

氏 名	岡 本 康 令
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	平成 2 年 3 月 28 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 機械工学専攻
学 位 論 文 題 目	剥離流れに及ぼす壁面効果の離散渦法解析
指 導 教 官	東北大学教授 太田 照和
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 太田 照和 東北大学教授 大宮司 久明 東北大学教授 小林 陵二

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 緒 論

今日の科学技術の飛躍的な発展とともに、風洞実験や水槽実験に供される物体は多用化し、航空機、翼型、水中翼等の航空、機械、船舶工学分野のモデルのみならず、自動車や列車のような陸上交通機関、橋梁や建築物などについても実験的研究が幅広く行われている。機械工学分野に限っても、流体機械の高速化、高性能化、軽量化にとともに、その非定常特性の把握が重要となり、それに関する研究が風洞実験によって数多く行われている。しかしながら、風洞実験においては、物体まわりの局所速度の増加にとともに、剥離せん断層の渦度が大きなものとなり、後流中で強く巻き込み、流体力やストローハル数が大きくなることが一般に良く知られている。また、鈍い物体における壁面効果は翼型等の流線型物体に比べ一般に大きい。これまでに、平均量に対する壁面効果の補正式は数多く提案されているが、非定常流体力に対する壁面効果の補正式は見あたらない。本研究では、種々の物体まわりの非定常剥離流れに及ぼす壁面効果を系統的に明らかにすることを目的としている。

### 第 2 章 壁面効果を考慮した離散渦法

風洞壁の影響は物体の上下壁の間隔によって物体まわりの速度が変化して流体力が増加する閉塞効果と、上下壁および側壁の境界層の影響により流路中心で速度が増加する粘性による排除効果を示す。しかしながら、排除効果による速度変化は、閉塞効果によるよりも一般に小さいと考えられ

る。したがって、流れ場の大部分で非粘性の仮定が成り立ち、離散渦法を用いることができる。離散渦法は剥離せん断層を渦点の離散的分布により近似する方法で、差分法等の領域型解法に比べ未知数が境界上にも存在し、解くべき連立方程式が1次元小さくなり、少ない計算時間で高レイノルズ数領域の非定常流れの解析が可能という特徴を持つ。また、非定常流体力や後流中の速度等の多くのデータが得られる。他方、壁面効果の解析法として、古くから鏡像法が用いられている。

本章では、離散渦法に鏡像法を適用し、任意のプロッケージ比に対して渦点の空間的な間隔が一定となるような渦放出時間間隔を提案した。流れ場は、(i) 剥離点からの剥離せん断層と物体表面を自由渦の離散的な分布で表し、(ii) 平行壁面の影響は(i)の各渦に対して鏡像渦系を導入することにより表される。この渦放出時間間隔を用いることにより、従来の無限流体中における離散渦法の物体表面上の渦と放出渦を鏡像渦系に置き換えることにより、剥離流れに及ぼす壁面効果を解析することが可能となった。

### 第3章 非定常流体力

鈍い物体まわりの剥離流れに及ぼす壁面効果を明らかにするためには、物体に作用する流体力を算出する必要がある。このような非定常性の強い流れにおける平均流体力への壁面効果は、円柱、平板等について風洞実験によって明らかにされている。また、非定常流体力に関しては、離散渦法により無限流体中の場合が計算されている。本章では、まず無限流体中の場合、ついで第2章で示した壁面効果のある場合において、前述の離散渦法に非定常流れに拡張されたブラジウスの公式を適用することにより、物体に作用する流体力を示した。一方、物体表面上の圧力は物体まわりの流れの把握において特に重要である。しかしながら、離散渦法によって物体表面上の圧力を示したものは少ない。流れ場の任意点の非定常圧力は複雑な後流構造の様相を把握するために必要不可欠であるにもかかわらず、離散渦法による解析は見あたらない。したがって、本章では、無限流体中のみならず壁面効果を考慮した場合について物体表面上の速度を適切に考慮しかつ後流中の任意点の非定常圧力の算出が可能な方法を提示した。

