(v_{i+1,j} - v_{i-1,j})}{2\Delta X} - \frac{v_{i,j}(v_{i,j+1} - v_{i,j-1})}{2\Delta Y} \right\} \quad (5)$$

(4), (5)式に補正後の速度分布のデータを代入した結果および、(3)式より、SOR法を用いた反復計算を行い圧力を算出する。キャビティ壁面を除く最端の格子上的の圧力を各反復回数ごとに算出し、それを反復計算の境界条件として使用している。

4. 実験および処理結果

補間処理のみおよび、処理後に SOLA 法を施した中心線速度分布と、Prasad らの実験結果³⁾を Fig.3 に示す。両者を比較すると、Fig.3(I) に示す補間のみの中心線速度分布では、両者はかなり良く一致している。しかし、Fig.3(II) に示す SOLA 法による補正結果では、キャビティ右壁面付近での速度が、Prasad らの実験結果と大きく異なる。この理由としては、SOLA 法が、粒子の欠落していた部分へ補間されたベクトルの影響を受ける。したがって、連続性は満たすが、誤った速度分布に補正することになると考えられる。

SOLA 法による補正後の速度分布から算出した渦度、流れ関数、圧力および、渦度、流れ関数に関しては Ghia らの解析結果⁴⁾を、また、圧力に関しては LES による解析結果を Fig.4, Fig.5, Fig.6 に各々示す。渦度については、反復計算を行っていないため、Fig.4(a)では滑らかな分布が得られていない。また、Fig.5, Fig.4(a)において、流れ関数や圧力については、等高線のおおよその概形はとらえられているものの、まだ完全とはいえない。しかし、補間処理結果のみを用いた場合には、さらに異常な等高線の分布を示したり、また反復計算が収束しない等の影響があることを確認している。以上の結果より、SOLA 法を用いるには、オリジナルベクトルの数や、それを補間する格子の数に対する注意が必要であることがわかる。

(I) Mean velocities unprocessed by SOLA method (II) Mean velocities processed by SOLA method

Fig.3 Velocity distributions at the center lines of cavity

(a)the results obtained in this study

(b)the results obtained by Ghia

Fig.4 Vorticity contour maps

(a)the results obtained in this study

(b)the results obtained by Ghia

Fig.5 Streamline contour maps

(a)the results obtained in this study

(b)the results obtained in the simulation of LES

Fig.6 Pressure contour maps

5. 参考文献

- 1) 今市憲作, 近江和生: 可視化の画像の数値的处理, 日本機械学会論文集(B編) 48 卷 436 号(1982. 12), 2449-2459
- 2) Minoru Kubota, Masahiko Macjima, Takanori Kutsumi: Flow Field Formed Around a Horizontally Submerged Circular Cylinder in the Vicinity of Channel Bed, 可視化情報 No. 50 (1993. 7), 43-54
- 3) Ajay.K.Prasad, Jeffrey.R.Koseff: Reynolds number and endwall effects on a lid-driven cavity flow, Phys.Fluids, A1(2), (1989), 208-218
- 4) U.Ghia, K.N.Ghia, C.T.Shin: High-Re Solutions for Incompressible Flow Using the Navier-Stokes Equations and a Multigrid Method: J.Comp.Phys, 48, (1982), 387-411