

Title	損傷力学に基づくミクロ-マクロ連成解析手法の提案とそれを用いた織物複合材料の力学的特性評価に関する研究
Author(s)	井村, 真
Citation	大阪大学, 2007, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/48578
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 ＜a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed >大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	井 村 真 ^{まこと}
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 2 1 2 4 6 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 19 年 3 月 23 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科ビジネスエンジニアリング専攻
学 位 論 文 名	損傷力学に基づくミクロマクロ連成解析手法の提案とそれを用いた 織物複合材料の力学的特性評価に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 座古 勝 (副査) 教 授 豊田 政男 教 授 佐藤 武彦 教 授 山本 孝夫 助教授 倉敷 哲生

論 文 内 容 の 要 旨

複合材料の力学的特性を評価するために、塑性力学と損傷力学を有限要素法に適用した新たなマルチスケール手法を提案すると共にその手法を構造材料として注目されている織物複合材料に適用し、その有効性を示した。特に、織物複合材料の剛性と強度特性に及ぼす織物形態の影響解析を研究課題とし、織物複合材料を使用した構造物の安全性・信頼性向上のため、繊維束中に発生する母材亀裂や母材の塑性変形による亀裂進展の影響把握を重視した。

繊維束中の繊維-母材界面特性を把握するには、その母材部の亀裂発生・進展挙動解明が重要であるが、現在までのこれらに関する解析研究は、繊維（直径数ミクロン）に比して大きい寸法を取り扱う解析もしくは繊維単体のみを取り扱う解析が主である。また、織物構造の複雑な幾何形状のため、負荷時には局所的に高ひずみ・応力が発生することから、母材亀裂の発生・進展挙動は織物構造により異なることが予想される。このような解析には織構造全体と繊維径を同時に取り扱う解析が必要であるが、そのような解析手法は確立されていないのが現状である。現時点で期待される手法として、重合メッシュ法や均質化法がある。しかし、一様ひずみ場でない織構造のマクロスケールとそれを構成している繊維のミクロスケールのスケール間を理論的に誤り無く取り扱う手法ではないことから本研究には適用不可能である。

かかることから、マクロとミクロ間のスケール差の大きな場合に適用できるマルチスケール解析手法の提案と、それを用いて織物複合材料の剛性及び強度特性を解明することを研究目的とした。

論文は 6 章構成とし、第 1 章では、緒言として織物複合材料の力学的挙動解析に必要なマルチスケール法について記述した。

第 2 章では、マクロ・メゾ・ミクロ 3 つのスケールからなるマルチスケールを取り扱うモデリング手法と解析手法について記述し、マルチスケール強度解析手法の概念を示した。

第 3 章では、織物複合材料や繊維基本配列の材料的特性や幾何形状などから発現する周期的連続性を解析するため、これらを解析可能なマルチスケール解析手法を新たに構築し、解析手法としての計算精度及び適用限界について考察し、知見をまとめた。

第 4 章では、その理論的根拠がすでに示されている弾塑性力学及び損傷力学を導入し、マルチスケール強度解析手

法を新たに構築し、応力-ひずみ履歴のスケール間の整合性、計算精度及び適用限界について考察し、知見をまとめた。

第5章では、提案手法を適用した繊維複合材料積層板の挙動解析について記述した。その解析対象及び条件に相当する実験結果との比較から、提案手法の有効性を検証し、繊維複合材料の剛性及び強度特性を解明し、得られた知見をまとめた。

第6章では、各章で得られた知見をまとめ、結言とした。

論文審査の結果の要旨

本論文の目的は、成形性に富む繊維複合材料の剛性と強度特性に及ぼす繊維形態の影響を解析可能とする手法の開発にある。特に、繊維複合材料を適用した構造物の安全性・信頼性評価のため、構造全体（メートル領域）の解析と同時に繊維束中に発生する母材亀裂（ミクロン領域）や、母材の塑性変形による影響把握を解析可能とする有限要素法構築を目的としている。

従来の有限要素法による繊維複合材料の構造解析では、要素寸法は繊維寸法の数千倍となるのが主である。しかし、繊維束中の繊維-母材界面などの力学的特性を把握するには、ミクロスケールで力学的挙動解明が必要である。また、繊維構造は繊維束のうねりや交差を有することから、一様な負荷状況下でも局所的なひずみ・応力分布は、場所により異なる。そのため、母材亀裂の発生・進展挙動は、繊維構造に依存すると予想される。このようなスケール間の差を理論的に誤り無く、その整合性を保つ解析手法として、重合メッシュ法や均質化法が開発されているが、解析が非効率である上に応力-ひずみ履歴の概念が導入されていないなどの問題点がある。

そこで、本論文では、これらの問題点を解決するための新たなマルチスケール強度解析手法を提案すると共に、それを用いて繊維複合材料の剛性及び強度特性を解明し、その有用性を示している。スケール差を取り扱うために、マクロ・メゾ・ミクロの3つのスケールからなるマルチスケール強度解析手法（ M^3 法）を提案している。特に、解析精度を向上させるため、等価物性値を適用する階層化モデリング手法と、 M^3 法を適用するマルチスケール解析手法、これら2つを連成する新たな解析手法を提案しているところに独創性がある。また、 M^3 法に弾塑性力学及び損傷力学を導入し、亀裂進展などの解析を可能としているところに新規性がある。

これらの手法による解と詳細なモデルによる解析結果との比較を行い、提案手法の解析精度及び適用限界を考察すると共に手法の妥当性を確認している。さらに、実験結果とも比較し、有効性を実証している。

かかるように、本論文は、マクロ・メゾ・ミクロの3つスケールからなるマルチスケール強度解析手法の提案と、それを用いた繊維複合材料の力学的特性に関する研究をまとめたものである。

提案手法は、構造全体の巨視的な解析を行いつつ界面などの微視的な解析を可能とし、加えて、各スケールでの損傷進展挙動も解析可能としていることは、繊維複合材料を適用した構造物の安全性・信頼性評価工学に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。