

Integrated Coupled Simulation for Multi-scale and Multi-physics Tsunami Analysis

その他のタイトル	マルチスケール・マルチフィジクス津波解析のための統合連成シミュレーション
学位授与年月日	2017-03-23
URL	http://doi.org/10.15083/00075703

審査の結果の要旨

氏名 三目 直登

2011年の東北地方太平洋沖地震による津波など、極低頻度だが設計基準を超える規模の津波に対し、完全な形で構造健全性を保つための耐津波設計の実現は、経済的な観点から難しい場合がある。このような場合、構造物が不可逆的な変形等を受けた場合においても、人的・経済的な損失を最小限に抑える設計が必要とされる。このような高度な耐津波設計を行うためには、流れと構造物との相互作用などを含めた複雑な連成現象を扱う必要があるが、水槽実験によって得られた経験則など、従来の方法でこれらを考慮することは容易ではないため、数値解析が有効な手段となり得る。しかしながら、波源から陸上に遡上するまでの大規模な波の挙動を解析しつつ、ターゲットとなる構造物付近には高い空間解像度を保持しなければならず、現実的な計算コストで数値解析を行うには、未だ大きな課題が残されている。そこで本論文では、粒子法による自由表面流れ解析と有限要素法による構造解析を組み合わせた流体構造連成モデルと、discontinuous-Galerkin 有限要素法 (DG-FEM) による二次元波モデルと粒子法による三次元流れ解析を組み合わせたマルチスケール波モデルを提案し、数値実験によって精度と有用性を検証した後に、大規模並列環境で動作する解析システムを構築し、提案手法の実用性を実証している。

本論文は6つの章から構成される。

第1章では、本研究の背景および目的、本論文の構成について述べられている。

第2章では、後の章で詳述される流体構造連成モデルおよびマルチスケール波モデルの数理的基礎となる、粒子法流れ解析のための explicitly represented polygon (ERP) 壁境界モデルの開発および精度検証が行われている。移動境界に対するロバスト性と計算精度の双方を保持するための定式化が提案されており、数値実験によってモデルの妥当性が検証されている。

第3章では、第2章で提案された ERP 壁境界モデルを用い、粒子法流れ解析と有限要素法構造解析とを組み合わせた流体構造連成モデルの開発および精度検証が行われている。粒子法と有限要素法とを組み合わせた既存モデルにおけ

る問題点が指摘され、それらを解決する連成モデルが提案された後、提案モデルを用いた数値実験によって精度検証が行われている。

第4章では、ERP 壁境界モデルを用い、DG-FEM による波の二次元モデルと粒子法による三次元流れ解析を用いた波のマルチスケールモデルの開発と検証が行われている。ここでは、第2章で詳述された粒子法三次元解析との間の片方向連成手法が開発され、数値実験によって、提案モデルが妥当な精度を保持しつつ、三次元解析と比較して計算コストが低く抑えられることが示されている。

第5章では、第2章から第4章までの議論で数理的基盤が構築された流体構造連成モデルおよび波のマルチスケールモデルの並列計算機環境に対応した解析システム開発が行われ、実用性を実証するための数値解析例が示されている。

第6章では結論が述べられている。

以上を要するに、設計基準を超える規模の津波や、それに伴う複雑な連成現象を考慮した耐津波設計における課題を指摘し、それらを解決するための新しい数理モデルおよび解析システムを提案している。本論文中で提案された3つの数理モデルはそれぞれ、数値実験が行われ、理論解や実験結果と比較し精度と有用性が示されている。本論文は、様々な要因によって引き起こされる津波による重要構造物の健全性を定量的に評価する上で大変有用な数理モデルを提案していると同時に、対象とする問題の性質を見極めた上で、それに適した解析システムの構築を数理モデリングから計算機システムまでの学際的な視野を持って行ったという点で、システム創成学およびレジリエンス工学分野の研究として価値が高い。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。