

# 超音波振動によるGFRPの切削

(各種要因のSN比による評価)

苦小牧高専 ○早瀬文朗 原 圭祐 鎌田大智  
伊藤大樹 池田慎一 中津正志

## 要 旨

GFRPの超音波振動切削加工において繊維角、切削速度、振動子のピッチング角などの各種粗さ変動要因について、どの程度影響があるか明らかでない。そこで品質工学におけるSN比を用いて評価を試みた。

### 1. はじめに

複合材料であるGFRPは難削材として知られている。しかし需要の広がりとともに成形加工のほかに切削加工を避けて通れなくなってきた。筆者等は、工具に超音波振動を与えることで被削性の向上を試みている。本研究では超音波振動切削下において、仕上面粗さに影響を及ぼすと思われる各要因の効果をL18直交表により実験を行い、SN比で評価した。

### 2. 実験方法

本実験で取り上げた因子と水準についてを表1に示す。

表1. 実験条件

| 内側因子            | 1    | 2    | 3    |
|-----------------|------|------|------|
| A. 切削油          | 無し   | 使用   |      |
| B. 切込(mm)       | 0.10 | 0.15 | 0.20 |
| C. 切削速度(mm/min) | 1000 | 2000 | 4000 |
| D. 繊維角(deg)     | 135  | 90   | 45   |
| E. ローリング角(deg)  | 0    | 5    | 10   |
| F. ピッチング角(deg)  | 0    | 8    | 16   |
| G. 切削厚(mm)      | 0.50 | 0.75 | 1.00 |
| H. 前加工切込(mm)    | 0.05 | 0.03 | 0.01 |
| 外側因子            |      |      |      |
| J. 粗さ測定者        | K1   | K2   | K3   |
| K. 粗さ測定位置       | 前部   | 後部   |      |
| R. 反復           | 1回目  | 2回目  |      |

表2. 実験因子の割付

| L18 |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No  | A | B | C | D | E | F | G | H |
| 1   | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2   | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3   | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 4   | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| 5   | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 |
| 6   | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 7   | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 3 | 2 | 3 |
| 8   | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | 1 |
| 9   | 1 | 3 | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 |
| 10  | 2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 |
| 11  | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 |
| 12  | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 |
| 13  | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 3 | 2 |
| 14  | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| 15  | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 |
| 16  | 2 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| 17  | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 18  | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 粗さ測定者  | } | K1 |
|        |   | K2 |
|        |   | K3 |
| 粗さ測定位置 | } | J1 |
|        |   | J2 |
| 実験の反復  | } | R1 |
|        |   | R2 |

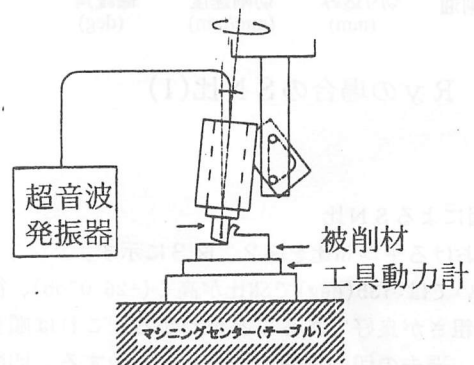


図1. 超音波振動切削装置

実験条件は各因子の効果を検出するため、内側因子として8因子をL18直交表(表2)に割り付けた。外側因子としては、測定者、測定位置、実験の精度を高めるため反復の3因子を取り上げた。実験は振動子を自作のジグに固定し、このジグをマシニングセンター主軸に取り付けて準二次元切削した(図1)。工具材種は超硬K-10を使用し、切削抵抗の測定、JIS B0601による仕上面粗さの測定を行った。

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 外側因子の分散分析とSN比の算出

実験番号18における外側因子の分散分析結果を表3に示す。残差の変動に比べ測定箇所、測定者による変動は少なかったが、反復による変動が多少見られた。これは工具の摩耗、及び被削材材質のバラツキ等が影響したと思われる。他の実験番号についても同様な傾向がみられた。この結果より、各実験番号でのSN比を算出した。

表3. 最大高さ(Ry)の分散分析

| Ry     |           |     |           |
|--------|-----------|-----|-----------|
| No -18 | 変動        | 自由度 | 分散        |
| 平均     | 4,033.333 | 1   | 4,033.333 |
| 測定位置   | 12.000    | 1   | 12.000    |
| 測定者    | 24.667    | 2   | 12.333    |
| 反復     | 48.000    | 1   | 48.000    |
| 残差     | 102.000   | 6   | 17.000    |
| 合計     | 4,220.000 | 11  | 383.636   |

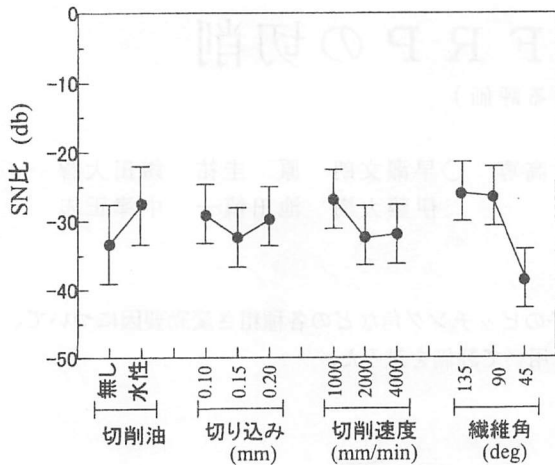


図2. Ryの場合のSN比(1)

