

## 学位論文題名

## 空力的自励音の特性とその制御

## 学位論文内容の要旨

環境の静寂性の要求から、空力騒音の静粛化がクローズアップされている。空力騒音には、軸流ターボ機械の回転騒音、自動車の風切り音(はく離音、キャビティ音)、高速列車のパンタグラフ騒音、空調用ファン騒音、電子機器に用いられる小型冷却用ファン騒音などがある。これらの空力騒音は機械構成要素(流れの干渉形態)に強く依存するため、騒音低減に携わる技術者にとって空力騒音の低減化は非常に難しい問題である。しかし、静粛化の要求が年々高まる中、半経験的手法によって個々の騒音問題に対処しなければならないのが現状である。従来における空力騒音の低減は、騒音発生源を囲む、流れにさらされる物体の形状を変えるなどの方法によって達成されてきた。これらの方法は空力騒音と流れ場の関係(原因)に基づいたものではないために、特定の流体機械の騒音に対して有効でも、他のものには適用できないといった欠点がある。また、たとえ低減化に成功したとしても、機械要素の形状変更を余儀なく強いることによって流体機械の効率を犠牲にすることがある。

Powell(1963)によって渦音の理論が完成して以来、物体近傍を過ぎる渦構造が音の発生に関与していることは広く認められていることである。さらに、壁面圧力変動と音との関係がCurle(1956)によって明らかにされた。これらから、物体近傍を過ぎる渦構造が、音の発生と密接な関係をもつ壁面圧力変動を生じさせる原因であることは容易に想像できる。しかし、流れの非線形性から、渦が種々の形状をもつ物体とどのような干渉をするとどの程度の音が生じるかについての理論的見積ができない。また、せん断流中の渦と物体との干渉によって発生する空力的自励音において、流れのフィードバック機構が重要である。しかし、一般的にこの機構に対する共通な定性的理解はあるが、フィードバックループを構成する流れの要素それぞれがもつ役割・寄与についての具体的理解は乏しい。

本研究の目的は、せん断層の渦と物体壁面との干渉による空力的自励音の発生機構および特性の解明と「流れの制御」による空力的自励音の減音を行うことである。本研究の特色は、流れのフィードバック機構が顕著に現れる物体に衝突する噴流を対象にし、この機構を構成する流れの構造およびその役割を調べ、空力的自励音の発生条件を明らかにした点にある。また、この種の空力的自励音の発生機構に基づく制御方法を示し、この有効性を明らかにした点に独創性がある。

本論文は、7章より構成されている。第1章は序論である。空力的自励音に関する従来の研究、これらと本研究の関連性および本論文の位置づけ、本研究の目的について述べてある。

第2章では、本研究で使用した実験装置および実験方法について述べてある。流れの干渉による空力音を扱うために、本研究で用いた風洞の送風機騒音の減音、

試験室内の暗騒音レベルの低減対策について述べた。空力的自励音におけるはく離渦の影響を調べるために用いた種々形状の供試物体について述べた。瞬間的な流れ場の情報を得るために、空力的自励音を基準信号とした位相平均法を用いた。これに関する実験方法および処理方法、実験装置に関して述べた。

第3章では、物体に衝突する噴流における空力的自励音の特性について述べてある。この種の空力的自励音の周波数は、噴流の噴出口から物体までの距離が増加するとそれに反比例して減少すること、ある距離において周波数ジャンプが起こることが知られている。このことを本実験装置および種々形状の供試模型で確認するとともに、従来、取り挙げられることの少なかった空力的自励音の強さの距離に対する依存性について明らかにした。

第4章では、噴流中の供試物体からはく離する渦の空力的自励音に対する影響について述べてある。供試物体として円柱およびこれと同じ直径の半円柱を前縁形状にもつ翼を用い、異なるはく離の状況を実現した。これにより空力的自励音の強さに差が生じた。この差の原因を明らかにするために、位相平均法によって、瞬間的な流れ場の変化およびその時の物体表面上の圧力分布変化を明らかにし、両物体におけるそれらの比較を行った。この結果、物体からはく離渦が噴流の渦構造そのものに影響を与えることを明らかにした。

第5章では、物体形状と空力的自励音の関係について述べてある。供試物体として平板を用い、空力的自励音の発生条件について明らかにした。平板に衝突する噴流によって強い発振音が発生するためには、平板の幅が少なくとも厚さの5倍（臨界幅）以上必要であることを見いだした。流れ場との関連を明らかにするために、平板の壁面圧力分布を測定した。この結果、臨界幅は平板上における壁面平均圧力が負圧から大気圧まで回復するのに必要な平板前縁からの長さ等に等しいこと、平板の幅が臨界幅の半分より小さく、壁面変動圧力のrms値が極大値を呈す平板前縁からの位置を含まないと空力的自励音は発生しないことなどが、明らかになった。

