

審査の結果の要旨

氏名 立石 敦

博士（工学）立石 敦 提出の論文は、「流体構造連成とモード同定による多自由度翼列フラッター解析の研究」と題し、本文 8 章および付録から構成されている。

ジェットエンジンのファンや圧縮機翼列で安定作動を妨げる現象に、空力弾性的な自励振動である翼列フラッターがある。これまで翼列フラッターは、翼の質量比が十分大きいと振動モード間での空力干渉は小さく、曲げやねじりなど単一のモードで生じるとされ、空力・構造連成に起因する翼振動状態の変化は無視されてきた。しかし、エンジンの効率向上や騒音低減のための超高バイパス比ファンや複合材圧縮機などの軽量の翼列では、空気力により複数の翼振動モードが連成し、単一モードよりフラッター発生流速が低下することが知られている。このため今後一層の軽量化が予想される翼列のフラッター現象を工学的に解明し、また発生点を適切に予測するためには、構造と流れの連成を的確に取り込み、複合的なモードも含めて振動状態を解析する手法が必要になる。

このような状況から本論文では、翼間および翼振動モード間の空力的連成を考慮できる流体・構造連成解析手法を用いた翼列フラッター解析法を構築すること、およびこれを実際的な問題に適用してフラッターの予測可能性を示すことを目的とし、数値解析による研究を行っている。

第 1 章は序論であり、翼列フラッターに対する空力弾性解析の重要性と今後の航空エンジン技術における複合モードフラッター解析の必要性を示し、従来の解析手法を概観して、本研究の新規性と目的を述べている。

第 2 章では翼振動を記述する方程式系とその解析手法を述べている。フラッター解析において求める解を明確化したのち、複数の翼振動モードを取り込んだ場合の空力弾性方程式を導出し、連成解析で得られた時間領域解を用いて空力弾性モードを同定する新たな手法と、同定時の誤差解析法を提案している。

第 3 章では数値解析に用いる基礎方程式について述べている。連続体の運動原理である質量・運動量・エネルギー保存則が、流体と構造それぞれの解析で用いられる形に変形される過程について説明している。

第 4 章では流体構造連成解析に用いられる数値解析手法を述べている。流体解析で用いる圧縮性 RANS の有限体積法、構造解析の幾何非線形有限要素法とモード解析、そして連成解析の手順および流体・構造ソルバ間でのデータ交換

手法をそれぞれ説明している。

第5章では第2章の空力弾性モードの同定手法と第4章の数値解析手法を組み合わせたフラッター解析法の枠組みを検証している。本解析で得られた二次元単独翼と翼列における空力弾性モードを理論解析結果と比較し、複数の翼振動モードが空力的に連成する状況において、この手法が振動数、減衰率、およびモード形状を正しく算出できることを示している。

第6章では典型的な遷音速ファンリグである NASA Rotor 67 を対象に、構築した解析手法を適用してフラッター特性を検討している。静変形と定常流の連成解析から、翼の静変形がファン特性に与える影響は小さいこと、連成の影響は低流量側の不始動状態で大きいことを示している。また5つの低次モードを取り込んだフラッター解析結果と、翼面上の自励空気力分布の再構築法についても説明している。

第7章では低回転速度・高負荷の条件で失速フラッターが発生した遷音速ファンリグを対象とし、構築した手法によりフラッター特性の解析を行っている。リグ試験で実際に発生したフラッター境界は解析でよく再現できたが、試験ではフラッターが発生しない低回転速度の作動点でも、解析ではフラッターが生じる場合があった。翼面上の空力減衰分布より、フラッター発生には流量減少に伴う正圧面での空力減衰の喪失と、負圧面前縁の離脱衝撃波足元の強い励振力が関与することが示された。更にこの結果を流れ場と関連付けることにより、低流量の場合に翼端付近の離脱衝撃波が消失し、前縁剥離が発生することが低回転数側のフラッター境界を決定することを明らかにしている。また、衝撃波と剥離を伴う複雑な流れの領域では、不安定な流れと関連する翼振動が極めて複雑な様相を呈するため、更に高精度の解析が必要であると述べている。

第8章は結論であり、本研究で得られた結果をまとめている。

以上要するに、本研究は複合モード翼列フラッターを解析するために流体構造連成解析とモード同定を組み合わせた手法を提案し、実際的な翼列フラッター一解明への適用可能性を明らかにしたものであり、航空宇宙推進学上貢献するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。