

[別紙 2]

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 青塚 瑞穂

修士(工学) 青塚瑞穂提出の論文は、「高亜音速/遷音速流中で剥離を伴う振動翼列の空力特性に関する研究」と題し、本文6章から成っている。

ジェットエンジンの軸流圧縮機が失速に近い高負荷の状態で作動するとき、圧縮機翼面には部分的な剥離域を伴う。このような状態で発生する翼列フラッタは、失速フラッタとも関連して古くから重大な問題とされてきたが、本質的に流体の粘性が支配的な非定常現象であるため、従来の研究では未解明の部分が多かった。また、近年の圧縮機翼列では遷音速流れで作動するものが増加しているが、このような翼列では翼前縁や流路内に発生する衝撃波と翼面境界層との干渉により、特に高負荷状態では境界層が急激に発達し、ときによって剥離に至ることもある。こうした境界層流れが遷音速振動翼列の非定常空力特性に与える影響については、解明がほとんど進んでいない状況にある。このため、実機翼列においても、失速限界近傍の翼列の非定常空力特性について、現実の粘性流れ現象に即した解明が、圧縮機の安全性確保や今後の更なる性能向上のために不可欠となっている。

本研究では高速翼列に用いる代表的翼型である二重円弧翼列を取り上げ、上記のような条件下で作動する翼の振り振動特性を、高亜音速および遷音速流れを実現できる直線翼列風洞による実験と、振動翼列周りの流れの乱流数値解析により明らかにした。これにより、翼振動に及ぼす翼面上剥離域の影響、衝撃波/境界層干渉流れの影響が詳細に解明されている。

論文の第1章では、本研究の背景及び目的を述べている。

第2章では、実験方法を説明している。二次元遷音速直線翼列風洞に翼を振り振動させる加振装置を設置し、流入マッハ数0.7および1.2の条件で、二重円弧翼を対象とした振動翼列実験を実施した。翼に働く非定常空力モーメントの計測には一翼振動法を採用している。

第3章では、数値解析の方法について説明している。基礎方程式に、壁面境界層の発達による流路断面積の減少を考慮し得る準三次元 Navier-Stokes 方程式を用い、流れの剥離・再付着を的確に把握するために、 $k-\epsilon$ 二方程式モデルによる乱流粘性を使用している。また、振動翼列流れの標準問題に対する実験結果を利用した検証計算により、開発した数値解析コードが翼前縁に剥離泡を生じるような翼列の空力特性を適切に捉えることができること

を確認している。

第 4 章では、高亜音速流れ場における実験及び数値解析の結果について述べている。実験による結果から、翼前縁に生じる剥離泡の挙動と空力モーメントとが強い相関を有することが見出された。また、従来の理論では扱うことのできなかつた、剥離泡の存在によるフラッタも観察された。これらの実験結果をもとに行った数値解析の結果、剥離泡の振動により翼前縁部に大きな非定常圧力振幅が生じ、そのため翼全体に大きな非定常空力モーメントが生じることが確認された。この剥離泡による非定常空力モーメントに起因して、失速に至るよりかなり前の状態から、翼列フラッタが発生し易い状態になることが明らかになった。更に、インシデンスの大きな流れ場においては、翼面上の境界層の発達に伴って翼振動の擾乱が遠く離れた翼にまで伝播し易い状態となる結果、翼に加わる空気力はより大きなものとなり、翼振動が急激に不安定になることがわかった。

第 5 章では、遷音速流れ場における実験及び数値解析の結果について述べている。遷音速流れ場においては翼間に衝撃波が発生し、これが翼振動に伴って振動するため、大きな非定常空気が生じる。実験の結果から、空力モーメントの振幅と位相が翼列前後の静圧比の変化によって大きく変化することが確認され、特に位相の変化が、翼列の振動安定性に大きな影響を与えることがわかった。実験結果をもとにした数値解析の結果から、非定常空力モーメントの位相は、翼腹側の衝撃波入射位置と振り軸中心位置との相対関係に支配されることが示された。また、振動特性には衝撃波と境界層との干渉も大きな役割を持つことが明らかになった。衝撃波は翼面の境界層と干渉し、特に高負荷の翼面では境界層の発達を促し、ときに流れを剥離させる。剥離域の存在により衝撃波振動の様子、ひいては翼の非定常空気が大きく変化するが、無次元振動数が高いと境界層挙動およびこれと干渉する衝撃波の振動に翼振動に対する位相遅れが生じ、これが振動安定性に支配的な寄与を及ぼすことが見出された。

第 6 章は結論であり、本研究で得られた知見をまとめている。

以上要するに、本論文は高亜音速および遷音速の流れ場において、高負荷の条件で作動する翼列の非定常空力特性と振動現象を実験と数値解析により明らかにし、将来の高性能圧縮機の空力設計・安全設計に有用な基礎的知見と設計指針を与えたものであり、航空宇宙工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。