

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：35302

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2013

課題番号：22560686

研究課題名(和文) 複合材の衝撃破壊特性評価法の高精度化

研究課題名(英文) Evaluation of impact fracture characteristics of laminated composites : enhancement of measurement accuracy

研究代表者

横山 隆 (YOKOYAMA, Takashi)

岡山理科大学・工学部・教授

研究者番号：60093944

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：本研究のねらいは、複合材構造物の安全設計に必要な複合材の衝撃破壊特性、即ち連続体力学に基づく衝撃層間せん断強度および破壊力学に基づくモードII衝撃層間破壊じん性を精密に評価する2つの試験法を確立することである。

前者については、修正イオシペスク試験片を使用することにより衝撃層間せん断強度(せん断ひずみ速度=約800/s)を従来の方法よりも精密に測定することができた。一方、後者については、JISに規定された端面切欠き曲げ試験片を使用して動的3点曲げ試験法により測定を試みたが、試験片に作用する小さな衝撃荷重を精度よく測定できず、精密なモードII衝撃層間破壊じん性の決定には至らなかった。

研究成果の概要(英文)：The aim of the present study was two-fold: to accurately evaluate (1) the impact interlaminar shear strength and (2) the mode II impact interlaminar shear fracture toughness of laminated composites.

The first aim was successfully accomplished by developing modified Iosipescu specimens for determining the impact interlaminar shear strength. In contrast, the second aim was not successfully achieved, because our developed impact bend test technique did not enable us to accurately determine a small impact load applied to end-notched flexure specimens. This work is still in progress to improve the measurement accuracy of the impact load.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学、複合材料、物性

キーワード：複合材料物性 衝撃層間せん断強度 衝撃層間破壊じん性 ホプキンソン棒法 ひずみ速度

1 . 研究開始当初の背景

一般に強い異方性 / 非均質性をもつ複合材の強度特性は負荷様式に強く依存し、繊維方向の面内強度は非常に高いが、横 (曲げ) 荷重を受けると層間剥離や横方向割れなどを生じて強度が著しく低下する固有の欠点を有する。そのため、層間せん断強度や層間破壊じん性を評価することが、重要である。とくに衝撃負荷を受ける構造物 (航空機、鉄道車両、スポーツ用具など) に使用される複合材については、衝撃特性の精密な評価がそれらの安全設計上、不可欠である。

2 . 研究の目的

本研究の目的は、複合材構造物の安全設計に必要な複合材自体の衝撃破壊特性、即ち (1) 連続体力学に基づく衝撃層間せん断強度および破壊力学に基づくモード II 衝撃層間破壊じん性を精密に評価する 2 つの試験法を確立することである。
(2) さらに層間せん断強度およびモード II 層間破壊じん性のひずみ速度依存性について微視的立場から考察を行うことである。

3 . 研究の方法

(1) については、通常ホプキンソン棒法を適用し、特殊な形状のイオシペスクせん断試験片を使用する。この試験片を使用するとせん断破壊面には一様なせん断応力分布が生じることを有限要素法による応力解析で確認する。衝撃圧縮せん断試験では破壊時の最大せん断荷重をホプキンソン棒法により精密に測定して、せん断面積で除することにより衝撃層間せん断強度を決定する。

一方、モード II 層間破壊じん性についてはホプキンソン棒法を利用した衝撃 3 点曲げ試験法を適用し、末端切欠き曲げ (ENF) 試験片を使用した。この試験片形状寸法は JIS 規定を参考にし、ホプキンソン棒法により末端切欠き曲げ試験片の横衝撃荷重 - たわみ関係を決定して、その最大荷重から静的ひずみエネルギー解放率 G_{II} の評価式によりモード II 衝撃層間破壊じん性を決定する。

(2) については、走査顕微鏡により試験片の破面観察を行い、破壊モードに及ぼすひずみ速度の影響を考察する。

4 . 研究成果

一方向強化カーボン / エポキシ複合材の衝撃層間せん断強度については、修正イオシペスクせん断試験片を使用することにより衝撃層間せん断強度 (せん断ひずみ速度 = 約 800 ~ 1000 / s) を従来の方法よりも精密に測定することができた。

