

熱可塑性 CFRP の切削加工に関する研究

加賀忠士、安藤敏弘

Study on cutting of carbon fiber reinforced thermo plastics

Tadashi Kaga and Toshihiro Ando

熱可塑性 CFRP は、高靱性および短時間成形性の観点から航空機産業および自動車産業等への適応材料として注目されている。しかし、熱可塑性樹脂の特性上、切削加工時の発熱により樹脂が熔融する可能性が高く、所定の寸法及び形状の確保の難しさや樹脂の刃具への溶着による切削性能の低下が問題視されている。本研究では、穴あけ加工について、冷風冷却およびミスト冷却による影響を調査した。そして以下の結果を得た。1) 冷風冷却に比べ、ミスト冷却の冷却能力が高い、2) 冷却の有無により工具摩耗に差はみられない、3) ミスト冷却のスラスト力は若干大きくなる、4) 冷却の有無により穴品質に差はみられない。

1. はじめに

熱可塑性 CFRP は熱硬化性 CFRP に対して、高い靱性を発現できる点と、成形温度は高いものの短時間で成形できる点がメリットとして挙げられ、高靱性は航空機構造の軽量化、短時間成形は自動車産業のコスト低減に寄与する材料として注目されている。

この熱可塑性 CFRP は、既に著者が扱った熱硬化性 CFRP¹⁾と同様に、製品として完成させるためには、穴あけ加工や、トリム加工などの二次加工が必要となる。熱可塑性 CFRP は熱硬化性 CFRP と同様に、切削において工具摩耗が激しいことや、単一材料とは異なる材質のため良好な仕上面が得にくい材料である。このことに加え、熱可塑性樹脂の特性上、切削加工時の発熱により樹脂が熔融する可能性が高く、所定の寸法および形状の確保の難しさや樹脂の刃具への溶着による切削性能の低下が問題視されている。

参考に、熱硬化性 CFRP と熱可塑性 CFRP に対し、同じ条件でドリル加工した時の切りくずの様子を図 1 に示す。このように熱硬化性 CFRP の切りくずは細かく分離しているのに対し、熱可塑性 CFRP は連続型の切りくずを呈している。このことから明らかに性質の違う材料であることがわかる。

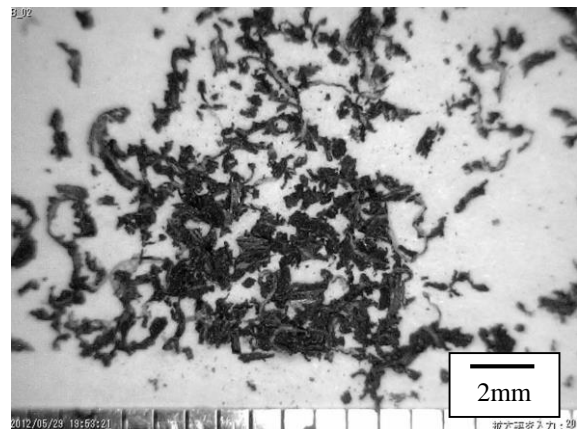
本研究では、熱可塑性 CFRP の穴あけ加工について、冷風冷却およびミスト冷却による影響を調査したので、ここに報告する。

2. 実験

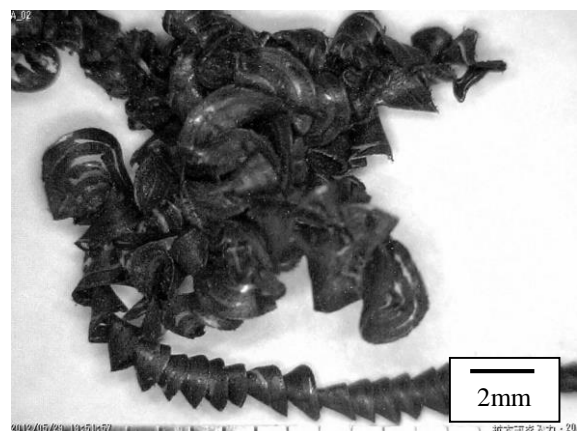
2. 1 実験装置および実験条件

実験に用いた熱可塑性 CFRP について、強化繊維はカーボンの織物、マトリックス樹脂は PA66 の厚み 2 mm の板材を使用した。これを重ねてホットプレスし厚み 4 mm の被削材を準備した。加工機械は 3 軸マシニングセンター ((株) 池貝 TV4) を使用し、テーブル上に切削動力計 (Kistler JZ90012A) を配置し、その上に治具を介して

