

有節木材からの単板切削を想定しての被削材繊維走向 およびナイフ引き切り速度の影響(II)*

切削力分力とその波形変動および単板性状について
(スギ被削材の場合)

杉 山 滋

長崎大学教育学部工業技術教室
(平成3年2月28日受理)

Effects of Sliding Velocity of the Knife and Grain Angle of
the Workpiece on the Cutting Phenomena in Veneer
Cutting by Feeding the Knife to the Workpiece
during the Sliding of the Knife*

Shigeru SUGIYAMA

Department of Technology, Faculty of Education,
Nagasaki University, Nagasaki 852

(Received Feb. 28, 1991)

Abstract

The orthogonal cutting tests of veneer, by feeding a knife to the workpiece during the sliding of the knife in the direction parallel to the cutting edge, were performed (Fig. 1). Air-dried specimens of sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don), which were fixed to the experimental apparatus equipped with a three-dimensional elastic-ring dynamometer, were cut during the feeding the knife (Table 1, and Figs. 1~2). The components and the resultant of the cutting force were measured. In addition, several veneer-cutting phenomena were observed and estimated. Using these results, the effects of the ratio (f) of the sliding velocity (V_k) to the feeding velocity (V_w) on the variation of the cutting force and the other veneer-cutting phenomena were clarified (Figs. 3~12, and Tables 2~3). Characteristics of the veneer-cutting method using in this study are discussed, comparing it with the conventional orthogonal cutting of veneer.

* 本研究は、「木材の切削機構および切削抵抗の力学的解析に関する基礎的研究(その10) Fundamental Studies on Analysis of Cutting Mechanics and Cutting Force in Wood Cutting, X.」とする。前報(その9)は、長崎大学教育学部自然科学研究報告 第44号 85~100 (1991) に掲載。

1. 緒 言

ベニヤレース、ハーフラウンドベニヤレースおよびスライサ等の実用切削機械による単板切削における丸太やフリッチには、無節の枝下材が望まれるが、実際には死節部分の存在する枝下材や生節部分をも含んだ樹冠材との混合材、および最近では針葉樹間伐中小径木などの有節材の利用も余儀なくされている。間伐中小径木は、節の存在が著しく、美観を低下させるのみならず、節の種類によっては強度上への影響も著しい。しかし、そのような有節材も、単板化できれば節の存在による強度上への影響を分散し易いし、利用範囲も拡大化される。しかし、有節材の単板切削では、節の種類、大きさ、量および節の存在場所などが単板の切削性に影響を及ぼす。同じ節であっても、毎回の切削でその切削性に変化するから、節の切削性を的確に把握することは、いろいろな場合がありすぎて極めて難しい。このような節そのものとともに、節周辺の繊維走向の乱れ（即ち、節ばかまの存在）も単板の切削性に大きな影響を及ぼすと考えられる。

そこでこの研究では、ベニヤレースやハーフラウンドベニヤレースによる単板切削方式を直接の対象として、節および節ばかまの切削性（単板の性状、切削力の変化など）や、無節材の切削性との相異などを明らかにし、有節材の単板切削条件を明らかにするための基礎実験を行うことを計画した。今回は、有節材を想定しての繊維走向を種々変化させた基礎実験を行うから、ナイフには、その逃げ面側に、大きさを変えた3種類のマイクロベベルをそれぞれ設定した。それらのナイフを用い、ナイフ切れ刃線方向を移動させない従来の切削方式（押し切り切削）と、切れ刃線方向に移動させる切削方式（引き切り切削）の両方式について、それぞれ実験を行い、有節材の単板切削性についての基礎的知見と、有節材の単板切削を良好にする切削方式についての基礎的知見、などを得ようと試みた。

2. 国内・外における研究状況とこの研究の特色

2.1 国内・外における節に関する研究状況

木材の切削加工では、材料として木材を用いる限り節の切削は避けられない重要な問題である。とくに、サーフェイサによる表面仕上げ加工やベニヤレース、ハーフラウンドベニヤレース、スライサによる単板切削などナイフを用いる加工部門では、節によるナイフの損耗と同時に、節および節ばかまによる被削母材加工面や単板の性状の変化をもたらすから、節の切削性を明確に把握し、その改良をはかることは、この部門に欠くことのできない重要な課題であり急務といえよう。しかし、国内・外における研究状況は無節材を供試材としての研究が多く、刃物の欠損を伴う有節材を用いての追究は鋸歯による切削では比較的報じられた例はあるが、ナイフ類による切削では研究例が皆無に近い。ナイフ類による切削の部門でも、ナイフ摩耗の分野での研究は多くの研究者によって進められているが、無節材の耐摩耗性、寿命の究明よりも、断続的に出現し、しかも無節材の切削性とは著しく材質を異にする節との共存による有節材の切削性の究明が是非とも必要となってくる。勿論、刃物の材質的な内部要因からの節の切削性の検討も是非必要となるが、この研究では、従来明らかにされていない節の切削性、節ばかまを含めた無節材との共存による切削性などを明らかにする。したがって、この研究のように、切削条件や切削方式等の刃物の外部的要因の検討により、節の切削性についての改良をはかる研究は、これまでに全く例をみない。

2.2 この研究の特色とその着想に至った経緯

(1) 単板切削における節の切削性について、これまでに問題点が指摘され、それを改善するための種々の切削条件が工夫されているが、公表されているデータ、または系統的なデータは殆どみあたらない。この点に着眼し、従来の単板切削方式における節および節ばかまの切削性についてのデータを収集する。

(2) 節および節ばかまの切削性を究明するために、種々の節の場合を想定した基礎実験(今回)と実際の各種の節を用いた応用実験(次回)とに分けて行う点に特色がある。基礎実験では、無節部分や節および節ばかまの切削を別々に行い得るモデル実験によって、節の切削性についての基礎知見を得る。これの結果に基づいて、次回では、実際の節を用いた応用実験を行い、節の切削性についてを、上記との関係で明らかにする。

(3) マイクロベベル付きベニヤナイフを使用して、節の単板切削性を究明する点に特色がある。マイクロベベルの設定に当っては、従来の刃物角をもつベニヤナイフの逃げ面側にマイクロベベルを設定し、ベベル長さ、ベベル角の変化が節の切削性に及ぼす影響を明らかにする。なお、次回には、すくい面側にマイクロベベルを設定した実験を計画している。

(4) 引き切り切削を有節材の単板切削に適用できるかどうかを調べる点に特色がある。原木に節があると、ナイフの同じ位置に節が当たり、刃先の損耗などに影響を及ぼすが、引き切り切削ではこれが解消できることを示すこと、また、引き切りの切削効果を明らかにし、さらに、マイクロベベル付きベニヤナイフによる引き切りの切削効果を調べること、などに独創的な点がある。

3. 実験方法

引き切り切削実験装置を図1に示す。同装置を用いての実験方法は、既報^{1),2)}と同様であるが、その概要をとりまとめて表1に示した。この研究では、有節材の単板切削性を明らかにすることを主目的としているから、切削力の測定を中心に行った。即ち、切削力3分力(横分力 F_x 、送り分力 F_y および背分力 F_z)の大きさを測定し(図2参照)、それに加えて3分力波形の変動の大きさをも測定した。さらに、採取した単板から、その性状の変化を観察した。

この研究では、有節材を原木としてのベニヤレースやハーフラウンドベニヤレースによる単板切削を想定しての実験であるから、節の切削は木口切削およびその付近の木口に近い斜め切削、無節材部の切削は横切削、節周辺の節ばかまの切削は横切削に近い斜め切削となる。したがって、表1に示すように、この研究では、ナイフ切れ刃線と被削材の繊維走向との交差角度、即ち繊維傾斜角 φ を $0^\circ \sim \pm 90^\circ$ (表1に示したように、例えば $0^\circ < \varphi < 90^\circ$ は引き切り方向が被削材の繊維走向に順目方向となる場合であり、 $-90^\circ < \varphi < 0^\circ$ は引き切り方向が被削材の繊維走向に逆目方向となる場合である) に変化させた試験片によるモデル実験により、有節材の単板切削性についての基礎的知見を得ようとするものである。

したがって、試験片の作成にあたっては、例えば $0^\circ < \varphi < 90^\circ$ の試験片と $-90^\circ < \varphi < 0^\circ$ の試験片とは、それぞれ別々に作成すべきであり、引き切り方向も被削材の元口から末口へ、あるいは末口から元口へのいずれかに定めて切削実験を行うべきであるが、元口から末口への切削と、末口から元口への切削との差は極く僅少と考えられるから、これによる影響を無視し、 $0^\circ < \varphi < 90^\circ$ の試験片か $-90^\circ < \varphi < 0^\circ$ の試験片のいずれか一方の試験片を作成

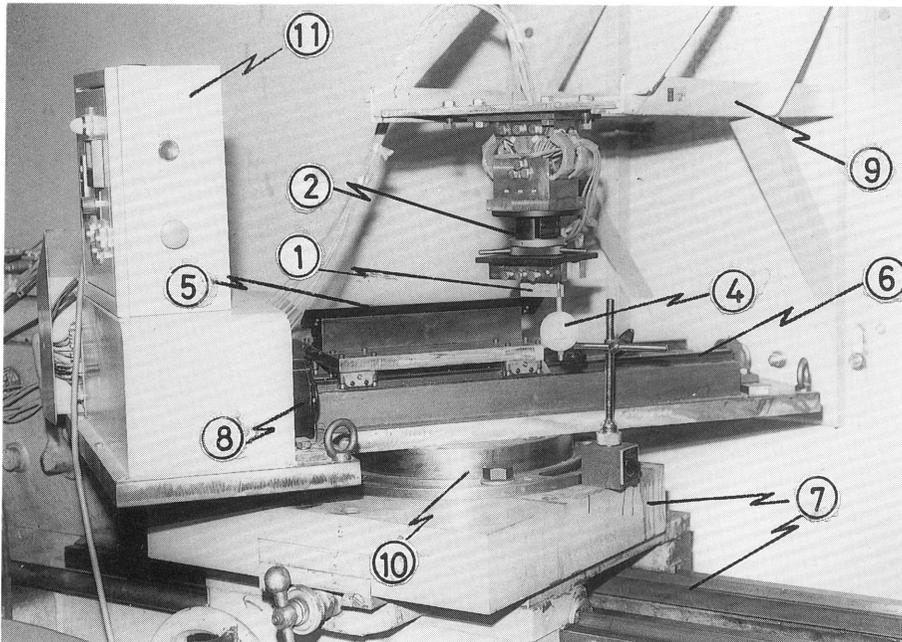


図1 引き切り切削実験装置

①：試験片；②：切込量設定装置；④：ダイヤルゲージ；⑤：ナイフ；⑥：切れ刃線方向ナイフ移動装置；⑦：ナイフ送り装置；⑧：引き切り速度 V_k を与えるためのリバーシブルモータ；⑨：①～②を固定するためのフレーム；⑩：バイアス角設定装置；⑪： V_k の大きさと方向を変えるためのコントロール盤

