

審査の結果の要旨

氏名 佐藤 大悟

修士(工学)佐藤 大悟 提出の論文は、「超・極超音速デルタ翼周り剥離流れ場の構造に関する数値的研究」と題し、本文5章および付録2項から成っている。

超音速あるいは極超音速の輸送機や有翼宇宙往還機の開発において、機体周り流れ場における現象の理解と熱的空気力学的特性の把握は、重要な課題の一つである。これらの高速飛行体ではデルタ翼を用いることが多く、空力性能あるいは空力加熱上の理由により広範囲の迎角をとる。一般に、大迎角をとったデルタ翼背面では気流が剥離して渦が形成される。それに加え、超音速や極超音速飛行時では、背面に衝撃波や膨張波が発生し、剥離渦や剪断層と干渉するため、背面流れ場は低速飛行時のそれと比べて複雑なものとなる。超音速流中のデルタ翼背面流れ場に関する研究は 1960 年代前半から行われており、Stanbrook と Squire が、背面流れ場は前縁剥離の有無で大別されることを見出して以来、実験および数値解析による研究が数多くなされている。Miller らは超音速流中にあるデルタ翼背面の流れ場を翼前縁に対する入射マッハ数と入射迎角をパラメータとして6つのパターンに分類した。しかし、極超音速領域までカバーする分類は見出されておらず、また、その際の背面流れ場の構造の詳細や背面での加熱率分布との関連は明らかになっていない。

このような背景から筆者は、デルタ翼周りの流れ場について極超音速を含む広範囲のマッハ数と広範囲の迎角において数値解析し、背面流れ場の構造の詳細とそのパターン分類を明らかにし、空力特性や加熱率分布との関連を解明することに成功している。

第1章は序論であり、超音速流中でのデルタ翼背面流れ場の構造に関するこれまでの研究を概観し、本論文の目的と意義を明確にしている。

第2章では、支配方程式である3次元層流圧縮性 Navier-Stokes 方程式が示され、各種物理量の無次元化や一般曲線座標系への変換が説明されている。解析対象となる物体形状としては、過去の研究との比較を考慮し、上面が後退角 70 度のデルタ形状で鋭い前縁を持つ三角錐が設定されている。

第3章では、本論文で用いた数値計算法と各種計算条件、計算格子について説明されている。対流項の離散化には AUSM-DV 法が、高次精度化には MUSCL 法が、時間積分には LU-SGS 陰解法が用いられている。

第4章は数値解析結果とその考察であり、一様流条件としてマッハ数を 2.5 から 10 まで、迎角を 0 度から 30 度まで変化させて行われた計算結果が示され、それに対する詳細な検討がなされている。まず、予備研究として行われた超音速風洞実験によって得られたオイルフローパターンが示され、同じ条件における数値解析結果と比較されている。これに加え、他計算例との比較、および補遺に示された格子収束性により、本研究で用いる数値解析手法および計算格子の妥当性が検証されている。

次に、マッハ数と迎角を変化させて行った計算結果を概観し、デルタ翼中央における背面の断面流れに着目

したパターン分類が行われている。その結果、Millerらによって示された翼前縁に対する入射マッハ数と入射迎角をパラメータとした分類は、極超音速領域まで拡張できることを見出している。衝撃波を伴う剥離渦流れ、衝撃波を伴う剥離泡流れ、衝撃波を伴わない剥離泡流れ、前縁での付着流と背面上での衝撃波流れ、前縁の付着流と背面上の衝撃波に剥離渦を伴う流れ、剥離も衝撃波も伴わない付着流れ、の各パターンについて断面での流線、渦度分布、等マッハ線および背面上での表面流線や 3 次元流線を詳細に検討し、流れ場の構造を説明している。また、圧力勾配と速度分布を組み合わせ、波面に垂直なマッハ数が 1 となる場所を求めることで衝撃波面を同定し、その空間構造を明らかにしている。その結果、渦からの吹下ろしが背面中央部付近に作る衝撃波など、細かな衝撃波構造の存在を指摘している。さらに、それらのパターン変化の主流マッハ数依存性および迎角依存性についても明らかにしている。超音速流れでは前縁周りの気流の膨張現象が背面流れパターンを決める際に支配的であることが知られているが、このことが極超音速流れにおいても成立することを見出している。また、背面流れの構造と揚力および加熱率分布との関係についても考察を行い、極超音速において、背面の剥離渦や剥離泡がつくる吹下ろし流れが局所的に加熱率のピークを生成する機構を説明している。

第5章は結論であり、本研究で得られた知見をまとめている。

付録は2項から成り、計算格子数による数値解の収束性、予備研究として行われたデルタ翼背面に関する超音速風洞実験と数値解析によるオイルフローパターンの比較データ、が示されている。

以上要するに、本論文は数値流体力学を用い、広範囲の迎角と極超音速を含む広範囲のマッハ数にわたってデルタ翼背面における剥離流れ場のパターン変化を解明し、流れ場の構造と空力特性や加熱率分布の関係を明らかにしているものであり、超音速および極超音速におけるデルタ翼周りの流れ場の理解について新しい知見をもたらすとともに、極超音速飛行体や有翼宇宙往還機の空力形状設計に有用な指針を与える点で、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。