

補助事業番号 2020M-194

補助事業名 2020年度 CFRPの超高サイクル疲労特性評価及び疲労限実証への挑戦  
補助事業

補助事業者名 早稲田大学 理工学術院 基幹理工学部 機械科学・航空学科 細井 厚志

## 1 研究の概要

炭素繊維強化プラスチック(Carbon Fiber Reinforced Plastics: CFRPs)は軽量で、機械的特性に優れることから、輸送機器の構造部材をはじめとして、風車ブレードやジェットエンジンファンブレードのような回転部材へも採用されている。CFRPの長期信頼性を確保する目的で、本研究はCFRP積層板の最初期の損傷であるトランスバースクラックに対し、超音波疲労試験機を用いて超高サイクル疲労特性を評価し、疲労限が存在するか否かについて実験及び解析的に評価を行った。その結果、 $10^9$ サイクルオーダーのギガサイクル疲労領域において、疲労限の存在を示唆する結果が得られた。

## 2 研究の目的と背景

近年、地球温暖化の主要因であるCO<sub>2</sub>を削減する必要性が世界的に高まっている。特に、CO<sub>2</sub>排出量の多い自動車には厳しい燃費基準が各国で制定されており、自動車の燃費向上は重要な課題となっている。燃費向上については車両重量の軽量化が効率的な方法として知られており、金属材料と比較して比強度・比剛性に優れるCFRPを用いた自動車部品の開発が進んでおり、エンジンからタイヤへトルクを伝達するドライブシャフトを、従来の中実鋼棒からCFRP円筒材へ置換することも検討されている。その他にも風力発電ブレードやジェットエンジンブレードなどにCFRPを採用し、軽量化によるブレードの大型化によって、エネルギー発電量や推進力の増大が見込まれる。これらの回転部材は設計寿命中に $10^8$ サイクルを超える繰り返し負荷を受けることから、長期信頼性の観点からCFRP積層板の超高サイクル疲労特性評価が不可欠となっている。CFRPは従来の研究で疲労限の存在は知られていないが、もし疲労限が存在すれば一つの安全設計指針とすることができる。そこで本研究では、CFRP積層板の最初期の損傷であるトランスバースクラックに着目し、超音波疲労試験を実施して、トランスバースクラック発生における疲労限が存在するか否かについて、実験及び解析的アプローチから評価を行った。

## 3 研究内容 <https://www.hosoi.amech.waseda.ac.jp/research.html>

本研究は、超音波疲労試験は共振現象を利用した試験であるため、試験片形状を試験機の試験周波数の近傍になるように設計する必要がある。本研究における超音波疲労試験の概略図を図1に示す。超音波疲労試験では通常の疲労試験と異なり、試験片内の応力が一様ではない。本研究では試験片を長手方向の1次のモードで共振させることにより試験片に縦振動を負荷し、引張-圧縮疲労試験を実施した。試験片形状は汎用物理シミュレーションソフトCOMSOL Multiphysicsを用いて有限要素解析を行い、試験片とタブを含めた系全体が長手方向の1次のモ

ードで試験周波数20kHzの近傍で共振するように設計を行った。比較として応力比 $R = -1$ 、周波数5Hz、及び50Hzにて油圧制御による疲労試験を実施した。超音波疲労試験、油圧式疲労試験いずれの試験でも試験条件の統一のため、エメリーペーパーでの研磨とダイヤモンドパウダーによる鏡面研磨を施した。図2はCFRP積層板のトランスバースクラック発生に対する疲労寿命を評価した結果である。この結果から $10^9$ サイクルを超えるギガサイクル疲労領域においてトランスバースクラックが発生しておらず、トランスバースクラック発生に対する疲労限の存在を示唆する結果が得られた。

