



Title	木材切削工具の切れ味測定と切れ味評価(XXIX) : 木材の三次元縦切削における切削力の変化に及ぼすバイアス角の影響
Author(s)	杉山, 滋
Citation	長崎大学教育学部紀要. 自然科学. vol.73, p.35-40; 2005
Issue Date	2005-06-30
URL	http://hdl.handle.net/10069/6148
Right	

This document is downloaded at: 2019-02-23T05:05:28Z

木材切削工具の切れ味測定と切れ味評価 (XXIX)*

木材の三次元縦切削における切削力の変化に及ぼすバイアス角の影響

杉 山 滋

長崎大学教育学部技術教育教室
(平成17年3月15日受理)

Studies on Quantification of Sensuous Sharpness and Mechanical Sharpness of Wood Cutting Tools. XXIX.*

Effect of Tool Inclination - Angle on Cutting Force in the Oblique Cutting of Wood Parallel to the Grain

Shigeru SUGIYAMA

Department of Technology Education, Faculty of Education,
Nagasaki University, Nagasaki 852-8521
(Received March 15, 2005)

Abstract

This report clarifies the effects of the Inclination angle of the tool (i) and the grain angle of the workpiece (φ_1) upon the components, the resultants of the cutting force, and the frictional coefficient in the oblique cutting of wood parallel to the grain. Air-dried specimens of sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don), hinoki (*Chamaecyparis obtusa*), and American western hemlock (*Tsuga heterophylla* Sarg.) were used in this study. They were cut by the feeding of a tool which were set on the experimental apparatus equipped with a three-dimensional elastic-ring dynamometer (Figs.1~4). The lateral (F_x), main (F_y), and thrust (F_z) components of the cutting force acting on the tool were measured. In addition to the measurements of these three components, several cutting phenomena were observed and measured. Using the measured components given above, the resultant forces (R and R_c) and the frictional coefficient on the tool rake-face (μ) were calculated, and the effects of the cutting conditions (i , φ_1 , and depth of cut (t_n)) and the effects of the wood species upon them are discussed.

1. 緒 言

切削方向（あるいは、被削材の送り方向）に垂直な方向を基準として、工具の切れ刃線のある角度 i ($0^\circ < i < 90^\circ$) だけ傾斜させて切削する方式を三次元切削といい、 i をバイアス角（または、工具傾斜角）と呼んでいる（ $i = 0^\circ$ の場合は、二次元切削となる）。このような三次元切削方式は、木材切削に関係する各種の機械や道具に採用されている。例えば、長尺の木材（板・角材やフリッチ）をひら削り方式で縦切削する機械に限定して考えた場合、材表面を平滑に仕上げるための鉋削加工を行う超仕上鉋盤（スー

* 本研究は、研究課題「木材切削工具の切れ味評価法（感覚切れ味と機械切れ味の定量化）に関する研究」の続報である。なお、本研究を「学校教育における木材加工（木工・工作を含む）学習指導のための技術的基礎研究（第33報） Technical and Fundamental Studies on Education of Wood Working Technical Education Lessons of School, XXXIII.」とする。
上記の研究（第32報）および標記の研究（XXVIII）は、長崎大学教育学部紀要 - 自然科学 - 第71号 23~28（2004. 6）に掲載。

パーサーフェイス) や厚単板から化粧薄単板に至るまでの広範囲の切込量の単板切削を行う縦突スライサなどの機械を、その例として挙げるができる。

上記の機械では、いずれの場合もバイアス角 i が設定され、切削方向と木材の繊維走向のなす角 (繊維傾斜角) φ_1 をほぼ平行 ($\varphi_1 \cong 0^\circ$) にして比較的低速切削が行われるが、長い材長の切削においては、 φ_1 が種々異ってくるから、 φ_1 が比較的小さい順目 ($\varphi_1 > 0^\circ$)、逆目 ($\varphi_1 < 0^\circ$) の切削を中心に i の影響を明確にする必要がある。言うまでもなく、上記の機械には、 i の設定のほか、裏刃 (チップブレイカ) や刃口の押え (プレッシャバー) も装備されるから、これらの機械を対象とした三次元切削における切削現象を明確にするためには、是非とも、裏刃、刃口の押えおよびバイアス角 i の相互の関係で検討する必要がある。この研究では、まず最初に、裏刃、刃口の押えは装備させずに、バイアス角 i のみを取りあげ、 i の広い範囲にわたり、主として、切削力の変動に及ぼす i や φ_1 の影響についての検討を行い、超仕上鉋盤による木材切削や縦突スライサによる単板切削のための基礎資料を得ようとした。

