

審査の結果の要旨

氏名 寺島 洋史

修士（工学）寺島洋史提出の論文は、「流体・構造連成手法による遷音速翼フラッター現象に関する数値解析」と題し、本文8章から構成されている。

翼フラッターは、機体そのものの破壊へと至る危険性を有することから、飛翔体の設計や開発において考慮すべき重要な現象として知られている。過去にも多数のフラッター解析が行われているが、その多くは通常の旅客機などに見られる高アスペクト比翼を対象としており、より高速で飛行する超音速機や再使用宇宙往還機に利用される低アスペクト比翼のフラッター特性が十分に把握されているとはいえない。また、エンジンなどの主翼搭載物の付加はフラッター特性を変化させることが知られており、そのうち搭載物付加の構造的な影響については比較的よく把握されているが、搭載物付加によって生ずる流れ場の変化がどのようにフラッター特性を変えるのかは過去にほとんど議論されていない。

このような観点から、筆者はデルタ翼形状の遷音速フラッター解析を行い、その特性を把握すること、さらにフラッター特性に対する主翼搭載物の影響を構造力学、空気力学の両観点から明らかにすることを目的として研究を行った。従来の翼フラッター解析と異なり搭載物を含めた複雑な形状を扱うことと詳細な流れ場を把握することが要求されるため、流体、構造解析ともに高度な数学モデルを用いた連成手法を適用している。また、数値計算上必要となる知見の不足に着目し、正確なフラッターシミュレーションを行う上での基準を確立した後、デルタ翼形状の遷音速フラッター解析を行っている。

第1章は序論で、過去の遷音速翼フラッター現象に関する研究を概観し、本論文における研究対象を述べている。そして、過去の研究によって明らかにされた事実と残された課題を示し、それに基づいて本論文の目的と意義を明確にしている。

第2章では、数値解析法の詳細が述べられている。フラッター現象は流体と構造との連成現象であることから、流体方程式と構造運動方程式を時間進行で解き進める連成手法を採用している。遷音速域における非定常非線形空気力を正確に評価するため、流体解析にはレイノルズ平均3次元圧縮性 Navier-Stokes 方程式を、構造解析には有限要素法をベースとしたモード解析法を利用している。いずれの解析においても現状では実用上可能な高度な数学モデルを用いている点が特徴である。

第3章では、フラッター現象を単純化した2次元強制振動翼の解析を行い、用いる CFD 手法の非定常空気力予測能力を調べている。特に、非定常遷音速流れのシミュレーションにおいて重要とされる計算領域の外部境界位置や時間積分刻み幅に着目し、その基準を明らかにしている。

第4章では、2次元フラッターモデルを用いた解析を行うことで、第3章において得られた基準がフラッターシミュレーションにおいても適用可能であることを確認している。得られた結果は、第3章における基準の有効性を示しており、これにより正確なフラッター

シミュレーションの指標が明らかにされている。

第 5 章では、既存データとの比較により本論文で用いる 3 次元流体・構造連成手法の信頼性検証を行っている。過去の実験や数値計算結果との比較において遷音速域から超音速域にかけてのフラッター境界が正確に求められていることから、用いた手法が妥当であり、信頼性を有するものであることが示されている。また、実用的な 3 次元フラッター解析においても第 3、4 章で得られた基準が有効であることが明らかとなっている。

第 6 章では、デルタ翼形状の遷音速フラッター特性が調べられている。デルタ翼のフラッター速度は亜音速から遷音速域にかけては大きく変化せず、超音速域になると増加していく傾向を持つことが示されており、高アスペクト比翼で特徴的な遷音速域における落ち込みはほとんど見られないことが明らかにされている。また、低速域では 2 次モードである振り振動が、遷音速域では 1 次モードである曲げ振動が支配的となるフラッター特性を有することも明らかにされている。

第 7 章では、エンジンを模擬した主翼搭載物をデルタ翼に付加することで、フラッター特性に対する搭載物の影響を調べている。従来の解析では搭載物による流れ場変化がほとんど考慮されていなかったため、筆者は特に搭載物による流れ場の変化を考慮し、その影響を調べることに焦点を当てている。まず、搭載物を翼下面後方配置した場合には、流れ場変化の考慮に関わらずフラッター動圧が低下することが示され、原因として搭載物により重心が後方へ移動し、縦の不安定性が助長されたことが述べられている。複数の搭載物が付加された場合には、さらに大きくフラッター動圧が低下することが示されている。また、搭載物付加による翼周りの流れ場変化を正しく評価すると、フラッター動圧が更に低下することが示されている。フラッター動圧の低下は、搭載物の数によらず主に低超音速域において現れており、動圧低下の原因として搭載物前方に発生する衝撃波と翼下面との干渉が挙げられている。特に衝撃波が翼端を横切るように干渉する場合に、衝撃波変動による空気力の位相遅れが原因でフラッター動圧が低下することが示されている。

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、本論文は、フラッターシミュレーションを行う上での信頼性指標を確立し、その指標に基づきデルタ翼形状の遷音速フラッター特性とそのフラッター特性における主翼搭載物の影響を構造力学的、空気力学的観点から明らかにしたものである。フラッターシミュレーションにおける信頼性はこれまで正確に議論されてきておらず、また低アスペクト比翼のフラッターシミュレーションにおける搭載物付加による流れ場変化の影響を現象論的に明らかにした研究例はない。ここで得られた結果は、超音速機や 2 段式再使用宇宙往還機のような高速飛翔体の設計や開発に役立つものであり、本論文により得られた結果は今後の航空宇宙工学に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。