

タルボ・ローX線干渉計を用いたセラミックス基複合材料のき裂モニタリング

Ceramic matrix composites crack monitoring using by Talbot-Lau X-ray interferometer

東京工科大学工学部機械工学科 材料グリーンプロセス研究室
高田澄葉¹⁾

指導教員 加藤太朗¹⁾, 古井光明¹⁾, 田中義久²⁾

1) 東京工科大学工学部機械工学科 材料グリーンプロセス研究室

2) 東京工科大学片柳研究所 セラミックス複合材料センター

近年 CMC は航空宇宙分野に利用が進められている。CMC の利用に当たっては、健全性や品質保証を行うための評価技術を重要である。本研究ではタルボ・ローX線干渉計に負荷装置を導入し観察することで、CMC に負荷が作用した場合のき裂の発生および進展挙動を観察することが出来た。

キーワード：CMC, タルボ・ローX線装置, き裂, 発生, 進展

1. 諸言

近年セラミックス基複合材料 (ceramic matrix composite: 以下 CMC) は航空機エンジンの高温部材に利用されるなど、航空宇宙分野での利用が活発化している。理由として CMC はセラミックスの特徴である軽量, 高耐熱性, 高耐久性に加え、弱点である脆性破壊に対する損傷許容性が挙げられる。しかし、実際の利用にあっては健全性や品質保証などに関する評価手法を確立する必要がある。そのためには、損傷が発生する条件を調べるとともに、き裂のモニタリング技術が重要となる。従来のき裂モニタリング技術は光学顕微鏡や走査型電子顕微鏡などを用いて表面を観察する手法であり、内部を捉えることが出来ない。内部をモニタリングする技術としてはX線 CT法があるが、き裂を観察できる分解能と観察範囲にはトレードオフの関係があり、広範囲の観察が出来ない問題がある^[1]。

そこで本研究ではタルボ・ローX線干渉計に引張負荷装置を導入し、CMC に負荷が作用した場合に発生するき裂のモニタリングとマクロな応力-ひずみ特性との関連性について調査した。

2. 実験手法

2.1 タルボ・ローX線干渉計

近年、医療用の非破壊検査を目的としてタルボ・ローX線干渉計が開発された。この装置の概観を図1に示す。X線の干渉を利用することで、従来のX

線装置では可視化出来ない微小な散乱や屈折を画像化する画期的な装置である^[2]。本装置では吸収、微分位相、小角散乱の三種類の画像が同時に撮影可能である。今回はき裂を観察することを目的に、微小構造が観察可能な小角散乱画像を利用した。

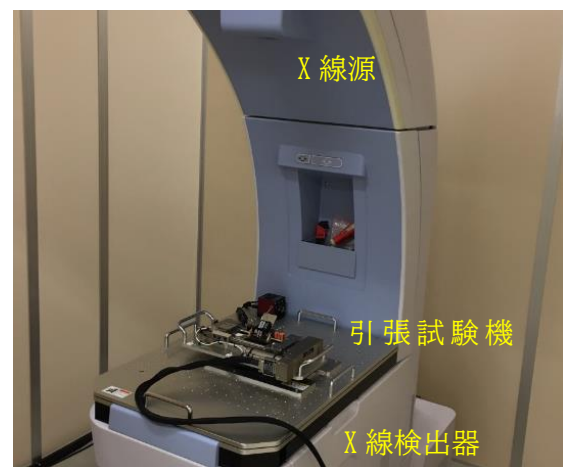


図1 タルボ・ローX線干渉計

2.2 引張試験片

実験に用いた CMC は、一方向の連続 SiC 繊維を SiC マトリックスに複合化したものである。試験片の寸法は長さ 80 mm, つかみ幅 10 mm, 平行部幅 8 mm, 厚さ 1.5 mm (図2), 試験片長手方向に繊維が配向している。また、引張試験時にはつかみ部に Al タブと平行部片面に長さ 10 mm のひずみゲージを取り付けた。