2. 実験方法

2.1 実験装置と切削力の測定方法

切削実験は、Fig. 1に示すように、実験装置本体に片持梁を介して固定された試験片 (被削材) に向かって、工具を移動させることによって行われる。工具は、実験装置の送り台上に取り付けられた3分力測定用八角形弾性リング荷

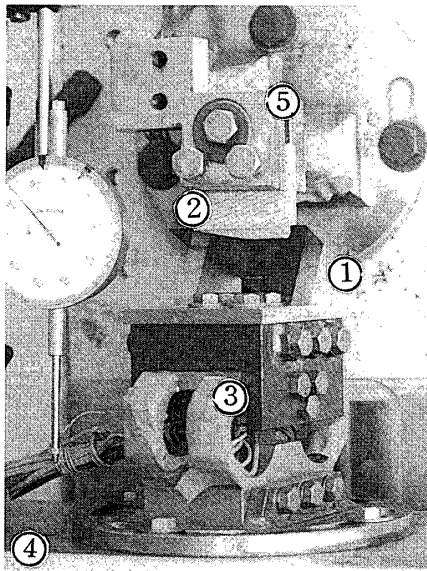


Fig. 1. Experimental apparatus for this study.

① : tool ; ② : test specimen (workpiece) ; ③ : elastic-ring dynamometer ; ④ : carriage for feeding dynamometer ③ ; ⑤ : bracket for fixing workpiece ② .

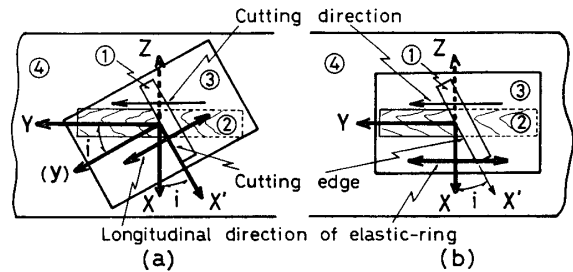


Fig. 2. Methods for setting the inclination angle (i) to a tool fixed on the elastic-ring dynamometer.

① : tool ; ② : workpiece ; ③ : elastic-ring dynamometer ; ④ : carriage for feeding dynamometer ③ ; X and Y : the directions perpendicular and parallel, respectively, to the cutting direction on the cutting surface of the workpiece ; Z : the direction perpendicular to the cutting surface of the workpiece ; X' and Y' : the directions parallel and perpendicular, respectively, to the cutting edge on the cutting surface of the workpiece.

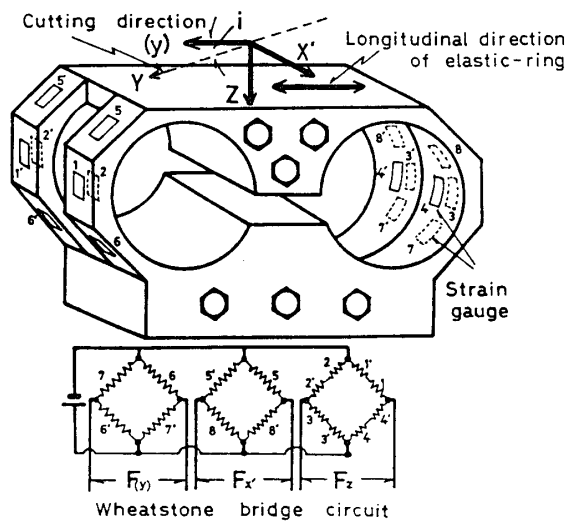


Fig. 3. Three-dimensional elastic-ring dynamometer for measuring components ($F_{X'}$, $F_{Y'}$, and $F_{Z'}$) of the cutting force acting in the directions of X', Y', and Z, respectively.

symbols : refer to Figure 2.

