

力学機能のナノエンジニアリング  
2020年度採択研究代表者

2022年度  
年次報告書

高橋 航圭

北海道大学 大学院工学研究院  
准教授

ナノ界面の疲労損傷検出と抑制による複合材料の超長寿命化技術

## 研究成果の概要

今年度は、炭素繊維と母材樹脂の界面き裂が負荷繰返し数の増大に伴って材料表面から内部へと進展する様子を捉えることに取り組んだ。まず、X線照射による樹脂へのダメージを検討するため、炭素繊維を1本樹脂埋めした試験片に対し、20 keVと30 keVの二種類のX線エネルギーでナノCT観察を行った。結果、未照射材と比較して20 keV照射材は強度低下したのに対し、30 keV照射材は同程度の応力-ひずみ関係を示し、X線照射による劣化を抑制できることを明らかにした。この結果を踏まえ、炭素繊維1本を配置した試験片で、負荷繰返し数を増やしながらX線エネルギー30 keVでナノCT観察を行い、試験片表面から材料内部へ進展する界面き裂を観察した。繰返し負荷の最大応力を母材樹脂の弾性範囲とした結果、繰返し負荷1回で炭素繊維の直径と同程度の界面き裂が生じたが、負荷繰返し数の増大に伴ってき裂進展速度が低下する結果が得られた。続いて、炭素繊維を8本程度配置した試験片を用いて同様に実験を行った。隣接する炭素繊維間では変形拘束に伴って母材樹脂の応力が局所的に高くなることを考慮し、炭素繊維1本の場合より4割程度低い応力を負荷した。結果、繰返し負荷1回において、繊維束の外縁部で炭素繊維の直径と同程度の界面き裂を生じた。これらのき裂進展速度は、1本の場合と同様に繰返し負荷数の増大とともに低下した。また、繊維束の中央部に配置する炭素繊維は、10万回の繰返し負荷後も界面き裂を生じなかった。以上より、母材樹脂の弾性変形の範囲内では界面き裂の進展速度は低下すること、界面き裂は隣接する炭素繊維が離れている場合に生じやすいことが明らかとなった。今後は、負荷応力が大きい条件で実験を行い、炭素繊維に沿った界面き裂から隣接する炭素繊維間をつなぐ樹脂割れに遷移する過程を捉えることを目指す。

### 【代表的な原著論文情報】

1) Kosuke Takahashi, Ryosuke Shoya, Takuma Matsuo, Wataru Sato, Takashi Nakamura, Akihisa Takeuchi, Masayuki Uesugi, Kentaro Uesugi, X-ray nanoimaging of a transversely embedded carbon fiber in epoxy matrix under static and cyclic loads, Scientific reports 12 (1), 8843, 2022