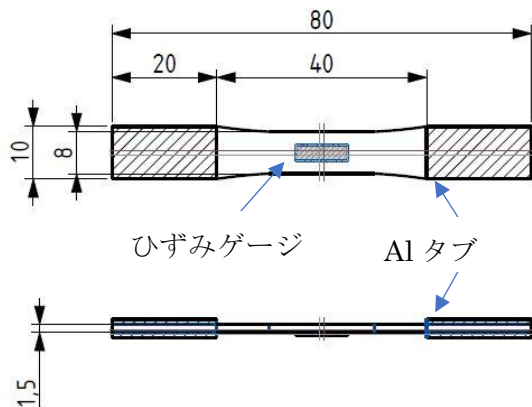


図2 試験片の寸法

引張試験はタルボ・ローX線干渉計に導入した引張試験機を用いて段階的に荷重を上昇させ、それぞれの荷重毎に荷重を停止し撮影を行った。

3. 実験結果

3.1 応力-ひずみ関係

図3に応力-ひずみ線図を示す。応力 200 MPa 近傍まで直線的に上昇し、それ以降は疑似的な塑性変形挙動を示した。

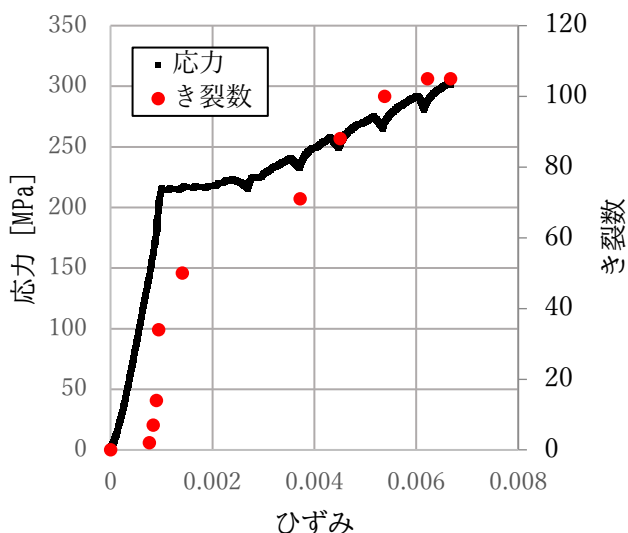


図3 引張試験時の応力とひずみの関係

見かけの降伏応力 215 MPa, ヤング率 216 GPa, 破断強度 301 Pa, 破断ひずみ 6.67×10^{-3} であった。

3.2 X線干渉計によるき裂の観察

タルボ・ローX線干渉計による小角散乱画像を図4に示す。

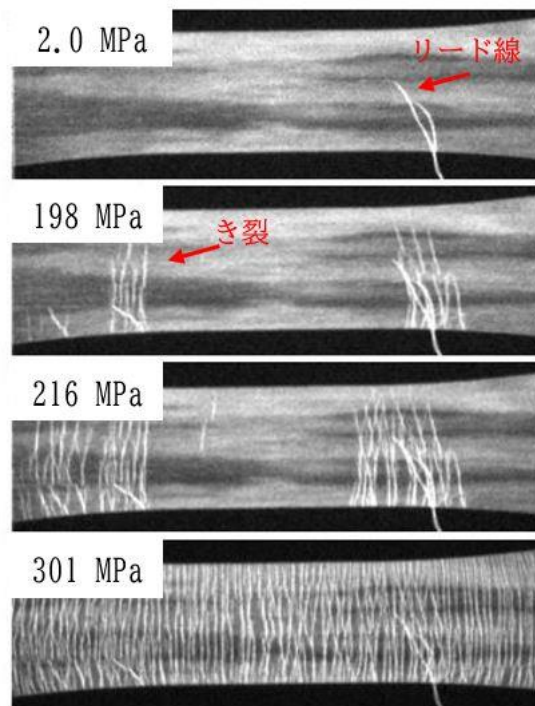


図4 タルボ・ローX線干渉計によるき裂進展過程

見かけの降伏応力近傍から明瞭なき裂が発生・進展し始め、その後き裂は負荷応力の上昇とともに増えていることが分かる。

図3中にき裂の本数とひずみの関係を合わせて示した。ひずみの上昇とともにき裂の発生数が増加し、それぞれのき裂が進展していることが認められた。

4. 結言

本研究では、CMCの引張試験をタルボ・ローX線干渉計で観察することにより、き裂の発生箇所や進展を確認することが出来た。

参考文献

[1] 杉本直, 金属, Vol.90 (2020), p.58-67
 [2] 笠井雄介ら, 日本複合材料学会誌, Vol.47, No.1 (2021), p.11-19