表1 実験条件

被 削 材	切 削 条 件
樹種：スギ (<i>Cryptomeria japonica</i> D. Don)；産地：高知県；含水率：17.1%；容積重：0.37 g/cm ³ ；平均年輪幅：2.3 mm；晩材率：9.8%	ナイフの送り速度 V_w は、 $V_w = 3.0$ mm/sec 一定とした。ナイフの引き切り速度 V_k は、0～12.0 mm/sec の範囲で 3 mm/sec 間隔おきに 5 段階に変化させた ($V_k = 0$ mm/sec は静的切削を意味する)。したがって、ナイフの相対速度比 $f (= V_k / V_w)$ を 0～4 の範囲で 1 間隔おきに 5 段階に変化させた ($f = 0$ は静的切削を意味する)。バイアス角 $\hat{\alpha}_k$ は、 $\hat{\alpha}_k = 0^\circ$ (二次元切削) とした。切込量 t_n は、 $t_n = 0.2$ mm 一定とした。切削実験の繰返し数 R は、 $R = 3$ とした。
試 験 片	ナ イ フ
φ (ナイフ切れ刃線と被削材の繊維走向との交差角度、即ち繊維傾斜角) と ϕ (ナイフの送り方向と被削材の繊維走向との交差角度) を用いてこの研究における切削方式を表現すると、 $ \varphi - \phi$ 切削となる。 $\phi = 90^\circ$ 一定としたが、 φ は $-90^\circ \sim 0^\circ$ および $0^\circ \sim 90^\circ$ の範囲で 15° 間隔おきに 11 段階に変化させた。即ち、この研究では、横切削 (切削面：板目面木表側) から木口切削 (ナイフの送り方向：年輪に接線方向) にいたるまでの間、切れ刃線に対して被削材の繊維走向を 0° (横切削) から $\pm 90^\circ$ (木口切削) まで変化させる。 $-90^\circ < \varphi < 0^\circ$ は引き切り方向が繊維走向に対して逆目となる場合であり、 $0^\circ < \varphi < 90^\circ$ は引き切り方向が繊維走向に対して順目となる場合である。 $\varphi = 0^\circ$ は引き切り方向が繊維走向に対して平行となる場合である。 $\varphi = -90^\circ$ は引き切り方向が向心方向、 $\varphi = 90^\circ$ は引き切り方向が遠心方向となる場合である。	垂直逃げ角 α_n は、 $\alpha_n = 3^\circ$ 一定とした。垂直刃先角 β_n は、 $32^\circ \sim 52^\circ$ の範囲で 10° 間隔おきに 3 段階に変化させた。即ち、垂直切削角 θ_n は、 $35^\circ \sim 55^\circ$ の範囲で 10° 間隔おきに 3 段階に変化させた。ナイフは鍛接ナイフで、刃部の材質は高速鋼第 2 種 SKH2 (兼房刃物工業 (株) 製) とした。
	測 定 項 目
	切削力 R の 3 分力 (横分力 F_x 、送り分力 F_y および背分力 F_z) の大きさとそれらの変動、および単板の性状

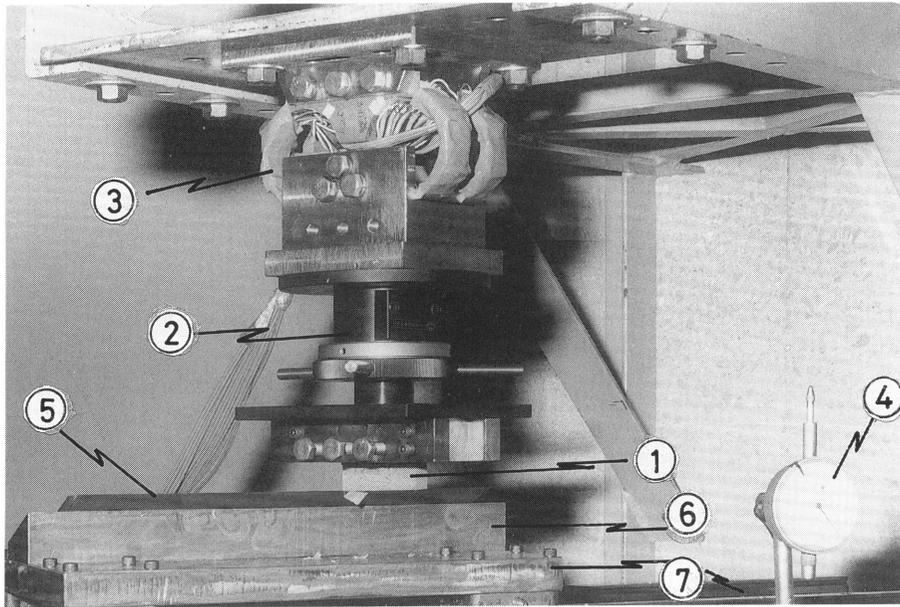


図2 引き切り切削と切削力3分力の測定

- ①：試験片；②：切込量設定装置；③：切削力3分力測定装置；④：ダイヤルゲージ；
⑤：ナイフ；⑥：ナイフ固定装置；⑦：切れ刃線方向ナイフ移動装置

し、引き切り方向をそれぞれ反対方向に変えることにより実験の簡素化をはかった（この実験は、二次元引き切り切削であるから、 $0^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ および $-90^\circ \leq \varphi \leq 0^\circ$ の試験片で引き切り速度 $V_k > 0$ の一方方向の引き切り切削と、 $0^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ の試験片で $V_k > 0$ の方向および $V_k < 0$ の方向の引き切り切削はほぼ同じ意味をもつ^{3), 4)}）。

4. 実験結果および考察

既報²⁾では、切削力の大きさの変化を中心に報告したが、ここでは切削力の3分力の波形変動の変化と波形変動の大きさを中心に述べる。まず最初に、一部重複するが、切削力とそれの3分力の大きさとそれらの変動傾向をとりまとめた。即ち、有節木材の単板切削を想定しての被削材の繊維走向を種々変化させた二次元引き切り切削実験を行い、そのときの切削力 R とそれの3分力（横分力 F_x 、送り分力 F_y および背分力 F_z ）の大きさを測定した。ナイフの相対速度比 f の変化に伴う R とそれの3分力（ F_x 、 F_y および F_z ）の変化を図3に示した。同図より明らかなように、繊維傾斜角 φ が $0^\circ \sim 90^\circ$ の範囲（ $0^\circ \leq \varphi < 90^\circ$ ）では、 f の増加に伴い、 F_x はいずれの φ の場合も増加傾向を、 F_y はいずれの φ の場合も減少傾向をそれぞれ示したが、 F_z はほぼ一定の傾向（ $\varphi = 0^\circ \sim 15^\circ$ の場合）か、または漸増傾向（ $\varphi = 30^\circ \sim 75^\circ$ の場合）か、または漸減傾向（ $\varphi = 90^\circ$ の場合）を示し、 R は漸増傾向（ $\varphi = 0^\circ \sim 75^\circ$ の場合）か、または漸減傾向（ $\varphi = 90^\circ$ の場合）を示した。 φ が -90° から 0° の範囲（ $-90^\circ \leq \varphi \leq 0^\circ$ ）では、 f の増加に伴い、 F_x は増加傾向を、 F_y は減少傾向をそれぞれ示し

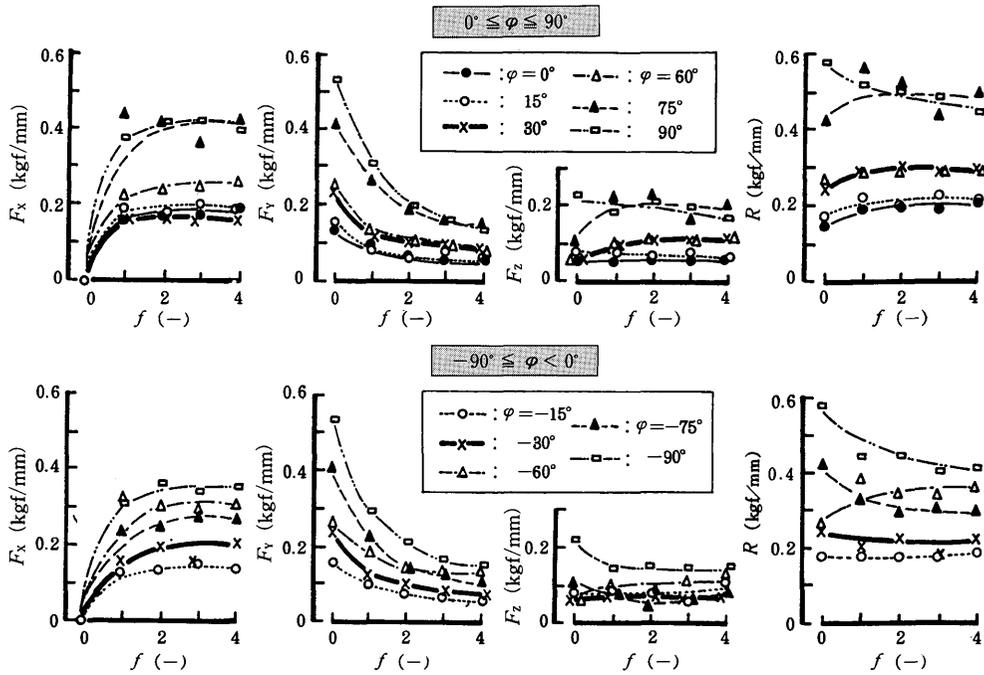


図3 相対速度比 f の変化に伴う切削力 R (合力) およびその3分力 (F_x , F_y および F_z) の変化 (垂直切削角 $\theta_n = 35^\circ$ の場合)

F_x , F_y および F_z : 横分力, 送り分力および背分力; φ : 繊維傾斜角

たが、 F_z はほぼ一定の傾向 ($\varphi = -30^\circ \sim -15^\circ$ の場合) か、または漸増傾向 ($\varphi = -60^\circ$ の場合) か、または漸減傾向 ($\varphi = -90^\circ \sim -75^\circ$ の場合) を示し、 R はほぼ一定の傾向 ($\varphi = -30^\circ \sim -15^\circ$ の場合) か、または増加傾向 ($\varphi = -60^\circ$ の場合) か、または減少傾向 ($\varphi = -90^\circ \sim -75^\circ$ の場合) を示した。 $-90^\circ \leq \varphi \leq 0^\circ$ の範囲および $0^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ の範囲のいずれの φ の場合も、 $f = 2 \sim 4$ の範囲では合力や分力の大きさの変化は僅少であった。また、 $-90^\circ \leq \varphi < 0^\circ$ の範囲では $\varphi = -90^\circ$ の場合に、また、 $0^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ の範囲では $\varphi = 90^\circ$ の場合に、合力やその3分力が著しく大きい値を示し、 f の変化に伴うそれらの変化の傾向も著しかった。

