



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	木材切削機構の研究（第2報）：切屑生成過程の観察
Author(s)	土肥，修；金内，忠彦；横山，正夫 他
Citation	北海道大學工學部研究報告，65，19-30
Issue Date	1972-12-16
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41094
Type	departmental bulletin paper
File Information	65_19-30.pdf



木材切削機構の研究 (第2報)

— 一切屑生成過程の観察 —

土 肥 修 金内忠彦
横山正夫 早田 修*

(昭和47年4月28日受理)

Studies on Wood Cutting Mechanism (II)

— Observations of the Chip Forming Process —

Osamu DOI Tadahiko KANAUCHI
Masao YOKOYAMA Osamu HAYATA

Abstract

In the authors' previous report (I), they developed the classification of combinations of cutting and depth directions for wood working and discussed the characteristics of wood cutting by measuring the cutting force and the cutting energy for several species of wood.

Explanations for the cutting mechanism have been made by many workers, but the relation between the chip forming process and cutting resistance have not yet been clarified completely.

In this report, the authors selected the cuttings of $r_+z_+(O)$, $r_+\theta(C)$, $z_+\theta(L)$ as representatives and observed the chip forming process corresponding to the cutting forces by using a high speed camera, HITACHI 16HD.

Concerning the effect of cutting and depth directions, depth of cut and species, the following conclusions were obtained.

(1) On the $(r_+z_+)_{I,N}$ cutting, the wood fibers are compressed and bent in front of the tool, and the maximum cutting force is observed at the moment of failure of fibers in a plane parallel to the cutting $(r\theta)$ plane.

(2) On the $(r_+\theta)_I$ cutting, the maximum cutting force is observed just before the split occurs ahead of the tool. The cleavage in $(r_+\theta)_N$ cutting spreads beyond the total width of the tool until the failure of chip occurs by bending.

(3) The process of $(z_+\theta)_{I,N}$ cutting is similar to that of $(r_+\theta)_I$ cutting from a view-point of cleavage occurrence. The maximum cutting force appears immediately before the cleavage occurs.

* ヤマハ発動機(株)第1技術部

目 次

1. 緒 言	20
2. 実 験	20
2-1 被削材及び切削条件	20
2-2 実験装置及び方法	21
3. 切屑生成過程の観察	21
3-1 トドマツの場合	21
(1) $r+z_+(O)$ 切削	21
(2) $r+\theta(C)$ 切削	24
(3) $z_+\theta(L)$ 切削	26
3-2 他の材種の場合	28
4. 結 論	30
5. 参 考 文 献	30

1. 緒 言

第1報では切削における木材の特徴を考慮して、原木を極異方性体と考え、切削方向と切込方向の組合せを原木円筒の半径、円周、軸方向のうち二つの組合せによって表示し、その方式に従って切削実験を行ない、切削力、切削エネルギーに及ぼす切削と切込の方向及び生長の方向性、東西南北の方位の影響について検討し、木材切削の特徴について述べた。その代表的な現象として、切屑の生成に伴い木材に特徴的な種々の割れが生じ、割れの形が切屑の形状と生成過程に影響を及ぼすことを知った。

第2報では、代表的な $r+z_+(O)$, $r+\theta(C)$, $z_+\theta(L)$ を選んで切削実験を行ない、切屑生成過程を高速度カメラに収め、フィルムに同時記録される切削力曲線に対応させて観察し、切削方向と切込深さが切削機構に及ぼす影響について考察した。

表1 被削材の機械的性質

樹 種	強さ kg/mm ²	r	θ	z
トドマツ (南材) 水分 10~12%	圧 縮	0.63	0.60	5.48
	せん断	$(r+\theta)$ 0.80	$(z+\theta)$ 1.24	$(r+z_+)$ 5.99
イ タ ヤ (南材) 水分 10~12%	引 張 り	1.66	0.82	9.58
	圧 縮	2.20	1.60	5.90
	せん断	$(r+\theta)$ 1.07	$(z+\theta)$ 0.98	$(r+z_+)$ 4.95
ラ ウ ン (南材) 水分 10%	引 張 り	0.53	0.46	4.07
	せん断	$(r+\theta)$ 0.51	$(z+\theta)$ 0.22	
FRV	引 張 り	(ガラス繊維配列面内) 10		
	圧 縮	11		
	せん断	8		
	曲 げ	16		

2. 実 験

2-1 被削材及び切削条件

切削実験に用いた樹種はトドマツ、イタヤ、ラワン、原木径は60~100 cmで、比較のため繊維構造の材料としてFRV (旭ガラス製) についても行った。表1はJISに準じた方法で測定した各材料の機械的性質である。

木材の異方性を考慮した切削方向及び切込方向の表示法は、第1報と同様に原木円筒の三主軸方向 (半径方向 r , 接線方向 θ , 軸方向 z) から、切削方向と切込方向の組合せを作り、 r と z については、生長の方向性を±の符号で表わした。

