

Application News

No.i250

材料試験機
Material Testing System

複合材料のせん断試験 (V-Notched Beam)

Shear Test of Composite Material (V-Notched Beam)

はじめに

Introduction

強度や耐久性が要求される工業製品を中心に、従来材料よりも比強度・剛性が高く、酸化して錆びることのない炭素繊維強化プラスチック (CFRP) の適用が検討されています。均質な従来材料と違い、複合材料である CFRP は異方性を有し、負荷される応力主軸方向などによって、引張、圧縮、曲げ、面内せん断、面外せん断もしくはこれらが組み合わさる複雑な破壊挙動を示します。近年、試作回数を抑制でき、新製品開発のコストを低減できるために CAE 解析が産業界に広く普及しています。設計した製品の性能予測の精度を高めるためにはこれらの各種特性値が必要であるために、CFRP を試験評価する際には、それぞれの破壊挙動を純粋に評価可能な試験手法が強く求められています。

本稿では、面内せん断試験法として複合材料の分野で広く採用されている V-Notched Beam 法 (Iosipescu 法, ASTM D5379) の試験事例を紹介いたします。この試験は V ノッチを設けた試験片を非対称な 4 点で支持し圧縮負荷をかけることで評価部 (Fig. 1 参照) に純粋なせん断応力を負荷することが可能な試験法です。これに加えて、試験片および治具のセッティングが比較的容易であること、一方向材、直交積層材および不連続繊維材など様々な CFRP 積層材に適用できるという特徴を有します。

Y. Kamei

測定システム

Measurement System

Table 1 に装置構成を示します。Fig. 1 に ASTM D5379 で規定されている試験片の情報を示します。試験片は東レ製 T800S のプリプレグをオートクレーブ成形により成形した [0/90]_{10s} の直交積層材です。-45° および 45° 方向のひずみを計測できるように 2 軸のひずみゲージを加工された上下 V ノッチの中央 (標定部中央) に貼りつけています。これら二つのひずみゲージから得られたひずみ値を式 (1) に適用すると、せん断弾性率の評価において不可欠な特性値であるせん断ひずみを求めることが可能です。本試験においては、ひずみゲージを試験片の表・裏の両面に設置しています。この両方のひずみゲージ出力を採取しその平均を求めることで、試験片に生じたせん断ひずみを正確に把握でき、試験片の表裏に対称的なせん断ひずみが負荷されていることを確認することができます。

$$\nu = |\epsilon_{+45}| + |\epsilon_{-45}| \quad \text{式(1)}$$

ν : せん断ひずみ
 ϵ_{+45} : +45° に生じたひずみ
 ϵ_{-45} : -45° に生じたひずみ

Table 1 試験条件
Test Conditions

| | |
|--------|----------------------|
| 試験機 | : AG-50kNX plus |
| ロードセル | : 50 kN |
| 試験治具 | : 複合材料せん断試験治具 |
| ソフトウェア | : TRAPEZIUM X (シングル) |
| 試験速度 | : 2 mm/min |