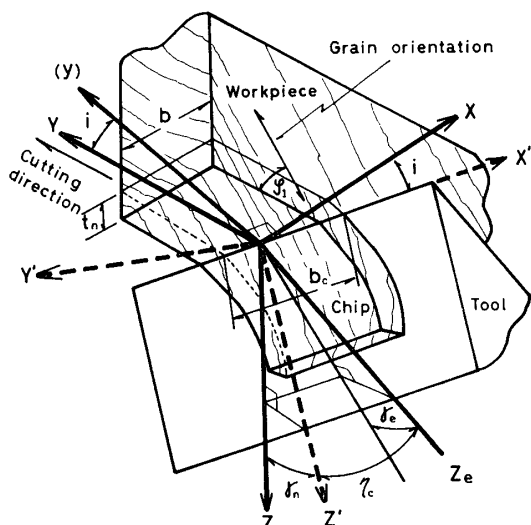


Fig. 4. The tool-work geometry.

γ_n and γ_e : normal and effective rake-angles ; η_c : angle between the direction of chip flow (the direction of Z_c) and the direction perpendicular to the cutting edge on the tool rake-face (the direction of Z') (chip-flow angle) ; t_n : depth of cut ; Y' : the direction perpendicular to the tool rake-face ; b : width of workpiece ; b_c : actual cutting width of tool ; φ_1 : angle of the grain orientation to the cutting surface (grain angle) ; the other symbols : refer to Figure 2.

長軸方向とが直交する位置から、工具を i だけ傾斜させて八角形リング上に固定し、送り台の移動方向と八角形リングの長軸方向を平行にして切削する方法。) によって、行うことができる。この研究では、前記の方法を採った。

したがって、Fig. 3に示すように、八角形リングからは、工具切れ刃線と平行 (X') な方向、切削面に垂直 (Z) な方向および切削面上において切れ刃線に垂直 (Y) な方向 (切削方向と平行 (Y) な方向と i だけ傾斜している。) の切削力の3分力が、それぞれ測定される*1。

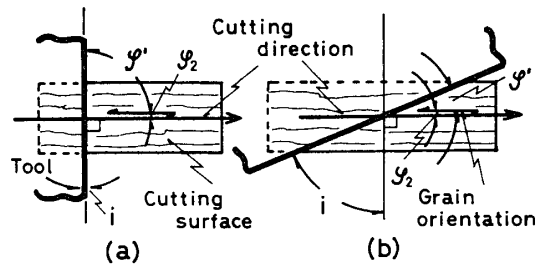


Fig. 5. Variation of the angle between a cutting edge and the grain orientation on the cutting surface (φ') with the inclination angle (i).

(a) and (b) : orthogonal cutting and oblique cutting, parallel to the grain ; φ_2 : angle between the cutting direction and the grain orientation on the cutting surface.

重装置¹⁾ (以下では、八角形リングと呼ぶ。) 上に固定されているから、バイアス角 i の設定は、Fig. 2に示すように、送り台上への八角形リングの固定の方法 (工具切れ刃線と八角形リングの長軸方向とが垂直となるように工具を八角形リング上に固定し、八角形リングの長軸方向を送り台の移動方向、即ち、切削方向に i だけ傾斜させて切削する方法)、あるいは八角形リング上への工具の取り付け方法 (工具切れ刃線と八角形リングの

*1 この研究では、切削力の各分力は、いずれも被削材や切屑に加えられる力として表示する。負の値であるが、(-) を付して正の値とした分力 (例えば、 $(-F'_X) > 0$, 即ち、 $F'_X < 0$)、および負の値となる分力 (例えば、 $F'_Z < 0$) は、添字に示した軸の方向 (Fig. 4) と反対方向に作用することを意味する。