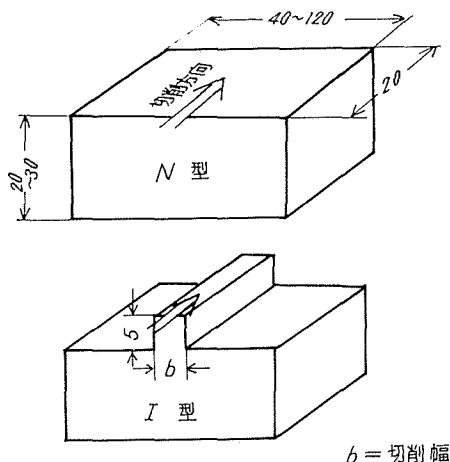


図1 被削材形状

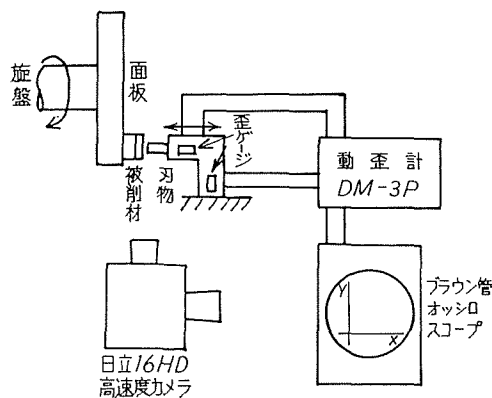


図2 実験装置

被削材形状は図1のN型とI型を取り、被削材長さはいずれも20 mmとし、切削速度は0.6 m/sに統一した。

使用工具は焼入れ焼もどしたS45Cで、鋸刃による切削を想定して、すくい角25度、逃げ角10度を採用、刃幅は4 mmとした。刃先の摩耗は切削力に及ぼす影響が大きい、実験の前後に、日本光学製万能投影器(50~100倍)で刃先を観察し、刃先の破損及び摩耗がほとんどないことを確認している。

2-2 実験の装置及び方法

第1報と同じ装置で、図2に示すように旋盤の面板に被削材を取付けて回転させ、所定の切削速度に達した時、刃物台に固定された工具により、所定の切込深さで切削する。切削力は刃物台に固定された検出器(抵抗線歪ゲージ応用)により2成分(主分力、背分力)の歪を検出し、応答周波数4000 Hzの動歪計DM-3P(共和電業製)を経て、ブラウン管オシロスコープの縦軸に入れる。切削中の切屑の生成過程は、オシロスコープに現われる切削力と同時に高速度カメラ(日立製16HD)によって撮影する。

フィルムの解析にはL-Wフリッカレス解析機MODL900を用い、横軸にフィルムコマ数を、縦軸に切削力を取り、切削力に対応する代表的な切屑生成過程の写真を掲げた。

3. 切屑生成過程の観察

3-1 トドマツの場合

(1) $r_+z_+(O)$ 切削

図3の写真は高速度カメラで撮影した切屑生成の状況の一例で、切削力の極大、極小値附近を示す。切削力曲線上の番号は写真番号に対応する。

第1報で述べたように r_+z_+ はN, I型とも最も切削力の大きい方向である。図3の写真ではいずれも刃先前方と刃下面の変形がきわめて大きく、割れ(下割れ)が切込深さの数倍に及んでいる。また生成される切屑の写真が他の方向($r_+\theta, z_+\theta$)と違って不鮮明なのは切屑の排出速度が高いためで、切屑が連続的な形を示さず、繊維がバラバラになって飛散するのが観察された。また加工面の荒さもきわめて悪い。

切込深さ1.0 mmになると、図4のように、下割れ長さ、被削材の変形範囲も広がる。切削

力波形に及ぼす年輪の影響は切削力曲線と写真からは判別しにくい。切削力曲線の極大点と秋材部が一致しない一つの原因は、切削力曲線の極大点は $\approx$ 方向の繊維の特に強い秋材部をせん断する時に生ずると考えられるが、せん断前の圧縮変形によって元来の配列位置からずれるためと考えられる。

$(r+z)_I$ の高速度撮影の結果 (図 3, 4) から、切屑の変形破壊過程は図 5 のようにモデル化される。

まず $\approx$ 方向の繊維は図の破線のように圧縮されて変形するが、この時刃前方の木材組織は押しつぶされ、密着した部分が形成されながら、繊維に沿ってせん断すべりが生じ、その後、下割

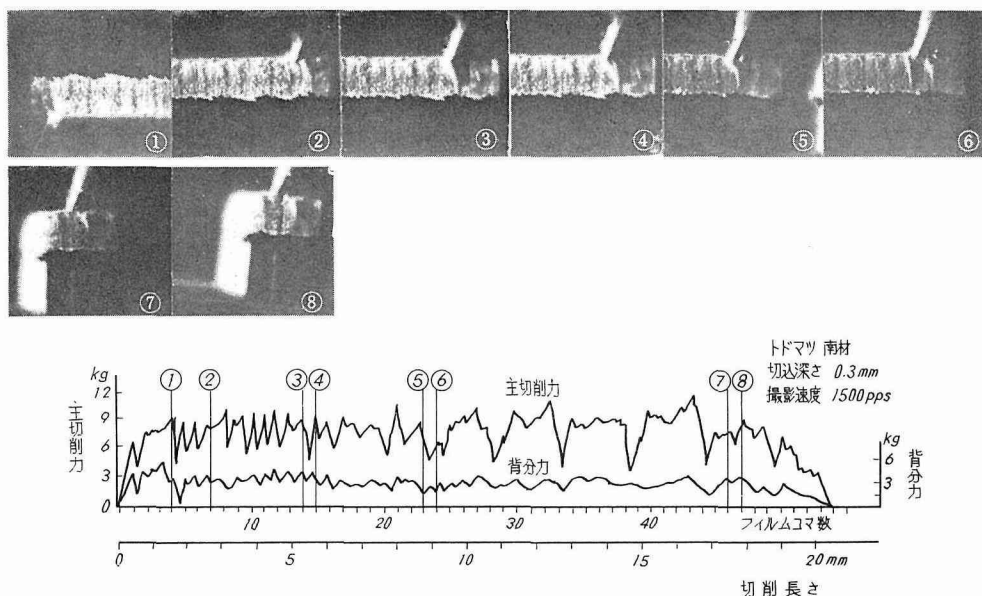


図 3 $(r+z)_I$ 切削 (1)

