



Title	単板剥ぎ取り機械に関する研究(XXX) : 単板の三次元横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.29-34; 2005
Issue Date	2005-06-30
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10069/6147">http://hdl.handle.net/10069/6147</a>
Right	

This document is downloaded at: 2019-02-16T23:54:58Z

## 単板剥ぎ取り機械に関する研究 (XXX)\*

単板の三次元横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 Veneer Cutting Machine (XXX)\*

Effect of Tool Inclination - Angle on Cutting Force in the Oblique  
Veneer Cutting of Wood Perpendicular 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 tool inclination - angle ( $i$ ) and the grain orientation of the workpiece upon the components and two kinds of the resultant of the cutting force and the frictional coefficient in the oblique cutting of wood perpendicular to the grain. Air-dried specimens of sugi (*Cryptomeria japonica*) and shirakashi (*Quercus myrsinaefolia*) were used in this study. Specimens were cut by feeding a tool which was set on the same experimental apparatus equipped with a three-dimensional elastic-ring dynamometer as used in a previous report<sup>6)</sup>. The lateral ( $F_x$ ), main ( $F_y$ ), and thrust ( $F_z$ ) components of the cutting force acting on the tool were measured. In addition, the conditions of the cutting surfaces of the workpiece were observed and estimated. Using the measured components, the resultants ( $R$  and  $R_c$ ) and the frictional coefficient ( $\mu$ ) on the tool rake-face were calculated. Then, the effects of the cutting conditions ( $i$ ), the depth of cut ( $t_n$ ) and the workpiece conditions (wood species and grain orientation) upon them, and the relationship of  $\mu$  to the conditions of the cutting surfaces of the workpiece are discussed.

### 1. 結 言

横突スライサによる単板切削では、工具の移動方向（切削方向）あるいは被削材の送り方向に対して、工具の切れ刃線を直交させる二次元切削のほか、直交位置から切れ刃線のある角度だけ傾斜させる三次元切削（その角度をバイアス角と呼ぶ。）や、切れ刃線を直交させたままで被削材をある角度だけ傾斜させる傾斜送り二次元切削（その角度を被削材傾斜角と呼ぶ。）の方式が採られている。

三次元横切削と類似した効果をもたせるための傾斜送り二次元切削<sup>1)</sup>では、バイアス角に相当する被削材傾斜角を $0^\circ$ （ $0^\circ$ の場合は、二次元切削）から $45^\circ$ の範囲で設定する[なお、 $45^\circ$ から $90^\circ$ （ $90^\circ$ の場合は、三次元縦切削となる。）の範囲は、三次元縦切削と類

\* 前報「単板剥ぎ取り機械に関する研究 (XXIX) Studies on Veneer Cutting Machine (XXIX)」は、長崎大学教育学部紀要 — 自然科学 — 第72号 17 ~ 22 (2005. 3)に掲載。

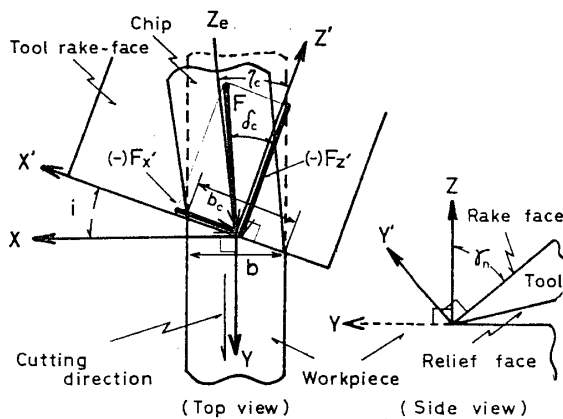


Fig. 1. The tool-work geometry.

$\eta_c$  : 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) ;  $X$  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 ;  $X'$  : the direction parallel to the cutting edge ;  $Y'$  : the direction perpendicular to the tool rake-face ;  $i$  : tool inclination-angle ;  $b$  : width of workpiece ;  $b_c$  : actual cutting width of tool ;  $(-)F_{X'}$  and  $(-)F_{Z'}$  : cutting-force components acting in the direction of  $X'$  and  $Z'$ , respectively ;  $F$  : resultant of  $(-)F_{X'}$  and  $(-)F_{Z'}$  (frictional force) ;  $\delta_c$  : angle between the directions of  $F$  and  $Z'$  ;  $\gamma_n$  : normal rake angle.

