

氏 名	すぎもと けんいち <b>杉 本 健 一</b>
学位(専攻分野)	博 士 ( 学 術 )
学 位 記 番 号	博 甲 第 3 9 2 号
学 位 授 与 の 日 付	平成 17 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規程第 3 条第 3 項該当
研 究 科 ・ 専 攻	工芸科学研究科 先端ファイブロ科学専攻
学 位 论 文 題 目	織物強化複合材料の微視的損傷の発生および進展挙動に関する研究 (主査)
審 査 委 員	教授 濱田泰以 教授 岩本正治 教授 荒木栄敏 助教授 横山敦士

### 論文内容の要旨

本論文の目的は、その優れた力学的特性と取扱い性により多く用いられている、織物を強化形態とした複合材料について、強度と比較して極めて低い応力で発生する微視的損傷発生応力を実用上の使用限界と見なし、微視的損傷の発生と進展挙動を解明することである。その上で、微視的損傷を抑制するための方策について検討している。

第 2 章では、ガラス纖維織物強化複合材料の微視的損傷の発生応力を、強度設計における許容応力とすることの有効性を確認することを目的として、静的引張負荷と引張疲労負荷後の残留特性について検討した。その結果、微視的損傷発生応力よりも低い疲労負荷における残留強度は、静的負荷により得られる値と同等であることから、微視的損傷発生応力が強度設計における許容応力の指針となる可能性が示唆された。

第 3 章では、1 層平織物強化複合材料中のクリンプ率やアスペクト比といった織構造パラメータが、引張負荷下における微視的損傷の発生・進展挙動に及ぼす影響について検討した。纖維束のクリンプ率が異なると、それと直交する纖維束に生じる微視的破壊様相が異なることが確認され、有限要素法による数値解析からもこれを裏付ける結果が示された。さらに織物交差部における局所的な面外変形が数値解析の結果より示され、このことは実験からも明らかにされた。この面外変形挙動は、材料内部の応力分布状態ならびに微視的損傷の発生に影響を及ぼすことが明らかとなつた。

第 4 章では、織構造パラメータであるクリンプ率とアスペクト比を考慮した微視的損傷発生の抑制を目的として、朱子織物および開纖織物を強化形態とした複合材料における微視的損傷の発生・進展挙動について検討した。いずれの強化形態においても、クリンプ率の減少およびアスペクト比の減少は局所的な面外変形を軽減し、その結果、微視的損傷の発生を抑制する効果が示された。

第 5 章では、微視的損傷の発生を抑制することを目的として、材料設計的な観点から、汎用樹脂と比較して高じん性、低弾性率を有する柔軟性樹脂を用いた複合材料の高じん化による微視的損傷の発生・進展挙動について検討した。柔軟性樹脂による複合材料の高じん化の手法として、汎用のマトリックス樹脂と柔軟性樹脂をブレンドすることによるマトリックス樹脂の高じん化に

加え、纖維/樹脂界面相の高じん化の 2 つを試みた。両手法において、弾性率や強度といった力学的特性を低下させることなく、微視的損傷の発生・進展を抑制する効果が確認された。

第 6 章では、炭素纖維を用いた平織物、綾織物、朱子織物について、それぞれの微視的損傷の発生・進展挙動について比較・検討した。同じ纖維束から構成されているこれらの 3 種類の織物は、ガラス纖維の場合と同様に、織形態によりその力学的特性、微視的損傷の発生・進展挙動が変化することが確認された。綾織物や朱子織物に関して、積層構成により変化する積層板内部の残留応力が衝撃特性に影響を及ぼすことが明らかとなった。

### 論文審査の結果の要旨

本論文では、織物強化複合材料に関して、荷重負荷の初期に生じる微視的損傷発生応力を実用上の使用限界と見なし、微視的損傷の発生と進展メカニズムについて検討している。疲労負荷応力が静的負荷において微視的損傷が発生する応力より低い場合、その残留特性はバージン材と同等であり、逆に静的負荷において微視的損傷が発生する応力より高い場合、残留特性が低下することを明らかとしており、したがって、静的試験において微視的損傷を評価することにより、疲労限度を推定できることを示した。

織物を構成する纖維束のうねりや断面形状、織密度を定量的な織構造パラメータとして定義し、この織構造パラメータが微視的損傷発生・進展メカニズムに及ぼす影響について検討している。その結果、単純な面内引張負荷を受けた織物強化複合材料においても、纖維束のクリンプにより交差部において面外変形が生じ、微視的損傷であるトランスバースクラックが生じやすくなることを明らかにした。そして、この面外変形を抑制するための積層構成や織構造について検討し、纖維束のクリンプを低減することによりトランスバースクラックが抑制されること、さらに、複合材料中の界面を高じん化することにより、微視的損傷を抑制できることを示している。このように、織物強化複合材料について、その微視的損傷の重要性について述べ、その発生・進展メカニズムを明らかにし、抑制効果について言及していることから、学術的にも、そして工業的にも極めて意義深いものといえる。

本論文の内容は、投稿中も含めて以下の 6 報に報告されており、そのうち申請者を筆頭著者とするものは 5 報である。

1. 杉本 健一,長田 稔子,梶岡 信由,仲井 朝美,濱田 泰以,機能性界面相を有するガラス織物/エポキシ複合材料の引張初期破壊に関する研究,日本複合材料学会誌,Vol.30,No.1(2004),16-23.
2. 越智 昭公,杉本 健一,仲井 朝美,濱田 泰以,樹脂ハイブリッド複合材料の機械的継手の力学的特性,日本複合材料学会誌,Vo.30,No.6(2004),243-253.
3. 杉本 健一,仲井 朝美,濱田 泰以,疲労負荷を受けた織物強化複合材料の微視的損傷発生・進展挙動,日本複合材料学会誌(投稿中)
4. Kenichi Sugimoto,Asami Nakai and Hiroyuki Hamada,Effect of phase shift on damage initiation and local deformation state of woven composites,Composites Part A(投稿中)
5. Kenichi Sugimoto,Asami Nakai and Hiroyuki Hamada,Micro damage initiation behavior of satin woven fabric composites,Composites Part A(投稿中)

6. Kenichi Sugimoto,Toshihide Sugahara,Asami Nakai,Hiroyuki Hamada,Fracture propagation behavior of spread fiber woven fabric composites ,Composites Part A(投稿中)

また、本論文の内容に関して、申請者は以下に示すように、国際会議において発表し、プロチーディングに論文が掲載されている。これらは、この2件の他8件で合計10件となる。

1. Kenichi Sugimoto,Asami Nakai and Hiroyuki Hamada,STUDY ON THE FAILURE INITIATION OF COMPOSITE MATERIAL WIHT FUNCT10NAL INTERPHASE, Proceedings of 14<sup>th</sup> International Conference of Composite Materials(ICCM-14),California, USA,14-18 July2003,(論文番号#1877,10ページ).
2. Kenichi Sugimoto,Miyako Inoda, Tatsuro Fukui,Asami Nakai and Hiroyuki Hamada, Mechanical Properties of Knitted Composites with Functional Interphase,Proceedings 8<sup>th</sup> Japan International SAMPE Symposium & Exhibition,Tokyo,18-21 Nov.2003, pp.1177-1120.

以上の結果より、本論文の内容は十分な新規性と独創性、さらに工業的な意義があり、博士論文として優秀であると審査員全員が認めた。