

軽量部材加工技術に関する研究（第1報）

小川 大介、柘植 英明

Study on lightweight material machining technology (I)

Daisuke Ogawa and Hideaki Tsuge

CFRPの切削加工技術は、加工条件だけでなく、工具形状やコーティング、CFRPの繊維配向などによって、工具摩耗や加工品質（ケバやデラミネーションの発生）が変わることが知られている。そこで、切削加工特性データを収集・活用し、使用する工具や被削材に適した加工を行うことによって、工具摩耗・加工品質・加工コストを改善することを目的としている。今年度は、超硬エンドミル工具を用いて、CFRPの切削加工実験を行い、送りおよび主軸回転数が加工面品質に与える加工特性について把握することができた。

1. はじめに

近年、環境や省エネルギー問題の観点から、航空機や自動車部品等に、軽量かつ機械的強度の高い炭素繊維強化プラスチック（以下、CFRP）の需要が増えている¹⁾。このCFRPを部品として使用するためには、成形加工したあと、切削、穴あけなどの二次加工が必要となることから、高品位で高能率な切削加工に関する研究が盛んに行われている²⁻⁵⁾。このCFRPは、金属材料などの単一材と異なり、繊維配向によって切削特性に異方性が生じることから、層間剥離やケバ、デラミネーションが発生して仕上げ面性状の品質が低下するため、難削材といわれている。また、摩耗により工具寿命が短く、製造コストが高くなる課題がある。そこで、加工条件だけでなく、工具形状やコーティング、CFRPの繊維配向などによって加工品質や工具摩耗などの加工特性に係るデータを整理し、CFRPの加工品質および製造コストを満足する最適加工条件を選定することが望まれている。

本研究では、切削加工に係る工具摩耗（工具寿命）、加工品質（ケバ、デラミネーション）、加工時間を改善し、加工コスト低減を図るための各種切削データ収集を実施し、CFRPの加工特性について検討を行った。

2. 実験方法

2.1 実験装置および被削材料

実験装置は、5軸NC加工機（ヤマザキマザック（株）、VARIAXIS630-5X）を用いた。被削材に熱硬化性CFRPを用いた。一方向材を配向積層した疑似等方材料（板厚8mm）とした。この材料を板幅110mmに切断して試験片を作製した。

2.2 実験方法

図1に実験装置の概要を示す。加工機のテーブル上に切削動力計（日本キスラー（株）、JZ90012A）を配置し、その上に治具を介して被削材を固定して切削実験を行った。切削抵抗の計測方向は図2に示すとおり、主分力を F_x 、送り分力を F_y 、背分力を F_z の3方向を計測し

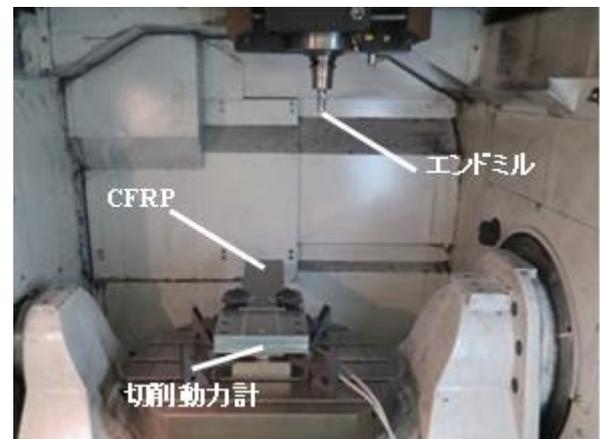


図1 実験装置の概要

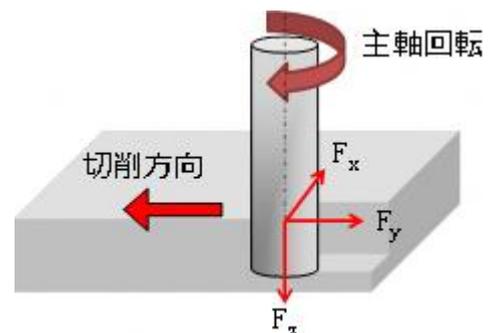


図2 切削加工モデル

表1 実験条件

加工機	5軸マシニングセンター VARIAXIS630-5X
被削材	熱硬化性CFRP
工具材種	超硬（コーティング無）
刃径 ϕ mm	20
回転数 min^{-1}	5000～9000
1刃送り mm/tooth	0.01～0.2
加工雰囲気	乾式

