

## 単板剥ぎ取り機械に関する研究 (XX)\*

スライサを対象とした単板切削におけるナイフすくい面の  
摩擦係数の変化に及ぼす切削方式の影響

杉 山 滋

長崎大学教育学部技術教育講座  
(平成13年10月31日受理)

## Studies on Veneer Cutting Machine (XX)\*

Effects of Various Cutting Methods upon Variation of Frictional  
Coefficient on Knife Rake - Face in Veneer Cutting

Shigeru SUGIYAMA

Department of Technology, Faculty of Education,  
Nagasaki University, Nagasaki 852-8521

(Received Oct. 31, 2001)

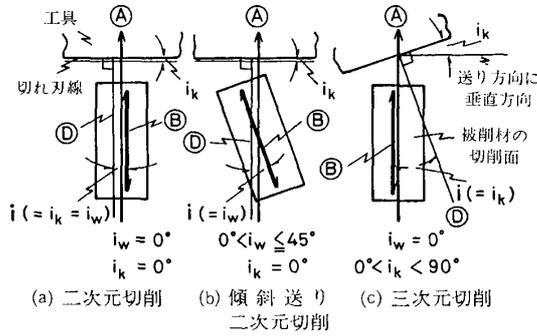
### Abstract

The purpose of this report is to make clear the effects of the inclination angle ( $i$ ) between the main axis direction of the workpiece and the direction perpendicular to a cutting edge on the cutting surface, the other cutting conditions, and the workpiece conditions upon the cutting phenomena under various cutting methods. The specimens of white seraya and tangile were used in this study, and were set on the same experimental apparatus as used in previous reports<sup>1)~3)</sup>. Using this apparatus, the components and the resultants of the cutting force acting on the workpiece and the frictional coefficient ( $\mu$ ) on the tool rake - face were measured under various cutting methods. The variation of the cutting force and  $\mu$  with the cutting conditions and with the workpiece conditions was made clear, and the relation of the roughness of the workpiece cutting - surface to them was discussed.

### 1. 緒 言

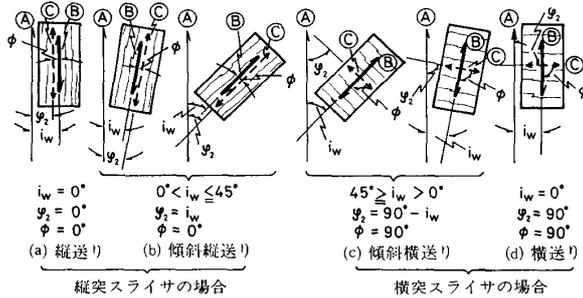
スライサによる単板切削では、被削材の送り方向に対する工具切れ刃線の相対的位置関係により二次元切削および三次元切削（ナイフの傾斜角をバイアス角  $i_k$  とする）の一般的な場合のほかに、特殊な場合として傾斜送り二次元切削（被削材の傾斜角を  $i_w$  とする）の切削方式（第1図および第3図参照）があり、これらのいずれかの方式が採用されている。工具に向って被削材を送り込む場合、その送り込み方を、被削材の主軸方向と繊維走向のなす角  $\phi$  および  $i_w$  によって分類すると、 $\phi = 0^\circ$  でしかも  $i_w = 0^\circ$  の場合（縦送り）および  $\phi = 90^\circ$  でしかも  $i_w = 0^\circ$  の場合（横送り）の一般的な場合のほかに、特殊な場合とし

\* 前報「単板剥ぎ取り機械に関する研究 (XIX) Studies on Veneer Cutting Machine (XIX)」は、長崎大学教育学部紀要 -自然科学- 第65号 37~42 (2001. 6) に掲載。



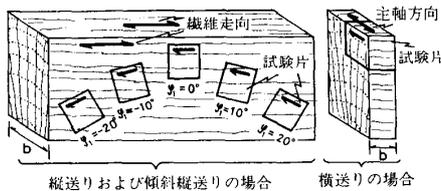
第1図 被削材の送り方向(A)と工具切れ刃線の相対的位置関係

(スライサによる切削方式の分類)  
 $i$ : 切削面における被削材の主軸方向(B)と切れ刃線に垂直な方向(D)のなす角で、傾斜送り二次元切削では被削材の傾斜角( $i_w$ )を、また、三次元切削ではバイアス角( $i_k$ )を、それぞれ意味する。



