

CFRP の穴あけ加工に関する研究

岩本竜一*, 栗毛野裕太*, 市来浩一**

Study on Drill Processing to CFRP Plate

Ryuichi IWAMOTO, Yuta KURIGENO and Koichi ICHIKI

CFRP 板の穴あけ加工について、バリの発生が少ない加工条件を検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。
 1) 安価な汎用ドリルを用いた場合、送り速度および回転数が小さい加工条件でややバリは低減するが、完全に無くすることはできなかった。2) ドリルとボールエンドミルを併用することによって、品位の高い穴あけ加工が可能であった。
 3) 超硬母材にダイヤモンドコーティングを施した工具を用いた場合、1000 穴以上の連続穴あけ加工が可能であった。
 4) 新品時と摩耗後の工具形状を 3D 計測し、さらにその差分を演算することにより工具摩耗の三次元的な評価が可能となった。

Keyword : CFRP, Burr, Drilling, Cutting Forces, Thrust

1. 諸言

炭素繊維強化プラスチック CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics) は、軽量かつ高強度という特徴を有する。従来は、ゴルフクラブやテニスラケット等の小物スポーツ用品に適用されてきたが、近年は、航空機、自動車、鉄道車両などの輸送機器において、軽量化による消費エネルギーの低減を図るためアルミ合金などの代替材料としての適用が広がっている。この他に、ノートパソコンの筐体、ロボットハンド、耐震性向上を目的とした建築資材や医療用設備などにも用いられている。

CFRP に用いられる炭素繊維（特に高強度品）の生産は、国内メーカーが世界シェアの 5 割以上を占め、高い競争力があるが、最終製品の国内需要は 1 割程度と小さい。この理由は、国内にサプライチェーンの中間（加工）分野が育っていないことが原因と言われる¹⁾。

したがって、CFRP の成形、切削加工、接合などあらゆる分野の加工について技術開発が求められている。この中でも、基本的な切削加工である穴あけにおいて、工具の異常摩耗、バリおよびデラミネーションの発生など、解決すべき課題が山積している。また、CFRP を加工すると炭素繊維が切断されて細かな粉塵状の切りくずが発生するため、作業環境の悪化や生産設備損傷に対する問題もある。

そこで、CFRP の穴あけ加工試験を行い、工具摩耗および加工品位について調べ、工具摩耗の低減および加工品位の向上について検討したので報告する。

2. 実験方法

2.1 被削材

実験に使用した被削材中の炭素繊維の仕様および用途を Table 1 および Table 2 に示す。使用した CFRP 板は、カーボンファイバーに東レ(株)製 T700S を、マトリックスとして熱硬化性樹脂 PE を使用している。CFRP 板の最上下面の表層に 0° /90° 平織を 1 層ずつ、内部に 0° /90° /45° /-45° を積層し、厚さ 6 mm に成形したものである。

Table 1 炭素繊維の仕様²⁾

Tensile Strength	MPa	4900
Tensile Modulus	GPa	230
Elongation	%	2.1
Density	g/cm ³	1.8

Table 2 炭素繊維の用途³⁾

製品	特性	主な用途
T1100G	高強度 高弾性率	航空機一次構造, 打ち上げロケット, スポーツ
T1000G	高強度 中弾性率	打ち上げロケット, スポーツ
T800S	高強度 中弾性率	航空機一次構造, スポーツ
T700S	高強度 標準弾性率	航空機一次構造, 産業全般, スポーツ
T300	標準弾性率	航空機二次構造, 産業全般, スポーツ

*生産技術部

**研究主幹(生産技術担当)

2. 2 実験装置

まず、汎用の立フライス盤（平岡工業製(株)2MF）を用いて、安価な汎用工具による加工実験を行った。この実験は、本県における CFRP の加工事例がまだ少ないことから、中小企業が現有する設備・工具類を用いて出来るだけ安価に CFRP の穴あけ加工を試みることを想定したものである。

次に、マシニングセンタ（三井精機工業(株)製 VT3A）の主轴に回転式切削動力計（(株)日本キスラー製 Type9125）を取り付けて同様に加工実験を行った。この実験は、先述した汎用の加工から一歩進んで、CFRP の穴あけ加工を連続的に実施することを想定したものである。