図3より明らかなように、 $f = 0$ (通常の静的二次元切削であり、押し切り切削) の場合よりも $f \neq 0$ (引き切り切削) の場合の方が、切削力 R とその分力 (F_y および F_z) が減少する ($f = 0$ の場合では $F_x = 0$ であるが、 $f \neq 0$ の場合では F_x が増加する)。とくに、 F_y の減少は f の増加に伴い顕著となる。 F_x の増加はナイフの切れ刃線方向への引き切り力の増加 (即ち、引き切りの切削効果を高める³⁾ こと) を意味するもので、 f の増加に伴い増加する。有節材の単板切削では、いろいろな φ をもつ被削材を切削することになるから、切削力の合力や分力の φ の変化に伴う大きさの差が小さいことが望まれる。図3より明らかなように、 $f = 0$ の場合にはいろいろな φ の場合における R とその3分力の大小の差が著しいが、 f を増加させると合力とその3分力の φ の変化に伴う大小の差が小さくなっていくことがわかる。即ち、有節材の単板切削では、切削力の大きさのみから判断すれば、通常の静的二次元切削 (例えば、ロータリー切削やハーフロータリー切削の場合に相当する)

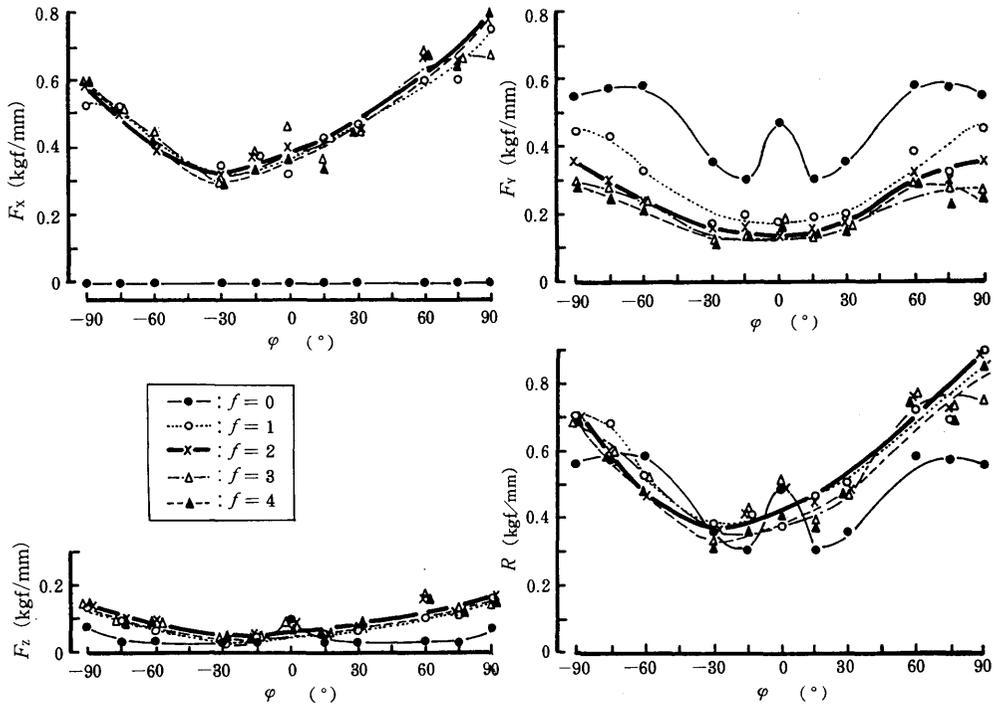


図4 繊維傾斜角 φ の変化に伴う切削力 R (合力)およびその3分力(F_x , F_y および F_z)の変化(垂直切削角 $\theta_n=55^\circ$ の場合)

F_x , F_y および F_z :横分力, 送り分力および背分力; f : 相対速度比

よりも、引き切り切削(例えば、ハーフラウンドベニヤレースによる単板切削で、ベニヤナイフを切れ刃線方向に移動させながらハーフロータリー切削を行う場合に相当する)の方が、低い力でしかも安定した切削を行い得る、と考えられる。

そこでつぎには、 φ の変化に伴う R とそれの3分力の変化を考えてみることにした(図4)。図4に示したように、スギ被削材では $f=0$ の場合に、切削力の合力や分力は、とくに $\varphi=0^\circ$ で特異な変化を示した。即ち、 $f=0$ の場合には、 $0^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ の範囲と $-90^\circ \leq \varphi < 0^\circ$ の範囲で、合力や分力は $\varphi=0^\circ$ を中心軸とした対称図形を描く傾向を示す。 φ の大きさに関係なく $F_x=0$ は当然であるが、 F_y は $f \neq 0$ のいずれの f の場合よりも大きい値を示し、とくに $\varphi=0^\circ$ で極大値を示したが、 φ が 90° 、または -90° へ変化するに伴い極小値と極大値をもつ著しい変化を示した。 F_z は、 $\varphi=0^\circ$ で極大値を示し、 φ が 90° 、または -90° へ変化するに伴い緩やかなミニマムカーブを描く傾向を示したが、 F_z の大きさは $\varphi \neq 0^\circ$ 以外では $f \neq 0$ のいずれの f の場合よりも小さい値を示した。また、 R は、 F_y の変化と同様に、 $\varphi=0^\circ$ で極大値を示し、 φ が 90° 、または -90° へ変化するに伴い極小値と極大値をもつ著しい変化を示したが、 R の大きさは $\varphi=0^\circ$ の場合、 $-90^\circ \leq \varphi < 0^\circ$ の範囲、 $0^\circ < \varphi \leq 90^\circ$ の範囲で $f \neq 0$ の他の f の場合と比較して若干大きい値か($\varphi=0^\circ$ の場合と $-90^\circ \leq \varphi < 0^\circ$ の一部の範囲)、またはほぼ同程度の値($-90^\circ < \varphi < 0^\circ$ の範囲内の一部)か、または小さい値($0^\circ < \varphi \leq 90^\circ$ の範囲)を示した。

このようなスギ被削材における $f=0$ の場合で $\varphi=0^\circ$ の切削では、ナイフの切れ刃線方向と被削材の繊維走向が平行し、引き切り切削でなく繊維走向に直角な押し切り切削であるから、スギ被削材の切削面に現れている早材と晩材の被削性の違いが顕著に現れ、 $\varphi=0^\circ$ で切削力の合力や分力が増大するが、 $f \neq 0$ の場合には、 $\varphi=0^\circ$ における切削力の合力や分力の著しい増加を防ぐことができる。

さらに、図4から明らかなように、 $f \neq 0$ の場合にはいずれの f の場合も φ の変化に伴う合力や分力の変化の傾向は、 $\varphi=0^\circ$ を中心軸とした対称図形を描く傾向を示さなくなる。合力や分力は、それぞれの大きさは異なるが、 φ の変化に伴う傾向はいずれも同様であり、 $-90^\circ \leq \varphi < 0^\circ$ の範囲と $0^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ の範囲で非対称図形を描く。即ち、合力や分力はいずれも $\varphi = -30^\circ$ で最小値を示し、 φ が -90° 、または 90° へ変化するに伴い極大値を示す、いわゆるミニマムカーブを描く傾向を示した。なお、 F_Y および F_Z では、 $\varphi = -90^\circ$ のときの極大値と $\varphi = 90^\circ$ のときの極大値はほぼ同程度の大きさを示したが、 F_X および R では、 $\varphi = -90^\circ$

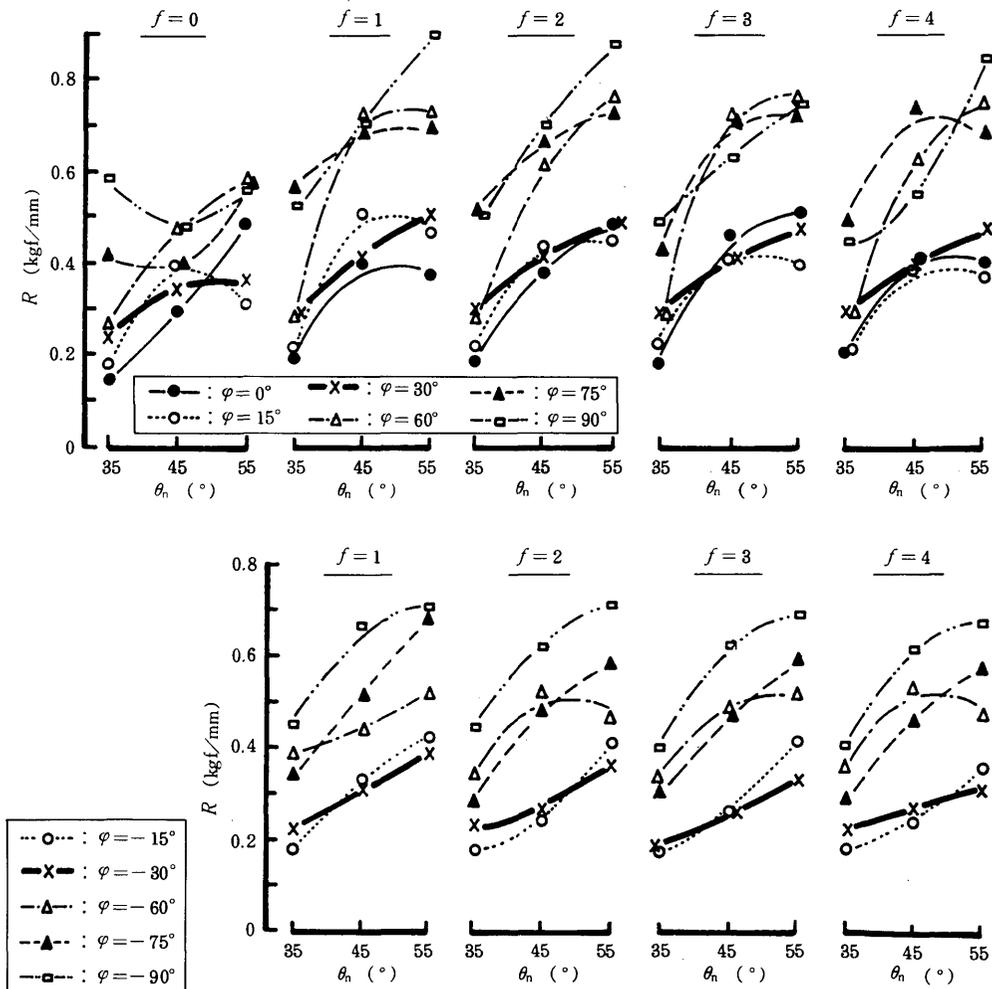


図5 垂直切削角 θ_n の変化に伴う切削力 R (合力) の変化 (種々の相対速度比 f の場合)
 φ : 繊維傾斜角

のときの極大値よりも $\varphi = 90^\circ$ のときの極大値の方が大きい値を示した。

φ が種々変化する有節材の単板切削を考えると、図4からつぎのことがわかる。ナイフには、 $\varphi = 0^\circ \sim \pm 90^\circ$ までの変化に伴う切削力が増えるが、切削力の最小と最大の差は、図4から読み取ると、おおよそ F_x の場合で2.5倍、 F_y の場合で4.0倍、 F_z の場合で3.0倍、 R の場合で3.0倍程度である。即ち、ナイフに加わる力には $\varphi = 0^\circ$ (即ち、無節材) のときの力の2.5~4.0倍程度の力の変化が加わっていることを意味する。この研究では、同一容積重をもつ無節材部の横切削と節の木口切削であり、2.5~4.0倍の切削力の大きさの違いは横切削と木口切削の違いを表すものである。したがって、実際の節は、無節材部と同一容積重であることは稀れで、大抵の場合は3~5倍あるいはそれ以上の容積重の違いがあると推察されるから、このような有節材の単板切削では、容積重の違いの分だけを単純に考慮に入れても、ナイフに加わる力には無節材部の力の9.0~15倍程度の力の変化が加わることとなる。このような切削力の変化を小さくするような切削条件や切削方式、さらには被削材軟化条件の検討が今後は是非とも必要となる。

