

超音波振動切削による GFRP の切削

— 切削抵抗の変化について —

苫高専 ○池田慎一, 中津正志 室工大 田頭孝介

要 旨

一方向性の GFRP 試料の繊維角を変化させ超音波振動切削及び通常切削を行った。その結果、主分力及び背分力は繊維角 30 ~ 150° では繊維角の増加に伴い増加し、振動切削したときの方が通常切削に比べ減少した。その減少率は繊維角の増加に伴い増加した。繊維角 30° では振動の有無に関係なく切削抵抗は最小となったが、繊維角 30, 60° では切削中に発生する繊維と樹脂の剥離が次の切削予定面に影響を与えたものと思われる。

1. 緒言

FRP は航空機, 自動車, 船舶, 住宅等の分野において広範囲に利用されている。通常, FRP 製品は成形加工のみで作られているが, 用途によっては, 切削, 切断, 穴あけなどの二次加工が必要となる。ただ, この FRP の機械加工は, 繊維とマトリックスの剥離や仕上面におけるむしれ, バリ, 工具寿命の低下などにより安定した仕上面は得難いのが現状である。さらに, FRP は高強度材料であるためにその廃棄処分には困難を極める。

そこで, 本研究では, これらの問題を解決するための一つの方法として, ガラス繊維等の硬脆性材を衝撃力で破壊することができる超音波振動切削を GFRP の切削加工に適用し, その時の切削抵抗の違いから通常切削との比較を行った。特に, ガラス繊維の破断面と切削抵抗及び切削面粗さに着目し, GFRP における超音波振動切削の効果について調べた。

2. 実験方法

被削材はガラス繊維 (E-ガラス) で強化された不飽和ポリエステル樹脂の連続引抜成形型材 (板厚 5mm の一方向 GFRP) で, そのガラス含有量は 50wt % である。Table 1 にこの GFRP 型材の特性値を示す。この型材を Fig.1 に示す切削方向と繊維のなす角度 (以下, 繊維角とする) が 0 ~ 150° まで 30° おきに切断したものを切削用試料 (50 × 50 × 5t) とした。

工具は超硬チップ (K-10, ノーズ半径 0.2mm) を使用し, 専用ホルダーに取付けた。この時の工具のすくい角は 2.5° である。振動切削装置 (多賀電気製) の概要を Fig.1 に示す。チップの先端は, 出力 120W, 周波数  $f=19.5\text{KHz}$ , 振幅  $a=15\ \mu\text{m}$  で切削方向に対し 4° 下方に振動する。この時, 切削速度  $v=0.25\text{m/s}$  は振動切削の効果を得られる条件  $v < 2\ \pi\ af$  を十分満足する。

Table 1 Mechanical properties of GFRP

Fiber material		E-glass
Matrix material		Unsaturated polyester resin
Fiber content	wt%	50
Diameter of fiber	$\mu\text{m}$	20
Tensile strength	MPa	196 ~ 539
Tensile modulus	GPa	15 ~ 30
Bending strength	MPa	196 ~ 686
Compressive strength	MPa	147 ~ 490
Shearing strength	MPa	137 ~ 176

前加工は切削速度  $v=0.25\text{m/s}$ , 送り 0.1mm, 切削厚さ 0.5, 0.3, 0.1mm の条件で通常切削を行った。ただし, 繊維角 30, 60° の試料は前加工により前加工面が悪化するため逆方向から切削した。本切削は切削速度  $v=0.025 \sim 0.25\text{m/s}$ , 送り 0.1mm, 切削厚さ 0.1 ~ 1.5mm で行った。

以上の条件で GFRP 試料を超音波振動切削及び通常切削し, 切削抵抗, 切削面を表面粗さ (最大高さ  $R_y$ ) の測定及び SEM 観察を行った。

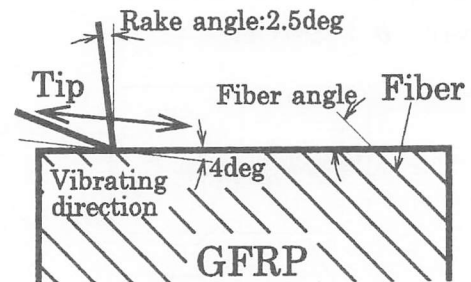


Fig.1 Schematic drawing of ultrasonic vibration cutting system

3. 実験結果及び考察

Fig.2 に各繊維角の GFRP 試料を振動切削及び通常切削したときの, 繊維角と主分力及び背分力の関係を示す。切削は切削速度 0.25m/s, 切削厚さ 0.5mm で行った。

