

平成 27 年 4 月 20 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560197

研究課題名(和文) 壁面近傍の渦構造特性を反映させた非定常複雑乱流解析用高性能乱流モデルの構築

研究課題名(英文) Development of an Advanced Turbulence Model for Unsteady Complex Turbulent Flow Fields Considering the Characteristics of Near-Wall Turbulent Vortex Structures

研究代表者

安倍 賢一 (ABE, Ken-ichi)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：20315104

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題の一連の研究を通して、従来の等方SGSモデルと比べて粗い格子でも高い予測精度を維持できる新しい非等方SGSモデルを開発した。また、LES/RANSハイブリッドモデルのLES領域に新たに開発した非等方SGSモデルを適用することにより、LES領域を従来よりも壁面近傍に広げることができるようになった。

研究成果の概要(英文)：An improved subgrid-scale (SGS) model was proposed by combining an isotropic linear eddy-viscosity term with an extra anisotropic term. This model has no serious negative effects on the computational stability under coarse grid conditions. Furthermore, using this SGS model, the present LES/RANS model can successfully cover a much wider range of flow domain by LES compared with the model previously proposed by our group.

研究分野：乱流工学

キーワード：数値流体力学 乱流モデリング ラージ・エディ・シミュレーション LES/RANSハイブリッドモデル
非等方SGSモデル

1. 研究開始当初の背景

乱流の予測手法として知られるラージ・エディ・シミュレーション(LES)は、ここ数十年の計算機の飛躍的な進歩に伴う許容計算コストの拡大とともに、実用化へ向けて急速に発展・普及しつつある。LES では、乱流の大半のエネルギーを保有する大きな渦を直接計算し、格子スケール以下の渦はモデル化する。それゆえ、すべての渦を計算する直接シミュレーション(DNS)に比べてはるかに少ない格子点数で乱流計算が可能であり、工学的に重要な複雑乱流・乱流伝熱場予測への適用が期待されている。しかしながら、壁面近傍ではエネルギーを保有している渦スケールが非常に小さくなるため、特に LES を高レイノルズ(Re)数乱流に適用する際の壁面近傍の取扱い方が、未だ解決されない問題として残されている。

不十分な格子解像度を用いて無理に LES を適用すると、渦構造を適切に捉えられないために、一般に乱れが弱く摩擦応力が過小予測される傾向が現れる。この傾向は、実用レベルの数値解析において「はく離の早期発生」という弊害をもたらす。例えば、高 Re 数の高揚力装置の風洞実験に対応した LES 解析を例にとると、摩擦応力の過小予測から実際には見られないはく離が計算上で発生し、揚力係数を過小予測する等の解析精度の低下をもたらしている。

このように、高 Re 数乱流場に対する LES において、壁面近傍の取扱いに関して計算コストと予測精度や普遍性のバランスが取れた高性能の数値解析技術(特に乱流モデル)は現在なお未整備であり、実用レベルの LES の普及を今後さらに加速させるためには、この問題の解決が急務である。

この問題を解決する方策として、LES を壁面近傍で RANS モデルに接続する、いわゆる「LES/RANS ハイブリッドモデル」が注目されている(例えば[1]- [4])。これまで提

案された LES/RANS ハイブリッドモデルは相応の成果をあげているが、どのような複雑乱流場でも十分な精度で予測できるモデルは未だ存在しない。今後の計算機の進歩を考慮しても、高 Re 数乱流場の壁面近傍へ LES を直接適用することは当面困難であり、LES/RANS ハイブリッドモデルのさらなる発展が切望されている。

【参考文献】

- [1] Nikitin, N.V. et al., Phys. Fluids, 12, 1629-1632, 2000.
- [2] Hamba, F., Theoret. Comput. Fluid Dynamics, 14, 323-336, 2001.
- [3] Hanjalic, K et al., Direct and Large Eddy Simulation V, 451-464, 2004.
- [4] Abe, K., Int. J. Heat Fluid Flow, 26, 204-222, 2005.

2. 研究の目的

以上のような背景に基づき、本研究では従来手法と比べて高レイノルズ数非定常複雑乱流場に対する予測性能を格段に向上させた新たな LES/RANS ハイブリッドモデルを構築・提案することを目的とする。

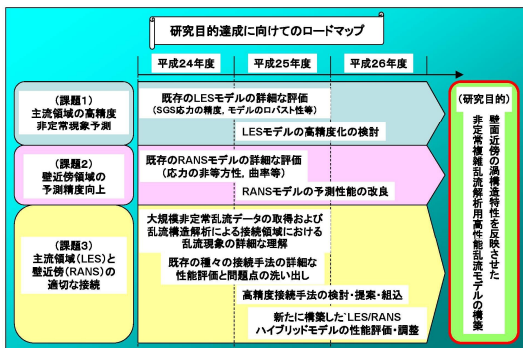
3. 研究の方法

研究目的を達成するためには、以下の主要な3つの課題を解決する必要がある。

- 課題1：まず基本的な予測性能として、主流領域の LES 解析において用いられるサブグリッドスケールモデル(SGS モデル)の予測性能のさらなる向上が必要である。
- 課題2：次に、壁面近傍では必ず RANS が採用されることから、RANS の予測性能向上も不可欠である。これにより、特に(境界層が薄くなる)非常に高い Re 数の乱流場において有効に機能することが期待できる。