つぎに、ナイフ刃先のマイクロベベルの影響を調べるため、ナイフの垂直切削角 θ_n を変化させ、そのときの切削力 R (合力) の変化をとりまとめた。種々の f の場合についてと

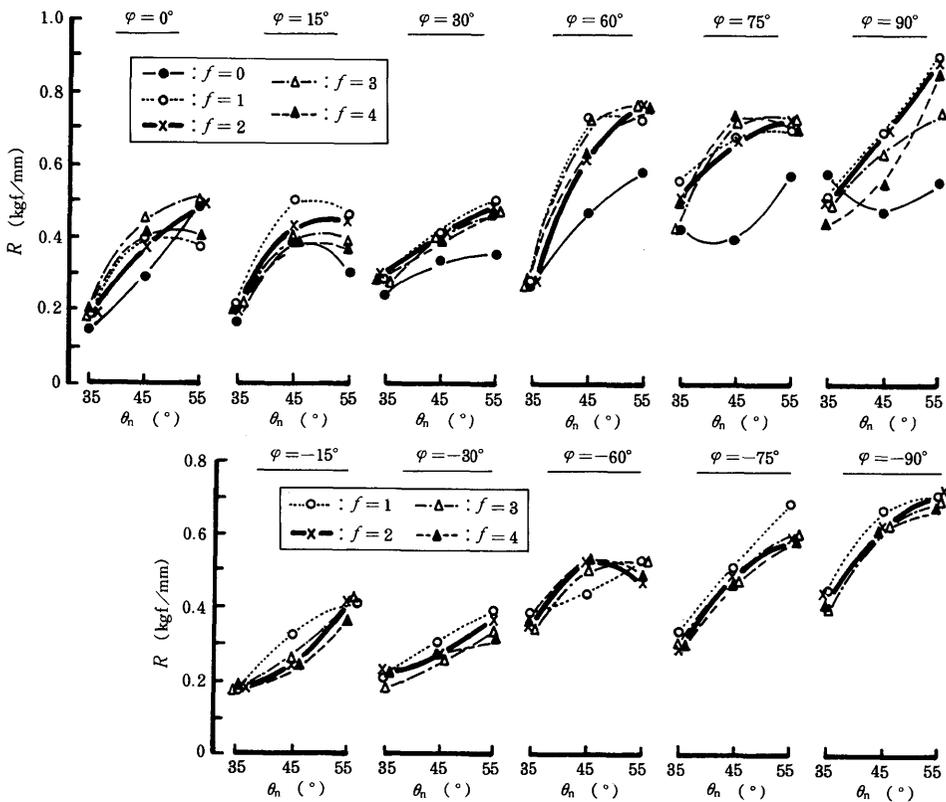


図6 垂直切削角 θ_n の変化に伴う切削力 R (合力) の変化 (種々の繊維傾斜角 φ の場合)
 f : 相対速度比

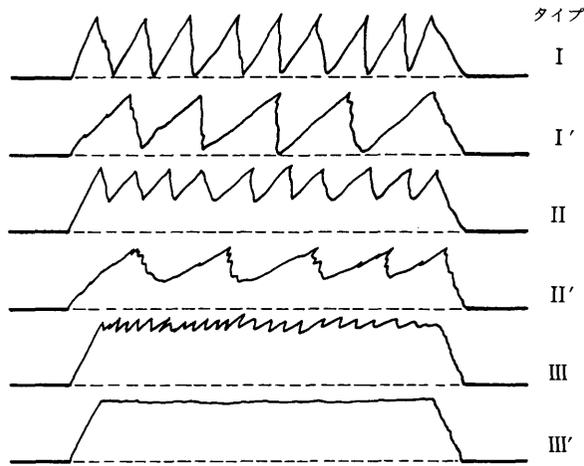


図7 切削力3分力(F_x , F_y および F_z)の波形変動のタイプ

表2 切削力3分力(F_x , F_y および F_z)の波形変動のタイプの分類
(垂直切削角 $\theta_n = 35^\circ$ の場合)

分力の種別	相対速度比 $f(-)$	切削力分力の波形変動のタイプ											
		繊維傾斜角 φ ($^\circ$)											
		-90	-75	-60	-30	-15	0	15	30	60	75	90	
F_x	f	0	III'										
		1	II	II	I'	III	II'	II'	II'	III	II'	II	II
		2	II	II'	II	II							
		3	II'	II'	II'	III	II'	II'	II'	II'	II'	III	II
		4	II	II	II'	III	II'	II'	II'	III	III	III	II
F_y	f	0	II	II	II	II	I'	II	I'	II	II	II	II
		1	II	II	II'	II	II						
		2	II'	II	II								
		3	II'	II'	II'	III	II'	II'	II'	II'	II'	III	II
		4	II'	II	II'	III	II'	II'	II'	III	III	II	III
F_z	f	0	II	II	I'	I'	II	I'	II	I'	I'	II	II
		1	II'	III	II'	III	II'	II'	II'	II'	II'	II	II
		2	III	III	II'	II'	III	II'	III	III	II'	II	III
		3	II'	III	II'	III	III	II'	II'	III	II'	III	III
		4	III	III	II'	III	III	II'	III	III	III	II	III

りまとめた結果を図5に、また、種々の φ の場合についてとりまとめた結果を図6に示した。図5および図6より明らかなように、 θ_n の増加に伴い、いずれの f の場合も、また、いずれの φ の場合も R は増加する。これまでに述べたように、スギ被削材の材質が原因して R はバラツキが著しいが、そのバラツキを考慮に入れて判断しても、一般に $\theta_n=35^\circ$ から $\theta_n=55^\circ$ へ変化するに伴い R は約1.5~2.0倍程度の増加となる。

このような合力や分力の大きさや、 φ や f の変化に伴う合力や分力の変化の傾向(図3~図6)を明らかにすることが必要であるとともに、測定された3分力の波形変動のタイプ、波形変動の大きさおよび φ や f の変化に伴う波形変動の大きさの変化の傾向を明らかにすることもまた必要となる。そこで、本実験条件下での波形変動を調べ、波形の形と変動の大きさから、図7に示すように、6種の波形変動のタイプに類別した。

タイプIは、切削長に現れる波形変動のピッチが小さく、分力が極大まで達したのちは切削開始前の基線まで瞬時に低下し(即ち、波形変動が著しい)、切削長までこの現象を繰返す場合をいう。タイプI'は、タイプIの場合のうち、切削長に現れる波形変動のピッチが大きい場合をいう。タイプIIは、切削長に現れる波形変動のピッチが小さく、分力が極大まで達したのちは基線に至る途中まで分力が低下するが、基線までは低下しない(即ち、波形変動が小さい)場合で、切削長までこの現象を繰返す場合をいう。タイプII'は、タイプIIの場合のうち、切削長に現れる波形変動のピッチが大きい場合をいう。タイプIIIは、小さい波形変動で、そのピッチも極めて小さい場合をいう。タイプIII'は、波形変動が殆

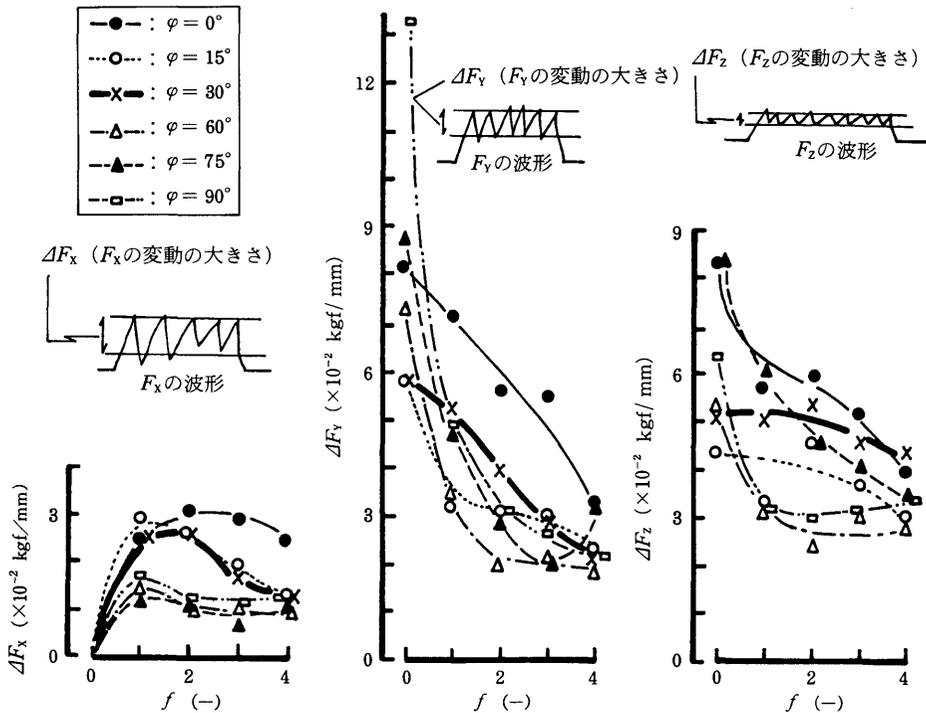


図8(a) 相対速度比 f の変化に伴う切削力3分力(F_x , F_y および F_z)の波形変動の大きさ(ΔF_x , ΔF_y および ΔF_z)の変化の例
(垂直切削角 $\theta_n=35^\circ$ で、 $0^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ の場合)
 φ : 繊維傾斜角

