

経常研究

熱可塑性 CFRP の穴あけ加工におけるバリ抑制に関する調査研究

山下 健介* 棚原 貴登*

 Investigation of Burr Suppression in Drilling of Thermoplastic CFRP
 YAMASHITA Kensuke and TANAHARA Takato

本研究では、熱可塑性 CFRP のドリル加工におけるバリを抑制する加工条件を検討するため、加工条件がバリ、切削力及び被削材出口温度に与える影響の評価を行った。その結果、マトリックス材がポリプロピレンの熱可塑性 CFRP は、切削速度と 1 回転送りを大きくすれば欠陥を一定程度抑制可能であることや、熱の拡散が抑制されることが分かった。さらに、粘着テープを CFRP の両面に張りつけて加工を行った結果、欠陥の抑制が可能であり、粘着力の大きさにより効果が変化する可能性があることが明らかになった。

Key words: 熱可塑性 CFRP、ドリル、バリ、層間剥離、粘着テープ

1 はじめに

輸送用機器はカーボンニュートラルの実現に向け燃費向上による CO₂ 排出量削減が求められている。燃費向上には、軽量化が重要であり軽金属や、CFRP 等の複合材の利用が進んでいる。CFRP はこれまで高強度高剛性な熱硬化性樹脂を基材とするものが主流であったが、短時間で成形でき靱性やリサイクル性に優れる熱可塑性樹脂を基材とする CFRP の自動車（量産車）での活用が期待されている¹⁾。しかし、熱可塑性 CFRP はドリルによる穴あけ加工時の出入口付近でのばりの発生が課題となっている。バリは、部品の機能や品質の悪化につながるため、製造現場ではばりの除去作業が必要となり、その工程が加工時間や加工コストの増大を招き生産性の低下が起きている。

そこで本研究では、熱可塑性 CFRP のドリル加工におけるバリを抑制する加工条件を検討した。

2 研究の方法

2.1 実験方法

加工機は 5 軸マシニングセンタ（DMG 森精機 DMF180）を用い、回転式切削動力計（日本キスラー 9170A1312）に取付けたドリルで穴加工を行いスラストとトルクを取得した。また、温度分布測定システム（NEC Avio 赤外線テクノロジー H2640）及び、高速度ビデオカメラ（フオートロン FASTCAM SA3 model60K）を用い、被削材を固定した治具の φ12 mm の貫通穴から被削材出口面の温度分布と穴加工状況を撮影した。実験段取りを図 1 に示す。

被削材は、マトリックス材をポリプロピレンとし、カーボクロス（3K/平織）を 14 枚積層して厚さを 3 mm にした熱可塑性 CFRP を用い、φ6 mm の 2 枚刃超硬ドリル（ギケン GK-HCTZ0600DLC）（図 2）を用いて表 1 の加工条件でドライによる穴加工を行った。

