

木材の被削性(1)

倉田久敬

1. はじめに

木材はほかの材料 - たとえば金属, プラスチックスなど - に比較して, 切削加工が容易であるといわれている。事実, 木材は人類が使用したもっとも古い材料のひとつであり, これは切削加工が容易であることが大きな理由のひとつであったと思われる。

被削性はこの切削加工の容易さを示す包括的な言葉であり, その内容には種々の概念が含まれている。一般には比較的明確に規定でき, また取扱いやすい教種の性質をとりあげて, それら単独にあるいはそのうちのいくつかを総合したものと考えられている。

その性質として木材切削の場合には一般に

- 1) 切削抵抗の大小
- 2) 切削工具寿命の長短
- 3) 被削面の良否
- 4) 加工精度の高低

がとりあげられている¹⁾²⁾。金属切削の場合には, 加工精度の高低の項目を被削面の良否の項目に含ませて, そのほかに切屑処理の難易を加えるのが一般的である³⁾。木材の切削では, 切屑の処理は特殊な場合を除き比較的容易であるために, 一般には被削性を論ずる場合に除かれているが, 杉原¹⁾も指摘しているように, 高速切削や鋸断, 穿孔の場合の切屑の排出は重要な問題となる。

被削性に包含されるこれらの概念には, 切削中にみられる種々の現象 - たとえば切屑の変形, 工具と切屑または材面との摩擦, 摩擦による発熱, 工具の摩耗, 切削中の振動など - が関連している。また上に述べた性質は, 実際の切削では相互に関連が認められ¹⁾²⁾⁵⁾, たとえば切削抵抗の小さい材料は被削面も良好であるといわれている。以下に鉋削を中心として, 木材の被削性について述べる。

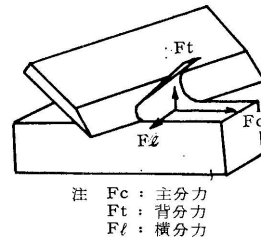
2. 切削抵抗

2.1. 切削抵抗の構成

切削抵抗は

- 1) 工具の切込みによって被削材を変形するときの変形抵抗
 - 2) 切屑を被削材から分離するときの分離抵抗
 - 3) 工具と切屑または被削材との摩擦による摩擦抵抗
 - 4) 分離された切屑を排出するときの排出抵抗
- の4項から成る。

この4種の抵抗のうち切屑の排出抵抗は, 本来の切削抵抗といくぶん性質を異にするので一般には除外されるが, 木材切削の場合は他の3種の抵抗が比較的小さく, また高速切削であることが多いため, 場合によっては重要な項目となることもある。金属切削では, 切屑生成までの変形に大部分のエネルギーが消費されるために, 変形抵抗が大きな比重を占めるが, 木材切削では, 木材の機械的強度が低いことや, 切込量が小さいこともあって, 変形抵抗が小さく, 相対的に分離抵抗, 摩擦抵抗の比重が大きくなっている。



注: F_c : 主分力
 F_t : 背分力
 F_z : 横分力

第1図 切削抵抗の3分力

切削抵抗は普通第1図のように3箇の分力に分けて考える。それは
1) 主分力(切削面内で切削方向の分力)

2) 背分力(切削面と切削方向に垂直な分力)

3) 横分力(切削面内で切削方向に垂直な分力)

である。主分力は切削抵抗の大きな部分を占め, 主分力で切削抵抗を代表させることもある。背分力は主分力に比較して小さく, 通常は工具を被削材から反撥させる方向に働くが, 切削条件によっては, 反対に被削材に喰い込ませる方向に働くことがある。横分力は切

屑が切削方向に発生しないで、切削方向と或る角度をなして発生する場合の横方向に働く抵抗である。

切削抵抗が主分力と背分力のみから構成されている場合を2次元切削、主分力、背分力と横分力から構成されている場合を3次元切削という。実際の切削作業では3次元切削の例が多いが、試験をおこなう場合は、現象を単純化するために2次元切削をおこなうことが多い。

2.2. 切削抵抗の測定法

切削抵抗の測定法には種々の方法があり、研究者によりそれぞれ独特の工夫がなされているが、大きく分類すると次のようになる。

- 1) 切削抵抗そのものを測定する方法⁶⁾
- 2) 切削抵抗から生じる工具駆動軸または工具固定軸のトルクを測定する方法⁷⁾
- 3) 切削機械の切削のための消費動力を測定する方法⁸⁾
- 4) 切削エネルギーを測定する方法⁹⁾
- 5) 一定条件で切削し、その切削所要時間を測定する方法¹⁰⁾

