

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：15501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K13871

研究課題名(和文) 移動体面上に発生するせん断応力の高精度計測に向けた画像計測技術の新展開

研究課題名(英文) New approach to higher accurate measurement technique of the wall shear stress on moving obstacles by photographic images

研究代表者

望月 信介 (Mochizuki, Shinsuke)

山口大学・創成科学研究科・教授

研究者番号：70190957

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：感温液晶と画像計測を用いた壁面せん断応力計測の可能性と実用性を実験的調査した。この方法は、ワイヤレスによる回転翼面上や移動物体面上の壁面せん断応力計測の可能性を実現する。感温液晶は電氣的に加熱され、流れにより冷却される壁面の温度を表現する。感温液晶の画像は色相(Hue)に変換され、温度と関係づけられる。強制対流による壁面からの熱伝達は運動量の輸送と関係する壁面せん断応力に比例する。壁に接した流れは壁面せん断応力を生成し、熱伝達により壁面温度を低下させる。感温液晶を用いて計測した壁面温度は壁面せん断応力に相関づけられる。乱流チャネルによる実験は、本提案が有効であることを実証した。

研究成果の概要(英文)：Possibility and applicability of wall shear stress measurement technique by photographic images has been investigated experimentally using temperature-sensitive liquid crystal sheets. The technique provides wireless measurement of the wall shear stress for rotating wings or moving obstacles. The crystal sheets show wall temperature on heated by electricity device and cooled by fluid flow. Photographic images of the crystal sheets are converted into hue and then calibrated with temperature. Heat flux on the wall due to force convection is proportional to the wall shear stress that means momentum transport. The fluid flow adjacent to the wall produces wall shear stress and then reduces wall temperature due to heat transfer. The wall temperature measured by crystal sheets and camera images can be correlated to the wall shear stress. The experimental study in a 2D channel flow shows that the proposed technique has ability for measurement of the wall shear stress and its direction.

研究分野：流体工学

キーワード：流体計測 壁面せん断応力 非接触計測 感温液晶

1. 研究開始当初の背景

(1) 壁面せん断応力は固体壁と流体との接する面で発生し、流体抵抗の源となる。この低減は流体抵抗の低減をもたらす、省エネルギー化へとつながる。また、壁面せん断応力は壁乱流の予測において不可欠の物理量となっている。そのため、壁面せん断応力の計測は極めて重要な技術であり、様々な方法が提案されてきた。

(2) 従来提案されてきた計測技術は、回転翼や移動物体面状における適応において不向きなものがほとんどである。センサーにより得られた圧力や電気信号を管やケーブルなどを介して物理的に伝達技術する必要であった。

(3) 近年、カメラの性能が向上し、画像イメージから物理量を計測しようという技術が提案され、様々なワイヤレス計測を可能としている。センサーの高性能化により色の識別も容易となった。

(4) 壁面せん断応力と伝熱による熱流束との間にはアナロジーが成立し、熱伝達率の計測から壁面せん断応力を決定することができることは知られている。この熱伝達率の計測に感温液晶を用い、その画像を計測していけば画像計測から壁面せん断応力を決定できると考えた。ただし、この技術を実用的な技術として発展させるには前もって正確な壁面せん断応力を計測しておく必要がある。

2. 研究の目的

(1) 壁面せん断応力を感温液晶と画像計測により定量化する方法の可能性を実験的に確認し、高精度化に向けた研究を行うことである。障害物を用いたセンサーを試み、壁面せん断応力の大きさと方向の両方を計測することを試みる。

(2) 加熱した壁面から強制対流により輸送される熱流束を評価し、運動量輸送のアナロジーを確認する。現象の物理的挙動を明らかにすることにより、計測の高精度化を図る。

3. 研究の方法

(1) センサーの性能評価および較正には、標準的二次元チャンネル流 (図1参照) を用い、全て実験的に行った。幅 700mm × 高さ 40mm × 長さ 6000mm の風洞装置において、標準的な発達した二次元チャンネル乱流を生成した。圧力勾配、対数速度分布の成立および乱流量分布を計測し、従来の代表的研究成果と比較することにより、生成した流れが標準的なものであることを確認した。流れ場の確認には熱線流速計を用いた。

(2) 感温液晶はフィルム状の製品を購入し、使用した。温度変化の領域は 10 ~ 40 程度の通常のものである。画像計測にはこの課題において購入した CCD カメラを用いた。感温液晶を張り付けた壁面を電氣的に加熱し、壁温度を熱電対により確認した。同時に CCD カメ