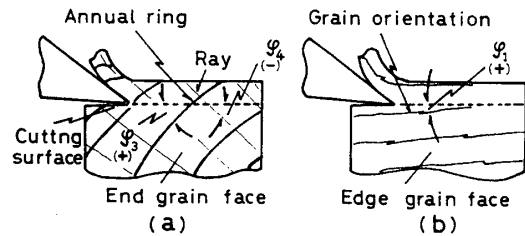


Fig. 3. Relationship of the cutting surface to the grain orientation of workpiece (Side view).

(a) : cutting perpendicular to the grain ; (b) : cutting parallel to the grain ;  $\varphi_1$ ,  $\varphi_3$ , and  $\varphi_4$  : angles of the grain orientation, the annual rings, and the ray orientation, respectively, to the cutting surface ; (+) : cutting with the grain ; (-) : cutting against the grain.

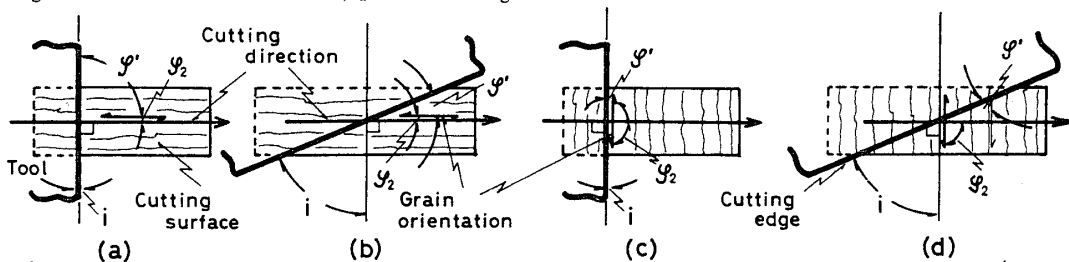
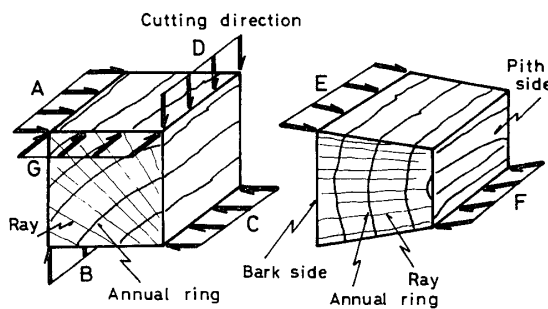


Fig. 2. Variation of the angle between a cutting edge and the grain orientation on the cutting surface ( $\varphi'$ ) with the inclination angle ( $i$ ).

(a) and (b) : orthogonal cutting and oblique cutting, parallel to the grain ; (c) and (d) : orthogonal cutting and oblique cutting, perpendicular to the grain ;  $\varphi_2$  : angle between the cutting direction and the grain orientation on the cutting surface.



Workpiece	Angle (°)	Cutting direction						
		A	B	C	D	E	F	G
Shirakashi	$\varphi_1$	0		0		0	0	0
	$\varphi_2$	90		90		90	90	0
	$\varphi_3$	50		47		90	90	10
	$\varphi_4$	(+)40		(+)43		0	0	—
Sugi	$\varphi_1$	0	0	0	0			0
	$\varphi_2$	90	90	90	90			0
	$\varphi_3$	45	(-)45	45	(-)45			25
	$\varphi_4$	(-)45	45	(-)45	45			—

Fig. 4. Relationship of the grain orientation of workpiece used in this study to the cutting direction on the cutting surface.

$\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$ , and  $\varphi_4$  : refer to Figures 2 and 3.

