

木材切削工具の切れ味測定と切れ味評価(VIII)*

裏金を装着した直刃状鉋刃による木材の三次元切削における
鉋刃傾斜角および被削材繊維傾斜角の影響

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)

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

Effects of Inclination Angle of the Knife and Grain Angle of the Workpiece upon
Variation of Cutting Force in Oblique Cutting of Wood Parallel to
the Grain with the Knife Equipped with a Chip Breaker

Shigeru SUGIYAMA

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

(Received Feb. 28, 1991)

Abstract

The purpose of this report is to clarify the effects of the inclination angle ($i_{(k)}$) of the knife, the distance ($\ell_{(k)}$) on the knife rake-face from the knife edge to the chip-breaker edge, and the grain angle (φ) of the workpiece upon the variations of the components and the resultant of the cutting force in the oblique cutting of wood parallel to the grain with the knife equipped with a chip breaker. Air-dried specimens of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) were used in this study, and were cut by feeding a knife equipped with a chip breaker, which was set on the same experimental

* 本研究の一部は、昭和63年度文部省科学研究費補助金 一般研究 C〔研究代表者 杉山 滋； 課題番号 63560175； 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〕によった。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12報） Technical and Fundamental Studies on Education of Wood Working in Technical Education Lessons of School, XII.】とする。上記の研究（第11報）および標記の研究（VII）は、長崎大学教育学部自然科学研究報告 第43号 131~167（1990）に掲載。

apparatus equipped with a three-dimensional elastic-ring dynamometer as used in the previous reports^{4)~6)}. The lateral (F_x), main (F_y), and thrust (F_z) components of the cutting force acting on the knife equipped with the chip breaker were measured. Using the measured components mentioned above, the resultant (R) was calculated. Based on these results, effects of the cutting conditions ($i_{(k)}$ and $l_{(k)}$) and the workpiece condition (φ) upon the variations of the components and the resultant of the cutting force were clarified (Figs. 15~22). Characteristics of the oblique wood-cutting with a chip breaker are discussed, comparing its cutting with the oblique wood-cutting without a chip breaker and the orthogonal wood-cutting.

1. 緒 言

表面仕上げ目的とした切削方式には、“ひら削り”と“回転削り”とがある。前者は、超仕上鉋盤（スーパーサーフェイサ）などの木工機械や一枚刃台鉋・二枚刃台鉋などの手工工具に代表されるように、最も基本的な直線切削方式であるが、後者は、自動一面鉋盤、手押鉋盤などの木工機械や電気鉋・電子鉋などの電動工具など、一般に、“回転鉋”と呼ばれている切削機械に代表されるように、最も広範囲に行われている切削方式である。これらいずれかの切削方式を採用した切削機械および手工工具においては、鉋刃刃先の剛性を高めるため、ならびに被削材の逆目ばれを防止するために、鉋刃には裏金（チップブレイカ）が装着され、さらに、裏金の装着に伴う鉋刃の鋭利性低下を補うために、鉋刃にはある角度の傾斜角（バイアス角）が設定されている。

したがって、裏金の鉋刃への装着の仕方（裏金のセット条件）やバイアス角の設定の仕方がその効果を左右するから、裏金のセット条件やバイアス角の大きさなどの適切な条件を明確にすることが必要となる。従来、これらに関する既往の研究では、回転鉋の切削を主対象に論じた研究が多く、超仕上鉋盤などの木工機械や一枚刃台鉋・二枚刃台鉋などの手工工具の切削を主対象にして論じた研究例は比較的乏しいし、いずれの切削の場合にも、裏金のセット条件をバイアス角の変化との関係を検討した研究例は殆どみあたらない。刃先の1回転中における繊維傾斜角（被削材の繊維走向と切削方向との交差角度）の変化が比較的小さい回転鉋（ヘリカル刃使用）の上向き切削では、逆目の高速切削を中心に切込量、バイアス角との関係で裏金のセット条件を論じる必要があるが、設定された一定の切込量で比較的低速切削を行う超仕上鉋盤などの木工機械や一枚刃台鉋・二枚刃台鉋などの手工工具の切削では、一定材長の切削においても被削材の繊維走向の変化が起り得るから、繊維傾斜角の変化が比較的小さい順目切削、平行（木理通直）切削、逆目切削を中心にバイアス角との関係で裏金のセット条件を論じる必要がある。

いずれの切削の場合にも、裏金の装着は著しい切削力の増加をもたらすことが明らかにされている^{1)~3)}が、これらの切削力の増加がバイアス角の設定によりどのように変化するか、などの詳細な検討結果は報じられていない。そこで本研究では、超仕上鉋盤ならびに二枚刃台鉋で板材を繊維走向に平行に切削加工する場合を対象として、裏金を装着した直刃状鉋刃に加わる切削力の変化の測定を行い、鉋刃のバイアス角、裏金のセット条件およ