ラで撮影し、色と温度との較正曲線を描いた。この際、色の定量化には色相 (Hue) を採用した。色相により温度と撮影画像との較正曲線を求めた。

(3) 壁面せん断応力の計測に用いる感温液晶を利用したセンサーを2種類用意した。一つは図2に示す応答性向上のため、ニクロム薄膜の上に感温液晶を張り付けたものであった。加熱はニクロム薄膜に通電することにより行われ、ニクロム薄膜から下方への熱損失を防ぐため、下方は空洞とした。もう一方は、図3に示す流れの方向性を検知するために加熱壁面に感温液晶を貼り付け、その上に円形などの障害物を置いたものである。障害物の厚さは粘性底層程度とした。

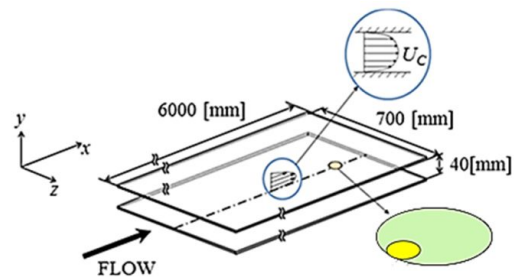


図1 二次元チャンネルとセンサーの配置

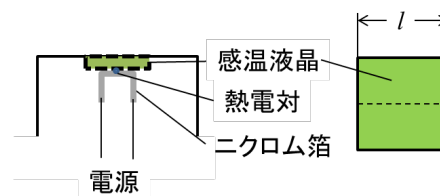


図2 ニクロム箔を用いたセンサー

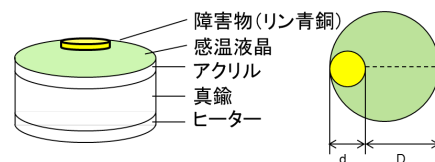


図3 感温液晶上に障害物を設置したセンサー

(4) 実験は、流速の変化により種々のレイノルズ数において実施した。十分に発達した流れ場であることを確認しているため、較正のための壁面せん断応力の値は壁面静圧勾配から取得した。圧力勾配と壁面せん断応力による摩擦力が平衡にあるという力学的法則に従って壁面せん断応力を算出した。壁面温度を画像計測により取得し、流れにより壁温度の低下と壁面せん断応力との較正曲線を描いた。これはニクロム箔を用いたセンサーにより実施した。

(5) 結果の普遍性と精度向上をめざし、壁温度と伝熱量との関係を調査した。伝熱量は壁温度計測に基づき算出した。温度境界層が粘性底層内にある場合と理論式との一致を確認した。

(6) 感温液晶の上面に微小な障害物を設置

することによる流れの方向と大きさとの同時計測を試みた。強制対流による壁温変化と障害物下流における温度分布から流れの方向の確認を行った。

4. 研究成果

(1) 感温液晶の温度計測に対する精度を確認した。感温液晶の反応温度帯において、熱電対により計測した温度と CCD カメラで撮影した画像から得た Hue との相関を確認し、ある温度帯においては極めて分解能が高いことを確認した。この分解能の高い温度帯域を使用することとした。

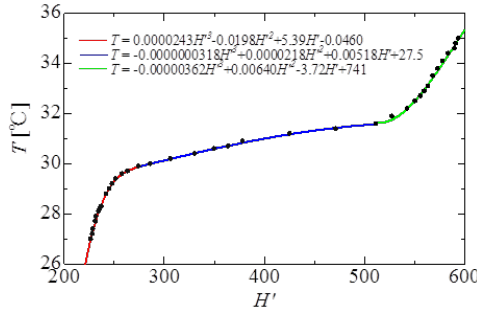


図4 Hue H' と温度との較正曲線

(2) ニクロム箔を用いたセンサーにおいて、種々のレイノルズ数における温度分布を確認した(図5参照)。温度分布はニクロム箔中央付近において高く、レイノルズ数の上昇に伴い最大値が低下する傾向を確認した。最大値の低下はレイノルズ数の増加により伝熱量が増加した結果であることが確認された。

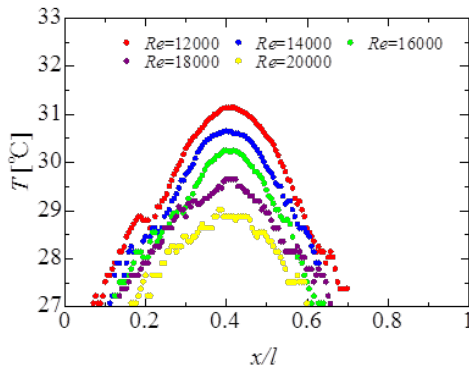


図5 ニクロム箔上の温度分布のレイノルズ数による変化

(3) 障害物を置いた場合の壁温分布の計測を同様の手法を用いて行った(図6参照)。障害物を設置した場合の分布は、障害物直後の下流位置で、壁温は流れ方向に若干増加している。その後、壁温は下流に向けて減少し、極小値を取る。その下流位置では、壁温は流れ方向に向け緩やかに上昇し、下流端で急上昇する。障害物直後において、流れのはく離により伝熱量が抑制され、壁温が若干増加すると判断された。流れの再付着により壁面せん断応力の増加と伝熱量の増加が発生すると期待される。壁温における極小値の発生は