似する]。この範囲における傾斜送り二次元切削では、一般の二次元横切削と比較した場合、その切削現象に種々の相異が現れる<sup>1)~3)</sup>が、三次元横切削との比較は未だ検討されていない。従来、三次元横切削については、バイアス角60°までの範囲で結果が報じられている<sup>4), 5)</sup>が、90°付近までの広い範囲にわたっての追究は行われていない。バイアス角の広い範囲にわたって三次元切削現象を明らかにすることは、横突スライサによる傾斜送

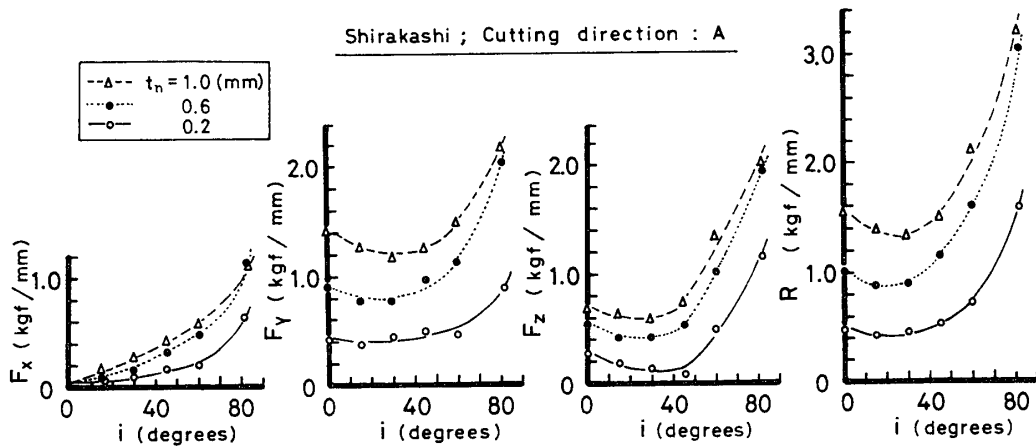


Fig. 5. Variation of lateral ( $F_x$ ), main ( $F_y$ ), and thrust ( $F_z$ ) components of the cutting force acting in the directions of X, Y, and Z, respectively, and their resultant ( $R$ ) with  $i$  at various depths of cut ( $t_n$ ).

$F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ , and  $R$ : values divided by  $b$ ; symbols: refer to Figures 1 ~ 4.

り二次元切削の有効性や適正な被削材傾斜角を検討するうえでの資料として重要となるのみならず、横突スライサによる三次元横切削の適正な切削条件を選定するための基礎資料ともなり得るものである。

そこでこの研究では、切削面と切削方向に対して木理の走向の異なる種々の被削材を用いて三次元横切削実験をバイアス角の広い範囲で行い、主として、切削力の変化に及ぼすバイアス角の影響を明らかにした。

## 2. 実験方法

三次元横切削実験を行うための実験装置および切削力の測定方法などは、前報の木材の三次元縦切削実験<sup>6)</sup>の場合と同様とした<sup>4)</sup>。

\*1 この研究では、被削材に加わる切削力の3分力を表す場合に、Fig. 1に示すように、切削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) を用いることとした。また、工具に加わる切削抵抗を表す場合に、その基準となる3分力、即ち、すくい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  $(-F'_x)$ 、 $(-F'_z)$  および  $F'_y$  は、上記の3分力を用いると、次式で表し得る(いずれの分力の場合も、被削材に加わる力として表示する。分力の作用方向がFig. 1に示す軸と反対方向に作用する場合には負の値となる。また、予め負符号(-)を付して正の値とした分力も、軸と反対方向に作用することを意味する)。

$$\begin{pmatrix} (-)F'_x \\ F'_y \\ (-)F'_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -a_1 & -b_1 & -c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ -a_3 & -b_3 & -c_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここに、 $a_1 = \cos i$                      $b_1 = -\sin i$                      $c_1 = 0$   
 $a_2 = \cos \gamma_n \sin i$                  $b_2 = \cos \gamma_n \cos i$                  $c_2 = \sin \gamma_n$   
 $a_3 = -\sin \gamma_n \sin i$                  $b_3 = -\sin \gamma_n \cos i$                  $c_3 = \cos \gamma_n$

ただし、 $\gamma_n$ は垂直すくい角、 $i$ はバイアス角である。

したがって、切削力の合力  $R$  は、

$$R = (F_x^2 + F_y^2 + F_z^2)^{1/2} = \{((-)F'_x)^2 + (F'_y)^2 + ((-)F'_z)^2\}^{1/2} \quad (2)$$

