

氏 名	小 滝 雅 也
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 乙 第 91 号
学位授与の日付	平成 12 年 11 月 28 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学 位 論 文 題 目	Fracture Mechanism of Woven Fabric Composites
審 査 委 員	(主査) 教 授 前川善一郎 教 授 岩本正治 教 授 瀨田泰以

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、織物複合材料の破壊機構を取り扱ったものであり、4つの章と序章と終章から構成されている。

第1章は序章として、繊維強化複合材料の中で繊維複合材料の占める位置付けを概観し、包含している問題点を明確にした後で、本研究の目的と本論文の構成を述べる。

第2章では、繊維複合材料の2種類の層間はく離挙動に及ぼすシランカップリング材の影響を取扱っている。最初に、光学顕微鏡によるき裂先端の観察により、き裂の発生点が荷重-変位曲線における非線形開始点と一致することを明らかにした。また、破壊力学で取り扱うモードⅠ、モードⅡ層間破壊機構は「エネルギー支配型」及び「強度支配型」であることを見出している。シラン処理濃度の増加にともない、モードⅠ層間破壊靱性値は増加することを、破面の電子顕微鏡観察より明らかにし、この挙動が両者のき裂進展開始のメカニズムの相違に依存することを究明している。

第3章では、織物複合材料の織構造に焦点をあて、層間はく離挙動に及ぼす織構造の影響を論じている。織構造の中でき裂進展方向に対して直交する繊維束が、モードⅠ層間破壊靱性値に大きく寄与することが明らかとなり、単位面積あたりの直行繊維束の数が多い積層板において、高い破壊靱性値が得られることを見出している。これは、第2章で明らかにしたとおり、モードⅠ層間破壊靱性値が直交繊維束内に発生した微小き裂に依存するためであることを明確にしている。

第4章では、織物複合材料の置かれる環境に注目して、層間はく離挙動に及ぼす試験温度及び温水浸漬の影響について調べ、その影響が大きいことを見出している。高シラン処理濃度の場合、高温化、あるいは温水浸漬により、直交繊維束内に微小き裂が発生し破壊靱性値が向上した。破面の電子顕微鏡観察結果は、環境の変化により界面の接着性が低下したことを示唆しており、破壊機構は第2章で述べた結果と一致した。一方、低シラン処理濃度の場合には、高温化において界面の接着性が向上することが明らかとなった。

第5章では、層間はく離挙動に及ぼすアニーリングの影響を取り扱っており、高シラン処理濃度の場合、アニーリングにより繊維束内に微小き裂が発生し、モードⅠ破壊靱性値が増加することがわかった。また、低シラン処理濃度の場合には、アニーリングにより繊維/樹脂界面の接着性が向上することが明らかとなった。曲げ試験の結果より、第4章及び本省においてみられた温度による界面接着性の向上は、物理吸着シランとマトリックス樹脂の反応によるものであることが示唆された。

第6章では、各章で得られた結論をもとに、織物複合材料の層間における破壊機構をまとめ、高強度・高靱性を得る織物複合材料の設計指針を提案している。

論文審査の結果の要旨

プリント基板などの電子部品として使用されている織物複合材料において、熱応力あるいは外力により発生する層間はく離は、剛性低下など使用上の致命的な問題となっている。本研究では、織物複合材料の層間はく離を中心とした破壊機構を解明することを目的としており、かかる問題の解決に役立つことが期待できる。

本研究の特徴は、織物複合材料の織構造の中に発生する複雑なき裂及びその進展を電子顕微鏡下できわめて精緻に追跡し、織構造の損傷域と織物複合材料の破壊靱性値および繊維／樹脂界面の接着性の関係を明確にしたことである。織物複合材料の層間破壊挙動は、繊維束内強度に大きく依存することを明らかにし、繊維束内強度を支配する因子の一つとして、繊維／樹脂界面特性があることを見出している。界面の接着性が低いほど、繊維束内の微小き裂の発生を誘発し、高いモードⅠ層間破壊抵抗を示すが、モードⅡ層間破壊抵抗および曲げ強度は低下することを見出している。更に、環境温度及び温水浸漬は、層間破壊挙動に大きく影響を及ぼすが、そのメカニズムはマトリックス樹脂の特性変化のみならず、界面の接着性の変化が大きく寄与していることを明らかにしている。これらの知見にもとづき、高強度・高靱性の織物複合材料の設計指針として、繊維束内の構造制御により、繊維束内強度を維持しながら繊維束内に微小き裂を誘発する材料システムの開発の提案は新規性が認められる。

本論文の内容は以下に示すレフリ制のある学会誌に掲載または掲載可となった報文をもとにまとめたものである。

- 1) M. Kotaki, and H. Hamada, Effect of Interfacial Properties and Weave Structure on Mode I Interlaminar Fracture Behavior of Glass Satin Woven Fabric Composites, Composites-A, 28A, pp.257-266, 1997.
- 2) H. Hamada, M. Kotaki, and A.Lowe, Effect of Interfacial Characteristics on Mode I Fracture Behavior of Glass Woven Fabric Composites under Static and Fatigue Loading, ASTM, STP1321, pp.55-69, 1997.
- 3) M. Kotaki, M. Hojyo, Z. Maekawa and H. Hamada, The influence of the silane Coupling agent and delamination growth direction on mode I interlaminar fracture toughness of glass woven fabric composites, Journal of Materials Science Letter, 17, pp.515-518, 1998.
- 4) M. Kotaki, T. Kuriyama, H. Hamada, Z. Maekawa and I. Narisawa, Mechanisms of Mode I Interlaminar Fracture of Glass Woven Fabric Composites, Advanced Composites Letters, 9,7, pp209-213, 2000.
- 5) M. Kotaki, T. Kuriyama, H. Hamada, Z. Maekawa and I. Narisawa, Annealing Effect in Glass Woven Fabric Composites; Part-I. Mode I and Mode II Interlaminar Fracture Behavior, Composite Interfaces. (in press)
- 6) M. Kotaki, T. Kuriyama, H. Hamada, Z. Maekawa and I. Narisawa, Annealing Effect in Glass Woven Fabric Composites; Part-II, Bending Properties, Composite Interfaces. (in press)
- 7) M. Kotaki, T. Kuriyama, H. Hamada, Z. Maekawa and I. Narisawa, Effect of Fiber Surface Treatment and Testing Temperature on Mode I Delamination Behavior of Glass Woven Fabric Composites, Science and Engineering of Composite Materials (in press)

上記の7編のうち6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。