

令和 2 年 5 月 23 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06063

研究課題名(和文) 複雑形状CFRP部品の微視構造を考慮した応力集中部強度予測手法の確立

研究課題名(英文) Prediction of failure in stress concentration area of a complicated carbon fiber reinforced plastic part considering the microscopic structure

研究代表者

上田 政人 (UEDA, Masahito)

日本大学・理工学部・准教授

研究者番号：80434116

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：一方向炭素繊維強化熱可塑性プラスチック(CFRTP)のチョップドテープを用いた加熱プレス成形は、部品の形状自由度が高く、生産性とリサイクル性に優れている。しかしながら、成形時には部品形状に依存して繊維の再配向が生じ、材料特性が局所的に変化する。本研究では、複雑形状部品の角部を模擬したL型試験片を、CFRTPのチョップドテープを用いた加熱プレス成形により製作して、曲げ破壊試験とその数値解析とを行った。L型試験片の角部の曲げ強度を数値解析により予測した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

炭素繊維強化熱可塑性プラスチック(CFRTP)による複雑形状部品のハイサイクル成形においては、これまでの成形法では生じなかった炭素繊維の局所再配向による材料特性変化の課題がある。このようなCFRTPの複雑形状部品の設計において必要となる成形に依存した材料特性変化を考慮にいたした強度予測手法について検討した。また、X線コンピューター断層撮影法を用いて取得した断層画像より炭素繊維の局所配向状況を取得する方法についても提案した。

研究成果の概要(英文)：Hot press molding of chopped tapes of a unidirectional carbon fiber reinforced thermoplastic (CFRTP) is excellent in the productivity and recyclability. However, the reorientation of the fibers occurs depending on the geometry of the part during molding, and the material properties change locally. In this study, L-shaped specimens were selected as a corner section of the part and fabricated by the hot press molding of the CFRTP chopped tapes. Bending tests of the L-shaped specimens and the numerical simulation were performed. The corner strength of the L-shaped specimen was predicted by the numerical simulation.

研究分野：複合材料工学

キーワード：炭素繊維強化プラスチック 熱可塑 ハイサイクル成形

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

熱可塑性樹脂と炭素繊維との複合材料である炭素繊維強化熱可塑性プラスチック (CFRTP) は、軽量かつ力学特性に優れた材料である。CFRTP は熱可塑性樹脂を母材とするため、成形時間が短い、保管が容易、比較的簡易な装置で成形が可能であるなどの利点が挙げられる^①。更に、一度成形した後でも、再加熱すれば別形状に再度成形することができるため、リサイクル可能な材料としても注目されている。輸送機器などの軽量化のために、複雑形状の金属部品を CFRTP に材料置換することが検討されている。

CFRTP を所定の部品形状へと成形する方法の一つとして、一方向に炭素繊維を配列させた状態の一方方向 CFRTP を数十 mm 程度の長さで切断したチョップドテープを型に敷き詰め、加熱加圧する成形法がある。この加熱プレス成形法の特徴としては、高い流動性による成形自由度の高さや、長繊維であるために力学特性が高いなどが挙げられる。一方で、ランダムに配置したテープを加熱プレス成形する際に CFRTP が流動するため、繊維方向が不規則になりやすい^{②-④}。このように成形に依存して材料特性が変わる (低下する) 材料であることから、成形による繊維配向を考慮した構造解析が必要となっている。

2. 研究の目的

一方方向 CFRTP チョップドテープの加熱プレス成形による複雑形状部品において、成形に伴う CFRTP の流動を考慮した強度評価について検討することにより、このような部品の構造信頼性を高める安全設計技術に貢献することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 概要

一方方向 CFRTP チョップドテープの加熱プレス成形法により、短冊形状試験片を製作して、曲げ特性を取得した。その後、曲率の異なる L 型試験片を製作し、その曲げ試験を実施することによって角部の破壊強度評価を行った。試験片の曲率によらず角部の破壊モードが層間はく離であったことから、層間せん断強度の測定を行った。この結果を用いて有限要素法により曲げ試験の数値シミュレーションを実施することにより、角部の強度予測について検討を行った。また、X 線コンピュータ断層撮影 (CT) を用いた内部観察によって、強度のばらつきが発生要因について検討した。

(2) 材料、成形方法および試験片形状

試験片の材料には、炭素繊維 (TR50 15K, 三菱ケミカル) と熱可塑性ポリアミド樹脂 (PA6) とからなる一方方向 CFRTP プリプレグシート (MCP1223, 丸八) を用いた。繊維体積含有率は約 51% である。このプリプレグシートをカッターを用いて切断して、チョップドテープとした。チョップドテープの寸法は表 1 に示す 4 種類とした。