これら分力や合力は、被削材幅  $b$  あるいは工具の切れ刃線切削幅  $b_c$  で除して、それぞれの幅あたりの力として表すのが一般的である。この研究では、とくに断りがない限り  $b$  で除した値で表すこととする。なお、 $b$  は一定であるが、 $b_c$  は、

$$b_c = b / \cos i \quad (3)$$

であり、 $i$ の増加に伴い増加することになる。

この研究では、垂直刃先角  $25^\circ$  一定に研ぎあげた工具(材質はSKH 2)を用いて、垂直逃げ角  $\alpha_n$ を $1^\circ$ に、垂直すくい角  $\gamma_n$ を $64^\circ$ に一定に保って切削実験を行った。切削速度は138.7 mm/minの低速度を採用し、今回の実験ではプレッシャバーを作用させなかった。切込量  $t_n$ を0.2、0.6、1.0 mmの3段階に、また、バイアス角  $i$ を $0 \sim 82^\circ$ の範囲で6~7段階にそれぞれ変化させた。したがって、 $\gamma_n$ は一定であるが、切屑流出方向におけるすくい角(有効すくい角)  $\gamma_c$ は、切屑流出角  $\eta_c \approx i$ であるから、近似的に、

$$\gamma_c = \sin^{-1}(\sin^2 i + \cos^2 i \sin \gamma_n) \quad (4)$$

となり、 $i$ の増加に伴い増加する。

この研究では、横切削実験に加えて、比較のために縦切削実験も一部行った。言うまでもなく、Fig. 2に示すように、切削面において、切削方向と繊維走向のなす角(木理斜交角)  $\varphi_2$ が $90^\circ$ の場合が横切削で、 $0^\circ$ の場合が縦切削である。 $\varphi_2$ が一定であっても、 $i$ を設定した場合、切削面における切れ刃線と繊維走向のなす角(便宜上、切れ刃線傾斜角と呼ぶ。)  $\varphi'$ は、 $\varphi_2 = 90^\circ$ の場合に  $\varphi' = i$ 、 $\varphi_2 = 0^\circ$ の場合に  $\varphi' = 90^\circ - i$ となる。例えば、 $i$ を $90^\circ$ 付近の大きい角度にすると、 $\varphi_2 = 90^\circ$ の場合の  $\varphi'$ は  $\varphi_2 = 0^\circ$ 、 $i = 0^\circ$ の場合の  $\varphi'$ に近づき、また、 $\varphi_2 = 0^\circ$ の場合の  $\varphi'$ は  $\varphi_2 = 90^\circ$ 、 $i = 0^\circ$ の場合の  $\varphi'$ に、それぞれ近づく。

切削面と切削方向に対して、この実験では年輪や放射組織の走向の順・逆を考慮に入れた。即ち、切削面に対する繊維傾斜角  $\varphi_1$ を一定として、切削面と切削方向に対する年輪のなす角(年輪接角)  $\varphi_3$ や、放射組織のなす角(便宜上、放射組織傾斜角と呼ぶ。)  $\varphi_4$ (いずれもFig. 3参照)の順・逆の異なる各組の試験片を作成した。

供試材には、熊本産シラカシ(*Quercus myrsinaefolia*)および高知産スギ(*Cryptomeria japonica*)の心材部を用いた。それらの材から、切削面が横切削実験では追まさ目またはまさ目、縦切削実験では板目となるよう角材を採取し、それら角材から1切削条件各5個(実験繰返し数)の小片に鋸削し、気乾状態で調湿して試験片(被削材幅  $b$ は10~13 mm、切削長は50~60 mm)とした。試験片において測定したシラカシおよびスギの容積重は0.85および0.37 g/cm<sup>3</sup>、含水率は12.8および14.1%、平均年輪幅は3.9および2.3 mm、晩材率は24.4および9.8%であった。

