OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	繊維強化複合材料の損傷形態のモデル化とそれを用いたAEシミュレーション
Author(s)	上辻, 靖智
Citation	大阪大学, 1998, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3144109
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

【 2 】

氏名	上辻靖智
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	第 14045 号
学位授与年月日	平成10年5月29日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科生産加工工学専攻
学位論文名	繊維強化複合材料の損傷形態のモデル化とそれを用いたAEシミュレーション
論文審査委員	（主査） 教授 塵古 勝 （副査） 教授 豊田 政男　教授 小林紘二郎

論文内容の要旨

本論文は，繊維強化複合材料の損傷形態をモデル化した後，それを基に構成則を導出し，損傷機構を解明するための有限要素解析手法の確立ならびにそのプログラム構築と，AE（Acoustic Emission）試験での損傷評価を支援するためのAEシミュレーション法の提案を目的としたものであり，全5章より構成されている。

第1章は緒論であり，本研究の背景及び研究目的について記述している。

第2章では，一方向繊維強化複合材料および織物複合材料を対象として，三次元有限要素法に基づく損傷進展解析手法について述べている。繊維強化複合材料で発生する損傷を，繊維破断や繊維直角方向き裂などに基づく損傷と積層界面や樹脂部内のき裂に基づく損傷に大別している。前者は繊維束内で発生する異方損傷であるため，損傷モデルとして均質直交異方性体を提案し，後者は層間はく離や繊維束-マトリックス界面はく離と繊維束を取巻くマトリックスの損傷に分けられるが，いずれの損傷も樹脂内に発生するので，損傷モデルとして均質等方性体を提案している。また，前者の異方損傷では，損傷後の力学的特性が損傷方向により大きく異なることから，さらに直交異方性の主軸方向に対応して4つの形態に分類し，各形態に対して損傷構成則を損傷力学に基づき導出している。また，三次元有限要素解析にこれを導入するため，損傷発生後の応力再配分の影響を考慮した変位増分法に基づく非線形解析手法を考案するとともに開発した損傷進展解析プログラムについて記述している。

第3章では，主軸引張荷重に対する目抜平織単層材の損傷進展挙動を評価している。試験片平面内の損傷進展をCCDカメラにより観察し，負荷直角方向き裂などの発生および進展を確認している。また，試験片側面の詳細な損傷進展をSEMにより観察し，繊維束内やマトリックスにおけるき裂進展を把握している。さらに，これらの試験に対して開発したプログラムを用いて損傷進展解析を行い，損傷観察試験結果と比較している。解析により得られた損傷状態と観察結果が良く一致し，モデル化と開発プログラムの妥当性を確認している。

第4章では，AE試験による相対的損傷評価を支援することを目的として，損傷進展解析によるAEシミュレーション手法を提案している。適用例として，中央にノッチを有する積層材の損傷進展を解析し，AE試験結果と比較検討している。その結果，検出波の最大振幅分布などAE特性の定性的な予測，評価が可能であると述べている。また，AE

試験と数値解析の併用化により複合材料に対し損傷発生箇所，損傷形態の同定が可能となる計算機援用AE技術を提案している。

第5章では，以上で得られた知見を総括し，本論文の結論としている。

論文審査の結果の要旨

繊維強化複合材料は，主構造部材として使用されているが，その損傷機構を解明し得る数値解析手法は未だ確立されていない。繊維強化複合材料は顕著な異方性を示すほか，繊維破断，マトリックスき裂，はく離など種々の損傷が併発するので，それらの損傷に対応した構成則の導出が困難なことがその主な理由である。一方，AE法は，損傷の動的計測に有効とされていることから，AE法を用いて実験的に損傷機構を解明することが数多くの研究者によって試みられている。しかし，検出波と損傷の定量的関係が把握できないため，損傷の大きさや損傷形態などの定量的評価はAE法では困難であるとされている。そこで，使用中の検査も含め，損傷の大きさや形態などの評価を支援するAE特性評価手法の確立が構造物安全性の観点から望まれている。また，繊維強化複合材料の損傷機構を解明し得る数値解析手法の開発も切望されている。

本研究は，繊維強化複合材料の損傷を多くの実験結果を基に4つの形態に分類，モデル化し，種々の損傷に対する損傷構成則を導出した後，それを組み込んだ有限要素解析プログラムを構築し，それを用いて繊維強化複合材料の損傷機構を解明したものである。また，AE特性評価が行えるAEシミュレーション手法を提案したものである。その成果の要約を次に示す。

(1)一方向繊維強化複合材料，織物複合材料およびこれらの積層材料を解析対象として，これら材料内で発生する損傷を観察結果に基づき繊維破壊，繊維直角方向破壊，せん断破壊，マトリックス破壊などの損傷形態に大別し，それぞれの形態に対し損傷力学に基づいて損傷構成則を導出している。

(2)各損傷形態に対する損傷構成則を三次元有限要素解析に導入し，損傷発生後の応力再配分過程を考慮した変位増分解法を考案し，損傷進展に伴う非線形挙動を解明し得る数値解析手法を開発している。

(3)異方損傷，界面損傷，等方損傷のすべての損傷発生を伴う織物複合材料に対して，引張負荷時の損傷進展解析を行い，複雑な損傷進展挙動を明らかにしている。また，CCDカメラおよびSEMによる引張負荷時の詳細な損傷観察を行い，解析結果との良い一致を確認し，開発した損傷進展解析手法の妥当性を示している。

(4)AE試験による相対的損傷評価を支援することを目的として，損傷進展解析を用いた独創的なAEシミュレーション手法を提案している。適用例として，中央にノッチを有する積層材の損傷進展およびAE特性を解析し，損傷発生数や各損傷形態の振幅特性を解明するほか，損傷進展によるAE波検出能力の低下，各損傷形態の振幅特性の類似性などを指摘し，提案するAE特性評価手法の有効性および必要性を示している。

以上のように，本論文は，繊維強化複合材料で発生する種々の損傷形態を体系的に分類し，損傷形態に応じた損傷構成則を導出し，損傷発生後の応力再配分過程を考慮した非線形有限要素解析手法を開発したものである。また，AE試験による損傷評価を支援するため，開発した損傷進展解析に基づくAE特性評価手法を構築している。このように，複雑な損傷挙動を示す繊維強化複合材料に対し，その損傷の体系化と損傷機構の解明を行っており，生産加工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。