被削材を固定し加工実験を行った。穴あけ加工に用いたドリルはφ3 コーティング無しの超硬を用いた。その様子を図 2 に示す。冷却は、冷風を吹き付ける方式と水のミストを吹き付ける方式の 2 種類を準備した。どちらの冷却方式とも、2 本のノズルを使用し、穴加工



(a) 熱硬化性 CFRP



(b) 熱可塑性 CFRP

図 1 ドリル加工における切りくずの様子

における入口側と出口側のそれぞれを冷却することを行った。また穴加工中の被削材の表面温度を赤外線カメラ（株）アピステ FSV-1100-H16）を用い測定した。実験条件を表1に示す。

2.2 評価方法

加工後の穴の様子を図3に示す。この図から、穴周辺部の盛り上がりや切り残された繊維がわかる。ここでは、盛り上がり部に着目し、穴径中心からみた最大の盛上幅を評価値とした。次に、シリンダーゲージを用いて設定穴径に対する加工後の穴径の差を評価した。最後に加工後の穴に対し、被削材を切断し断面観察ならびに表面粗

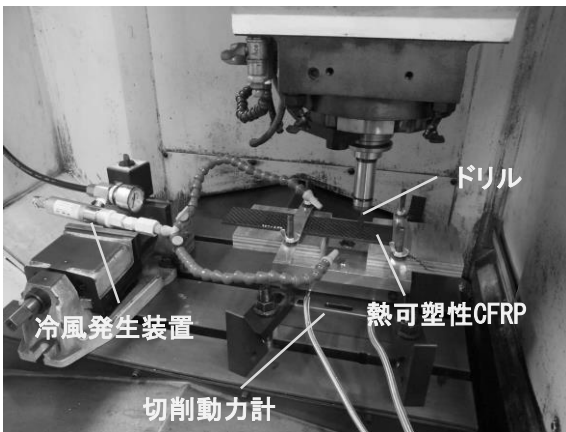


図2 実験装置の概要

表1 実験条件

被削材	熱可塑性CFRP (マトリックス PA66)		
ドリル材種	超硬 (コーティング無)		
刃径 φ mm	3		
刃数	2		
ねじれ角 deg	30		
回転数 min ⁻¹	6000		
送り mm/rev	0.05		
冷却方法	無	冷風	ミスト

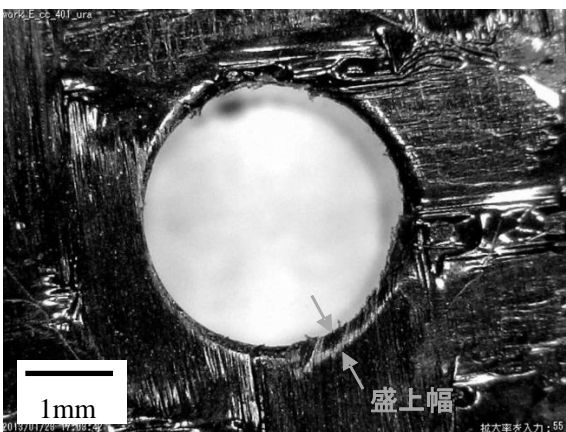


図3 穴加工後の表面の様子

さを測定した。

3. 結果及び考察

3.1 被削材温度

加工時の各穴数に対する被削材の最高温度の関係を図4に示す。3条件とも、穴数が増加するにつれて温度が増加しているが、冷却無し、冷風、ミストとその温度に差異があり、ミスト冷却の冷却能力が一番高いことがわかる。今回の実験では冷却無しでも100℃程度であり、すべての加工実験において、被削材の連続耐熱温度130℃より低い状態で加工していることがわかった。

3.2 工具摩耗

本実験では穴加工後、ドリルの底刃の逃げ面摩耗幅を測定している。穴数と逃げ面摩耗幅の関係を図5に示す。この結果から、3条件とも穴数が増加するに従い摩耗幅も増加していることがわかる。しかし、増加の傾向に差異はみられない。このことは、工具の摩耗の主要因は硬質炭素繊維による機械的摩耗が主である²⁾ことから冷却の有無による差異がなかったと考えられる。

3.3 スラスト力

加工中のスラスト力も測定している。穴数とスラスト力の関係を図6に示す。3条件とも穴数が増加するに従いスラスト力も増加していることがわかる。この原因は上記工具摩耗の進行と考えられる。また600穴以上でミストのスラスト力が他の2条件に比べ若干大きくなっている。このことは、前述のワーク最高温度結果を含めて