び被削材の繊維傾斜角のいろいろな組み合わせで切削力の変化の関係を明らかにすることを試みた。

2. 実験方法

2.1 裏金を装着した直刃状鉋刃による木材の三次元切削

裏金を装着した直刃状鉋刃による木材の三次元切削の模式図を図1に示す。同図に示すように、被削材の切削面上において、鉋刃の切削方向に垂直な方向（X軸方向）を基準として、その方向と、鉋刃の切れ刃線に平行な方向（X'軸方向）との交差角度を鉋刃傾斜角（バイアス角） $i_{(K)}$ とすると、 $0^\circ < i_{(K)} < 90^\circ$ の場合あるいは $-90^\circ < i_{(K)} < 0^\circ$ の場合が三次元切削となる（ $i_{(K)} = 0^\circ$ の場合は、二次元切削である）。刃先角 $\beta_{(K)}$ をもつ鉋刃を逃げ角 $\alpha_{(K)}$ で固定すると、鉋刃傾斜角 $\theta'_{(K)}$ は、 $i_{(K)} = 0^\circ$ の場合（二次元切削の場合）には、鉋刃すくい面上における鉋刃切れ刃線に垂直な方向（Z'軸方向）と鉋刃すくい面に垂直な方向（Y'軸方向）とを含む鉋刃の垂直断面における鉋刃切削角（これを鉋刃垂直切削角という） $\theta_{(K)}$ （即ち、 $\theta_{(K)} = \beta_{(K)} + \alpha_{(K)}$ ）に等しくなるが、鉋刃に $i_{(K)}$ を設定すると（三次元切削の場合）、 $\theta'_{(K)}$ は $\theta_{(K)}$ よりも小さい角度（即ち、取付け当初の鉋刃刃先角よりも鋭利な角度）で被削材に作用する。 $\theta'_{(K)}$ は、切削速度ベクトルを含む鉋刃傾斜断面を基準とした切削角であるから、一般的

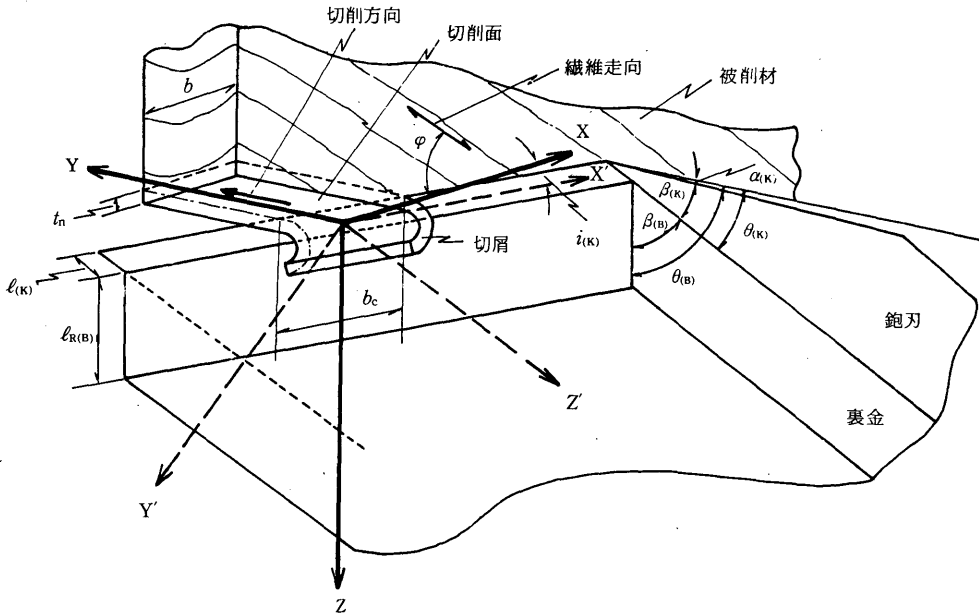


図1 裏金を装着した鉋刃による木材の三次元切削の模式図

XおよびY：切削面上における切削方向に垂直および平行な方向；Z：切削面に垂直な方向；X'およびZ'：鉋刃すくい面上における切れ刃線に平行および垂直な方向；Y'：鉋刃すくい面に垂直な方向； $\alpha_{(K)}$ および $\beta_{(K)}$ ：鉋刃垂直逃げ角および垂直刃先角； $\theta_{(K)}$ ：鉋刃垂直切削角（ $= \alpha_{(K)} + \beta_{(K)}$ ）； $\beta_{(B)}$ ：裏金垂直先端角； $\theta_{(B)}$ ：裏金垂直作用角（ $= \beta_{(B)} + \theta_{(K)}$ ）； $l_{r(B)}$ ：裏金垂直作用長さ； $l_{r(K)}$ ：裏金垂直設置距離； t_n ：切込量； b ：被削材切削幅； b_c ：切れ刃線切削幅； $i_{(K)}$ ：鉋刃傾斜角（バイアス角）； φ ：被削材繊維傾斜角

