

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 9 月 7 日現在

機関番号：32665

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25820051

研究課題名(和文) オイルフィルムによる壁面せん断応力計測法の高度化

研究課題名(英文) Measurement of wall shear stress on an airfoil surface by using the oil film interferometry

研究代表者

鈴木 康方 (SUZUKI, Yasumasa)

日本大学・理工学部・准教授

研究者番号：20424749

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：オイルフィルム干渉計測法を、風洞試験で実用的なツールとして発展させるべく、実験的に従来手法の改良に取り組んだ。局所計測に対応させるために液滴直径を従来の5mm程度から1mm程度に縮小し、垂直面での計測にも対応させるために塗布による方法での評価も行い、これらの有効性を確認した。本手法を用いてNACA0012翼を用いた翼負圧面での計測を行い、よく使われる金属加工法と特別な表面加工をせずに市販のフィルムをはり付けることで実施した。この計測結果を、数値解析による従来研究と比較し、翼面の再付着点から後縁付近に至る領域では、局所抗力係数の実験値と解析値の差異が3%程度以内となり、一致のよい結果が得られた。

研究成果の概要(英文)：In this study, usual oil film interferometry (OFI) is developed as practical tool for wind tunnel test. It is confirmed that the OFI method under the 1mm diameter of droplet is effective for local friction measurement compared to under the 5mm diameter of droplet. Also, painting method instead of dropping is carried out for skin friction measurement on vertical surface. Local skin friction measurements on suction surface of an NACA0012 airfoil are carried out by the OFI method improved in this study. The airfoil is manufactured by famous processing of a metal and it is attached by commercial film without necessary for special processing to surface. The results are acquired that the difference of local friction coefficient between by the OFI measurement and by numerical simulation in other research has less than about 3% on suction surface from reattached position to trailing edge of the airfoil.

研究分野：流体工学

キーワード：流体計測 境界層流れ 壁面せん断応力 光学計測 チャンネル流れ 乱流境界層 局所抗力

1. 研究開始当初の背景

厚みの薄い物体表面でも容易かつ高精度に実施可能な壁面せん断応力計測の手法であるオイルフィルム干渉法 (OFI) は、国内では名古屋大学の今山、辻ら^{*1, *2}が壁乱流の研究に用いた、他に例をみない物体壁面せん断応力を定量的かつ高精度 (誤差 1% 以内) に計測する手法の一つであり、物体内部に細工の必要が一切ないため、フィルムプローブや他のセンサなどを用いる手法では不可能な薄い厚みの物体表面の計測も唯一可能である。例えば、航空機の主翼高揚力装置の風洞試験結果と大規模数値流体解析 (CFD) との比較には油膜法による定性的な壁面流れの比較がやむを得ず行われているが、本手法が適用されれば定量的な比較が可能となり、実施された CFD 結果の信頼性ももっと明らかにすることができる。J.M.Osterlund^{*3} と H.M.Nagib^{*4} は OFI による壁面せん断応力の高精度な直接計測により、乱流境界層の壁面摩擦則の分野でレイノルズ数 $Re > 6000$ の条件で壁法則と欠損則の重なり領域が存在することを初めて確認した。Osterlund はカメラと単色光源および Matlab による画像処理プログラムにより、古くから考案されていた OFI 計測を近年の電子機器で容易に実現した。Nagib は OFI 計測の計測精度向上をねらい、プラグによる乱流境界層の計測時に段差が計測精度に与える影響と壁面上に生ずる静電気の影響について材質を変えて調査した。申請者は 2011 年度に Nagib のもとで OFI 計測について学び、OFI 計測の有効性を十分に確認したが、日本国内でほとんど知られておらず、海外でもこれを実際の多様な風洞試験に適用することは考えられていなかったため、風洞試験への適用のための基盤構築が急務であると考えた。

引用文献

- *1 辻ら, 日本機械学会流体工学部門講演論文集, 0205 (2009)
- *2 今山ら, 日本機械学会流体工学部門講演論文集, 0218 (2009)
- *3 J. M. Osterlund, et al., Phys. Fluids, 12, 1-4 (2000)
- *4 H. M. Nagib, et al., Phil. Trans. R. Soc., A365, 755-770 (2007)

