



Title	数値シミュレーションによる粘性流れの解析に関する研究
Author(s)	梶島, 岳夫
Citation	大阪大学, 1986, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/397
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏名・(本籍)	梶 島 岳 夫
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	第 7251 号
学位授与の日付	昭和 61 年 3 月 25 日
学位授与の要件	工学研究科 機械工学専攻 学位規則第 5 条第 1 項
学位論文題目	数値シミュレーションによる粘性流れの解析に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 三宅 裕 教授 水谷 幸夫 教授 森川 敬信 教授 高城 敏美

論 文 内 容 の 要 旨

本研究では広範囲のレイノルズ数領域にわたりナビエ・ストークスの方程式の数値解法の確立を追求している。支配方程式は非線形で時間依存型であり、一般に解析解を得ることは不可能であるから、これを解くには数値解によらなければならない。本論文は、第 1 部の乱流域から遷移レイノルズ数域までにおける差分法による乱流渦の数値シミュレーションと、第 2 部の低レイノルズ数流れの境界要素法を拡張した層流の解析の研究から構成されている。

第 1 部では、第 1 章の序論に統いて、第 2 章で乱流の数値解法として近年有望視されている Large-eddy simulation (LES) の手法を用いて、平行平板間の乱流を計算している。まず数値計算スキームを高速化・小容量化し、現実的な計算時間内で境界層の壁近傍の渦構造までシミュレートできることを示す。その上で乱流構造の解析を行い、実験的には測定困難なデータを統計量だけではなく分布として表すことにより、従来明らかにされていない乱流の生成機構を考察しそのモデルをたてている。

第 3 章では、体積力の作用する乱流場の例として興味がもたれる回転流路の乱流に LES を適用し、この流れ場に特徴的な乱流の構造などを再現する。さらに乱流渦のレベルでコリオリ力の微視的な効果を調べ、これが乱流の生成におよぼす影響を解明している。

第 4 章では、乱流モデルを設定しにくい遷移レイノルズ数域のせん断流れを上流差分を用いてシミュレートし、この流れの構造を解析している。この結果から LES モデルの低レイノルズ数の非等方乱れへの適用の上での問題点を明らかにし、人為的な付加項を含む数値シミュレーションによる現実の流れの解析の基礎を確立している。

第 2 部ではオゼーン近似の基本解を用いた境界要素法による完全ナビエ・ストークス式の反復解法を

導く。具体例として二次元平板のまわりの流れを解析して、オゼーン近似では表し得ない高レイノルズ数域まで適用できることを示し、その有用性を確かめている。

以上、本研究を通して、非圧縮・粘性流体の広範囲のレイノルズ数域において数値解析を行い、計算法の確立の上での見通しを得ている。また、二三の計算法を最も有効と思われる流れに適用して、流れ場の構造を解析している。

論文の審査結果の要旨

近年の計算機の急速な発展に伴い、流体工学の分野においても数値シミュレーションの手法が浸透しつつあり、ナビエ・ストークスの方程式の直接積分が試みられている。数値計算は、従来解析的に取り扱い得ず、実験が困難であるために未解決であった問題を克服し、さらに流れを予測する手段として期待されている。

本論文は、このような背景から、乱流域から層流域にわたる広範囲のレイノルズ数領域における粘性流れの数値解法の追求と流れ場の構造の解明を行い、その成果をまとめたものである。主要な結果は以下のように要約できる。

- (1) LESの手法を用いた乱流の大規模渦の直接計算を行い、数値シミュレーションの有用性を確立している。また実験的には測定困難なデータの観察を通して、従来十分に解明されていない壁乱流の生成機構のモデルを提案している。
- (2) 回転流路の乱流のシミュレーションを行い、この流れ場に特徴的な乱れの構造を再現すると共に、乱流生成に及ぼす体積力の影響について乱流渦のレベルで議論してこれを解明している。
- (3) 乱流モデルの設定が困難な遷移レイノルズ数域の流れについては上流差分を適用してその構造を解析し、さらに数値計算結果と現実の流れとの一致を確かめる方法の確立に寄与している。
- (4) 層流の数値解析については、複雑な形状の物体のまわりの流れの解析に有利な境界要素法による反復解法を導いている。この解法はオゼーンの線形近似流れの基本解に基づいているが、非線形性の無視できない高レイノルズ数域まで拡張し、その有用性を実証している。

粘性流れはレイノルズ数により層流と乱流という大きく異なる状態に変化し、かつ基礎方程式は非線形で時間依存型であるから、これを統一的に扱い得る解は困難である。さらに工学的には、流れの構造の解明とともに、流体力やエネルギー損失を精度よく予測することが要求される。そこで種々の流れに対応して適切な数値計算法の整備が強く望まれている。本研究はこの課題に取り組み、広範囲のレイノルズ数域の流れを解析すると共に、特に乱流機構に関して数々の知見を加え、流体工学の発展に貢献するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。