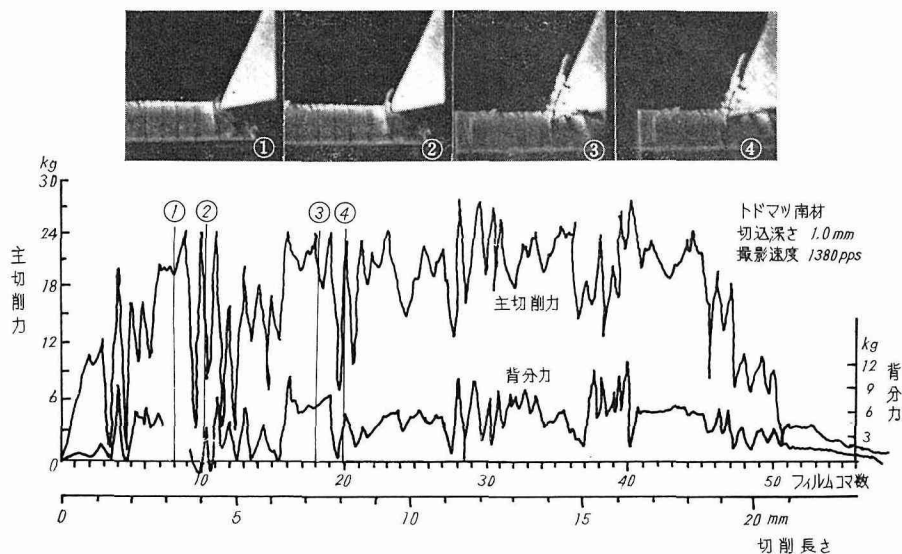


図 4 $(r+z)_I$ 切削 (2)

れの先端④の領域で曲げ破壊を起し、①の領域で r 方向にせん断される。①の領域で圧縮されて出来た繊維の緻密な部分のせん断抵抗が最も大きい。

図6は $(r+z)_I$ の切込深さに対する下割れ長さ h と最大主切削力 P_{max} の関係で、切込深さに比較して h 値が大きく、①の領域の圧縮変形の度合を判定する目安になる。被削材形状の影響によってN型の h はI型より小さめになると推定される。

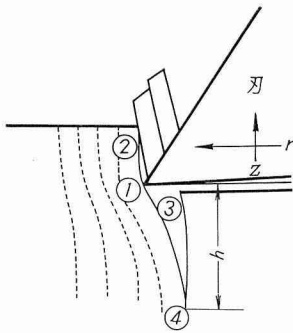


図5 $(r+z)_I$ 切削モデル

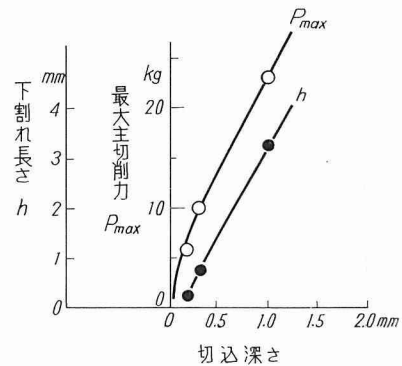


図6 $(r+z)_I$ の下割れ長さ、最大主切削力と切込深さの関係

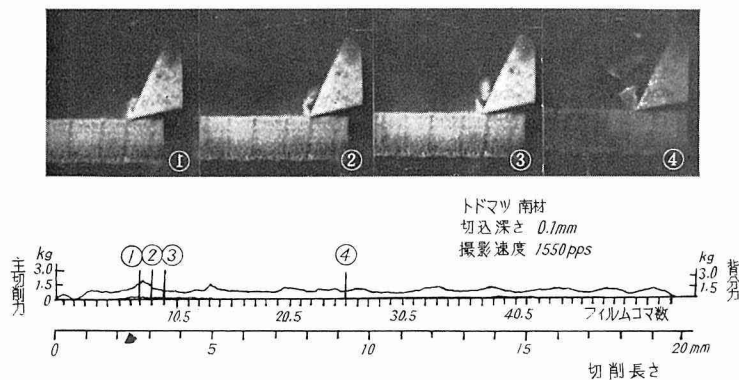


図7 $(r+\theta)_I$ 切削 (1)

