

令和元年6月20日現在

機関番号：82723

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2017～2018

課題番号：17H07414

研究課題名(和文) パネルフラッタによる超音速境界層の乱流遷移メカニズム解明に基づく新境界層制御法

研究課題名(英文) Laminar Flow Control Technique on Supersonic Boundary Layer based on Panel Fluttering

研究代表者

田口 正人 (Taguchi, Masato)

防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工学群)・システム工学群・助教

研究者番号：70806794

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、物体が超音速で飛行する際に、物体表面に生じる超音速境界層に着目した研究である。境界層には層流と乱流の二つの状態に大別でき、乱流境界層には飛行時の空気抵抗や空力加熱を増大させるという特徴がある。本研究の目的は、境界層をできるだけ層流に保つための方法を開発することである。具体的には、壁面に変形するパネルを配置し、パネルの振動と境界層の相互作用を利用した。研究成果として、境界層が層流から乱流に遷移する原因となる気流の揺らぎ(擾乱)を圧力変動として計測し、パネルの設置によって、その擾乱のうち一定の周波数成分を低減する効果があることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた成果は、超音速で飛行する物体の空気抵抗及び空力加熱の増大の主要な原因の1つである乱流境界層の発生を抑制するための新しい技術の礎となり得るものである。境界層の遷移を抑制するための具体的な条件の絞り出しは今後の課題だが、遷移の元となる境界層内の乱れのうち、一部の周波数帯域をパネルにより抑制できる可能性が示された。今後はこの現象のメカニズムを引き続き明らかにし、将来の航空機などに搭載可能な流体制御装置としての利用が期待される。

研究成果の概要(英文)：The final goal of this study is to develop a new Laminar Flow Control (LFC) Technique which is applicable to supersonic boundary layer. Boundary layer basically has two kinds of state, namely laminar and turbulent. Turbulent boundary layer has been well known as a major cause to increase aerodynamic drag and heating on a body which flies at supersonic speed. Hence, the boundary layer should be kept at laminar. In this study, thin metal panel was used as an element to control a flat-plate boundary layer to be laminar and pressure fluctuation was measured by pressure transducers. As results, high-frequency domain of pressure fluctuation in boundary layer was reduced by the panel. Although the mechanism of this effect still unclear, it can be a key of the new LFC technique. The control parameters determination, which should be held on the panel, will be future work.

研究分野：空気力学

キーワード：超音速境界層 流体構造連成

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

超音速で飛行する物体の表面には、超音速境界層が生じる。境界層ははじめ層流境界層であるが、ある条件下で乱流境界層へ遷移する。超音速(もしくは極超音速)における乱流境界層は、機体の摩擦抵抗や、機体への空力加熱の増大の原因となることが知られている。境界層を層流に保つための流体制御(Laminar Flow Control, LFC)は、壁面の冷却や吸音性の壁面の採用など様々な方式が存在し、一定の試験気流条件下で境界層遷移の抑制効果が確認されている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、新しい LFC の手法として、壁面に設置された変形するパネルによる方法を提案することである。具体的には平板模型に薄い金属製パネルを取り付け、パネルの振動(受動的振動(パネルフラッタ)または強制振動)によって境界層が受ける影響を風洞試験により評価する。当初の計画では、パネル振動の条件(パネルの拘束条件または強制振動の条件)を適切に設定することで境界層遷移を抑制可能な制御条件を解明することが最終的な目的であったが、研究進捗の遅れにより、境界層遷移の検出及び評価・抑制には至らなかった。本報告書では、パネル振動によって境界層内部圧力変動が受ける影響について述べる。

3. 研究の方法

(1) 本研究で風洞試験を実施するにあたり、まず Ludwieg 管と呼ばれる気流発生装置を整備し、生成した気流の性質を調査した。Ludwieg 管は既存の衝撃波管に超音速ノズルを取り付けることで作製した。結果として、高さ 150 mm × 幅 60 mm の矩形断面をもつ試験部に持続時間約 40 ms の試験気流(マッハ 4)を生成することができた。本装置の概要を図 1 に示す。

(2) 平板模型の概要を図 2 に示す。本模型は全長 230 mm のアルミ製で、風洞壁面に固定できる様になっている。平板の前縁は 20° のくさび型になっている。気流を生成すると、前縁から後方に向けて模型表面沿って超音速境界層が発達する。これが本研究の計測対象となる。前縁から後方 50 mm の位置を中心として一辺 40 mm のパネルが取り付けられる。パネルと平板の表面が同一面となるように設置し、パネルの内側は空洞になっている。パネルを強制加振する場合には、このスペースに振動素子を取り付ける。なお、くさび型のパネル取付け部分は取り外し可能であり、他の条件(例えば剛体壁面)を容易に導入可能である。パネル取付け部のさらに後方には、センサ取付け用の穴が多数設けられている。本研究では、検出可能な周波数帯が異なる 2 種類の圧力変換器(Kulite 社製と PCB 社製)を使用し、図 2 中の #1~5 の位置に設置した。検出対象は、壁面圧力(変動値)であり、パネル振動と境界層内圧力変動の干渉がどのように生じるか調べる。

(3) 本研究では、圧力変換器によって計測された圧力の変動値の周波数特性をパワースペクトル密度として評価する。圧力変動に代表される境界層内の擾乱が境界層遷移に影響を与えることが既に知られており、本研究では、圧力変動の周波数成分がパネルの振動によって受ける影響を調査する。パネル部分の条件は、パネルを設置しない剛体壁面(基準)、流体の影響を受けて振動するパネルの条件(パネルフラッタ)及び振動素子によるパネルの強制加振条件の 3 つを調べた。パネルフラッタの条件では、壁面にひずみゲージを貼り付け、変形の変動値も同時に計測した。