試験には、安価なドリルが A～D および M～O の 7 種類、ボールエンドミル、ダイヤモンドコーティングを施したドリルを使用した。なお、実験に使用したドリルの直径は全て 4 mm に統一し、ボールエンドミルのみ直径 6 mm とした。

3. 実験結果および考察

3. 1 汎用工具

汎用のフライス盤および汎用工具を用い、加工条件として送り速度および回転数を変えて実験を行った。使用した工具は、単価が 1,000 円以下で、先端のチゼル形状などができるだけ異なるものを選択し、切削条件を変更することによって、バリ発生の少ない加工条件を見出すことができないか模索した。これらの結果を Fig. 1～4 に示す。

実験で使用した汎用工具の場合、送り速度および回転数が大きいとバリの発生も大きくなった。また、工具の摩耗速度は著しく顕著であり、ほとんど 10 穴以下で使用不能となった。送り速度および回転数が小さい条件で、ややバリが小さくなる傾向が見られた。これら単価の安い汎用ドリルで、最も摩耗速度が遅かった工具は標準的なドリルにコーティングを施した D タイプであり、数十穴程度まで加工できた。そこで、工具 D を用いて加工条件を再検討したが、完全にバリ発生を抑制することはできなかった。

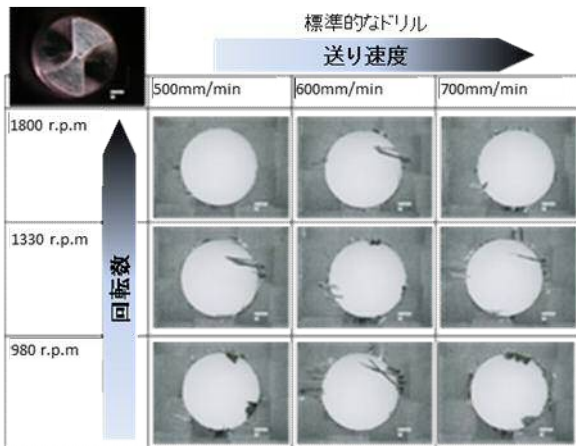


Fig. 1 汎用工具による穴あけ（工具 A）

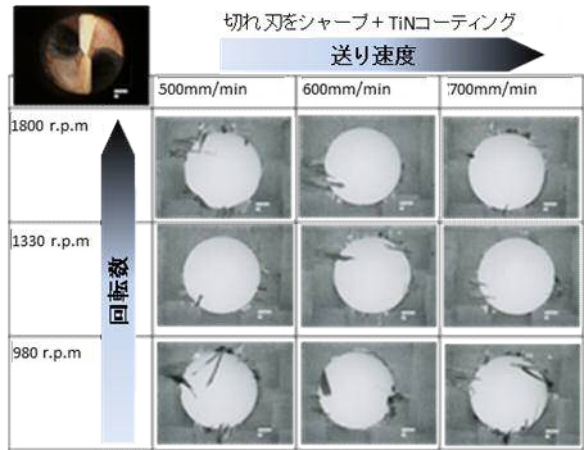


Fig. 2 汎用工具による穴あけ（工具 B）

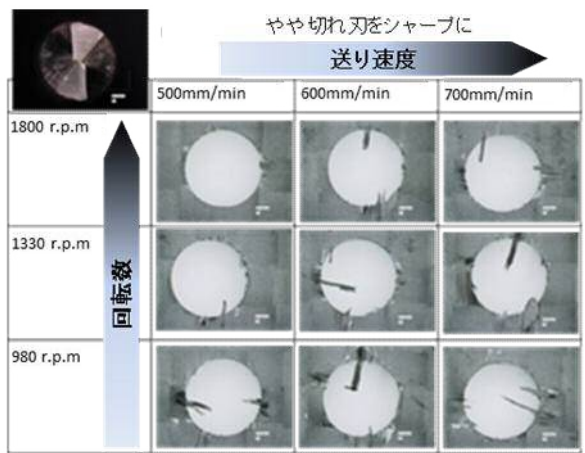


Fig. 3 汎用工具による穴あけ（工具 C）

