Osaka University Knowledge Archive

| | |
|---|---|
| Title | Simulation of two-way fluid-structure interaction using immersed boundary and finite element methods |
| Author(s) | Tuan, Mohammad Tuan Ya |
| Citation | 大阪大学, 2009, 博士論文 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/2371 |
| rights | |
| Note | |

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

【19】

| | |
|---|---|
| 氏　　名 | Tuan Mohammad Yusoff Shah TUAN YA（チュアン モハマンド ユソフ シャー チュアン ヤー） |
| 博士の専攻分野の名称 | 博　士（工　学） |
| 学　位　記　番　号 | 第　２３３６１　号 |
| 学 位 授 与 年 月 日 | 平成21年９月25日 |
| 学 位 授 与 の 要 件 | 学位規則第４条第１項該当<br>工学研究科機械物理工学専攻 |
| 学　位　論　文　名 | Simulation of two-way fluid-structure interaction using immersed boundary and finite element methods<br>（埋込境界法と有限要素法を用いた流体・構造の相互作用のシミュレーション） |
| 論 文 審 査 委 員 | （主査）<br>教　授　梶島　岳夫<br>（副査）<br>教　授　田中　敏嗣　　教　授　矢野　　猛 |

## 論 文 内 容 の 要 旨

流体と固体の運動の相互作用問題は、航空機翼や橋梁などの構造物のフラッター解析の観点から研究の歴史が長く、最近では生体に関連する流れの現象として新たな注目を集めており、より複雑な形状、より広範な力学特性を有する構造物を扱う手法に対する需要が高まっている。

本研究では、埋め込み境界法と有限要素法を結合させ、流体と構造の相互作用による連成運動を解析するための新規な数値計算法を提案した。流体の運動はナヴィエ・ストークス式に対して構造格子を用いた有限差分法で、弾性体の変形は非構造格子を用いた有限要素法でそれぞれ扱い、固体壁面での運動量交換に対しては体積力型の埋め込み境界法を適用した。まず、非圧縮流れに対する差分法の解に対して、各計算格子において流体と固体が占める体積割合で加重平均した速度が格子の代表速度となるような強制力を導入し、これを加えて固体表面の境界条件を実現した。さらに、相互作用力を固体の変形を解析するための有限要素解析の境界条件としてノードに与える方法を提案した。これらの連成解法により、可変形性の複雑形状物体の周りの流れと物体に作用する流体力を相互に求めるための計算効率が著しく向上した。本論文は次の５章と付録から構成される。

第１章では、上記のような研究の背景、意義を明らかにした。

第２章では、連成問題に対する新しい方法を具体的に述べた。まず、連成解析を２段階に分離し、第１段階に部分段階法による時間進行、第２段階に圧力補正計算を採用することにより、流体と固体の運動量交換に伴う計算の安定性を向上させる方法を提案した。さらに、固体表面の有限要素ノードから直近にある流体側の圧力定義点を探索するための簡便な方法を導出し、固体に作用する流体力の算出を高効率化した。

第３章では、一様な流れの中にある剛体翼の表面圧力分布とともに非定常渦放出の周期に対する精度、弾性柱の固有振動に対する有限要素法の精度をそれぞれ検証し、上述の要素技術の信頼性を示した。

第４章では、翼型の弾性による非定常渦放出の周期の変調など、固体の弾性が流れ場に及ぼす影響をシミュレートできることを実証した。

第５章では、以上の結果をまとめ、その成果を総括した。

加えて付録では、平板翼や円弧翼のように、ひとつの流体解析用格子に表裏の２面が存在し、固体体積率をもたない薄い物体に対する拡張法を示すとともに、第４章に関連する計算データの詳細を掲載した。

## 論文審査の結果の要旨

流体と固体の運動の相互作用問題は、航空機翼や橋梁などの構造物のフラッター解析の観点から研究の歴史が長く、最近では生体に関連する流れの現象として新たな注目を集めており、より複雑な形状、より広範な力学特性を有する構造物を扱う手法に対する需要が高まっている。本論文は、埋め込み境界法と有限要素法を結合させ、流体と構造の相互作用による連成運動を解析するための新規な数値計算法を提案したものである。その成果は次のように要約できる。

1．流体の運動はナヴィエ・ストークス式に対して構造格子を用いた有限差分法で、弾性体の変形は非構造格子を用いた有限要素法でそれぞれ扱い、固体壁面での運動量交換に対しては体積力型の埋め込み境界法を適用している。ここでは、流体の計算を 2 段階に分離し、第 1 段階で部分段階法による時間進行を実施した後に固体との運動量交換を行い、第 2 段階で圧力補正計算を採用することにより、流体と固体の運動量交換に伴う計算の安定性を高めている。

2．弾性体の変形に関しては、相互作用力（流体運動に対する埋め込み境界法で用いる体積力）を有限要素解析の境界条件としてノードに与える方法を効率化している。特に、固体表面の有限要素ノードから直近にある流体側の圧力定義点を探索するための簡便な方法により、可変形性の複雑形状物体の周りの流れと物体に作用する流体力を相互に求めるための計算効率を高めている。

3．検証問題として、剛体翼の周りの流れならびに弾性柱の固有振動に対して、有限差分法と有限要素法の精度と解像度を示している。その上で、翼型の弾性による非定常渦放出の周期の変調など、固体の弾性が流れ場に及ぼす影響をシミュレートできることを実証し、提案した解析方法の高い拡張性を示している。

以上のように、本論文は流体と固体構造物との強い相互作用を解析するための体積力型埋め込み境界法を発展させ、複雑な形状の物体や非常に柔軟な物体と流体運動の相互作用に関する適用範囲を拡大するための一つの方向を示している。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。