

審査の結果の要旨

氏名 甘久亮

修士（工学）甘久亮 提出の論文は、「Unsteady Aerodynamic Characteristics of Compressor Oscillating Cascade in Transonic Flow with Shock Waves（衝撃波を伴う遷音速流における圧縮機振動翼列の非定常空力特性に関する研究）」と題し、6章および付録から構成されている。

ターボファンエンジンでは、燃費削減や騒音低減のため超高バイパス比化が進んでおり、一方で軽量化が促進されている。このためファンや圧縮機の翼では剛性の低下などにより、空力弾性的な自励振動である翼列フラッターが発生しやすくなる傾向にある。また、ファンや圧縮機前段翼は遷音速流中で衝撃波を伴って作動するため、衝撃波に関連するフラッターが大きな問題であり、このような環境で不安定振動をもたらす非定常空気力の特性を詳細に把握し、フラッターの要因を解明することが技術開発の重要な課題となっている。

以上のような状況を踏まえ、本論文は遷音速直線振動翼列を用いて圧縮機振動翼列の非定常空気力を計測する実験および流れの数値解析を実施し、衝撃波の挙動と非定常空気力との関係を明らかにして、遷音速翼列フラッターの要因を解明することを目的としている。

第1章は序論であり、ターボ機械における空力弾性現象の重要性、およびエンジン開発における環境適合性向上と燃料消費率低減の強い要求から翼の剛性が低下し、振動が発生しやすくなっている現状を述べた後、翼列フラッターに関する研究状況と課題をまとめ、本研究の目的を設定している。

第2章では実験の方法を述べている。本研究では振動翼の表面圧力を詳細に計測するため、感圧塗料（Pressure-Sensitive Paint, PSP）を用いた測定手法を開発した。PSPは近年様々な流体計測に適用されているが、振動翼列に応用した例は本研究が初めてである。従来の圧力センサーによる計測に比べて空間分解能が飛躍的に高まり、衝撃波等による翼面圧力の変化を翼面全体で捉えることができるため、フラッター現象の解明に極めて有用な手法である。得られた非定常空気力の結果を従来の歪ゲージや圧力センサーによる結果と比較して妥当な一致を確認した。また、翼面上の圧力分布を流体数値解析の結果と比較し、良好な一致を見ている。

第3章では流れの数値解析手法を述べている。標準的な Reynolds 平均

Navier-Stokes 方程式と $k-\omega$ 二方程式乱流モデルを用いた流体数値解析法に、フラッター解析のための移動格子法を適用し、11 枚の翼で構成された翼列の流れを解析して非定常圧力場を得る方法を説明している。

第 4 章では PSP による計測と数値解析の結果を用い、翼が振動していない定常流れ場の特性を明らかにしている。翼列の流入マッハ数は 1.2 で、流れには前縁斜め衝撃波と通路内の垂直衝撃波が発生する。実験では背圧を変化させたとき、衝撃波の位置や形状がどのように変化するかを翼面上の圧力分布から詳細に把握し、衝撃波のパターンが 4 種類に分類されることを示した。また、同様の流れ場に対する数値解析の結果は実験とよく一致し、相互の信頼性が確認できている。このほか翼端漏れ流れや翼根部のコーナー剥離などの三次元的な流れの様相も実験と数値解析で明瞭に捉えられた。このような流れの特性は従来から知られているものではあるが、PSP による実験で初めて非常に詳細に連続的な翼面上の圧力分布が捉えられ、従来の定性的な知見を定量的に確認することができたと言える。

第 5 章では振動翼列の非定常空力特性を実験と数値解析で調べている。第 4 章の結果に基づいて様々な背圧条件における衝撃波パターンに対して非定常空気力の検討を行い、衝撃波および翼端漏れ流れがフラッター不安定性を支配していることを明らかにした。また、前縁斜め衝撃波と翼間垂直衝撃波が共存する二重衝撃波の場合と、背圧が上がってこれらが合体した衝撃波の場合とでは、翼振動と衝撃波振動との間の位相差が変化し、フラッター不安定性が大きく変化することが見出された。他方、翼端漏れ流れによる非定常空気力は衝撃波による空気力と位相を異にし、フラッターには抑制的に働く傾向があることも分かった。これらは翼面非定常圧力の詳細な計測と数値解析を組み合わせたことで初めて明らかになった事象である。

第 6 章は結論であり、本研究で得られた結果を総括している。

以上要するに、本論文では衝撃波を伴う遷音速流れにおける翼列フラッターの現象を詳細に解明するため PSP による計測法を新たに開発し、流れの数値解析を併用することで、広範な条件における振動翼列の非定常空力特性を明らかにした。この成果は今後のエンジンの高性能化と安全性の向上に重要な意義を有し、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。