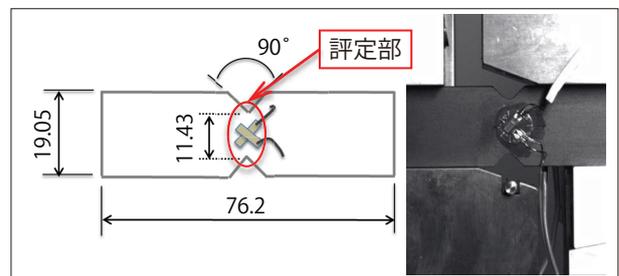


Fig. 1 試験片形状
The Shape of Specimen

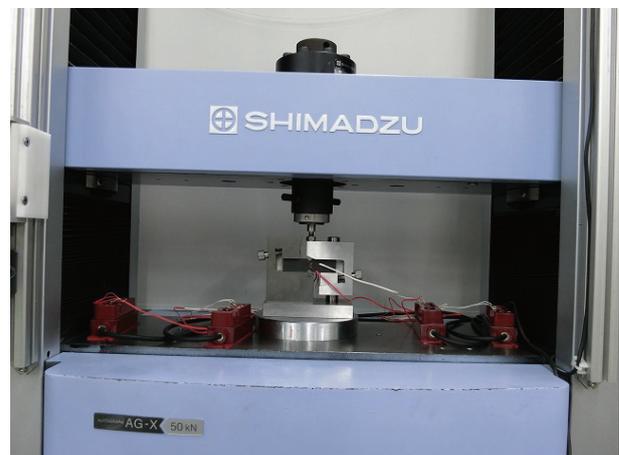


Fig. 2 試験の様子
Testing Apparatus



Fig. 3 撮影の様子
Imaging Apparatus

Fig. 2, Fig. 3 に試験の様子を示します。今回, TRViewX (非接触伸び幅計) を介して取得した観察画像は試験機で採取した試験片の応力やひずみゲージの出力値と同期しているため, 従来の試験計測システムだけでは把握しにくかった CFRP の破壊過程を各種特性値と比較しながら手軽に評価することが可能です。また, TRViewX の観察画像をもとに DIC (Digital Image Correlation) 解析によるひずみ分布の評価も可能です。DIC 解析を行うためには, スプレー式の塗料を用いて, 試験前の試験片表面にランダムパターンを作成する必要があります。

測定結果

Measurement Results

Table 2 に本試験によって得られた各種特性値を示します。また, Fig. 4 に試験後の試験片写真, Fig. 5 にせん断応力-ひずみ線図 (ひずみはひずみゲージにて採取した値), Fig. 6 にせん断応力-せん断ひずみ線図 (せん断ひずみは式 (1) より算出した値), Fig. 7 にせん断応力-ストローク線図を示します。Table 2 より各種せん断特性値については再現性の高い結果が得られたことがわかります。また Fig. 5, Fig. 6 においては, 試験片の表裏のひずみゲージ出力値が同様の値を示しており, 対称的で良好なせん断ひずみを試験片に負荷できていることがわかります。

Table 2 試験結果
Test Results

| 試験片 | せん断弾性率 [GPa] | せん断強度 [MPa] |
|--------|--------------|-------------|
| Test 1 | 4.62 | 136.0 |
| Test 2 | 4.63 | 133.0 |
| Test 3 | 4.50 | 131.0 |
| 平均 | 4.58 | 133.0 |