一般に、三次元切削における切削力の3分力を表す場合、Fig. 4に示すように、被削材の切削面を基準として、その面内において切削方向に垂直 (X)、平行 (Y) な方向および切削面に垂直 (Z) な方向に作用する3分力 F_X (横分力)、 F_Y (主分力) および F_Z (背分力) で表す場合と、工具のすくい面を基準として、その面内において切れ刃線に平行 (X')、垂直 (Z) な方向およびすくい面に垂直 (Y) な方向に作用する3分力 F'_X 、 F'_Y および F'_Z で表す場合とが考えられる。これらの分力の関係は、次式で表される。

ここに、 γ_n を垂直すくい角とすると、

$$\begin{pmatrix} (-)F'_X \\ F'_Y \\ (-)F'_Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -a_1 & -b_1 & -c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ -a_3 & -b_3 & -c_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} F_X \\ F_Y \\ F_Z \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{matrix} a_1 = \cos i & b_1 = -\sin i & c_1 = 0 \\ a_2 = \cos \gamma_n \sin i & b_2 = \cos \gamma_n \cos i & c_2 = \sin \gamma_n \\ a_3 = -\sin \gamma_n \sin i & b_3 = -\sin \gamma_n \cos i & c_3 = \cos \gamma_n \end{matrix}$$

この研究の場合、 X' 、 Y および Z 方向の3分力 F'_X 、 F'_Y および F'_Z が測定されるから、次式を用いて、切削面やすくい面を基準としたそれぞれの3分力が算出される。

$$\begin{pmatrix} F_X \\ F_Y \\ F_Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -a_1 & -b_1 & 0 \\ -b_1 & a_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} (-)F'_X \\ F'_Y \\ F'_Z \end{pmatrix} \quad (2) \quad \begin{pmatrix} (-)F'_X \\ F'_Y \\ (-)F'_Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_3 & c_2 \\ 0 & c_2 & -c_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} (-)F'_X \\ F'_Y \\ F'_Z \end{pmatrix} \quad (3)$$

切削力の大きさを表す場合、単位幅あたりの分力として表すのが一般的であるが、被削材幅 b あるいは切れ刃線切削幅 b_c のいずれを用いるかによって、切削力の大きさが異なる。ここでは、とくに断りがない限り、 b で除して切削力の3分力やそれらの合力 R を求めた。なお、 b_c と b との間には (4) 式の関係が、 R とそれぞれの3分力との間には、(5) 式の関係がそれぞれ成立する。

$$b_c = b / \cos i \quad (4)$$

$$R = (F_X^2 + F_Y^2 + F_Z^2)^{1/2} = \{((-)F'_X)^2 + (F'_Y)^2 + ((-)F'_Z)^2\}^{1/2} = \{((-)F'_X)^2 + (F'_Y)^2 + F'_Z^2\}^{1/2} \quad (5)$$

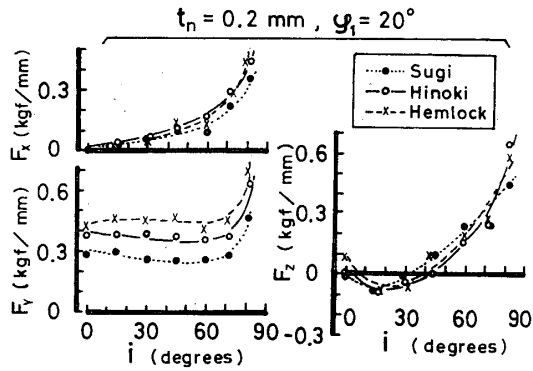


Fig. 6. Variation of lateral (F_x), main (F_y), and thrust (F_z) components of the cutting force acting in the directions of X, Y, and Z with i in various species.

F_x , F_y , and F_z : values divided by b ; symbols: refer to Figures 2 and 4.

