

表面摩擦の測定に向けたオイルフィルム干渉法の適用

Application of Oil-film Interferometry to Measurement of Skin Friction

○村田 陽(東電大) 藤野 高光(東電大) 遠藤 正樹(東電大) 榊原 洋子(東電大) 鈴木 宏昌(都立産技高専)
 Yo MURATA, Takamitsu FUJINO, Masaki ENDO, Yoko SAKAKIBARA, Tokyo Denki University, Ishizaka, Hatoyama-machi,
 Hiki-gun, Saitama 350-0394

Hiromasa SUZUKI, Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology, 8-17-1, Minamisenju, Arakawa-ku,
 Tokyo 116-8523

1. 序論

空気抵抗には様々な種類がある。中でも、表面摩擦抵抗は航空機が飛行する際に受ける空気抵抗のうち最も占める割合が大きく、亜音速の場合においては、全抵抗の半分に達する。よって、表面摩擦を低減させることで航空機の性能を向上させることが期待される⁽¹⁾。表面摩擦を低減させるためには、まずは確かな測定方法が必要である。種々提案されている測定方法の中でも、オイルフィルム干渉法は代表的な測定方法である。

オイルフィルム干渉法では、オイルの薄膜化によって生じる干渉縞の波長の時間的変化から、流れによって物体表面に作用する表面摩擦を求めることができる。しかし、オイルの撮影に用いるカメラの微妙な角度のずれや、流れの方向によって変化した干渉縞の向きが測定結果に及ぼす影響が大きく、表面摩擦が働く方向を正確に知る必要がある⁽²⁾⁽³⁾。

そこで、本研究ではオイルフィルム干渉法を用いて平板に作用する表面摩擦が働く方向を測定し、その正確さを検討する。今回は、カメラを平板に対して回転させて撮影した場合の測定と、翼型を平板の測定部近くに設置し、流れの方向を変化させた場合での測定を行う。

2. 実験装置

実験装置の概略図を図 1 に示す。送風機によって送られた空気は、整流格子を通過することで流れの乱れや速度の不均一部分が取り除かれ一様な流れとなる。そして、圧縮部により流速が上がり、測定部へと流れる。風洞の出口にはトリッピングワイヤが取り付けられており、低いレイノルズ数においても流れが乱流へと遷移する。測定平板は風洞出口の高さ方向の中心に取り付けられている。測定平板上のオイル膜に可視化光源であるナトリウムランプの光を照射し、オイルに発生した干渉縞をカメラで撮影する。カメラは鉛直方向に対して $\alpha=30^\circ$ となるように三脚で位置を固定する。カメラの設定はシャッタースピード 1/200、絞り値 F9、ISO 感度 250 で画素数は 4000×6000 である。

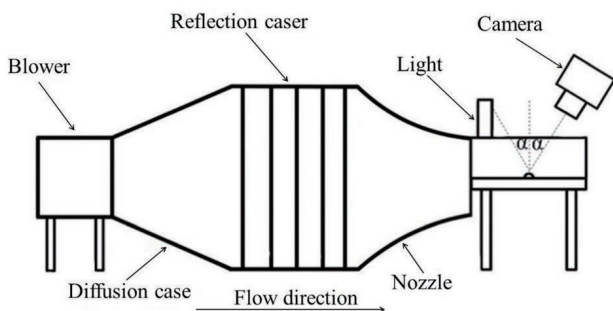


Fig. 1 Schematic view of experimental equipment

3. 実験方法

カメラを回転させて撮影する場合の測定部の概略図を図 2 に示す。図は測定部を上から見たものである。実験前に較正として測定平板上の方眼紙を置き、カメラで撮影する。測定部にオイルを滴下し、送風機の電源を入れ、200 秒後から、1 秒間隔のインターバル撮影でオイルに発生する干渉縞を 300 秒間撮影する。カメラを水平方向に $\beta=5^\circ$ 程度、測定部に対して反時計回りに回転させて撮影を行った。

また、図 3 は平板に翼型を設置した場合の概略図である。翼型は NACA4412 を使用した。オイルは翼型の正圧側に滴下する。迎角が $\gamma=5^\circ$ となるように設置し、同様の実験を行った。