この流れの再付着によるものと考えられた。下流端における急増加は要素周囲との熱伝導によるものと判断された。重要な点は、レイノルズ数の増加により、壁温における極小値が変化することであり、障害物を用いた方法においても壁面せん断応力の大きさを定量化することの確認が得られた。

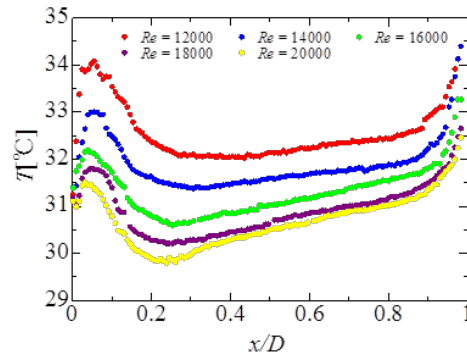


図6 障害物下流における温度分布のレイノルズ数による変化

(4) 2種類の方法において得られた温度分布の特徴と壁面せん断応力との関係を確認した。ニクロム箔を用いた手法においては最大温度 T_{max} を、障害物を用いた手法においては極小温度 T_{min} を取り出し、静圧勾配から得られた壁面せん断応力との関係を図7に示す。この場合、温度境界層が粘性底層内に留まる仮定の下に、伝熱量が壁面せん断応力の三乗根に比例する関係が導かれている。これを参考に、特徴的壁温と壁面せん断応力の三乗根との関係を図示した。結果により、良方法において T_{max} および T_{min} の変化が壁面せん断応力の三乗根に直線的に依存することが確認できた。

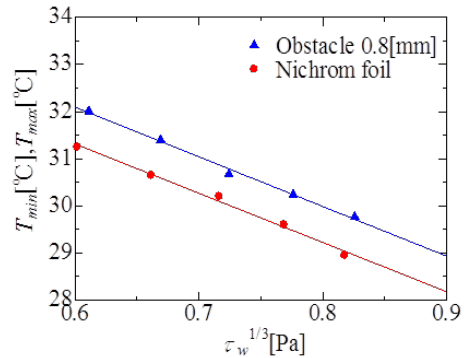


図7 ニクロム箔上の最大温度および障害物下流の壁温極小値と壁面せん断応力

(5) 壁面せん断応力が伝熱量に関係づけられること、伝熱量が壁面温度に関係づけられること、液晶表面の色相が壁面温度に関係づけられること、この3点の事実を確認できた。これにより、加熱した壁面の流れにより冷却される壁面の表面温度を感温液晶とカメラで計測することにより、壁面せん断応力を決定できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計5件)

畠田祥吾, 鈴木博貴, 望月信介, 壁面噴流における壁面せん断応力のサブレイヤープレート法を用いた計測, 日本機械学会中国四国支部第55期総会講演会, 2017年3月7日, 広島工業大学(広島県広島市)

渋谷祐太, 鈴木博貴, 望月信介, 画像計測を用いた壁面せん断応力計測法の開発, 日本機械学会第94期流体工学部門講演会, 2016年11月12日~11月13日, 山口大学(山口県宇部市)

華丹, 鈴木博貴, 望月信介, サブレイヤープレート内に設置された薄板による壁面せん断応力の計測, 日本機械学会第94期流体工学部門講演会, 2016年11月12日~11月13日, 山口大学(山口県宇部市)

渋谷祐太, 児玉貴史, 鈴木博貴, 望月信介, 感温液晶を用いた壁面せん断応力計測法の開発, 日本機械学会中国四国支部第54期総会講演会, 2016年3月9日, 愛媛大学(愛媛県松山市)

Takashi KODAMA and Shinsuke MOCHIZUKI, Measurement of the Wall Shear stress with Sublayer Thin Plate of Thermochroic Liquid Crystal, ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2015, 26 July-31 July, 2015, Seoul COEX Hotel, (Seoul KOREA)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

望月 信介 (MOCHIZUKI, Shinsuke)
山口大学・大学院創成科学研究科・教授
研究者番号: 70190957

(2)研究分担者

鈴木 博貴 (SUZUKI, Hiroki)
山口大学・大学院創成科学研究科・助教
研究者番号: 10626873

(3)連携研究者
なし

(4)研究協力者
なし