

Application News

No. V19

高速度ビデオカメラ
High-Speed Video Camera

有孔 CFRP の引張試験における破壊観察 ～ 2 台の高速度ビデオカメラを用いた同期撮影～

The Fraction Observed in the Tensile Test of Open Hole CFRP
- Synchronized Imaging with 2 High Speed Video Cameras -

はじめに

Introduction

炭素繊維強化プラスチック（Carbon Fiber Reinforced Plastic：CFRP）は、複合材料の中でも特に比強度に優れており、軽量化による燃費向上を目的に、航空機や一部の輸送機で使用されています。優れた機械特性を持つ複合材料ですが、一般的に複合材料の特徴として、切欠きがあると強度が著しく低下します。CFRP も例外ではないため、欠陥を有する試験片での試験が重要であり、中央部に切欠きとして円孔をあけた試験片での試験が行われています。今回は、JIS K 7094:2012 を参考に、全長 150 mm、幅 36 mm、厚さ 2.5 mm の CFRP（積層方法 [45/0/-45/90]_{2s}）の中央に 6 mm の円孔を有する試験片を用いて引張試験を行いました。また、引張試験と同時に CFRP の破壊現象の観察も行っています。特に円孔部のような強度が弱い部分がどのように破壊するか確認することは、CFRP の開発や CAE 解析の妥当性の確認のために重要なことです。しかし、CFRP の破壊現象は脆性的であり、瞬時に破壊するため、目で確認することはできません。そのため、破壊現象の観察には高速度ビデオカメラが用いられます。今回は、2 台の高速度ビデオカメラ HPV-X2 を用い、試験片の正面と側面から同期撮影を行いました。

F. Yano

測定システム

Measurement System

実験には、精密万能試験機 AG-Xplus と 2 台の高速度ビデオカメラ HPV-X2 を使用しました。Table 1 に使用した装置を示します。引張試験における破壊観察を行うには、破壊のタイミングでトリガ信号を高速度ビデオカメラに送る必要があります。破壊の起点は、円孔周辺であるため、Fig. 1 に示すように円孔周辺にアルミ箔を接着剤で貼り付け、試験片の破断時に導通が途切れるようにしました。このタイミングをトリガとし、破壊現象の観察を行いました。

Table 1 試験装置
Experimental Equipment

高速度ビデオカメラ	: HPV-X2 2台
レンズ	: 105 mmマクロレンズ 2個
照明	: メタルハライドランプ 2台
試験機	: AG-X plus
ロードセル	: 100 kN
つかみ具	: 100 kN用定位置くさび式つかみ具
つかみ歯	: 複合材料用台形やすり目歯
ソフトウェア	: TRAPEZIUM X (シングル)

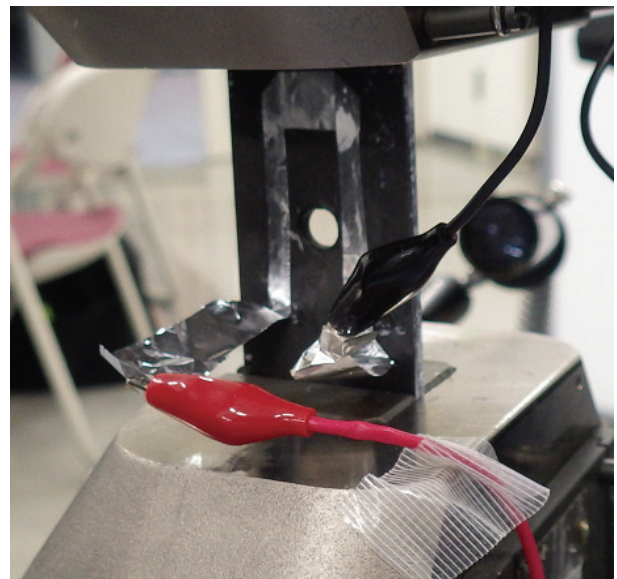


Fig. 1 アルミ箔トリガ
Trigger with Aluminum Foil

測定結果

Measurement Results

Fig. 2 に試験の様子を Table 2 に測定条件を示します。Fig. 2 に示すようにカメラ①で試験片正面の破壊の様子を、カメラ②で試験片側面の破壊の様子を撮影しました。Fig. 3 に AG-X plus の試験結果を示します。Fig. 3 の試験力低下部において破壊が起きています。Fig. 4 に試験片正面の破壊の様子を Fig. 5 に試験片側面の破壊の様子を示します。Fig. 4 の画像②より破壊の起点は円孔左側であり、画像③では円孔右側でも亀裂が発生しています。その後、表層の繊維方向である 45° 方向にそれぞれ亀裂が進展しており、さらに試験が進行すると、画像⑦、⑧のように複数の亀裂が確認されました。