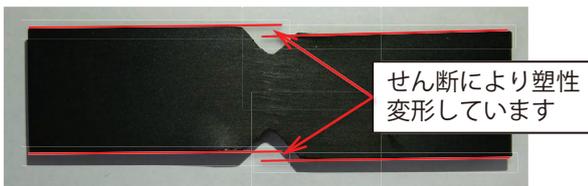


Fig. 4 試験後の試験片
Test Specimen After Testing

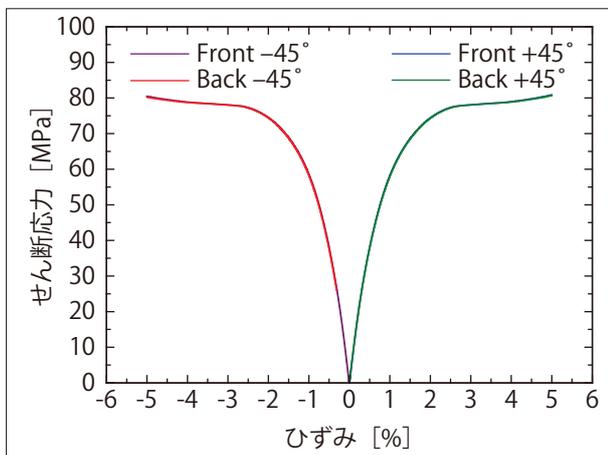


Fig. 5 せん断応力-ひずみ線図
Shear Stress - Strain Curve

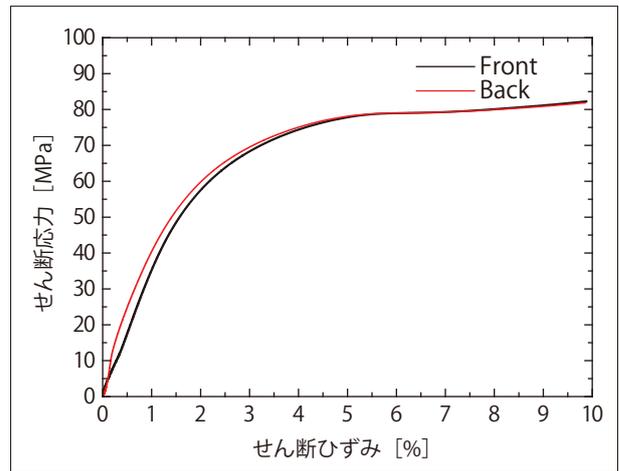


Fig. 6 せん断応力-せん断ひずみ線図
Shear Stress - Shear Strain Curve

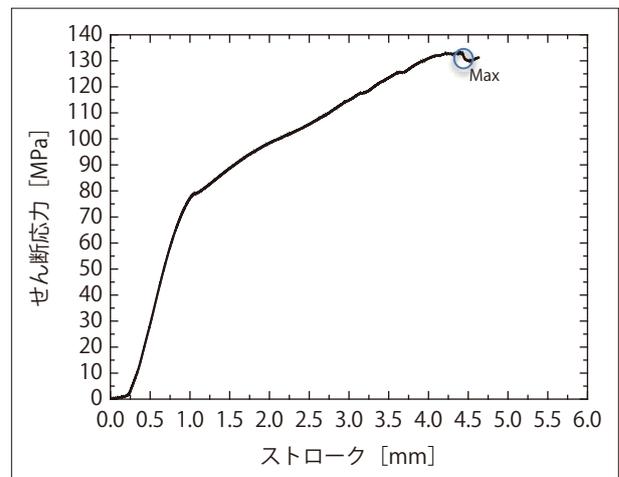


Fig. 7 せん断応力-ストローク線図
Shear Stress - Stroke Curve

Fig. 8 に試験片破壊の様子を示します。また, Fig. 9 に DIC 解析によって得られたせん断ひずみ分布の画像を示します。試験片に発生したひずみ量と色は対応関係にあり, ひずみ量が小さい部位は寒色 (黒・青色), ひずみ量が大きい部位は暖色 (オレンジ色・赤色) で示されています。試験が進むにつれて V ノッチ間に局所的にひずみが集中していることがわかりました。

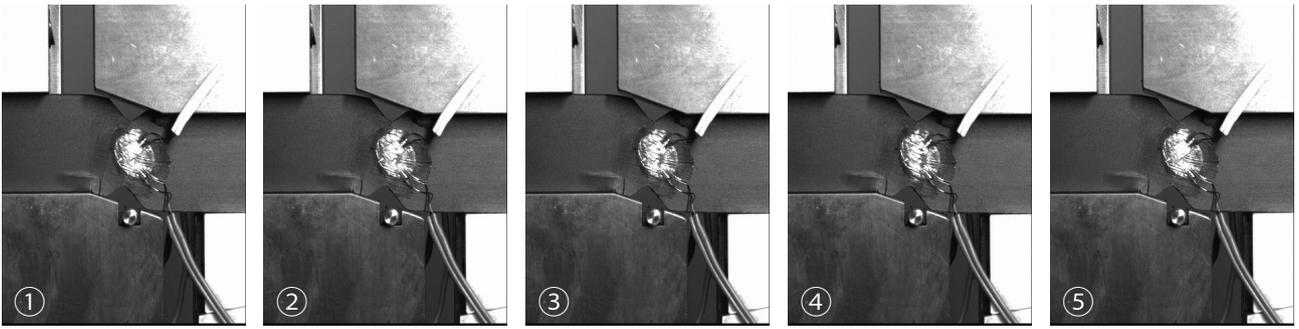


Fig. 8 試験片破壊の様子 (試験片が破壊したポイント付近の画像を表示)
 The Fracture Process of Specimen (The point at which test specimen fracture occurs is shown in images captured over a 10-second period at 2-second intervals.)