には速度切削角と呼ばれているが、本研究では、便宜上、傾斜切削角と呼ぶこととする。 $\theta'_{(k)}$ は、 $i_{(k)}$ および $\theta_{(k)}$ を用いると、次式で表される。

$$\theta'_{(k)} = \sin^{-1}(\sin \theta_{(k)} \cdot \cos i_{(k)}) \quad (1)$$

三次元切削の場合、鉋刃刃先先端から $l_{(k)}$ だけ離れた直刃状鉋刃のすくい面上の位置に、先端角 $\beta_{(B)}$ および作用長さ $l_{R(B)}$ をもつ裏金を装着すると、鉋刃および裏金の垂直断面における裏金作用角 $\theta_{(B)}$ ($=\beta_{(B)} + \theta_{(k)}$) (これを裏金垂直作用角という) および裏金設置距離 $l_{(k)}$ (これを裏金垂直設置距離という) は、 $i_{(k)}$ の設定により、つぎのように変化する。即ち、切削速度ベクトルを含む鉋刃傾斜断面を基準とした裏金作用角 $\theta'_{(B)}$ (これを裏金傾斜作用角という) および裏金設置距離 $l'_{(k)}$ (これを裏金傾斜設置距離という) は、 $i_{(k)}$ 、 $\theta_{(B)}$ および $l_{(k)}$ を用いると、次式で表される。

$$\theta'_{(B)} = \sin^{-1}(\sin \theta_{(B)} \cdot \cos i_{(k)}) \quad (2)$$

$$l'_{(k)} = l_{(k)} / \cos i_{(k)} \quad (3)$$

2.2 実験条件

本研究では、木材の最終の表面仕上げのための木材切削機械として、現在広く用いられている超仕上鉋盤による木材切削、ならびに最終の表面仕上げのための手工具として、現在広く用いられている二枚刃台鉋による木材切削を直接の対象として、裏金を装着した直刃状鉋刃による木材の三次元切削実験を行う。切削実験では、裏金を装着した直刃状鉋刃によって被削材に加えられる切削力を測定し、主として切削力の大きさや切削力の変化の傾向をいろいろな実験条件の組み合わせのもとで明らかにすることを試み、超仕上鉋盤や二枚刃台鉋による木材切削における機械や工具を改良するための機械設計上の基礎資料ならびに適切な切削条件を選定するうえでの基礎資料、などを得ようと試みた。

現在用いられている超仕上鉋盤や二枚刃台鉋の両者の切削条件に近い条件を採用し、主として鉋刃傾斜角(バイアス角) $i_{(k)}$ および被削材繊維傾斜角 φ を変化させて、木材の縦切削実験を行う。裏金を装着した鉋刃による切削実験では、裏金のセット条件(とくに、裏金設置距離)の変化が影響を及ぼすから、種々の異なる裏金垂直設置距離 $l_{(k)}$ のもとで、

表1 実験条件

鉋刃垂直切削角 $\theta_{(k)} (= \alpha_{(k)} + \beta_{(k)})$	35°
鉋刃垂直逃げ角 $\alpha_{(k)}$	3°
鉋刃垂直刃先角 $\beta_{(k)}$	32°
裏金垂直先端角 $\beta_{(B)}$	55°
裏金垂直作用角 $\theta_{(B)} (= \beta_{(B)} + \theta_{(k)})$	90°
裏金垂直作用長さ $l_{R(B)}$	9.0 mm
裏金垂直設置距離 $l_{(k)}$	0.15, 0.35, 0.55, 20.0 mm
バイアス角 $i_{(k)}$	0°, 15°, 30°, 45°, 60°
被削材樹種	ベイマツ気乾材
繊維傾斜角 φ	-10°, 0°, 10°, 20°, 30°
被削材切削幅 b	15~16 mm
被削材切削長さ l	60 mm
切込量 l_n	0.1 mm
切削速度(鉋刃移動速度) $V_{(w)}$	3.0 mm/sec

(注) 1. $\varphi = 0^\circ$ の場合に、切削面が板面(木表側)、切削方向が縦切削となることを基準として、10°間隔おきに $\varphi < 0^\circ$ および $\varphi > 0^\circ$ の試験片を作成した。切削方向に対して、試験片の φ は、 $\varphi < 0^\circ$ の場合は順目角度、 $\varphi = 0^\circ$ の場合は平行角度、 $\varphi > 0^\circ$ の場合は逆目角度とする。

