

Application News

No. V17

高速度ビデオカメラ
High-Speed Video Camera

高速引張試験における CFRP の破壊観察

— 撮影速度 1000 万コマ /s での高速度撮影 —

Fracture Observation of CFRP in High Speed Tensile Test — High Speed Imaging (10 M frames/s) —

はじめに

Introduction

炭素繊維強化プラスチック（Carbon Fiber Reinforced Plastic：CFRP）は、複合材料の中でも比強度に優れており、航空・宇宙分野でいち早く採用され、機体重量の軽量化に大きく貢献してきました。当初は金属材料を一部置き換える程度でしか使用されませんでした。最新の航空機では CFRP を中心とした複合材料が機体重量の 50 % を占めています。今後の技術開発によって生産性の向上やコスト低下が見込まれ、自動車の車体などの主要部材にも普及していくものと期待されています。

材料は一般的に変形速度によりその特性が変化し、CFRP も例外ではありません。高速で移動する輸送機の部材においては、早い変形速度による特性も知る必要があるため、従来から行われている変形速度の遅い静的引張試験に加えて、最近では変形速度の速い高速引張試験の要求が高まっています。また、強度の弱い箇所の特定制など、損傷許容設計の妥当性を評価するためには破壊観察も必要です。引張試験において、破壊は強度の弱い部分から始まりますが、CFRP は一瞬で破壊するため目視で確認することは不可能です。どの部分の強度が弱く、どのように壊れていくかを確認するためには、高速度ビデオカメラが必要となります。

本実験では CFRP の高速引張試験の様子を観察しました。今回新たに開発された HPV-X の撮影速度は最大 1000 万コマ /s であり、従来機 HPV-2A の 10 倍の撮影速度を持ちます。そのため、以前では捉えられなかった破壊の様子を観察できるようになりました。

F. Yano

試験条件・試験システム

Test Conditions・System

Fig. 1, Table 1 に使用した試験片の情報を示します。試験片は航空機グレード CFRP のプリプレグを 0° 方向に 2 層、オートクレープ法で成形したものです。試験片（つかみ具間の中央）には撮影トリガ用のひずみゲージを貼っています。破壊現象を観察しやすくするため、試験片には白線を入れています。



Fig. 1 CFRP 試験片と試験治具
Test Grips and Test Specimen

Table 1 試験片情報
Test Specimen

幅	: 8 mm
厚さ	: 0.6 mm
タブ間距離	: 20 mm
積層方法	: [0] ₂

Fig. 2 に使用した試験装置を示します。



Fig. 2-1 高速引張試験機 HIT-T10
High Speed Tensile Testing Machine HITS - T10



Fig. 2-2 高速度ビデオカメラ HPV-X
High Speed Video Camera HPV-X

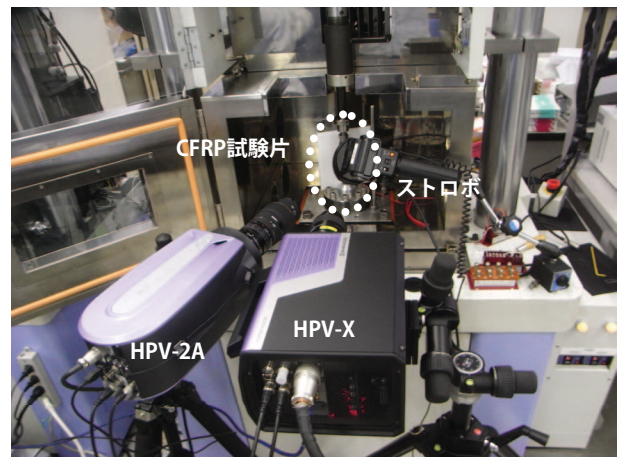


Fig. 2-3 試験の様子
Setup of the Test

Table 2 に試験条件を示します。

Table 2 試験条件
Test Conditions

ロードセル容量	: 10 kN
試験速度	: 10 m/s
撮影速度	: 1000万コマ/s (HPV-X) 100万コマ/s (HPV-2A)
照明	: ストロボ

■実験結果

Test Results

CFRP の破壊は脆性であり、10 m/s の引張速度では破壊開始から破断するまで 20 μ s 程度しかありません。CFRP の破壊観察を行なうためには、撮影速度の優れたカメラが必要になります。

Fig. 3 に HPV-2A で撮影した CFRP の破断の様子を示します。Fig. 3 の 2 の画像より、試験片中央部で繊維が破断し、

スプリッティング (縦割れ) が生じている様子を確認できます。さらに 7, 13 にて繊維の破断を確認でき、そこを起点に複数のスプリッティングが発生しています。15 から 16 の画像にかけてスプリッティングは見られず、一気に亀裂が進展しています。撮影速度 100 万コマ/s ではこの破壊の様子を確認することはできません。