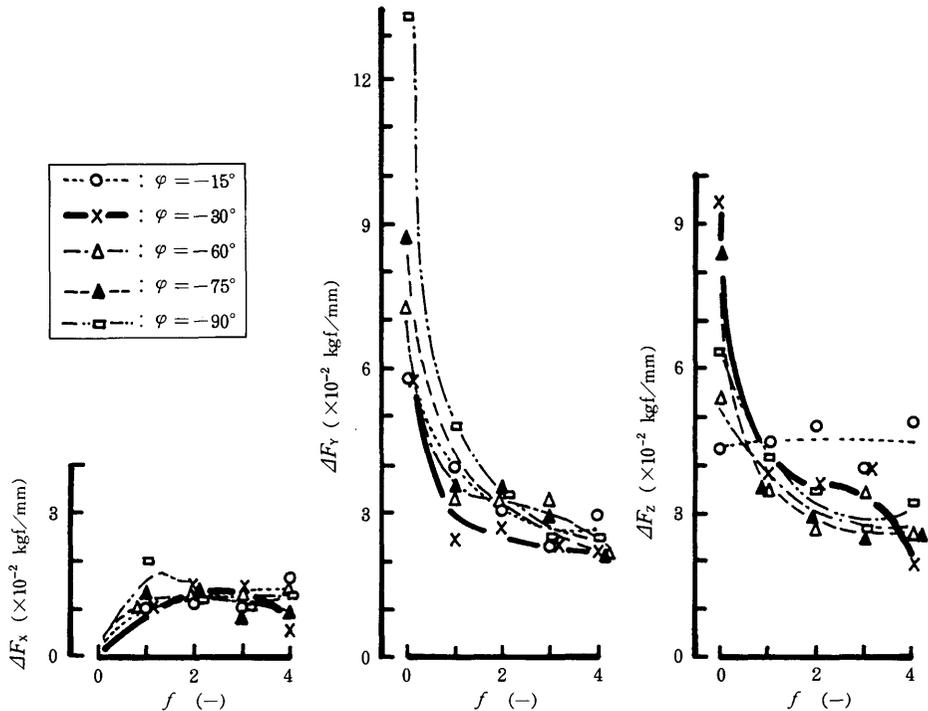


図 8 (b) 相対速度比 f の変化に伴う切削力 3 分力 (F_x , F_y および F_z) の波形変動の大きさ (ΔF_x , ΔF_y および ΔF_z) の変化の例
 (垂直切削角 $\theta_n = 35^\circ$ で、 $-90^\circ \leq \varphi < 0^\circ$ の場合)
 φ : 繊維傾斜角

どない安定した波形を描く場合をいう。

これらの分力の波形変動のタイプを用いて、この実験条件下における 3 分力の波形変動を類別してみた。 φ や f の各組み合わせ下における波形変動のタイプの一例を表 2 に示した。同表より明らかなように、 F_x および F_y の示す波形変動のタイプは、 f と φ の組み合わせの広い範囲でタイプ II' が多いが、 F_z ではタイプ II' を示す f と φ の組み合わせの範囲が狭くなる。また、表より明らかなように、 $f=0$ の場合はいずれの φ の場合も $F_x=0$ であるからタイプ III' としたが、 F_y および F_z は $-90^\circ \leq \varphi < 0^\circ$ の範囲および $0^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ の範囲で $\varphi=0^\circ$ を中心軸としたタイプの対称性を示すが、 $f \neq 0$ の場合には $-90^\circ \leq \varphi < 0^\circ$ の範囲と $0^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ の範囲で $\varphi=0^\circ$ を中心軸としたタイプの対称性はなくなり非対称となるが、 φ が 90° へ変化するに伴うタイプの変化と、 φ が -90° へ変化するに伴うタイプの変化は大きな差がない。一般に、 f の増加と φ の大きい角度への変化に伴い分力の波形変動は小さくなるようなタイプへ変わるようである。

つぎに、切削力 3 分力 (F_x , F_y および F_z) の波形変動の大きさの変化を測定した結果を図 8 (a) および 図 8 (b) に示す。図 8 (a) より明らかなように、 $0^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ の範囲では F_x の波形変動の大きさ ΔF_x は、 $f=0$ の場合で $\Delta F_x=0$ は当然であるが、 f の増加に伴い ΔF_x は $f=1 \sim 2$ でマキシマムカーブを描く傾向を示したが、その極大値を示す φ は、 $\varphi=75^\circ \sim 90^\circ$ の場合よりも $\varphi=0^\circ \sim 30^\circ$ の場合の方が大きかった。 F_y の波形変動の大きさ ΔF_y は、 $f=0$ の場合でい

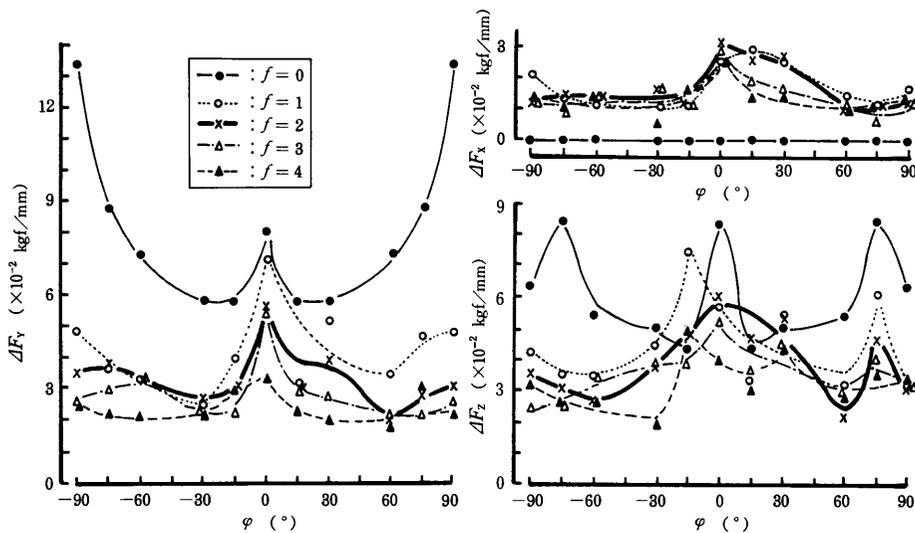


図9 繊維傾斜角φの変化に伴う切削力3分力(F_x , F_y および F_z)の波形変動の大きさ(ΔF_x , ΔF_y および ΔF_z)の変化の例(垂直切削角 $\theta_n=35^\circ$ の場合)
f: 相対速度比

表3 切削力3分力(F_x , F_y および F_z)の波形変動のタイプ分類(垂直切削角 $\theta_n=55^\circ$ の場合)

分力の種別	相対速度比 f (-)	切削力分力の波形変動のタイプ											
		繊維傾斜角 φ (°)											
		-90	-75	-60	-30	-15	0	15	30	60	75	90	
F_x	f	0	III'										
		1	II	II	II	II	II'	II'	II	II	III	II	II
		2	II	II	II	II	II	II'	II	II'	III	III	II
		3	II	II	II	II	II	II'	II'	II	III	II	II
		4	II	II	II	II	II	II'	II	II	II	II	II
F_y	f	0	II	II	II	II	II'	I'	II'	II	II	II	II
		1	II	II	II'	II	II'	II'	II	II	II	II	II
		2	II	II	II	II	II	II'	II	II'	II	II	II
		3	II	II	II	II	II	II'	II'	II	II	II	II
		4	II	II	II	II	II	II'	II'	II'	II	II	II
F_z	f	0	II	I'	II	I'	I'	I'	I'	I'	II	I'	II
		1	II	II	II'	III	I'	I'	II'	II	II	II	II
		2	II	III	II'	I'	II'	II'	II'	II'	II	II	II
		3	II	III	III	III	II'	I'	II'	II'	I'	II	II
		4	II	II	II'	III	II'	I'	II'	III	II	II	II

ずれの φ の場合も著しく大きい値を示した。とくに、 $\varphi = 75^\circ \sim 90^\circ$ の場合には $\varphi = 0^\circ \sim 30^\circ$ の場合より著しく大きい値を示すが、その値も f の増加に伴い $\varphi = 0^\circ \sim 30^\circ$ の場合よりも小さくなる。一般に、 ΔF_Y は f の増加に伴い減少傾向となる。 F_Z の波形変動の大きさ ΔF_Z は、 f の増加に伴い減少傾向を示した ($f = 2 \sim 4$ の範囲では ΔF_Z の変化は僅少となる場合もあった) (図 8(a))。

また、図 8(b)より明らかなように、 $-90^\circ \leq \varphi < 0^\circ$ の範囲では、 ΔF_X は、 $f = 0$ の場合では $\Delta F_X = 0$ であるが、 $f \neq 0$ の場合には増加するが、 $f = 1 \sim 4$ の範囲で殆ど同程度の大きさを示すが、それらは φ の大きさの変化にも殆ど変化を示さない。また、 $-90^\circ \leq \varphi < 0^\circ$ の範囲においても ΔF_Y および ΔF_Z は、 f の増加に伴い減少傾向を示した。 $-90^\circ \leq \varphi < 0^\circ$ の範囲においても ΔF_Y は $f = 0$ の場合で著しく大きい値を示したが、とくに、 $\varphi = -90^\circ$ の場合に著しい。

これらの分力の波形変動から、有節材の単板切削を考えると、つぎのようなことがいえる。即ち、切削力の波形変動はいずれの分力も小さいほどよいし、また、 φ の変化によるこれらの波形変動も一様に安定した大きさを示す方がよいと考えられる。 $f = 3 \sim 4$ の場合には、それら分力の波形変動が小さく、しかも φ の大きさの変化による波形変動の大きさの差も比較的少ないから、 $f = 3 \sim 4$ の引き切り切削は、 $f = 0$ (通常の静的二次元切削) の場合よりも、有節材の単板切削には好ましいと考えられる。

つぎに、 ΔF_X 、 ΔF_Y および ΔF_Z の変化を、 φ の変化との関係でとりまとめた。 $\theta_n = 35^\circ$ の場合の例を図 9 に示した。同図より明らかなように、 ΔF_X 、 ΔF_Y および ΔF_Z はいずれも、 $\varphi = 0^\circ$ の場合でいずれの f の場合も (ただし、 $f = 0$ の場合では $\Delta F_X = 0$ であるから、 ΔF_X を除く)、それらの大きさが極大値を示した。これは、前述したように、スギの材質に基づくものである。とくに、 ΔF_Y および ΔF_Z は、 $f = 0$ の場合に φ の変化に伴い著しい変動、即ち φ が -90° や 90° へ変化するに伴い著しく大きい値を示した。図 8 に基づいて述べたことは、図 9 により一層明確となった。即ち、図 9 より明らかなように、 $f = 3 \sim 4$ の場合には φ の変化に伴う ΔF_Y および ΔF_Z が比較的小さい値で、大きさの変化も少ない。このことは、有節材の単板切削の場合には、 φ の変化に伴い切削が安定して行われることを意味するものである。前記したように、 $f = 0$ (通常の静的二次元切削) の場合よりも $f \neq 0$ (引き切り切削) の場合の方が良好な分力の波形変動を示している。とくに、引き切り切削では f を大きくした場合が比較的よい結果を示していることがわかる。

