

## CFRP の機械加工に関する研究（第 1 報）

## — 熱硬化性樹脂 —

藤本俊二 亀岡 啓

Studies on the Machining Technology for CFRP (Part1)  
-Thermosetting resin-

FUJIMOTO Syunji and KAMEOKA Kei

マシニングセンタを用いた炭素繊維強化プラスチック（以下 CFRP と示す。）の機械加工について、切削速度や送り速度等の加工パラメータを変化させ、加工断面の観察を行い、最適な加工条件を検討するとともに、切削工具の摩耗状況を確認した。その結果、超硬工具を用いることにより、良好な加工結果が得られることが分かった。

キーワード：炭素繊維、熱硬化性樹脂、マシニングセンタ、超硬工具、穴あけ加工、CFRP

## はじめに

愛媛県内には、世界最大の炭素繊維生産拠点が立地すると共に、機械・金属加工等のモノづくり産業が集積しているが、1人当たりの生産性を高めることが課題となっている。そこで、CFRP の機械加工技術に関する研究に取り組むことで、高付加価値な製品開発を支援することを目的とする。CFRP の加工は、ウオータージェットが主に用いられており、最近ではレーザ加工の研究も進んできている。しかし、いずれも県内の中小企業での導入例は少なく、汎用的な機械での加工が求められている。そこで、導入実績の多いマシニングセンタを用いた、CFRP の機械加工について研究を行ったので、報告する。

## 実験方法

## 1. 試験装置等

本研究に用いたマシニングセンタはヤマザキマザック製 VERTICAL CENTER SMART 430A である。主軸のサイズは BT40 で、最高回転数は 12,000rpm である。

## (1) 切削工具

切削工具は、CFRP の加工に実績のある(株)ムラキ製エンドミル MRA 超硬バー型番 CB2C100 (φ3.2×13) を使用した。その外観を写真 1 に示す。



写真 1 エンドミル（使用前）（スケール 1 目盛：1mm）

## (2)被加工材

加工実験用材料は、熱硬化性 CFRP 平板で、板厚 3mm 及び 4mm、積層方法は、両面クロス、内部 UD (0°/90°) 計 15 枚及び両面クロス、内部 UD (0°/±45°/90°) 計 15 枚の積層板を用いた。

## (3)加工条件

加工は湿式で行い、切削速度は 80、90、100m/min で、送り速度は 0.01、0.02、0.03mm/rev.で行った。加工形状は 40.0×50.0mm の長方形及び直径 40.0mm の円形の穴加工を行った。

## 2. 評価方法

- (1) 加工部の外観をマクロ撮影して、欠けや剥離の状態を観察・検討した。
- (2) 加工部をマイクロ스코プで、20 倍に拡大して欠けや剥離の状態を観察・検討した。
- (3) 各種条件で加工した試料の、加工寸法を万能工具顕微鏡で計測して、加工誤差を検討した。
- (4) 加工部断面の表面粗さを測定して、加工条件と粗さの関係を検討した。
- (5) 使用前と多数個の加工後の工具の表面性状の変化をマイクロ스코プで観察して比較・検討した。

## 結果と考察

### 1. 試験片のマクロ観察

写真 2 に加工直後の CFRP 平板を示す。全体が白くなっているのは、水溶性の切削液が付着しているためである。



写真 2 加工直後の CFRP

写真 3～6 に加工部をマクロ観察した結果を示す。加工条件は、切削速度 100m/min、送り速度 0.03mm/rev である。



写真 3 角穴表面



写真 4 角穴裏面



写真 5 丸穴表面



写真 6 丸穴裏面

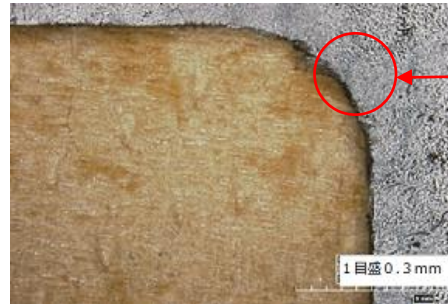
上記の4枚の写真から、角穴・丸穴の表裏とも、マクロ的な外観上の欠陥は無いことが分かった。切削速度を90m/min、80m/minと遅くすると、加工部にバリが発生した。切削速度100m/minで、送り速度を0.01~0.03mm/revの範囲で変化させても加工部にバリは発生しなかった。加工時間の観点から、切削速度100m/min、送り速度0.03mm/revの加工条件が適切であることが分かった。