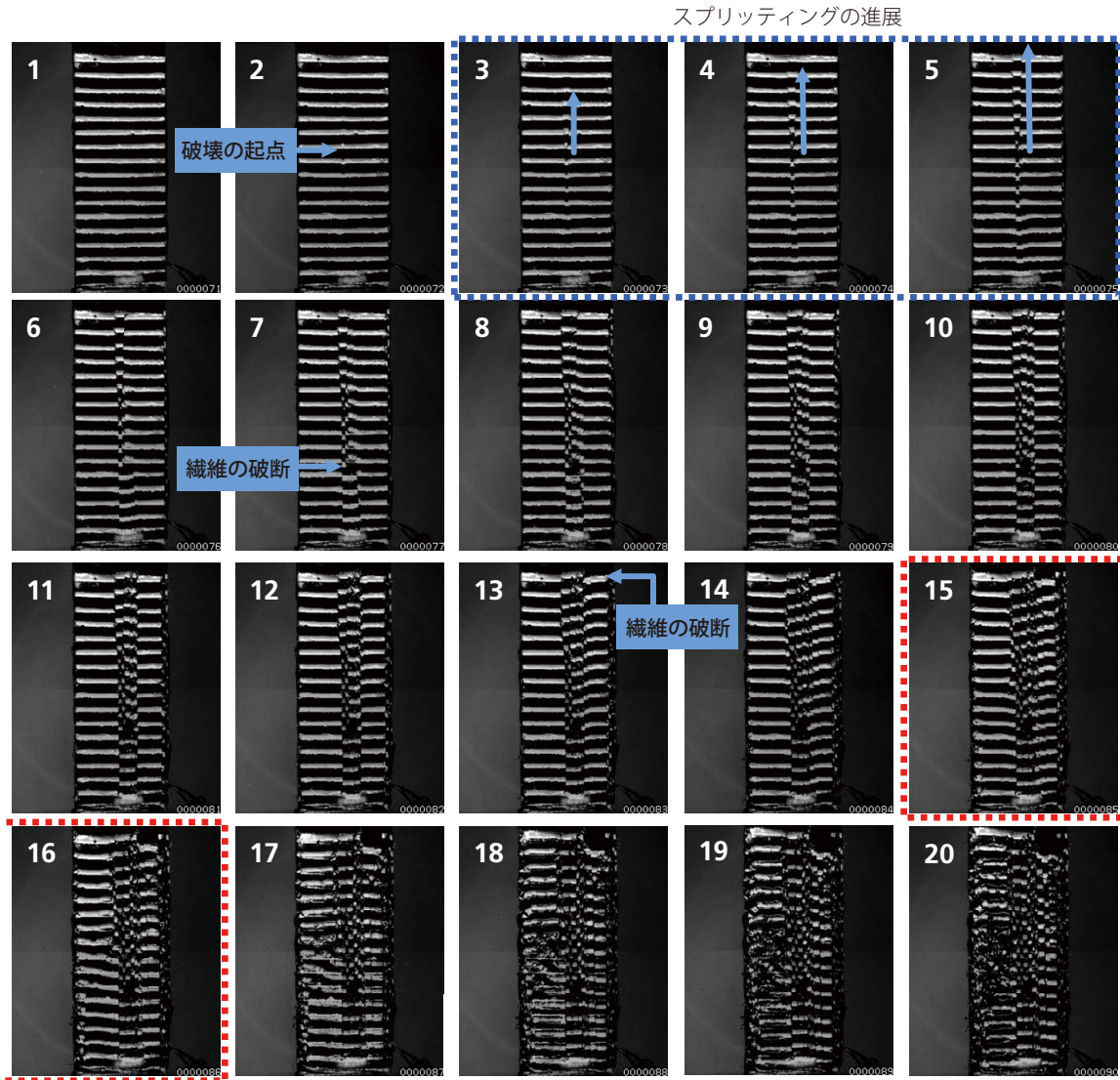


Fig. 3 破断の様子① (HPV-2にて撮影、画像間の時間間隔は1 μ s)
Image of Specimen During Fracture ① (Image of HPV-2, 1 μ s between each image)



Fig.4 破断の様子② (HPV-Xにて撮影, 画像間の時間間隔は 100 ns)
Image of Specimen During Fracture ② (Image of HPV-X, 100 ns between each image)

Fig. 4に HPV-X で撮影した CFRP の破壊の様子を示します。
Fig. 4 の 1 ～ 10 は, Fig. 3 の 15 ～ 16 付近の画像に対応しています。Fig. 4 の 2 の画像より HPV-2A では特定できなかった亀裂の起点を特定できます。亀裂の起点は試験片中央部と左下の 2 箇所存在し, それぞれ, 左下と中央部へと亀裂が進展していく様子が確認できます。