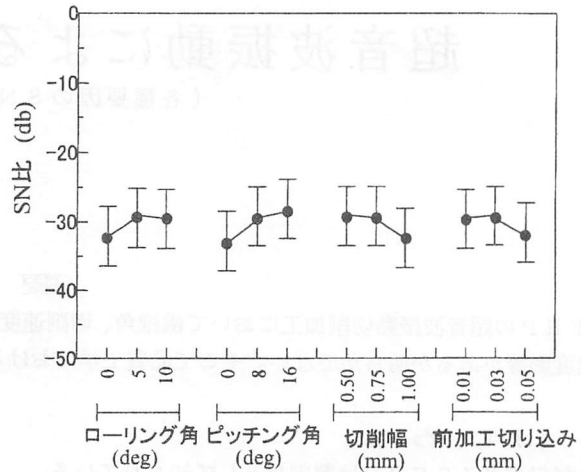


図3. Ryの場合のSN比(2)

### 3. 2 要因によるSN比

各水準における平均SN比を図2、図3に示す。繊維角については、135(deg)でSN比が高く(-26.07db)、従って仕上面粗さが良好であることがわかる。これは順目切削であり、過去の切削実験の結果とも一致する。切削油使用の効果が予想以上に高く(-27.5db)、SN比が高かった。これは切削油が繊維と樹脂の間に入り込み潤滑効果が上がった為と思われる。ローリング角、切削幅、前加工切込は多少のSN比の上下が見られるが、変化は小さかった。

### 3. 3 SN比による内側因子の分散分析

SN比をあらたな特性値とし、内側因子について分散分析を行った結果を表4に示す。

表4. RyによるSN比を

特性値とした分散分析表

|        |    | SN比(Ry)   |    |         |        | 寄与率(%) |
|--------|----|-----------|----|---------|--------|--------|
|        |    | 変動S       | f  | 分散V     | 分散比    |        |
| 切削油    | A  | 152.710   | 1  | 152.710 | 9.302  | 10.8   |
| 切込     | B  | 39.482    | 2  | 19.741  | 1.202  | ---    |
| 切削速度   | C  | 108.473   | 2  | 54.236  | 3.304  | 6.8    |
| 繊維角    | D  | 609.442   | 2  | 304.721 | 18.562 | 51.9   |
| ローリング角 | E  | 34.005    | 2  | 17.002  | 1.036  | ---    |
| ピッチング角 | F  | 75.231    | 2  | 37.615  | 2.291  | 3.8    |
| 切削幅    | G  | 33.267    | 2  | 16.634  | 1.013  | ---    |
| 前加工切込  | H  | 23.320    | 2  | 11.660  | 0.710  | ---    |
| 残差     | e  | 34.094    | 2  | 17.047  | ---    | ---    |
| 誤差     | e' | 164.188   | 10 | 16.417  | ---    | 26.6   |
| 合計     | T  | 1,110.023 | 17 | 65.295  | ---    | 100.0  |

要因の中で水性切削油、切削速度、繊維角、ピッチング角は寄与率が高く、この因子による粗さへの影響が大きかった。

残差分散の2倍に比べ、切り込み、ローリング角、切削幅、前加工切り込みの分散が低く、これらの因子につい

てはプールし、誤差分散に含めた。この誤差分散を用いて寄与率を求めた。繊維角の寄与率が51.9%を示し、この因子の粗さへの影響が非常に大であることがわかった。

なお、中心線平均粗さ(Ra)についての表は省略したがRyと同様の結果が得られた。

### 3. 4 最適加工条件の推定

Ryによる各要因の最高SN比を取り上げ最適加工条件を推定すると、切削油使用、切削速度1000(mm/min)、繊維角135(deg)、ピッチング角16(deg)の条件である。

そのときのSN比は -22.13(db)±3.70(db)と推定される。

## 4. おわりに

GFRPの超音波切削において、SN比による加工条件評価をまとめると、

- 1) 外側因子については、測定者、測定位置は変動が少なかったが、反復による変動が見られた。
- 2) 繊維角、切削油は仕上面粗さに大きく影響するが、切削速度、ピッチング角については寄与率が低く、仕上面への影響は少ない。
- 3) 切込、ローリング角、切削幅、前加工切込の要因効果は少なく誤差に含まれる。
- 4) GFRPの超音波振動切削における最適加工条件は、繊維角135(deg)、ピッチング角16(deg)、切削速度1000(mm/min)、切削油使用の場合と推定される。

## 5. 参考文献

- 1) 機械加工におけるSN比の評価  
「機械技術」第32巻第3号、第5号
- 2) 品質工学計算法入門 矢野宏  
日本規格協会