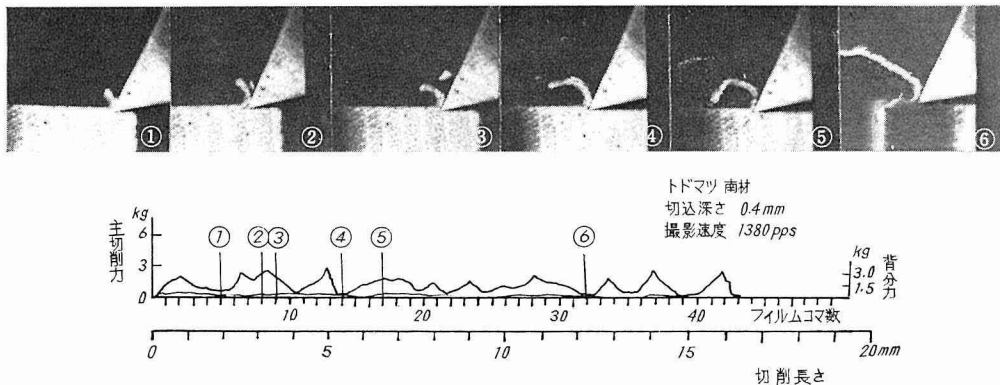


図8 $(r+\theta)_I$ 切削 (2)

図3, 4の切削力曲線の起伏が激しいのは, ④の領域の曲げ破壊, ①領域のせん断破壊の抵抗が複雑に交錯するためである。

(2) $r+\theta$ (C) 切削

切込深さの小さい0.1 mmの $(r+\theta)_I$ 切削(図7)の特徴は, 割れ(先割れ)が発生してもごく小さく, 年輪の秋材部を刃先が通過する点で切削力が高くなっている。切込深さ0.4 mmの図8から, 0.1 mmの場合と同様に, 刃先が秋材部近傍を通過する写真②, ③の切削力が高く, 春材部を切削している写真①, ④では低く, 写真②, ④では刃先前方の先割れが認められる。また写真⑥から, この場合の切屑はき裂型を呈するが, 部分的につながって被削材長さ20 mmの切削終了までつづいている。切込深さが1.5 mmになると(図9), 写真①のように刃先より上部に先割れが

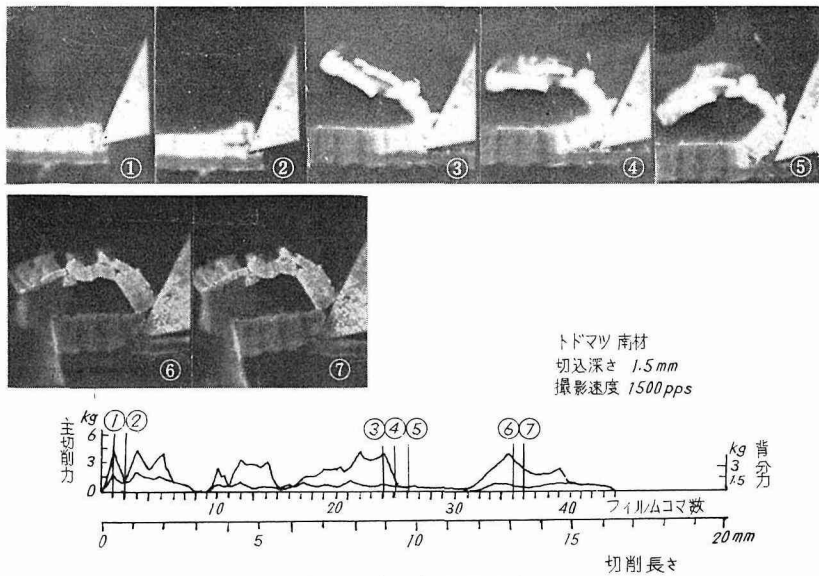


図9 $(r+\theta)_I$ 切削 (3)

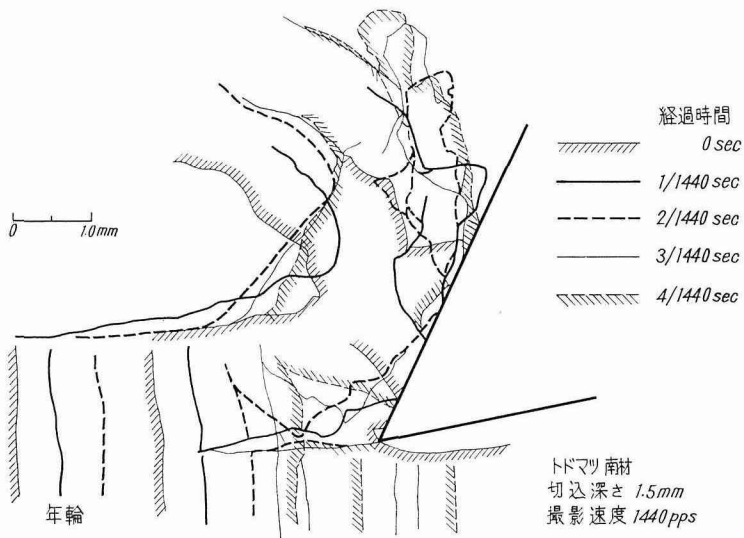


図10 $(r+\theta)_I$ 切削の切屑生成過程

入り、同時に切屑には θz 面 (切込方向) の年輪に沿う割れ (一種の裏割れ) が発生する。写真②になると、刃先上部の先割れがさらに進展し、切削力は低下する。写真③, ④, ⑤は $(r+\theta)_I$ 切削の典型的な切屑生成過程を示し、写真③は刃先前方の先割れ発生直前で、この時切削力は最も高く、刃先前方の年輪が変形し、刃の下部に θz 面の割れ (下割れ) が認められる。下割れは切込深さの小さい 0.1, 0.4 mm の場合には確認出来なかった。写真④の先割れは3年輪にわたって起り、最大主切削力の間隔は個々の年輪幅と一致していない。切削力曲線の実切削が 16.5 mm で終了するのは写真⑥のように、被削材の終りに近づくと、先割れが発生せずに、 θz 面に下割れが入り、定常的な切屑の生成はこの位置で終るためである。なお、切込深さ 0.4 mm と 1.5 mm では、切屑形状にほとんど変化がない。