## 2. 加工部の拡大観察

各種条件で加工したCFRPを顕微鏡で拡大観察した結果を、写真7~10に示す。



表



裏

写真7 角穴 切削速度100m/min、送り0.02mm/rev

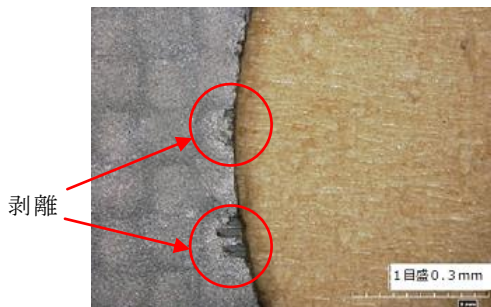


表

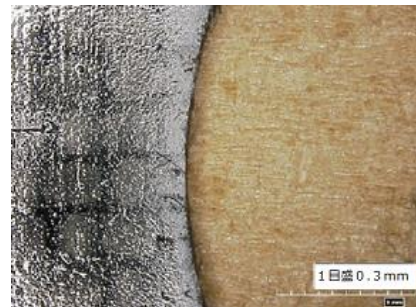


裏

写真8 角穴 切削速度100m/min、送り0.03mm/rev



表



裏

写真9 丸穴 切削速度100m/min、送り0.02mm/rev



表



裏

写真10 丸穴 切削速度100m/min、送り0.03mm/rev

送り速度0.02mm/revでは、写真7のバリの発生や写真9の剥離のように、加工部に不具合が生じて



いるが、写真 8 や写真 10 では欠陥の無い加工が行えており、拡大観察した結果も、加工速度 100m/min、送り速度 0.03mm/rev の加工条件が適切であることが分かった。

### 3. 加工寸法の評価

表 1 に角穴の長辺 X と短辺 Y の寸法を示す。NC データの入力値は X が 50.0mm で、Y が 40.0mm である。表 2 には丸穴の直径 D を示す。NC データの入力値は D = 40.0mm である。

表 1 角穴の寸法 X、Y

切削速度 (m/min)	送り (mm/rev)	X (mm)	Y (mm)
100	0.01	49.9020	39.9713
100	0.02	49.9494	39.9829
100	0.03	49.8820	39.9772

表 2 丸穴の直径 D

切削速度 (m/min)	送り (mm/rev)	D (mm)
100	0.01	39.9651
100	0.02	39.9472
100	0.03	39.9555

表 1 及び表 2 から、角穴、丸穴とも送り速度に関わらず、高精度で加工されていることが分かった。

### 4. 加工断面の表面粗さ

(1)角穴の長辺の表面粗さを図 1 に示す。(加工速度 100m/min、送り速度 0.03mm/rev)