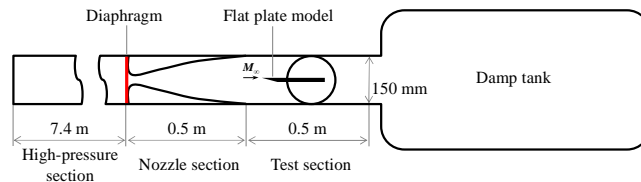


図 1. Ludwieg 管の概要

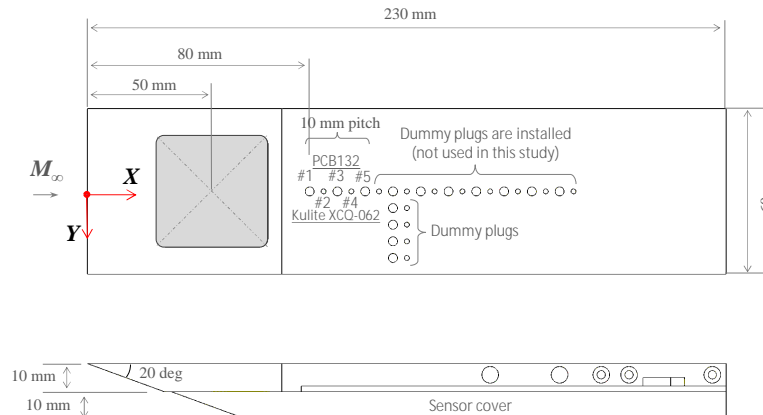


図 2. 平板実験模型とパネル及びセンサの配置

4. 研究成果

(1) まず Ludwieg 管によって生成された試験気流に含まれる周波数成分を調査した。試験気流の圧力変動をピトー管により計測した。その結果、8 kHz 付近にピークが見られた。これを剛体壁面条件下の#2 センサーで計測した値と比較すると、同じ周波数帯にピークがみられることが確認できた。従って、平板で計測される圧力変動の一部は試験気流の圧力変動を直接反映することを確認することができた。

(2) 基準となる剛体壁面の場合と 0.1mm 厚の真鍮製パネルを設置した場合を比較すると、圧力変動の周波数特性に明確な違いが見られた。その比較を図 3 に示す。センサー#1 は PCB センサであり、概ね 11kHz 以上の周波数の検出を想定している。その領域を見ると、剛体壁では 40 kHz 近傍に PSD ピークが存在する。センサー#2 は Kulite センサであり、概ね 25kHz 以下の周波数の検出を想定している。この範囲では、一様流の周波数成分である 8 kHz のピーク以外は明確なピークは見られなかった。パネルを設置した場合、センサー#1 で剛体壁では 40 kHz だったピーク位置が 20 kHz 近傍に変化した。これは、20 kHz 以上の周波数がパネルの条件下では全体的に低減したためである。一方で、センサー#2 の周波数特性には大きな変化は見られない。気流によってパネルに誘起されたひずみの変動周波数は、主に 1 kHz と 2 kHz に見られた。しかしながら、壁面圧力変動にはこれらの周波数帯に明確な変化は見られなかった。パネルの設置により、低周波側よりもむしろ高周波側の圧力変動が影響を受けるという点は、本研究で得られた重要な知見である。

(3) 次に、パネルを強制加振し、圧力変動への影響を調査する。パネルの固有振動数に近い 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz の強制振動を振動素子によってパネルに与えた。結果として、いずれの加振周波数においても、壁面周波数には影響がなかった。従って、パネルの設置によって壁面周波数特性が変調された原因は、少なくともパネルの振動ではないことが分かった。

(4) (2) 及び (3) の観点から、高周波成分の変調について、パネルの振動が流体に与える影響というよりも流体がパネルに振動を誘起することで流体の性質が変化している可能性が高い。この現象の具体的なメカニズムは依然として不明であり、今後継続的な研究が必要である。

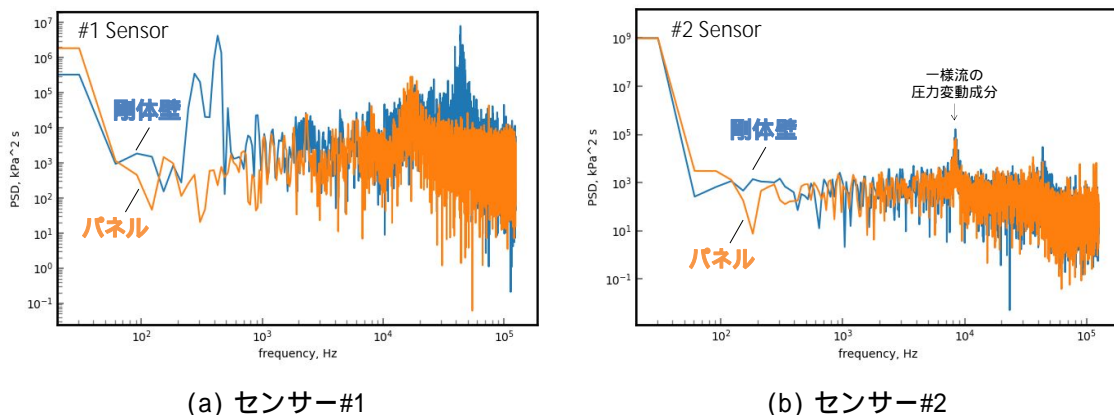


図 3. 圧力変動のパワースペクトル密度

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：

出願年：
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：河内和観

ローマ字氏名：Kazuaki Kawauchi

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。