2. $l_{(k)} = 20.0$ mm の場合は、裏金の作用のない場合を意味する。

表2 バイアス角 $i_{(k)}$ の変化に伴う切削方向に平行で切削速度ベクトルを含む鉋刃傾斜断面を基準とした鉋刃と裏金に係わる諸角度と長さの変化

(a) 関係する諸角度と長さの名称と記号

(b) 関係する諸角度と長さの変化

	切れ刃線方向に垂直な鉋刃垂直断面を基準とした場合	切削方向に平行な鉋刃傾斜断面を基準とした場合	$i_{(k)} (^{\circ})$					
			0	15	30	45	60	
鉋刃刃先角	$\beta_{(k)}$ (鉋刃垂直刃先角)	$\beta'_{(k)}$ (鉋刃傾斜刃先角)	$\beta'_{(k)} (^{\circ})$	32.0 (= $\beta_{(k)}$)	30.8	27.3	22.0	15.4
鉋刃切削角	$\theta_{(k)}$ (鉋刃垂直切削角)	$\theta'_{(k)}$ (鉋刃傾斜切削角)	$\theta'_{(k)} (^{\circ})$	35.0 (= $\theta_{(k)}$)	33.6	29.8	23.9	16.7
裏金先端角	$\beta_{(B)}$ (裏金垂直先端角)	$\beta'_{(B)}$ (裏金傾斜先端角)	$\beta'_{(B)} (^{\circ})$	55.0 (= $\beta_{(B)}$)	52.3	45.2	35.4	24.2
裏金作用角	$\theta_{(B)}$ (裏金垂直作用角)	$\theta'_{(B)}$ (裏金傾斜作用角)	$\theta'_{(B)} (^{\circ})$	90.0 (= $\theta_{(B)}$)	75.0	60.0	45.0	30.0
裏金設置距離	$\ell_{(k)}$ (裏金垂直設置距離)	$\ell'_{(k)}$ (裏金傾斜設置距離)	$\ell'_{(k)} (mm)$	0.35 (= $\ell_{(k)}$)	0.36	0.40	0.50	0.70
裏金作用長さ	$\ell_{R(B)}$ (裏金垂直作用長さ)	$\ell'_{R(B)}$ (裏金傾斜作用長さ)	$\ell'_{R(B)} (mm)$	9.00 (= $\ell_{R(B)}$)	9.32	10.40	12.73	18.00

(注) 1. 切削方向に平行な鉋刃傾斜断面を基準とした場合、ならびに切れ刃線に垂直な鉋刃垂直断面を基準とした場合における鉋刃と裏金に係わる諸角度と長さの関係は、以下のとおりである。

$$\begin{aligned} \beta'_{(k)} &= \sin^{-1}(\sin \beta_{(k)} \cdot \cos i_{(k)}) \\ \theta'_{(k)} &= \sin^{-1}(\sin \theta_{(k)} \cdot \cos i_{(k)}) \\ \beta'_{(B)} &= \sin^{-1}(\sin \beta_{(B)} \cdot \cos i_{(k)}) \\ \theta'_{(B)} &= \sin^{-1}(\sin \theta_{(B)} \cdot \cos i_{(k)}) \\ \ell'_{(k)} &= \ell_{(k)} / \cos i_{(k)} \\ \ell'_{R(B)} &= \ell_{R(B)} / \cos i_{(k)} \end{aligned}$$

2. $\ell'_{(k)}$ の変化は、 $\ell_{(k)}=0.35 \text{ mm}$ の場合を一例として、表中に示した。

いろいろな実験条件の組み合わせを設定した。

本研究における実験条件を表1に示す。同表に示すように、垂直刃先角 $\beta_{(k)}=32^{\circ}$ の鉋刃を、垂直逃げ角 $\alpha_{(k)}=3^{\circ}$ 一定になるように固定、即ち鉋刃の垂直切削角 $\theta_{(k)}=35^{\circ}$ 一定になるように鉋刃を固定し、その鉋刃のすくい面に垂直先端角 $\beta_{(B)}=55^{\circ}$ 、垂直作用長さ $\ell_{R(B)}=9.0 \text{ mm}$ の裏金を装着し、繊維傾斜角 φ の種々異なる試験片を切込量 $t_n=0.1 \text{ mm}$ 一定で、低速の切削速度で三次元縦切削を行った。切削実験では、 $\ell_{(k)}$ を $0.15 \sim 20.0 \text{ mm}$ の範囲で4段階に変化させ ($\ell_{(k)}=20.0 \text{ mm}$ の場合は、裏金を作用させない場合を意味する)、 $i_{(k)}$ を $0^{\circ} \sim 60^{\circ}$ の範囲で5段階に変化させ ($i_{(k)}=0^{\circ}$ の場合は、二次元切削を意味する)、 φ を -10° 、 0° 、 10° 、 20° 、 30° の5段階に変化させた ($\varphi < 0^{\circ}$ の場合は順目切削、 $\varphi = 0^{\circ}$ の場合は木理に平行切削、 $\varphi > 0^{\circ}$ の場合は逆目切削をそれぞれ意味する)。本研究では、超仕上鉋盤および二枚刃台鉋の切削を対象とした切削実験を行うが、“刃口の押えおよび屑返し”は設定しないで実験を進めることとした。