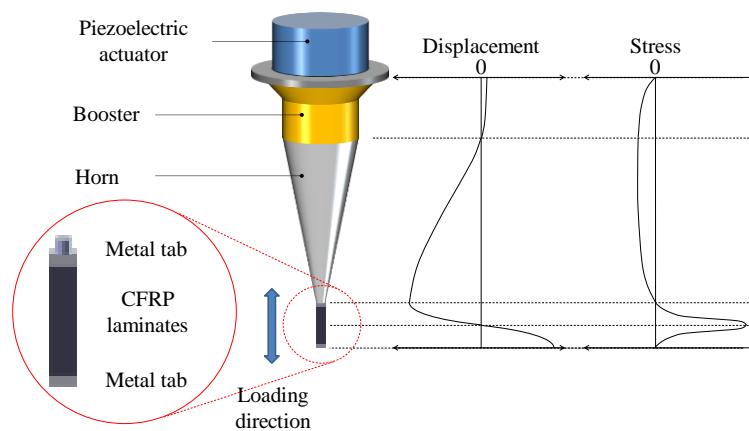


図1 超音波疲労試験の概略図

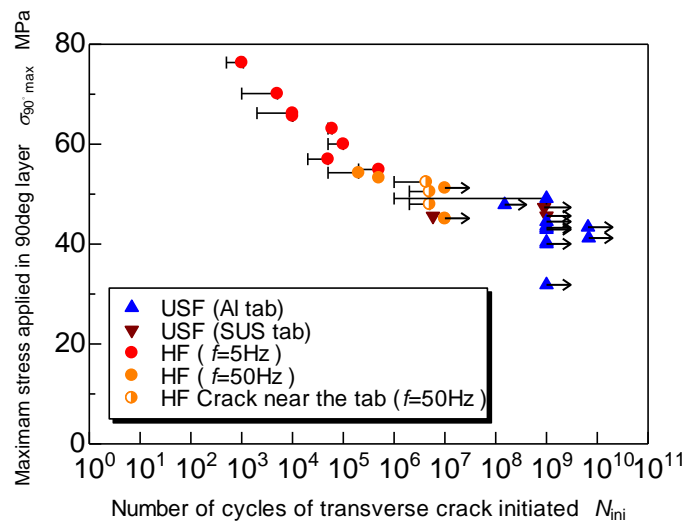


図2 トランスバースクラック発生に対するS-N線図

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究の成果によってCFRP積層板のトランスバースクラック発生にたいする疲労限の存在が示唆された。トランスバースクラックはCFRP積層板の最初期の損傷であることから、この応力よりも小さい応力での設計において、CFRP積層板は疲労しない可能性があり、安全設計において疲労しない設計指針として活用できると考える。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

これまでCFRP積層板の疲労に対する長期信頼性評価に関して研究を行ってきた。本研究では、超音波式疲労試験機を用いて、トランスバースクラック発生に対する疲労限の存在を示唆する実験結果を世界で初めて明らかにした。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- (1) Tsuyoshi Miyakoshi, Takeru Atsumi, Kensuke Kosugi, Atsushi Hosoi, Terumasa Tsuda, Hiroyuki Kawada, Evaluation of very high cycle fatigue properties for transverse crack initiation in cross-ply CFRP laminates, *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 2022, accepted.
- (2) 菅野萌, 小杉健祐, 宮腰剛, 細井厚志, 津田皓正, 川田宏之, L字型擬似等方性 CFRP積層板の超高サイクル疲労損傷進展評価への超音波疲労試験の応用, *材料*, 掲載決定
- (3) Tsuyoshi Miyakoshi, Takeru Atsumi, Kensuke Kosugi, Atsushi Hosoi, Terumasa Tsuda, Yoshinobu Shimamura, Hiroyuki Kawada, Evaluation of transverse crack initiation of cross-ply CFRP laminates by using ultrasonic fatigue testing, the 8th International Conference on Very High Cycle Fatigue (VHCF8), Paper No. 3B03, Hokkaido, Japan, 5-9/7/2021, (Online & On-demand).
- (4) 伊藤真治, 細井厚志, 川田宏之, 「超音波振動を受けるクラックを有するクロスプライCFRP積層板の変分法による応力解析」, 日本機械学会2021年度M&M 材料力学カンファレンス, Paper No. OS0111, オンライン, 2021年9月15~16日.
- (5) 菅野萌, 小杉健祐, 宮腰剛, 細井厚志, 津田皓正, 川田宏之, 「屈曲部を有したCFRP積層板に対する超音波疲労試験の実施および損傷進展観察」, 日本材料学会2020年度JCOM若手ウェビナー研究要旨集, pp.27-28, オンライン, 2020年12月7~8日.
- (6) 小杉健祐, 菅野萌, 宮腰剛, 細井厚志, 津田皓正, 川田宏之, 「L字型擬似等方CFRP積層板の超音波式疲労試験法の提案と疲労特性評価」, 第28回機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2020), Paper no.109, オンライン, 2020年11月19日~20日.

#### 7 補助事業に係る成果物

特になし。

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 早稲田大学 基幹理工学部(ワセダダイガク キカンリコウガクブ)

住 所: 〒169-8555

東京都新宿区大久保3-4-1

担 当 者: 細井厚志(ホソイアツシ)

E - m a i l: hosoi@aseda.jp

U R L: <https://www.hosoi.amech.waseda.ac.jp/>