

氏 名	にし 西	たに 谷	とし 敏	お 雄
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)			
学 位 記 番 号	博 甲 第 62 号			
学位授与の日付	平 成 6 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	気流中におかれた変形する物体まわりの流れ場の数値シミュレーション			
審 査 委 員	(主査) 教 授 里 深 信 行			
	教 授 矢 田 順 三		教 授 齋 藤 憲 司	
			助教授 徳 永 宏	

論 文 内 容 の 要 旨

数値流体力学に於ては流体単独が示す流れ現象よりは他の物体との連成を示す問題が多く、それらをどのように一般的に扱うかという問題は数値流体力学の応用にとって重要で基本的な課題である。これは物体が流体と何らかの相互作用をしながらその境界が移動や変形を伴うような問題であり、流れによって生じる流体力により物体が移動あるいは変形を受け、その物体の移動によってさらに流れ場が変化する。このような現象が非定常的に進行するような問題である。現象の例としては、

1. 風力を受けて振動する高層ビルや橋梁まわりの流れ
2. 原子力プラントの熱交換用管群の流れによる振動問題
3. 噴流中を高速で移動する糸の挙動問題

等があり、複雑ではあるが工学的に解決したい重要な問題が多い。

そこで本研究では、このような連成問題を数値流体力学の立場から一般的に扱える手法の確立を第1の目的とした。

第2章の前半では、非定常計算の初期値として用いる定常解への収束を加速する方法として、これまでの一次元陰的残差平均法から多次元陰的残差平均法への改良を試みた。多次元陰的残差平均法への展開の際に現れるポアソン型の連立方程式の解法に陽的なブロック反復法をベクトル化した形で適用して演算を効率化した結果、全体の計算効率を低下させずに定常解への収束を加速できることを見出した。

第2章の後半では、必要な精度の結果を最小の計算時間で求めるという数値シミュレーションの基本的課題に対し、境界条件にリーマン型変数を用いた高次の遠方境界条件を用いることによって計算領域の縮小すなわち格子点数の減少により計算効率を向上させる方法を試みた。まずはじめに、飛行体や走行車両等の物体まわりの数値シミュレーションに代表されるような外部流の場合に高次の遠方境界条件を適用し、外部境界までの距離、全格子数、定常解への収束性、物理量の信頼性や全体の計算効率について検討した。次に、ダクト内気流中におかれた物体まわりの数値シミュレーションに代表される内部流の場合についても高次の遠方境界条件を検討し、数値シミュレーションにおける応用範囲を広げることを試みた。これらの検討の結果、同等の結果を得るために必要な格子点数を大幅に低減できることにより、従来からの低次の境界条件を用いた場合に比べて全体の計算効率を50～70%低減できることが示され、高次の遠方境界条件を適用することの有効性を示した。

続く第3章では、連成問題に移行する前段として、非粘性圧縮性流体中を物体単独での移動を伴う移動境界問題を取り上げ、平行移動と回転を基本運動とする楕円物体まわりの流れ場を重畳格子法を応用して

数値計算した。物体形状は基本的な楕円を選び、その物体がダクト内の様な気流中で加速、減速、迎角増加、迎角減少の基本運動をおこした場合を計算し、特に運動の初期段階における非定常挙動を明らかにした。

第4章では、圧縮性オイラー方程式に粘性項を付加した圧縮性ナビエーストークスを移動境界問題を扱える形で適用し、物体の変形を伴う移動境界問題で粘性を考慮する場合としない場合での違いを明らかにした。さらに、粘性流れにおいて運動や変形が周期的に継続しておこる場合の流れ場の挙動を検討した。その第1例として、円柱がダクト内の様な気流中で単振動を継続する場合および、円柱→楕円→円柱と変形を繰り返す場合の流れ場の挙動を異なるレイノルズ数 ($Re=320$, $Re=5000$) について解析し、レイノルズ数による流れ場の違いを明らかにした。第2例として、魚の運動を模擬して変形を継続する物体まわりの流れ場を取扱い、過去に有限体積法・非圧縮性の条件で計算された結果と有限差分法・圧縮性の条件で計算された本研究結果との違いについて考察した。

第5章では、構造と流れの連成問題の数値計算を行った。流れは非粘性圧縮性流体、構造は剛性のない弦を扱った。連成問題は、流れの方程式と構造の方程式を時間に対して交互に解いていく応用性の高い‘互い違い法’により解いた。本手法により、ダクト内気流中におかれた変形する弦のまわりの流れ場が数値計算され、圧縮性流体中で比較的複雑な変形運動がもたらす流れ場の様子が明らかにされた。

以上本研究では、非定常計算の初期値として用いる定常解への収束加速法の改良と高次の遠方境界条件を用いた計算効率の向上についてその有効性を示したのち、従来より解析されている単純な移動境界のみならず、圧縮性流体で気流中におかれた変形する物体まわりの流れ場を解明できた。同時に、流れ場が物体に作用する力の非定常な履歴過程を知ることができ、物体の変形と流れとの非定常な相互作用に関する多くの知見を得ることができた。さらに、本研究で開発した手法により構造と流れの連成問題の計算が可能であることが示され、この方法を用いて今後より複雑な連成問題解決への可能性を開くことができた。

論文審査の結果の要旨

西谷敏雄君の申請による博士論文の審査委員会に於ては、提出された資料、論文に基づき、論文内容の信頼性、独創性、新規性および工学への寄与の期待度、さらに完成度などについて慎重に審査を行った。

申請者の論文は、論文内容の要旨に述べられているように、工学的に非常に重要な問題でありながら、従来ほとんど解析が不可能であった流体の流れと何らかの相互作用をしながら境界が移動や変形を行う問題、所謂、連成問題を数値流体力学的手法により解析することを試みたものである。本論文に於て申請者は、まず、本質的に非定常な現象である連成問題の初期条件を効率的に得るための収束加速法として従来の近似因数分解法による一次元的陰的残差平均法に代わり、ブロック反復法を用いる多次元陰的残差平均法を提案し、その有効性を実証している。次に計算の効率化と結果の信頼性向上のために計算領域の遠方境界の境界条件の高精度化を試み、従来の方法と比べて飛躍的に物体から近い位置に遠方境界を設定することが可能であることを示した。さらに、これらの結果をふまえて、物体の移動・変形があらかじめ決められる場合と物体に働く流体力により初めて決められる場合の両方に対して数値シミュレーションを試み、計算法の有効性、信頼性を検証するとともに連成問題に於ける流れ場の構造に対する多くの知見を得ている。

また、内容の一部は日本機械学会論文集に申請者を筆頭著者としてすでに2件刊行されており、また権威ある国際会議の一つである第2回ヨーロッパ計算流体力学会議でも発表予定であり、その学術的な価値と信頼性が客観的に認められているとともに今後の工学上に大きな寄与が期待できる。

従って、本論文は博士(工学)の学位を授与するに値すると判定できる。