壁面効果のある場合および無限流体中の物体に作用する流体力と表面圧力分布を比較することによって壁面効果を定量的に把握すること、さらに任意点の非定常圧力の計算により非定常剥離流れの複雑な後流構造の様相を求めることが可能となった。

### 第4章 平板まわりの剥離流れに及ぼす壁面効果の離散渦法解析

鈍い物体まわりの高レイノルズ数領域の流れは、物体表面上の剥離点から放出される2つのせん断層が相互に干渉し、その後流中でカルマン渦列が形成される。平板の場合には、物体表面上の剥離点が平板両端に固定され、一般に剥離せん断層が物体上に再付着せず、他の物体に比べせん断層の相互干渉を明らかにする上で有用である。

本章では、平行壁面間にある平板まわりの剥離流れを解析し、物体に作用する力、圧力分布、さらに流れ場に与える壁面効果を平均特性のみならず非定常特性について明らかにした。主な結果は次のようである。平均および変動垂直力係数のプロッケージ比によって増加する傾向を定量的に明

らかにした。ストローハル数もブロッケージ比とともに増加する。本計算値の平均圧力分布は Abernathy の実験値と比較的良く一致した。また、迎え角の増加によって岐点の移動等の圧力面における圧力分布の変化、負圧面における圧力の低下の様相等が明らかにされた。

## 第5章 正方形柱まわりの剥離流れに及ぼす壁面効果の離散渦法解析

角柱まわりの流れは、剥離、再付着等を生じ合わせて複雑であり、流体力学上非常に興味あるものである。ビル等の建造物のモデルとして角柱まわりの非定常剥離流れが研究され、その最も基本的な形状の一つである正方形柱まわりの流れに限っても、多くの研究がなされており、表面圧力、抗力、揚力、後流構造などがこれまでに明らかにされている。

本章では平行壁面間にある正方形柱まわりの非定常剥離流れを解析し、広範な数値計算を行うことにより、壁面効果を定量的に明らかにした。主な結果は次のようである。正方形柱表面の圧力の平均値、変動のRMS値はいずれも実験値と比較的良く一致した。 $\alpha = 0^\circ$ において、圧力分布に及ぼすブロッケージ比の影響はブロッケージ比が大きくなるにしたがって剥離せん断層が下流側の角部に近づき圧力変動のRMS値がこの角部近傍で増加する。側面の圧力が揚力と同様に規則的な変動を示すのに対して、背面では不規則な変動をすることが明らかにされた。このような表面上の2点間の相互相関係数は実験値と良く一致した。相互相関係数はブロッケージ比の増加とともに多少相関が強くなる。平均抗力係数および平均背圧係数はどのブロッケージ比においても実験値と良く一致し、それらの変動のRMS値は平均値と同様の傾向を示しその大きさは小さくない。

## 第6章 楕円柱まわりの剥離流れに及ぼす壁面効果の離散渦法解析

円柱、楕円柱、翼のような滑らかな物体では、平板、正方形柱のような角部のある物体と異なり剥離点があらかじめ定まっていない。また、放出される剥離せん断層の強さも角部のある物体と異なる。第6章では滑らかな形状の物体の代表的なものとして楕円柱を取り上げ、表面上の剥離点を Modi らの実験を参考にして一樣流に平行な物体の投影幅の両端の上流側の近接する渦点上に固定し、楕円柱まわりの非定常流れを解析し、平均流体力のみならずストローハル数や変動流体力等に及ぼす壁面効果を明らかにし、さらに第4、第5章における平板や正方形柱のような角部のある物体との相違を検討した。得られた結果を要約すると次のようになる。本解析で得られた抗力係数、揚力係数、圧力分布、いずれも、実験値と比較的良く一致する。平均抗力係数、平均揚力係数、変動揚力係数はブロッケージ比とともに増加するもののその増加割合は一般には軸比および迎え角により異なる。揚力係数はいずれの軸比においても  $\alpha \geq 45^\circ$  では  $\alpha$  の増加とともに平均値は減少するが変動値はあまり変らない。ストローハル数はブロッケージ比とともにいく分増加するが、その増加割合は正方形柱のような角部のある物体に比べ小さい。

