

Title	圧力勾配が壁乱流の構造に及ぼす影響の研究
Author(s)	太田, 貴士
Citation	大阪大学, 2005, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46017
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	おお た たが し 太 田 貴 士
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 1 9 1 1 7 号
学位授与年月日	平成 17 年 2 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文名	圧力勾配が壁乱流の構造に及ぼす影響の研究
論文審査委員	(主査) 教授 梶島 岳夫 (副査) 教授 辻 裕 教授 稲葉 武彦 教授 武石賢一郎 教授 香月 正司

論 文 内 容 の 要 旨

流れの支配方程式であるナビエ・ストークスの運動方程式を何も物理的な仮定を加えずに数値計算する DNS (Direct Numerical Simulation) の方法について、一般曲線座標における高次差分法を導入し、複雑な境界形状に適用範囲を拡大するとともに、壁乱流における圧力勾配の効果の解明に適用した。その結果から、圧力勾配が変化する場合、壁乱流に含まれているストリークや縦渦という壁乱流に特有の組織的構造がそれぞれ異なる傾向で変化することを明らかにした。さらに、圧力勾配による剥離や再層流化を伴う乱流場の予測と制御手法の開発、および、乱流モデルの高性能化のために有用な知見を得た。本論文は、数値計算法と周期的に変化する圧力勾配、順圧力勾配、逆圧力勾配の影響を受ける壁乱流の DNS の結果をとりまとめたものであり、以下の 7 章から構成されている。

第 1 章は緒論で、本研究の背景と目的について述べた。

第 2 章では、乱流の DNS の適用範囲を拡大することを目的に、高次差分法を複雑な境界形状に適合する一般曲線座標におけるコロケート格子で記述し、その計算結果の信頼性を検証した。

第 3 章では、空間発展する乱流場の DNS を実現することを目的として、流入、流出境界条件を伴う流れ場をシミュレーションするための計算手法を提案した。物理的に妥当な流れ場が再現されることを確認して、本研究の計算に利用できることを示した。

第 4 章では、流路幅が周期的に変化する波状流路内乱流の DNS を実行し、主流方向に周期的に変化する圧力勾配とそれに伴う剥離領域の存在する流れ場の解析を行った。乱れの生成が最大になる部分より下流で乱流エネルギーが最大になっている非平衡な乱流場の予測法とその適用限界を示した。

第 5 章では、順圧力勾配によって主流が加速する壁乱流の DNS を実行し、発達乱流の再層流化現象について調べた。主流の加速の効果は速度変動に直接的に作用することなく、ストリークの強度は維持し続けていたが、順圧力勾配には縦渦の維持機構を弱める効果があり、その結果として壁乱流が再層流化することを示した。

第6章では、非対称拡大流路内乱流の DNS を実施し、逆圧力勾配による乱流構造の変化の傾向を調べた。ストリークは下流まで長く存在し続けたが、縦渦は流路幅の拡大途中で早く減衰した。逆圧力勾配の影響は、乱流の組織構造の中でストリークよりも縦渦に強く作用することを示した。

第7章は結論であり、以上の研究で得られた成果をまとめて、本論文を総括した。

論文審査の結果の要旨

流体機械に関わる乱流現象を予測、制御する手法を確立するためには、圧力勾配の影響を受ける壁乱流における組織構造の特性を理解することが不可欠である。この課題に対して、近年、単純な流路形状の基本的な流れ場を対象として、数値シミュレーションによって乱流を再現することが可能になりつつあり、乱流の特徴が組織構造によって説明できることの期待が高まっている。本研究では、一般曲線座標系格子に拡張した高次精度差分解析法を用い、乱流の直接数値シミュレーション (DNS) により非平衡非定常乱流場のデータベースを構築して、圧力勾配が壁乱流の組織構造に及ぼす影響と、これに伴う層流化や剥離流れの特性を調べている。本研究の成果は以下のように要約される。

- (1) 本研究の対象である複雑な形状の流れ場を扱うため、境界に適合する一般曲線座標においてコロケート格子を用いる高次精度中心差分法を開発し、乱流の DNS の適用範囲を拡大している。また、空間発展する乱流場に対応した流入、流出境界条件を考慮した計算手順を提案している。さらに、差分近似の互換性・整合性・保存性を検証して、信頼性の高い高次精度差分法による DNS の手法を確立している。
- (2) 流路幅が周期的に変化する波状流路内乱流の DNS を実行して、主流方向の周期的圧力勾配とこれに伴う剥離領域の存在する流れ場を再現している。主流方向の周期的圧力変動による影響は壁面近くで大きく、流路中央では圧力勾配と運動量の対流が均衡することを明らかにし、周期的な圧力変動が存在する流れ場の粘性効果を近似できる簡潔な線型モデルを提案している。
- (3) 順圧力勾配によって主流が加速する壁乱流の DNS を実行して、平均速度分布とレイノルズせん断応力が減少する再層流化現象を再現している。主流の加速中には、速度ストリークの強度は維持し続けるが、縦渦の強度は急激に減少するという、乱流の組織構造の加速に対する応答性の違いを見いだしている。
- (4) 非対称拡大流路内乱流の DNS を実施して、逆圧力勾配による乱流構造の変化を明らかにしている。ディフューザー内では、エネルギー供給が停止して、ストリーク構造と渦構造が急激に衰退するが、渦構造はストリーク構造より早く消失することを見だし、逆圧力勾配の影響により乱流の組織構造が変化する機構を解明している。

以上のように、本論文は、圧力勾配が変化する壁乱流において、信頼性の高い数値解析手法を構築するとともに、大局的な流れ場の変化と乱流の組織構造の変化に関して工学的に有用な基礎的知見を提供している。この成果は、圧力勾配による剥離や再層流化を伴う乱流場の予測と制御手法の開発、および、乱流モデルの高性能化に寄与すると考えられる。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。