



繊維強化複合材料の切削

花 崎 伸 作*

1. はじめに

繊維強化複合材料はすぐれた機械的性質から、精密機械材料として期待されている。工業用材料として利用されているものとしては、プラスチックをマトリックスとする GFRP (ガラス繊維強化プラスチック)、CFRP (カーボン繊維強化プラスチック) がよく知られている。本材料は繊維とマトリックスの複合によってすぐれた性質を発揮するのであるが、高精度の部品を得るため切削を施す場合、複合材料特有の現象が現れて、高精度の達成がなかなか困難である。硬質の繊維と軟質のマトリックスとから成るので、均質な材料のように削れず、精度を出しにくい。さらに、削りくずは容易に生じるのであるが、工具摩耗が非常に激しいことが困難を大きくしている。その工具摩耗の特性は特異なものである。GFRP については多くの報告があり、実態は明らかになっているが、それらの報告の中には一見矛盾するものがある。それは上述の複合材料特有の現象が影響するためである。GFRP 切削時の工具摩耗の機構を明らかにすることは本材料を高精度に切削するために必要であるが、さらに他の繊維強化複合材料の切削に対しても有益な情報を与えることになると思われる。

2. GFRP 切削時の工具摩耗特性の概要

金属材料の切削においては、様々な形態の摩耗が生じるが、GFRP の切削においても同様である。また金属の切削における工具摩耗は切削温度との関連が非常に高い。このような金属切削における一般的状況を踏えて GFRP 切削時の工具摩耗をみると、表面的には類似性が高い。

*花崎伸作 (Shinsaku HANASAKI)。大阪大学、工学部機械工学科、助教授、工学博士、機械工作

すなわち、工具摩耗量は低速の範囲では切削速度に対する依存性が小さく、次第に依存性が大きくなって、高速の範囲では依存性が非常に大きい。この高速域の特性はレートプロセスを類推させるものである。しかしながら、そのような特性を示す切削条件での切削温度の実測結果は、温度上昇が無視できる程度の場合も多くあり、上述の工具摩耗特性は、基本的には切削温度に依存するものではない。

3. 工具摩耗の機構

切削温度が低い場合、拡散はもちろん凝着も生じない。したがって、GFRP 切削時の工具摩耗は機械的な摩耗 (ざらつき摩耗) が支配的なプロセスである。ざらつき摩耗では、工具摩耗は次式で表わされる。

$$h = A \cdot \tan \theta \cdot w \cdot W / H \quad (1)$$

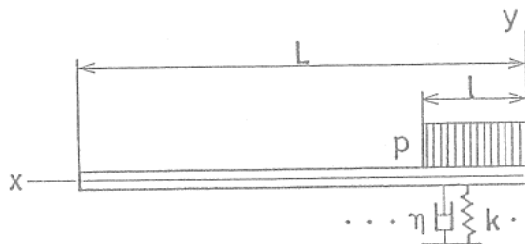
ここに、 h : 工具摩耗幅, A : 定数, θ : 表面のあらさによってきまる定数, w : 接触圧力, W : 切削距離, H : 工具のかたさである。

同じ工具材で、切削距離も一定の条件で比較するのであれば、 W と H は定数となる。

GFRP を切削すると、切削条件によって工具摩耗量が変化するのは、切削条件によってガラス繊維と切削工具の間の接触圧が変化するためである。低速二次元切削における切削部の観察、および削りくず中並びに切削面のガラス繊維破面の観察から判断すると、通常の切削においてはほとんどの繊維は折れている。

ガラス繊維は細いため小さな曲率半径にまで曲る。したがって、ガラス繊維の破損は曲げて折れるのではなく、せん断で破断しているのである。これらのことを考慮すると GFRP 切削におけるガラス繊維の挙動をモデルによって表しうる。すなわち、ガラス繊維は工具から力を受けて変形し、変形が限界を越えれば、せん断

破壊し、切りくずとなって排出され、変形が限界を越えなければ切削面に残ることになる。ガラス繊維が工具から受ける力を、ガラス繊維軸に垂直な成分と平行な成分とに分けると、軸に平行な成分は二次的な影響しか持たない。軸に垂直な成分を考えると図1のようにモデル化できる。工具から受ける力を一様分布荷重で置きかえ、ガラス繊維は曲げ剛さをもった「はり」で置きかえ、また、マトリックスは粘弾性体であるので、これをバネとダッシュポットで置きかえる。このバネとダッシュポットはガラス繊維の軸方向に連続的にガラス繊維を支える。