なお、本研究における実験条件下では、切削前の取付け状態における鉋刃と裏金に係わる諸角度と長さは、 $i_{(k)}$ の設定に伴い変化する。 $i_{(k)}$ の変化に伴う切削方向に平行で切削速度ベクトルを含む鉋刃傾斜断面を基準とした鉋刃と裏金に係わる諸角度と長さの変化を、表2に示した。

2.3 供試材

供試材には、ペイマツ (*Pseudotsuga menziesii*) を用いた。表3および図2に示すよう

に、正柢目木取りのベイマツ板材（柢目板）を用い、気乾状態で調湿したのち、切削方向に対する被削材の繊維走向の傾斜角（即ち、被削材繊維傾斜角） φ が -10° （切削方向に対して順目角度）、 0° （切削方向に対して平行角度）、 $10^\circ \sim 30^\circ$ の範囲で 10° 間隔おきの3段階の角度（切削方向に対して逆目角度）に変化するように、同板材から実験条件の組み合わせや実験繰返し数に相当する数の試験片を採取した（図2）。試験片採取後に、測定した被削材の材質を表3に示した。

表3 供試板材とその材質

樹 種	ベイマツ Douglas fir (<i>Pseudotsuga menziesii</i>)
容 積 重	0.61 g/cm ³
平均年輪幅	5.82 mm
晩 材 率	32.8 %
含 水 率	12.5 %

（注） 供試板材は、正柢目木取りのベイマツ気乾材であり、図2に示す寸法の板材を用いた。

2.4 切削実験装置と切削実験の方法

三次元切削実験は、図3に示す切削実験装置を用いて行った。同図に示すように、切削実験装置は、鉋刃切れ刃線方向に鉋刃を移動させる装置と、被削材に向って鉋刃を送り込む鉋刃の送り装置とから構成されている。

試験片③は、微小切込量設定装置④に固定され、さらに、それらは切削力を測定するための3分力測定装置（八角形弾性リング荷重装置）⑤に取付けられている。3分力測定装置⑤は、別個に設けられたコンクリート基礎台⑥に、L字型鋼鉄製フレーム⑧などを介して固定されている。

鉋刃①は、所定の垂直切削角 $\theta_{(K)}$ となるように、しかも切れ刃線方向に移動できるように特殊に設計された鉋台②（これについては後述する。図7参照）に固定され（鉋刃は表刃方式で固定）、それらはバイアス角 $i_{(K)}$ を設定するための円形定盤⑦を介して、鉋刃の送り装置⑩に固定されている。鉋台②および鉋刃の送り装置⑩は、それぞれリバーシブルモータ⑥および無段変速モータ⑨の回転によりV-ベルト⑬を介して、摺動レール（リニアウエイ）⑭および⑮上を移動する。