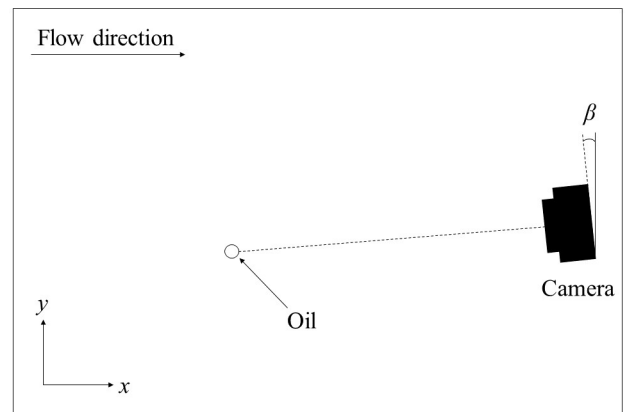


Fig. 2 Schematic of experimental apparatus ($\beta = 5^\circ$)

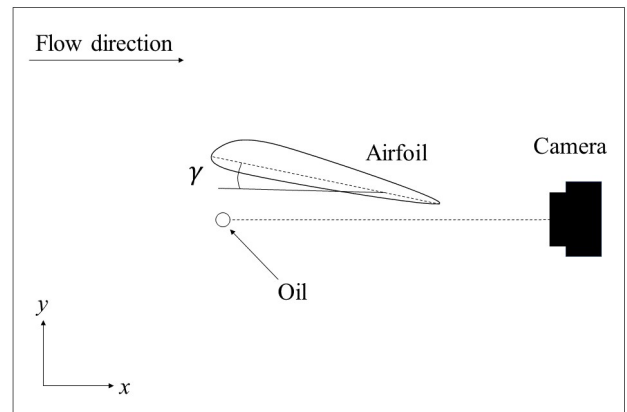


Fig. 3 Schematic of experimental apparatus ($\gamma = 5^\circ$)

4. 実験結果

カメラを回転させて行った実験において、撮影された写真の傾きを測定したところ、 β の実際の値は 5.4° であった。干渉縞の可視化写真を図 4 に示す。写真は干渉縞の一部を一辺 4.3 mm の正方形に切り取り、二値化したものである。

ただし、流れの方向が図の下方となるように、写真の角度を β だけ戻している．図 4 (a)および図 4 (b)はそれぞれ測定開始から 200 秒後と 500 秒後の干渉縞の様子である．図から、時間が経過するにつれて干渉縞の波長が大きくなることが確認できる．

表面摩擦が作用する方向を測定するために、元の二値化写真の角度を反時計回りに 0.5° ずつ回転させ、FFT 解析により波長の時間的変化 dS/dt を求めた． dS/dt が最小となる角度が表面摩擦が作用する方向となる．図 5 は、波長の時間的変化 dS/dt と解析角度 θ の関係を示している．図中の白丸は実験結果であり、曲線は最小二乗法による近似曲線である．最小二乗法には次式を用いる．

$$\frac{dS}{dt} = \frac{A}{\cos(\theta - \theta_0)} \quad (1)$$

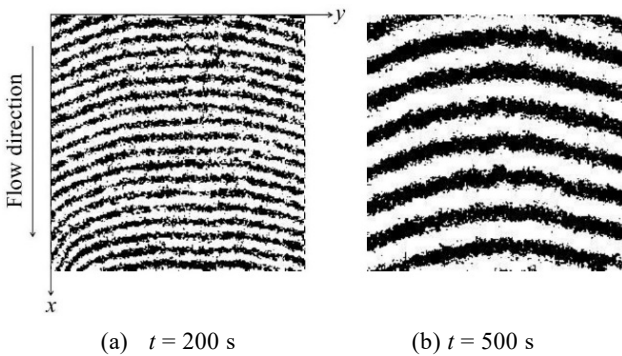


Fig. 4 Binarized image ($\beta = 5^\circ$)

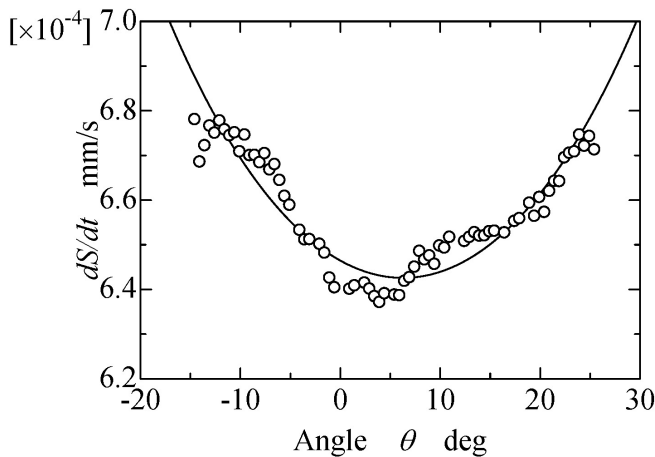


Fig. 5 Relation between dS/dt and angle θ ($\beta = 5^\circ$)