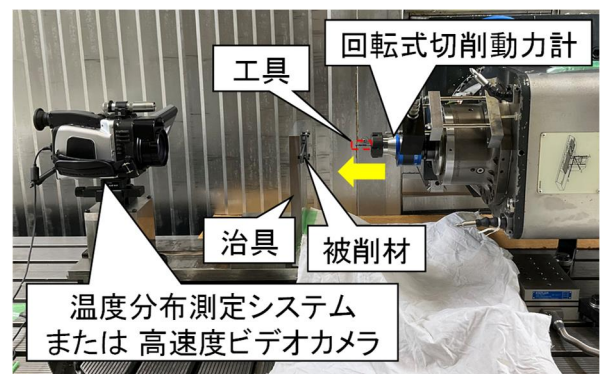


図 1 実験段取り

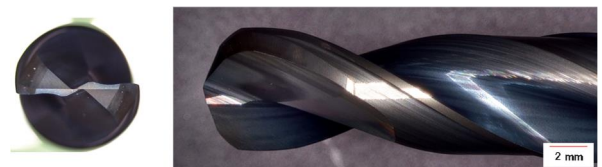


図 2 使用ドリル外観（左：底面、右：側面）

表 1 加工条件

条件	切削速度[m/min]	1 回転送り [mm/rev]
1	40	0.02
2		0.1
3	100	0.02
4		0.1

* 栃木県産業技術センター 機械電子技術部

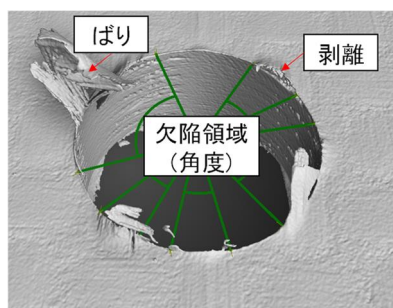


図3 欠陥領域割合算出方法

2. 2 ドリル加工条件とばりの関係

加工条件とばり発生状況を比較するため、加工後の被削材を、X線CT三次元測定機（ニコン MCT225）を用い撮影した。CFRPは積層材であるため、ばりの他に層間剥離が発生する。そのため、X線CTのデータから表層部のばりと層間剥離状況を確認し、ばりや剥離の欠陥が発生した領域の割合を算出した。なお、欠陥領域割合の算出方法は、加工穴表面の円周上で欠陥が発生している範囲の角度を測定し、角度の合計値を円の角度である360°で割ることで算出した（図3）。

また、ばりや剥離による欠陥の発生状況について確認するため、高速度ビデオカメラで加工条件4の切削速度100 m/min、1回転送り0.1 mm/revの被削材出口面の穴加工状況を撮影した。

2. 3 穴加工時の切削力とばりの関係

切削力とばり発生状況を比較するため、回転式切削動力計で測定したスラストとトルクを2.2の欠陥領域割合と比較し関係性を評価した。

2. 4 ドリル加工条件と出口温度の関係

加工条件と出口温度を比較するため、温度分布測定システムで測定した各加工条件の被削材出口面の温度を評価した。なお、熱可塑性CFRPの放射率は黒体スプレーによる直接測定と熱電対による間接測定で計測し、0.73を採用した。

2. 5 粘着テープによるばり抑制

2.2の結果を踏まえ、さらなるばり抑制方法として、被削材に粘着テープを貼ることでCFRPのカーボクロス最表層と最終層の剥離抑制を検証した。加工条件は条件4の切削速度100 m/min、1回転送り0.1 mm/revと

し、粘着テープは加工穴径に対し十分に大きいサイズにカットし被削材両面に貼付けてから治具に固定し穴加工を行った。使用した粘着テープの基材等を表2に示す。なお、基材厚さは粘着層除去後、マイクロメーターを用い測定し、粘着力は万能材料試験機（島津製作所 AGS-5kNX）を用い、温度23℃、湿度50%の環境で、穴加工に用いた被削材と同じ熱可塑性CFRPを被着体とし180°剥離試験を行いn=3の平均で算出した。

表2 粘着テープ

テープ名	基材	基材厚さ [μm]	粘着力 [N/10mm]
A1-PEテープ①	アルミ箔ポリエチレン	150	2.08
A1-PEテープ②	アルミ箔ポリエチレン	150	4.96
A1テープ	アルミ箔	77	6.10
SUSテープ	ステンレス箔	39	8.49

3 結果及び考察

3. 1 ドリル加工条件とばりの関係

各加工条件の出口面側の欠陥領域割合のn=3の平均値を図4に示す。なお、入口面側に関しては、すべての条件で全円周上に欠陥が発生していた。

その結果、切削速度と1回転送りを大きくすれば、出口側の欠陥を一定程度抑制可能と分かった。

次に、CFRPのドリル加工時の出口面の状況を高速度ビデオカメラで撮影した結果を図5に示す。

その結果、ドリル先端によりCFRPのカーボクロスの最終層が押されて、浮いた最終層がドリルの刃で切れないことでばり（切り残し）が発生していることが分かった。

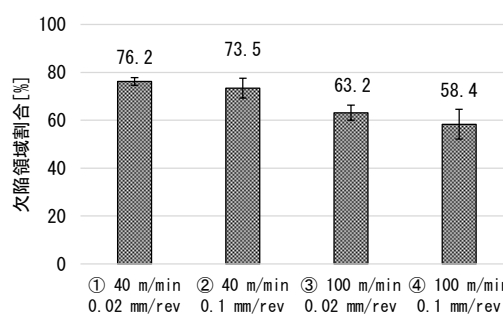


図4 各加工条件での出口面側の欠陥領域割合 (n=3)