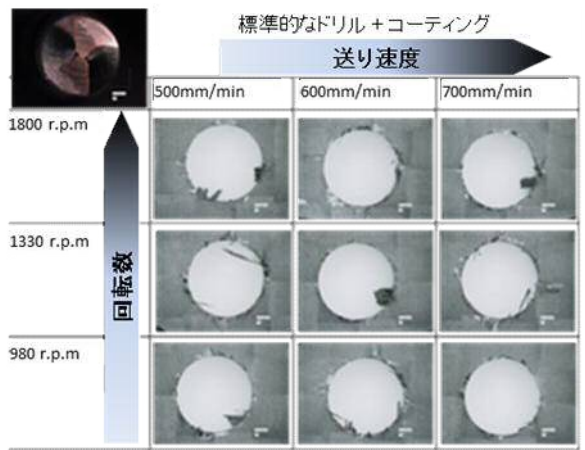


Fig. 4 汎用工具による穴あけ（工具 D）

3. 2 ボールエンドミルとの併用

前項において、バリの発生を完全に抑制することができなかったことから、加工中の切削抵抗を測定し、この測定結果からバリ抑制方法を提案できないか検討した。

このために、以後の実験ではマシニングセンタに回転式切削動力計を取り付けて同様に加工実験を行い、工具に作用す

る切削抵抗を測定した。この測定結果例を Fig. 5 に示す。なお、この例は3穴連続して加工したものである。

図中の切削抵抗の中で、スラストとは工具進行方向に作用する力で進行方向の力が正の値を示している。これより、加工中は下向きのスラストが大きく、逆にトルクは小さいことがわかる。また、ドリルの抜け際に、瞬間的に大きく反対方向のスラストが作用していることが認められた。これはCFRP板が高剛性なため、バイスによるクランプ力によりドリル抜け際に被削材が跳ねることが原因であることが分かった。被削材が金属材料でも類似の現象は起こり得るが、ここまで顕著な事例は少ない。金属材料の場合とは、剛性の違いに留意し、クランプ方法も工夫する必要がある。

ここで、切削抵抗の測定結果から、工具抜け際のスラストを低減できれば、下向きの力が小さくなることから、バリの発生を抑制する可能性を推定できる。送り速度を小さくすることも一つの方法であるが、加工能率が低下してしまう。そこでドリルで下穴加工をした後に、直径6mmのボールエンドミルを併用し、穴径を繰り広げする方法について実験した⁴⁾。ボールエンドミルを併用することにより Fig. 6 に示すような切削力の向きを変化させることができる。

