

審査の結果の要旨

氏名 宮澤 真史

本論文は、「二次元翼周りの乱流境界層から発生する広帯域空力音の数値解析」と題し、6章より成っている。

流れから発生する空力音は、音のパワーが流速の増大とともに急激に増大する性質を持っており、流体機械や高速車両の分野では、空力音の低減が重要な開発課題の一つとなっている。空力音の低減に関する研究開発は、従来の理論的・実験的な手法に加えて、近年では、数値解析による空力音の予測に関する研究が行われており、その実用化が期待されている。既に円柱のエオルス音に代表される、ブラフボディ周りの流れから発生する低周波の空力音に関しては、数値解析の解析精度が検証され、一部では実用的な解析に用いることができる水準に達していると考えられる。しかし、流線形物体周りの乱流境界層や後流から発生する高周波成分を含む広帯域の空力音に関しては、現状では数値解析による音の予測は困難であり、解析精度の検証などの基礎的な研究が必要である。

以上の背景から、本論文では、基礎的な流線形物体である二次元翼を対象として、LES法と音波の位相を考慮した音響解析を組み合わせた分離解法によって、翼周りの乱流境界層から発生する広帯域の空力音の数値解析を実施し、別途低騒音風洞において計測された実験結果と数値解析結果の比較によって、解析精度の検証を行っている。また、数値解析結果から翼周りの乱流境界層から発生する広帯域音の音源構造を論じている。

第一章は序論であり、空力音とその数値解析の工学的意義について概説している。また、空力音の数値解析、特に本論文の主な対象である流線形物体周りの乱流境界層から発生する広帯域音に関する従来研究について解析手法と主要な結果についてまとめた上で、空力音の数値解析結果に関して、解析精度の検証を行う必要があると論じている。

第二章では、空力音解析の基礎理論と数値解析手法が述べられている。空力音の数値解析は、Lighthillの音響学的類推の考え方に基づいて、流体解析により音源を計算する第一段階と、音響解析を行う第二段階に分けて解析を実施する分離解法によって行われている。流体解析にはLES法と有限要素法を用い、流れ中の音源を計算する。また、音響解析では、音波の位相を考慮した解析を実施するため、境界要素法を用いてグリーン関数を数値計算により求め、Howeの式により遠方場での音圧を計算することが述べられている。その際、

音圧の計算式の被積分項の分布によって、観測点で測定される音の音源分布を可視化することができる」と述べられている。

第三章では、解析対象である翼周り流れと精度検証データを取得するために行われた実験の概要、および、数値解析の条件と解析メッシュについて述べられている。解析対象は、断面形状がNACA0012 翼型の二次元翼であり、翼の迎角が9度、翼弦長と一様流流速に基づくレイノルズ数が 2.0×10^5 および 2.5×10^6 の二種類の流れを対象としている。レイノルズ数 2.0×10^5 の場合については鈴木らによる実験データを検証に用い、レイノルズ数 2.5×10^6 の場合に関しては、検証データを取得するための実験を実施したこと、および、その実験手法が述べられている。解析メッシュに関しては、解析精度に対するメッシュ解像度の影響を検討するために、総要素数約 200 万と約 800 万のメッシュを使用したことが述べられている。

第四章では、二種類の流れについての数値解析結果と精度検証結果が述べられている。精度検証結果から、レイノルズ数が 2.0×10^5 の場合に関しては、総要素数約 800 万のメッシュを用いた解析により、精度検証を行った翼面静圧および後流流速の時間平均値と変動値、乱流境界層の速度プロファイルの定量的な予測が可能であることが示されている。また、レイノルズ数が 2.0×10^5 の場合に総要素数約 200 万のメッシュを用いた場合やレイノルズ数が 2.5×10^6 の場合に、総要素数約 800 万のメッシュを用いて解析を実施した場合には、翼面静圧の時間平均値に関しては定量的な予測が可能であるものの、翼面静圧の変動値や乱流境界層の流速分布の定量的な予測精度はメッシュ解像度の不足により不十分なものとなることが示されている。

第五章では、音響解析結果およびその精度検証結果が示されている。その中では、前述の音波の位相を考慮した解析手法により計算された空力音の音圧レベルは実験結果と一致することが示されており、比較のために示された音波の位相を考慮せずに解析を実施した場合には、解析結果と実験結果は高周波域では一致しないことが示されている。また、レイノルズ数が 2.0×10^5 の場合に関して、二次元翼周りの乱流境界層における空力音源の構造が示され、主要な音源は前縁近くから中央付近にかけての乱流境界層が再附着し発達する領域に分布していることが述べられている。

第六章は結論であり、本論文で得られた成果をまとめている。

以上、本論文では、翼周りの乱流境界層から発生する広帯域空力音の数値解析を行い、その精度結果から、本論文で示された手法により広帯域空力音の定量的な予測が可能であることを示している。また、広帯域空力音の音源構造の分布を示し、高精度な解析を実施するための数値解析上の留意点を述べている。

これらの結果は、従来、数値解析による予測が困難であった流線形物体周りの乱流境界層から発生する広帯域音の予測を実現するために必要な基礎的な知見を与えるもので、流

体工学をはじめ機械工学の上で寄与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。