この研究における切削面と切削方向に対する木理の走向をFig. 4に示す。図に示すように、シラカシでは、(A)切削面が追まさ目(木表側)、切削方向が年輪に順目、放射組織に逆目、(C)切削面が追まさ目(木裏側)、切削方向が年輪に順目、放射組織に逆目、(E)切削面がまさ目、切削方向が年輪に順目、放射組織に逆目、(F)切削面がまさ目、切削方向が年輪に逆目、放射組織に順目、の横切削4種類としたが、スギでは、シラカシと同様の(A)、(C)と、(B)切削面が追まさ目(木表側)、切削方向が年輪に逆目、放射組織に順目、(D)切削面が追まさ目(木裏側)、切削方向が年輪に逆目、放射組織に順目、の横切削4種類とした。いずれの材の場合も、比較のために、(G)切削面が板目(木表側)、切削方向が繊維に平行、の縦切削を加えた。

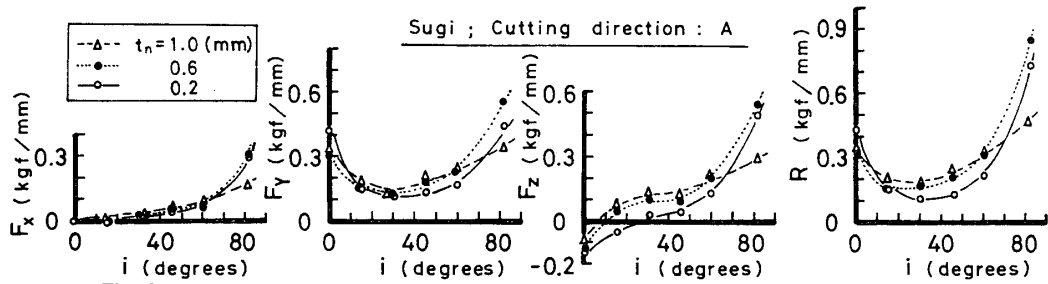


Fig. 6. Variation of  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ , and  $R$  with  $i$  at various depths of cut ( $t_n$ ).  
symbols : refer to Figures 1 ~ 5.

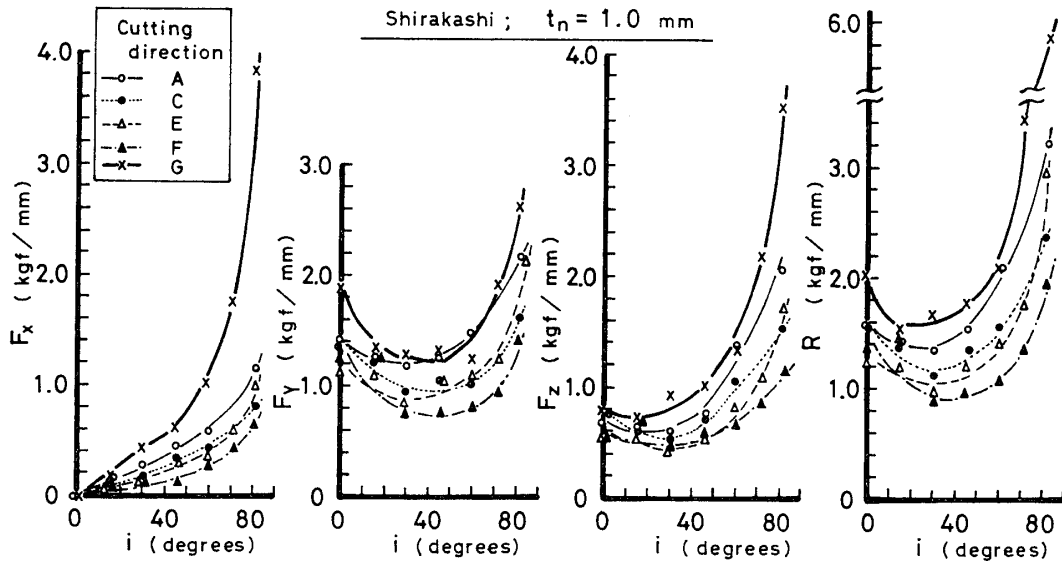


Fig. 7. Variation of  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ , and  $R$  with  $i$  at various cutting directions.  
symbols : refer to Figures 1 ~ 5.