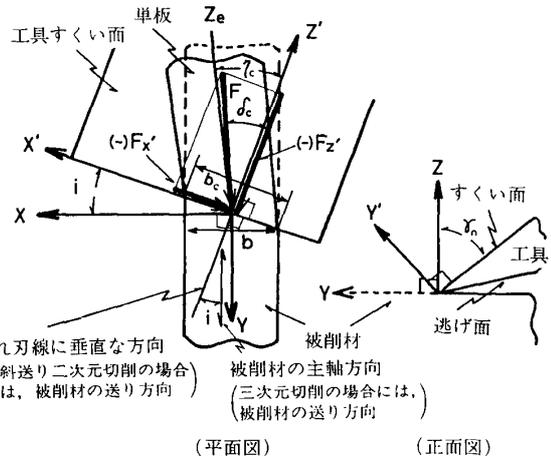
第3図(a) 被削材の主軸方向(B), 送り方向(A)と切削面における繊維走向(C)の関係

(スライサによる被削材の送り方向の分類 —  $\phi = 0^\circ$  および  $90^\circ$  の場合 —)  
 $i_w$ : 被削材の傾斜角(A)と(B)のなす角);  
 $\phi_2$ : 木理斜交角(A)と(C)のなす角);  $\phi$ : (B)と(C)のなす角)



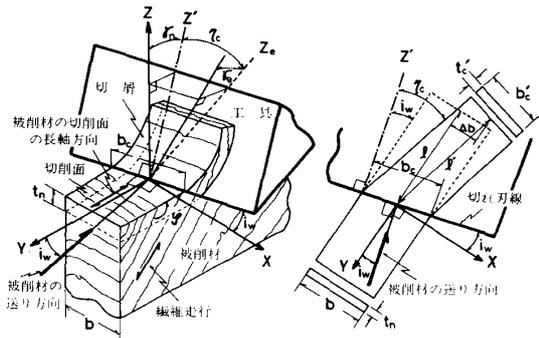
第4図 試験片の形状と繊維走向

試験片において矢印のある側の上面が切削面で、矢印の方向が被削材の主軸方向および送り方向である。  
 $b$ : 被削材幅;  $\phi_1$ : 繊維傾斜角



第2図 三次元切削と傾斜送り二次元切削における切削力の作用方向

$X$  および  $Y$ : 被削材の切削面における被削材の主軸方向に垂直および平行な方向;  $Z$ : 被削材の切削面に垂直な方向;  $X'$  および  $Z'$ : 工具すくい面における切れ刃線に平行および垂直な方向;  $Y'$ : すくい面に垂直な方向;  $Z_c$ : すくい面における単板の流出方向;  $F$ : 摩擦力;  $(-)F_x$  および  $(-)F_z$ :  $X'$  および  $Z'$  の軸と逆方向に作用する切削力の分力;  $i$ : 被削材の主軸方向と切削面における切れ刃線に垂直な方向のなす角;  $b$  および  $b_c$ : 被削材幅および切れ刃線切削幅;  $\eta_c$ : 単板流出角;  $\delta_c$ :  $F$  の作用角;  $\gamma_n$ : 垂直すくい角



第3図(b) 傾斜送り二次元切削の模式図

$Y$  および  $X$ : 被削材の切削面内において被削材の長軸方向に平行および垂直な方向;  $Z$ : 切削面に垂直な方向;  $Z'$ : 工具すくい面内において切れ刃線に垂直な方向;  $Z_c$ : 切屑流出方向;  $\gamma_n$  および  $\gamma_c$ : 垂直すくい角および有効すくい角;  $\eta_c$ : 切屑流出角;  $\phi$ : 繊維傾斜角;  $t_n$ : 切込量;  $b$  および  $b_c$ : 被削材幅および切れ刃線切削幅;  $\Delta b$ : 切屑の横方向へのずれの大きさ;  $l$ : 被削材の長軸方向の切削長さ;  $l', l_c$  および  $b_c'$ : 切屑の長さ, 厚さおよび幅;  $i_w$ : 第1図参照

