SHIMADZU
Excellence in Science

Application News

No.i251A

材料試験機
Material Testing System

複合材料のせん断試験（V-Notched Rail Shear）

Shear Test of Composite Material (V-Notched Rail Shear)

■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。

複合材料の評価として様々な試験法があります。中でも，面内せん断試験法としては，繊維強化複合材料の繊維方向もしくは織物積層材を対象とし，ノッチを設けた試験片に非対称 4 点曲げを負荷する Iosipescu 法（ASTM D5379）や，± 45° 積層材を用いて引張荷重を負荷する方法（ISO 14129）などが普及しています。この試験で用いた V-Notched Rail Shear 法（ASTM D7078）は安定した面内せん断試験を得ることが可能です。また試験片のゲージ部が大きいため，無孔試験片や不連続繊維系の CFRP 積層材にも適用可能です。

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 D7078 規定の試験片情報を示します。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。試験片は 31 mm の評定部（Fig. 1 参照）を有し，V ノッチの中間位置（標定部中央）には，–45° および 45° 方向のひずみを計測できるよう 2 軸のひずみゲージを貼りつけています。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せん断ひずみを求めることが可能です。

$$\gamma = |\varepsilon_{+45}| + |\varepsilon_{-45}| \quad \text{式(1)}$$

γ ：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

この試験においては，ひずみゲージを試験片の表裏の両面に貼り付けています。この両方のひずみゲージの出力値を採取し，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。

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

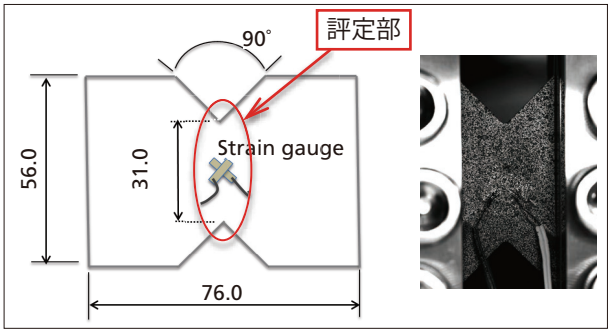

Fig. 1　試験片形状
The Shape of Specimen

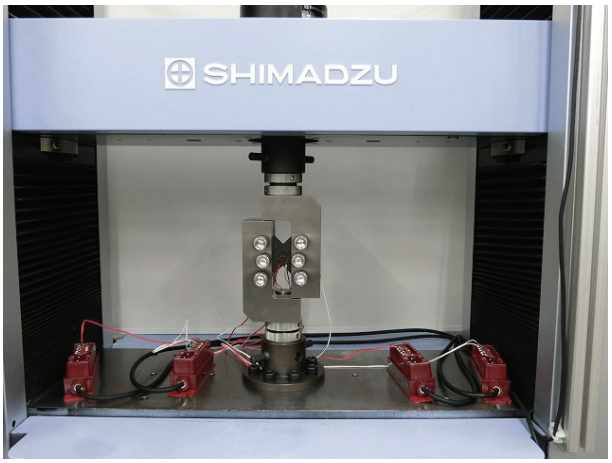

Fig. 2　試験の様子
Testing Apparatus

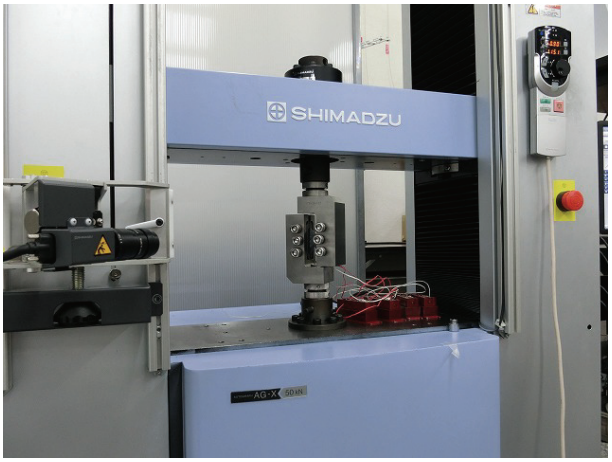

Fig. 3　撮影の様子
Imaging Apparatus

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 せん断応力 - せん断ひずみ線図（せん断ひずみは式（1）により算出した値），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。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	4.63	121.72
Test 2	4.55	120.00
Test 3	4.58	120.05
平均	4.59	120.60