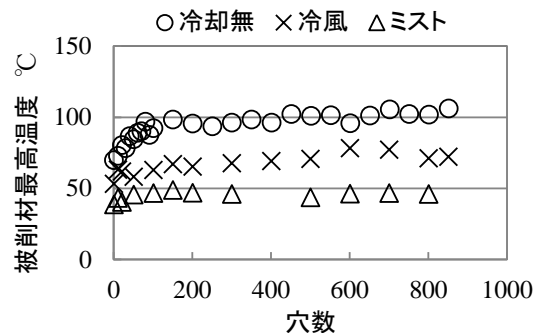


図4 穴数と被削材最高温度の関係

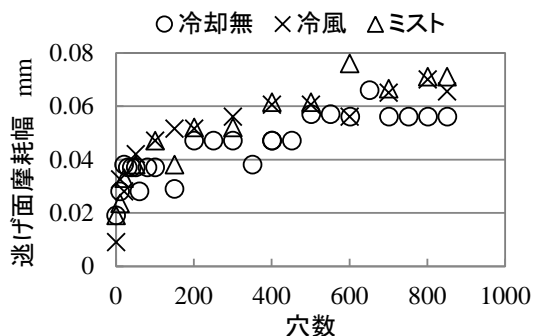


図5 穴数と逃げ面摩耗幅の関係

考察すると、ミストの冷却により、マトリクス樹脂の軟化が低く抑えられたことが原因と考えられる。

3. 4 穴品質

加工後の穴周辺部の穴径中心からみた最大盛上幅の測定結果について、穴数と最大盛上幅との関係を図7に示す。入口側、出口側とも穴数が増加するに従い盛上幅も大きくなっていることがわかる。また、冷却による差異は認められないが、わずかであるが入口側でミストの数値が大きいものがみられる。

加工後の穴径寸法について、穴数と設定穴径寸法に対する加工後の穴径の差の関係を図8に示す。穴数が増加するに従い、穴径が小さくなっていることがわかる。また、冷却による違いはみられない。

被削材を切断し断面観察を行った。顕著な差が見えた断面観察の結果を図9に示す。この断面観察では、冷却の差はみられず、むしろ各穴数における切削面の様子に違いがあり、1穴目では各種層繊維の様子ははっきりとわかるが、穴数の増加に伴い明瞭に見えなくなっている。これは、穴内面の表面が溶融することと、工具摩耗の進行に伴い刃先が鈍くなった工具で切削したためと考えられる。

穴数と穴内面の表面粗さの関係を図10に示す。穴加工開始時は穴数が増加していくと表面粗さ値は減少し、冷却無し 201穴、冷風 51穴、ミスト 101穴のとき、それぞれの最小値を示す。そして、それ以降は増加していることがわかる。このとき、冷却無しの増加部分の変化が冷風およびミストに比べ大きいことがわかる。このように冷却による差がみえるが、後述する品質基準で評価した場合、この違いが品質に影響を与えていることはない。

最後に、今回の実験結果を航空機組立における穴公差や穴周りの品質³⁾を参考に評価すれば、欠損・剥離幅 0.8 mm、穴径 0 ~ +0.076mm、表面粗さ Ra 3.2 μm の品質基準に対し、盛上幅および表面粗さは品質基準を満たしていた。しかし、穴径においては1穴目のみ品質を満たしているものの、11穴目以降は基準に到達していない結果であった。このことについては、図8の結果が示すように、穴数が増加した時の穴径寸法が一定になっていることから、ドリル径を大きくすることで品質基準を満たすことが可能である。

4. まとめ

熱可塑性CFRPの穴あけ加工について、冷風冷却およびミスト冷却による影響を調査した結果以下のことがわかった。

- 1) 冷風冷却に比べ、ミスト冷却の冷却能力が高い。
- 2) 冷却の有無により工具摩耗に差はみられない。
- 3) ミスト冷却のスラスト力は若干大きくなる。
- 4) 冷却の有無により穴品質に差はみられない。

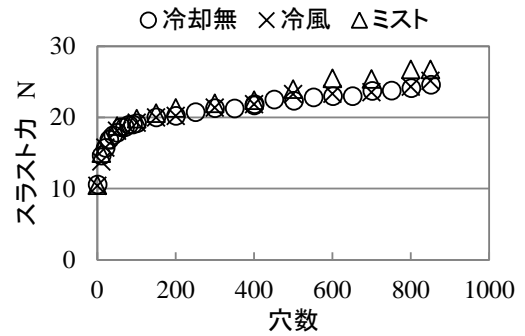
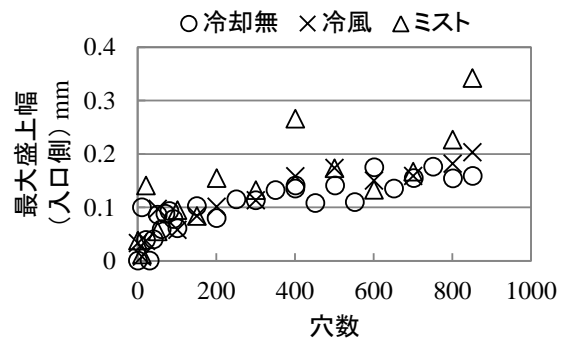
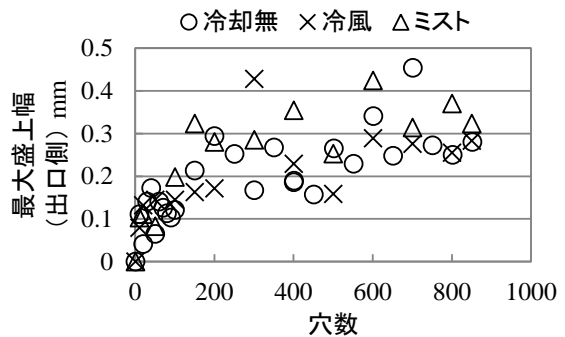