て  $\phi = 0^\circ$  であるが,  $0^\circ < i_w < 45^\circ$  の場合 (これを“傾斜縦送り”という) および  $\phi = 90^\circ$  であるが,  $0^\circ < i_w < 45^\circ$  の場合 (これを“傾斜横送り”という), その中間である  $\phi = 0^\circ$ ,  $i_w = 45^\circ$  または  $\phi = 90^\circ$ ,  $i_w = 45^\circ$  のいずれかの場合 (これを“傾斜縦-横送り”という) がある (第3図)。

縦送りや傾斜縦送りの二次元切削または三次元切削を行う縦突スライサ, あるいは横送りや傾斜横送りの二次元切削または三次元切削を行う横突スライサでは, いずれも単板の厚さむら, 割れの侵入および表・裏面の凹凸の少ない, いわゆる良質の単板を切削することが要求される。単板の品質に関係する因子として, すくい面の摩擦係数の変動などが考えられるから, その変動をそれぞれの切削方式で明らかにする必要がある。そこでこの研究では, “縦送り”した場合の二次元切削と三次元切削, “横送り”した場合の二次元切削と三次元切削, および“傾斜縦送り”した場合の二次元切削についてとりあげ, それらの基礎的な切削実験<sup>\*1</sup>を行い, 切削力の測定結果に基づいてナイフすくい面の摩擦係数を算出し, それらの数値の比較から切削方式についての相異を明らかにし, スライサによる単板切削方式を検討する。

\*1 いずれの実験においても, 実験装置に装備された3分力測定用八角形弾性リング荷重装置によって, 切削力の3分力の測定を行った。この研究では, 切削方式が異なるから, 切削力の分力を次のように表すこととした。即ち, 第2図に示すように, 被削材の主軸方向と切削面における切れ刃線に垂直な方向とのなす角を  $i$  (縦送りや横送りの三次元切削ではパイアス角  $i_n$  を, 傾斜縦送り二次元切削では被削材の傾斜角  $i_n$  を, それぞれ意味する) とすると, 被削材に加わる3分力は, 被削材の切削面において被削材の主軸方向に平行 (Y), 垂直 (X) な方向および切削面に垂直 (Z) な方向の3分力  $F_Y$  (二次元切削や三次元切削では主分力, 傾斜送り二次元切削では軸分力),  $F_X$  (横分力) および  $F_Z$  (背分力) として表される。したがって, 二次元切削 ( $i = 0^\circ$ , 即ち,  $i_n = i_n = 0^\circ$  の場合) では,  $F_X = 0$  となる。これらの分力は, 被削材幅  $b$  で除した値で表した。すくい面の摩擦係数  $\mu$  を求めるため, その基準となる3分力, 即ち, すくい面において切れ刃に平行 (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,  $F_X$ ,  $F_Y$  および  $F_Z$  を用いて次式で求められる (第2図参照)。

$$\begin{Bmatrix} (-F_X) \\ F_Y \\ (-F_Z) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_1 & -b_1 & -c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ -a_3 & -b_3 & -c_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_X \\ F_Y \\ F_Z \end{Bmatrix} \quad (1)$$

ここに,

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

ただし,  $\gamma_n$  は垂直すくい角。すくい面の摩擦力  $F$  および垂直力  $N$  は,

$$F = \{(-F_X)^2 + (-F_Z)^2\}^{1/2} \quad (2)$$

$$N = F_Y \quad (3)$$

$F$  の作用角  $\delta_c (= \tan^{-1}(-F_X)/(-F_Z))$  とすくい面上の単板流出角  $\eta_c$  (この研究では,  $\eta_c \doteq i$  とみなした) との偏差角  $\xi_c (= \eta_c - \delta_c \doteq i - \delta_c)$  とすれば,  $\mu$  は次式で求められる<sup>1)3)</sup>。