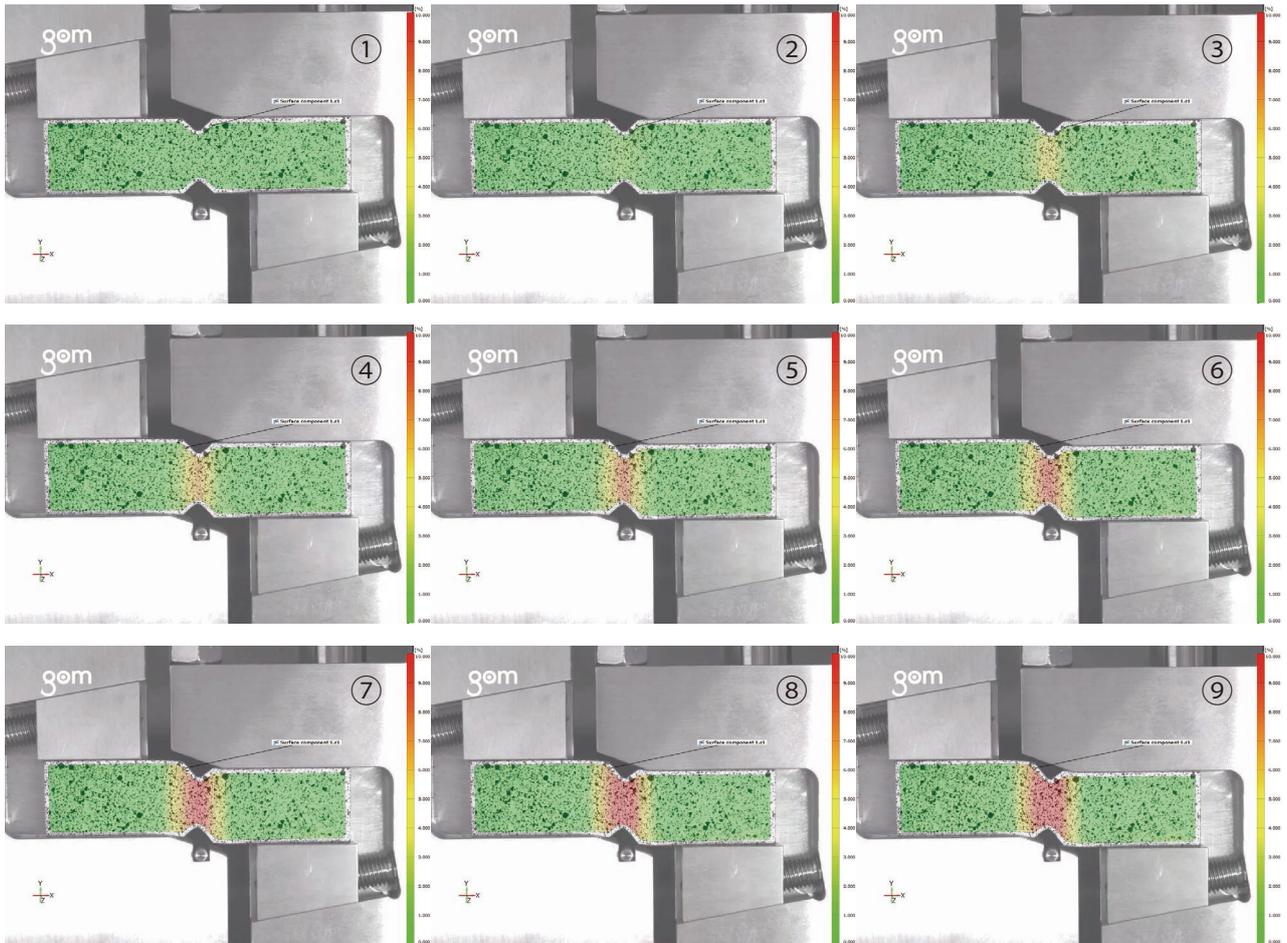


Fig. 9 せん断ひずみ分布 (DIC 解析画像)
 Shear Strain Distribution (DIC analysis images)

■おわりに

Conclusion

本試験システムを用いることで V-Notched Beam 法 (ASTM D5379) を良好に実施することができました。また、非接触伸び幅計をシステムに組み込むことでせん断弾性率、せん断強度といった基本的な特性値の評価だけにとどまらず、CFRP の破壊のメカニズムを明らかにするための参考データとして、試験片の破壊の様式や DIC 解析によるひずみ解析を行うことが可能です。