切削抵抗そのものを測定する方法には、工具側で測定する方法⁶⁾と、被削材側で測定する方法¹¹⁾がある。切削機構と関連させて切削抵抗を詳細に測定する必要がある場合には、切削抵抗そのものを測定する第1の方法か、トルクを測定する第2の方法によらなければならない。さらに実際の切削作業に近い状態での研究では、ピエゾ効果の利用、被削材や工具自体またはその支持具の弾性変形を電氣的に拡大する方法などが必要である。しかし、岡有振動数などの問題で現在の測定装置は、実際の作業における切削抵抗の変動に対して十分に追従できないことが多い。現段階で測定し得る最大切削速度は15m/sec程度と考えられ、それすらも相当に困難と思われる。現在報告されている切削速度の例は9m/sec程度である。

木材は、不均質で異方性の材料であるため、比重、年輪巾などの性質が小さな試験片の中でも変動してお

り、被削性としての切削抵抗を考える場合には、各瞬間の切削抵抗を測定する方法では、どの瞬間の測定値を採用するかが問題になる。したがって、樹種別に切削抵抗を比較する場合には、樹種の包括的な数値を示してくれる方法がむしろ好都合で、その意味では、消費動力の測定、切削エネルギーの測定、切削所要時間の測定も意味がないとはいいきれない。

2.3. 切削型と切削抵抗

被削材が切削されるときに、どのように変形し、切断され、切屑がどのような形状になるか、などということは切削理論のもっとも重要な事項であり、従来から多くの研究がなされていて、切削抵抗との関連も切削型に関しておこなわれてきた。

切削型とは切層の生成形態を分類したもので、切削工具の形状、切削速度、切込量、切削方法、被削材の材質等により左右される。代表的なものとして

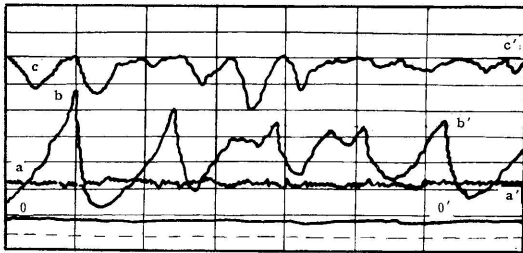
- 1) 流れ型(連断型、剥離型)
- 2) 折れ型(折断型、亀裂型)
- 3) 剪断型(縮み型、挫屈型)
- 4) むしれ型

の4種がある。この分類は実用の切削速度よりはるかに低い切削速度における実験にもとずいたもので、はたして実際の切削作業でこのように切屑が生成されているかどうかについては、問題がないとはいいきれない面がある。

流れ型は切層が工具のすくい面を流れるように生成するもので、切削された被削面および切屑は、破壊をうけず平滑である。折れ型は生成した切層がすくい面にそって流れず、工具の進行によって生ずる曲げモーメントによって、切屑が先割れの基部から折られる。工具はそこまで進行すると、また同様にして切屑を生成する。剪断型は被削材が工具のすくい面で圧縮されこれによって発生する剪断破壊によって切屑が生成するもので、剪断破壊は一定間隔おきに繰返しおこなわれる。むしれ型は、工具の切削点で切屑の分離がおこなわれず、工具が先に進行して、切屑は工具による引張破壊によって生成されるものであり、木口面を切削

するときみられる。実際の切削においては、明確に4種に分類されることはむしろ少なく、その中間的なものや、2~3種の型が混合したものが多い。

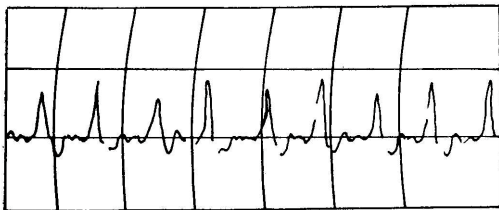
切削抵抗は、切削中にさまざまに変動し一定値を示さないことが多いが、これは切屑が一定の状態では生成されず、常に変化していることに原因している。したがって切削抵抗も切削型に応じた特徴ある変動を示すことになる。第2図¹²⁾は直線切削における切削抵抗の変動を、オシログラフで記録したもので、各切削型における特徴ある変動を示している。



