

氏 名（本籍）	ひらの きみ たか 平 野 公 孝 （群馬県）
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	工 博 第 4 1 4 号
学位授与年月日	昭和 4 9 年 3 月 2 6 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当
研究科専門課程	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	せん断流中の翼形特性に関する研究
論文審査委員	（主査） 教授 西山 哲男      教授 斎藤 清一 教授 村井 等      教授 本田 睦

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 緒 論

流れと垂直方向に一様ではない速度分布をもつせん断流中の翼は、ターボ機械内の翼をはじめとして、壁面に沿い完全に発達した境界層をもつダクト内の翼、地表を吹く風の中の航空機など機械工学上のあらゆる多方面にわたって存在している。

しかしながら、うずなし流れ中の翼形及び翼理論の花々しい発展に比較して、これらうず度をもつせん断流中の翼理論は、未だ確立されておらず、散見する研究も極めて少ない。このような観点より、せん断流中の翼形及び翼の流体力学的特性の解析手法を確立し、諸特性を正確に評価することは、工学上重要かつ基本的な意義をもつと考えられる。

せん断流自体は、流体の粘性に起因しているが、翼形特性の評価において、従来より粘性の影

響を速度分布形状の中のみ含めて、実在の流れを非粘性流体のせん断流とする考え方が広く採用されており、本研究も、この立場に立って行われている。

せん断流中の翼形に関する問題は、まず流れの時間依存性により定常流れ及び非定常流れの問題とに二分される。本研究は、これら二つの流れの問題における翼形の流体力学的特性に関して

(i) 任意のうず度をもつせん断流における特性評価のための一般的解析手法を提示し、

(ii) 翼形特性に及ぼすうず度の影響を定量的に明らかにし、

(iii) 翼形特性評価及び性能向上のための基礎設計資料を提供する

ことを目的とする。

定常流れの問題においては、取扱上の簡潔さ、流れの物理的把握の容易さなどより、翼形特性を特異点法を用いて解析する立場がとられる。第2章においては、このためにせん断流中の単一擾乱源による擾乱が、解析されている。翼形の定常特性の解析に関する従来の手法は、速度分布形状により大きく異なり、この点において一般性を失っていると考えられる。したがって、第3章においては、任意速度分布をもつせん断流中の翼形特性の解析手法の確立が、示されてある。第4章においては、第2章の鏡像法を更に拡張し、翼厚を考慮した揚力線理論により、せん断流中の翼の定常特性の解析手法が、提示されてある。

非定常流れの問題は、工学上基本的かつ一般的観点から、せん断流中の翼の安全性、信頼性の向上を期するため、ますます重要な問題となっている。したがって、第5章においては、上流側翼列の後流列の干渉として、うず度をもつ周期変動流中の単独翼形の非定常特性の解析手法が、提示されてある。第6章においては、せん断流中の振動する翼形の非定常特性の解析が、特異点法の立場より取扱われている。

## 第2章 せん断流中の単一うずによる定常擾乱速度場の解析

せん断流中の単一うずが、せん断流うず度との干渉により生ずる擾乱が、鏡像法により解析された。

すなわち、連続速度分布を階段状分割した流れに置換し、速度不連続面と単一うずの干渉を、鏡像うずで表示し、速度不連続面での条件を満足させると、鏡像うずの強さの間の漸化式が導びかれる。次に階段状分割の厚みが零に極限移行されると、任意連続速度分布のせん断流に対する鏡像うずの強さを決定する基礎式としての双曲型偏微分方程式が、導びかれる。基本的なうず度一定のせん断流に対しては、厳密解で、実用的見地から後流・噴流に対しては、逐次近似解で、鏡像うずの強さが、それぞれ明らかにされた。

単一うずによる擾乱速度を、鏡像うず系を用いて表現する手法が示された。

### 第3章 せん断流中の二次元翼形の定常特性

任意速度分布形状をもつせん断流中の翼形特性の解析が、第2章の鏡像法を適用する手法により提示された。

すなわち、翼形を表わすうず分布、吹き出し分布による擾乱速度が、単一のうず、吹き出しによる擾乱速度を重ね合わせることにより導びかれ、うず分布に関する積分方程式が誘導された。

これよりせん断流中では、うず分布は、吹き出し分布とせん断流うず度との干渉の影響を受けることが示された。

せん断流中の翼形の厚みが、その揚力に及ぼす影響に関して、厚み分布とせん断流うず度との干渉による擾乱が、うず分布を通して特性に表われる項と、Stokesの定理を示す翼形断面積とせん断流うず度との積として特性に表われる項との和として示されることが明らかにされた。

広範囲に数値計算が行われ、せん断流中の翼形特性が定量的に明らかにされた。すなわち、せん断流として、基本的なうず度一定のせん断流を組合わせた場合と、工学的見地から後流・噴流が対象とされ、翼形の厚みとせん断流うず度との干渉効果の重要性が指摘された。

流路内のNACA4412翼形に関して、風洞による表面圧力分布測定より求められる実験値との比較により、鏡像法による翼形特性の理論的解析値の妥当性が吟味された。

### 第4章 翼厚を考慮した揚力線近似による三次元翼の定常特性

翼厚方向に任意速度分布形状をもつせん断流中の翼の定常特性を解析するために、第2章の鏡像法が、単一の馬蹄形うずに対して拡張され、鏡像馬蹄形うずの強さは、二次元単一のうずに対する鏡像うずの強さと同一になることが明らかにされた。