切削実験に先だち、直線状に研ぎ上げた長尺の直刃状鉋刃の切れ刃線が水平になるよう

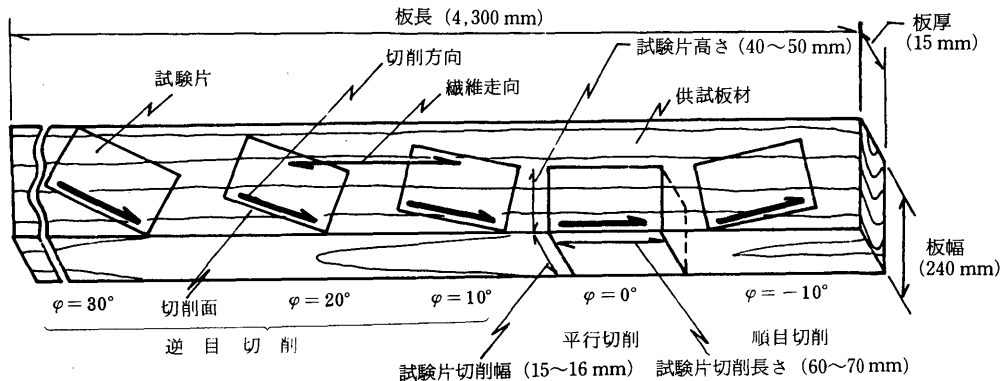


図2 供試板材（正柢目木取りの柢目板）からの試験片採取方法と板材の木理走向の関係
 φ ：繊維傾斜角

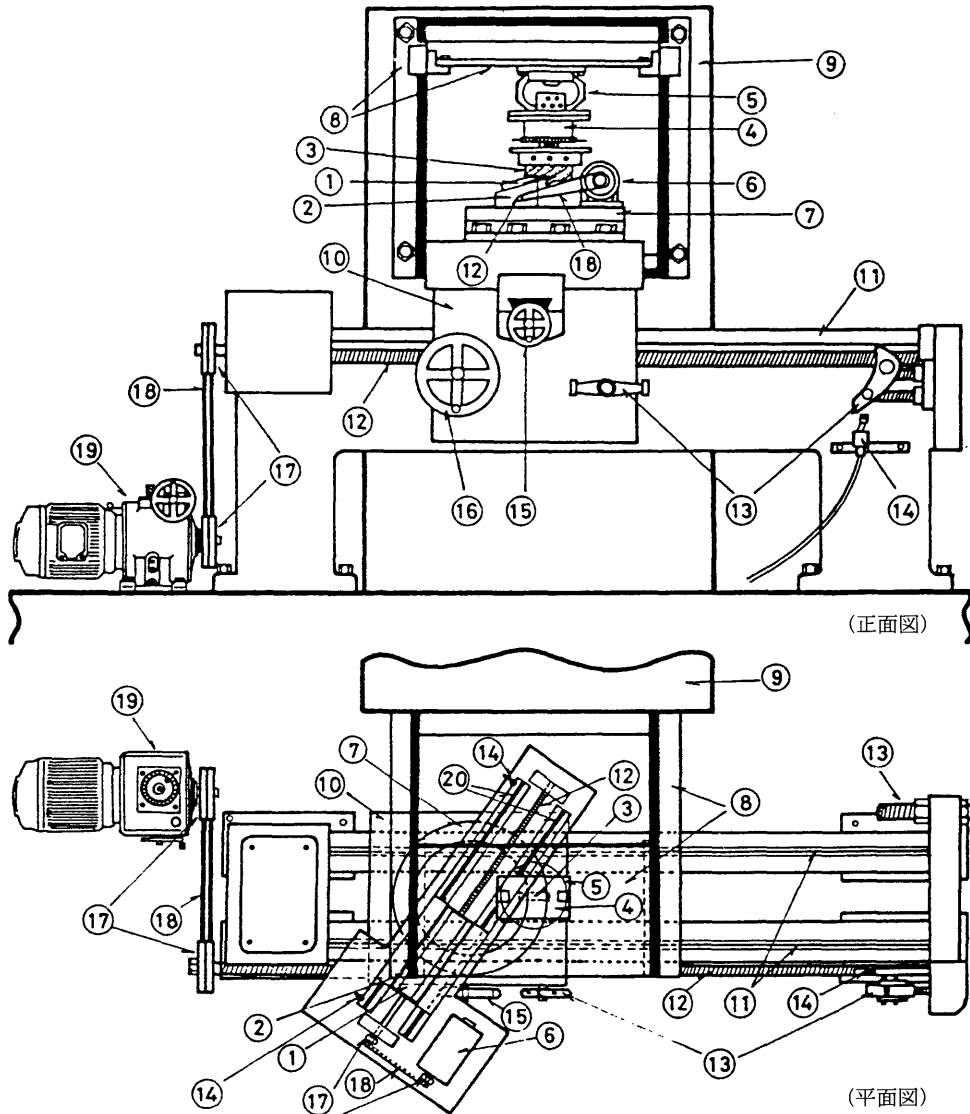


図3 切削実験装置の概要 (模式図)

- ①：鉋刃；②：鉋台；③：試験片；④：微小切込量設定装置；⑤：切削力3分力測定装置(八角形弾性リング荷重装置)；⑥：リバーシブルモータ(单相モータ)；⑦：鉋刃傾斜角(パイアス角)設定装置；⑧：切削力3分力測定装置⑤を固定するためのフレーム；⑨：フレーム⑧を固定するためのコンクリート基礎台；⑩：鉋台②の送り台；⑪：送り台⑩を移動させるための摺動レール；⑫：鉋台②を移動させるための親ネジ；⑬：送り台⑩の停止装置；⑭：親ネジ⑫の回転を停止するための電源遮断装置(リミットスイッチ)；⑮および⑯：送り台⑩を移動させるための手動ハンドル(⑮は送り台の送り方向に垂直な方向への移動ハンドル，⑯は送り台の送り方向に平行な方向への移動ハンドル)；⑰：プーリ；⑱：V-ベルト；⑲：無段変速モータ(三相モータ)；⑳：鉋刃切れ刃線方向へ鉋台を移動させるための摺動レール(リニアウエイ)