図 10 は図 9, 写真④の先割れ発生点近傍の高速度フィルムを数コマ重ね合せたものであるが、この図から $(r+\theta)_I$ における切屑生成は次のような過程を示すと考えられる。まず、刃先の圧入により、刃先すくい面で細胞組織が圧縮され、刃先のクサビ作用により、先割れが急速に入り、切削力はこの先割れ発生直前に極大値を示す。木材組織は r 方向の引張り強度が小さいために (表 1), 先割れ発生と同時に切屑はすくい面上に押し上げられて、先割れ根元から θz 面に割れが入る。この段階の切削力は極めて小さい。さらに刃先は進行し、新たな先割れ開始点に達し、同様のサイクルを繰り返す。

図 11 は先割れの生じる直前の最大主切削力 P_{max} と先割れ長さ l の関係で、切込深さの増大で l と P_{max} とも大きくなるが、 $r+\theta z$ の場合の下割れ長さに比較して約 1/2 である。切削力の変動率も先割れ長さに左右され、切込深さが大きいほど変動率は高くなる。

$(r+\theta)_N$ 切削の図 12 では割れ (横割れ) が刃幅方向に進展しており、その長さは刃幅の約 5 倍にも達する。 z 方向に横割れした繊維は刃すくい面側縁ではせん断されず、すくい面上に押し上

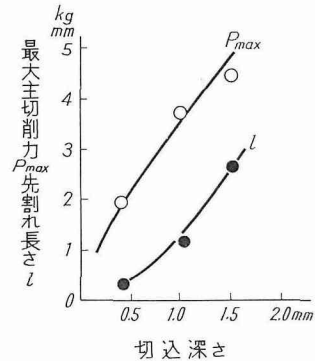


図 11 $(r+\theta)_I$ の先割れ長さ、最大主切削力と切込深さの関係

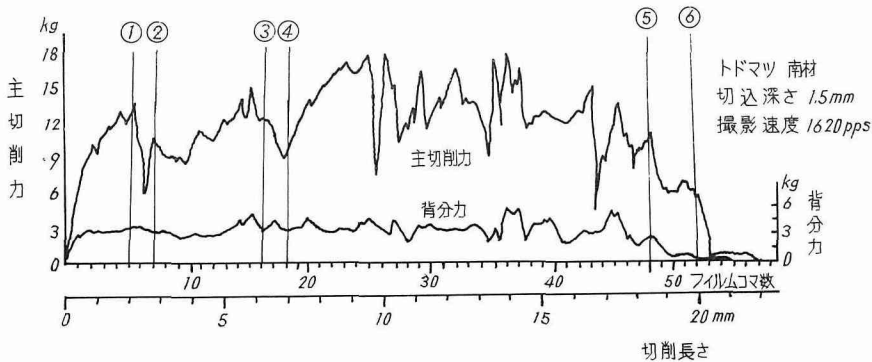
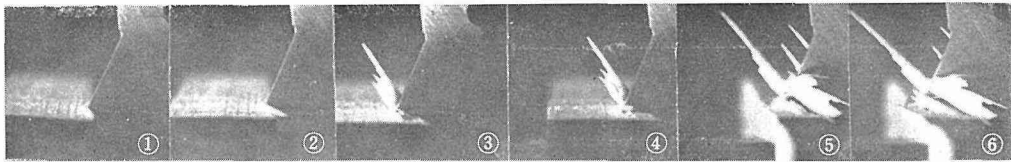


図 12 $(r+\theta)_N$ 切削

げられ、主に曲げと捩りで破壊される。さらに図 13 のように、切屑は繊維が切削面に平行なら③の領域で分離し、切削力は極大を示すが平行でない場合は横割れの先端(④、⑤の領域)で破断する。切込深さが大きいと、すくい面上に切屑 S が押し上げられた後、刃先には新たな先割れが生じ、次の切屑もすくい面に押し上げられる。

(3) $z+\theta(L)$ 切削

$z+\theta$ 切削は z 方向(切削方向)の圧縮強さが最も大きい、切削力は O, C, L のグループで最も小さく、被削材形状 N, I は切削力及び切屑形状とも差異が少ないのが特徴である。

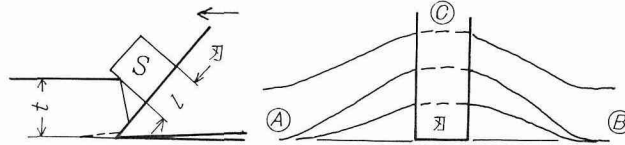


図 13 $(r+\theta)_N$ 切削モデル

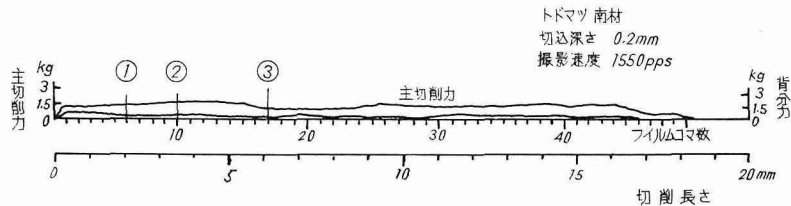
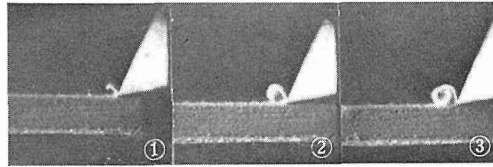


