

放射光 X 線 CT による炭素繊維複合材料の内部構造観察

X-ray computed tomography imaging of Carbon Fiber Reinforced Plastic Composite using synchrotron radiation

高橋由美子*, 平野馨一, 兵藤一行, 木村正雄
放射光科学研究施設, 〒305-0801 つくば市大穂 1-1
Yumiko Takahashi, Keiichi Hirano, Kazuyuki Hyodo and Masao Kimura
Photon Factory, 1-1 Oho, Tsukuba, 305-0801, Japan

1 はじめに

近年、環境・資源問題への関心の高まりから航空機エンジンの低燃費化が求められ、セラミック基複合材料(Ceramic Matrix Composites: CMC)や炭素繊維複合材料(Carbon Fiber Reinforced Plastic: CFRP)の導入による耐熱温度向上、軽量化が進められている。CFRP は金属に比べ軽く、高強度、高弾性率など力学的物性にも優れているが、耐衝撃性、耐熱性、低コスト化などの課題を残している[1]。このような CFRP の特性改善のための評価技術として本研究ではイメージングによる CFRP の構造評価方法を検討した。

2 実験

実験は BL-14B および BL-14C で行った。X 線エネルギーは 20keV とした。吸収コントラスト法によりコンピュータ断層撮影(Computed Tomography: CT)を行った。二結晶モノクロメータで単色化した X 線をコリメータ結晶(Si(220)非対称結晶、非対称因子 0.08)で拡大・平行化して試料に照射した。試料を透過した X 線は Si(220)非対称結晶(非対称因子 0.22)で水平方向に拡大し(拡大率 4.5 倍)空間分解能を向上させた。検出器は X 線 CCD カメラ (Photonic Science, XFDDI)を用いた。ピクセルサイズ 6.45 μm (H) \times 6.45 μm (V)、ピクセル数 1384 (H) \times 1032 (V)である。

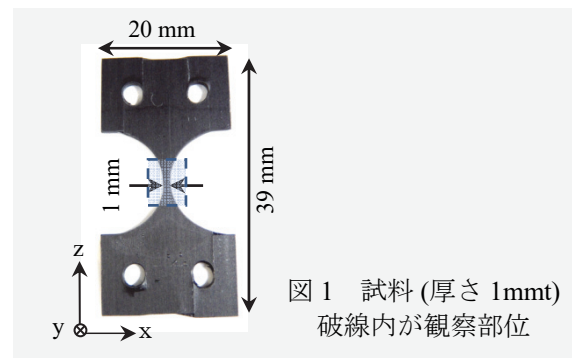


図1 試料(厚さ 1mm)
破線内が観察部位

試料(図 1)は引っ張り試験後の CFRP 積層板で亀裂が生じているものの破断には至っていない[2]。

3 結果

結果の一部を図 2 に示す。比較のため等倍光学系で測定した結果も併記した。拡大光学系(図 2(a))で水平方向(xy 面)に拡大することによって等倍光学系(図 2(c))では判別しにくい CFRP 板 4 枚の張り合わせ構造が明瞭になり、z 方向の繊維配向が識別できた。空間分解能は等倍光学系で 10~15 μm 、拡大光学系では拡大方向で 2~3 μm 程度になっている。試料の繊維径は 5~7 μm なので妥当な結果と言える。試料中央部のエッジから伸展している亀裂は xz 面では直線状であるが内部で面状に広がっていることが分かる(図 2(b)の囲い部分)。図 2 は全てコントラ

