

論文内容要旨 (和文)

平成25年度入学 大学院博士後期課程

機械システム工学 専攻 分野

氏 名 藤本 峻



論 文 題 目 各種物体の多重スケールの後流構造に関する研究

通常我々が生活している上で観測されたり、利用されたりする流れのほとんどは乱流であり、様々なスケールの渦によって構成された渦の流れとすることができる。渦の流れは地球規模のものから微細スケールのものまで存在し、その流れの特性は多岐にわたるといえる。特に、物体周りの外部流れにおいては、乱流の作用により後流が発生し、圧力変動を引き起こす。これが流体抵抗の増加や振動、騒音の原因となるため、自動車のボディや航空機の翼、風車の羽根、ビルや橋などの設計の際にも必ず考慮しなければならない問題であり、それぞれの分野における後流制御の最適化を図り様々な解析や調査が行われてきたが、乱流の局所的な発生機構や渦の運動メカニズムに繋がる時間的・空間的複雑化について理論・実験両面で明らかではない。

従来の後流に関する基礎研究は、円柱や角柱など、基礎形状を対象としたものがほとんどである。しかし、実用的な問題を考慮すると流れ場に存在する物体は複雑な形状であることがほとんどで、その後流構造も異なる。したがって、乱流構造の本質を解明するためにも、円柱以外の形状を対象とすることは大変重要である。そこで本研究は、種々の二次元・三次元物体の後流を定量的に解析し、ウェーブレット多重解像度解析を中心に、その多重スケール構造の解明に繋げることを目的とした。そのためのアプローチとしてまず、PIV実験により物体後流の流れ場の定量的データの取得と可視化を行い、そのデータに対して直交ウェーブレット多重解像度解析を中心に、様々な手法を用いて流れ場を解析し、各種物体の後流の比較・分析を行った。

第1章では、後流構造研究の重要性とその背景、従来の研究から本研究の目的とそのアプローチについて述べている。

第2章では、本研究で使用するPIV可視化実験について、実験装置やその実験方法、解析条件などを述べている。

第3章では、多重スケール解析の手法であるウェーブレット多重解像度解析を中心に、ウェーブレットの理論について紹介する。

第4章では、モデル長さを無限長と仮定した二次元モデル後流の実験を行い、基本的な性質のみを持つ仮想的な、もしくは極限的な構造特性を調査した。二次元ウェーブレット多重解像度解析から、流れを支配しているのは大スケール構造であり、渦度の大きさは元データの約60～70%ほどの大きさを有する。中小スケールの渦は支配的な流れ場である大スケール渦の流れに少しのゆがみや変形をもたらしていることが分かった。

第5章では、二次元モデルの流れ場との比較も考慮できる三次元モデル後流について、前章の二次元モデルの結果と比較しながら、三次元モデルの流れの構造を分析した。またこの章で用いた三次元モデル寸法が第7章で述べるF1マシンのサイドミラーの規格である。二次元ウェーブレット多重解像度解析から、PIV解析により得られた渦度分布に対してレベル1に見られる渦度は最大でも57.7%と、二次元モデルに比べると支配率が10～20%低くなることが分かった。また、レベル2やレベル3において、モデル上下せん断層近傍に分布している渦度の外側に正負反対向きの弱い渦度が

発生しており、このレベルのスケール渦が速度境界面を連続的にしていると言える。一次元ウェーブレット多重解像度解析から、モデルの上下を流れる流体は高周波で小さい速度変動の流れであり、下流に流れていくにつれて低周波で大きい速度変動の流れになることが分かった。

第6章では、三次元モデルの流れ場についてさらに言及するために、アスペクト比（直径とモデル長さの比）が異なる三次元モデルの流れ場を解析し、その後流構造の違いについての議論されている。まず、レイノルズせん断応力の流れ場から、アスペクト比が大きい方が発生するレイノルズせん断応力が大きくなることが確認された。また、低アスペクト比モデルでは、解析した断面がモデル先端に近く、その影響を大きく受けるためモデルの断面形状による効果が出にくくなることが分かった。