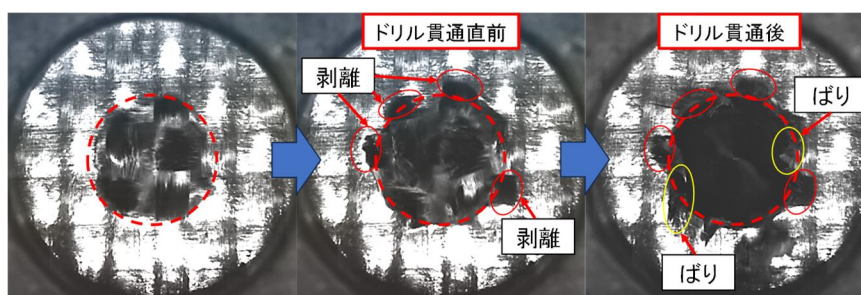


図5 ドリル加工による出口面側の状況 (100 m/min、0.1 mm/rev)

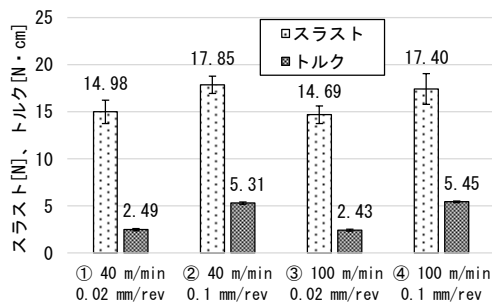


図6 各加工条件でのドリルにかかるスラストとトルクの各軸の平均値(n=3)

3. 2 穴加工時の切削力とばりの関係係

計測したスラスト（前方へ押し出す力（軸方向の力））とトルク（回転方向の負荷）の各値の平均を図6に示す。

その結果、1回転送りが大きいとスラスト、トルクともに大きくなるが、切削速度が変化しても各値に大きな差は見られなかった。一方、図4では切削速度が大きくなると、欠陥領域割合が低下する傾向が見られ、欠陥の発生はスラストとトルク以外にも要因がある可能性が考えられる。

3. 3 ドリル加工条件と出口温度の関係

各加工条件の出口温度測定結果を図7に示す。なお、最高温度と加工穴の縁で剥離が発生していない場所の温度も図中に記載した。

その結果、切削速度と1回転送りが大きい条件ほど剥離が発生しなかった加工穴の縁の温度は小さくなった。送りを大きくすると縁の温度が小さくなることは、切削で発生した熱が被削材に伝わる前に工具が移動するためと考えられる。また最高温度が高い条件3が条件1より熱の広がり小さいことは、工具の送り速度が条件1は42 mm/min、に対し条件3は106 mm/minであり、条件3は条件1に比べ送り速度が早いためである。

熱可塑性樹脂は温度が上がると強度が低下する²⁾ため、切削速度や1回転送りを大きくするとばり抑制へ効果がある理由は、加工熱の拡散が抑制される³⁾ためと考えられる。

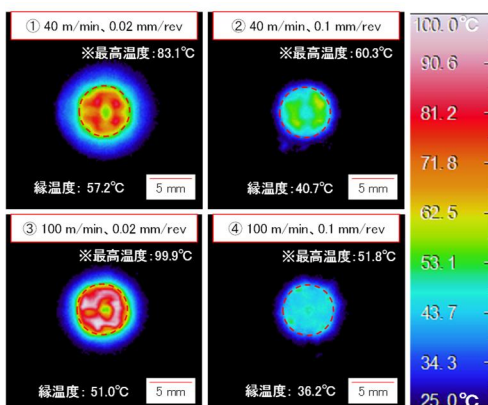


図7 出口温度測定結果

3. 4 粘着テープによるばり抑制

加工面の両面に粘着テープを貼り、加工条件4でドリル加工をした加工穴の円周上でばりや剥離の欠陥が発生した領域の割合を図8、デジタル顕微鏡（ハイロックス KH-8700）で撮影した被削材出口面の外観を図9に示す。