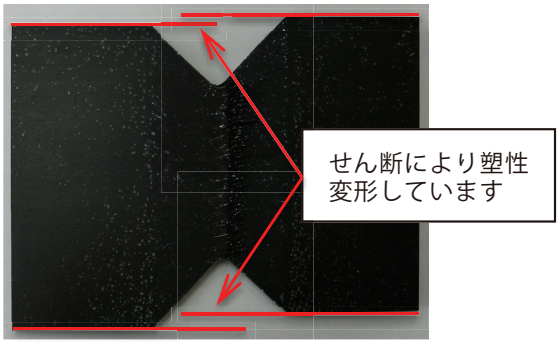

Fig. 4　試験後の試験片
Test Specimen After Testing

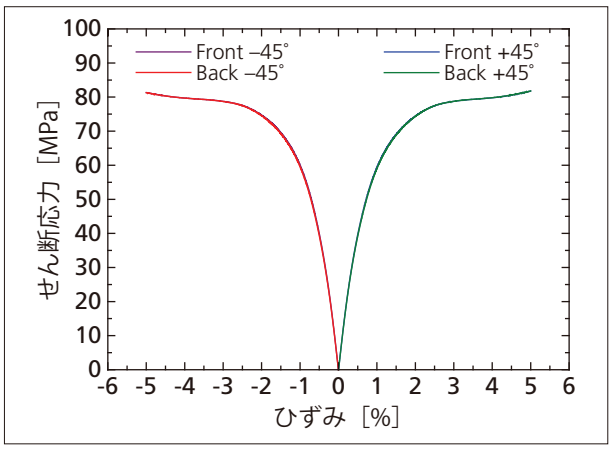

Fig. 5　せん断応力 - ひずみ線図
Shear Stress - Strain Curve

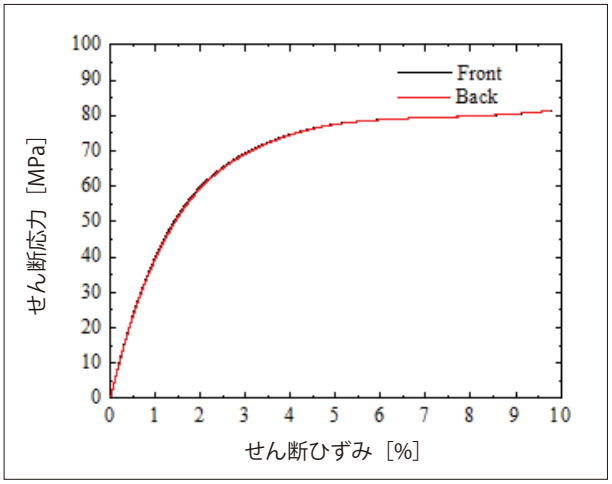

Fig. 6　せん断応力 - せん断ひずみ線図
Shear Stress - Shear Strain Curve

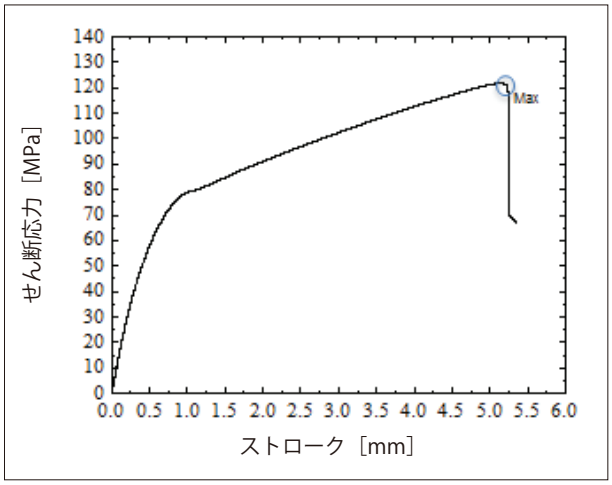

Fig. 7　せん断応力 - ストローク線図
Shear Stress - Stroke Curve

Fig. 8 に試験片破壊の様子を示します。上部ノッチ近傍より発生したき裂が急激な試験力減少をともないながら下部ノッチ方向へ進展していく様子がわかります。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。

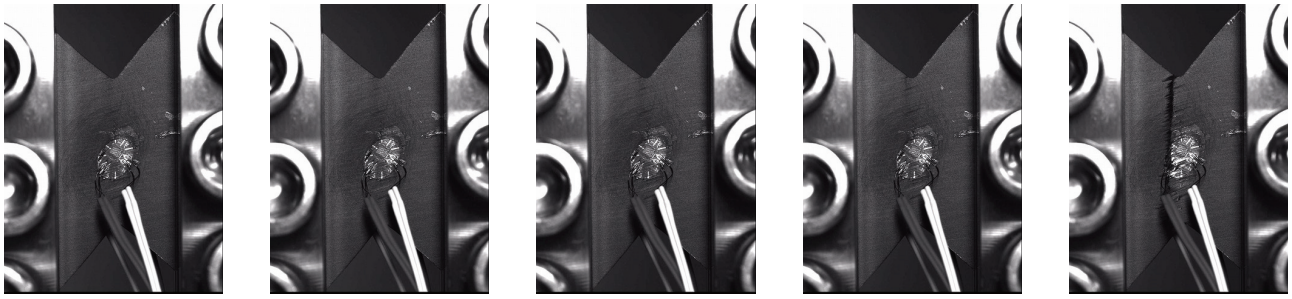

Fig. 8　試験片破壊の様子（試験片が破壊したポイント付近画像を表示）
The Fracture Process of Specimen (The point at which test specimen fracture occurs is shown in images captured over a 10-second period at 2-second intervals.)