Ra	1.033 $\mu\text{m}$
Rz	8.142 $\mu\text{m}$

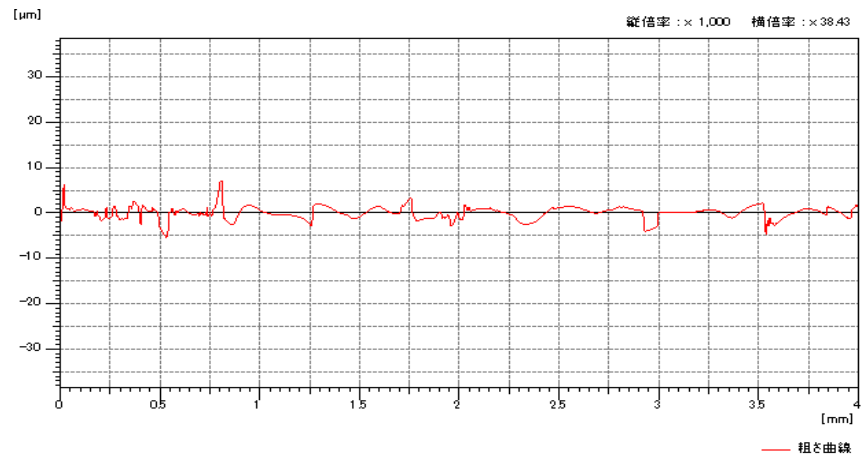


図 1 角穴長辺の表面粗さ

(2)切り抜いた角板長辺の表面粗さを図 2 に示す。(加工速度 100m/min、送り速度 0.03mm/rev)

Ra	1.753 $\mu\text{m}$
Rz	8.848 $\mu\text{m}$

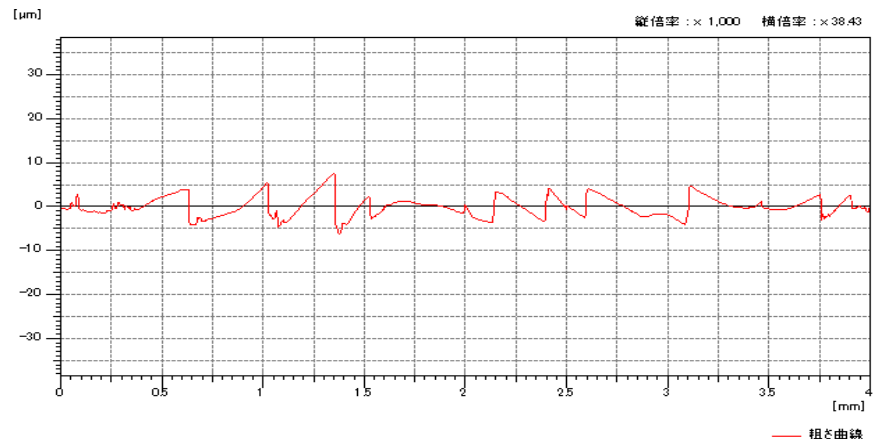


図 2 角板長辺の表面粗さ

これらの測定結果から、角穴長辺の平均粗さ  $R_a$  は約  $1.0\mu\text{m}$  で、角板長辺は  $R_a1.7\mu\text{m}$  であることから、穴の方が平滑であることが分かった。最大粗さ  $R_z$  も、角板の方が  $0.7\mu\text{m}$  程度大きくなっていることが分かった。本実験では、穴面はアップカットで、角板はダウンカットになっている。CFRP の加工では、アップカットの方が、平均粗さ、最大粗さ共に小さいことが分かった。これは、一般の金属加工とは逆の結果であり、CFRP 加工の特徴であると思われる。

## 5. 工具の摩耗状況

写真 11 に使用前、写真 12 に 35 回加工後の工具の外観を示す。



写真 11 使用前工具



写真 12 使用后工具

これらの写真から、加工後においても、刃物に大きな欠損は見られず、多少黒く変色している程度であることが分かった。黒いのは樹脂が付着したものと思われる。角穴と丸穴を各 35 個加工しても、工具に大きな摩耗は認められなかった。

## ま と め

マシニングセンタを用いて、CFRP の機械加工を行った結果、次のことが分かった。

1. 加工後の外観観察を行った結果、切削速度  $100\text{m}/\text{min}$  で、送り速度  $0.03\text{mm}/\text{rev}$  が適切な加工条件であることが分かった。
2. 加工部断面の表面粗さ測定を行った結果、CFRP の加工では、アップカットの方が平滑な加工が出来ることが分かった。
3. 加工前後の工具外観を比較した結果、35 回加工した後でも、大きな摩耗は無いことが分かった。このことから、本研究で使用した超硬工具は CFRP の加工に適していることが分かった。

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたり、さくらテクノアシスト代表 林 義晴氏には、多大な技術支援を頂きましたことを感謝いたします。