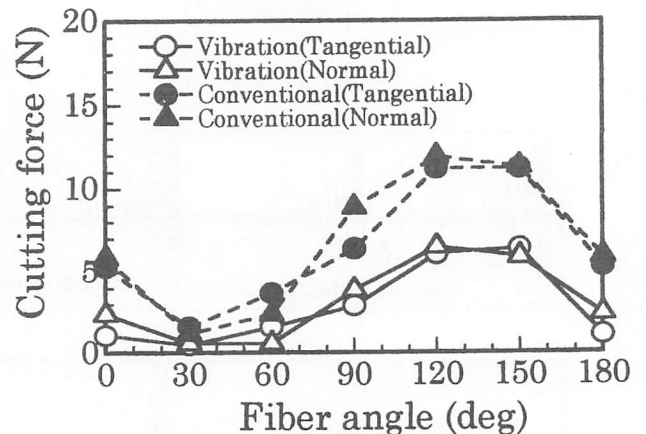


Fig.2 Relation between cutting force and fiber angle (cutting speed : 0.25m/s cutting depth : 0.5mm)

主分力及び背分力は振動の有無に関係なく、繊維角  $30^\circ$  で最小となり、繊維角  $30 \sim 150^\circ$  では繊維角の増加に伴い増加している。繊維角  $30^\circ$  及び  $60^\circ$  のように繊維の配列が切削方向に対し逆方向に傾いている試料は、切削中、工具により繊維が起こされ、繊維と樹脂が剥離し切削面を掘り起こすために、過切削が起こり切削面粗さが増大する<sup>1)</sup>。繊維角  $30^\circ$  及び  $60^\circ$  の試料は、繊維が切削方向に傾く方向に前加工するために前加工面には掘り起こし跡はないが、切削し始めると切削面には繊維と樹脂の剥離による過切削が起こる。このときの主分力は通常切削で約  $10\text{N}$ 、振動切削でも約  $5\text{N}$  と繊維角  $150^\circ$  の試料と同程度となる。しかし、この試料を連続的に切削すると主分力は通常切削で約  $1.5\text{N}$ 、振動切削で約  $0.5\text{N}$  に減少した。これは過切削現象が前加工面上の次の切削予定面に影響を与え、次の切削予定面を切削するときに剥離が容易に進行するために、切削抵抗が減少したものであると思われる。今回の実験ではこのような切削予定面への剥離の進行が繊維角  $30^\circ$  で顕著に起こったために切削抵抗が最小になったものである。

繊維角の増加に伴う主分力及び背分力の増加は、繊維角  $30 \sim 60^\circ$  では繊維と樹脂の剥離の影響で切削抵抗が小さいが、 $90 \sim 150^\circ$  では繊維が傾くために、工具と接触する繊維の面積が増加するためであると思われる。

振動切削した繊維角  $90, 120, 150^\circ$  の試料の主分力はそれぞれ約  $3\text{N}$ 、 $6\text{N}$ 、 $6.5\text{N}$  と通常切削の約  $45, 55, 57\%$  に減少し、その減少率は  $90 \sim 150^\circ$  の範囲で繊維角の増加に伴い増加している。振動切削では工具が1本の繊維に何度か衝突する。切削速度  $0.25\text{m/s}$  の場合、繊維角  $90^\circ$  で1本の繊維に対して工具が2回衝突するが、繊維角  $150^\circ$  では4回となるため、振動切削による効果が大きくなったものである。

Fig.3 に繊維角  $90^\circ$  の試料を振動切削及び通常切削したときの切削厚さと主分力及び背分力の関係を示す。主分力及び背分力は切削厚さの増加に伴い増加しているが、その増加率は背分力に比べ主分力の方が大きい。振動切削による効果は主分力で切削厚さの増加に伴い大きくなる。切削厚さ  $0.1$  及び  $0.5\text{mm}$  で主分力に比べと背分力が大きく、 $1.0\text{mm}$  以上で主分力の方が大きくなっている。