### 3. 実験結果および考察

切削力の3分力、即ち、横分力  $F_x$ 、主分力  $F_y$ 、背分力  $F_z$  および合力  $R$  を、パイアス角  $i$  との関係でとりまとめた一例を、Fig. 5 (シラカシの場合) および Fig. 6 (スギの場合) に示す。図より明らかなように、いずれの材の場合も  $i$  の増加に伴い、 $F_x$  は指数関数的に増加する傾向を、 $F_y$  及び  $R$  はミニマムカーブを描く傾向を、それぞれ示した。 $F_z$  は  $i$  の増加に伴い、シラカシの場合はミニマムカーブを描く傾向を示すが、スギの場合は負の値からその絶対値が次第に減少し、0 を経て正の値へ増加する傾向を示した。いずれの切込量  $t_n$  の場合も、 $i$  の変化に伴う分力や合力の変化の傾向は同様であった。

$F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  および  $R$  の変化を切削面と切削方向ごとにとりまとめ、それらの一例を、Fig. 7 (シラカシの場合) および Fig. 8 (スギの場合) に示す。シラカシの場合、Fig. 7 に示すように、横切削のいずれの切削面と切削方向 (A, C, E, F) においても、分力  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  や合力  $R$  は、縦切削の場合 (G) よりも小さい値を示すが、 $i$  の増加に伴う分力や合力の傾向はよく類似している。横切削の場合では、切削面は、まさ目 (E, F) よりは追まさ目 (A, C) の方が、また、切削面が追まさ目では、木裏 (C) よりは木裏 (A) の方が、また、切削方向が向辺方向 (F) よりは向心方向 (E) の方が、分力や合力は大きい。しかし  $t_n$  が小さくなるほど、そのような切削面や切削方向による分力およ

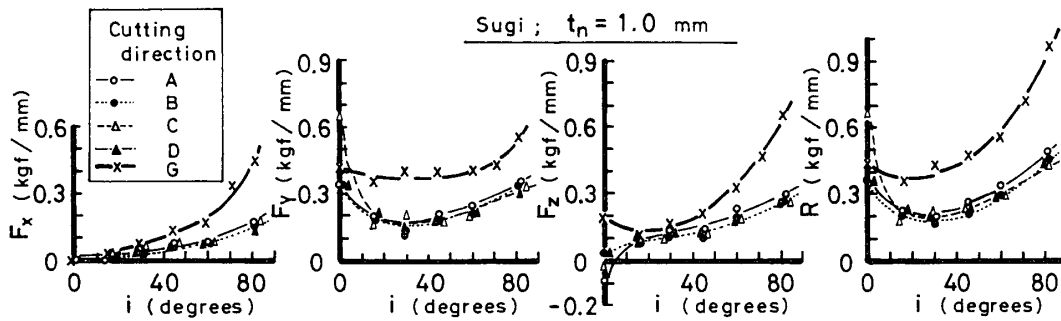


Fig. 8. Variation of  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ , and  $R$  with  $i$  at various cutting directions.  
symbols : refer to Figures 1 ~ 5.

び合力の差は極めて小さくなる。

スギの場合、Fig. 8に示すように、シラカシの場合と同様に、横切削のいずれの切削面と切削方向 (A, B, C, D) においても、分力  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  や合力  $R$  は、縦切削の場合 (G) よりも小さい値を示すが、 $i = 0^\circ \sim 20^\circ$  の  $F_y$ ,  $F_z$  および  $R$  の場合を除けば、 $i$  の増加に伴う分力や合力の傾向は類似している。なお、スギの横切削では、いずれの  $t_n$  の場合にも、切削面や切削方向による分力や合力の大きさの差は明確に現れない。

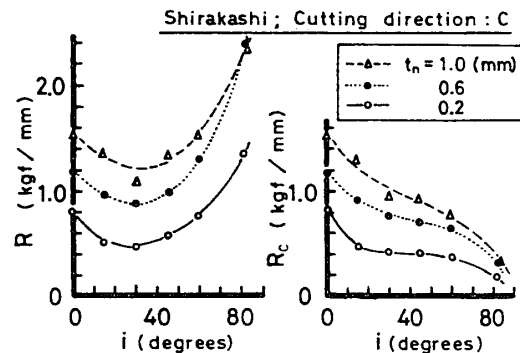


Fig. 9. Variation of resultants ( $R$  and  $R_c$ ) of the cutting force with  $i$  at various depths of cut ( $t_n$ ).  
 $R$  and  $R_c$  : values divided by  $b$  and  $b_c$ , respectively;  
symbols : refer to Figures 1 ~ 4.

