



Title	纖維強化複合材料の纖維／樹脂界面特性評価手法に関する研究
Author(s)	西籏, 和明
Citation	大阪大学, 1999, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/41466">https://hdl.handle.net/11094/41466</a>
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</a> 大阪大学の博士論文について

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

氏名	西 篤 和 明
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 14688 号
学位授与年月日	平成11年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科生産科学専攻
学位論文名	繊維強化複合材料の繊維／樹脂界面特性評価手法に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 座古 勝
	(副査) 教授 豊田 政男 教授 荒井 英司 助教授 南 二三吉

### 論文内容の要旨

本論文は、繊維強化複合材料の繊維／樹脂間の界面相の力学的特性評価手法の確立を目的とし、数値解析と実験を行ったものである。実験では、表面処理剤の異なる単繊維および繊維束を埋蔵した試料の横方向引張負荷時に発生する微視的損傷のその場観察を実施し、繊維表面処理方法の強度に及ぼす影響を調査している。その結果、横方向負荷が界面特性評価法として従来の手法よりも好ましいことを見出している。また、数値解析により織物複合材料の損傷進展に及ぼす界面特性の影響を明らかにしている。本論文はこれらのことまとめたもので全8章より構成されている。

第1章では、緒言として本研究の背景とその必要性を記述している。

第2章では、界面相を考慮した単繊維／樹脂界面相の数値解析のためのモデル化を提案し、界面相の応力伝達機構に及ぼす影響を解析により調査している。

第3章では、提案した数値解析モデルを繊維／樹脂界面の評価試験として実施されている単繊維埋蔵引張試験と単繊維引抜き試験に適用し、これらの試験法では繊維破断や界面損傷の差異が試験結果のばらつき原因となるので評価方法としては問題があることを解析により示している。

第4章では、新たな界面評価手法として横方向SEM内引張試験を提案し、その手法による単繊維埋蔵試験片の単繊維周りの微視的破壊状況を観察している。観察結果から、提案手法は繊維強度に依存しないのでばらつきが少なく従来法よりも優れていることを明らかにしている。

第5章では、表面処理を変化させた繊維束を埋蔵した試料に対しても提案手法を適用し、繊維束内に発生する微視的損傷観察から表面処理剤の影響を調査している。その結果、表面処理剤による損傷形態の差異が明確に捉えられるので、繊維束に対しても本手法が有効であることを示している。

第6章では、織物複合材料内部の巨視的損傷挙動を調査するため、織物単層板の引張試験を実施し、繊維束内の損傷をCCDにてその場観察を行っている。一方、SEM内引張試験も実施し、繊維束内の微視的損傷の発生および進展挙動を調査している。これらの試験結果より、微視的損傷とその損傷進展および破断強度との関連付けを行っている。

第7章では、第6章で得られた実験結果を解明するため、織物複合材料の損傷シミュレーションを行い、繊維束の横方向強度が織物複合材料の損傷挙動に及ぼす影響について解析している。

第8章では、得られた知見を総括し、本研究の結論としている。

## 論文審査の結果の要旨

繊維強化高分子複合材料は、繊維と樹脂から構成されるため、それらの材料間には界面が存在する。繊維の強化形態から、最も微視的には単繊維周り、中間的な繊維束、最も巨視的には織物など、各スケールで界面が存在する。損傷は界面部で発生し、その後、負荷の増加と共に樹脂部に進展し、最終的には繊維破壊に至ることが多いので、複合材料の広範囲な用途展開を実現するためには、肉眼では認識し難い界面などの微視的な損傷挙動と巨視的な破壊現象を関連付けることは重要である。しかし、この方面的研究は数少ないのが現状である。また、繊維に施す表面処理方法の違いにより、繊維／樹脂間の化学結合と成形性に差が現れるので、繊維強化複合材料の界面特性を考慮することは成形や評価技術に重要である。従来、単繊維埋蔵引張試験や単繊維引抜き試験などにより、繊維軸方向の界面の力学的特性を評価されている。しかし、直交積層材や織物複合材料では、負荷方向に対して横方向の繊維束内にき裂が発生し、その微視的な損傷進展が巨視的な破壊に結びつくことが多く、従来の界面評価手法で十分であるとは言い難く、実用に適した界面特性評価手法の確立が切望されている。

かかる現状から、本研究では界面特性評価のためのモデル化手法を提案し、繊維／樹脂間に存在する界面相の力学的物性値が応力伝達や損傷発生とその進展挙動に及ぼす影響を数値解析により調査している。また、単繊維や繊維束の横方向引張試験により発生する微視的な損傷挙動と織物複合材料の巨視的な損傷挙動に対する界面特性の関連性について実験により調査している。それらの成果の要約は次の通りである。

- (1) 提案したモデル化は、単繊維／樹脂間界面相の特性が考慮されており、繊維強化複合材料の界面特性評価において有用であることを解析結果に基づき明らかにしている。
- (2) 界面相のせん断弾性率が応力伝達に影響を及ぼすので、単繊維埋蔵引張試験と単繊維引抜き試験により界面評価を行うことは困難であることを解析により明らかにしている。
- (3) 単繊維埋蔵横方向 SEM 内引張試験を提案し、繊維表面処理の異なる試験片で実験を行い、横方向負荷により単繊維周辺に発生する界面はく離や樹脂き裂の発生とその進展挙動に影響を及ぼすことを明らかにしている。また、界面相の引張弾性率とせん断弾性率および引張強度の変化により単繊維周辺の応力分布に違いが見られ、損傷の性状や損傷開始位置や荷重およびその進展方向に影響が現れることを有限要素法を用いて示している。解析結果と試験結果が定性的に良く一致し、横方向負荷試験法は繊維強度に依存しないので評価方法として好ましいことを明らかにしている。
- (4) 織物単層板および積層板の主軸引張試験を行い、CCD カメラを用いたその場観察により、繊維表面処理方法の違いが繊維束内および繊維束間のき裂などの微視的損傷の発生とその進展挙動に影響を及ぼすことを明らかにし、本手法は簡便で単繊維および繊維束内のメゾ破壊挙動に及ぼす影響を把握するのに有効な手法であることを立証している。
- (5) 損傷力学に基づく 3 次元有限要素解析手法を用い、織物強化積層板に発生する微視的損傷に与える界面特性の違いを損傷解析によって調査し、試験結果との比較により、表面処理の違いと繊維束の横方向引張強度を関連付け、表面処理法の提言を行っている。

以上のように、本研究は界面相の存在を考慮した界面相のモデル化の提案と繊維／樹脂界面特性評価手法の提案を行ったものである。単繊維、繊維束および織物に発生する損傷挙動に及ぼす表面処理の影響を試験と解析により調査し、スケールの異なる損傷挙動を有する繊維強化複合材料に対し繊維表面処理の影響を明らかにしており、生産科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。