注 a~a' 流れ型 ツガ $\theta = 20^\circ$ $d = 0.25\text{mm}$
 b~b' 折れ型 ツガ $\theta = 50^\circ$ $d = 0.25\text{mm}$
 c~c' 縮み型 アカマツ $\theta = 70^\circ$ $d = 0.50\text{mm}$
 0~0' 基準線

第2図 切削型と切削抵抗の変動

一般に流れ型では、変動の中が小さく比較的規則正しい変動を繰返し、抵抗値自体も他の切削型に比較して小さい。折れ型では、工具が被削材に切入み、先割れが発生する瞬間に抵抗値が大きくなり、切屑が折れると抵抗は急激に減少する。したがってこの型では、切削抵抗はもっとも激しく変動する。剪断型では、剪断破壊が発生するたびに変動し、切削抵抗は大きい。むしれ型では切削抵抗自体がもっとも大きいだけでな



注 樹種： エゾマツ
 上向き切削、
 1 刃あたり送材量： 3.3mm
 切削深さ： 1mm

第3図 回転鉋の切削抵抗の変動

く、非常に不規則な変動を示す。切削抵抗の変化は、直線切削における各切削型に対応したもののばかりでなく、当然のことながら、丸鋸や回転鉋のように切削中に切込量が変化するものでもみとめられる。第3図¹³⁾は、回転鉋について切削抵抗の変化を記録したものであり、1回の切削ごとに零に近い値から最高値までの変化を繰返している。

2.4. 切削抵抗に対する各種因子の影響

切削抵抗に影響をおよぼす因子は大きくわけて

- 1) 被削材の性質
- 2) 切削条件
- 3) 工具条件

である。

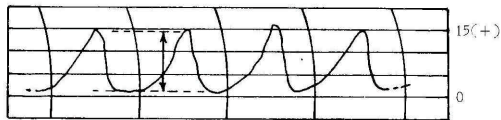
樹種によって切削抵抗が大きく異なることは当然であるが、大体比重に比例している⁷⁾。含水率の低下にしたがい切削抵抗は増大するが、ある時点をすぎるとふたたび低下すると云われている。

切削角が、30 ~ 40 以上の範囲では、切削角が小さくなるにしたがい切削抵抗は減少するが、小さいところでふたたび増大し、切削抵抗が最少なる切削角がある⁷⁾。にげ角はある程度以上(直線切削で約5°, 回転切削で約10°)であれば影響しないといわれている。切込量が増大するにしたがい、切削抵抗は増加するがその増加のしかたは0.2mm程度までは急激に増加しそれ以後ゆるやかになる⁶⁾。繊維傾斜角の影響については、傾斜角なしの場合が最少で、90°に近づくにしたがい増加し、これは順目切削でも逆目切削でもほぼ同様である。木埋斜交角については、0°で最大であり90°に近づくにしたがい減少するが、45°附近に変曲点がある。切削速度については、影響はほとんどないといわれている。

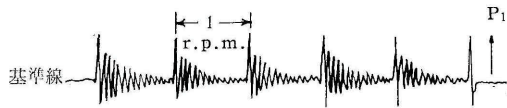
工具切刃の鋭利さが切削抵抗に影響するのは当然であるが、工具条件の影響は、刃付研削の難易にもとずく切刃の鋭利さ、摩耗性のちがいによる2次的なものと考えられる。

2.5. 被削性としての切削抵抗の表示法

被削性としての切削抵抗を表示する場合、2.2.の項で述べた測定法のうち、消費動力を測定する方法、切削エネルギーを測定する方法、切削所要時間を測定する方法では、単一の数値をただちに得ることができる



第4図 直線切削における切削抵抗の変化

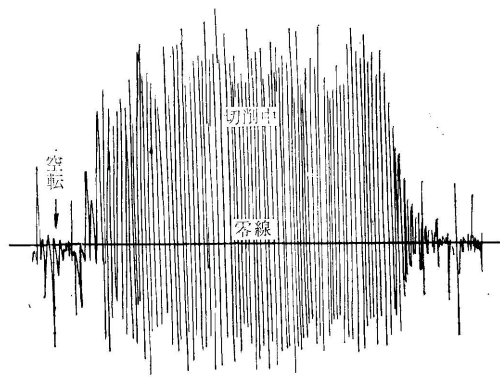


第5図 回転切削における切削抵抗の変化

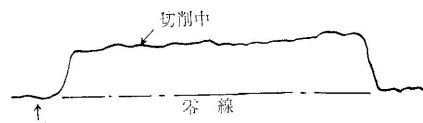
が、切削抵抗そのものを測定する方法、トルクを測定する方法では、切削抵抗の変動を記録することが多いため、その変動の波形の処理方法が問題となる。

