

審査の結果の要旨

氏名 山口 太一

本論文は、全 6 章で構成されている。

第 1 章では、本研究の背景と課題について説明し、それを踏まえて本研究の目的を述べている。はじめに、輸送機器の軽量化における炭素繊維強化プラスチック (CFRP) の適用と、老朽化した橋梁等への補強としての CFRP の適用に関する課題について説明し、CFRP の構造解析技術の概要を示している。本研究では、繊維、樹脂、繊維樹脂界面まで個々にモデル化した詳細な CFRP の損傷解析を可能とすること、CFRP で補強された構造物の効率的な応力集中予測を可能とすることを目的としている。

第 2 章では、並列有限要素法ソルバ **FrontISTR** をシーズコードとして、大規模モデルの界面損傷解析を行える手法が提案されている。double cantilever beam (DCB) 試験の実験結果との比較から、メッシュサイズを小さくすることで実験値に近い値が得られ、約 7 千万自由度の大規模モデルにおいても界面損傷進展解析を精度良く行えることが示されている。並列有限要素法で界面損傷進展解析が行えるようになったことで、複合材料に特徴的な界面損傷について大規模モデルを用いた詳細な解析が可能となったことが示されている。

第 3 章では、複合材料の解析には不可欠なマルチスケール解析手法の一つであるズームイン法の境界条件設定を、ニューラルネットワークを利用して行える手法が提案されている。従来のズームイン法と比較して、有限要素法ソルバのプログラムを書き換えることなく利用できるシンプルな手法である。グローバルモデルを詳細なメッシュを用いて解析した結果との比較から同等の精度で構造解析が行えることが示されている。また、微小なフィレットのようにローカルモデルの一部がグローバルモデルの外側にある場合も比較的精度の良い結果が得られることが検証されている。さらに、**FrontISTR** に適用することで、繊維 1 本 1 本まで再現した大規模 CFRP モデルでの詳細な解析が可能となったことが示されている。

第 4 章では、まず、繊維樹脂界面の損傷進展解析について、マイクロドロップレット試験の実験との比較から精度の良い解析が行えることが示されている。また、繊維の破断を含めたモデルについても、フラグメンテーション試験のシミュレーションを実施し妥当な解析結果が得られることが示されている。さらに、**Open Hole Tensile (OHT)** 試験片を対象とし、繊維、樹脂、繊維樹脂界面の損傷を考慮した CFRP の損傷解析が実施されている。樹脂の損傷や、繊維樹脂の界面剥離等の詳細な評価が行われている。また、先行研究の実験で示されているように、層厚が変化したときに層間損傷への進展の度合いが変化する様子を捉えることができている。繊維、樹脂、繊維樹脂界面の損傷を考慮した詳細な損傷解析が可能となったことが示されている。

最後に、第5章では、ニューラルネットワークを用いてフィレット部の応力集中を予測することで効率的な有限要素解析を行える手法が提案されている。メッシュ分割が容易で計算時間も短い角部モデルでの解析結果から、ニューラルネットワークを用いてフィレットがある場合の応力を予測している。角部周辺の応力分布のみを入力とすることで、幅広い形状に適用することを目標としている。単純な角部とフィレット部モデルから学習データは作成されているが、学習済みニューラルネットワークは、学習に用いていない形状においても高い精度でフィレット部の応力を予測できることが検証されている。また、実形状に近いCFRPで補強された橋梁モデルにおいても、学習済みニューラルネットワークを適用し、精度良くフィレット部の応力が予測できたことが示されている。フィレット部を詳細な要素で分割した解析結果と比較して、計算時間を削減しつつ精度よく解析を行えたことが示されている。

第2章、第3章、第4章において、大規模CFRPモデルを用いた詳細な損傷解析につながる成果が得られている。樹脂や界面の改良による損傷への影響評価、層厚を変化させることによる損傷進展の影響評価等に応用できると考えられ、CFRP構造物の信頼性向上による運輸機器のさらなる軽量化につながれば、CO2削減という環境問題の解決にも寄与できると考えられる。さらに、第5章において、CFRP構造物の効率的な構造解析に向けた基礎的な成果が得られている。この技術を基に構造物をCFRPで補強した際の応力集中部への効果を迅速に評価できれば、橋梁等社会インフラの老強化という社会問題の解決に寄与できると考えられる。

なお、本論文第3章、第4章、第5章、第6章は、東京大学 奥田洋司教授、東京大学 橋本学講師との共同研究であるが、論文提出者が主体となって手法の提案、検証を行っており、文提出者の寄与が十分であると判断する。

よって本論文は博士（環境学）の学位請求論文として合格と認められる。

以上1931字