D 2 1 5

フォーカシングシュリーレン法を用いた 密度計測基礎実験

山口 裕 (防衛大・航空), 樫谷 賢士 (防衛大・航空)

北野 秀樹[○] (防衛大 (院)), 須田 武志 (防衛大 (院))

A Preliminary Study for Quantitative Measurements of Density Fields by a Focusing Schlieren Method

Yutaka Yamaguchi, Masashi Kashitani, Hideki Kitano, Takeshi Suda

ABSTRACT

A method for measuring a density field around an airfoil in a transonic flow by using a focusing schlieren technique is proposed. The focusing schlieren images are analysed to get the light intensity distribution through a Gaussian filter to remove the optical noise. Then a density field is calculated. In the present study, the density ratio in a transonic flow over a NACA0012 airfoil was calculated at $y/c = 0.236$ above the airfoil. The step function scaling factor, β of 0, 0.01, 0.05 and 0.1, and the number of discrete steps used to model spread function, N of 3, 5 and 7 are tried to get density distribution. As β became large, density ratio became low. Similarly, as N became large, density ratio became low. This result indicates some feasibility of quantitative measurement with the focusing schlieren technique. However, a farther study should be performed to validate the present result.

Keywords: Visualization, Shock Tube, Focusing Schlieren, Density Measurement, Transonic Airfoil Flow.

1. はじめに

高速気流の流れ場の光学的可視化手法の1つとしてシュリーレン法が知られている。シュリーレン法は流れ場の観察などによく用いられている。可視化結果は全光路長の密度変化の影響を受けるため、これまで主に二次元流れ場の密度の定量的評価に用いられてきた。

一方、フォーカシングシュリーレン法⁽¹⁾は光軸に対して垂直な任意の断面を可視化することが可能であり、三次元流れ場における、ある断面の定量的密度計測に利用できる可能性がある。しかしながら、これまで本手法を用いた流れ場の定量的密度計測の試みはCookら⁽²⁾によって超音速流れ場で行われた程度で、遷音速流れ場の密度計測については著者らの知るかぎり実施されていない。

そこで本研究ではフォーカシングシュリーレン法による遷音速翼型流れの密度計算にむけた第一歩としてNACA0012翼型、 $\alpha = 0^\circ$, $M = 0.84$ で本可視化手法を用いて流れ場の画像を取得し、画像データから、Cookらの方法を参考にして密度算出の可能性について検討する。

2. 原理

2.1 フォーカシングシュリーレン光学系

本研究に用いたフォーカシングシュリーレン光学系の配置図⁽³⁾をFig.1に示す。

Fig. 1 Focusing schlieren system.⁽³⁾

2.2 密度算出法

Cookらはフォーカシングシュリーレン法の密度勾配を次のような式で示した⁽²⁾。

$$\frac{d\rho}{dx} = \frac{a}{Kf d_{\text{in focus}}} \frac{(L-f)}{(L-l_{\text{in focus}})} \left(\frac{\Delta I}{I_0} \right)_{\text{in focus}} - \frac{a(L-f)}{Kf} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq \text{in focus}}}^N \frac{\beta_j}{d_j(L-l_j)} \left(\frac{\Delta I}{I_0} \right)_j \quad (1)$$

ここで、 ρ は測定部密度、 a はカットオフグリット上方の光源像の高さ、 K はGladstone-Dale定数、 f は結像レンズ焦点距離、 d は本光学系の不鮮明焦点深度（衝撃波管測定部スパン中央において22.4mm）、 $(\Delta I/I_0)$ は輝度分布、 N は広がり関数に用いた離散ステップ数、 j は特定の断面、 β は階段関数倍率、添え字(*in focus*)は焦点内であることを示し、右辺第1項は焦点内の密度勾配情報、第2項は焦点外の密度勾配情報を表す。本解析では画像データをTIFF形式で取得し、8bitのグレースケール変換を行い、ノイズ処理を行い、無風画像で通風画像を除算し、輝度分布 $(\Delta I/I_0)$ を求め、式(1)を離散化した式に代入することにより、任意断面の密度の定量的算出が可能となる。

3. 実験装置

本研究では、遷音速衝撃波管翼型流れにフォーカシングシュリーレン法を適用する。実験に用いる衝撃波管の概要(3)をFig.2に示す。

なお、翼型模型にはNACA0012翼型を用いた。模型は翼弦長70mm、翼幅60mmであり、翼面に発生する境界層を乱流とするために翼前縁付近にトリップストリップを装着した(4)。

Fig. 2 Shock tube system.(3)

4. 実験結果

$\alpha = 0^\circ, M = 0.84$ におけるNACA0012翼型まわりのフォーカシングシュリーレン法によるスパン中央の可視化結果をFig.3に示す。図より、測定部スパン方向中央において翼上下面58%付近に垂直衝撃波が鮮明に可視化されている。なお、図中の数値は翼前縁からの距離を翼弦長($c = 70$ mm)で割り、無次元化した値である。

次に、Cookらの理論式の右辺第2項の β を0, 0.01, 0.05, 0.1, N を3, 5, 7とそれぞれ変化させた場合のデータ計測線における密度をFig.4に示す。(1pixel=0.06mm)図よりいずれの場合も垂直衝撃波の位置で密度が急激に上昇していることが確認される。またCookらの理論式の右辺第2項を無視する $\beta = 0$ の場合、データ計測線のpixel countが350と250での垂直衝撃波前後の密度比が1.20となるが、 β の値を0.01, 0.05, 0.1と大きくしていくと同様のpixel count位置での垂直衝撃波前後の密度比は小さくなる。さらに、 N の値を3, 5, 7と大きくし

Fig. 3 In focus (flow).

Fig. 4 Comparison of density.

ていくと同様に垂直衝撃波前後の密度比は小さくなる。なお、本解析では $\beta = 0.05, N = 5$ の密度分布と $\beta = 0.1, N = 3$ の密度分布はほぼ一致している。

5. おわりに

フォーカシングシュリーレン法を用いて遷音速衝撃波管翼型流れにおける密度計測を試み、本研究手法における密度計測の可能性を検討した。その結果、 β の値を0.01, 0.05, 0.1と大きくしていくと垂直衝撃波前後の密度比は小さくなる。また、 N の値を3, 5, 7と大きくしていくと、同様に垂直衝撃波前後の密度比は小さくなる。

参考文献

- (1) L.M.Weinstein, "An Improved Large-Field Focusing Schlieren System", AIAA91-0567, 1991.
- (2) S.Price Cook and Ndaona Chokani, "Quantitative Results From The Focusing Schlieren technique", AIAA93-0630, 1993.
- (3) 山口裕, 樫谷賢士, 須田武志, 北野秀樹, "フォーカシングシュリーレン法による密度場計測に向けた基礎実験", 衝撃波シンポジウム 平成18年度衝撃波シンポジウム講演論文集 pp. 283-284.
- (4) Yutaka YAMAGUCHI and Taro AMEMIYA, "A Preliminary Study on the Fixed Transition Technique for a Shock Tube Transonic Airfoil Flow", TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES VOL.37, NO.118, 1995.