

審査の結果の要旨

氏名 遊佐 泰紀

巨大で複雑な実構造物には疲労、応力腐食割れなどに起因してき裂が少なからず存在する。近年増加傾向にあると言われている自然災害などでは、構造物に過大な荷重が付与されることがある。このとき、き裂先端近傍の応力状態は線形破壊力学で評価できる範囲を超えることが予想される。したがって、き裂を有する巨大構造物の非線形有限要素法シミュレーションが構造健全性評価に有効である。しかし、実構造物モデルにき裂を導入して精緻な非線形の大規模破壊力学解析を行うにはいくつか克服すべき課題がある。き裂問題では様々な非線形事象がき裂先端近傍で顕著に表れ、一方き裂から十分に離れた領域は弾性的な挙動を示すが、通常非線形有限要素法ではこれらを分けて扱うことができない。また、大規模な非線形有限要素解析では、増分法や Newton-Raphson 法の枠組みの中で大規模な連立一次方程式を何度も解く必要がある。そこで本論文では、き裂近傍とそれ以外を別々に扱い、それらの間の応力の釣り合いと変位の連続性を反復解法で精密に満足させる解析手法を新たに提案し、提案手法を用いていくつかの数値実験を行い、その有効性を実証している。

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 章では提案手法について述べられている。まず、大規模非線形破壊力学解析向けの既存手法のサーベイが行われ、それらの長所と短所が整理されている。その過程において、大規模破壊力学解析に適した手法に対して、二つのメッシュやモデルの間の相互作用が精密に考慮されているかという意味での解の精度、そしてグローバル領域を弾性体、ローカル領域を弾塑性体とするなどの異なる材料モデルが使用できるかという意味での非線形解析の可否という二つの観点が導入されている。解の精度が良く、非線形解析が可能な手法として新たに分離型連成解法が提案されている。まずメッシュの分割方針からはじまり、分離型連成解法が数理的に説明されている。次に増分解析を伴う非線形解析向けの拡張として、増分型とサブサイクリング型の二つの分離型連成解法が提案されている。さらに分離型連成解法を用いたときの連立一次方程式求解回数を示す数理モデルが作成され、分離型連成解法を用いたときの連立一次方程式求

解回数削減やスピードアップについて定量的に考察されている。最後に本研究で使用した解析プログラムについて述べられている。

第 3 章では提案手法を用いて線形弾性力学問題の数値実験が行われている。分離型連成解法で用いる反復解法の収束性の調査が行われている。直線探索なしの記憶制限 **Broyden** 法を初期ステップ幅 0.1 で用いるのが総じて良い収束性を示すことが述べられている。

第 4 章では線形破壊力学問題の数値実験が行われている。提案手法を用いて応力拡大係数解析および弾性き裂進展解析が行われている。応力拡大係数解析では、主に精度の検証が行われている。弾性き裂進展解析では、き裂近傍の領域のみのメッシュを変化させてき裂進展が実現されている。

第 5 章では非線形固体力学問題の数値実験として、弾塑性解析および大変形弾塑性解析が行われている。弾塑性解析では、主に計算時間の検証が行われ、連立一次方程式求解回数が削減されたことで計算時間も削減されることが示された。大変形弾塑性解析では本手法の適用限界が調査され、分離型連成解法を用いても荷重の極大値までは問題なく解析できることが示されている。

第 6 章では結論が述べられている。

以上を要するに、本論文では大規模非線形破壊力学解析における課題を指摘し、それを解決するための新しい手法を提案している。複数の数値実験を通じて、線形弾性力学問題、線形破壊力学問題、非線形固体力学問題に対する提案手法の適応性と、精度、効率が検証されている。本論文は、様々なハザードに対する実構造物の構造健全性を定量的に評価する上で大変有用な手法を提案していると同時に、その手法を構築するにあたっては大規模非線形破壊力学問題を大規模問題と非線形破壊力学問題に分割した上で、それらの相互作用を反復解法で担保しながら統合するというシステム科学的なアイデアを導入しており、システム創成学や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。