第6章では、空力的自励音の制御に関して述べてある。せん断層と物体の干渉によって空力的自励音が発生する流れ場は流れの2次元性がよいことが知られている。このことは、流れの2次元性を崩すことによってこの音を低減できる可能性を示唆している。本研究では1)噴流の2次元性を噴出口に取り付けた制御用小円柱によって崩す、2)円柱を噴流中心軸からずらす、3)円柱を噴流のスパン方向に対して傾けるなどの方法を用い、これらに対する空力的自励音の応答特性を明らかにした。この結果、空力的自励音が発生するための臨界条件が存在することを見いだし、この種の音の減音対策に対する指針を与えた。

第7章は結論であり、本研究によって得られた結果を要約して述べてある。せん断流中の渦と物体との干渉によって発生する空力的自励音と流れ場との関係および空力的自励音の発生条件をまとめた。また、この種の空力的自励音の制御方法を示し、この有効性および応用について述べた。本研究の成果は環境に及ぼす空力騒音問題の解決に重要な指針を与えるものと期待でき、社会的寄与が大きいことを述べている。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 木 谷 勝  
副 査 教 授 山 田 元  
副 査 教 授 飯 田 誠 一  
副 査 教 授 井 上 良 紀

学 位 論 文 題 名

## 空力的自励音の特性とその制御

近年、環境の静粛化の要請から、空力騒音の低減が重視されている。空力騒音の代表的なものとして、高速列車のパンタグラフ騒音、自動車の風切り音、空調用ファンや電子機器の冷却用ファンの騒音などがあげられる。これらの流れの速度は音速に比較してはるかに小さいので、発生する空力音は流れの中の渦構造と物体との流体力学的干渉に起因する2重極音である。2重極音の代表的なものの一つが、流れのフィードバック機構によって維持される空力的自励音である。

渦による音の理論は Curle (1956) および Powell (1963)ら によって定式化され、音源が渦の加速運動にあること、音の波形が物体表面の圧力変動によって表現されること、などが明らかにされている。しかし流れにおける渦の形成、渦と物体の干渉は非線形性の強い現象であり、流れの基礎方程式から出発して音の周波数および強さを求めることはきわめて困難である。空力的自励音は、2重極音の中でも比較的単純な音であるが、その発生条件例えば物体の形状、位置、流速などの影響および音の強さを理論的に求めることはまだ成功していない。

本論文は、空力的自励音の基本的なものとして、2次元噴流と物体の干渉によって発生する音をとりあげ、その特性と発生条件を実験的に明らかにし、物体形状およびその配置による音の強さの低減方法を示したものである。

第1章は序論であり、空力的自励音に対する既往の研究を概観し、本論文の位置付けおよび目的について述べている。

第2章では、本研究で採用した実験装置および実験方法について述べている。噴流発生装置の低騒音化、供試物体の形状、変動速度および変動圧力測定方法、較正方法、位相平均法などを詳細に説明している。

第3章では、物体に衝突する2次元噴流によって発生する空力的自励音

の特性を求めている。種々の形状の物体について、音の周波数は噴流速度に比例し、噴流のノズル出口と物体先端の間の距離に反比例することを確認するとともに、音の強さは物体の先端が噴流のポテンシャルコアの後端近くにあるとき極大値をとることを明らかにしている。また物体形状と音の極大値との関係を明らかにしている。

第4章では、噴流中の物体から剥離する渦が、空力的自励音の強さにおよぼす影響について述べている。物体として、円柱およびこれと同じ直径の半円柱を前縁とする翼形を採用し、異なる剥離の状態を実現している。これにより、剥離渦の強い円柱の音が剥離渦の弱い翼形のそれよりも強いことを明らかにしている。音の波形を基準信号とする位相平均法により、物体まわりの渦度および表面圧力分布の時間変化を求めたこと、物体からの剥離渦が噴流中の渦構造そのものに影響を与えることを明確にしたことは重要な貢献である。

第5章では、物体形状と空力的自励音の関係とくにその発生条件について述べている。基本的な物体として厚さおよび幅の異なる種々の矩形柱を採用し、衝突噴流による空力的自励音が発生するためには、矩形柱の幅が少なくとも厚さの5倍以上でなければならないことを明らかにしている。矩形柱の表面圧力分布の詳細な測定により、この臨界幅は、時間平均圧力が負圧から周囲圧力まで回復するのに必要な長さ、および前縁から圧力変動のRMS値が極大値をとる位置までの長さのほぼ2倍に等しいことを示している。

第6章では、空力的自励音の発生条件を、円柱について実験的に検討している。この自励発振系に、円柱の軸中心を噴流の軸から遠ざけること、円柱の軸を傾けること、噴流出口に細い円柱を取付けて2次元噴流のアスペクト比を変化させること、の三つの攪乱を与えてこれに対する自励音の応答を求めている。この結果、空力的自励音が発生するためには、円柱中心と噴流軸の間の距離、傾斜角および噴流のアスペクト比には臨界値があること、臨界値は噴流速度の関数であること、臨界値においては発振状態と非発振状態が不規則に交代すること、などの重要な知見を得ている。

第7章は結論であり、本論文で得られた結果を総括している。

これを要するに、著者は、噴流と物体の流体力学的干渉によって発生する空力的自励音の特性とその発生条件を明確にするとともに、その低減方法を提示したもので、流体力学の進歩に寄与するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。