第4図は直線切削における切削抵抗による工具の歪みを、ストレインゲージで検出し、ペン書きオシログラフによって記録した例⁶⁾であり、また第5図は回転切削における切削抵抗を、被削材保持具の歪みとしてストレインゲージで検出することにより、電磁オシログラフで記録した例¹¹⁾である。実際の抵抗値は、記録された波形から較正尺を用いて読みとるが、変動する波形のどこをとらえるかが問題になる。たとえば第4図では波形の極大値と極小値の差を読みとり、第5図のような場合は基準線と極大値の差を読みとるのが適当と思われる。

また上のことと関連するが、工具や保持具の歪み、トルク等で切削抵抗を測定する方法では、一般に電氣的拡大法が用いられるが、記録される波形は、使用した測定系（機械的な検出部分、電氣的な増巾部分、記録部分のすべてを含めた）を通じて得られるものであり測定系の周波数特性によって非常に異なるものとなることがある。たとえば第6図¹⁴⁾の(1)は、工具取付軸のトルクを測定したものであるが、非常に変動が激しくどこを切削抵抗として読みとればよいのか迷うほどである。これをローパス・フィルターを通して記録すると第6図の(2)のようになり、これが同一被削材を同一条件で切削したときの切削抵抗かと思う程である。第6図(2)の場合には第6図(1)に比較して相当容易に切削抵抗を読みとることができるが、この値は当然第6図(1)から読みとった値とは異なるはずであり、結局第6図(2)からの抵抗値はローパス・フィルターを含めた或



(1) フィルター使用せず



(2) ローパスフィルター使用(10サイクル、カットオフ)

注 軸回転数 5000rpm
切削刃数 2枚

第6図 測定系の周波特性のちがいによる記録波形の変化

る測定系を通じて得られた値としか解釈できない。このように切削抵抗値自体、またはその変動を問題にする場合は、研究の目的に応じた測定系の検討が重要となる。

次に当然のことながら、切削に要する力は切削巾、切込量によって異なった値を示す。したがってこれを相互に比較するためには、得られた測定値になんらかの処理をほどこす必要がある。第1は切削巾、切込量を一定にして測定値(kg)をそのまま相互に比較する方法⁵⁾、第2は切込量を一定にして、測定値を切削巾で割り、単位切削巾あたりの抵抗値(kg/cm)とする、方法⁷⁾、第3は測定値を切削断面積(切削巾×切込量)で割り、単位切削断面積あたりの抵抗値(比切削抵抗 kg/cm²)とする方法¹³⁾である。

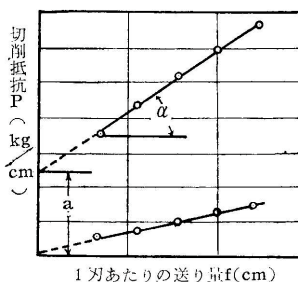
比切削抵抗については、一般に直線切削と回転切削とで異なり、さらには回転切削においても切込量によって異なった値を示す。これは回転切削においては、最大切込量または平均切込量が切削円直径、切削深、1刃あたり送材量の関数であり、同一の最大または平均切込量であっても、これら3因子の組合せによって

木材の被削性

第1表 本邦産材の削り抵抗 (kg/cm)