## 第7章 壁面効果の補正式

壁面効果の研究は航空機の発明、発達とともに翼型に対しての理論的あるいは実験的に数多く行われている。鈍い物体における壁面効果は翼型等の流線形物体に比べ一般に大きいので、その壁面

効果の補正式を提示する意義は大きい。

本章では、離散渦法に鏡像法を組み合わせた方法によって得られた第4, 5, 6章における傾斜平板, 正方形柱および楕円柱に関する計算結果を Courchesne と Laneville による平均抗力係数についての補正方法を平均流体力のみならず変動値およびストローハル数にも適用することによって, 適用範囲の広い壁面効果の補正式を提示した。提示された補正式の実験値との比較により, 物体に作用する平均流体力とストローハル数については本補正式が適切な補正を行うことが示された。また, 変動流体力についても平均流体力と同様に本補正式が壁面効果を補正するのに有用であると考えられる。第4, 5, 6章に示された傾斜平板, 正方形柱, 楕円柱のみならず他の形状の物体についても本章で提示した壁面効果の補正方法が適用できるものと考えられる。

## 第8章 結 論

第1章の緒論で記述した研究目的にそって, 種々の鈍い物体まわりの非定常剥離流れに及ぼす壁面効果を離散渦法により数値的に解析した。第8章は結論で, 本研究において得られた結果をまとめて総括している。

## 審査結果の要旨

航空機、翼型、流体機械のみならず陸上交通機関や建造物まわりの流れの正確な把握にとり風洞実験や水槽実験は欠かすことができない。近年、特にそれらの小形化、高速化、軽量化などに伴い非定常流れ特性が益々重要となってきたにもかかわらず、それに及ぼす風洞や水槽の壁面効果の補正方法は殆ど研究されていない。本論文は、離散渦法に鏡像法を組み合わせることにより、剥離を伴う物体まわりの非定常流れに及ぼす壁面効果を解析したもので、全編8章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章では、無限流体中の高レイノルズ数剥離流れの解析に従来使用されている離散渦法に鏡像法を導入し、任意のブロックジ比において剥離せん断層を表す渦列の空間的間隔を良好に近似する渦放出時間間隔を使用するなど、非定常剥離流れに及ぼす壁面効果を解析する一般性のある離散渦法を提示している。

第3章では、物体に作用する流体力ならびに流れ場の任意の位置における非定常圧力の計算方法を考案することにより、非定常剥離流れの複雑な後流構造を明らかにすることを可能としている。

第4章では、剥離点が固定される物体の代表的なものとして傾斜平板を取り上げ、広範囲にわたる迎え角とブロックジ比について数値計算を行うことにより壁面効果を定量的に明らかにし、さらに既存の実験値との良好な一致を示すなど、重要な知見を得ている。

第5章では、平行壁面間にある正方形柱まわりの非定常剥離流れに関する広範な数値計算結果を示している。実験結果との比較により解析方法の妥当性を示すとともに、正方形柱に作用する流体力および表面圧力分布の時間変化、表面圧力分布、背圧係数、揚力および抗力係数等に及ぼす壁面効果を明らかにしている。

第6章では、滑らかな形状の物体の代表例として楕円柱が解析され、軸比、迎え角、ブロックジ比の広範囲にわたる数値計算結果を示している。実験結果との良好な一致を示すとともに、平均および変動流体力、ストローハル数など楕円柱まわりの非定常流れに及ぼす壁面効果を解明している。

第7章では、前章までに得られた結果を基に、平均流体力のみならずその変動値およびストローハル数に及ぼす壁面効果の補正方法を提示している。

第8章は結論である。

以上要するに本論文は、離散渦法に鏡像法を組み合わせることにより、剥離を伴う物体まわりの非定常流れに及ぼす壁面効果の解析方法を提示し、その有用性を明らかにしたものであり、流体工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。