試験に供した複合材は、サカイ・コンポジット社製の厚さ 10.05 mm (42 プライ) の一方向強化カーボン / エポキシ複合材である。このカーボン / エポキシ (T700/2521) 複

合材に使用した強化繊維の種類、マトリックス樹脂の種類、繊維体積含有率を、表 1 に示す。この複合材から機械加工した修正イオシペスクせん断試験片 (以下、せん断試験片と記す) の形状寸法を、図 1 に示す。図中の座標軸 1-2-3 は、繊維 (縦) 方向を軸 1 とする積層材料の主軸を表わす。その試験片の諸寸法は、長さ $L = 23 \text{ mm}$ 、幅 $b = 6.7 \text{ mm}$ とし、2 つの切欠き底を結ぶせん断面の長さを $l = 3 \text{ mm}$ とした。このせん断試験片を使用して、インストロン試験機 (5500R) により 1mm/min, 100mm/min のクロスヘッド速度で圧縮せん断試験を行って静的層間せん断強度を測定した。クロスヘッド速度 1mm/min の時の圧縮せん断荷重 変位関係の測定例を図 2 に示す。この最大荷重値から静的層間せん断強度を決定した。

一方、衝撃層間せん断強度はホプキンソン棒法により決定した。圧縮荷重の軸性のわずかなズレによりせん断試験片に作用する曲げ負荷を防止するための治具を、ホプキンソン棒法装置に取り付けた様子を図 3 に示す。打出し棒の衝撃速度 $V = 6.6 \text{ m/s}$ における衝撃圧縮せん断試験から得たせん断試験片の両端に作用する動的圧縮荷重履歴を図 4 に示す。この結果からせん断試験片内には動的つり合いが完全に成立していることが立証された。つぎにこの関係から得られる衝撃せん断荷重 変位関係を図 5 に示す。この最大圧縮荷重から同様に、衝撃層間せん断強度を決定した。せん断強度を変形速度に対してプロットした結果を、図 6 にまとめて示す。この図から、一方向強化カーボン / エポキシ複合材の層間せん断強度は、変形 (ひずみ) 速度の上昇とともに上昇する傾向が見られる。この結果は、著者らの以前の同一複合材における 2 重切欠きせん断試験片による結果 (変形速度非依存性) とは、異なる結果となっていて、せん断試験片の破壊モードの微視的立場からの考察が必要と思われる。