樹種	比重	縦目面切削		木口面切削	
		計算値	測定値	計算値	測定値
スギ	0.40	4.2	6.0	13.6	14.3
コウヤマキ	0.41	6.4	6.2	16.1	15.2
トドマツ	0.43	4.6	6.6	14.9	16.9
ハリモミ	0.44	9.7	6.9	23.9	17.5
エゾマツ	0.45	9.9	7.1	15.4	18.1
ヒメコマツ	0.45	10.1	7.1	16.5	18.1
クロマツ	0.53	7.2	8.9	20.4	24.0
ツガ	0.54	13.1	9.2	29.3	24.9
アカマツ	0.55	9.1	9.3	20.5	25.6
ドロノキ	0.36	7.1	5.1	12.4	11.2
バツコヤナギ	0.40	6.4	6.0	12.3	14.3
シナ	0.43	5.2	6.6	14.0	16.9
ホオ	0.47	6.9	7.6	16.8	19.9
カツラ	0.52	9.7	8.7	21.8	23.4
シオジ	0.57		9.8		27.0
オニグルミ	0.58	8.9	10.1	24.3	27.9
ヤチダモ	0.59	12.3	10.3	25.4	28.5
アカダ	0.60	10.8	10.5	28.9	29.0
タブ	0.61	6.8	10.7	23.9	30.0
ブナ	0.62	14.1	11.0	22.7	30.8
シイ	0.63	10.0	11.2	21.5	31.4
ナラ	0.66	14.5	11.8	30.4	33.8
マカンバ	0.70	14.7	12.7		36.7
イタヤカエデ	0.70	16.2	12.7	35.6	36.7
アカガシ	0.93	21.6	18.0	59.1	54.0

注 切削角 50°, 切込量 0.5mm



第7図 送り量 (f) と切削抵抗 (P) の関係

異なった傾向を示すわけである。そこで森¹³⁾はこれらの因子を考慮に入れた平均切削抵抗を与える解析式を述べて、これにより回転切削と直線切削との比較、また上記3因子の異なる組合せによる回転切削相互の切削抵抗の比較をおこなった。

以上は切削抵抗値そのものを得ることを主要な目的としているが、星¹⁶⁾は樹種間相互の比較を主目的として、上述とは異なった方法によって被削性を評価している。すなわち回転切削では1刃あたり送材量によって切削抵抗が変化するが、切削深さを一定にして送

第2表 切削抵抗試験結果

樹種	切削方向	α	a	樹種	切削方向	α	a
ブナ (38L)	L (辺材)	2.90	2.70	アカマツ (15F)	L	1.26	1.49
	L (心材)	4.90	2.40		T	1.70	1.20
	T	2.58	1.90		C	10.43	1.66
	C	19.88	5.60	モミ (4M)	L	2.43	1.95
ブナ (38F)	L	6.16	1.77		T	1.51	0.89
	T	3.75	1.70		C	16.34	0.53
	C	19.76	5.42	ツガ (14M)	L	3.34	2.00
ブナ (38K)	L	4.62	0.60		T	1.30	0.96
	T	2.88	1.90		C	10.65	3.74
	C	24.32	4.15	ヒノキアスナロ (24F)	L	3.34	0.88
ミズナラ (45F)	L	3.50	2.07		T	2.38	1.40
	T	1.80	1.50		C	9.45	3.34
	C	16.36	5.77	ヒノキ (20J)	L	2.31	0.90
ミズナラ (45K)	L	2.55	1.10		T	1.44	0.80
	T	2.40	0.85		C	9.10	2.30
	C	24.65	6.00	アオモリトドマツ (6F)	L	1.78	1.03
クリ (36F)	L	3.81	1.75	イヌマキ (3M)	L	4.69	0.57
	T	0.83	1.24	コウヤマキ (19J)	L	0.73	0.90
	C	13.51	1.24	サワラ (21J)	L	2.61	0.50
オニグルミ (28F)	L	3.03	1.20	カラマツ (9J)	L	4.16	0.95
イヌエンジュ (56F)	L	3.50	1.15	アスナロ (23J)	L	1.23	0.60
トガザクラ (13M)	L	1.71	0.85	ネズコ (22J)	L	2.97	0.35
ヒメシヤラ (63M)	L	5.98	1.92				

注 切削方向, L: 縦, T: 横, C: 木口
 α : 切削抵抗変化係数 a: 送り量零の軸と交差する点

材速度を数段階に変えて切削をおこない、そのつど単位切削巾あたりの切削抵抗 (kg/cm) を求め、第7図のような1刃あたり送材量 (mm) との関係図を描き、これから変化係数と、 $f = 0$ と交差する点の切削抵抗 a を求めて比較している。

本邦産樹種について、統一的に切削抵抗を測定した報告はあまりないが、第1表⁷⁾、第2表^{16) 17)}に例を示す。

- 林産試 加工科 -