翼を表わすうず分布、吹き出し分布による擾乱速度場に対し、揚力線近似及び影響の強いと考えられる弦長と同程度の範囲内の鏡像系を主に考慮するとした近似を導入することにより、せん断流中の揚力線理論が成立することが示され、翼幅方向循環分布に関する積分方程式が誘導された。後流中の翼に対して、広範囲な数値計算を通して、縦横比の影響や三次元修正値等が、明らかにされ、翼厚の影響は、二次元的性格の強いことが示された。

### 第5章 うず度をもつ周期変動流中の二次元翼形の非定常特性

上流側翼列の後流列が、調和関数のせん断流として表現される場合、これを横切る動翼に対しては、うず度をもつ周期変動流として流入することが示され、周期変動流のうず度を考慮した上での線形化されたうず度の保存則が導びかれた。定常項に関しては、うずなし流れであり、周期変動項に関しては、流れ関数で表示した擾乱うず度は、ポアソン型方程式になることが明らかにされた。周期変動する擾乱速度は、フーリエの積分定理を適用することにより解かれる特解と、

同次解との重ね合わせとして表示され、うず度をもつ翼弦と垂直方向の周期変動流中の翼形の非定常束縛うず分布に関する積分方程式が導びかれ、反転され、非定常特性が決定される手法が提示された。

数値計算を通して、平板及び対称翼の特性が、定量的に明らかにされた。すなわち、上流側翼列の弦節比、すなわち無次元振動数が大きくなる程、周期変動流うず度の影響は大きくなることが示され、軸流機械等において実用上生ずる周期変動流の無次元振動数は、翼列の振動問題に比較して大きな値をとるため、翼形とせん断流うず度との干渉の重要性が指摘された。

## 第 6 章 せん断流中で振動する二次元翼形の非定常特性

せん断流中で振動する単独翼の非定常特性に関して、特異点法による解析手法が提示された。

すなわち、せん断流中で、強さが周期的に変化する単一擾乱源による擾乱速度場がフーリエの積分表示式により表わされる場合、うず度の保存則は変形され、基礎式であるポルテラ型積分方程式が誘導された。線積分で表示された循環、流量の定義式より、単一のうず、吹き出しによる擾乱速度場の特異性を決定する手法が示された。単一のうずによる擾乱速度を重ね合わせることにより、非定常うず分布に関する積分方程式が誘導された。

後流中の単一うずによる擾乱速度が、基礎式の積分方程式の第一次逐次近似解により求められ、この精度を吟味するために、定常状態において、第 2 章の鏡像法による擾乱速度との比較が行われた。

翼形が、回転振動又は上下振動を行う場合についての非定常特性が、数値計算を通して定量的に明らかにされ、せん断流うず度の一自由度フラッターへの影響等が示された。

## 第 7 章 結 論

各章ごとに得られた結果、成果等を取りまとめて述べてある。

本研究を行なうにあたり、終始懇切な御指導と御鞭撻を賜りました指導教官西山哲男教授に心からの感謝の意を表します。又、有益な御批判、御助言を賜りました、高速力学研究所、斎藤清一教授、村井等教授、本田睦教授、ならびに機械工学専攻の諸先生方に深く感謝の意を表します。

## 審査結果の要旨

流体機械内部の流路流れは、壁面に発達した境界層や物体の後流などを含んでおり、羽根に流入する実在の粘性流れは、一般に一樣でない速度分布を持つせん断流となっている。流体機械の大型化などによる作動範囲の拡大は羽根間の流れや特性の解析にこのようなせん断流を考慮することを要請するようになってきている。これには、せん断流の持つうず度を考慮した翼理論の展開が基本命題となるが、知見する研究は極めて数少なく、うずなし流れにおける翼理論の著しい進展に比し、極めて貧弱な状態にあると言える。

このような背景のもとに、本論文は、任意の速度分布を持つ非粘性せん断流における二次元翼形の定常および非定常特性を解析する手法を提示したもので、全文7章より成る。

第1章では、既存研究を概括し、本研究の意義と立場を述べている。

第2章では、せん断流中の定常単一うずによる擾乱速度を解析するために、任意の速度分布を階段状分割し、鏡像法の適用によって、うず度の効果を解明したものである。鏡像系を決定する基礎式の誘導とその解法は新しい試みである。

第3章では、せん断流中にある二次元翼形の定常特性をうず、吹き出しなどの特異点により解析する手法を提示し、翼厚とうず度との干渉効果の重要性を指摘している。代表的なせん断流として、後流中における翼形の定常特性に関する数値資料を示し、風洞実験結果との対比を行っている。

第4章では、揚力線近似による三次元翼の定常特性を解析し、せん断流中における縦横比の影響と三次元修正を明らかにしている。

第5章では、静翼列の粘性後流はうず度を持つ周期変動流れとなることを明らかにし、この中にある二次元翼形の非定常特性を解析している。擾乱うず度に関するポアソン型方程式の特解の誘導に適切な工夫をこらし、この結果、うず度による非定常干渉は静翼列の節弦比が小さく、動翼列の喰いちがい角が大きい程、顕著になることを明らかにしている。

第6章では、せん断流中で二次元翼形が回転または上下振動をするときの非定常特性を解析している。擾乱速度をフーリエ積分表示し、擾乱うず度を決定する基礎式をボルテラ型積分方程式に変換せしめて解く手法は貴重な創意である。後流中で振動する翼形の非定常特性に関する数値資料により、うず度の非定常干渉を明らかにしている。

第7章では、主要な結果を総括している。

以上、本論文は、任意の速度分布を持つせん断流中の二次元翼形の定常および非定常特性を解析する基礎理論を系統的に展開し、多くの知見を加えたもので、流体力学の進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。