$$\mu = F \cdot \cos \xi_c / N \quad (4)$$

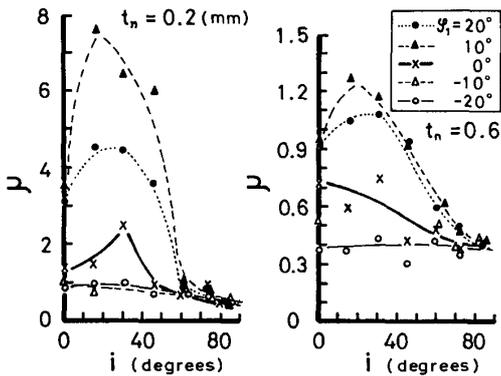
この研究では, 垂直刃先角  $\beta_n$  を  $25^\circ$  一定に研ぎあげた工具 (材質は高速度鋼 SKH2) を用いて, 垂直逃げ角  $\alpha_n$  を  $1^\circ$  一定, 即ち, 垂直すくい角  $\gamma_n$  を  $64^\circ$  一定に保って切削実験を行った。被削材の送り速度は  $138.7 \text{ mm/min}$  とした。切込量  $t_n$  は, 縦送りや横送りの二次元または三次元切削では  $0.2, 0.6, 1.0 \text{ mm}$  の3段階, また, 傾斜縦送り二次元切削では  $0.5 \text{ mm}$  とした。 $i$  は, 縦送りや横送りの二次元または三次元切削では  $0 \sim 82^\circ$  の範囲で  $10 \sim 15^\circ$  間隔おきに  $6 \sim 7$  段階, また, 傾斜縦送り二次元切削では  $0 \sim 50^\circ$  の範囲で  $10^\circ$  間隔おきに  $6$  段階とした。なお,  $\gamma_n$  は一定であるが, 単板流出方向におけるすくい角 (有効すくい角)  $\gamma_c$  は,  $\eta_n \doteq i$  の場合に,

$$\gamma_c = \sin^{-1}(\sin^2 i + \cos^2 i \sin \gamma_n) \quad (5)$$

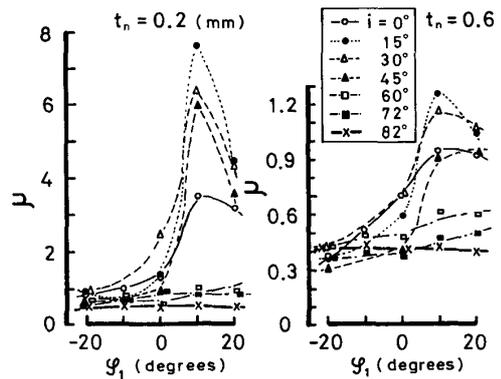
となり,  $i$  の増加に伴い,  $\gamma_c$  は著しく増加することになる。

供試材として, 縦送りや横送りの二次元または三次元切削にはマレーシアカリマンタン島サバ州産ホワイトセラヤ (*Parashorea malaanonan* Merr.) を, 傾斜縦送り二次元切削にはフィリピンミンダナオ島産タンギール (*Shorea polysperma* Merr.) の心材部を, それぞれ用いた。上記の原木から, 縦送り用や傾斜縦送り用の試験片を作成するために, 正柁目木取りの板材を, また, 横送り用の試験片を作成するために二方柁木取りの角材を, それぞれ採取し, これらを用いて, 切削面が板目 (木表側) で, 切削長  $60 \text{ mm}$ , 被削材幅  $b = 10 \sim 13 \text{ mm}$  の小片に鋸断し試験片とした (第4図)。なお, 試験片を作成するにあたって, 柁目板材の材面上の繊維走向と切削面とのなす角 (繊維傾斜角)  $\phi_1$  を  $0^\circ, \pm 10^\circ, \pm 20^\circ$  (これらに加えて, 傾斜縦送り用の試験片では  $\phi_1 = \pm 30^\circ$  も加えた) に変えた各組の試験片を作成した ( $\phi_1 > 0^\circ$  は順目角度,  $\phi_1 < 0^\circ$  は逆目角度を意味する)。