チョップドテープをアルミ製の金型に投入し、手動式油圧加熱プレス盤 (IMC-180, 井元製作所) を用いて加熱プレス成形を行った。基礎的な材料特性を取得するための短冊形状試験片 (長さ 100 mm, 幅 15 mm, 厚さ 2.2mm) と、L 型試験片とを製作した。L 型試験片は、チョップドテープからバスタブ形状に加熱プレス成形した後、卓上型メタルソーを用いて図 1 に示す寸法に切り出した。角部半径を R=2, 4, 6, 8 mm とした 4 種類の L 型試験片を製作して、評価を行った。

表 1 一方方向 CFRTP チョップドテープの寸法

Width [mm]	Thickness [mm]	Length [mm]
5	0.17	10
		15
		20
		30

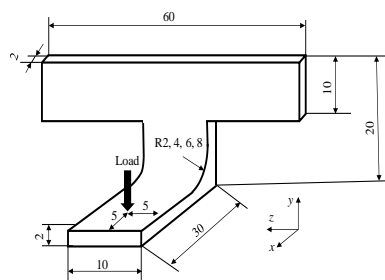


図 1 L 型試験片の形状

(3) 短冊形状試験片及び L 型試験片の曲げ試験

短冊形状試験片の曲げ試験については 3 点曲げとし、万能試験機 (AG-IS150kN, 島津製作所) を用いて支持点間距離を 80 mm, 負荷速度 5 mm/min にて実施した。L 型試験片の曲げ試験については、図 1 に示すように、L 型試験片の先端部に万能試験機を用いて荷重を負荷することで実施した。試験速度は 5 mm/min である。

(4) 有限要素解析

汎用有限要素法ソフト Abaqus 6.14 を用いて L 型試験片の曲げ試験に関する数値解析を行った。4 角形 1 次要素を用いて、平面応力状態を仮定した 2 次元解析とした。上記の実験を模擬するように境界条件を設定した。

(5) 試験片の観察

X 線コンピュータ断層撮影 (CT) 装置 (SkyScan 2211, Bruker) を用いて、L 型試験片の内部観察を行った。

4. 研究成果

(1) 短冊形状試験片の曲げ試験結果

チョップテープの長さが 10~30 mm のテープを用いて成形した短冊形状試験片の曲げ試験により、テープ長の違いが曲げ特性に与える影響について検討した。それぞれのテープ長に対する曲げ弾性率と曲げ強度とを図 2 に示す。曲げ弾性率及び曲げ強度ともに、テープ長が長くなるにつれて増大している。但し、テープ長が 30 mm でほぼ一定値に収束している。従って、テープ長が 30 mm 程度以上であれば、本材料として十分な曲げ特性が発揮されると考えられる。この結果から、L 型試験片の製作には長さが 30 mm のチョップドテープを用いた。

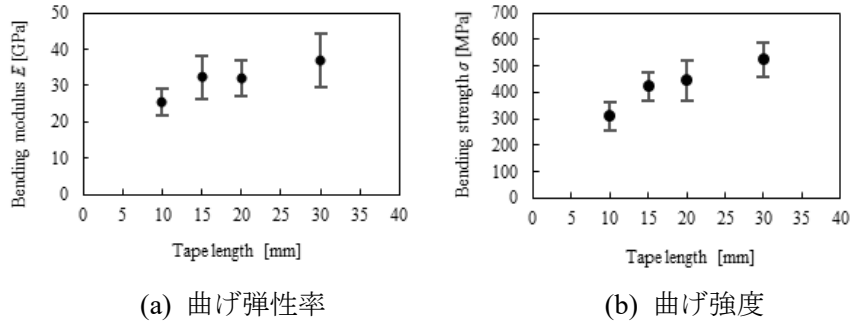


図 2 短冊形状試験片の 3 点曲げ試験結果

(2) L 型試験片の曲げ試験結果

L 型試験片の曲げ試験より得られた最大荷重を図 3 に示す。角部半径が大きいほど、強度も高くなっている。破壊後の試験片の様子を図 4 に示す。角部半径によらず、角部においてその曲率に沿ったはく離損傷が発生していた。加熱プレス成形時にはチョップドテープが大きく流動して角部を形成するが、チョップドテープが層状に流動していると考えられる。この結果、一方向 CFRTP のチョップドテープを用いた部品の角部強度は、層間せん断強度を用いて整理できると考えられる。

(3) 層間せん断強度の測定結果

チョップドテープによる CFRTP 成形品の層間せん断強度を測定するため、JIS K 7092 に準拠した層間せん断強度測定試験を行った。この試験により得られた層間せん断強度は 31.0 ± 4.6 MPa であった。破壊モードは全ての試験片で切欠き間のはく離であった。