図6 穴数とスラスト力の関係



(a) 入口側



(b) 出口側

図7 穴数と最大盛上がり幅の関係

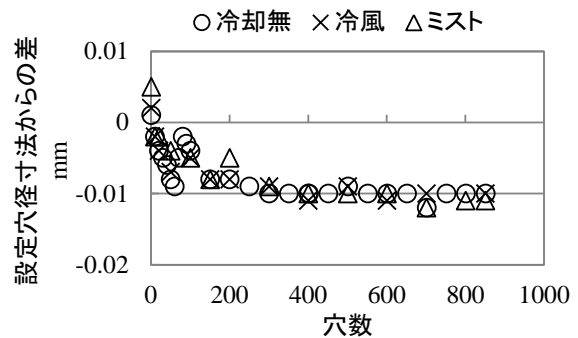
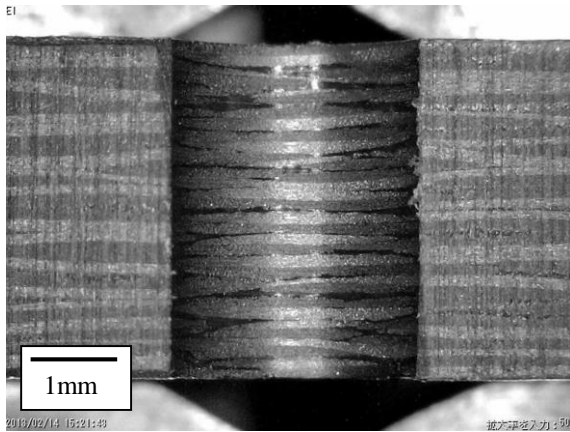
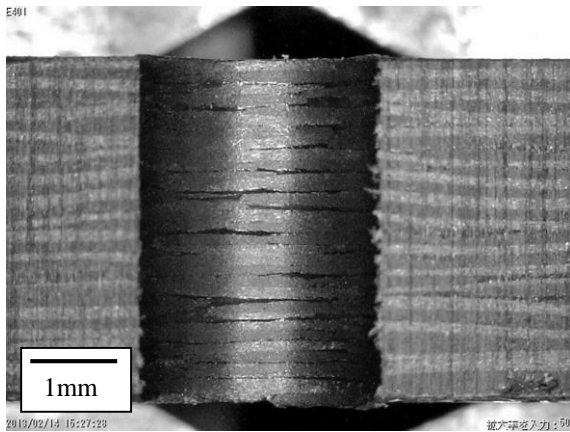


図8 穴数と設定穴径寸法からの差の関係



(a) ミスト冷却1穴目



(b) ミスト冷却401穴目
図9 穴加工後の断面観察写真

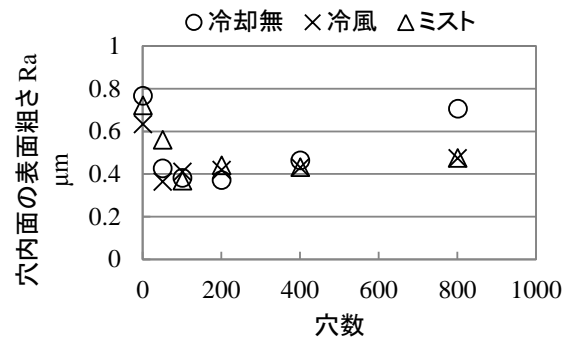


図10 穴数と穴内面の表面粗さの関係

【参考文献】

- 1) 加賀ら, 岐阜県機械材料研究所研究報告 No.2, pp13-16, 2009
- 2) 佐久間ら, 日本機械学会論文集 No.463, Vol.51, pp656-666, 1985
- 3) 深川, 日本機械学会誌 No.1128, Vol.115, pp28-32, 2012