2.2 切削実験条件

概要を脚注^{*2}に示した。

3. 実験結果および考察

切削力3分力, 即ち, Fig. 4におけるX方向の分力 F_x (横分力), Y方向の分力 F_y (主分力) およびZ方向の分力 F_z (背分力) とバイアス角 i との関係を, Fig. 6 (種々の樹種の場合), Fig. 7 (種々の切込量 t_n の場合) および Fig. 8 (種々の繊維傾斜角 φ_1 の場合) に示す。いずれの樹種においても, また, t_n , φ_1 のいずれの場合においても, i の増加に伴い F_x は指数関数的な増加傾向を, F_y および F_z はミニマムカーブを描く傾向を, それぞれ示した。ただし, t_n の小さい場合には, F_y ($\varphi_1 \geq 0^\circ$ の各場合) や F_z ($\varphi_1 < 0^\circ$ の場合) は, i の極めて大きい範囲を除いて, i の影響が明確に現れずほぼ一定となる傾向となるようである。なお, i が 90° 近くまで増加すると, 分力, 合力のいずれもが急増しているのは, i の著しい増加に伴う切れ刃線切削幅 b_c の増加が主原因と考えられる。

この研究では, 板目の木表側を切削面としているから, 晩材層の切削性ならびに先割れの侵入方向の相異が原因して, 分力の大きさや作用方向が異なる場合がある。即ち, 先割れの侵入方向が, $\varphi_1 > 0^\circ$ では切屑側, $\varphi_1 < 0^\circ$ では被削母材側であるから, t_n の小さい場合で i の小さい範囲では, F_z の作用方向は, $\varphi_1 > 0^\circ$ で $F_z < 0$, $\varphi_1 < 0^\circ$ で $F_z > 0$ となる。また, 樹種により F_z や F_y の大きさに相異が現れるのは, 主に, 晩材層の切削

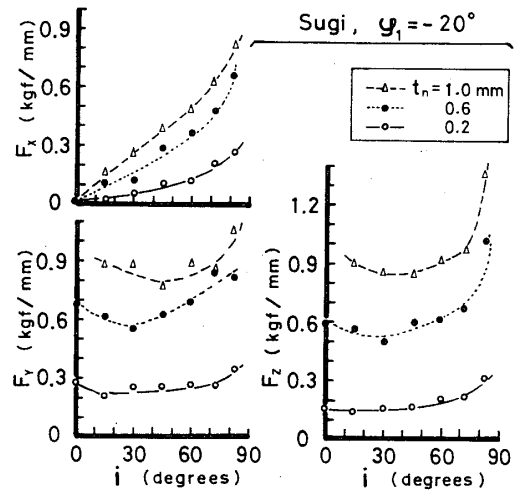


Fig. 7. Variation of cutting force components (F_x , F_y , and F_z) with i at various depths of cut (t_n). symbols: refer to Figures 2, 4, and 6.

*2 垂直刃先角を 25° 一定に研ぎあげた工具 (材質は高速度鋼 SKH 2) を用い, 垂直逃げ角を 1° , 即ち, 垂直すくい角 γ_n を 64° 一定となるように, 表刃方式で八角形リング上に取り付けて切削実験を行った。バイアス角 i を $0^\circ \sim 82^\circ$ の範囲で $10^\circ \sim 15^\circ$ 間隔おきに7段階に, また, 切込量 t_n を $0.2, 0.6, 1.0$ mm の3段階に, それぞれ変化させた。なお, 工具の移動速度 (切削速度) は 138.7 mm/min とした。

供試材には, 高知産スギ (*Cryptomeria japonica*), 熊本産ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*), およびベイツガ (*Tsuga heterophylla*) の3樹種を用いた。いずれの樹種も同一角材から, まさ目または若干追まさ目木取りの板材 (板厚 $10 \sim 15$ mm) に製材し, それら板材の板目の木表側を切削面 (年輪接触角は $0^\circ \sim 25^\circ$ の範囲) とし, 繊維傾斜角 φ_1 が $0^\circ, \pm 10^\circ, \pm 20^\circ$ の5段階 ($\varphi_1 > 0^\circ$ は順目角度, $\varphi_1 < 0^\circ$ は逆目角度) に異なる試験片を作成した。試験片において測定したスギ, ヒノキおよびベイツガの容積重は $0.37, 0.45$ および 0.44 g/cm³, 含水率は $17.1, 12.9$ および 13.8 %, 平均年輪幅は $2.3, 1.9$ および 0.6 mm, 晩材率は $9.8, 12.6$ および 28.0 % であった。

