

審査の結果の要旨

氏名 鐘 策

本論文は、「Experimental and Numerical Investigation of Hypersonic Flow over a Three-dimensional Backward-facing Step（三次元後ろ向きバックステップを過ぎる極超音速流に関する実験的数値的研究）」と題し、7章で構成されている。

第1章は序論であり、研究の背景と目的を述べている。流れの剥離は、流体力学における重要課題のひとつである。極超音速流では、衝撃波や膨張波との干渉も起こり、流れ場が複雑化するため、その理解は十分なものとは言えない。本論文は、簡単な形状でありながら、剥離、再付着、衝撃波、膨張波、剥離泡、縦渦といった構成要素が三次元的に干渉し合う様子を観察できる有限幅のバックステップ流れに着目し、風洞実験と数値流体力学（CFD）により、流れ場形成メカニズムの解明を行うことを目的としている。過去に行われたバックステップ流れの研究は、実験、数値解析とも二次元的な理解にとどまっており、本研究の手法や知見は、様々な極超音速剥離流れ場を三次元的に理解する際に活かされるものである。

第2章では東京大学柏キャンパスに設置されているマッハ数7の極超音速高エンタルピー風洞で行われた実験の詳細が述べられている。楔形前縁を持つ平板の後部を切り取ってバックステップを形成した模型を製作し、シュリーレン法、油膜法、熱画像カメラ、感圧塗料を用いた可視化実験が行われた。感圧塗料法は、励起光を受け酸素濃度に応じて発光強度が変化する色素を模型表面に塗布し、気流中での模型表面の発光分布から圧力分布を得るものであるが、本研究では新たに多孔質粒子感圧塗料法と呼ぶ手法を開発している。これは、多孔質ナノ粒子の表面に感圧色素を付着させてエタノールと混ぜ、あらかじめ接着層をコートした模型表面にスプレーするものである。エタノールが蒸発すると色素キャリアとしての粒子が模型表面に露出する。色素を塗布するためのバインダー（ポリマー）が不要となるため、感度が向上し、かつ、従来法の問題点であった高粘度のポリマーをスプレー塗布する困難さや、スプレーする際に必要となる有害な溶剤の使用がなくなるといった利点を有している。

第3章では実験で得られた可視化画像を説明している。バックステップ下流の底面に塗布した感圧塗料により、模型後縁近くで左右一対の圧力ピークが出現することを発見し、同様なパターンを熱画像カメラによる壁面温度分布や、油膜法による剥離線の可視化でも見出している。また、バックステップ高さを変えることで、パターンが変化していく様子も明らかにしている。バックステップ下流は、膨張のため気流密度が低く、空力加熱が弱いため、温度変化による誤差が小さくなり、感圧塗料による壁面圧力分布測定に適した対象であると言える。

第4章は数値解析手法の詳細な説明である。風洞実験を再現するために実施した三次元層流圧縮性ナビエ・ストークス方程式解析の数値解法と条件設定の詳細が述べられている。

第5章は数値解析結果とその検証である。計算結果が、実験で得られた可視化結果と、ステップ高さによるパターン変化を再現していることを示し、CFD解析の妥当性を確認している。

上記の結果を用い、第6章では、バックステップ下流の三次元流れ場構造とその形成メカニ

ズムが明らかにされている。流れ場は、主に、バックステップ直後に形成される再循環剥離泡、左右それぞれの端からステップ背後領域へ巻き込むようにしながら下流へと流れていく縦渦、剥離泡の上を抜けてバックステップ底面へ再付着する流れ、再付着によって発生する斜め衝撃波で構成される。ステップ高さによる流れ場パターンの変化が、これらの構成要素の強弱や相互の位置関係、干渉度合いの変化を見ることにより、合理的に説明されている。

第7章は結論であり、得られた成果をまとめ、今後行うべき研究課題を示している。

以上要するに、本論文は、極超音速気流中にある有限幅バックステップ後方の複雑な三次元流れ場構造を風洞実験と数値流体力学により解明したものであり、多孔質粒子と感圧塗料を用いた壁面圧力計測法を開発した点と、ステップ下流壁面における一対のピーク圧力発生メカニズムを三次元流れ場構造とともに明らかにした点で、先端エネルギー工学、特に高速空気力学に貢献するところが大きい。

なお、本論文の第2章から第6章は鈴木宏二郎氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験および解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

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1940字