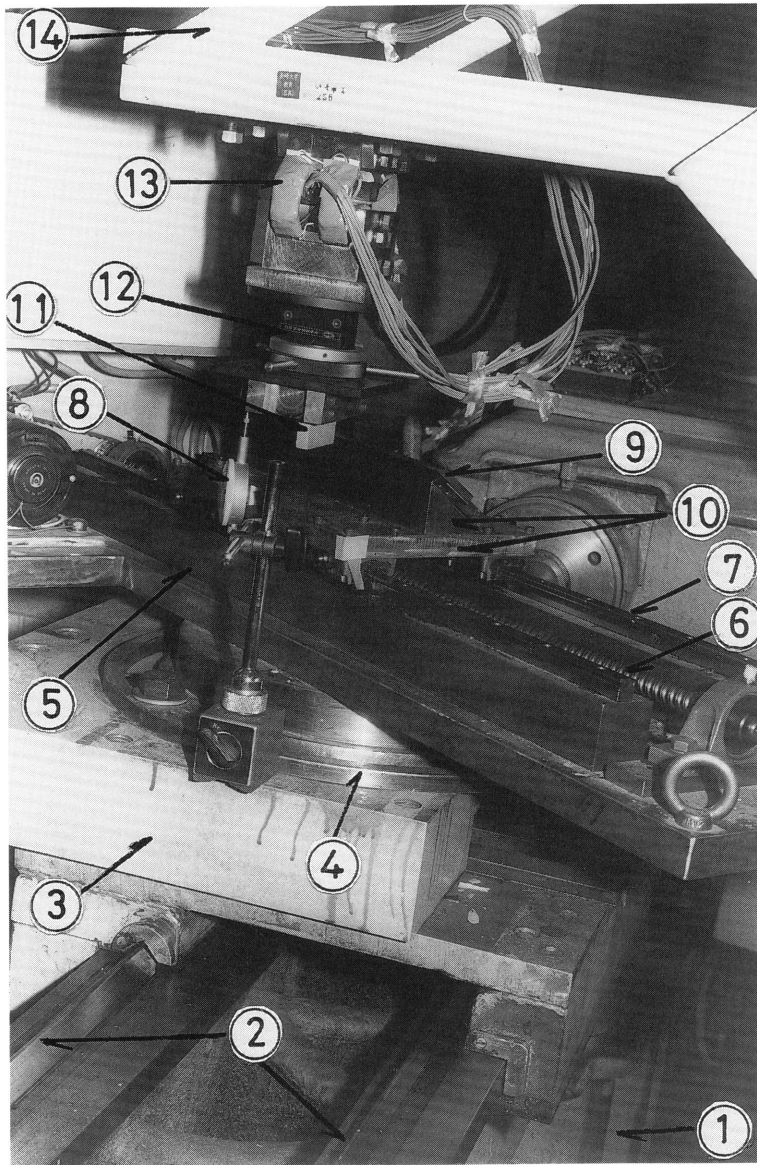


図4 切削実験装置の概要(写真)

①：実験装置本体；②：送り台を移動させるための摺動レール；③：鉋台の送り台；④：バイアス角設定装置；⑤：鉋刃切れ刃線方向移動装置；⑥：鉋刃を切れ刃線方向に移動させるための親ネジ；⑦：鉋刃を切れ刃線方向へ移動させるための摺動レール(リニアウエイ)；⑧：ダイヤルゲージ；⑨：鉋刃；⑩：鉋台；⑪：試験片；⑫：微小切込量設定装置；⑬：切削力3分力測定装置(八角形弾性リング荷重装置)；⑭：切削力3分力測定装置を固定するためのフレーム

に鉋台②に固定されていることを確認したのちに、微小な切込量を与えて試験片の切削面をならず目的で、⑥および⑨の両モータを回転させてならし切削を数回繰返して行った。とくに、逆目角度($\varphi > 0^\circ$ の場合)の試験片では、切削基準面に逆目ぼれが殆どない状態になるまで、既報の実験⁶⁾と同様の方法で引き切りの三次元縦切削(逆目切削)を繰返した。切削実験を開始する直前に、試験片の表面がいずれも一定の表面粗さとなるような切削基準面を作成したのちに、鉋刃に所定の切込量 t_n を与え、のちに鉋刃の送り装置に所定の送り速度 $V_{(w)}$ を与えて切削実験を開始した。本研究で使用した切削実験装置の概要を図4に示す。