一方、側面からの観察では、亀裂発生時には側面の破壊は確認できず、画像⑤においてはじめて確認できました。これは円孔周辺で発生した亀裂が画像⑤において側面に到達したためであると考えられます。その後、画像⑥において 0° 層を除く複数の層で破壊が確認できました。さらに画像⑦で 0° 層の破断が確認でき、以降、面外方向に破壊が広がっていく様子が確認できました。最終的に試験片は Fig. 6、Fig. 7 で示すような状態になります。

Table 2 測定条件
Measurement Conditions

試験速度 : 5 mm/min
撮影速度 : 100 万コマ/sec
200 万コマ/sec

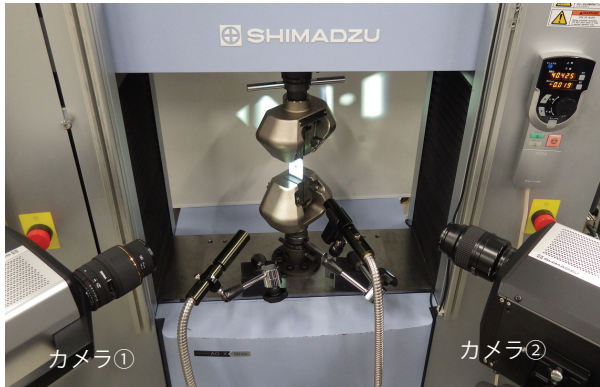


Fig. 2 試験の様子
Over View

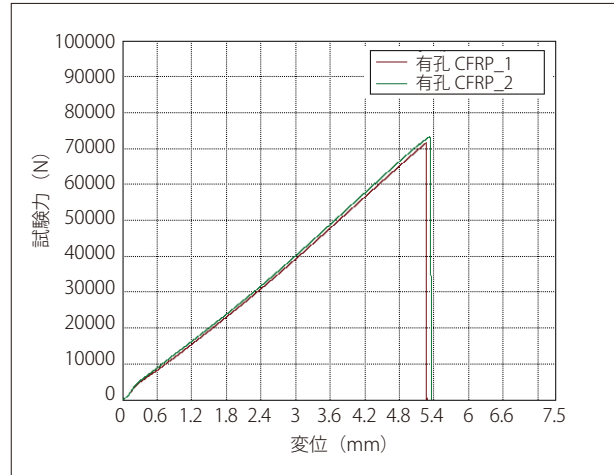


Fig. 3 試験結果
Results of Material Test

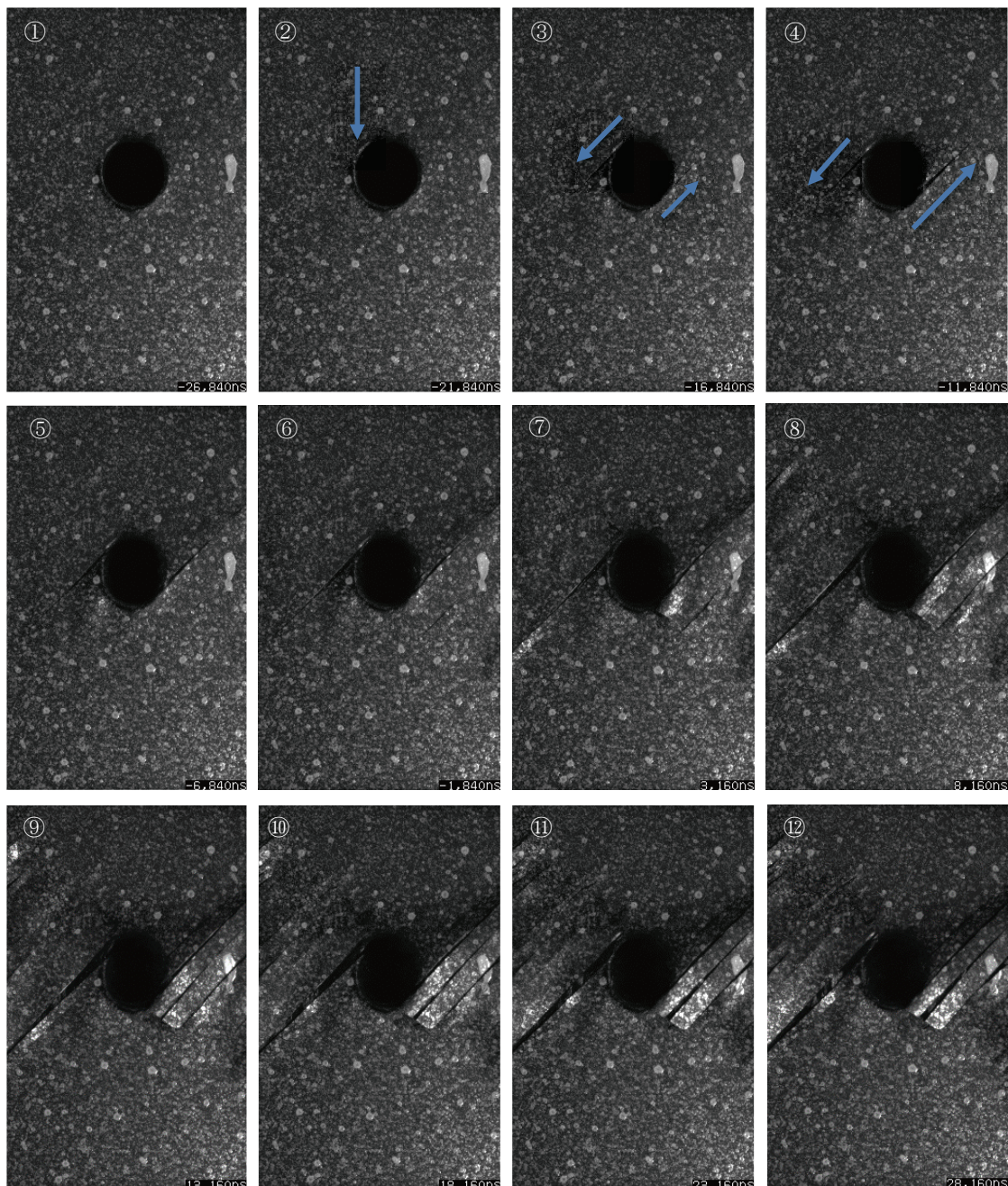


Fig. 4 カメラ①の撮影画像 (画像間の時間間隔は 5 μ s)
High Speed Imaging from Cam1 (Interval of images were 5 μ s)

