

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	湾曲繊維を有する3DプリントCFRPの機械的特性評価法に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	白鳥弘英
Author(English)	Hirohide Shiratori
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11742号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:轟 章,井上 裕嗣,水谷 義弘,阪口 基己,因幡 和晃
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11742号, Conferred date:2022/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位（専攻分野）： 博士 Academic Degree Requested Doctor of
学生氏名： Student's Name	白鳥 弘英		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)
			指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は、「湾曲繊維を有する 3D プリント CFRP の機械的特性評価法に関する研究」と題し、以下の 5 章で構成されている。

第 1 章「緒論」では、熱可塑性 CFRP の成形における 3D プリントの利点、及び課題を既存の研究事例を示しながら説明した。また、3D プリントは面内に湾曲した繊維配置を印刷することが可能であるため、直線状の繊維配置に比べ優れた機械的特性を有する構造が実現できる可能性を示した。しかし、湾曲繊維束の印刷においては、繊維束のねじれが発生するため機械的特性が変化する可能性があり、湾曲部の機械的特性を実験的に評価する必要がある。このことを踏まえて、本論文では、湾曲繊維束の 3D プリントにおけるねじれが成形欠陥に及ぼす影響の調査、及び 3D プリント連続 CFRP 湾曲部の機械的特性（破壊応力、弾性係数）の評価法を提案することを目的とした。

第 2 章「湾曲部における繊維束のねじれと成形欠陥の発生機構」では、湾曲繊維束のねじれが成形欠陥に及ぼす影響の調査、及びねじれ発生プロセスの調査を行った。まず、湾曲繊維束の電気抵抗値の測定を行った結果、曲率半径が小さい程、単位長さあたりの電気抵抗値が高くなっていたことから、湾曲部における繊維破断が発生していることが明らかとなった。続いて、湾曲繊維の X 線 CT 観察により、繊維束のねじれ部で空隙が形成されることを明らかにした。また、繊維束のねじれプロセスを明らかにするため、繊維束の形状観察、及び印刷プロセスの観察を行った。その結果、湾曲繊維束の印刷においては、繊維束が扁平化することで、湾曲部の内側と外側に経路差が生じること、また、ノズルから作用する引張力の作用点が繊維束の厚さ分だけ積層方向にずれていることがねじりトルクの発生要因になると考察した。さらに、有限要素解析の結果、繊維束のねじれプロセスにおいて、繊維束がノズルの縁に接触することで引張応力、及びせん断応力が高く発生し、繊維破断が発生すると考察した。

第 3 章「湾曲部の強度評価のための簡易試験法」では、3D プリント CFRP 湾曲部の破壊応力を評価可能な試験法として L 字型引張試験を提案した。試験治具は、試験片のつかみ部での破壊を防ぐため、つかみ部で曲げモーメントが発生しないように考慮した。L 字型引張試験においては、異なる曲率半径を有する L 字型試験片を作製し、曲率半径と破壊応力の関係の評価した。応力分布の算出においては、破壊発生時までには試験片が大きく変形しており、荷重とストロークの関係が非線形となることから、幾何学的非線形性を考慮した算出法を提案した。また、破壊発生時に試験を中断し、湾曲部の内部構造を X 線 CT 装置によって観察した結果、湾曲部外側における圧縮破壊が先行して発生することを明らかにした。このことから、湾曲部外側表面における最大圧縮応力を各形状の試験片につき算出した結果、曲率半径が小さい程、圧縮破壊応力が低下することを明らかにした。これは、湾曲部における繊維破断や空隙などの成形欠陥に関係していると考えられる。

第 4 章「湾曲部の強度及び弾性係数評価のための精密試験法」では、3D プリント CFRP 湾曲部の破壊応力、及び弾性係数の評価が可能な試験法として L 字型 4 点曲げ試験を提案した。L 字型 4 点曲げ試験においては、湾曲部に作用する曲げモーメントが一定となるため、せん断変形が発生しない。従って、Bernoulli-Euler のはり理論を適用することが可能であり、湾曲部の弾性係数を簡便に算出することができる。また、破壊応力の評価も可能にするため、圧子接触部である直線部にタブを接着することで、圧子部での応力集中による破壊を防いだ。破壊応力の算出においては、L 字型引張試験と同様に幾何学的非線形性を考慮した。L 字型 4 点曲げ試験を実施し、湾曲部の破壊メカニズムを X 線 CT 観察によって調査した結果、L 字型引張試験の場合と同様、湾曲部外側からの圧縮破壊が発生していることを明らかにした。また、曲率半径と機械的特性の関係を調査し、圧縮破壊応力は曲率半径 10mm 以下で、弾性係数は曲率半径 5mm 以下で低下することを明らかにした。さらに、L 字型試験片の断面観察を実施し、湾曲部における繊維配向角の調査を行った。その結果、曲率半径が小さい試験片では繊維束のねじれにより湾曲部の周方向に対して偏向している繊維が多く存在していることから、これは湾曲部の弾性係数の低下に影響していると考察した。

第 5 章「結論」では、以上の結果をまとめて示した。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（工学）
学生氏名： Student's Name	白鳥 弘英		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	轟 章	
			指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)		

要旨（英文 300 語程度）

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This paper proposes a method to evaluate the mechanical properties of 3D printed CFRP with curved fibers, and the mechanical properties of the curved sections are experimentally evaluated.

In chapter 1, it was explained that 3D printing of continuously curved fibers may cause twisting of the fiber bundle, which may result in degrading forming quality. In addition, the method for evaluating the mechanical properties of the curved section is necessary to apply the 3D printed CFRP to structures.

In chapter 2, the presence of forming defects was investigated to estimate the effect of fiber bundle twisting on mechanical properties. As a result, the forming defects such as fiber breakage and voids were formed in a curved section, indicating that the mechanical properties may be degraded.

In chapter 3, a simple method to evaluate the fracture stress of a curved section of 3D printed CFRP by tensile test of an L-shaped was proposed and the fracture stress was experimentally evaluated. This test revealed that that compressive failure firstly occurred at the outside of the curved section, and the compressive fracture stress decreased as smaller the radius. This is due to forming defects in a curved section.

In chapter 4, it was proposed that a method to evaluate the fracture stress and elastic modulus of 3D printed CFRP with a curved section by four-point bending test of an L-shaped specimen. As a result, it was found that the compressive fracture stress decreased with a radius less than 10mm and the elastic modulus decreased with a radius less than 5mm. By observing the cross section of the curved section, it was revealed that the elastic modulus decreases due to the deflection of fibers against the circumferential direction caused by the twisting of the fiber bundle.

In chapter 5, the results obtained in each chapter of this study was summarized.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).