図 14 $(z+\theta)_I$ 切削 (1)

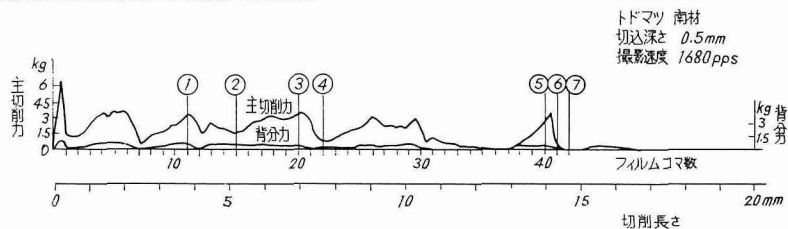
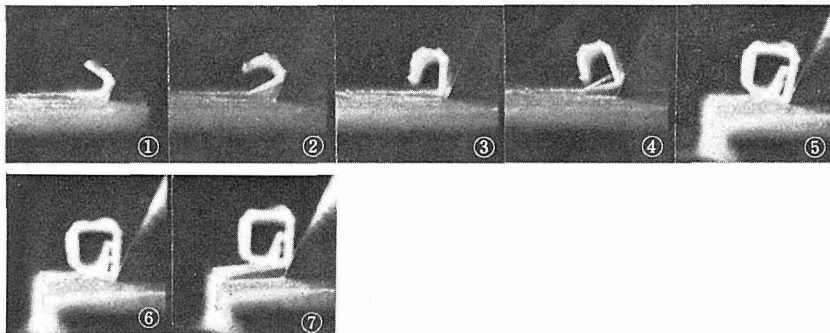


図 15 $(z+\theta)_I$ 切削 (2)

図14は切込深さ0.2 mmの $(z+\theta)_I$ 切削の結果で、切削力曲線の変動は小さく、写真①, ②, ③とも切屑は一樣にカールする流れ型を呈する。写真では切削方向が繊維方向と平行でなく、僅か、逆目切削となっている。切込深さ0.5 mmの図15では切込深さが図14より0.2 mm大きいにすぎないが、切削力曲線及び切屑形状はかなり顕著に変わる。先割れ発生直前の写真①, ③, ⑤は切削力曲線の極大値と一致する。切削力曲線はある周期をもった波形を示し、先割れは一定間隔で起り、その波形の山のピッチと一致し、切屑は折れ型となる。切込深さ1.5 mm (図16) になると、先割れ長さは極めて大きく、さらに幾分順目切削であるため、大きな先割れが発生して、切屑が生成された後、切屑の裏側に多数の小さい割れが発生するのが認められ (写真①~⑥), また写真⑧では大きな先割れのため、切削長さ11 mmで切削力は0に近くなる。切削力の変動は0.2,

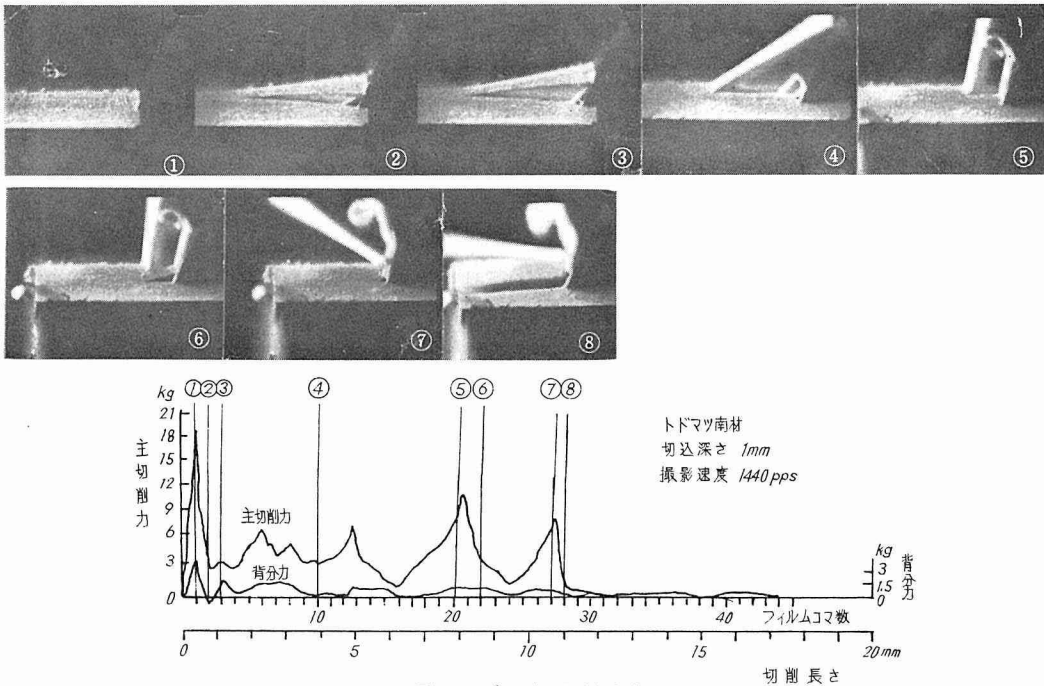


図16 $(z+\theta)_I$ 切削 (3)