- 課題3：LES/RANS ハイブリッドモデルで最も難しい課題は、LES と RANS の境界領域における普遍性の高い接続手法の構築である。そこで本研究では、LES と RANS の接続領域において、従来手法の性能を格段に高めるより適切な接続手法を新たに提案することを重要な目的の1つに位置づける。この目的達成には、接続領域の支配的な乱流構造をより詳細に理解し、さらに適切にモデル化することが必要である。

本研究目的を達成するために、下図に示すスケジュールに沿って前出の3つの主要課題を解決し、高レイノルズ数非定常複雑乱流場に適用可能な新たな高性能乱流モデルを構築・提案する。



4. 研究成果

本研究課題の一連の研究を通して、主に以下のような研究成果が得られた。

1. 従来のLESで用いられているSGSモデルの評価により、高精度化には壁面近傍の乱流構造の反映が不可欠であることが明らかとなった。そこで、スケール相似則モデルの特徴を反映させることにより、従来の等方SGSモデルと比べて粗い格子でも高い予測精度を維持できる新しい非等方SGSモデルを開発した。
2. LES/RANS ハイブリッドモデルのLES領域に新たに開発した非等方SGSモデルを適用することにより、LES領域を従来よ

りも壁面近傍に広げることができるようになった。このモデルを翼周り流れや簡易車体形状物体周り流れに適用し、従来モデルよりも格子依存性が低い計算結果を得ることが可能となった。

3. 新たに開発した非等方SGSモデルは壁面近傍の乱流構造の活動を強める能力があり、その効果により壁水平方向格子解像度が粗い場合でも予測精度を大幅に向上させたことが明らかとなった。
4. 一般的な線形モデルでは全体的にSGS垂直応力を正確に再現できなかったのに対して、スケール相似則モデルの効果を取り入れた非等方SGSモデルでは垂直成分まで含めてSGS応力をより適切に再現でき、SGS応力の非等方項はSGS応力をより適切に予測する能力を持つことが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

Ken-ichi ABE, An Improved Anisotropy-Resolving Subgrid-Scale Model with the Aid of a Scale-Similarity Modeling Concept, International Journal of Heat and Fluid Flow, 査読有、Vol.39、2013、42-52

Tadashi OHTSUKA and Ken-ichi ABE, On the Role of an Anisotropy-Resolving Extra Term for a Subgrid-Scale Model in Near-Wall Turbulence, Journal of Computational Science and Technology, 査読有、Vol.7、2013、410-425

Ken-ichi ABE, An Investigation of SGS-Stress Anisotropy Modeling in Complex Turbulent Flow Fields, Flow, Turbulence and Combustion, 査読有、

Vol.92、2014、503-525

Tadashi OHTSUKA and Ken-ichi ABE, Toward the Development of an Anisotropy-Resolving Subgrid-Scale Model for Large Eddy Simulation, Journal of Fluid Science and Technology、査読有、Vol.9、2014、DOI: 10.1299/jfst.2014.jfst0004

Ken-ichi ABE, An Advanced Switching Parameter for a Hybrid LES/RANS Model Considering the Characteristics of Near-Wall Turbulent Length Scales, Theoretical and Computational Fluid Dynamics、査読有、Vol. 28、2014、499-519、DOI: 10.1007/s00162-014-0328-3

[学会発表](計7件)

Tadashi OHTSUKA and Ken-ichi ABE, On the Role of an Anisotropy-Resolving Extra Term for a Subgrid-Scale Model in Near-Wall Turbulence, International Computational Mechanics Symposium、2012.10.9-11、Kobe

Tadashi OHTSUKA and Ken-ichi ABE, Performance of an Anisotropy-Resolving Subgrid-Scale Model for Complex Turbulence with Massive Flow Separation, IUTAM Symposium on Vortex Dynamics: Formation, Structure and Function、2013.3.10-14、Fukuoka

Osamu URUMA, Hisashi KIHARA and Ken-ichi ABE, An Improvement of Hybrid LES/RANS Model for Complex Turbulence with the Aide of an Anisotropy-Resolving Subgrid-Scale Model, 29th International Symposium on Space Technology and Science、2013.6.2-9、Nagoya

Ken-ichi ABE and Tadashi OHTSUKA, On the

Effect of an Anisotropy-Resolving Subgrid-Scale Model on Turbulent Vortex Motions, 10th International ERCOFTAC Symposium on Engineering Turbulence Modelling and Measurements、2014.9.17-19、Marbella

Masataka Takahashi, Hisashi Kisara and Ken-ichi Abe, Performance of an Anisotropy-Resolving Subgrid-Scale Model for Adverse Pressure-Gradient Boundary-Layer Flow, The Asian Symposium on Computational Heat Transfer and Fluid Flow - 2015、発表確定、2015.6.21-24、Busan

Ken-ichi ABE, Progress of an Anisotropy-Resolving Subgrid-Scale Model for Predicting Near-Wall Turbulence under Coarse Grid-Resolution Conditions, The Asian Symposium on Computational Heat Transfer and Fluid Flow - 2015、発表確定、招待講演、2015.6.21-24、Busan

Osamu Uruma, Hisashi Kisara and Ken-ichi Abe, Application of a Hybrid LES/RANS Model Using an Anisotropy-Resolving SGS Model to Turbulence around an Airfoil, ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2015、発表確定、招待講演、2015.7.26-31、Seoul

6 . 研究組織

(1)研究代表者

安倍 賢一 (ABE, Ken-ichi)

九州大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号： 20315104