2. 研究の目的

本研究は物体壁面せん断応力の定量的な計測手法を多様な模型を用いた風洞実験で使用可能なツールとして発展させるための研究である。OFI を、従来の水平平面のみでの計測から斜面や鉛直面での計測を可能とさせ、実際の製品開発等の風洞試験で適用可能な計測手法に発展させることを目的とする。具体的には、干渉縞の検出アルゴリズムの改良と高解像度デジタルカメラを用いた画像計測、種々の模型を用いた風洞実験により、上記風洞試験の際に重要となる、重力が影響

する水平面以外の面での計測、二次流れが生じた場合の流れ、はく離が生じた場合の流れに対して流れと計測精度への影響の關係の解明を実施して目的を達成する。

3. 研究の方法

(1) 使用するシリコンオイルの粘度が温度により容易に変化してしまうため、独自に製作した恒温槽とウベローデ粘度計を用いて、研究に用いる風洞試験設備内の想定温度の 20 ~ 40 にて粘度校正実験を事前に各年度で実施している。流れ場により、適切なオイルの粘度がおおまかに分かれるため、50 CS, 100 CS, 300 CS の 3 種類のオイルを用いた。

(2) 局所的な計測に対応するため、よく用いられる 5 mm 程度の液滴に対して、1 mm 程度の液滴をつくり、既設のアスペクト比 10 のチャンネル流路にて、レイノルズ数が約 6000 ~ 19000 の範囲で発達した乱流境界層の局所抗力係数を比較した。また、風洞試験の時間短縮のために平筆で広い平面にオイルを塗布して使用する場合を想定して、従来の滴下法と塗布法の精度の比較も行った。

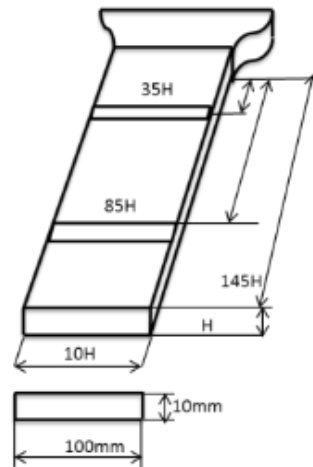


図 1 チャンネル流路の概観

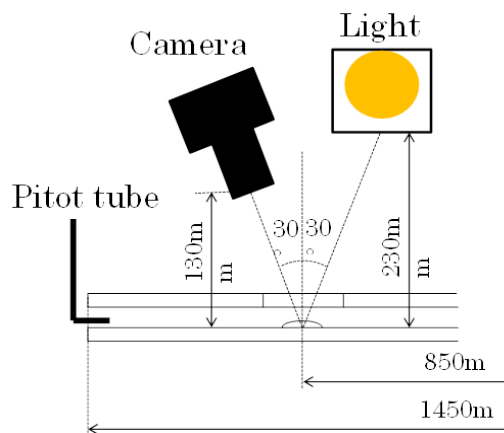


図 2 OFI の設置状況

(3) 二次元性の強い流れにも適用するためにナット部品を渦発生器としてチャンネル内に設置し、その後流を解析しながら、干渉縞の検出アルゴリズムの改良を試みた。

(4) ほとんど例がない、数値解析の検証用データとしての局所抗力係数の取得を行うため、NACA0012 の翼型を有する、二次元翼の翼面に作用する局所抗力係数の計測を行い、従来研究の数値解析の結果と比較を行った。レイノルズ数は 80000 程度である。模型は一般的な放電加工により製作し、風洞試験への適用を考慮して模型表面への特別な加工をせずに、容易に入手可能な市販の PET フィルムを表面にはり付けることおよび干渉縞の取得画像の後処理により、計測精度低下を防ぐようにした。翼模型の風洞測定部に対する幾何学的な迎角は 12 度であり、翼は高揚力状態にある。実効迎角は 9 から 10 度となっている。座標系は翼前縁を基準として主流方向へ x を、主流と直角に y をとり、翼幅方向となる鉛直上向きに z の正をとった。

4. 研究成果

(1) 直径 1 mm 程度の液滴にて計測した局所抗力係数は、直径 5 mm 程度の液滴の場合と比較して 2%以内の差で一致し、干渉縞の形成も同程度に良好であるため、この液滴の大きさでも十分に実用に足るものであることがわかった。

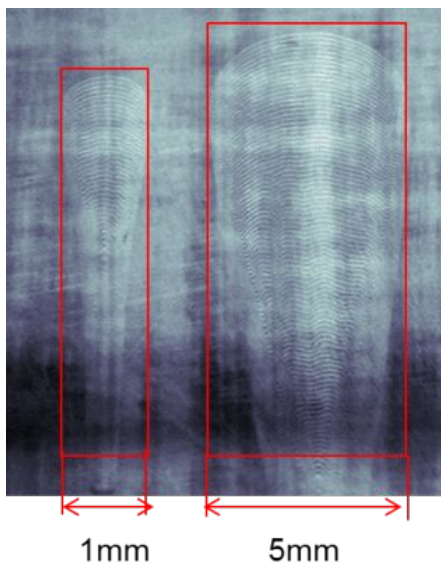


図 3 液滴の大きさによる干渉縞の比較

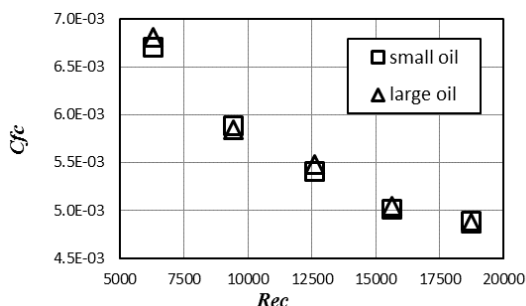


図 4 液滴による局所抗力係数の比較

(2) オイルの塗布法により計測した局所抗力係数は、滴下法の場合と比較して最大 2.3% 以内の差で一致し、干渉縞の形成も良好であるため、塗布法による有効性を確認できた。また、これにより、重力の影響を受けやすい垂直面での計測が可能である見通しも得られた。

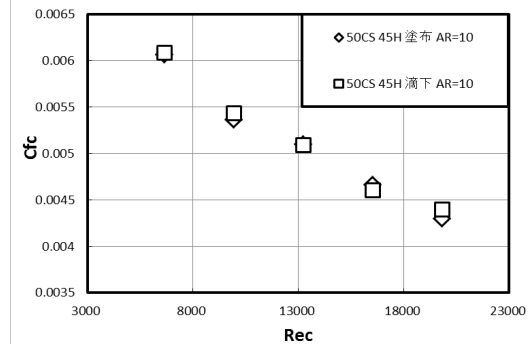


図 5 滴下と塗布による局所抗力係数の比較

(3) 渦発生器を用いた二次元性の強い流れには現行の解析方法では解析精度が大きく低下してしまうことが確認されるとともに、干渉縞の進行方向が多様に変化する流れに対して、解析精度向上に必要な干渉縞の検出アルゴリズムの改良が困難であったため、計画を変更して解析精度向上ではなく、現在の解析精度による翼面上の流れを対象にした数値解析検証用データの取得を進めた。この計測により、水平面に対しての計測よりも垂直面の方が計測は容易であることがわかった。模型表面は鏡面加工が望ましいが、実用性を考慮して表面が鏡面のようにはならない、放電加工による方法で模型を製作し、検討の結果、翼表面に厚さ 0.05 mm の市販の PET フィルムをはり付けることで干渉縞画像の低質化を改善した。さらに、取得画像に対して背景差分と輝度値の 2 乗の処理により、計測精度の低下を防ぐことができた。計測結果を Large Eddy Simulation (LES) による解析結果の従来研究⁵ と局所抗力係数を比較し、翼負圧面の流れに対して再付着点から後縁付近に至るまでの乱流境界層が発達する領域では、OFI による計測値と数値解析値の差異が最大でも 3%程度となり、比較的よい一致となった。翼の前縁付近から再付着点までの領域では、現行の画像解析アルゴリズムが逆流に対応できずに計測が困難となったため、その改良の必要性が確認できた。

