OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Large Eddy Simulation (LES) for Airfoils Static and Dynamic Stall using One-equation SGS Model based on Dynamic Procedure
Author(s)	Mohamad, Firdaus Bin
Citation	大阪大学, 2021, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/82226
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

Form 3

Abstract of Thesis

Name （MOHAMAD FIRDAUS BIN）	
Title	Large Eddy Simulation (LES) for Airfoils Static and Dynamic Stall using One-equation SGS Model based on Dynamic Procedure （翼の静的および動的な失速流れに対する１方程式型ダイナミックＳＧＳモデルを用いたラージエディシミュレーション）

Abstract of Thesis

The objective of this study is to develop a practical method of the large eddy simulation (LES) especially for the analysis of flow around an airfoil in unsteady motion. LES is the computational method for turbulent flows and it has been widely applied in industry. In LES, the unsteady motion of the scale larger than the computational grid is directly solved while the smaller scale motion is given by the theoretical model, that is the subgrid scale (SGS) model. It is still difficult to predict laminar-turbulent transition and flow separation even by sophisticated SGS models. In addition, the universal law of the wall has not been established and, as a result, to resolve the turbulent boundary layer becomes costly. The flow around an airfoil is a typical example that contains these difficulties: namely, laminar separation in static condition, and massive separation that causes dynamic stall in pitching motion.

In this study, the one-equation dynamic (OD) model was introduced to simulate the flows around an airfoil in static condition and in pitching motion. The SGS eddy viscosity was parameterized by using SGS kinetic energy which is estimated by the transport equation. The OD model determined the production term in the transport equation using the dynamic Smagorinsky model through the Germano procedure. Owing to these formulations, it could deal with nonequilibrium feature of spatially developing flow and two-way energy transfer between resolved and SGS portions. By implementing the OD model into a practically arranged grid on general curvilinear coordinates, static as well as dynamic stalls of airfoils were reproduced. In flow around an 'A-profile' airfoil at rest, it was proved that the SGS eddy viscosity turn to zero in the laminar region and the observed transition point were in good agreement with experimental data. Then the procedure of laminar separation, reattachment and transition to turbulence was successfully reproduced with relatively lower computational cost in comparison with the previous methods considered in the LESFOIL project. Furthermore, the OD model was applied for the flow around a NACA0012 airfoil in sinusoidally pitching motion. As a result, the essential characteristics including the laminar separation bubble (LSB), reattachment, the leading-edge vortex (LEV), trailing-edge vortex (TEV) and dynamic stall vortex (DSV) were observed. The angles of LSB and LEV onsets were in good agreement with experimental observation.

The result of this study revealed that the OD model was able to predict wide variety of flow physics involved in static and dynamic stalls without any additional transition model and with practical computational capacity.

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（ MOHAMAD FIRDAUS BIN ）		
	（職）	氏　名
論文審査担当者	主査　教授	梶島　岳夫
	副査　教授	田中　敏嗣
	副査　教授	矢野　猛

論文審査の結果の要旨

広範な風況で作動可能な風力発電設備の大規模な導入とともに、自然エネルギーの不安定な出力に対応した既存のタービン設備の弾力的な運用の必要性が高まっている。また、様々な用途で無人や有人の小型飛翔体の開発に拍車がかかっている。これらの分野では、安定かつ安全な作動のために翼周りの非定常流れの予測と制御が重要であり、技術開発に援用できる数値シミュレーション法が求められている。乱流の数値計算は、工学的な現象解析から工業装置の設計の広範囲にわたって実用化されているが、剥離の定量的な再現精度には課題を残している。そのため、フランス航空宇宙研究所による LESFOIL など、乱流の解析手法の高度化を目的とした国際的なプロジェクトが推進されてきた。しかし、単純な二次元翼の空力性能でさえ、既知の剥離点の近傍に非常に細かい格子を確保する必要があることが明らかになっており、剥離点が未知の場合や動的に剥離する条件での流れの予測は困難である。したがって、複雑な形状にも適用可能で、解に応じて極端な格子解像度の調整を必要としない実用的な解析方法を構築する必要がある。

本論文は、翼周りの高レイノルズ数の非圧縮乱流に対して、大規模な変動を含む条件での空力性能の実用的な予測方法の確立を目的として、1 方程式型のサブグッドスケール乱流モデルを基盤とするラージエディシミュレーションを導入し、静的および動的な剥離流れへの適用範囲の拡大を試みた結果を取りまとめたもので、以下のような成果を示している。

1．翼周りの流れの層流および乱流境界層の剥離と再付着の予測に対する既往の方法を概説して、非平衡性を考慮した渦粘性の決定、非乱流域や固体壁面での乱流モデルのふるまいの改善が必要であることを指摘し、物体適合座標系でこれらを採り入れたラージエディシミュレーションのプログラムを作成している。

2．LESFOIL プロジェクトで採択された A-profile 翼型を対象として、前縁近傍の層流剥離・再付着から乱流境界層への遷移の過程に対して、従来のように剥離泡近傍に極端な格子を集中しなくても再現可能であることを実証し、この領域ではサブグリッドスケールの運動エネルギー収支に非平衡性が強いことを示している。

3．ピッチング翼からの動的な剥離現象について、既往データのある NACA0012 翼型を対象として、層流剥離泡、失速時の渦放出がとらえられていること、前縁・後縁から渦放出が発生する迎え角が測定値とよく一致していることを示している。

以上のように、本論文は、変動条件において動的な制御を求められるタービンブレードや飛翔体プロペラなど、翼型の周りの様々なタイプの剥離をともなう流れの数値解析法を進展させた成果をとりまとめたもので、動的な条件での非定常流れに対する乱流の数値シミュレーションの実用化の進展に寄与するものである。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。