このような切削力 3 分力の波形変動が θ_n の増加に伴ってどのように変化するかを調べてみた。 $\theta_n = 55^\circ$ の場合を例にとり、波形変動のタイプの分類の結果を表 3 に、波形変動の大きさ (ΔF_X 、 ΔF_Y および ΔF_Z) の変化を図 10 (a) ($0^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ の範囲の場合) および図 10 (b) ($-90^\circ \leq \varphi < 0^\circ$ の範囲の場合) に、それぞれ示した。表 3 を表 2 と比較すると、波形変動のタイプの変化に及ぼす θ_n の影響がよくわかる。表 3 より明らかなように、 $\theta_n = 55^\circ$ の場合には、 ΔF_X 、 ΔF_Y および ΔF_Z はいずれもほぼ同程度のタイプを示した (ΔF_Z では、タイプ II' を示す f と φ の組み合わせの範囲が若干広くなっている)。 $\theta_n = 35^\circ$ の場合を比較すると、 $\theta_n = 55^\circ$ の場合にはタイプ II' を示す f と φ の組み合わせの範囲が狭くなっている。即ち、 θ_n の増加に伴い、波形変動の大きさが f と φ の組み合わせの広い範囲で著しくなる。

また、図 10 (a) および図 10 (b) より明らかなように、 $\theta_n = 55^\circ$ の場合には $0^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ の範囲および $-90^\circ \leq \varphi < 0^\circ$ の範囲では、 f の変化に伴う 3 分力の波形変動の大きさの変化は、 $\theta_n = 35^\circ$ の場合 (図 8 (a) および図 8 (b)) と比較して、ほぼ同様の傾向を示す場合と異なる傾向を

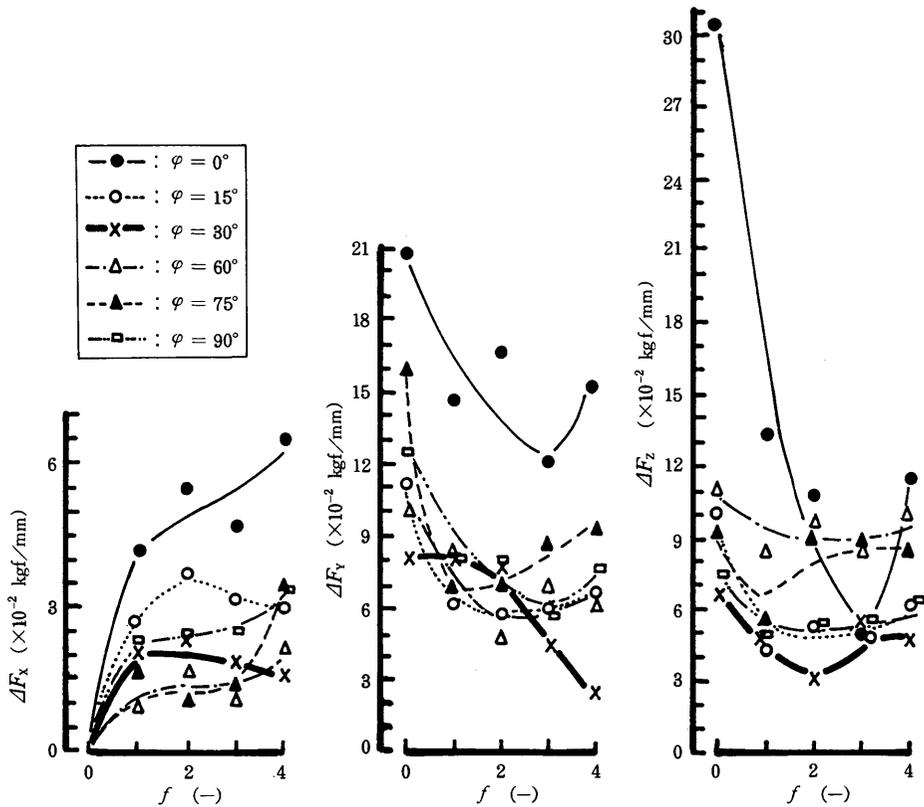


図10 (a) 相対速度比 f の変化に伴う切削力 3 分力 (F_x , F_y および F_z) の波形変動の大きさ (ΔF_x , ΔF_y および ΔF_z) の変化の例 (垂直切削角 $\theta_n = 55^\circ$ で, $0^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ の場合)

φ : 繊維傾斜角

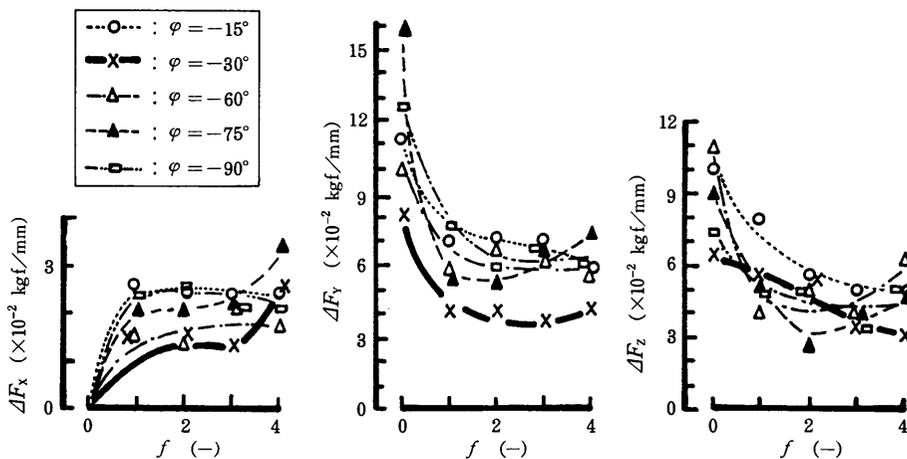


図10 (b) 相対速度比 f の変化に伴う切削力 3 分力 (F_x , F_y および F_z) の波形変動の大きさ (ΔF_x , ΔF_y および ΔF_z) の変化の例 (垂直切削角 $\theta_n = 55^\circ$ で, $-90^\circ \leq \varphi < 0^\circ$ の場合)

φ : 繊維傾斜角

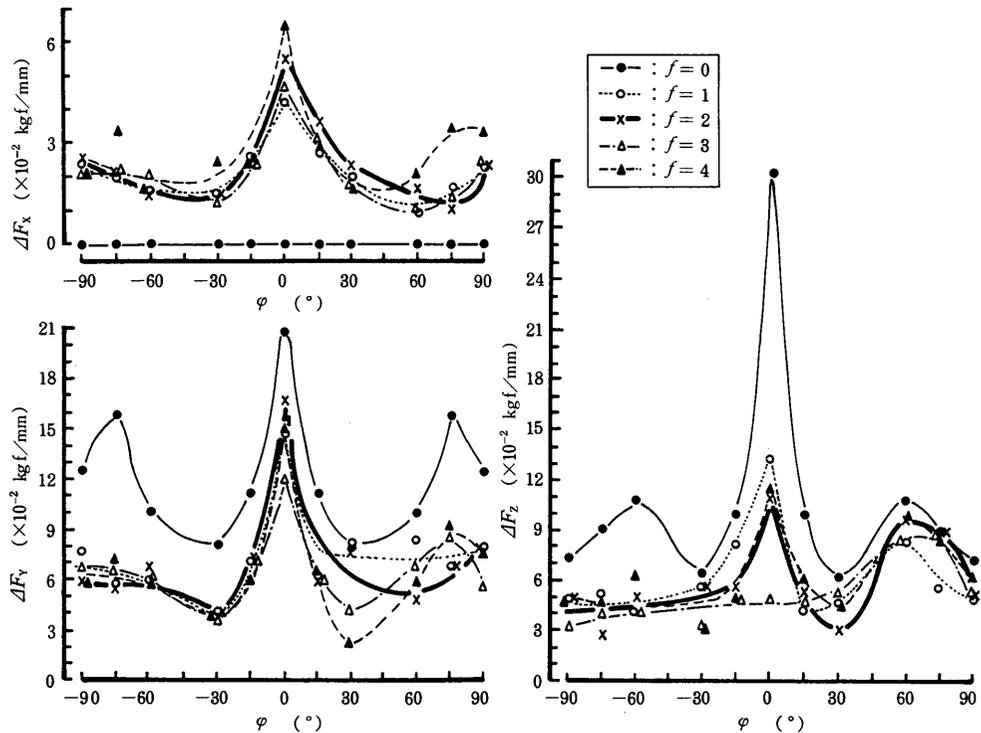


図11 繊維傾斜角 φ の変化に伴う切削力3分力(F_x , F_y および F_z)の波形変動の大きさ(ΔF_x , ΔF_y および ΔF_z)の変化の例
(垂直切削角 $\theta_n=55^\circ$ の場合)

f : 相対速度比

示す場合とがあった。即ち、 $0^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ の範囲では異なった傾向を示すが(図10(a), 図8(a)参照), $-90^\circ \leq \varphi < 0^\circ$ の範囲ではほぼ同様の傾向を示した(図10(b), 図8(b)参照)。即ち、横切削から木口切削に至るまでの切削では、 θ_n の増加に伴って、引き切り切削におけるナイフの引き切り方向と被削材の繊維走向とが順目方向となるか逆目方向となるか、および木口切削では向心方向となるか遠心方向となるか、などの違いによっても切削力分力の波形変動の大きさの違いが現れてくることを意味する。

φ の変化に伴う3分力の波形変動の大きさ(ΔF_x , ΔF_y および ΔF_z)の変化の傾向は、 $\theta_n=35^\circ$ の場合(図9参照)と比較すれば明らかなように、 $\theta_n=55^\circ$ の場合(図11参照)においてもほぼ同様の傾向を示している。即ち、 ΔF_x , ΔF_y および ΔF_z は $\varphi=0^\circ$ の場合で極大値(ただし、 $f=0$ の場合における $\Delta F_x=0$ を除く)を示し、 φ が -90° および 90° へ変化するに伴い減少傾向と増加傾向の両場合を示した。 φ の変化に伴う波形変動の大きさも $\theta_n=35^\circ$ の場合より一層顕著となっている。図11において、 $f=0$ の場合には ΔF_y および ΔF_z が他の $f \neq 0$ の場合よりも著しく増大することから判断しても、 $\theta_n=55^\circ$ のナイフを用いての引き切り切削の方が、 $f=0$ (静的切削)の場合より波形変動を小さくすることがわかる。しかし、 $\theta_n=55^\circ$ の場合では、 φ のすべてにわたって ΔF_x , ΔF_y および ΔF_z の変動を小さくするような f の値は存在しないようである。とくに、スギ被削材を用いるような場合には、 θ_n は小さい方が