その結果、3. 1において、入口面側はすべての条件で全円周上に欠陥が発生していたことに比べ、粘着テープを貼ることにより一定程度欠陥を抑制できた。出口面側は図4の結果と比べると、A1テープは欠陥の抑制が可能だが、A1-PEテープの2種類は差がなく、SUSテープは逆に悪くなる結果となった。しかし外観画像からSUSテープはA1テープと同様に切れ残りのばりが少ない。これは、表2からSUSテープはA1テープよりも粘着力が大きく、層間剥離が発生する力より大きい可能性が考えられ、テープを剥がす際に新たな剥離が発生した可能性がある。

以上から、粘着テープを用いることで、欠陥の抑制が可能だが、粘着力の大きさにより効果に変化する可能性があることが明らかになった。

なお、今後の検討事項として、粘着テープ基材の穿孔強度や粘着テープの粘着力とCFRPの層間破壊靱性を比較すれば、より詳細な検討が行えると思われる。

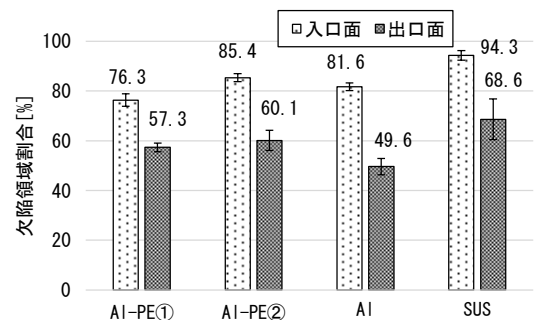


図8 欠陥領域割合 (n=3)

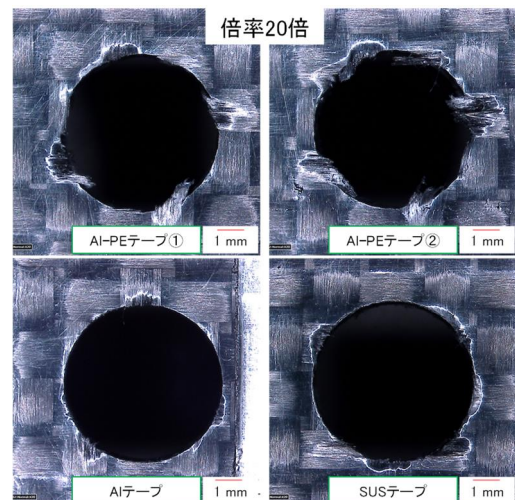


図9 被削材出口面の外観画像

4 おわりに

本研究では、熱可塑性 CFRP のドリル加工におけるばりを抑制する加工条件の検討を行うことで、以下の知見が得られた。

- (1) マトリックス材がポリプロピレンの熱可塑性 CFRP は、切削速度と 1 回転送りを大きくすれば、欠陥を一定程度抑制可能である。
- (2) 切削速度や 1 回転送りを大きくすると熱の拡散が抑制される。
- (3) 加工面に粘着テープを貼ることで、欠陥の抑制が可能であるが、粘着力の大きさにより効果が変化する可能性がある。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、多大なる御指導をいただいた東京電機大学工学部機械工学科 田村昌一教授に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 寺田 幸平: “精密工学会誌”, 81(6), 485-488, (2015)
- 2) 成澤 郁夫: “プラスチックの機械的性質”, シグマ出版, 29-199, (1994)
- 3) 近藤 拓郎ほか: “山口県産業技術センター研究報告”, 30, 8-13, (2018)