た。切削工具は、直径20mmのノンコート超硬エンドミルを用い、ダウンカット法により段付加工を行った。また、切削加工温度を計測するため、赤外線カメラ（株）アピステ FSV-1100-H16）を用いて測定した。実験条件を表1に示す。切削条件として、送り条件および主軸回転数を変えることによる、加工特性への影響について評価を行った。一般的にCFRPの切削加工においては、切削油の使用が認められていないことが多いため、本実験においてもドライ加工を適用した。

切削加工後の工具計測には、マイクロSCOPE（株）キーエンス VHX-1000）を用いて工具観察を行い、レーザー顕微鏡（株）キーエンス VK-9700）を用いて摩耗量の測定を行った。

3. 結果及び考察

3.1 送り条件

CFRP 切削加工における送り条件の影響について検討した結果の一例として 0.01mm/tooth および 0.2mm/tooth

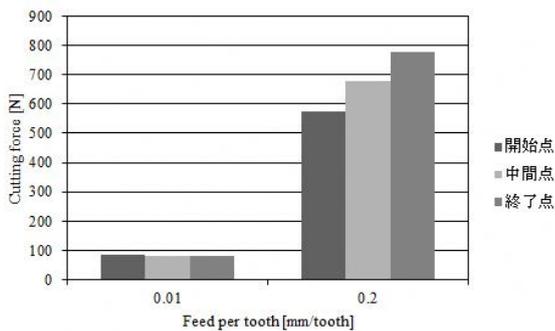
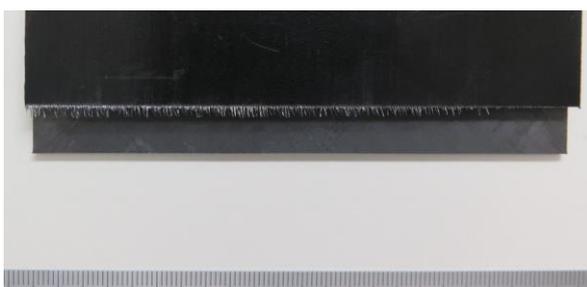


図3 切削抵抗測定結果 (Fx)



(a) 0.01mm/tooth

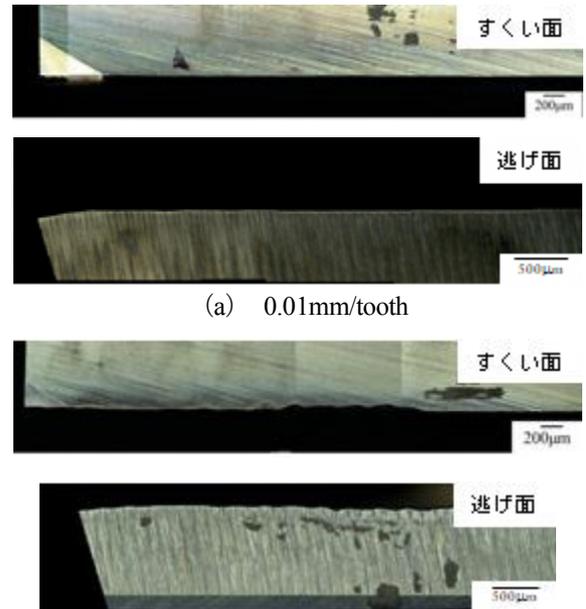


(b) 0.2mm/tooth

図4 加工面の様子

における切削開始点、中間点、終了点の切削抵抗主分力 (Fx) 結果を図3に示す。この結果から、0.01mm/toothにおいては、切削抵抗に変化はないが、0.2mm/toothの場合、切削距離に応じて切削抵抗の増加が確認できた。また、0.01mm/toothと比べ約8倍の切削抵抗が生じていることがわかった。図4に加工面の様子を示す。0.01mm/toothの加工面は、切削開始点ではケバが少ないが徐々にケバが生じた。これは工具摩耗により切削性能が低下したため、ケバが生じたと考えられる。しかし、カケやデラミネーションは発生していなかった。一方、0.2mm/toothの加工面は、ケバだけでなくデラミネーションや加工開始点側にはカケが発生していた。切削抵抗と加工面の様子から、工具性能を上回る加工条件で切削しているために切削抵抗が大きくなり、カケやデラミネーションが発生していると考えられる。

