

論文審査の結果の要旨

氏名 澤田 有弘

本論文は旗のはためき問題の流体・構造連成力学、及びその数値解析手法の構築に関する研究であり、五章から成る。まず第1章は本研究の背景や目的を含む緒言で、第2章は流体・構造連成解析の基礎式（単一 ALE メッシュ法）、第3章は二次元の旗のはためき問題に関する研究、第4章は重合 ALE メッシュ法に関する研究、そして第5章は論文全体の結言となっている。以下、各章の概要を述べる。

第1章では本研究の緒言が述べられている。本研究では、数値解析の分野で古くから挑戦的な課題として認識されている旗のはためき問題を主要な研究対象及び解析対象とし、その二次元問題を流体構造連成現象の標準問題として確立し、本格的な三次元問題を解析可能な手法を構築することを研究目的としている。これは流体構造連成解析分野で未だ確かな標準問題が存在しないことと、本格的な三次元の旗のはためき問題を解析可能な手法が提案されていないことを背景としている。なお既存の連成解析手法に対しても、その問題点や論文提出者の見解を含め、詳細にまとめられている。

第2章では本研究のベースとなる連成面追跡型 ALE 有限要素法による流体・構造連成解析手法（単一メッシュ法）を記述している。まず 2.1 節ではテンソル解析による連続体力学に関して簡単に述べ、特に Lagrange 法, Euler 法, 及び ALE (arbitrary Lagrangian-Eulerian) 法 の概念と、有限要素離散化時の基礎となる仮想仕事式の導出がなされている。2.2 節では非圧縮性 Newton 流体の定式化と、SUPG/PSPG/LSIC 安定化有限要素法が示されている。2.3 節では弾性体の total Lagrange 法による幾何学的非線形解析手法と、旗のような薄肉構造物を離散化する四節点 MITC シェル要素の定式化が示されている。2.4 節では、流体と構造を一つの平衡方程式系として定式化する強連成定式化、およびその時間積分法が示されている。最後の 2.5 節では、流体領域の ALE メッシュの制御法が記述されている。

第3章は単一 ALE メッシュ法による二次元の旗のはためき問題の流体・構造連成解析によって構成され、本力学現象に対する研究成果が示されている。本問題は流体・構造連成問題の本質と数値解析の困難さとを共に含む問題であり、以後の重合メッシュ法の開発における確かな指針となると共に、各種の解析手法に対する標準問題となるものと評価される。特に本問題は条件に応じてはためく場合とはためかない場合とがあることが近年の実験的研究で報告されており、細糸の質量密度、細糸の弾性係数、及び流体の流速、流体の粘性係数などの影響を本数値解析によって詳細に調査することで、現象解明

を行い、また複数の有意義な知見を得るに至っている。

第 4 章では本研究の主題である重合 ALE メッシュによる流体・シェル連成問題の数値解法に関して記述されている。まず 4.1 節では既存の連成解析手法の問題点が述べられ、4.2 節にて簡単に流体・構造連成解析において最も重要となる強連成型の平衡方程式が示されている。次の 4.3 節では標準的な重合メッシュ法として境界条件をローカルメッシュとグローバルメッシュとで授受し合う方法を定義し、次に本研究で提案する immersed boundary (IB) 法の力の分散をローカルメッシュからグローバルメッシュへの重合処理に用いる重合メッシュ法（以後 OIB 法）を記述している。4.4 節においては、三つの検証用問題にて上記の解析手法の能力を比較した結果が示されている。具体的には風船が膨らむ問題を簡略化した二次元問題の解析と、紙が舞い落ちる問題の二次元解析、及び第 3 章の二次元版の旗のはためき問題の解析となっている。この比較解析によって標準的な境界条件を授受し合う重合メッシュ法を流体・構造連成問題に適用する際に問題となる点を明確にし、提案手法である OIB 法の有効性を示している。又その結果、本格的な三次元の旗のはためき問題のシミュレーションに成功し、解析結果が 4.5 節に示されている。

最後の第 5 章は本研究全体の結言であり、本研究の概要及び研究成果が示されている。まず一つ目の成果は、二次元の旗のはためき問題の現象解明に大きな貢献をしたこと、及びそれを標準問題として確立したことにある。二つ目の成果は、新たな重合メッシュ法を開発することによって、従来法では解析が不可能であったような大変形問題及び幾何学的に複雑な流体構造連成問題に対しても適用可能な手法を提案したことである。特に三次元の旗のはためき問題の解析までを可能とした点は前例の無いものとして評価される。

なお本論文は久田俊明との共同研究であるが、論文提出者が主体となって行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上により、博士（科学）の学位を授与できると認める。