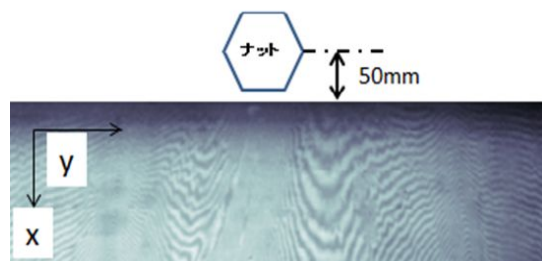


図 6 渦発生器後流の干渉縞の様子

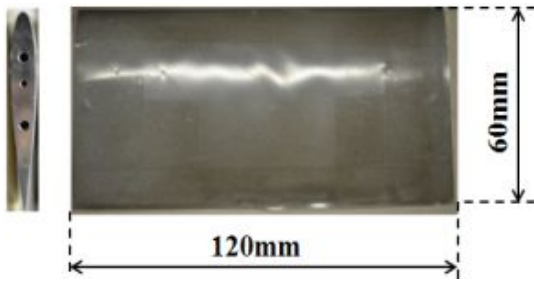


図7 PETフィルムを設置した翼模型の概観

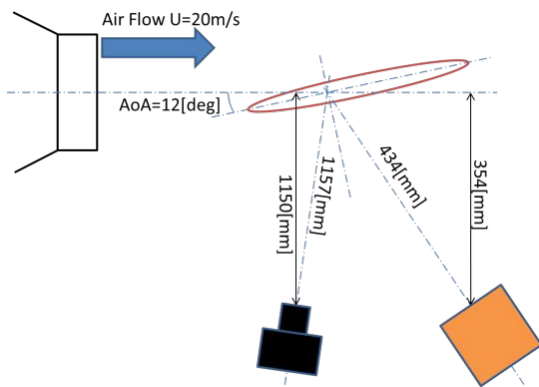


図8 翼負圧面計測時のOFIの設置状況

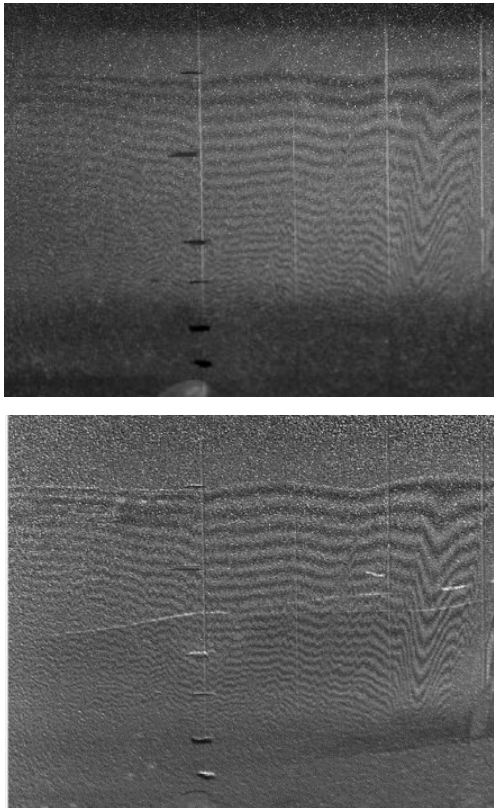


図9 背景差分と輝度値の処理前後の干渉縞画像の比較(上段:処理前,下段:処理後)

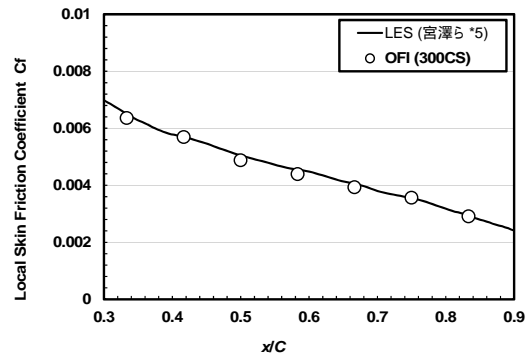


図10 OFI計測値とLES解析値の翼負圧面上の局所抗力係数分布の比較

引用文献

*5 宮澤ら, 二次元翼周り非定常流の空力音響解析(第1報、翼周りにはく離遷移流れのLES解析と精度検証), 日本機械学会論文集B 偏, Vol. 72, No. 721, pp. 2140-2147 (2006)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 3件)

野口達矢, 鈴木康方, 渡邊雄一郎, オイルフィルム干渉法による翼負圧面の壁面せん断応力の計測, 第44回可視化情報シンポジウム, 2016年7月, 工学院大学新宿キャンパス(東京都・新宿区)

鈴木康方, 吉岡純生, 渡邊雄一郎, オイルフィルム干渉計測法による翼面の壁面せん断応力の計測, 日本機械学会関東支部第22期総会・講演会, 2016年3月10日, 東京工業大学大岡山キャンパス(東京都・目黒区)

K. TSUKAMOTO, Y. SUZUKI, K. TAZAWA, A STUDY OF MEASUREMENT ON SURFACE AT AN ATTACK ANGLE, The 24th International Symposium on Transport Phenomena, 2013年11月4日, 山口東京理科大学(山口県・山陽小野田市)

6. 研究組織

(1)研究代表者

鈴木 康方 (SUZUKI, Yasumasa)

日本大学・理工学部・准教授

研究者番号: 20424749