表 1 複合材の仕様

	一方向強化複合材
炭素繊維	T700 (トレカ)
マトリックス樹脂	エポキシ #2521
繊維含有率 V_f	0.65

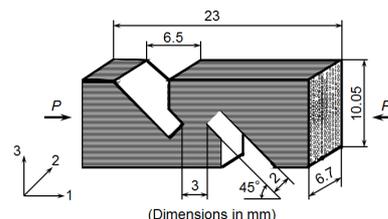


図 1 修正イオシペスクせん断試験片の形状寸法

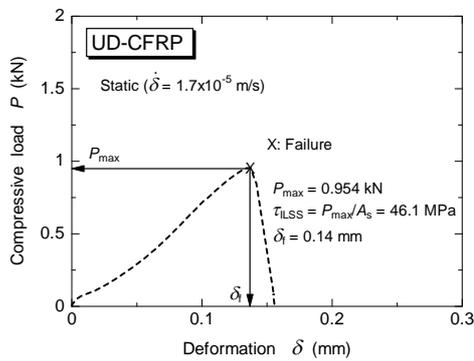


図2 静的圧縮せん断荷重 変位関係

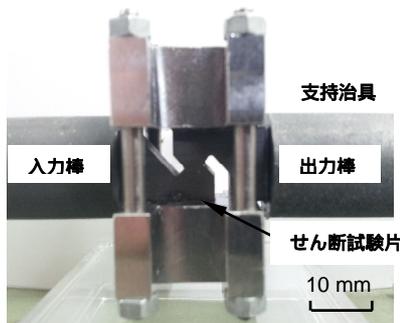


図3 ホプキンソン棒装置に取り付けたイオシペスクせん断試験片の曲げ防止治具

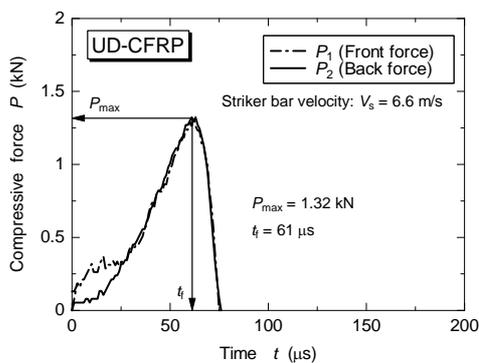


図4 せん断試験片両端における動的圧縮せん断荷重のつり合い関係

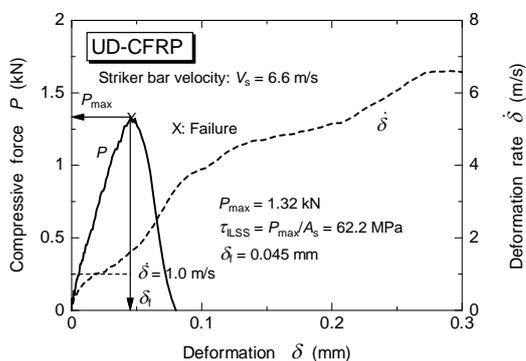


図5 せん断試験片に対する衝撃圧縮せん断荷重 変位関係と変形速度 変形関係

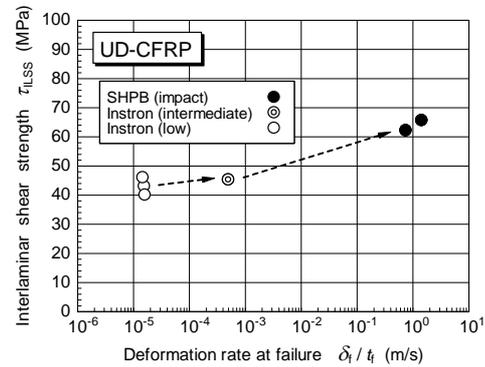


図6 一方向強化カーボン/エポキシ複合材の層間せん断強度の変形速度依存性

一方、モードII 衝撃層間破壊じん性については、JIS に規定された端面切欠き曲げ試験片を使用して衝撃3点曲げ試験法により測定を試みた。しかし試験片に作用する小さな衝撃破壊荷重を精密に測定できず、精密なモードII 衝撃層間破壊じん性の決定には至らなかった。

現在、衝撃3点曲げ試験装置の荷重測定部の精度向上のため、応力棒の形状および材質について検討を継続している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

T. Yokoyama

Impact Compressive Failure of a Unidirectional Carbon/Epoxy Laminated Composite in Three Principal Material Directions, Materials Science Forum, 査読有, Vol.706-709, (2012), pp.799-804.

doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.706-709.799

〔学会発表〕(計 4 件)

中井賢治

直交積層カーボン/エポキシ複合材の板厚方向の衝撃圧縮特性, 日本非破壊検査協会「第45回応力・ひずみ測定と強度評価シンポジウム」2014年1月24日, 大阪市

中井賢治

カーボン/エポキシ複合材の板厚方向の衝撃引張強度の測定, 日本実験力学会年次講演会, 2013年8月20日~22日, 由利本荘市(秋田県)

中井賢治

一方向強化カーボン/エポキシ複合材の層間せん断強度の評価: イオシペスク試験片の使用, 「第44回応力・ひずみ測定と強度評価シンポジウム」2013年1月22日~23日, 東京都

T. Yokoyama

Impact Compressive Failure of a Unidirectional Carbon/Epoxy Laminated Composite in Three Principal Material Directions, The7th International Conference on Processing and Manufacturing of Advanced Materials, 2011 August 1-5, Quebec City, Canada.

〔図書〕(計1件)

横山 隆編著, 共立出版, 衝撃工学の基礎と応用, 2014, 129-141.

〔その他〕

研究室ホームページ

<http://www.ous.ac.jp/MECH/yokoyama/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

横山 隆 (YOKOYAMA, Takashi)

岡山理科大学・工学部・教授

研究者番号: 60093944

(2) 研究分担者

中井 賢治 (NAKAI, Kenji)

岡山理科大学・工学部・准教授

研究者番号: 70388924