(4) 有限要素法による応力解析

L 型試験片の曲げ試験に関する数値解析を行った結果の一例 (R=4 mm の場合) を図 5 に示す。実験により得られた平均最大荷重を負荷して得られたせん断応力を、極座標系にて表示した分布図であり、角部のみを拡大して表示してある。これより角部内側付近でせん断応力が最大となっており、実験にて生じたはく離損傷の発生位置とほぼ同じ位置である。

また、有限要素法解析の結果から、角部でのせん断応力が高い領域においては、半径方向の引張応力も生じていることが示された。せん断応力と引張応力との複合負荷状態での破壊基準を設定することで、はく離損傷領域を予測することができる。

(5) X 線コンピュータ断層撮影による試験片の観察

X 線 CT 装置を用いて L 型試験片の内部観察を行った。図 6 に L 型試験片の角部における x-y 断面の断層画像を示す。試験片内部にはボイドが生じており、また、一部のボイドの端からクラ

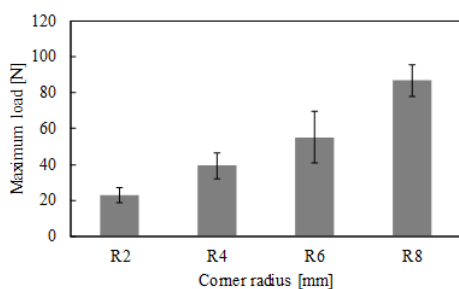


図 3 角部形状と最大荷重との関係

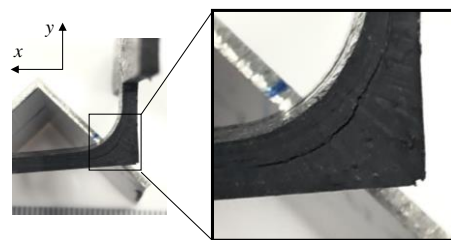


図 4 角部の破壊モード

ックが進展してはく離損傷となっている様子が観察された。加熱プレス成形時には角部においてチョップドテープの流動によりこのようなボイドが生じやすいと考えられる。このようなボイドが強度低下を引き起こし、強度のばらつきを生じさせる原因になると考えられる。

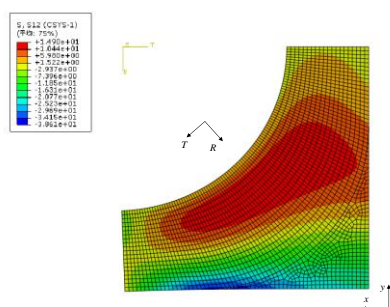


図5 有限要素法解析による角部の応力分布

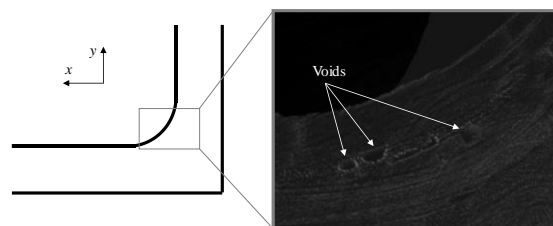


図6 角部におけるボイドの発生

<引用文献>

- ① 澤岡 竜治ほか、CFRP/CFRTP の加工技術と性能評価、サイエンス&テクノロジー、2012
- ② 菅沼啓史、山下慎一郎、大澤勇、高橋淳、炭素繊維薄層テープ強化熱可塑性樹脂の引張弾性率評価試験におけるバラツキに関する研究、日本複合材料学会誌、43号、2017、18-24
- ③ 末益 博志、松尾 剛、日本複合材料学会誌、44号、2018、92-99
- ④ 志田龍亮、高橋淳、炭素繊維テープ強化熱可塑性プラスチックのバラツキ・面外異方性を考慮した位相最適化の検討、日本複合材料学会誌、44号、2018、129-137

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 高橋拓也, 上田政人
2. 発表標題 放射光X線CTによる一方向炭素繊維強化プラスチックの繊維うねりの3次元モデル化
3. 学会等名 日本機械学会 機械材料・材料加工部門 第26回機械材料・材料加工技術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上田政人, 長坂友貴
2. 発表標題 長炭素繊維強化熱可塑性プラスチックを用いた複雑形状部品の加熱プレス成形における材料特性の変化
3. 学会等名 日本機械学会 機械材料・材料加工部門 第26回機械材料・材料加工技術講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田圭祐, 上田政人
2. 発表標題 CFRTPテープを用いた複雑形状部品の加熱プレス成形における材料特性の変化
3. 学会等名 日本複合材料学会 第10回日本複合材料会議
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 荒木大輔, 上田政人
2. 発表標題 加熱プレス成形した長繊維強化熱可塑性プラスチックの曲げ特性に与える繊維長の影響
3. 学会等名 日本複合材料学会 第10回日本複合材料会議
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----