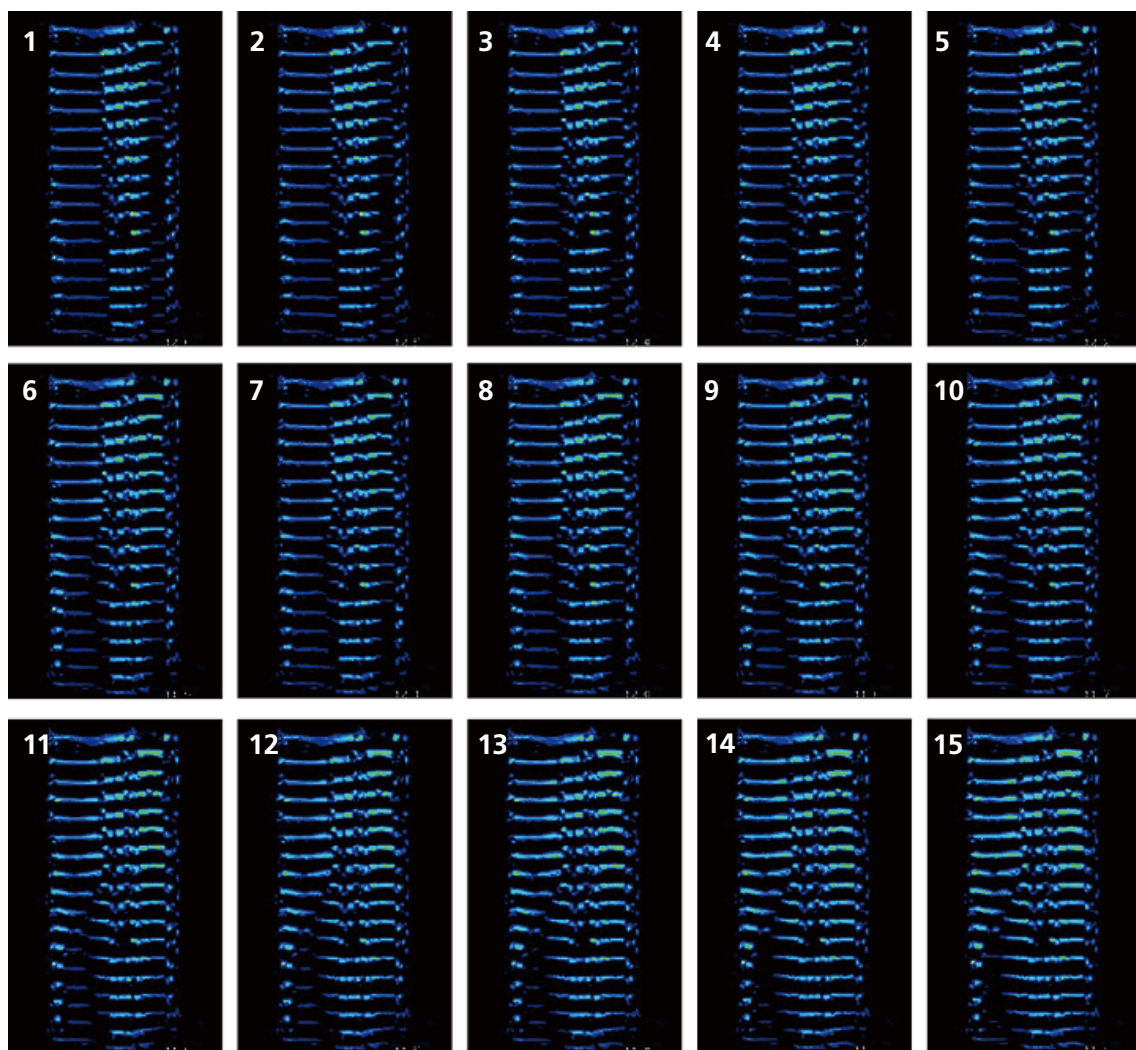


Fig. 5 破断の様子③ (Fig. 4の差分画像)
Image of Specimen During Fracture ③ (Subtraction technique image of Fig. 4)

※撮影開始画像を基本画像として、輝度の差を求めています。

さらに亀裂の様子をわかりやすくするために、Fig. 5にFig. 4を差分解析した結果を示します。差分解析では、撮影開始画像を基本画像として、それぞれの画像の輝度の差を求めています。これにより、白線が移動したところが強調され、亀裂が入ったところは暗く表示されるため、亀裂の進展の様子がわかりやすくなります。

このようにHPV-Xを用いると、従来機では撮影できなかった亀裂の進展の様子を確認することができます。