

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 4 月 5 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23656126

研究課題名（和文）オプティカルフローを利用した壁面せん断応力分布の超高解像度可視化技術

研究課題名（英文） High-Resolution Skin-Friction Measurement Technique Based on Optical Flow Algorithm

研究代表者

浅井 圭介 (ASAI KEISUKE)

東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：40358669

研究成果の概要（和文）：2次元壁面せん断応力分布を計測する新しい手法として、物体表面を流れる蛍光油膜の厚さの時間変化から、オプティカルフローの手法を用いてせん断応力分布を計測する手法を開発した。この手法を角柱模型や NACA0012 翼型の低速風洞実験に適用した結果、境界層の遷移や剥離、再付着などの現象に対応したせん断応力の分布が極めて高い空間分解能でとらえられることが実証された。本手法を用いると壁面せん断応力が負となる逆流域の補足も可能であり、層流剥離泡を含む複雑な流れ場の解析も可能なことが確認された。

研究成果の概要（英文）：As a tool for visualizing two-dimensional skin-friction distribution on model surfaces, a new technique named “Global Luminescent Oil-Flow (GLOF)” technique has been developed. This method uses “optical flow” technique and extracts skin-friction vector field from time-series of oil-flow images. The accuracy and resolution of this technique were evaluated by applying to square cylinder and NACA-0012 airfoil testing. We found that GLOF allows us to measure skin friction distribution under the complex flow field including the reverse-flow region of a laminar separation bubble.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：流体計測，オプティカルフロー，せん断応力，流れの可視化，画像処理

1. 研究開始当初の背景

物体上の境界層の遷移や剥離・再付着などの現象は、壁面せん断応力の値に影響を及ぼすため、翼や構造体にはたらく空気力の変化を支配する物理現象を解明するには、壁面に沿ったせん断応力の分布を調べることに有用である。これまでに浮動式天秤（直接法）や熱線流速計による速度プロファイル測定、プレストン管やホットフィルムを用いる方法が確立されているが、このような点計測法ではせん断応力の2次元分布を調べることはできなかった。また、境界層内で発生する現象はわずかな外乱に対して敏感であり、壁

面せん断応力を高精度で計測することは容易ではない。流れに影響を及ぼさず、非接触で摩擦応力を2次元的に計測できる新しい手法の導入が必要とされていた。

2. 研究の目的

本研究では、壁面に作用する流体によるせん断応力の分布を超高解像度で可視化できる光学的な流体計測技術の開発を目的とする。この手法は、Computer Vision の分野で移動体速度の計測手法として知られる「オプティカルフロー (Optical Flow)」の原理を利用したもので、物体表面にコーティングした蛍

光油膜の流動の時系列光学画像から、壁面に作用するせん断応力ベクトルの2次元的な分布を画像に捉えようというものである。本研究では、新しい蛍光油膜や信号処理アルゴリズムを導入することによって、壁面せん断応力場をミリメートル以下の超高解像度でかつ定量的に計測する技術の開発を目指す。さらには、物体近傍の3次元的な流れ場との相関を調べるため、壁面上の限界流線の特異点を抽出し、流れのトポロジーを解析するアルゴリズムの開発に取り組む。

3. 研究の方法

初年度は高輝度蛍光オイルとオプティカルフローの計算アルゴリズムの研究開発に集中し、ミリメートル以下の空間分解能と計測精度を併せもつ計測システムの試作と評価を行った。ここでは、オプティカルフローの解析法の1つである勾配法を適用し、拘束方程式に制約条件を課すことでせん断応力を計算した。試作した装置を2年目に翼型や角柱模型の実験に適用した。可視化実証試験は大きく、大域的流れ場の可視化と微小物体の局所流れ場の可視化に分けられる。前者では断面がNACA0012の翼模型を使用し、オプティカルフロー計算における初期画像の選択、画像間隔、画像ペアと画像ペアの時間間隔、平均回数などの影響を系統的に評価した。また、これらの実験と比較するため低密度風洞を用いた翼型実験も合わせて実施し、本技術の有用性を評価した。

