

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)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		白鳥弘英	
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名	
	主査	轟 章	教授	審査員	因幡和晃	准教授	
	審査員	井上裕嗣	教授				
		水谷義弘	准教授				
		阪口基己	准教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

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 章から成る。

第 1 章「緒論」では、連続繊維を用いた熱可塑性炭素繊維強化プラスチック (CFRP) の成形に熱溶融積層 3D プリント法を適用した場合の利点と課題を説明し、本研究の目的を示している。3D プリント法による CFRP 成形は、従来の直線状だけでなく湾曲した繊維配置を実現できるため、成形自由度が高いという利点があるとしている。一方、繊維の湾曲部では成形時に繊維束のねじれが発生することが報告されており、このねじれが機械的特性に及ぼす影響は不明であるという課題を指摘している。そこで、本研究では、3D プリント CFRP の湾曲部に着目して、繊維束ねじれ挙動とそれに起因して生じる成形欠陥の種類とその発生機構を明らかにするとともに、湾曲部の強度と弾性係数の評価法を確立することによって、3D プリント CFRP 部材の信頼性を向上させることを目的としている。

第 2 章「湾曲部における繊維束ねじれと成形欠陥の発生機構」では、湾曲部における繊維束のねじれ挙動とそれに起因して生じる成形欠陥の種類およびそれらの発生機構を明らかにしている。まず、成形中の繊維束は扁平化するため湾曲部では内側と外側の間に経路差が生じること、ノズルから繊維束へ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ることから、湾曲部でねじりトルクが発生し、繊維束がねじれることを明らかにしている。次に、湾曲させた繊維束の電気抵抗を測定し、曲率半径が小さいほど電気抵抗が大きくなることから湾曲部で繊維が破断している可能性を示唆し、成形後に樹脂を溶解させて観察することで、湾曲部外側で繊維破断が実際に発生していることを示している。さらに、繊維束のねじれ変形の有限要素解析により、繊維束がノズル縁に接触することで高い引張応力とせん断応力が発生し、繊維破断が発生することを明らかにしている。最後に、繊維束ねじれ部の X 線断層画像観察を行い、湾曲部では繊維間に空隙が形成されることを明らかにしている。また、この空隙は、繊維束がねじれて折り返されることにより繊維束が重なり、発生していることを明らかにしている。

第 3 章「湾曲部の強度評価のための簡易試験法」では、湾曲部の破壊強度を評価するための簡易試験法として、L 字型引張試験片を用いる方法を提案している。この試験では、成形パス間の成形欠陥の影響を除くため、1 本の成形パスで作成した薄板を試験片として用いている。また、既存の層間剥離試験治具を改良し、薄板つかみ部での破壊を防止する手法を提案し、解析および実験でその有効性を示している。さらに、曲げのたわみによる幾何学的非線形性を考慮して、破壊時の応力を評価する手法を提案している。以上の提案手法により湾曲部の強度評価を行い、破壊発生時には湾曲部外側で圧縮破壊が生じることを示すと同時に、湾曲部の曲率半径が小さいほど破壊時の最大圧縮応力が小さくなることを明らかにしている。

第 4 章「湾曲部の強度と弾性係数の評価のための精密試験法」では、湾曲部の強度と弾性係数を評価するための精密試験法として、L 字型 4 点曲げ試験を提案している。提案した試験法では、試験片の湾曲部にせん断変形が発生しないため、Bernoulli-Euler のはり理論を適用可能であり、弾性係数を簡便に求められる。また、圧子接触部である直線部に短繊維複合材で成形したタブを接着して圧子部での応力集中による破壊を防ぐことにより、湾曲部の本来の強度を適切に評価できる。さらに、幾何学的非線形性を考慮した手法によって試験片に発生する応力が適切に評価できる。以上の手法で試験を実施した結果、圧縮破壊強度は市販の 0.4mm 径フィラメントにおいて曲率半径 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ている。さらに、試験後に試験片の断面観察を実施し、湾曲部における繊維配向角を測定した結果、曲率半径が小さい場合に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た繊維が多く存在するため、湾曲部の弾性係数が低下することを明らかにしている。

第 5 章「結論」では、各章で得られた知見を総括するとともに、本論文で提案した簡易および精密試験法を比較し、簡易試験法の適用範囲について言及している。

以上を要するに、本研究は 3D プリントによって成形した連続繊維 CFRP の湾曲部における繊維束ねじれに着目し、ねじれ変形およびそれに伴う成形欠陥の発生機構を明らかにすると共に、強度が簡便に評価できる簡易試験法並びに強度と弾性係数の両者を評価できる精密評価手法を確立したものであり、工学上ならびに工業上貢献するところが大きい。よって本論文は、博士 (工学) の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」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。