

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)	要約
Type(English)	Outline

論文要約

東京工業大学 工学院 機械系 博士後期課程
白鳥 弘英

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性を評価した。応力分布の算出においては、破壊発生時までに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が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。