

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 岩本 雄馬

修士（工学）岩本雄馬提出の論文は「低無次元振動数を有する非定常流れの LES 解析のハーモニックバランス法による高効率化」と題し、7 章からなっている。

低無次元振動数を有する非定常乱流流れには、主翼遷音速バフエットやジェットエンジン空力要素での翼列フラッタなど、航空機の安全性や効率に強く影響するものが多くあり、数値計算による高信頼な予測が工学的な重要性を増している。非定常乱流流れの計算手法である **Large-Eddy Simulation(LES)**は、剥離や遷移を含む非定常乱流流れを高信頼に予測できる手法だが、低無次元振動数を有する流れでは計算コストが高く、効率改善が課題となっている。一方 **Harmonic Balance(HB)**法は周期流れを高効率に予測できる計算手法であるが、非周期的な乱流変動は乱流モデルで表現されるため、剥離や遷移を含む乱流流れに対する信頼性向上が課題となっている。

本研究は、相補的な関係にある **LES** と **HB** を組み合わせることで、低無次元振動数を有する非定常流れの高信頼かつ高効率な数値シミュレーション手法を開発し、その有用性を実証することを目的としている。

第 1 章は序論であり、研究の背景と先行研究、関連文献についてまとめた上で、本研究の位置付けと目的、本論文の構成を述べている。

第 2 章では、提案する **Harmonic Balanced Large-Eddy Simulation: HB-LES** の理論的裏付けおよび計算手法について述べている。**HB-LES** は、流れを周期成分と非周期的な乱流変動成分に分離した時に、両者の時間スケールが分離できる低無次元振動数の乱流流れを対象とし、周期変動中の特定の位相まわりでの乱流変動成分を解像する **LES**、周期成分を高効率に求解する **HB** と、乱流変動から周期成分への影響を評価する相互干渉項から構成される。**LES**、**HB**、相互干渉項評価を交互に繰り返すことにより、変動から周期成分、また周期成分から変動への影響が共に適切に反映された解を得ることができる。相互干渉項は **LES** で得られる変動の統計量を用いてモデル化せず評価されるので、最終的な解の信頼性は従来の **LES** と同等である一方、周期変動の中の一部の乱流変動

のみを LES で解像するので計算コストは従来の LES よりも低くなる。HB-LES は LES を高効率化し、また HB を高信頼化するものである。

第 3 章では規準的なチャネル乱流の脈動の解析により HB-LES の検証を行っている。HB-LES の構成要素それぞれの解を高信頼なデータと比較し、周期成分、乱流成分だけでなく、乱流遷移を含む流れ構造が適切な機序で正しく予測できることを示している。

第 4 章ではピッチング振動する NACA0012 翼周りの流れを対象として、従来の LES による実時間解析との比較により HB-LES の二次元周期流れへ適用可能性を確認している。

第 5 章では HB-LES のデモンストレーションとして LES の産業応用が望まれる遷音速バフエットの解析を実施し、遷音速バフエットで重要とされる剥離乱流境界層の挙動を、HB-LES により高信頼に予測できることを示している。

第 6 章では HB-LES の計算効率について論じた上で、HB-LES が、(1)剥離や遷移を含む乱流流れに対しても、時間スケールの分離が成立すれば、従来の LES と同等の信頼性での予測が可能であること、(2)計算時間を従来の LES のストローハル数倍まで短縮できること、(3)基本周波数とその高調波成分のみを計算するため、シグナルノイズ比の低い現象においても、周期変動と相関のある変動のみを解として得ることができること、の 3 つの長所を持つことを述べている。さらに、HB-LES を実際に利用する上での注意点についてもまとめている。

第 7 章は結論であり、本研究で得られた知見をまとめている。

以上要するに、本研究は航空宇宙工学分野に多くみられる低無次元振動数を有する非定常乱流流れについて、高信頼かつ高効率な数値解析手法を提案し、その有用性を実証したものであり、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。