次に、切削加工後の工具状態について、すくい面側および逃げ面側の観察結果を図5に示す。0.2mm/toothの



(a) 0.01mm/tooth

(b) 0.2mm/tooth

図5 工具摩耗の様子

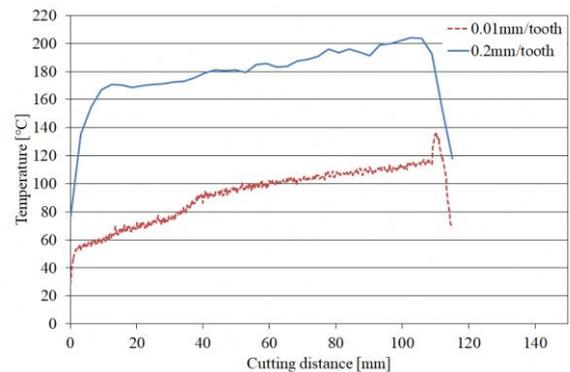


図6 切削加工温度測定結果

工具状態は、エッジ部分の工具摩耗が進んでいる（工具摩耗量：約 $19\mu\text{m}$ ）ことが確認できる。図3に示した切削抵抗結果からもわかるように、切削抵抗が大きく、工具への負荷が大きくなっているため、工具摩耗が進んだと考えられる。一方、 0.01mm/tooth の場合、工具摩耗の進展はほとんどない（工具摩耗量：約 $11\mu\text{m}$ ）ことが確認できた。つまり、送り速度を小さくすることによって、工具摩耗低減効果があることがわかった。

切削加工温度測定結果について、図6に示す。両条件において切削加工温度は、加工距離に応じて温度が上昇している。特に、 0.2mm/tooth における最高切削加工温度は 200°C を超えていることが確認できた。つまり、工具摩耗が進展し、切削抵抗が増加したため、切削加工温度が上昇したと考えられる。

3. 2 主軸回転数

CFRP 切削加工における主軸回転数の影響について検討した結果の一例として、 5000min^{-1} および 9000min^{-1} における切削抵抗主分力 (F_x) 結果を図7に示す。その結

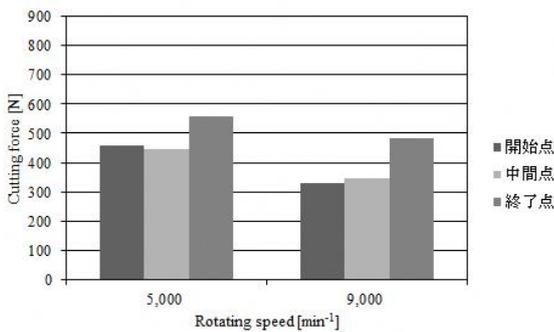
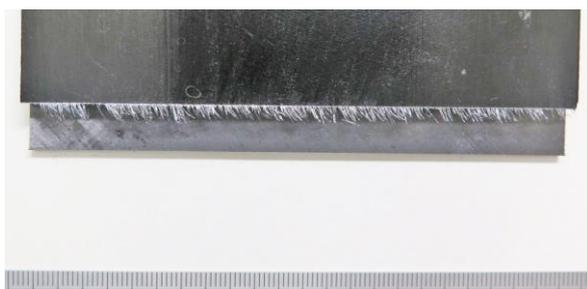
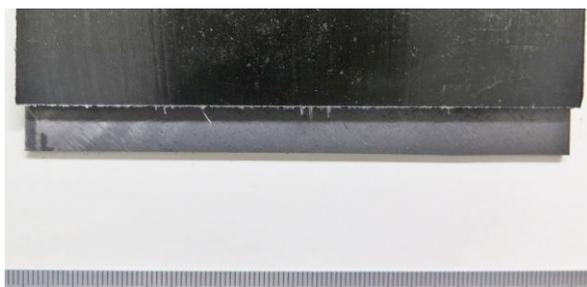