さらには、一次元ウェーブレット多重解像度解析の結果から、実験により得られたレイノルズせん断応力に対するウェーブレットレベル1（低周波変動速度成分）のレイノルズせん断応力の支配率は、高アスペクト比モデルの方が大きくなることが分かった。つまり、低アスペクト比モデルは低周波速度変動があまり支配的でなく、逆に高アスペクト比モデルでは流れ場に生じる速度変動のほとんどが低周波速度変動であるといえることができる。

第7章では、本研究で使用した三次元モデル形状の工学的応用例として、複合柱モデルをF1マシンのサイドミラーに適用し、風洞を用いた抗力測定でその性能評価を行った。抗力・揚力測定の結果から、最も適したF1マシンのサイドミラーは流れ方向の断面長さが最も長い複合柱モデルであることが分かった。

最後に第8章では、まとめとして本研究において重要な結論を述べている。

学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

2016年 2月 2日

理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

主査 李鹿 輝
 副査 赤松 正人
 副査 馮 忠剛
 副査 中西 為雄
 副査 篠田 昌久



学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

論文申請者	機械システム工学専攻		氏名 藤本 峻
論文題目	各種物体の多重スケールの後流構造に関する研究		
学位論文審査結果	合格	論文審査年月日	2016年1月26日～ 2016年2月2日
論文公聴会	2016年2月2日	場 所	工学部6号館315室
最終試験結果	合格	最終試験年月日	2016年2月2日

学位論文の審査結果の要旨 (1,000字程度)

本論文は、対称・非対称物体の後流を対象として、PIV実験・ウェーブレット多重解像度解析により多重スケールの乱流構造を解明したものである。論文は以下の全8章から構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第1章では、本研究の背景として、後流構造研究の重要性とその研究動向を述べ、研究の目的とそのアプローチに言及している。

第2章では、本研究で使用する実験模型・PIV可視化実験について、実験装置やその実験方法、解析条件などを述べている。

第3章では、ウェーブレット多重解像度解析を中心に、直交ウェーブレット変換の理論について紹介している。

第4章では、二次元対称・非対称物体後流の可視化実験を行い、PIVにより速度分布を計測した。その速度データの二次元ウェーブレット多重解像度解析から、大スケール構造は全流れ場を支配していることが分かった。その渦度の大きさは元データの約60～70%を占めている。また、中小スケールの渦は少しのゆがみや変形となる。

第5章では、PIV実験・ウェーブレット多重解像度解析により、三次元物体の周りの流れ構造を解析した。大スケールの渦度は最大でも57.7%となり、二次元後流より10～20%に低くなることが分かった。また、中スケール構造において、物体上下せん断層の近傍に分布している渦度の外側に正負反対向きの弱い渦度が発生している。

第6章では、アスペクト比（直径と物体長さの比）が異なる三次元物体の周りの流れ場を計測し、その後流構造の違いについて解明した。物体先端の影響のため、低アスペクト比は高アスペクト比よりレイノルズせん断応力が小さくなることが分かった。

第7章では、複合柱の三次元モデルをF1マシンのサイドミラーの応用例として、風洞での抗力・揚力測定により最も適したサイドミラーの形状は流れ方向の断面長さが最も長い複合柱モデルであることが分かった。

第8章では、本論文の総括である。各章において得られた結論をまとめている。

本研究の成果は既に3報の英文学術論文として掲載されている。さらに国際学会と国内学会はそれぞれ5件の発表を行い、学位の審査基準を十分に満たしている。

以上を総合的に判断し、本論文に関する研究およびその成果は、学術的意義も非常に大きく、博士（工学）学位論文の研究としての水準を十分に満足しているため、合格と判断した。

最終試験の結果の要旨

公聴会における学位論文を中心とした40分の口頭発表、ならび30分の質疑応答を最終試験とした。その結果、学位論文の内容ならびに関連分野に関する理解度は十分であり、博士として必要とされる専門知識および研究能力を十分に備えているものと判断された。以上により、最終試験を合格と判定した。