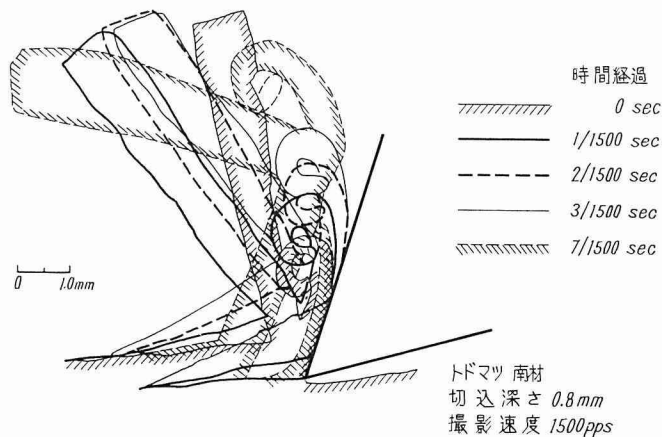


図17 $(z+\theta)_I$ 切削の切屑生成過程

0.5 mm の場合より大きくなるが、この場合も波形のピッチと先割れ長さは一一致する。 $(z+\theta)_I$ 切削では切込深さの変化で切屑の形状が変化する。

このような切屑生成過程が相異なるのは、木材の繊維構造から次のように説明出来る。すなわち、トドマツは主に z 方向に配列される仮道管の細胞構造により剛性が与えられ、仮道管の径は春材部で大きい、膜厚は秋材部で厚くて、緻密で強度が大きく、接線方向に測定した春材部の仮道管は $12\sim40\mu$ 、半径方向で $20\sim50\mu$ 、膜厚は $2\sim4\mu$ と言われている¹⁾。従って、切込深さが 0.2 mm 以下の切削では、刃先には切込方向 (θ 方向) の細胞数が数個しかかからず、それ等の細胞はほとんどすべて破壊され、曲げ剛性が極度に低下し、刃先すくい面上で連続して曲げられ、流れ型の切屑が発生する。一方切込深さが大きくなると、切込方向の破壊されない仮道管の数は多くなり、曲げ剛性が增大するので、 θ 方向の引張り強度が小さいこととあいまって、先割れをとまなう折れ型切削となるのである。

図 17 は $(z+\theta)_I$ の切屑生成の状況である。図 14, 15, 16 と図 17 で共通するのは、先割れ発生時の最大切削力が、先割れ部分のクサビ作用による引張り破壊の抵抗によって決る点である。先割れ発生後の切削力は先割れ長さ l の片持梁の曲げ抵抗で左右されることが考えられるが、その抵抗は小さい。 $(z+\theta)_N$ 切削の場合も I 型とよく似た機構とみてよいが、すくい面側縁における被削材のせん断抵抗を考慮する必要がある。

図 18 は切込深さに対する先割れ長さ l と最大主切削力 P_{max} の関係である。他の 2 つの方向の切削に比べてその先割れ長さは数倍に達するが、最大主切削力はその中間の値を示す。

3-2 他の材種の場合

樹種により、各方向ごとに、機械的性質の違いがあるので (表 1), トドマツの他に、イタヤ、ラワン、参考として層状複合材料 FRV (板状) について同様の観察を行なった。

