審査の結果の要旨

氏名　　石原　大輔

構造物は水や空気などの流体と常に接しており、両者の間には少なからず連成が生じる．原子力構造機器や航空宇宙構造物あるいはマイクロマシン等のように構造物の複雑化・多様化が急速に進む中で，流体構造連成現象を高精度に予測し，設計に反映させることが望まれており、流体構造連成現象の高精度の計算力学解析への期待が大きい．計算力学解析の高精度化にあたっては，一般に空間解像度を上げるためにメッシュ規模が増大し並列処理の導入が不可欠となる．ところが，流体構造連成現象は，支配方程式系の数理的性質や時定数が異なる現象を同時に扱はねばならないことから，連成現象に起因する解析の不安性にも配慮しながら空間解像度の向上を図ることが必要となる．そこで，本研究では，最も典型的でありかつ現実にも重要となる非圧縮性粘性流体と有限変形する弾性体の連成現象に着目し，その大規模並列解法に関する研究を行っている．

流体構造連成解析法は大きく強連成法，弱連成法，それらの中間的な手法（混合連成法）に分類でき，解析の安定性と大規模化の容易さ，プログラム開発効率などに関してそれぞれに得失を持つ．本研究では，構造の有限変形の取り扱いの有無や流体，構造の物性値の設定によらず，解析の安定性に優れた強連成法を基礎として，新しい大規模並列解法の研究を行っている．

本論文は，以下の 7 つの章からなっている．

第 1 章は，序論であり，研究背景と位置付けをまとめたものである．本研究で対象とする流体構造連成現象の特徴と数値解析手法に対する課題をまとめ，研究目的を述べている．

第 2 章は，従来の流体構造連成解析法について述べたものである．最初に連成解析法に関する強連成法，弱連成法，それらの中間的な手法（混合連成法）という基本分類が示され，第 1 章で述べた課題に対する流体構造連成解析法の現状が整理されている．

第 3 章においては，はじめに，本研究の基礎となる従来の強連成法に基づく流体構造連成解析手法を提示する．次に従来の強連成解法に現れる連立方程式の代数的な特徴を分析し，係数行列の共通的な性質として，非正定値性が現れること，動的解析手法の構成の仕方に応じて対称・非対称性が現れることを整理し，正定値対称行列用の共役勾配法，非正定値行列用の GMRES 法，Bi-CGSTAB 法等の反復解法を列挙した上で，通常の強連成法の定式化では共役勾配法の適用が困難であることを指摘している．

第 4 章においては，強連成法の枠組みのもとにより大規模な並列解析を実現するために、従来の強連成解法に現れる連立方程式の自由度を縮小し、同時に非圧縮性条件の処理も行って係数行列を正定値対称化し、代表的な反復解法である共役勾配法を適用する、多段階強連成解法を提案している．具体的には、弾性体自由度の縮約、流速－圧力分離、流体質量の集中化を施すことにより、連成系流体圧力ポアソン方程式の求解を中心とする多段階

求解過程を導出している．得られた解法を，流体中でステップ応答集中荷重を受ける弾性梁の解析に適用し，精度検証を行い，弾性体の有限変形に伴う流体領域の様相に関して，妥当な結果が得られることを確認している．

第 5 章では，領域分割型共役勾配法と第 4 章で提案された多段階強連成解法を組み合わせて，新しい並列強連成解法を提案し，PC クラスタへの実装を行っている．

第 6 章では，第 5 章で提案された並列強連成解法の大規模解析への適用性を評価している．PC クラスタ（16 台の Dual AthlonMP1700）上で，約 25 万自由度と約 120 万自由度の２種類の有限要素モデルに対して，68～97%という並列化効率を有することを確認している．120 万自由度の大規模問題において，領域分割数 28 の場合流体中での梁の振動 1 周期を約 185 時間で解析できることを実証している．また約 2 万自由度モデルと 25 万自由度モデルの２種類のモデルを用いて，流体中でステップ応答集中荷重を受ける弾性梁の解析を行い、自由度を増やすことにより、梁の振動先端部近傍に現われる微小渦の解像度が向上し、その結果梁振動の減衰特性が強めに評価されることを示している．

第 7 章は結論であり，本研究で得られた成果をまとめた章である．

以上を要するに，本論文は，非圧縮性粘性流体と有限変形する弾性体の連成現象に対して、強連成解法本来の解析の安定性を損なわず、より大規模な並列解析を可能にする新しい解法を構築し，その基本的な性能を検証した上で，大規模問題への有効性を示したものであり，計算力学研究および流体構造連成現象研究への進展に寄与するところが少なくない．

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる．