

氏名(本籍)	後藤 圭太		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第 7312 号		
学位授与年月日	平成 27 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	周期構造不連続面を有する3次元ユニットセルを用いたCFRP積層板の弾-粘塑性均質化解析		
主査	筑波大学 准教授	博士(工学)	松田 哲也
副査	筑波大学 教授	工学博士	河井 昌道
副査	筑波大学 教授	工学博士	渡部 修
副査	筑波大学 教授	工学博士	寺本 徳郎
副査	筑波大学 准教授	博士(工学)	松田 昭博

## 論文の要旨

本論文では、周期構造不連続面を有する3次元ユニットセルを使用することで、CFRP積層板の層間やフリーエッジにおける微視的な特性を考慮しつつ、その巨視的特性についても同時に解析できる手法を、時間依存材料に関する均質化理論に基づき提案した。提案手法を用いて、まず3種類の積層構成を有するCFRP積層板を対象に、その微視構造を考慮した弾-粘塑性層間応力解析を行い、層間ではCFRP積層板の微視構造に起因した高い層間せん断応力が発生することを明らかにした。つづいて、提案手法に基づき一方向CFRPの弾-粘塑性フリーエッジ解析、およびクロスプライCFRP積層板の弾性フリーエッジ解析を実施した。解析の結果、CFRP積層板のフリーエッジでは複雑な微視的応力・ひずみ場が発生し、さらにフリーエッジの繊維/母材界面では積層板内部と比較して約2倍の界面応力が生じるなど、顕著な応力集中が引き起こされることを示した。さらに、提案手法を用いてアングルプライCFRP積層板の負の積層方向ポアソン比に関する弾-粘塑性解析を実施した。本解析により、積層方向ポアソン比が弾性域のみならず粘塑性域においても負の値となり、粘塑性変形の進行に伴いその絶対値が増加することを示した。このような負の積層方向ポアソン比が生じる原因は、各ラミナの相互作用によって繊維軸直交方向に強い圧縮応力が作用し、これにより積層方向に正のひずみが引き起こされるためであることを明らかにした。最後に、提案手法に等価材料モデルを導入し、クロスプライCFRP積層板の微視的層間応力解析を効率的に行う手法を開発した。その結果、本手法は全領域にわたって微視構造を考慮した解析と比較して同等の解析精度を保ちつつ、計算時間は約1/165に短縮されたことから、本手法の有用性が確認された。

## 審査の要旨

### 【批評】

本研究は、従来の均質化理論では取り扱うことができなかった周期構造の連続性が失われる箇所を含む解析対象に適用可能な均質化解析手法を新規提案しており、これにより、CFRP 積層板の層間、フリーエッジ、および積層方向ポアソン比の弾-粘塑性特性についてマルチスケールの解析している。このような解析手法は、学術的新規性が高いのみならず、層間およびフリーエッジで発生する応力・ひずみ集中が CFRP 積層板の損傷・破壊を発生・進展させる恐れがあることを考えると、実用的にも有用な知見をもたらし得ると言える。実際、本研究は、CFRP 積層板の層間およびフリーエッジにおいて、顕著なマイクロ応力集中が発生することを見出している。このような解析結果は、繊維と母材からなるマイクロ構造を陽に考慮しなければ得られない結果であり、本研究独自の成果である。さらにこれらの内容は、CFRP 積層板の微視的損傷進展解析等への応用も可能であり、高い将来性が見込まれる。

また、CFRP 積層板の積層方向ポアソン比が積層構成によって負となるという現象は、弾性域では確認されていたが、非弾性変形の進行に伴ってその値が大きく減少する（絶対値が増大する）ことはこれまで知られておらず、通常このような挙動を示す物質は存在しないため、力学的観点から非常に興味深い。加えて本研究は、そのメカニズムまで詳細に明らかにしている点が評価される。これらの新規性が認められ、この内容は、当該分野で最高の Impact Factor (5.971) を有する *International Journal of Plasticity* に掲載されている。このような解析は、CFRP 部材のボルト止め等におけるはめ合わせの問題や、高度な寸法精度が要求される宇宙機用 CFRP 部品等の設計に新たな知見をもたらすものと考えられ、有用である。ただし、その実験的検証は途上であり、今後さらなる取り組みが望まれる。

以上より、本研究は学術的・工学的に新規性・有用性が高いと認められる。

### 【最終試験の結果】

平成 27 年 2 月 6 日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

### 【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。