実験では, 気乾状態に調湿した試験片を用いたが, 一部飽水状態の試験片 ( $\phi_1 = 0^\circ$  の縦送り用および横送り用試験片) による実験も行い, 気乾材の実験との比較をも行った。なお, 気乾状態の試験片において測定した含水率および容積重は, ホワイトセラヤで  $15.8 \%$  および  $0.47 \text{ g/cm}^3$ , タンギールで  $11.6 \%$  および  $0.42 \text{ g/cm}^3$  であった。



第5図 摩擦係数 ( $\mu$ ) と  $i$  の関係  
(縦送り二次元・三次元切削; 気乾材;  
 $t_n=0.2, 0.6$  mmの場合)



第6図 摩擦係数 ( $\mu$ ) と  $\phi_1$  の関係  
(縦送り二次元・三次元切削; 気乾材;  
 $t_n=0.2, 0.6$  mmの場合)

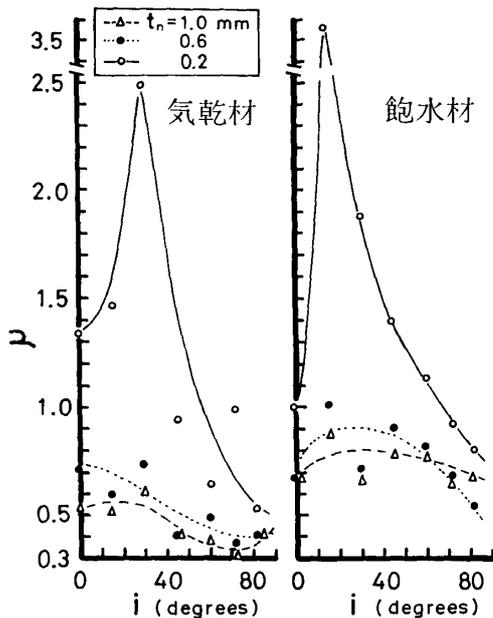
## 2. 実 験<sup>\*1</sup>

“縦送り”した場合の二次元切削と三次元切削，および“横送り”した場合の二次元切削と三次元切削，それらに加えて，“傾斜縦送り”した場合の二次元切削の実験は，いずれも既報<sup>1)~3)</sup>とほぼ同様の方法によって行った。その実験の概要を前頁の脚注<sup>\*1</sup>に示す(第2図，第3図(a)，第3図(b)および第4図参照)。