この研究でとりあげる縦切削では, 切削面における繊維走向と切削方向のなす角 (木理斜交角) φ_c が 0° であるが, Fig. 5から判断出来るように, 切削面における繊維走向と切れ刃線のなす角 (便宜上, 切れ刃線傾斜角と呼ぶ) φ は, バイアス角を i とすると, 縦切削 ($\varphi_c = 0^\circ$ の場合) では $90^\circ - i$ に, 横切削 ($\varphi_c = 90^\circ$ の場合) では i に, それぞれ等しくなる。即ち, 90° に漸近する極めて大きい i による三次元縦切削 (または, 横切削) における φ は, 0° に漸近する極めて小さい i による三次元横切削 (または, 縦切削) における φ に近づくことになる。

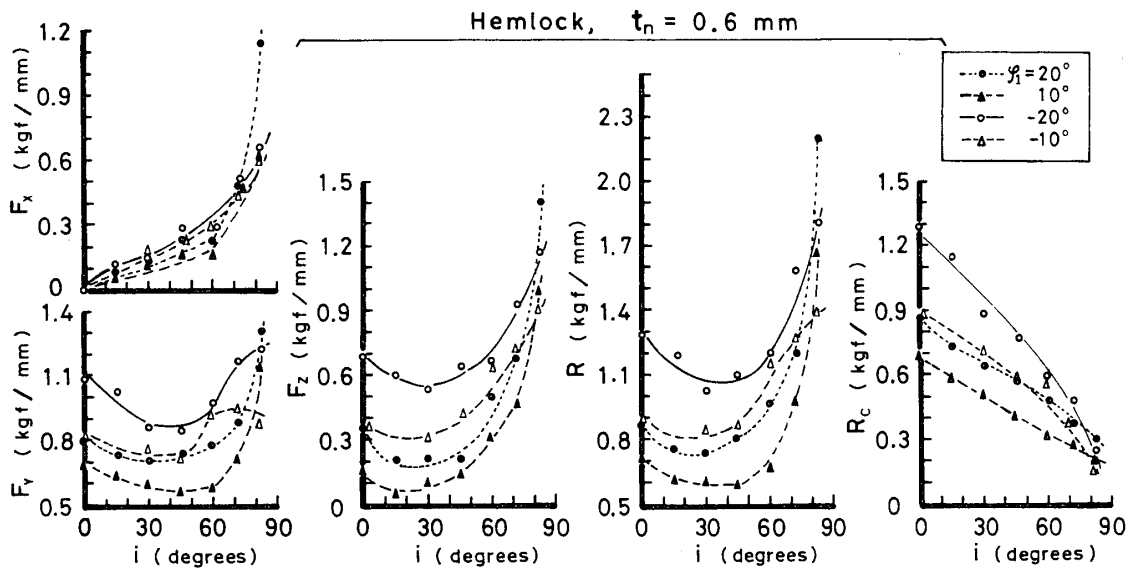


Fig. 8. Variation of cutting - force components (F_x , F_y , and F_z) and their resultant forces (R and R_c) with i at various grain angles (φ_1).

R and R_c : values divided by b and b_c , respectively ; symbols : refer to Figures 2, 4, and 6.