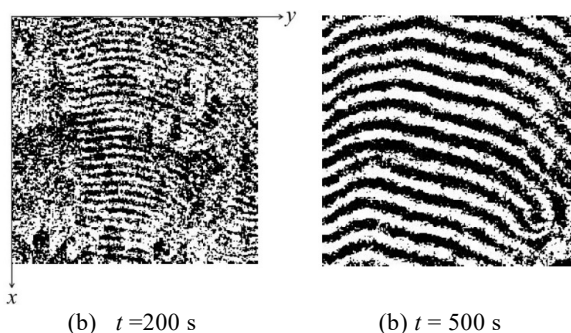


Fig. 6 Binarized image ($\gamma = 5^\circ$)

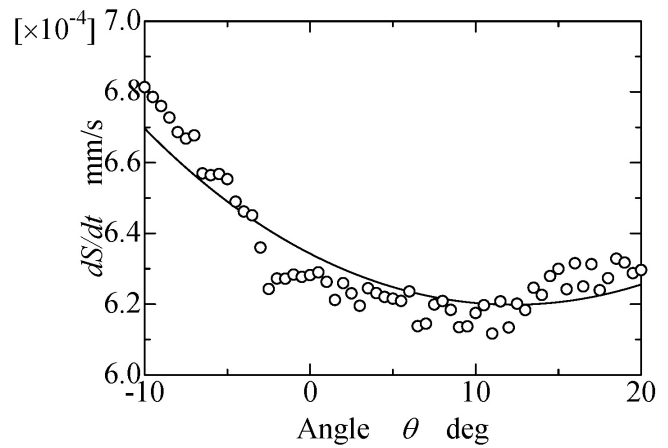


Fig. 7 Relation between dS/dt and angle θ ($\gamma = 5^\circ$)

ここで、 A は dS/dt の最小値、 θ_0 は dS/dt が最小となる角度である．最小二乗の結果、 $\theta_0 = 6.27^\circ$ となり、カメラを回転させた角度 $\beta = 5.4^\circ$ と良い一致を示した．

図 6 は、平板に迎角 $\gamma = 5^\circ$ で翼型を設置した場合の干渉縞の可視化写真を示している．翼を設置したことにより、流れの方向が変化するとともに、表面摩擦の作用する方向も変化し、干渉縞の現れる向きが傾いていることが確認できる．

翼型を設置した場合の可視化写真に対しても同様に角度の解析を行った．図 7 は、迎角 $\gamma = 5^\circ$ で翼型を設置した場合における波長の時間的変化 dS/dt と解析角度 θ の関係を示している．最小二乗法による近似の結果、波長の時間的変化が最も小さくなる角度 θ_0 は 12.2° となり、表面摩擦が作用する方向は図の x 方向に対して 12.2° 傾いていることがわかった．

5. 結論

オイルフィルム干渉法を用いて平板に表面摩擦が作用する方向の測定を行い、以下の結論を得た．

1. カメラを測定部に対して 5.4° 回転させた場合の実験において、干渉縞の波長の時間的変化 dS/dt の値が最も小さくなる角度 θ_0 を求めたところ、 θ_0 は 6.27° となり、カメラを回転させた角度と良い一致を示した．
2. 翼型を迎角 $\gamma = 5^\circ$ で設置した場合の実験において、 dS/dt の値が最も小さくなる角度 θ_0 を求めたところ、 θ_0 は 12.2° となり、表面摩擦が作用する方向は 12.2° 傾いていることがわかった．

参考文献

1. 中橋和博：航空機の空力形状と最適設計，ながれ，26 巻，(2007)，pp. 259-265．
2. Saleh Rezaeiravesh, Ricardo Vinuesa, Mattias Liefvendahl, Philipp Schlatter : Assessment of uncertainties in hot-wire anemometry and oil-film interferometry measurements for wall-bounded turbulent flows , European Journal of Mechanics/B Fluids, Vol. 72, (2018), pp. 57-73.
3. J. W. Naughton, T. Liu, : Photogrammetry in Oil-Film Interferometry, AIAA JOURNAL, Vol. 45, No. 7, (2007), pp. 57-73.