この時の穴あけ加工結果を Fig. 7 に示す。バリの無い高品質

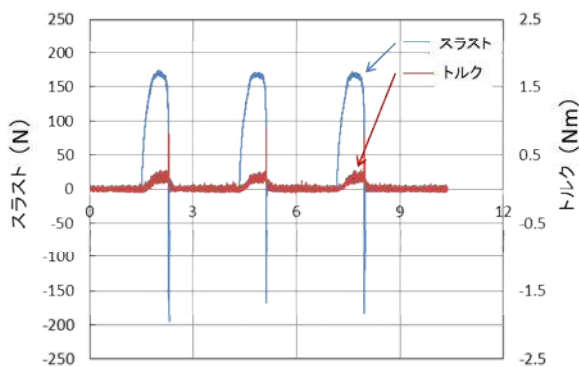


Fig. 5 切削抵抗測定例

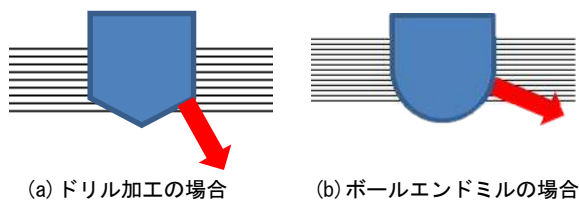


Fig. 6 切削抵抗の向き

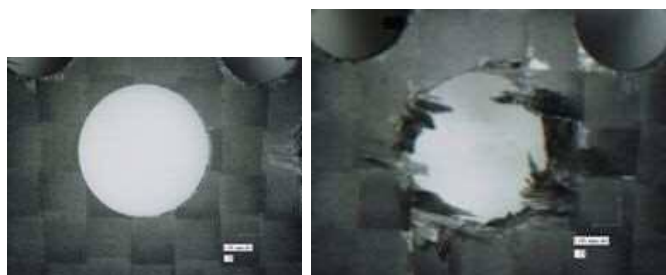
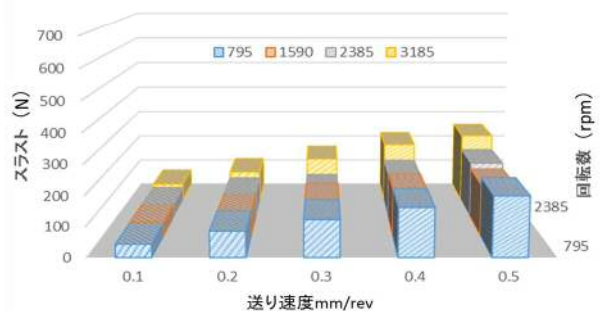


Fig. 7 ボールエンドミル併用の効果

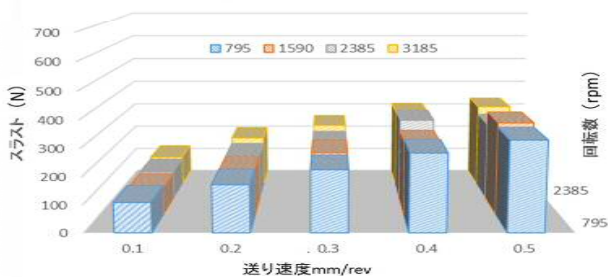
位の加工が可能となったが、切りくずは非常に細かい粉塵状となり加工環境の悪化が懸念された。別途、切りくず吸引等の対策が必要となる。なお、ドリルによる下穴加工を行わずボールエンドミルのみで加工すると Fig. 7(b)のように被削材に著しいバリ、剥離などが発生することを確認した。CFRPに対してボールエンドミルによる単独穴あけは有効ではなく、ドリルによる下穴加工と併用するか、文献⁴⁾のようなコンタリング加工を含む工夫が必要であろう。

3. 3 切削抵抗の測定

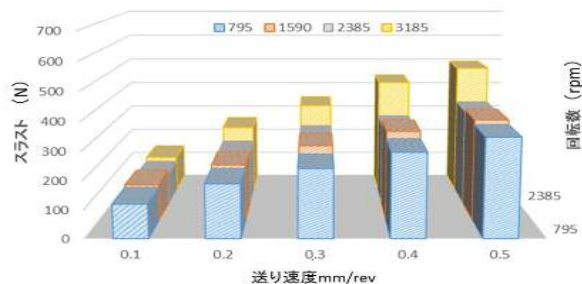
Fig. 8 に切削抵抗 (スラスト) の測定結果を、Fig. 9 に加工穴の観察写真を示す。すべての工具において、送り速度および工具回転数を大きくするとスラストも大きくなるがわかる。この中で工具Mを使用した(a)の場合にスラストが小さい。また、併せて行った加工穴の観察からスラストが 100N を下回る程度であればバリの発生が少なく品質の高い加工が可能であることが分かった。工具の種類に関係なく 100N を下回るとバリの発生が少なくなることから、この値がバリ発生の臨界値であると推定できる。