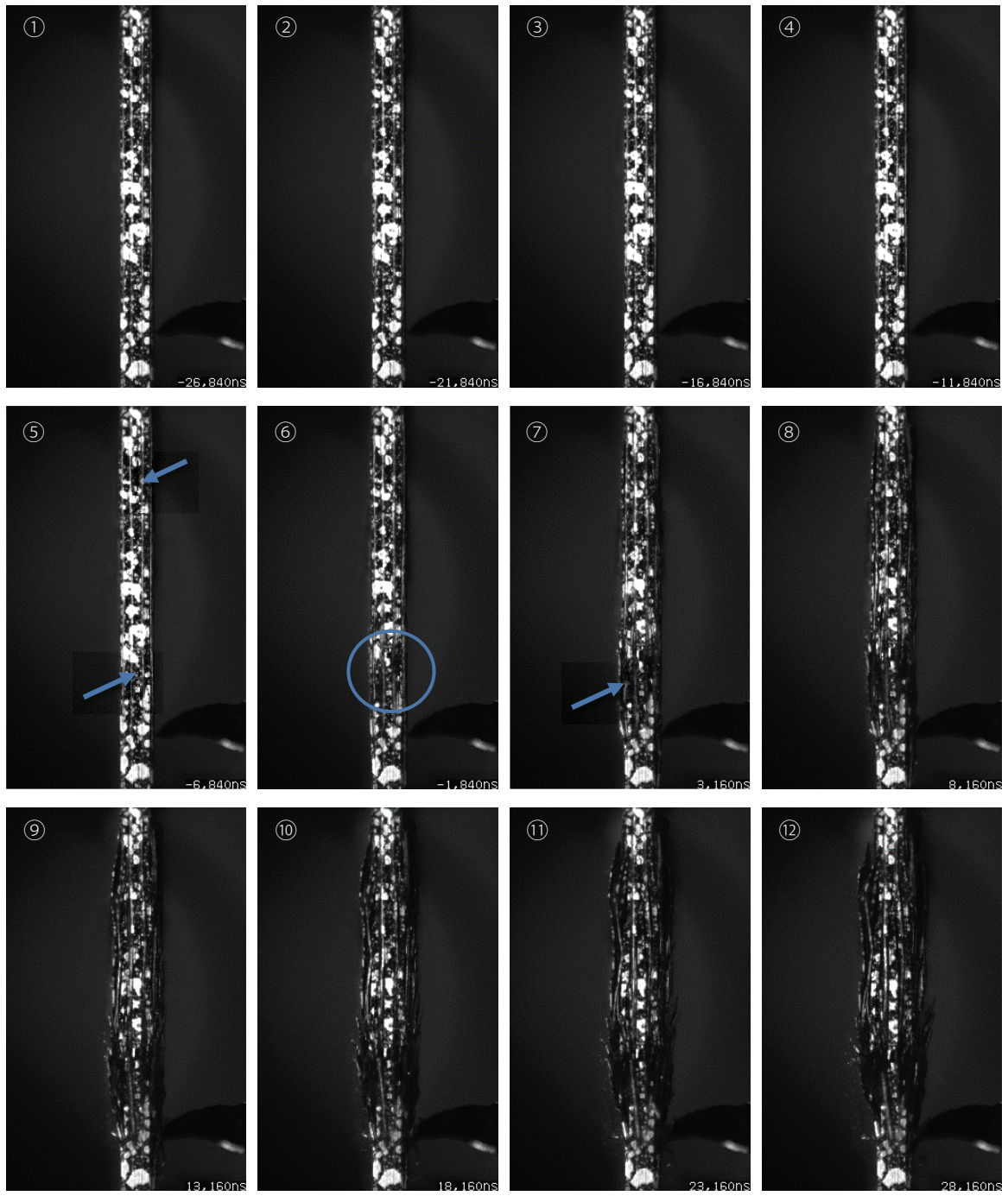


Fig. 5 カメラ②の撮影画像 (画像間の時間間隔は 5 μ s)
High Speed Imaging from Cam2 (Interval of images were 5 μ s)



Fig. 6 破壊後の試験片 (正面)
Specimens of After Failures (Front)

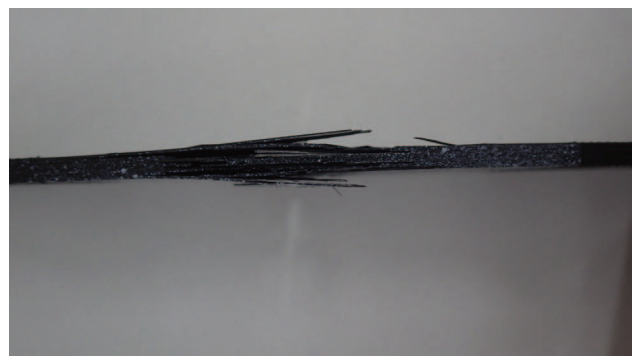


Fig. 7 破壊後の試験片 (側面)
Specimens of After Failures (Side)

■おわりに

Conclusion

従来機 HPV-X では同期機能がないため、2方向からの撮影はできませんでした。また、HPV-Xでは感度不足により、50万コマ/sec以上の撮影速度で撮影ができませんでした。HPV-X2では同期機能を備え、感度が改良されたため、今回のように200万コマ/secでの同期撮影を可能としています。そのため、CFRPのような高速で破壊するような材料の引張試験における破壊現象を観察することができます。

一般的に破壊観察は試験片の正面から撮影することが多いのですが、側面からの撮影を追加することで、正面からだけでは観察できなかった破壊の様子を確認することができました。特に、今回のように積層方向が異なるCFRPでは、層ごとに破壊が異なるため、2方向から撮影することで、より詳細な破壊観察が可能となります。