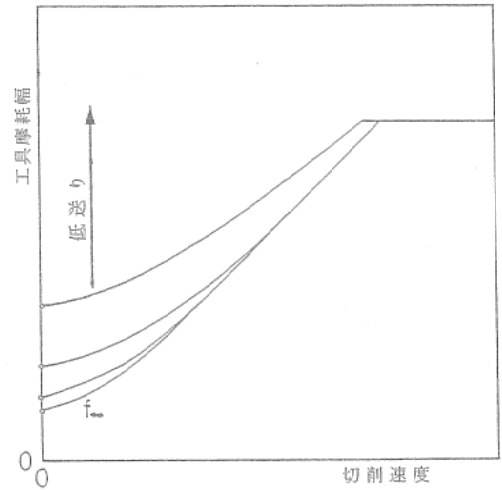


- L : 繊維長
- l : 荷重の作用している幅
- p : 荷重の強さ
- k : バネ定数
- η : 粘性係数

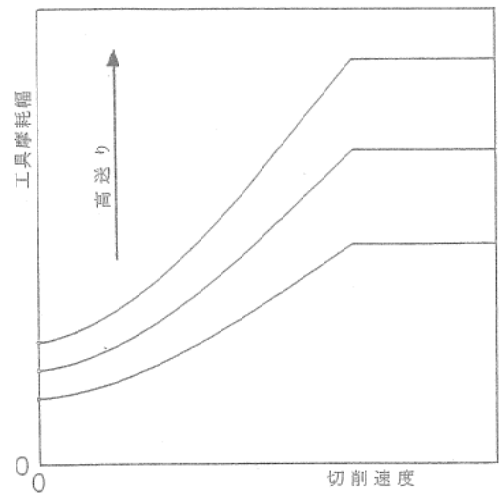
図1 被削材中のガラス繊維の状態模型

力 p は切削の進行につれ、各ガラス繊維について零から増大し、断面に生じるせん断応力がどこかの断面でせん断強度に達すると、ガラス繊維は破断する。この力 p によってガラス繊維は変形するが、その変位量と変位速度に比例した力をバネとダッシュポットから受けることになる。変位速度が大であれば大きな力が作用するがガラス繊維は変形しにくく、破断が生じにくい。そして工具を擦過して摩耗を生じさせるのは p の時間最大値に比例した力である。

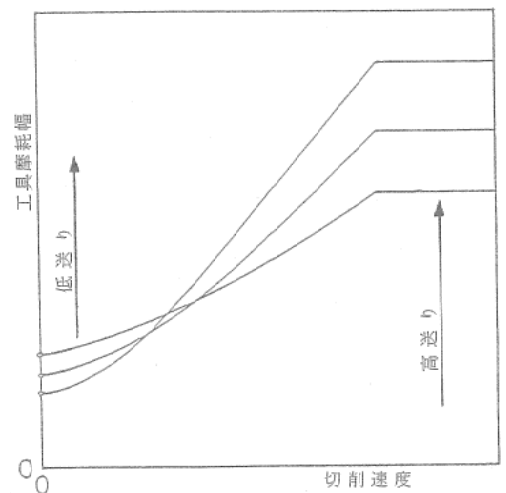
このモデルを解析すると図2に示す工具摩耗特性が得られる。図は旋盤で削る場合を想定した定性的な工具摩耗特性で、切削速度を横軸に、送り（切削厚さ）をパラメータにして示す。(a), (b), (c) はそれぞれ工具に対する破削材中のガラス繊維の方向による違いを示す。(a) は送りを



(a) 工具とガラス繊維間の接触長さが変化する場合



(b) 工具とガラス繊維間の接触長さは変わらず工具とマトリックスの接触面積が変化する場合



(c) (a)と(b)の中間の場合

図2 切削速度と工具摩耗幅の関係

が変化する場合であり、(b)はガラス繊維と工具との接触長さは変化せず、マトリックスと工具との接触面積が変化するような場合であり、(c)は(a)と(b)の中間的な場合である。ガラス繊維の方向の如何にかかわらず切削速度に対する工具摩耗の依存性は同様である。依存性の小さな低速から次第に依存性が大きくなり、切削速度に比例する切削速度領域を経て飽和する。この工具摩耗特性は上述のごとく機械的な摩耗で生じている。(繊維ではなく粒子の場合にはこのような特性にはならない。)送り(切削厚さ)に対する依存性は、工具に対するガラス繊維の方向によって異なっている。(a)図の場合、送りが小さい(軽切削)ほど摩耗が大きくなり、この傾向は低速域で顕著で、高速域では非常に小さくなる。(b)図の場合は全切削速度領域で送りが大きい(重切削)ほど摩耗が大きくなる。(c)図の場合には、低速域では送りが小さいほど摩耗が大きく、高速域では逆に送りが大きいほど摩耗が大きくなる。この特性が一見矛盾した実験結果の理由と思われる。

以上述べた工具摩耗特性は切削温度の影響を考慮しない基本的な特性で、切削温度が繊維、マトリックス、あるいは工具の性質に変化を生じさせる切削条件では、その影響を加味する必要がある。

図に示す工具摩耗特性のそれぞれの切削速度

領域のうち、飽和領域以外の切削速度領域では、繊維がせん断破壊(折れる)により切りくずとなるが、飽和領域ではガラス繊維が工具との接触で局部的に破壊する。繊維がせん断破壊する切削条件では、繊維直径のオーダーの仕上面あらさとなるから、より高精度の仕上面をうるには、工具の条件と被削材の性質によって決まる、ある程度速い切削速度で繊維の局部破壊を生じさせねばならない。

以上ガラス繊維強化プラスチックについての実験結果をもとに、切削中のガラス繊維の挙動をモデル化して考えることにより、工具摩耗特性を求めた。このようなモデル化は、金属をマトリックスとする場合も含め、硬質で塑性変形が無視できる繊維で強化した複合材料を切削する場合に、一般的にあてはまり、繊維の挙動は精密切削を実現する上で留意すべき事柄である。なお、工具摩耗特性はマトリックスと繊維の性質によって異なったものになる。

参 考 文 献

- 1) 長谷川嘉雄, 花崎伸作, 里中忍: 精密機械, 44, 11(1978), 1334-1340.
- 2) 長谷川嘉雄, 花崎伸作, 藤原順介: 日本複合材料学会誌, 10, 1(1984), 29-35.
- 3) M. J. McGinty, C. W. Preuss: A. S. M. Metal / Materials Technology Series, May (1985), 1-13.