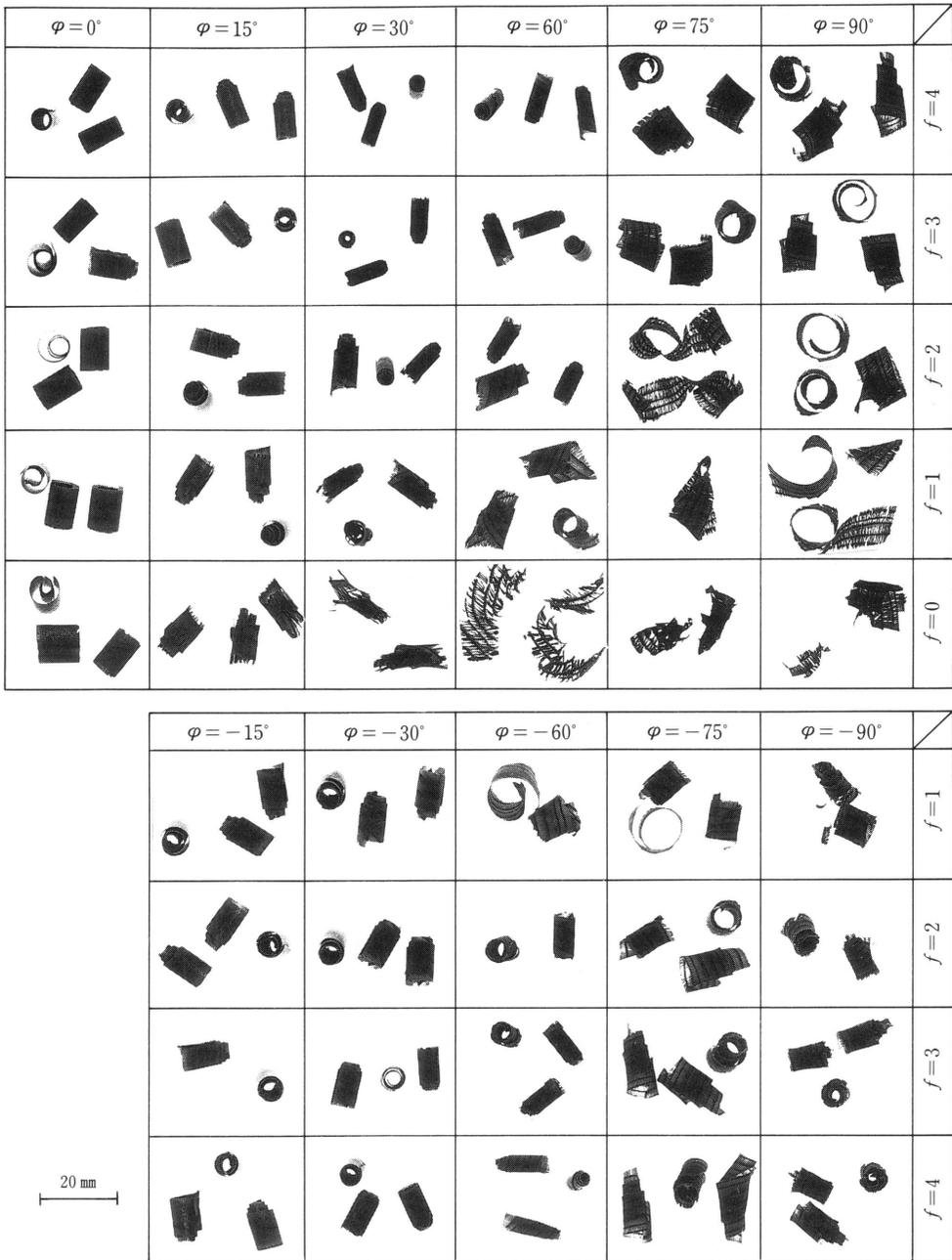


図12(a) 相対速度比 f および繊維傾斜角 φ の変化に伴う単板の性状の変化 (垂直切削角 $\theta_n = 35^\circ$ の場合)

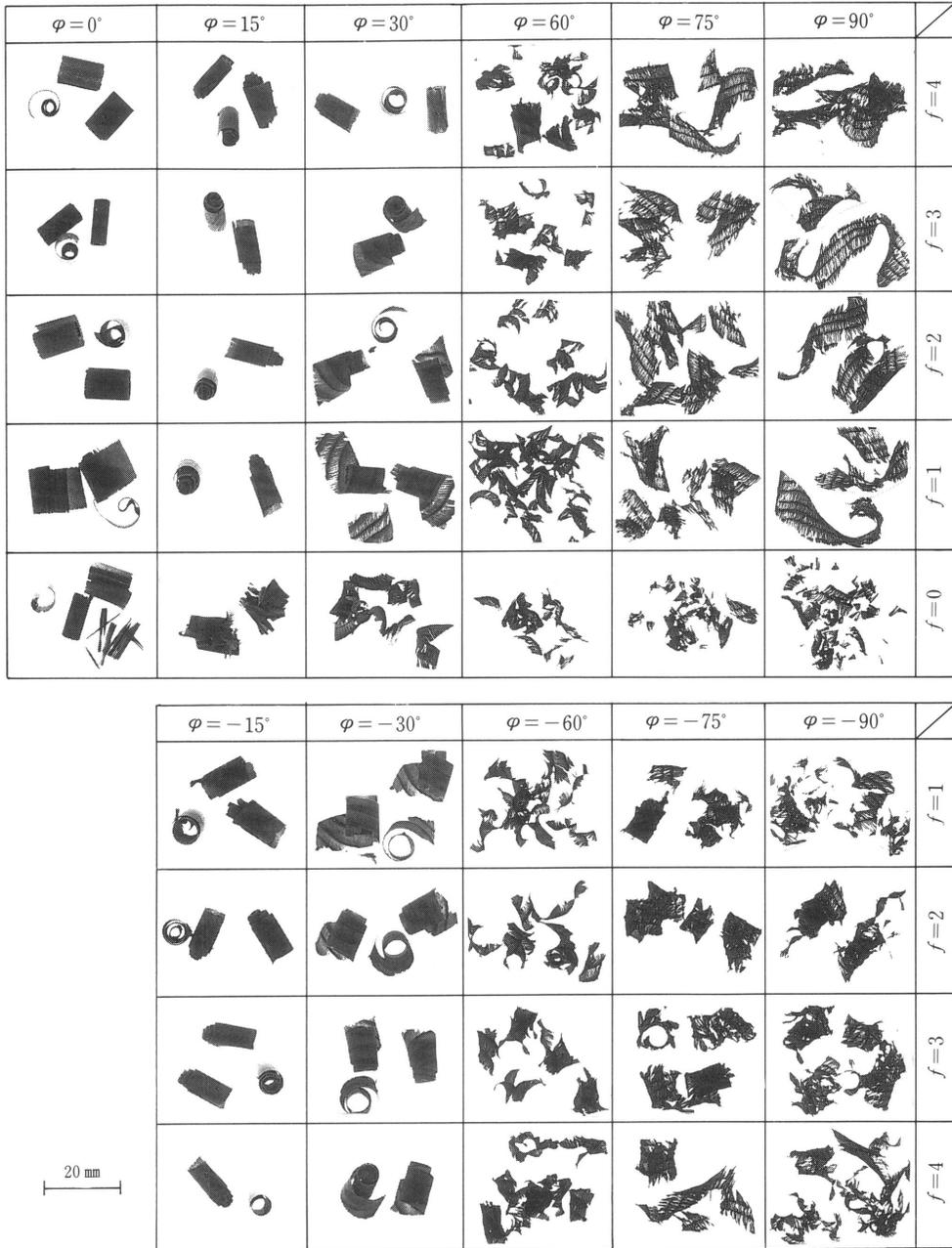


図12 (b) 相対速度比 f および繊維傾斜角 φ の変化に伴う単板の性状の変化
(垂直切削角 $\theta_n = 45^\circ$ の場合)

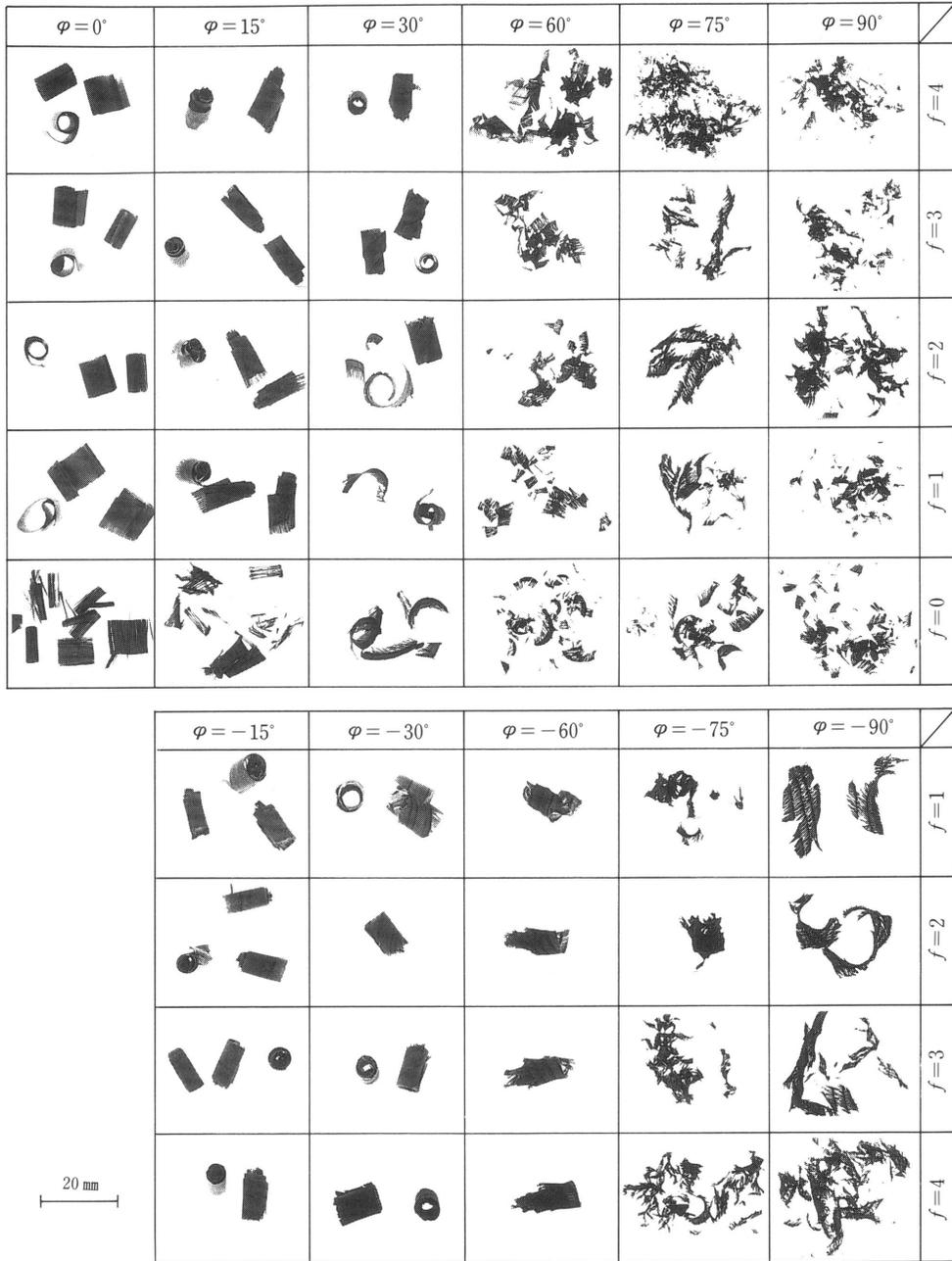


図12(c) 相対速度比 f および繊維傾斜角 φ の変化に伴う単板の性状の変化 (垂直切削角 $\theta_n = 55^\circ$ の場合)