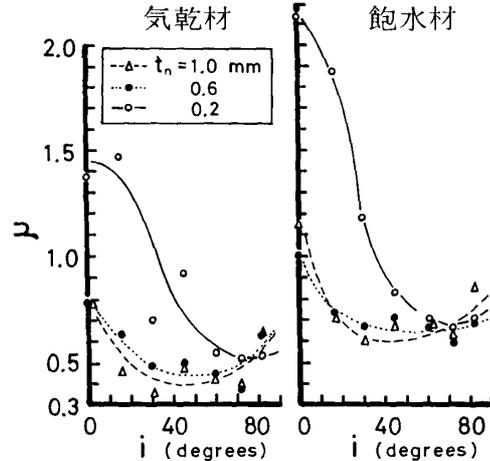
## 3. 実験結果および考察

切削力の測定結果を用いて，すくい面の摩擦係数  $\mu$  を求めた。種々の因子をパラメータとして  $\mu$  をとりまとめ，それらの一例を第5図～第10図に示す。縦送りの二次元切削や三次元切削では，第5図に示すように， $i$  の増加に伴い  $\mu$  は  $\phi_1 \geq 0^\circ$  の場合にはマキシマムカーブを描く傾向 ( $i=15\sim 45^\circ$  の範囲で  $\mu$  は最大値) を， $\phi_1 > 0^\circ$  の場合にはほぼ一定の傾向を，それぞれ示した(切込量  $t_n$  や  $\phi_1$  によって， $i=70^\circ$  付近で最小値を示す場合もある)。このような  $i$  の増加に伴う  $\mu$  の変動の傾向は大きい  $t_n$  の場合より小さい  $t_n$  の場合に顕著に現われた。また，第6図に示すように， $\phi_1$  の変化に伴う  $\mu$  の変動は， $i$  が比較的小さい範囲 ( $i=0\sim 45^\circ$ ) では著しいが， $i$  が比較的大きい範囲 ( $i=60\sim 82^\circ$ ) では少なくなる。飽水材では， $\mu$  は，第7図に示すように，気乾材の場合より大きい値を示すが， $i$  の増加に伴う  $\mu$  の変動の傾向は気乾材の場合に比較的類似した。このように，気乾材，飽水材のちがいや  $t_n$  の大きさによって若干異なるが，縦送り三次元切削 ( $0^\circ < i < 90^\circ$  の場合) における  $\mu$  は，縦送り二次元切削 ( $i=0^\circ$  の場合) における  $\mu$  と比較して，大きくなる場合 ( $\phi_1 \geq 0^\circ$  の場合で， $i=15\sim 45^\circ$  の範囲)，小さくなる場合 ( $\phi_1 \geq 0^\circ$  の場合で， $i=60\sim 80^\circ$  の範囲)，殆ど変わらない場合 ( $\phi_1 < 0^\circ$  の場合) とがある。

なお， $i=15\sim 45^\circ$  の範囲で  $t_n$  の小さい場合や  $\phi_1 > 0^\circ$  の場合に  $\mu$  が最大値を示したり，また，気乾材よりも飽水材で  $\mu$  が大きい値を示すが，これはすくい面上で単板の変形が助長され，その変形に基づく単板のすくい面上への喰い付きが大きくなることを意味する<sup>2)</sup>。したがって，このような  $\mu$  の大きさの変動はすくい面上の単板の流出状態のほか，被削母材の切削加工面の凹凸の程度にも影響してくる(とくに， $\phi_1 < 0^\circ$  の場合) と考えられる。例えば， $i$  が比較的大きい縦送り三次元切削で， $\phi_1$  の変化に伴う  $\mu$  の変動が少なくな

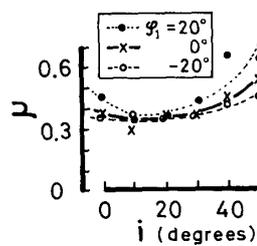


第7図 摩擦係数 ( $\mu$ ) と  $i$  の関係  
(縦送り二次元・三次元切削;  $\varphi_1 = 0^\circ$  の場合; 気乾材と飽水材の比較)

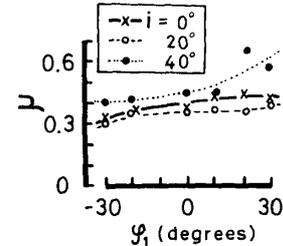


第8図 摩擦係数 ( $\mu$ ) と  $i$  の関係  
(横送り二次元・三次元切削の場合; 気乾材と飽水材の比較)

るが、これはすくい面上の単板の流出状態や被削母材の切削加工面の凹凸が、種々の  $\varphi_1$  においても比較的同じ程度に保たれていることを意味する。したがって、長い材長の被削材 (フリッチ) の切削を行うスライサにとって、 $\varphi_1$  の変化は避けられないから、 $\varphi_1$  の変化に伴う  $\mu$  の変動が少なくなることは好都合の結果と考えられる。



第9図 摩擦係数 ( $\mu$ ) と  $i$  の関係  
(傾斜縦送り二次元切削; 気乾材;  $t_n = 0.5$  mm の場合)



第10図 摩擦係数 ( $\mu$ ) と  $\varphi_1$  の関係  
(傾斜縦送り二次元切削; 気乾材;  $t_n = 0.5$  mm の場合)

横送りの二次元切削や三次元切削では、第8図に示したように、気乾材、飽水材いずれの場合も、 $i$  の増加に伴い  $\mu$  は急激なミニマムカーブを描く傾向 ( $i = 30 \sim 70^\circ$  の範囲で  $\mu$  は最小値) を示した。このような  $i$  の増加に伴う  $\mu$  の変動の傾向は大きい  $t_n$  の場合より小さい  $t_n$  の場合により顕著に現れた。一般に、飽水材では、 $\mu$  は気乾材の場合より大きい値を示した。縦送りの場合と異なり、横送りでは三次元切削 ( $0^\circ < i < 90^\circ$  の場合) における  $\mu$  は二次元切削 ( $i = 0^\circ$  の場合) よりも著しく減少する (とくに、 $i = 30 \sim 70^\circ$  の範囲では  $\mu$  は最小値を示した)。なお、縦送りと同様、横送りの二次元切削や三次元切削における  $\mu$  の大きさの相異は、すくい面上における単板の変形の程度やすくい面への単板の喰い付きの程度の相異を表している。

