論文審査の結果の要旨

氏名　井手　優紀

本論文は、「超音速３次元境界層の遷移予測法の高精度化に関する研究（Study on Improvement of Transition Prediction Method for Three Dimensional Supersonic Boundary Layers）」と題し、本文５章から成っている。

第１章は緒言であり、研究の背景と目的を述べている。境界層遷移は層流境界層内に存在する微小攪乱が境界層の持つ安定特性に応じて成長し、攪乱の振幅が指数関数的に増幅する現象で、その物理的機構は複雑であるため未だその予測法は理論的には確立しておらず、流体の安定方程式の解と風洞試験あるいは飛行試験による遷移情報を組み合わせて遷移を予測する半経験的手法（e^N 法）のみが工学的に有効な手法となっている。しかしながら、超音速旅客機の主翼のような大きな後退翼上の複雑な３次元境界層の場合は、e^N 法における遷移判定基準値 Ntr としては JAXA の小型超音速実験機（NEXST-1）の飛行試験結果しか有用な情報がないという状況にある。そこで、この NEXST-1 主翼上の３次元境界層を対象に、e^N 法に基づく遷移予測法の向上を目標として、従来は考慮されていなかった新しい物理的効果を取り入れた予測法を新たに構築し、飛行試験結果との比較・分析を通してその工学的有用性を検討することが本研究の目的であることを述べている。

第２章では、局所平行流近似を用いた従来の線形安定性解析法（LST 解析）と e^N 法の組み合わせによる遷移予測法の高精度化の一環として，新しい物理的効果として境界層の非平行性と壁面曲率の効果を取り上げ、線形放物型安定方程式を用いた安定性解析（LPSE 解析）に基づく遷移予測法の構築過程が示されている。次に、飛行試験で遷移計測を行った 5 断面についてこの手法を適用し、計測結果との詳細な比較を行った結果、従来の LST 解析で存在していた断面間の Ntr 値の差違が非平行性と壁面曲率の効果によって小さくなり，全体として飛行試験結果との一致度が改善されることが示されている。また外翼部の LST 解析結果において見られた Pathological 問題と呼ばれる従来の遷移予測法が内在している不整合性が LPSE 解析による非平行性の効果によって解消され，LPSE を用いた遷移予測法の有効性がより明確にされている。

第３章では、第２章の発展として、より現実の攪乱に近い波束型攪乱を模擬でき、かつ攪乱に対する安定方程式の未知数を削減可能な複素特性曲線法（CRT 法）を LPSE 解析と組み合わせた独自の遷移予測法の構築過程が示されている。次に、この予測法による結果と NEXST-1 試験結果との比較を通して、LPSE 解析結果で見られた Ntr 値のばらつきが CRT 法を組み合わせることよってさらに小さくなり、試験結果との一致度の更なる改善に繋がること、また従来の LST 解析で Ntr 値を算出する場合には振動リボン型の攪乱モデルが妥当であることを明らかにし、CRT 法の有効性が明らかにされている。

第４章では、これまでの線形安定性理論に基づく遷移予測法の更なる拡張の一環として、まず攪乱の非線形相互作用を扱える非線形放物型安定方程式による解析法（NPSE 解析）の構築過程が示されている。次に、この解析法を用いた遷移予測結果と試験結果の比較を通して非線形機構の詳細な分析を行い、遷移点における平均摩擦係数の急上昇を理論的に予測できることを見出し、攪乱の初期振幅がこれまでの遷音速領域の飛行試験で明らかにされたものと同等であったことも明らかとした。この事実を前提とする場合、NPSE 解析に基づく遷移予測法は従来の e^N 法に代わり工学的に有用な手法となり得ることが明らかにされている。

第５章は「結論」であり、本研究の成果を総括している。

以上要するに、本論文では、実際の超音速旅客機を想定した大きな後退翼上の 3 次元境界層の遷移予測問題に対して、境界層の非平行性と壁面曲率の効果を考慮可能な放物型安定方程式に、現実に近い攪乱を模擬でき、かつ安定方程式の未知数削減を可能とする複素特性曲線法を組み合わせた遷移予測法では、従来の e^N 法に基づく予測法の精度を工学的に改善できることを明らかにしたこと、また非線形放物型安定方程式による遷移予測法は e^N 法に代わるものとして有用であることを明らかにして今後の発展の可能性を示したことは、先端エネルギー工学、特に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（科学）の学位請求論文として合格と認められる。

以上１８８０字