(a) 工具M

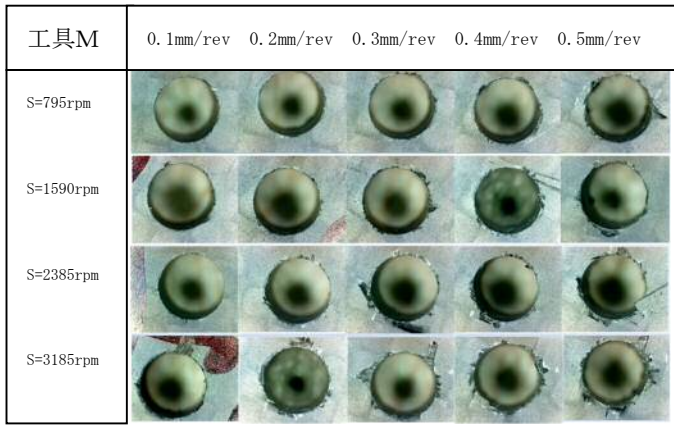


(b) 工具N

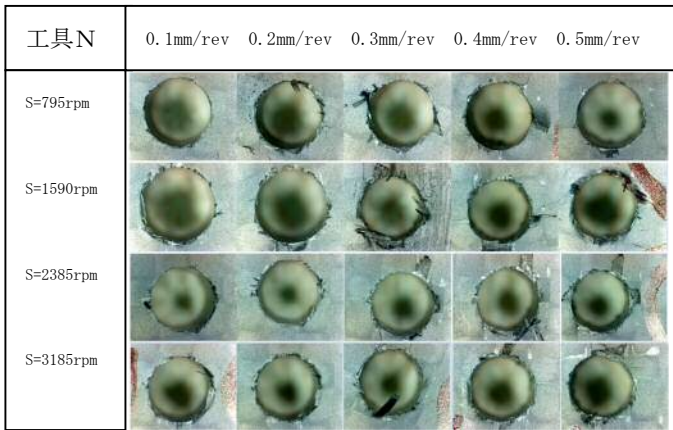


(c) 工具O

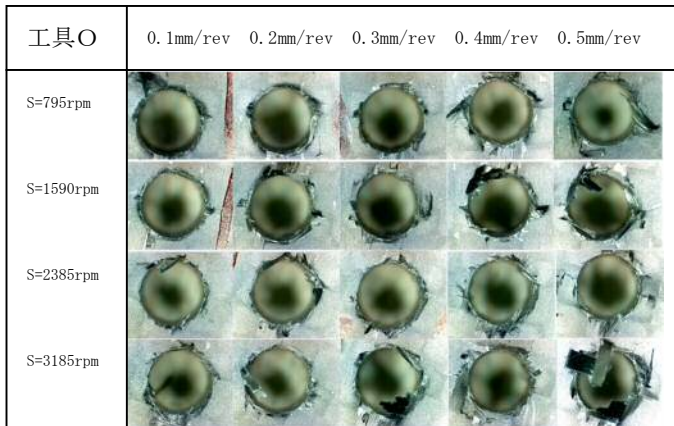
Fig. 8 工具別の切削抵抗



(a) 工具M



(b) 工具N



(c) 工具O

Fig. 9 工具別の加工穴写真

3. 4 超硬工具による連続加工

前項の切削抵抗の測定結果から、スラストをおおよそ 100 N以下で加工することが可能であれば、バリの発生を抑制できることが分かった。しかし、汎用工具では工具摩耗の進行が著しく、連続の穴あけ加工は不可能であった。そこで、工具の耐摩耗性を向上させる目的で、母材を超硬材料とし、工具表面にダイヤモンドコーティングを施した直径4mmのドリルを用いて加工実験を行った。加工条件は、事前にトライアルを行いスラストが100Nの70%以下程度となる条件を選択した。この条件における連続加工試験の結果をFig. 10に示

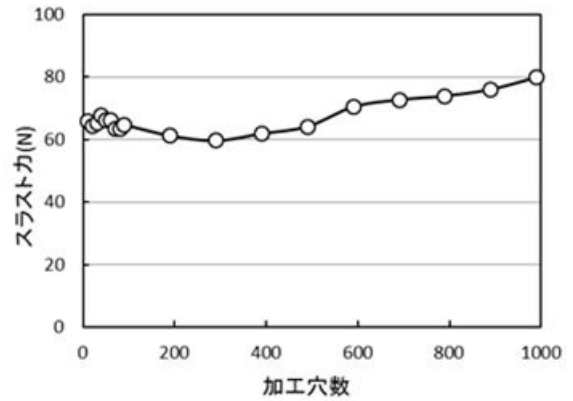


Fig. 10 連続加工試験結果

す。図に示すとおり1,000穴までバリ発生認められない連続加工が実現できた。1,000穴時点においても、スラストおよび工具摩耗は小さく1,000穴以上の連続加工が可能である。