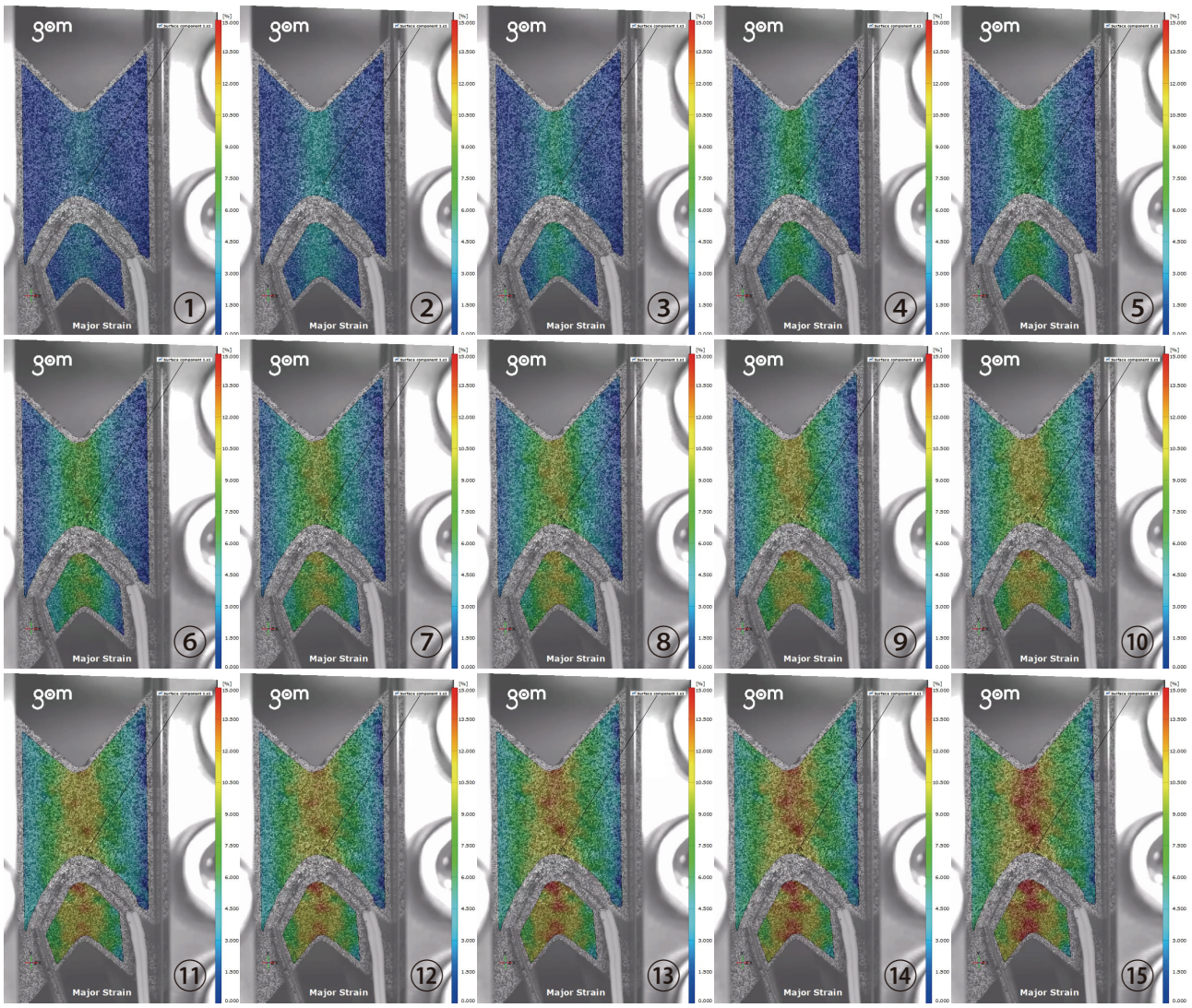

Fig. 9　せん断ひずみ分布（DIC 解析画像）
Shear Strain Distribution (DIC analysis images)

■おわりに
Conclusion

本試験システムを用いることで V-Notched Rail Shear 法（ASTM D7078）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。

A改訂版発行：2017年6月
初版発行：2016年5月

株式会社 島津製作所 分析計測事業部 グローバルアプリケーション開発センター

島津コールセンター 0120-131691
(075)813-1691

※本資料は発行時の情報に基づいて作成されており、予告なく改訂することがあります。
改訂版は下記の会員制 Web Solutions Navigator で閲覧できます。
https://solutions.shimadzu.co.jp/solnavi/solnavi.htm

会員制情報サービス「Shim-Solutions Club」にご登録ください。
https://solutions.shimadzu.co.jp/
会員制Webの閲覧だけでなく、いろいろな情報サービスが受けられます。