4. 研究成果

NACA0012翼型実験においては、蛍光油膜を用いることで、翼面上の層流剥離泡による逆流領域や境界層の乱流遷移による表面せん断応力の変化が捉えられた。翼面の流れ場が、低迎角の後縁剥離が起こる領域、中迎角の剥離泡が形成される領域、高迎角の全面剥離が起こる領域の3つのパターンに分類される。このようなパターンの変化はオイルフローやPIV計測により知られていたものである。また、定量的にも壁面せん断応力の計測値は実測値に近く、蛍光油膜法が有効なツールであることが明らかにできた。

一方、角柱実験では断面が正方形の角柱を使用し、その前後の地面板上の流れ場の可視化計測を試みた。油膜の流れを光学的にズームして計測したところ、地面板の境界層との干渉で角柱前面にできる多重渦列によって生じる微細なせん断応力場を実験で捉えることに成功した。また、感圧塗料(PSP)による圧力分布の光学計測を並行して行い、物体上の圧力場とせん断応力場を複合して画像計測することに世界で初めて成功した。

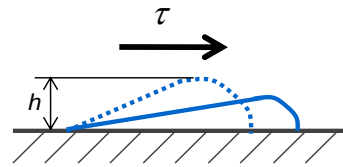


Fig. 1 油膜法の原理

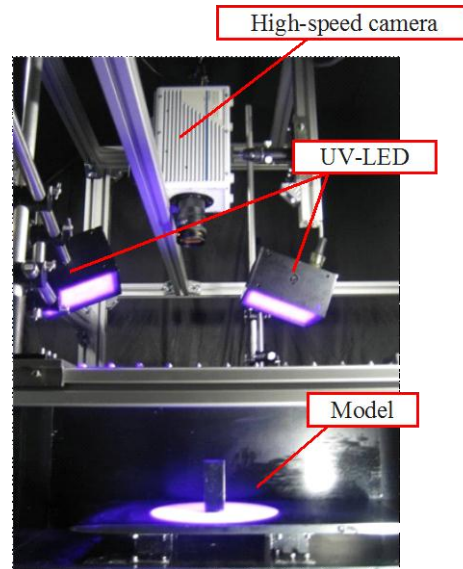


Fig.2 低速風洞に設置された本手法の光学系

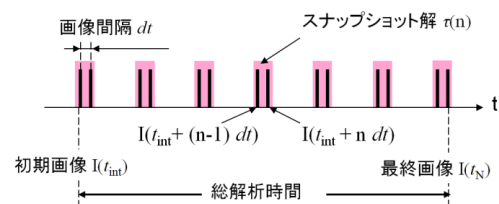


Fig. 3 GLOF法によるデータ解析

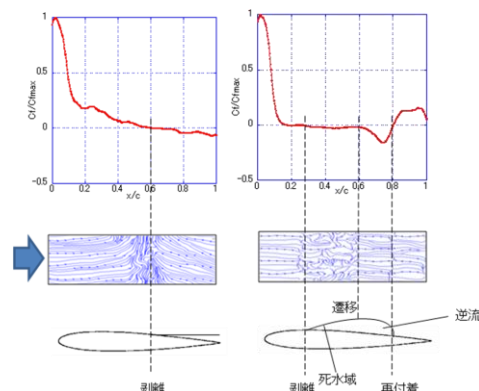


Fig.4 NACA0012翼面上のせん断応力分布の計測例 (剥離や逆流領域が捉えられている)

