

氏名	久保 凱				
学位の種類	博士(工学)				
学位記番号	博甲第9421号				
学位授与年月日	令和2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	織物複合材料のマルチスケール損傷/粘塑性/熱特性 解析手法の開発と実証				
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	博士(工学)	磯部	大吾郎
副査	筑波大学	准教授	博士(工学)	松田	昭博
副査	産業技術総合研究所	主任研究員	博士(工学)	中住	昭吾

論文の要旨

本論文では、織物複合材料の損傷/粘塑性/熱特性の推定精度向上および工学的実用に値する計算効率を実現するために、メゾ構造における織構造、ならびに積層ずれやネスティング、さらにはメゾ構造内部のマイクロ構造を陽に考慮しつつ、ユニットセルの形状や境界条件を工夫するなどして解析領域を低減し、その上でメゾ/マイクロ構造を連成した均質化解析手法を開発している。さらに、その手法を用いて、織構造および構成材料が異なる織物複合材料の損傷、弾-粘塑性および熱特性解析を、積層ずれやネスティングを考慮した上で実施し、その影響を調査している。まず2章において、本研究の基礎となる均質化理論の説明と数値解析手法の説明を行っている。次に3章において、積層ずれを有する平織、2×2綾織および5本朱子織複合材料の新規ユニットセルを提案するとともに、織物複合材料の主軸方向負荷を想定した損傷進展解析手法を開発している。開発手法を用いて平織、2×2綾織および5本朱子織複合材料の損傷進展過程およびその織構造依存性・積層ずれ依存性を議論している。つづいて4章において、織物複合材料の非主軸方向負荷挙動を取り扱うべく、ネスティングおよび積層ずれを有する平織複合材料のユニットセルと境界条件を新規提案するとともに、繊維束内部の繊維/母材を陽に考慮した熱弾-粘塑性トリプルスケール均質化理論を開発している。開発手法を用いて、ネスティングを有する平織複合材料の弾-粘塑性解析と実験結果との比較、構成材料および織構造が異なる織物複合材料の弾-粘塑性トリプルスケール解析と実験結果との比較を行っている。さらに5章において、トリプルスケール均質化理論に基づき熱履歴を受ける平織複合材料の熱膨張解析を実施し、実験結果との比較を行うとともに、材料内部に発生する熱残留応力・ひずみについて評価している。最後に6章において、本論文の総括として各章のまとめおよび結言を述べている。

審査の要旨

【批評】

本論文は、代表的かつ最も実用性の高い織物複合材料である平織／綾織／朱子織複合材料に対して、いくつかのマルチスケール理論・解析手法を新規提案するとともに、実験的検証も行っている。まず、織物複合材料のマルチスケール解析に必須となるユニットセル（解析領域）を、従来手法より大きく低減することに成功し、これは織物複合材料が内部において任意の積層ずれを有する場合にも適用可能である。この手法を用いれば、解析コストを従来の数分の一から数十分の一程度にまで低減しつつ、織構造依存性・積層ずれ依存性を考慮した織物複合材料の特性解析を実施できる。また本論文は、内部において織布が互いに入り組んだネスティング構造を有する織物複合材料に対しても、新規ユニットセルの開発に成功している。従来は、ネスティングを有する場合の織物複合材料においては、そのユニットセルを作成することに困難を伴っていたが、提案手法を用いれば、ユニットセルの作成自体も容易となる上に、非常に小さい解析領域で解析が可能となる。さら本論文は、織布を構成する繊維束の内部における繊維と樹脂母材からなるマイクロ構造を陽に考慮可能なマルチスケール理論の構築に成功するとともに、実際に織物複合材料を用いた引張試験や熱膨張試験を実施し、理論の実験的検証にも成功している。今日、低炭素社会の実現に向けて、軽量・高強度である織物複合材料は不可欠な材料となっており、その各種特性の高精度予測は重要な課題となっているから、本論文の成果はいずれも高い工学的価値を有すると言える。以上から、本論文は学位論文として十分な内容を含んでいると判断できる。

【最終試験の結果】

令和2年2月12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。