図7 切削抵抗測定結果 (F_x)



(a) 5000min^{-1}



(b) 9000min^{-1}

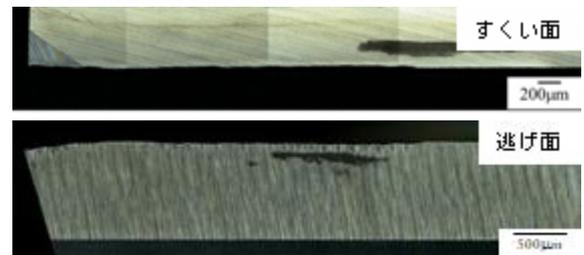
図8 加工面の様子

果、主軸回転数が高いほど切削抵抗が小さくなる現象が見られた。この時の加工面の様子を図8に示す。 5000min^{-1} の加工面は、ケバが全体的に発生している。一方、 9000min^{-1} における加工面は、ケバがわずかに発生しているものの、良好な加工面品質が得られることがわかった。これは、CFRP 切削加工における工具性能は、主軸回転数が高いほど加工面品質の優れた加工条件であることを示している。切削加工後のすくい面および逃げ面側の工具観察結果を図9に示す。 5000min^{-1} および 9000min^{-1} の工具摩耗量はそれぞれ、約 $12\mu\text{m}$ 、約 $9\mu\text{m}$ であり、送り 0.2mm/tooth の条件と比較して、工具摩耗は比較的小さいことが確認できた。つまり、切削抵抗と工具摩耗の結果から、切削抵抗を小さくするほど、工具摩耗の低減が可能であることがわかった。

切削加工温度測定結果について、図10に示す。送り条件と同様に、加工距離に応じて温度が上昇していることが確認できた。主軸回転数 9000min^{-1} の方が速い切削速度のため、切削加工温度が高くなったと考えられる。



(a) 5000min^{-1}



(b) 9000min^{-1}

図9 工具摩耗の様子

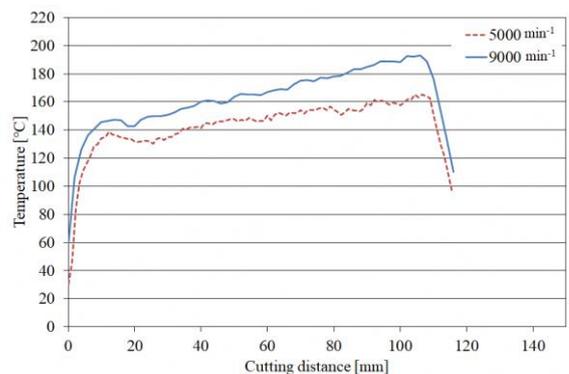


図10 切削加工温度測定結果

4. まとめ

超硬エンドミル工具を使用して、CFRP の切削加工実験を行った結果、以下の結論を得た。

- 1) 切削加工中の切削抵抗や加工温度計測を行うことにより、加工条件と加工面品質および工具摩耗との関係性を把握することができた。
- 2) 高送り加工条件の場合、工具摩耗が最も進展してしまうことが明らかとなった。工具摩耗にともない、デラミネーションやカケによる加工面品質の低下が確認された。
- 3) 主軸回転数が高いほど、切削抵抗が小さく、加工面性状が向上する。

今後は、加工面品質の向上と生産性改善に向けて、工具特性を最大限に活用できる加工方法および条件について検討していく予定である。

【謝 辞】

本研究にあたり、ご協力いただきましたミズノテクニクス株式会社様、株式会エムテック様に深く感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) J.Takahashi,, Development in Composites Technology for Reduction of Environmental Load, Journal of the Society of Materials Science , Japan, Vol.57, No.8, PP. 852-855, Aug.2008
- 2) 酒井ら, 炭素繊維強化熱可塑性樹脂のトリミング加工に関する研究, 日本機械学会第9回生産加工・国策機械部門講演会論文集, 85.2012
- 3) 坂本ら, CFRP 板のエンドミル加工に関する研究, 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, PP311-312, 2013
- 4) 加賀,岐阜県工業技術研究所研究報告 No.2, pp47-49,2014
- 5) 加藤, 鳥取県産業技術センター研究報告 No.19, PP.39-43,2016