

氏 名	い ち の せ けん い ち 一 之 瀬 健 一
学 位 の 種 類	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 17 号
学 位 授 与 の 日 付	平 成 4 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	工 芸 科 学 研 究 科 情 報 ・ 生 産 科 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	数 値 流 体 力 学 的 手 法 に よ る 乱 流 構 造 の 解 明
審 査 委 員	(主 査) 教 授 里 深 信 行 教 授 矢 田 順 三 教 授 大 住 晃 助 教 授 徳 永 宏

論 文 内 容 の 要 旨

計算機の飛躍的な進歩発展により、数値流体力学的手法により流れの挙動を解析しようという試みがなされているが、実用的な流れ場の多くはレイノルズ数が高いため乱流となり、乱流問題に対する数値計算法が必要となる。乱れエネルギー K とその散逸率 ϵ の2つの乱れの特性量を用いる $K-\epsilon$ モデルは普遍性と予測精度をある程度兼ね備えた実用的な乱流計算法として広く用いられているが、壁近傍などの低レイノルズ数効果に対する補正法（低レイノルズ数モデル）と、非等方的な流れ場に対しても普遍的に用いることのできるモデルの改良が課題となっている。これまでに、モデルに対する研究は数多く成されているが、系統的にモデルを評価した例は少ない。そこで、本研究では系統的にモデルを比較検討することによりモデルの改良の糸口を見出すことを試みた。それらを具体的に説明すると以下ようになる。

まず初めに、発達した1次元平行平板間流れに対して代表的な低レイノルズ数モデルの評価・検討を行い、予測精度に関しては壁近傍の漸近的な整合性よりも低レイノルズ数モデルで使用される減衰関数の壁からやや離れた領域における減衰作用が重要であるとの結論を得た。

次の段階としてより一般的な流れ場である2次元後方ステップ流れに対しモデルの評価・検討を行った。その結果、減衰関数の制御パラメータとしては流れ場の構造の変化に対して比較的鈍感な乱れエネルギー K よりも、敏感にふるまう渦度や散逸率 ϵ を用いた方が良いとの結論を得た。

続いて、非等方的な流れ場に対して普遍的に適用できるモデルの手掛かりを得るために、Spezialeの非等方モデル（S非等方）ならびに明・笠木の非等方モデル（MK非等方）と普通の等方渦粘性モデルの比較検討を行った。S非等方モデルを用いた場合は等方モデルよりも再付着点距離の予測精度が若干改善されるものの、速度分布などの全体的な流れ場の様子はモデル間の差異は殆ど見られなかった。レイノルズ応力に関しては、シア成分は等方・非等方のモデル間の差異は少ないがノーマル成分では差異が認められ、非等方モデルの優位性が示された。

一方、近年の計算機の著しい進歩は、Large-Eddy-Simulation (LES) や Direct-Simulation (DS) などの普遍性と予測精度に優れた乱流解析法により、乱流の構造解明を行うことを可能にした。しかし、これまでの LES や DS に用いられているスペクトル法では適応できる境界条件が限られている。そこで、本研究では高い計算精度を有し、しかも境界条件の制約がない計算方法として、高精度差分法を用い、合わせて連続の条件が自動的に満足され高精度差分法の適用が容易である渦度-ベクトルポテンシャル表示法に基づいた乱流計算手法を世界に先駆けて開発した。そして、本 LES により平行平板間流れおよび 3 次元後方ステップ流れの構造解明を行った。これらの成果を具体的にまとめると以下ようになる。

平行平板間流れの LES により、壁近傍の組織的な流れ構造であるストリーク現象が再現され、本 LES で乱流構造の解明を行えることが確認された。

3 次元後方ステップ流れの LES を行い得られたデータを元に、 $K-\epsilon$ モデルの評価を行った。その結果、 $K-\epsilon$ モデルの再付着点距離の予測精度が悪い原因が、レイノルズ応力の非等方性の評価法に問題が有るわけではなく、等方性の成分に問題があることが分かった。

さらに、LES により得られるデータにより、これまであまり明らかにされていなかった再循環領域の流れ構造の解明を行った。その結果、再循環渦は強い縦渦を伴った螺旋渦であることが分かり、2 次元流れとの違いが明確にされた。

以上のように、本研究により乱流モデルの改良の糸口となる知見が見出されたと共に、本 LES により流れの構造解明を行うことが出来たのが本研究が学術的に貢献した点である。

論文審査結果の要旨

申請者は、日本機械学会論文集に 2 編と外国雑誌に 1 編を含め合計 7 編の論文を発表しており、そのうち 2 編は申請者がファーストオーサーであり、学位の申請にたいして十分な資格があることがまず確認された。

次に申請者が研究しているテーマの重要性について検討がなされた。申請者の研究目的は、剥離を伴う乱流を、最近著しい進歩をしている数値流体力学的手法を駆使し、予測する方法を開発することにある。数値計算法として、高次精度線の方法、ベクトルポテンシャル法および計算高速化の側面から多重格子法を選択し、2 次元および 3 次元後方ステップ流れが計算され、その有効性が多くの計算結果から示され、申請者のこの方面での能力が極めて高いことが認められた。

大きな剥離を伴う乱流の例として、後方ステップ流れが計算対象とされている。申請者は数値粘性を含まない高次精度線の方法を用い、3 次元の乱流は最も簡単なチャンネル内流れに対しても数値シミュレーションは困難であるが、2 次元の後方ステップ流れは数値粘性なしに完全に計算可能であることを世界で初めて示し、乱流がカオス運動からなることを明らかにした。

次に時間平均法による乱流モデルを用いた乱流の数値シミュレーションを、平行平板間流れおよび後方ステップ流れについて行っている。計算結果は、用いた乱流モデル、計算格子数および流れの変化の激しい場所での格子の選択方法に依存することなどを多くの計算結果から導いており、多くの知

見を得ていることは高く評価された。

乱流の格子平均計算法は、現在乱流研究の最先端の研究方法であるが、この分野に於ても世界で初めて高次精度線の方法とベクトルポテンシャル法を数値計算法として適用し、平行平板乱流と後方ステップ流れにたいしてシミュレーションを行っており、時間平均法における乱流モデルの適否を判定する貴重な知見を得ていることが認められた。

このように申請者は、乱流の数値計算の分野で多大な成果をあげているが、予備審査の段階では論文をまとめる際の時間的制約のため、論文にそのオリジナリティが充分には強調されていないという指摘もあったが、本論文では充分この点が改善されており、学位論文に値すると判定された。