望ましい。 θ_n を大きくすると、図11に示すように、 $\varphi=90^\circ$ およびその付近の φ の場合よりも $\varphi=0^\circ$ の場合の方が波形変動が著しく大きくなる。このような φ の変化を伴うスギ有節材の単板切削では、 θ_n を大きくしないようにし、その他の切削条件を見い出してゆくことが必要となる。

最後に、単板性状の変化についてとりまとめた。 f および φ の変化に伴う単板の性状の変化を図12(a) ($\theta_n=35^\circ$ の場合)、図12(b) ($\theta_n=45^\circ$ の場合) および図12(c) ($\theta_n=55^\circ$ の場合) に示した。図12(a)より明らかなように、 $\varphi=-30^\circ\sim-15^\circ$ および $\varphi=0^\circ\sim30^\circ$ の範囲では単板の曲率半径が大きく変化することなく、単板は“流れ型切屑”の様相を呈しているが、 $\varphi=60^\circ\sim90^\circ$ および $\varphi=-60^\circ\sim-90^\circ$ の範囲では単板の曲率半径が大きくなり、横方向への捩れも加わり、単板は“せん断型切屑”の様相を呈している。 f を増加させると、いずれの φ の場合も単板の破壊が少なく、連続帯状の単板を保つことができる。しかし、 f を0とした場合には、同一の単板の中で φ の変化がある有節材の単板切削では、 φ の極端に異なる単板内で一部分が崩れ落ち、穴となって連続帯状の単板を形成しないことが予想できる。例えば、 $f=0$ の場合で、 $\varphi=60^\circ$ の場合には、図12(a)より明らかなように、同一の単板内で $\varphi=60^\circ$ に相当する一部分が崩れ落ち、その部位では穴となって連続帯状の単板を形成しないこととなる。

図12(b)より明らかなように、 $\varphi=0^\circ$ では $f=0$ の場合に“棒状単板” (スプリンター状の単板)⁶⁾となるが、 f を増加させると良好な単板となる。 $\varphi=30^\circ$ では $f=0\sim1$ の場合で単板破壊が起き易い。 $\varphi=60^\circ$ では $f=0\sim4$ のいずれの場合も単板破壊が起き易い。一方、 $\varphi=-15^\circ$ では、良好な単板となるが、 $\varphi=-60^\circ\sim-90^\circ$ では単板破壊が起き易い。また、図12(c)より明らかなように、 $\varphi=0^\circ$ および $\varphi=15^\circ$ では $f=0$ の場合に単板破壊が起き易いが、 $f=1\sim4$ では良好な単板となる。 $\varphi=30^\circ$ では $f=0\sim1$ の場合で単板破壊が起き易いが、 $f=2\sim4$ で良好な単板となる。 $\varphi=60^\circ\sim90^\circ$ では $f=0\sim4$ の各場合で単板破壊が起き易い。 $\varphi=-15^\circ\sim-60^\circ$ ではいずれの f の場合も良好な単板となるが、 $\varphi=-75^\circ\sim-90^\circ$ ではいずれの f の場合も単板破壊が起き易い。

以上のように、単板性状の変化から有節材の単板切削を考えると、つぎのことがいえる。(1) θ_n はできる限り小さい方が良好な単板が得られる。したがって、マイクロレベルを設定する場合には、その角度を最小限度の大きさにすることが望ましい。(2) φ の変化するような有節材の単板切削には、 f を大きくした方が良好な単板が得られる。(3) θ_n を大きくすると、 f を大きくした場合でも節およびその周辺の繊維走向の乱れをもつ被削材から単板を切削する場合に、連続帯状の単板が得られにくくなるばかりでなく、単板の一部の破壊による単板の欠落した部分ができることになる。また、無節材部(即ち、ここでは $\varphi=0^\circ$ の場合) およびその付近でも単板切削性が不良となる場合が少なくない。

5. 結 言

ベニヤレースやハーフラウンドベニヤレースによる単板切削方式を直接の対象として、節および節ばかまの切削性(単板性状、切削力の変化など)や、無節材の切削性との相異などを明らかにし、有節材の単板切削条件を明らかにするための基礎実験を行うことを計画した。今回は、有節材を想定しての繊維走向を種々変化させた基礎実験とし、ナイフに

は、その逃げ面側に大きさを3種類に変えたマイクロベベルを設定した。それらナイフを用い、ナイフ切れ刃線方向を移動させない従来の切削方式(押し切り切削)と、切れ刃線方向に移動させる切削方式(引き切り切削)の両方式について、それぞれ実験を行い(図1, 図2および表1)、有節材の単板切削性についての基礎的知見と、有節材の単板切削を良好にする切削方式についての基礎的知見を得た。今回の実験で、明らかにした主な点を列記すれば、つぎのように要約できる。

- (1) ナイフの相対速度比 f と繊維傾斜角 φ の変化に伴う切削力3分力の変化を明らかにした(図3および図4)。
- (2) f と φ の変化に伴う切削力 R (合力)の変化を、いろいろな垂直切削角 θ_n の場合について明らかにした(図5および図6)。
- (3) 切削力3分力の波形変動の分類を行い、 f 、 φ および θ_n の変化に伴うそれら分力の波形変動を6段階のタイプに分けて表した(図7, 表2および表3)。
- (4) 切削力3分力の波形変動の大きさの変化を、 f 、 φ および θ_n の変化との関係で明らかにした(図8(a)および(b), 図9, 図10(a)および(b), 図11)。
- (5) 単板性状の変化をとりまとめ、 f 、 φ および θ_n の変化との関係で明らかにした(図12(a)~(c))。

今後の研究とその進め方

(1) 節および節ばかまの単板切削性を明らかにするために、切削面に対する被削材の繊維走向を種々変化させた切削の基礎実験を、二次元切削と三次元切削、横切削と縦切削のそれぞれの切削方式で行う。この実験では、無節の試験片を用いるが、節の出現を想定して種々の工夫した試験片を作成して行う。

- ① 同一材の無節部分を用いて、切削面と試験片の繊維走向との交差角度(繊維傾斜角)を 0° (横切削および縦切削の各場合)から 90° (木口切削の場合)まで変化させた試験片を採取し、切削面が板目面の横切削および縦切削で楕円節が出現したことを想定しての局所的な切削性の変化を明確にすることができる。
- ② 切削面が柾目面の横切削および縦切削で流れ節および隠れ節が出現したことを想定しての局所的な切削性の変化を明確にするために、上記①の試験片を用い、傾斜送り方式(切削方向に対して、試験片を $0^\circ \sim 90^\circ$ の範囲内で傾斜させて送り込む方式をいう。なお、 0° の場合は縦切削、 90° の場合は横切削を意味する)で、二次元切削と三次元切削を行う。
- ③ 節の出現位置による硬さの変化を明らかにするために、①および②の実験を低容積重から高容積重の範囲の試験片を作成して行う。

(2) 実際の有節材を供試材として、単板切削の応用実験を行う。供試材には、生節、死節、抜節、楕円節、流れ節、隠れ節、など多数を試験片とし、節と節ばかまの単板切削性を明らかにする。とくに、切削面が板目面の横切削および縦切削では、生節、死節、抜節などが楕円節または丸節となって現れ、節に対しては横断面の切削となる場合であるが、切削面が柾目面の横切削および縦切削では、節の縦断面(即ち、流れ節)が現れ、節に対しては傾斜送り切削となる場合が多い。また、柾目面の横切削および縦切削では、隠れ節は節の斜め断面が現れる。

(3) 上記の(1)、(2)の実験により、節および節ばかまの切削性を、単板性状の変化、被削母材切削加工面の性状の変化、切削力の大きさの変化とその変動、ナイフ切れ刃の摩耗と欠損などの測定・観察の結果から明らかにする。

(4) (1)~(3)の実験は、直刃状のベニヤナイフを対象としているが、つぎには、上記(1)~(3)の実験に準じて、

- ① ナイフマイクロベベルの効果；
- ② バイアス角の効果；
- ③ 傾斜送りの効果；
- ④ 引き切り切削における引き切り速度の効果；

の各組み合わせ下で、基礎実験と応用実験を行い、節および節ばかまの切削性をより明確にし、有節材の単板切削（とくに、単板厚さの小さい切削に効果的と考えられる）における切削方式の改良について詳細に検討する。

文 献

- 1) 杉山 滋：木材の引き切り切削における切削力の変化に及ぼすナイフ引き切り速度及び被削材繊維走向の影響，木材学会誌，**36** (1)，7～14 (1990)。
- 2) 杉山 滋：有節木材からの単板切削を想定しての被削材繊維走向およびナイフ引き切り速度の影響（I）—スギ被削材の場合における切削力の変化について—，長崎大学教育学部自然科学研究報告，No. 44，85～100 (1991)。
- 3) 杉山 滋：単板の引き切り三次元切削について，木材工業，**40** (12)，573～578 (1985)。
- 4) 杉山 滋，長尾能博：単板の引き切り切削における切削力の変化に及ぼすナイフ移動速度およびバイアス角の影響，木材学会誌，**32** (9)，677～684 (1986)。
- 5) 杉山 滋：木材の引き切り切削における切削力とその測定法，木材学会誌，**32** (7)，552～556 (1986)。
- 6) 杉山 滋：木材の三次元横切削における切削力および摩擦係数に及ぼすバイアス角の影響，木材学会誌，**30** (12)，980～987 (1984)。