3. 5 工具摩耗の評価

本研究では工具摩耗の測定を目的として、新規に導入した全焦点3D表面形状測定機による測定を試みた。従来、工具摩耗の測定は光学顕微鏡等による2次元的な観察が主な方法であった。従来方法では、観察が2次元に限られてしまうばかりでなく、切れ刃が摩耗により後退した場合に測定不可能になってしまう。Fig. 11に当該装置を用いた測定事例を示す。新品時と摩耗後の工具形状を3D計測し、さらにその差分を演算することにより工具摩耗の3次元的な評価が可能となった。

この手法は、今後、工具摩耗の測定に限らず県内企業の製品の評価技術として技術支援に大いに活用できる。

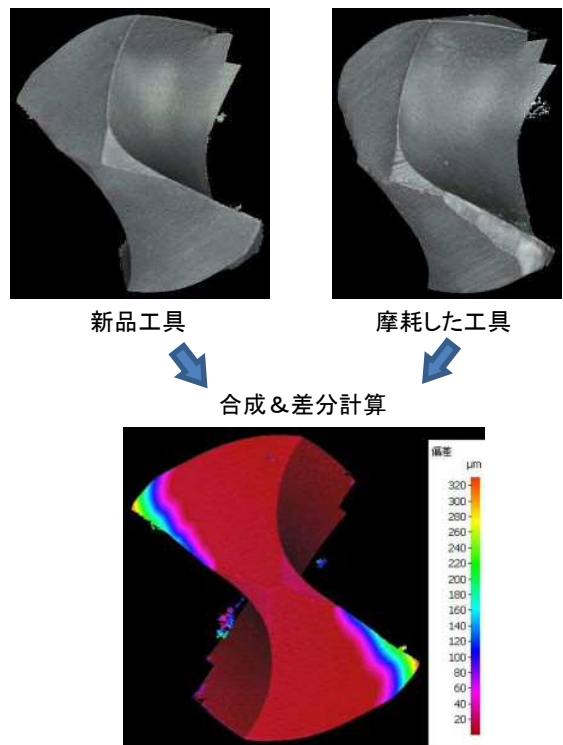


Fig. 11 工具摩耗の3D評価

4. 結 言

CFRP 板の穴あけ加工について、様々な条件で加工実験を行い、バリの発生が少ない加工条件について検討した。この結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 安価な汎用ドリルを用いた場合、送り速度および回転数が小さい加工条件でややバリは低減するが、完全に無くすることはできなかった。
- (2) ドリルとボールエンドミルを併用することによって、品位の高い穴加工が可能であった。
- (3) 超硬母材にダイヤモンドコーティングを施した工具を用いた場合に、1000 穴以上の連続穴あけ加工が可能であった。
- (4) 新品時と摩耗後の工具形状を 3D 計測し、さらにその差分を演算することにより工具摩耗の 3 次元的な評価が可能となった。

謝 辞

本研究は、九州各県工業系公設試連携研究として実施しま

した。研究進捗にあたってサポートをいただいた長崎県工業技術センター瀧内直祐氏、大分県産業科学技術センター大塚裕俊氏、水江宏氏、橋口智和氏、熊本県産業技術センター川村浩二氏、村井満氏に謝意を表します。

また、研究を進めるに当たり、有益な助言を賜りました鹿児島工業高等専門学校の島名賢児准教授および実験に協力いただいた天磨智君、藤山盛夫君の両氏に感謝いたします。

なお、実験に使用した全焦点 3D 表面形状測定機、回転式切削動力計等は公益財団法人 JKA の補助を受けて整備したものです。併せて感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 平成 24 年度 中小企業支援調査 炭素繊維複合材料の加工技術に関する実態調査 - 経済産業省-
- 2) TORAY US website
- 3) TORAY JP ウェブサイト
- 4) 坂本重彦, 岩佐拓紀: 機械技術, **62**(13), 40-43, 2014-12