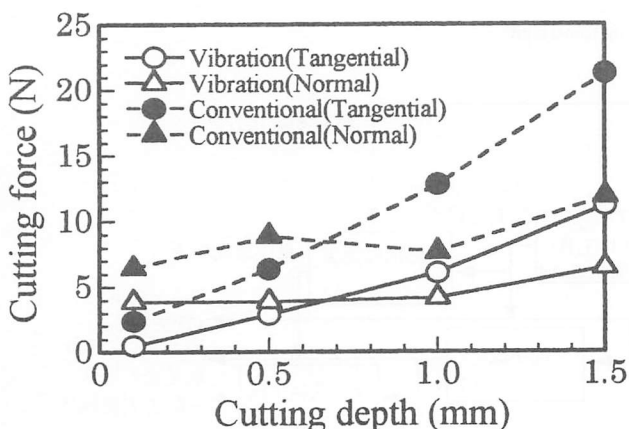


Fig.3 Relation between cutting force and cutting depth (fiber angle:90deg cutting speed : 0.25m/s)

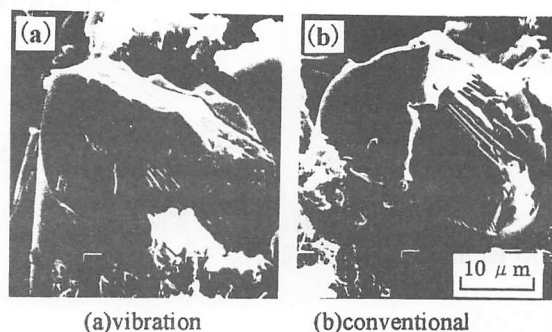


Fig.4 SEM photographs of brittle fracture surface of a glass fiber (fiber angle:90deg)

Fig.4 に繊維角  $90^\circ$  の試料を (a) 振動切削及び (b) 通常切削したときに多く観察される繊維破断面の SEM 写真を示す。(a) 振動切削では繊維1本につき工具が2回衝突するので、繊維破断面は複雑な形状になっている。通常、ガラスのような脆性材料では、工具が繊維に最初に衝突したところからクラックが発生し、放射状に進行して破壊に至る。つまり、繊維破断面にはクラックの発生した破壊の起点と切削方向に放射状にクラックの進行方向や進行速度を示すハックルマーク<sup>2)</sup>が観察されるはずである。しかし、本実験では破壊の起点のある部分に切削面に対し平行で平滑な面が多く観察された。これは繊維角  $90 \sim 150^\circ$  の試料の切削面において観察され、繊維角  $30 \sim 60^\circ$  の試料には全く観察されなかった。これは工具刃先先端の丸みの下部により繊維破断面が圧縮され塑性変形を受けたものであると思われる。このような繊維破断面に平らな部分を形成するためにノーズ部分のみの切削では主分力に比べ背分力が大きくなったものである。振動切削が通常切削に比べ繊維に塑性変形を加える割合が小さいのも、振動切削が切削抵抗を減少させる一因であると思われる。

また、切削面粗さが繊維角  $90^\circ$  では通常切削 ( $R_y=18.5 \mu\text{m}$ ) に比べ振動切削 ( $R_y=21 \mu\text{m}$ ) が大きいのは、切削面において粗さを支配する因子の一つである繊維破断面が工具によって塑性変形を受けるために粗さの悪化が緩和されたものである。

#### 4. 結言

- 1) 繊維角  $30^\circ$  の GFRP 切削で切削抵抗が最小となった。これは切削による繊維と樹脂の剥離現象が次の切削予定面に影響を与えたためであると思われる。
- 2) 繊維角  $30 \sim 150^\circ$  の GFRP 切削では繊維角の増加に伴い切削抵抗が増加した。その時、超音波振動切削による切削抵抗の減少率も増加した。
- 3) 繊維角  $90^\circ$  の GFRP の切削では振動切削により切削抵抗は減少したが切削面粗さは増加した。これは繊維破断面の形状が変化したためであると思われる。

#### 参考文献

- 1) 池田他：日本機械学会北海道支部第35回講演会講演概要集 P.87
- 2) 橋本他：非金属材料の特殊加工法 他人書館 P.4