

氏 名	はしもと ともひさ 橋 本 知 久
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 3 0 4 号
学位授与の日付	平成 15 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規程第 3 条第 3 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	液体中におかれた変形する物体の運動の数値計算法とその応用 (主査)
審 査 委 員	教 授 里深 信行 教 授 萩原 良道 教 授 松野 謙一 助教授 森西 晃嗣

論文内容の要旨

現在の計算流体力学における計算対象は、単純な流れ現象の問題から気液二相流、相変化、流体と物体の連成問題など複雑な現象を含む問題へと移行し、その計算手法の研究が行われるようになってきている。

そこで本論文では、流体と物体の連成問題に対する解析手法の確立を目的とする。この取り扱いにおける問題点は、物体は流体力を受けて、移動・変形するので、それに合わせて計算格子を移動・再形成する必要がある。移動する物体を取り扱うのに適している方法のひとつである領域分割や重畳格子を組み合わせた複合格子法を導入する。また、複合格子法に適合するデータ構造が必要となるため、柔軟性の高いデータ構造である一次元配列のリスト型データ構造を導入する。これらの手法に対して効率的な計算手法を組み込み、数値計算を実施する。

まず、工学において、実用上重要となってきた複雑形状を有する物体が複数存在する流れ場として、圧縮性流れの定常問題を取り上げる。ここでは、実用的で実験データが利用できる多要素翼型周りの流れ場に対して、計算コードの検証を行った。その結果、数値計算結果は実験データと良好に一致し、本手法の信頼性が確認できた。

次に、流体と物体の連成数値計算法の検定問題として、非圧縮性流れの非定常問題を取り上げる。数値計算法は圧縮性流れで採用している計算手法が適用できるように、擬似圧縮性解法を用いる。ここでは、代表的な流体関連の振動問題である渦励振動円柱周りの流れ場に対して、数値計算を実施し、実験データおよび他者の計算結果と比較して、計算コードの検証を行った。その結果、数値計算結果は実験データおよび他者の計算結果とよく一致し、本手法の信頼性が確認できた。

流体と物体の連成問題は非定常問題で、多大な計算時間を要するため、計算時間の短縮を図る必要がある。また、三次元問題では大規模計算となる。従って、これらの問題を解決するためには、並列計算が必要不可欠である。そのため、並列化手法に対する並列計算アルゴリズムの開発を実施する。提案した並列化手法に対して、並列計算を実施し、その並列化効率の検証を行った結果、本手法の有効性が確認できた。

最後に、以上の確立した計算手法を踏まえて、物体が流体中で力を受け変形する連成問題の数値計算を実施する。まず、表面が伸縮可能で内部が流体で満たされたボール（例えば、軟式テニ

スボール) に対して弾性体モデルを提案し、そのモデルの検証問題として、静止流体中での弾性体の伸縮振動および弾性体と壁との衝突問題を取り上げた。伸縮運動では減衰が存在しない振動ばねモデルでは単振動となり、その振動周期は解析値とよく一致した結果が得られた。また、壁との衝突問題では跳ね返り則や摩擦力の効果が取り込め、衝突後のボールの変形・運動過程を再現することができ、提案した弾性体モデルの有効性が確認できた。次に、流体中に弾性体をおき、流体中に対して弾性体の変形する問題を取り上げる。これまでの計算対象は、構造系の運動が支配的で流体力の影響がほとんどなく無視できるような変形する物体を取り扱ったものが多く、逆に、流体力が支配的で構造系が流体系から大きく影響を受ける計算はほとんど行われていない。ここで計算した気流中におかれた弾性体周りの流れ場では、流体力を受けて弾性体が大きく変形しながら流されていき、その移動速度が徐々に加速され、最終的に一様流速度に達すると、弾性体は流体の速度と同じ速度で移動するようになる。このとき、弾性体には流体力が働かなくなるため、初期の力が釣り合った状態に戻り、変形はもう起こらなくなる。このような現象を数値計算で再現することができたことは、工学的に大変意義のあることである。さらに、弾性体が壁と衝突する流れ場への適用を行い、流体力を受ける場合における衝突後のボールの変形・運動過程を再現することができた。このように弾性体が壁に衝突する問題を取り扱った詳細な計算例は非常に希である。今後はこの連成問題への応用として、例えば、弾性体ボールの運動の解明など様々な分野への適用が期待できる。従って、本計算手法の確立はこのような問題の解明に大きな一歩を踏み出したと言える。

論文審査の結果の要旨

本論文は、現在、コンピュータ性能の向上とともに可能となりつつあり、工学の広い分野への応用が期待される流体と変形する物体の運動との連成問題を取り扱ったものである。

まず最初に、大規模な計算を効率的に可能にするために不可欠な多重格子法の構築とその並列化に取り組み、基本的な検定問題に対して移動・変形を伴う物体の取り扱いを可能とする重畳格子法を用いて高い収束および並列加速率を達成している。

これらの成果をもとに、流体中での大きく移動・変形する内部に等温の流体を有する円柱状および球状の物体の運動を、減衰項を有する波動方程式と非圧縮性ナビエ・ストークス方程式を連立して数値計算することに成功している。この研究により得られた知見は惑星大気に突入する探査機の減速装置、突風中のセイルやバルーンの変形、球技におけるボールの運動の解析など広い範囲への波及効果が期待でき、工学への寄与は大きい。

これらの論文の内容の一部は以下の4編の査読付き論文として公表されており、他と一編が投稿中である。

論文リスト

- ・ 橋本知久、森西晃嗣、里深信行
複合格子に対する並列計算
日本機械学会論文集 (B編) 63 巻 663 号 2649 頁～2654 頁 (2001 年)
- ・ T. Hashimoto, K. Morinishi, and N. Satofuka

Parallel Computation of Multigrid Method for Overset Grid

Parallel Computational Fluid Dynamics, 167 頁～174 頁 (2002 年)

- T. Hashimoto, K. Morinishi, and N. Satofuka
Development of an Efficient Parallel Computational Algorithm
by the Data structure of One Dimensional Listed Array
Proceedings of the First International Symposium
on Advanced Fluid Information, AFI-2001 402 頁～405 頁 (2001 年)
- 橋本知久、森西晃嗣、里深信行
複合格子に対する多重格子法の並列計算における時間積分法の比較
日本機械学会に投稿中
- T. Hashimoto, K. morinishi, and N. Satofuka
Parallel Computation of Vortex-Induced Vibration of a Circular Cylinder
Using Overset Grid
Parallel Computational Fluid Dynamics, 2003 年に掲載