一方、傾斜縦送り二次元切削では、第9図に示すように、 $i$  の増加に伴い  $\mu$  はいずれの  $\varphi_1$  の場合も極めて緩やかなミニマムカーブを描く傾向 ( $i = 10 \sim 20^\circ$  の範囲で最小値) を示した。また、第10図に示すように、 $\varphi_1$  の変化に伴う  $\mu$  の変動は、いずれの  $i$  の場合も比較的少ない ( $i \geq 40^\circ$  の場合には、 $\varphi_1 > 0^\circ$  で  $\mu$  の変動は比較的大きくなって来る)。なお、傾斜縦送り二次元切削における  $i$  の増加に伴う  $\mu$  の変動の傾向は、既報の傾斜横送

り二次元切削における $\mu$ の変動の傾向<sup>1)</sup>ともよく類似している。このような傾斜縦送りや横送りの二次元切削では、 $i$ を比較的大きい角度に設定すると、 $\mu$ は比較的大きい値を示すが、これはすくい面上での単板の変形が妨げられ、被削母材とほぼ同じ程度の剛性をもった状態で単板がすくい面を擦過することに基づく<sup>1)</sup>ものであり、その結果として、単板の裏面には被削母材の一部が付着し、被削母材は良好な切削加工面になりにくい。 $i$ を小さい角度に設定した傾斜縦送りや傾斜横送りの二次元切削では、 $i=0^\circ$ の場合（即ち、縦送りや横送りの二次元切削）より $\mu$ を減少させることができ、そのときの被削母材の切削加工面は比較的良好となった（傾斜横送り二次元切削の場合は既報の結果<sup>1)</sup>から判断した）。しかし、 $i$ を著しく大きく設定した縦送りや横送りの三次元切削において現れる $\mu$ の著しい減少やそれに基づく良好な切削加工面は、傾斜縦送りや横送りの二次元切削では得られない。

#### 4. 結 言

縦突あるいは横突スライサのいずれの場合も、毎回の切削の基準面となることから、被削母材の切削加工面が良好であることが不可欠の要件とされている。筆者によるこれまでの二次元切削における実験結果<sup>4),5)</sup>から判断すれば、 $\mu$ の減少はすくい面上での単板の流出状態や被削母材の切削加工面の凹凸の程度に関係してくると考えられる。そこで、この研究では、種々の切削方式における $\mu$ と被削母材の切削加工面の凹凸の程度との関係を調べた。 $i$ の広い範囲にわたって加工面の凹凸を相対評価し、最も平滑で良好な加工面となるときの $i$ を求めた。このときの $i$ <sup>6)</sup>と、 $\mu$ が最小値を示すときの $i$ とは比較的良好一致した。即ち、相対的に $\mu$ が小さい値を示す条件では、いずれの切削方式でも切削加工面は概ね良好となることを意味する。したがって、この研究で得られた結果を中心にして、プレッシャバーを装備させ、しかも縦突あるいは横突スライサに、より近い切削条件を設定した基礎実験を行い、摩擦係数の変動を明らかにすることが、今後、是非とも必要となってくる。

#### 文 献

- 1) 杉山 滋：木材学会誌，29 (10)，670～678 (1983)。
- 2) 杉山 滋：木材学会誌，30 (10)，819～826 (1984)。
- 3) 杉山 滋：木材学会誌，30 (12)，980～987 (1984)。
- 4) 杉山 滋：木材学会誌，24 (1)，19～25 (1978)。
- 5) 杉山 滋：木材学会誌，25 (11)，719～725 (1979)。
- 6) 杉山 滋，他2名：長崎大学教育学部自然科学研究報告，No.36，55～72 (1985)。