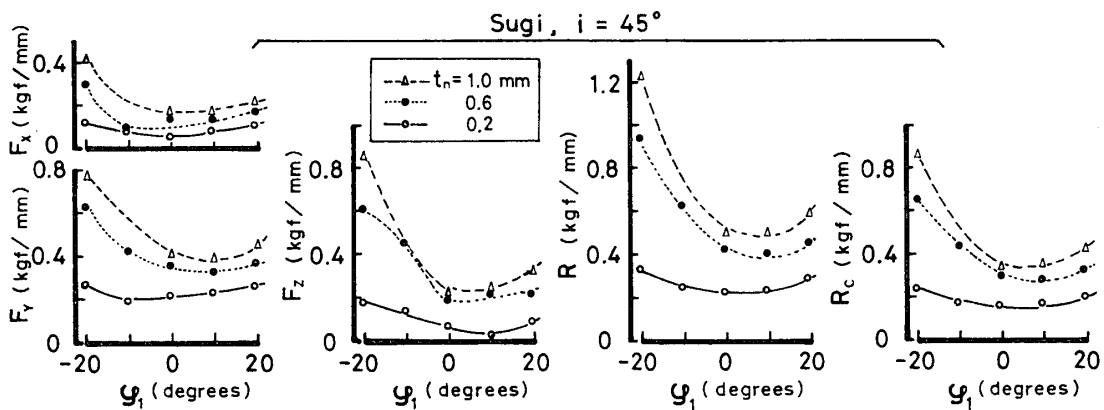


Fig. 9. Variation of cutting - force components (F_x , F_y , and F_z) and their resultant forces (R and R_c) with φ_1 at various depths of cut (t_n).

symbols : refer to Figures 2, 4, 6, and 8.

性の相異による。

切削力の合力 R (被削材幅 b で除した値) を算出した例を、Fig. 8に示した。同図には、比較のために、切れ刃線切削幅 b_c で除した合力 R_c も図示した。図より明らかなように、 i の増加に伴い R はミニマムカーブを描く傾向を、また、 R_c はほぼ直線的な減少傾向を、それぞれ示した。即ち、三次元切削 ($0^\circ < i < 90^\circ$ の切削で、 b_c と b とは (4) 式の関係にある。) における合力は、二次元切削 ($i = 0^\circ$ の切削で $b_c = b$ の関係にある。) における合力よりも、 b を基準として考えれば、 i の比較的小さい範囲では小さく作用するが、 i の大きい範囲では大きく作用する。しかし、 b_c を基準として考えれば、三次元切削における合力は、二次元切削における合力よりも、 i が増加すればするほど小さく作用する。

上記の切削力の3分力 (F_x , F_y , F_z) および合力 (R , R_c) を繊維傾斜角 φ_1 との関

係でとりまとめた。その一例 (Fig. 9) より明らかなように、 $\varphi_1 < 0^\circ$ から $\varphi_1 > 0^\circ$ へ変化するに伴い、いずれの t_n の場合も分力や合力はいずれもミニマムカーブを描く傾向を示した。とくに、 t_n の大きい場合には、 φ_1 の変化に伴う分力や合力の大きさの変動が著しいが、 t_n の小さい場合には、それらの大きさの変動が極めて小さくなる。なお、種々の i の場合で上記の傾向を確かめたが、とくに、 i が比較的大きい場合に、 φ_1 の変化に伴う分力や合力の大きさの変動が小さくなる傾向を示した (t_n の小さい場合に、この傾向が著しい)。このように、 φ_1 の変化に伴う切削力の大きさの変動が少ないことは、安定した切削が行われていることを意味し、長い材長の切削を行う超仕上鉋盤や縦突スライサなどの切削機械には、好都合の結果である。

4. 結 論

繊維傾斜角 φ やバイアス角 i を変化させて、気乾材 3 樹種を用いた三次元切削実験を行い (切込量 t_n を 3 段階に変化させた)、切削力の大きさやそれらの変動を調べ、つぎの結果を得た。

(1) i の増加に伴い、切削力の 3 分力 (被削材幅 b で除した値)、即ち、横分力 F_x は指数関数的な増加傾向、主分力 F_y および背分力 F_z はミニマムカーブを描く傾向を、それぞれ示した (Fig. 6~8)。

(2) i の増加に伴い、切削力の合力 R (b で除した値) はミニマムカーブを描く傾向を、また、合力 R_c (切れ刃線切削幅 b_c で除した値) はほぼ直線的な減少傾向を、それぞれ示した (Fig. 8)。

(3) φ_1 が $\varphi_1 < 0^\circ$ (逆目角度) から $\varphi_1 > 0^\circ$ (順目角度) へ変化するに伴い、分力 (F_x , F_y , F_z) や合力 (R , R_c) は、いずれもミニマムカーブを描く傾向を示した。とくに、 φ_1 の変化に伴う分力や合力の大きさの変動は、 t_n の大きい場合には著しいが、 t_n の小さい場合には極めて少なくなる (Fig. 9)。これらの傾向は、 i の増加とともに、より顕著となる。

文 献

1) 杉山 滋: 木材学会誌, 29, 670~678 (1983).