

学位論文及び審査結果の要旨

横浜国立大学

氏名	月野 誠
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	環情博乙第459号
学位授与年月日	令和2年9月30日
学位授与の根拠	学位規則(昭和28年4月1日文部省令第9号)第4条第1項及び横浜国立大学学位規則第5条第2項
研究科(学府)・専攻名	環境情報学府 環境システム学専攻
学位論文題目	ボクセル型構造解析による接触解析手法の開発
論文審査委員	主査 横浜国立大学 教授 山田貴博 横浜国立大学 教授 上野誠也 横浜国立大学 教授 中野 健 横浜国立大学 准教授 白石俊彦 横浜国立大学 准教授 松井和己

論文及び審査結果の要旨

ボクセル解析法は、そのメッシュ生成の容易性と高い並列性能から、機械部品や複合材料の微視構造など幅広い分野での解析に用いられている。しかしながら、解析対象をボクセルモデルで表現することにより元々滑らかな物体表面が階段状の形状で表されるため、物体間の接触を含んだ解析が困難である。本論文は、ボクセル型構造解析の枠組みで実用的に接触問題が取り扱える解析手法として、有限被覆法による線形弾性体の微小変形範囲における摩擦なし接触解析手法を開発するための理論と数値計算による計算手法の妥当性の実証をまとめたものである。本論文は、以下の全6章で構成される。

第1章「序論」では、本研究の学術的および産業応用の視点からの背景を説明し、従来のボクセル型構造解析手法および接触解析手法を概説するとともに、本研究の目的を論じている。

第2章「有限被覆法による接触問題の定式化」では、有限被覆法の定式化をまとめ、ボクセル型構造解析に適した接触拘束条件の定式化について論じている。通常の有限要素法では接触拘束条件の定式化としてペナルティ法が広く用いられているが、精度面での問題を有しており、精度を確保するためにはペナルティ係数を大きくする必要がある。一方、本研究で用いる有限被覆法のように自由度の離散化と形状表現が独立し、積分点の配置の制御が困難な場合にペナルティ法を適用すると、過拘束による数値的不安定や剛性マトリクスの性質の悪化による連立一次方程式の反復解法への悪影響などの問題が懸念される。これらを解決する手法として安定化項に対するペナルティ係数の大きさを抑制可能な Nitsche の方法に基づく定式化を導入し、ボクセル型構造解析のための接触解析のアルゴリズムを提案している。

第3章「2次元問題への適用と性能評価」では、Nitsche の方法に基づく提案手法について2次元の基本的な接触問題を用いた数値実験を行い、ペナルティ法と比較しながら、その性能評価を行っている。数値計算結果から、提案した有限被覆法による接触解析アルゴリズムの手法の基本的な有効性を確認するとともに、Nitsche の方法を用いたアルゴリズムがペナルティ法に比べて精度面および計算効率面で優れていることを示した。

第4章「3次元問題への適用と性能評価」では、提案手法の3次元問題への適用のために EBE-PCG 法と Ghost Penalty の導入を提案し、数値計算により有効性を論じている。また Nitsche の方法においては、接触応力に関する重み係数を適切に調整することにより精度改善が図れることを示した。

第5章「高速化をはじめとする実用的な問題解決のための検証」では、提案手法を実用化へ向けての高速化手法として、並列処理への適用性の検証に加え、ボクセル解析におけるメッシュ生成の容易性を生かした2段階の階層的メッシュによる接触判定の高速化のアルゴリズムを提案

し、現実的な3次元問題の数値解析を通して提案手法の実用性を示した。

第6章「結論」では、以上の検討を通して得られた本研究の結論と今後の展望をまとめている。

以上のように、本論文では近年開発された高度な数値計算の理論とアルゴリズムを適用することにより接触問題に対する実用的な計算手法を構築し、その有効性を実証したものである。したがって、本論文で得られた知見は、応力解析分野における応用面のみならず、計算力学分野の発展に寄与するものとして学術的にも高く評価できるものである。したがって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分価値あるものと審査委員全員一致で認められるものと判断した。

注 論文及び審査結果の要旨欄に不足が生じる場合には、同欄の様式に準じ裏面又は別紙によること。