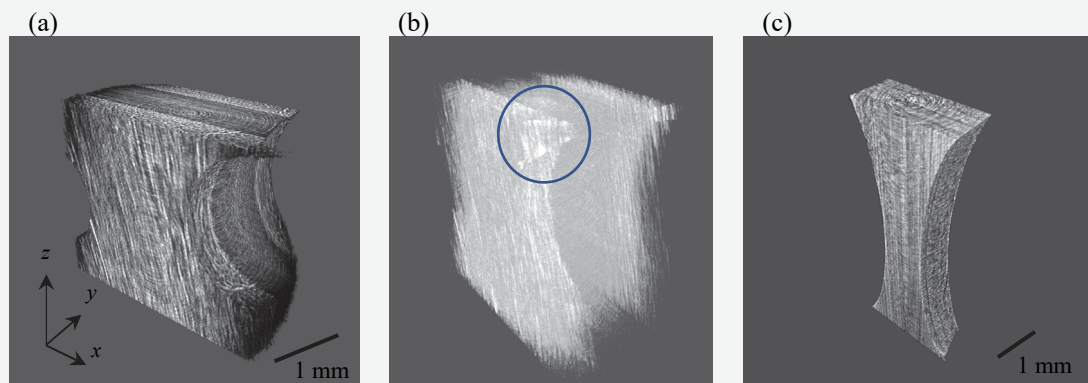


図2 吸収コントラスト CT 3次元再構成像

(a) 拡大光学系で測定した吸収像、(b) (a)を透明度 80%で表示、
(c) 等倍光学系で測定した吸収像

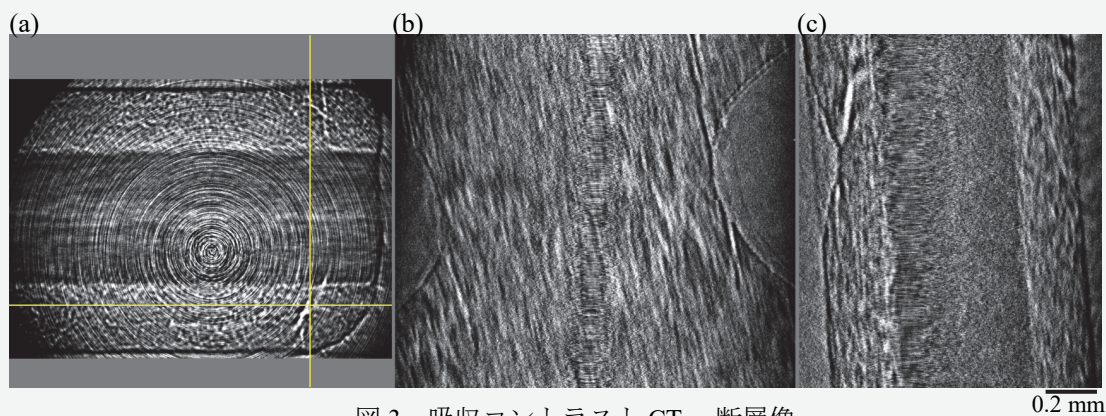


図3 吸収コントラスト CT 断層像
(a) xy、(b) xz、(c) yz 断面。(a)中の黄線部分が(b),(c)の断面位置。

ストを反転して表示している。

図3に各断面の像を示す。最もくびれた部分から発生した亀裂は表面層を貫通しているが、繊維方向が 90° 異なる内部層には至っていないことが分かる。xz断面のz方向に繊維が配向している部分(図3(b))ではこの大きな亀裂以外にも微小領域での繊維の破断や配向の乱れが生じていることが分かった。yz断面では場所によって内部層をy方向に走る亀裂や内部層界面の剥離も観察できた。

4 まとめ

吸収コントラスト CT(拡大光学系)を用いて CFRP 引っ張り試験片の亀裂を観察した。拡大光学系を用いることで表面層の垂直方向の繊維配向や局所的な破断が確認できたが、繊維が水平方向に配向した中間層では比較的大きな亀裂のみが顕著であった。目的に応じて適切な拡大方向・拡大率を設定することで本手法が CFRP の構造観察に有効であることが確認できた。

謝辞

本研究の一部は内閣府の総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「革新的構造材料」(ユニット D66)(管理人: JST)の支援により実施した。

参考文献

- [1] 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 革新的構造材料 <http://www.jst.go.jp/sip/k03.html>.
- [2] Y. Takeichi *et al.*, *Program & abstract booklet of 2nd Symposium on SIP-IMASM 2016*, 17 (2016).

* yumikot@post.kek.jp