FRV は厚さ約 1 mm のガラス繊維層と厚さ約 1 mm の硬質塩化ビニールを薄層状に配列したものである (図 21)。

図 19 はイタヤ $(r+\theta)_I$ の結果で、トドマツの切削力曲線と比較しても、その波形の相異は認

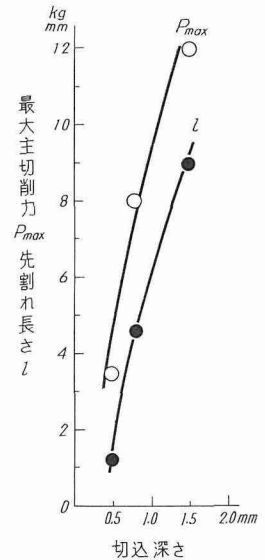


図 18 $(z+\theta)$ 先割れ長さ、最大主切削力と切込深さの関係

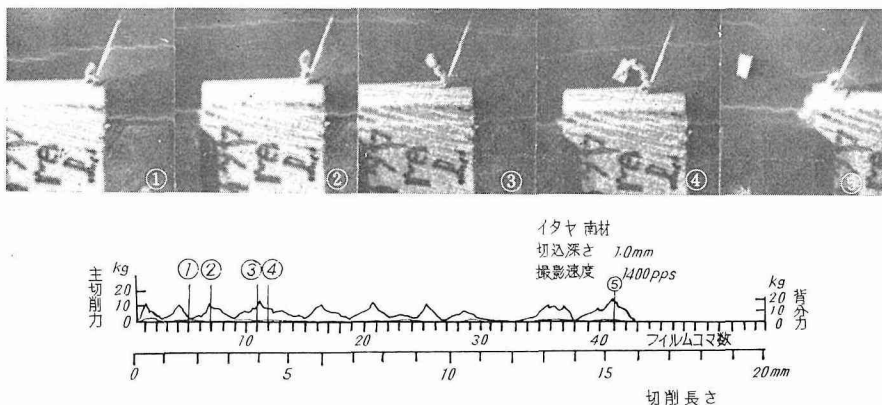


図 19 イタヤ南材の $(r+\theta)_I$ 切削

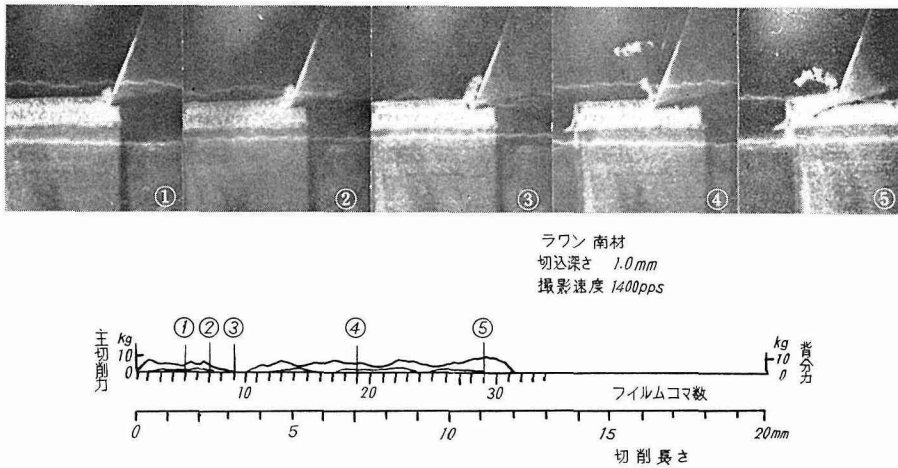
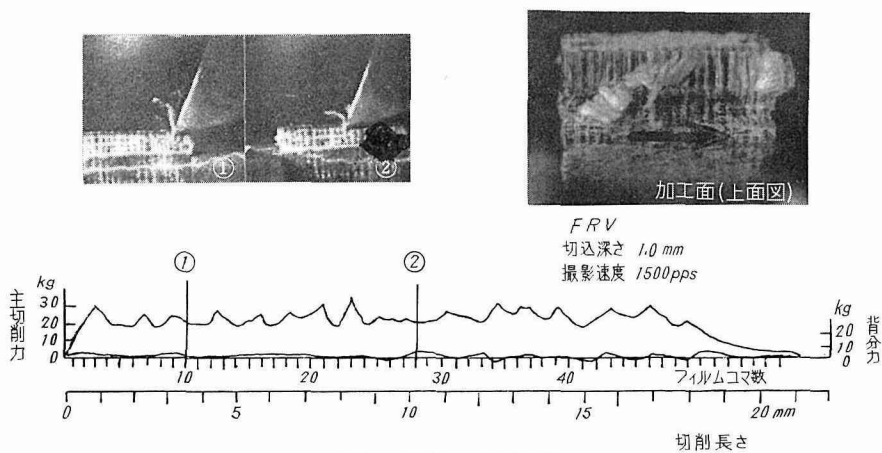
図 20 ラワン南材の $(r+\theta)_I$ 切削

図 21 FRV の I 型切削

められないが、最大主切削力はイタヤのほう約3倍ほど高くなっている。割れはトドマツ同様に生じるが、切屑の変形(曲り)は小さく、連続しにくい。これ等の現象はイタヤの方が各方向とも強度が大きい、硬く、もろい性質を示すためと考えられる。また、写真⑤のように切削終了間際に割れが刃下面の被削材に生じ、切削力曲線は切削長さ 15.9 mm で終る。図 20 のラワン $(r+\theta)_I$ 切削で、切削力曲線の変動がトドマツ、イタヤより小さいのは、繊維組織は交錯木理を示すラワンの特徴により、先割れの進行が切削面と平行に生じにくいことと年輪の影響を受けないことによると考えられる。

以上の結果から、イタヤ、ラワンとも切屑生成過程において、トドマツとの本質的な相異は認められない。

次に FRV は I 型被削材について行なったもので、木材切削の $(r\alpha)_I$ 又は $(r\theta)_I$ に相当するが、図 21 のように切屑の形状が流れ型にならない。木材切削と異なる点は割れ破壊がないことであり、切削力曲線はガラス繊維層でピークを示す。

4. 結 論

高速度写真の結果，最大切削力と切屑生成過程について，次の結論が得られる。

(1) $(r_+ z_+)_{I,N}$ 切削では刃先が刃先前方に圧縮した繊維を切削方向にせん断する時に最大主切削力を示す。

(2) $(r_+ \theta)_I$ 切削では引張強さの小さい $r z$ 面， θz 面に生ずる割れによって切屑が生成されるが， $r z$ 面の割れ（先割れ）が発生する直前に最大切削力を示す。 $(r_+ \theta)_N$ 切削では先割れ，横割れが生じた後，切屑はすくい面上に押し上げられ，曲げと振りを受けて変形し破壊する。

(3) $(z_+ \theta)_{I,N}$ 切削では $(r_+ \theta)_I$ と同様に切削方向に先割れが生じ，先割れ直前に最大主切削力を示す。さらに切込深さの大小によって，切屑が折れ型，流れ型に変化する現象は木材組織の特性から説明される。

参 考 文 献

- 1) 山材 遼：木材組織学，(1965)，90，森北出版。