

氏 名	いち はし ひで き 市 橋 秀 樹
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 71 号
学位授与の日付	平成 7 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科・専 攻	工学科学研究科機能科学専攻
学 位 論 文 題 目	繊維強化複合材料の界面の特性と微視的損傷の発生に関する研究
審 査 委 員	(主査) 教 授 前川善一郎 教 授 小西 孝 教 授 自念榮一 教 授 大田陸夫

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、最初に繊維強化複合材料の繊維の表面処理が繊維／マトリックス界面の接着性に与える影響を検討し、つぎに繊維強化複合材料の微視破壊発生に及ぼす繊維の表面処理の影響を調べ、さらに微視破壊に影響を与える界面以外の因子についての検討を行ったものであり、緒論、結論を含む全 9 章から構成されるものである。以下に各章の内容を示す。

第 1 章の緒論では、本研究の背景と目的を説明している。

第 2 章では、マトリックスとして樹脂を用いた繊維強化複合材料の繊維／樹脂界面の力学的特性を評価するにあたり、繊維を樹脂中に埋め込み引張試験を行う単繊維埋蔵引張試験を取り上げ、最初の繊維の破断から界面の接着性を評価する指標として界面伝達効率を提案している。本手法は接着性の評価を引張の初期で生じる破断から求められるため試験片の強度などの影響を受けず、界面伝達効率は広い範囲の材料系に対して界面の評価が可能であることを明らかにしている。

第 3 章では、第 2 章で提案した界面の評価手法を用いて、ガラス表面に形成するシランカップリング剤の分子構造が界面の接着性にもたらす効果を調べている。具体的には、ガラス繊維／エポキシ樹脂界面の特性に対するシランカップリング剤の種類、シランカップリング処理の処理濃度と加熱条件さらに物理吸着シランの影響を界面伝達効率を用いて評価し、界面の接着性に関する実験結果を明確に説明している。

第 4 章では、繊維強化複合材料の微視破壊の発生を画像処理を用いて検出し、微視破壊が発生し始める応力（初期微視破壊応力）を評価する方法を提案している。さらにこの方法をアコースティックエミッションを用いた微視破壊の検出法と比較し、本手法の有用性を示している。

第 5 章では、第 4 章で提案した画像処理を用いた微視破壊検出法を用い、平繊維複合材料に対し、第 3 章と同じく表面処理法を変化させ初期微視破壊応力を測定している。その結果、シランカップリング処理の違いによる初期微視破壊応力の変化は界面伝達効率とほぼ同様の傾向が得られ、微視破壊の発生は界面の接着性にほぼ依存していることを見出している。

第 6 章では、繊維の形状が微視破壊の発生に与える影響を調べている。その結果、引張方向に配向する繊維束の屈曲と繊維束同士の間が存在する樹脂リッチ領域の大きさによって初期微視破壊応力の絶対値が変化することを明確にしている。

第 7 章では、破壊靱性値が異なる樹脂をマトリックスに用い、3 種類の異なる表面処理について初期微視破壊応力の測定を行い、樹脂の破壊靱性が微視破壊の発生に与える影響を調べている。その結果、微視破壊の発生挙動は樹脂の破壊靱性には影響されず界面の接着性に依存し、発生以後のき裂の進展の破壊靱性に依存することを見出している。

第8章では、界面の力学的特性を考慮した繊維強化複合材料の有限要素法を用いた解析手法を提案している。この手法を用いて第4章で行った引張負荷方向による微視破壊発生挙動の変化、および第6章で行った繊維の形状の違いによる初期微視破壊応力の変化を解析している。その結果、負荷方向の違いと界面の強度の変化に対応する微視破壊の発生箇所の変化、および繊維の形状の違いにより界面強度が初期微視破壊応力に与える影響が変化する様子が示され、実験の結果と良い一致を得ている。

最後に第9章の結論では、各章の結果をまとめ、界面の接着性と微視破壊の発生のメカニズムの概念をまとめている。

論文審査の結果の要旨

繊維強化複合材料に生じる微視破壊の存在は複合材料の巨視的な弾性率の低下、疲労強度の低下、耐環境性の低下を引き起こす原因となる。本論文では微視破壊の発生に特に影響を与える要因として繊維／樹脂界面の接着性に注目し、界面の接着性と微視破壊の発生の関係を明らかにしている。

最初に、繊維強化複合材料の繊維／樹脂界面の接着性を評価する手法として、単繊維埋蔵引張試験を用いて最初の繊維破断から測定を行う界面伝達効率なる評価指標の提案を行っている。従来、繊維／樹脂界面の接着性は、的確に評価する方法が確立されておらず、解明が急がれていた分野であるが、この手法を用いることによりぜい性から延性までの力学挙動を示すマトリックスをもつ複合材料の界面評価が行えるようになり、その実用的効果は非常に大きく、国内外からも高く評価されている。

つぎに、本手法を用いて、ガラス繊維表面に対し種々のシラン処理をほどこし本材料の界面特性を体系化したことも本材料の材料設計における有用な指針を与えるものである。さらに、汎用性の高い平織物複合材料に対し、種々のシラン処理の影響を調べ、界面特性と微視的損傷の関係を明確にしているが、この結果は本材料の力学的特性の向上に大いに寄与するものである。以上のように繊維強化複合材料の界面特性を実験および理論的見地から系統的に取り扱った研究成果は高く評価できる。

以上の諸結果は日本機械学会誌、日本接着学会誌、繊維学会誌に各一編が掲載され、レフリ制度のある国外の学術誌である J. Materials Science、Composite Science and Technology、Polymers and Polymer Composites、Composite Interfaces に各一編が掲載されている。この7編のうち3編は申請者が筆頭著者である。

以上の結果より本論文の内容には十分な新規性と独創性ならびに高い学術的な価値があることを全審査員が認めた。