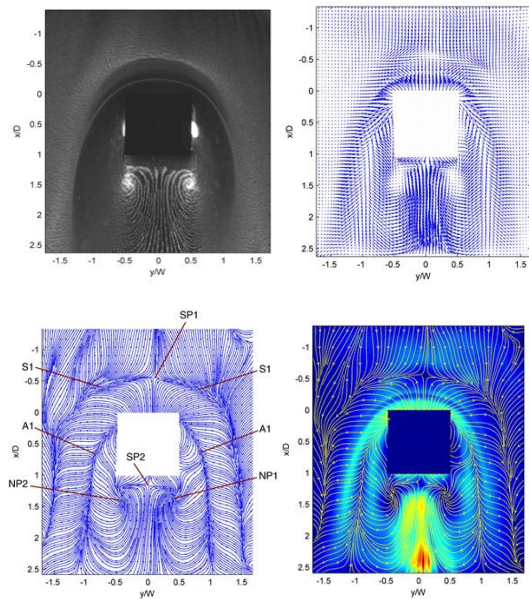


Fig.5 角柱周辺の地面板上のせん断応力分布

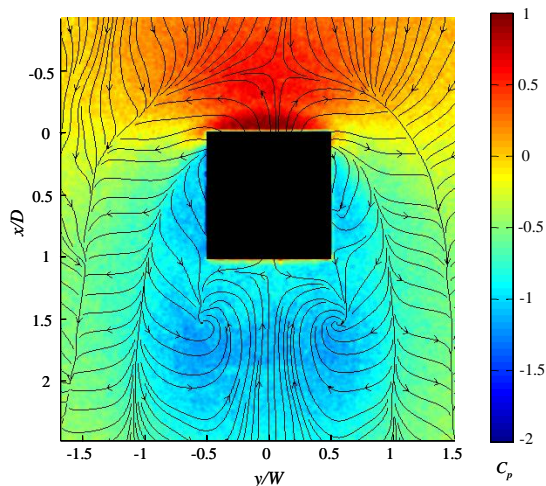


Fig.6 本手法によるせん断応力分布計測と感圧塗料による圧力分布計測の複合化

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 10 件)

1. Takaaki Tsuchiya, Daiju Numata, Tetsuya Suwa, Keisuke Asai, “Influence of Turbulence Intensity on Aerodynamic Characteristics of an NACA 0012 at Low Reynolds Numbers”, 51st AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, 2013年1月7日-1月10日, Grapevine, USA

2. Daiju Numata, Takaaki Tsuchiya and Keisuke Asai, “Evaluation of free-stream turbulence intensity in the Mars Wind Tunnel under low Reynolds number conditions”, 51st AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, 2013年1月7日-1月10日, Grapevine, USA
3. 沼田大樹, “火星大気風洞の主流乱れの制御と翼型特性への影響”, 平成24年度宇宙航行の力学シンポジウム, 2012年12月13日-12月24日, 相模原, 日本
4. 沼田大樹, 土屋貴明, 浅井圭介 “低レイノルズ数におけるNACA0012翼型の空力特性に与える主流乱れ度の影響”, 第56回宇宙科学技術連合講演会, 2012年11月20日-11月22日, 別府, 日本
5. 中村 勘太, 依田 大輔, 沼田 大樹, 永井 大樹, 浅井 圭介, “翼面上の2次元摩擦応力分布の光学的測定法”, 第44回流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2012, 2012年7月05日-7月06日, 富山, 日本
6. Tetsuya Suwa, Kei Nose, Daiju Numata, Hiroki Nagai and Keisuke Asai, “Compressibility Effect on Airfoil Aerodynamics at Low Reynolds Number”, AIAA Fluid Dynamics and Co-located Conferences and Exhibit, 2012年06月25日~2012年06月28日, New Orleans, USA
7. 中村勘太, 依田大輔, 沼田大樹, 姜 欣, 近野敦, 浅井圭介, “低 Re 数翼の空力特性に対する乱流装置の効果”, 日本航空宇宙学会北部支部 2012 年講演会ならびに第 13 回再使用型宇宙推進系シンポジウム, 2012 年 3 月 15 日, 室蘭工業大学, 北海道
8. Suwa, T., Nose, K., Numata, D., Nagai, H., and Asai, K., “Evaluation of Aerodynamic Characteristics of a Triangular Airfoil at Low Reynolds Number and High-Subsonic Mach Number”, Eighth International Conference on Flow Dynamics (ICFD 2011), 2011 年 11 月 10 日, 仙台
9. 諏訪哲也, 野瀬慶, 沼田大樹, 永井大

樹, 浅井圭介, “低レイノルズ数・高亜音速領域における三角翼型の空力特性の評価”, 第43回流体力学講演会, 2011年7月7日, 東京

6. 研究組織

(1) 研究代表者

浅井 圭介 (ASAI KEISUKE)
東北大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 40358669

(2) 研究分担者

沼田 大樹 (NUMATA DAIJU)
東北大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 20551534

(3) 連携研究者

()

研究者番号: