

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	連続体損傷力学モデルに基づく繊維-樹脂界面はく離現象の特性評価
Title(English)	Characterization of fiber-matrix interfacial debonding based on a continuum damage model
著者(和文)	BudimanBentang Arief
Author(English)	Bentang Arief Budiman
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10139号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:岸本 喜久雄,轟 章,天谷 賢治,水谷 義弘,因幡 和晃,Hwa-Teng Lee
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10139号, Conferred date:2016/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Bentang Arief Budiman	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	岸本 喜久雄	教授	因幡 和晃	准教授
	審査員	轟 章	教授	Hwa-Teng Lee	客員教授
		天谷 賢治	教授		
水谷 義弘		准教授			

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Characterization of fiber-matrix interfacial debonding based on a continuum damage model (連続体損傷力学モデルに基づく繊維-樹脂界面はく離現象の特性評価)」と題し、以下の5章より構成されている。

第1章「Introduction (緒論)」では、繊維強化複合材料の力学特性が繊維と樹脂の界面特性（界面強度、界面破壊エネルギー）に強く依存するために、適切な評価方法が求められていることを背景として、本研究の目的を述べている。界面特性の評価方法として、光弾性実験によって繊維破断に伴う応力集中を観察するフラグメンテーション試験が広く用いられている。しかし、従来の評価手法では試験結果と界面特性値との結びつきが極めて単純にモデル化されており、界面特性値が過大評価されている可能性を指摘している。そこで、繊維と樹脂の界面に損傷モデルを取り入れることで評価式を再構築し、それに基づく実験方法を確立することで、界面特性値を適切に評価することが本論文の目的であると述べている。

第2章「New parameters for interfacial characterization (界面特性評価に向けた新しいパラメータの検討)」では、フラグメンテーション試験を対象に有限要素解析を実施し、界面特性値と光弾性実験で観察可能な応力干渉縞との関係性について検討している。最初に、界面特性値の違いが繊維と樹脂の界面の応力分布・破壊様式に与える影響を確認している。次に、モデルの寸法、材料物性値が応力分布に及ぼす影響を検討しながら有限要素モデルを構築し、繊維破断がもたらす樹脂中の応力分布と界面特性値の関係を考察している。結果、繊維破断部の近傍で観察される高い応力値を示す位置との相関関係を見つけるにいたったことを述べている。界面強度が繊維-樹脂界面からの距離で、また、界面破壊エネルギーが繊維破断部からの距離で、それぞれ独立に推定できることを示し、これらを特徴長さとして定義し、光弾性実験での測定による評価手法を提案している。

第3章「Relationship between characteristic lengths and interfacial properties (特徴長さとの関係)」では、界面強度・界面破壊エネルギーとそれぞれの特徴長さの関係を理論的に導出している。まず、繊維、樹脂それぞれの構成式と繊維方向の平衡方程式を用いて界面強度との関係を導出し、提案式は界面に沿った位置での応力を一定とすると従来手法の評価式とも一致することを確認している。次に、結合力要素を用いた有限要素解析によって様々な界面強度の値を計算した結果、応力の分布を考慮に入れた提案式との良い一致を示し、従来手法の評価式よりも高い精度で界面強度を推定できることを示している。異なる繊維、樹脂を対象とすることも考慮して、物性値を変えて有限要素解析を行った場合でも、提案式が有効であることを確認し、さらに主応力差で無次元化することにより、材料によらず用いることができる形式へと提案式を拡張している。界面破壊エネルギーについても、繊維破断前後のエネルギー保存に基づいて特徴長さとの関係を表す提案式を導出し、有限要素解析でその有効性を確認している。

第4章「Experimental realization for observing matrix stress contours (樹脂中の応力分布観察による界面特性評価実験)」では、提案式を用いた界面特性値の評価手法について、有効性を実験により示している。予め樹脂のみの試験片の引張、曲げ試験によって光弾性係数を得られ、得られた各色のHUE値を対応する応力値と結びつけることで、任意の光弾性観察結果から特定の応力値の干渉縞を抽出する画像処理を施している。これにより、顕微鏡下で観察されるわずかな色の違いから応力の干渉縞を抽出して特徴長さを計測し、第3章で導いた提案式を使って界面強度、界面破壊エネルギーの推定を試みている。結果、アセトンによる表面処理で繊維-樹脂の親和性を劣化させた試験片により、界面特性が大幅に低下することを確認し、さらにこれらの値を従来の評価手法で取得した界面強度、界面破壊エネルギーと比較することで、従来の評価手法では過大評価となることを実証することに成功している。

第5章「Conclusions and future works (総括と今後の展望)」では、本研究で得られた結果を要約するとともに、界面特性とマクロなスケールである積層板の強度との関連付けや、光弾性実験の高精度化等、今後の展望について述べている。

以上を要するに本論文は、繊維強化複合材料の繊維-樹脂界面に損傷モデルを取り入れることで界面特性の評価手法を向上させるとともに、光弾性実験を利用した定量的な応力分布の可視化を利用した実験方法を確立したもので、工学上および工業上貢献するところが大きい。よって本論文は、博士(工学)の学位論文として十分な価値があるものと認められる。