スギの場合には、その材質 (主として、年輪) が原因して、とくに  $i = 0^\circ$  で  $F_z$  の大きさや作用方向が他の場合と異なる。即ち、年輪に逆目の場合 (B, D) では、 $F_z > 0$  で小さい値に、また、年輪に順目の場合 (A, C) では、 $F_z < 0$  でその絶対値も小さい値になる。 $i = 0^\circ$  では、切れ刃線傾斜角  $\phi' = 0^\circ$  であるから、早材・晩材の被削性が直接影響してくる。年輪に順目の場合は、晩材が切削されにくく、それが破壊され易い早材中に押し込められ、晩材の一部が切削された後、残りの晩材が加工面上へ押し上げられてくる。このため、工具は被削材により押し上げられる方向に作用する。一方、年輪に逆目の場合は、切削方向における晩材から早材への硬度差の移行が不連続で急激であるから、晩材を切削するときに、それが切削されるまでの間に早材中に押し込められて撓む。そのことに対する被削材の抵抗が、年輪に順目の場合とは反対に、工具を被削材中に引き込む方向に作用する。年輪に順目・逆目のいずれの場合でも、早材の破壊が著しく、切屑は連続した带状で流出せず、1年輪ごとに分断された棒状の切屑となる。このような1年輪間の被削性が原因して、 $F_z$  の絶対値は大きい値にならない。

$i$  の増加に伴う切削力の減少や増加の傾向は、有効すくい角  $\gamma_e$  や切れ刃線切削幅  $b_c$  の増加が直接関係すると考えられるが、それに加えて、切れ刃線傾斜角  $\phi'$  の増加に伴う切屑の変形の程度なども関係してくる。ここで、切削力に及ぼす  $\gamma_e$  の影響を明確にするため、 $b_c$  あたりの切削力を求めてみた。一例として、 $b_c$  あたりの合力  $R_c$  と  $i$  との関係性を、 $b$  あたりの合力  $R$  と比較して、Fig. 9に示す。図より明らかなように、 $R_c$  は、 $i$  の増加に伴い減少傾向を示す。これは、主として  $\gamma_e$  あるいは速度すくい角  $\gamma_v$  (切削方向を含み、切削面に垂直な断面内でのすくい角)<sup>1)</sup> の増加に起因すると考えられる。即ち、 $b_c$  あたりの切削力で考えれば、三次元切削では、 $i$  の増加に伴い切削力は減少する (ただし、横分力は増加する)。

## 4. 結 論

切削面と切削方向に対して、木理の走向の異なる種々の被削材（いずれも気乾材）を用い、三次元横切削実験をバイアス角  $i$  の広い範囲で行い、切削力の3分力（横分力  $F_x$ 、主分力  $F_y$ 、背分力  $F_z$ ）、それらの合力  $R$ などを測定し（Fig. 1～4）、つぎの結果を得た。

(1) いずれの条件下においても、 $i$ の増加に伴い、 $F_x$ は、指数関数的な増加傾向を、 $F_y$ 、 $F_z$ および  $R$ （いずれも被削材幅  $b$  で除した値）は、ミニマムカーブを描く傾向を、それぞれ示した（Fig. 5～8）。

(2) 横切削の場合、切削面および切削方向の相異や樹種の相異によって、分力や合力の大きさ、作用方向が若干異なるが、 $i$ の変化に伴うそれらの変化の傾向は、おおむね縦切削の場合と類似した（Fig. 5～8）。

(3) 切れ刃線切削幅  $b_c$ あたりの合力  $R_c$ は、 $i$ の増加に伴い減少傾向を示した（Fig. 9）。

## 文 献

- 1) 杉山 滋：木材学会誌，29，670～678（1983）。
- 2) 杉山 滋：木材学会誌，29，679～687（1983）。
- 3) 杉山 滋：木材工業，38，423～428（1983）。
- 4) 木下敏幸：木材学会誌，26，248～253（1980）。
- 5) 尾崎士郎，福井 尚：木材学会誌，28，284～294（1982）。
- 6) 杉山 滋：長崎大学教育学部紀要 ー自然科学ー，No. 73，35～40（2005）。