2.5 供試鉋刃

実験に使用した直刃状鉋刃は、図5および図6に示すような形状のスロット(取付け孔)付き鍛接鉋刃で(兼房刃物工業(株)製)、切れ刃線長さは355 mm、刃金の材質は高速度鋼SKH3である。鉋刃の研ぎ角、即ち垂直刃先角 $\beta_{(K)}$ は 32° であり、その研磨はその都度製造メーカーに依頼した。

図7に示すように、鉋刃上部取付け治具を用いて、鉋刃下部取付け台に上記の鉋刃を表刃方式で固定する。鉋刃を固定する際に、裏金を鉋刃に装着する。裏金の固定に際しては、鉋刃切れ刃線全体および裏金先端線全体にわたって両線の間隔が一定の $l_{(K)}$ (裏金垂直設置距離)を保つように、しかも鉋刃切れ刃線や裏金先端線が水平になるように、微調整治具を駆使して調整を繰返し行った(図7)。

裏金の装着が終了したのち、予備の試験片を用いて一定の切込量 t_n の切削を行い、長尺の鉋刃切れ刃線のいずれの位置においても試験片への切込量 t_n に変化がないことを確かめ

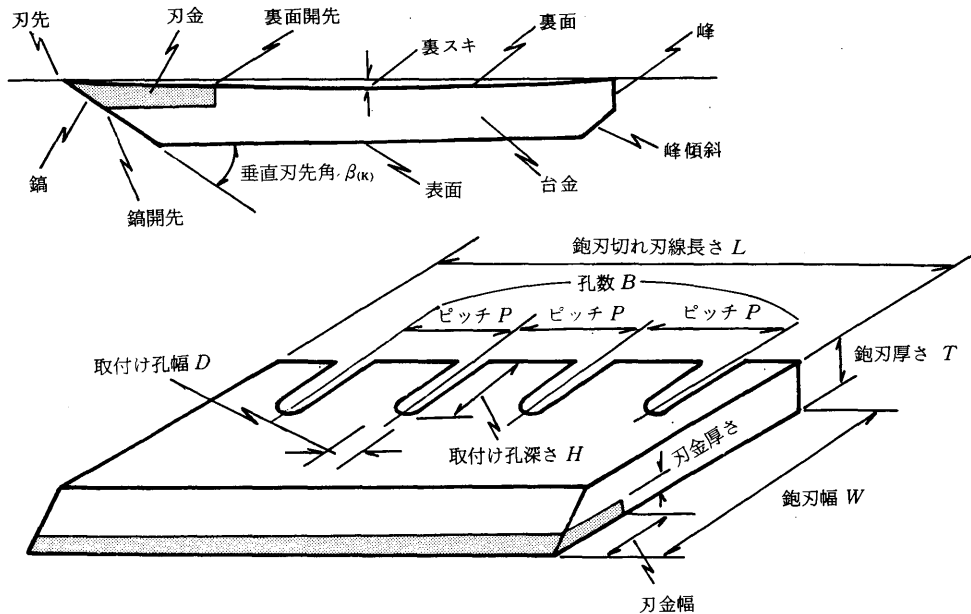


図5 供試鉋刃の概要(各部名称)

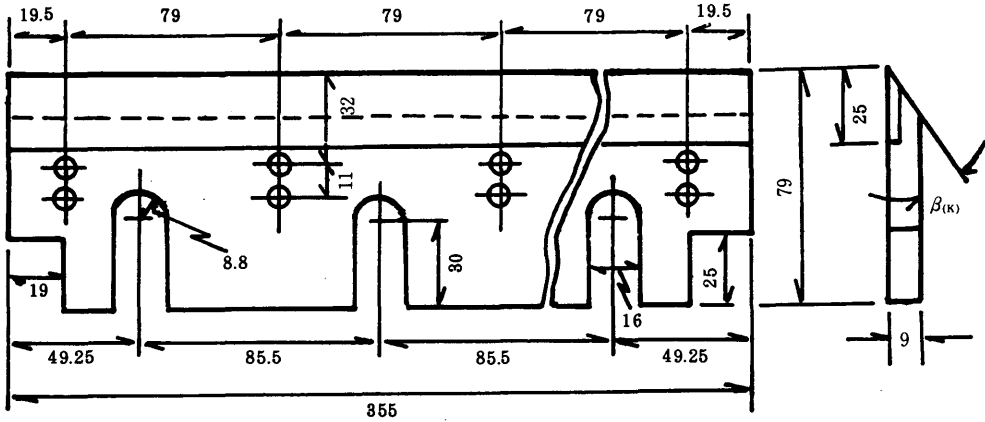


図6 供試鉋刃の形状・寸法

鉋刃刃金材質：高速度鋼 SKH3

記号 (L , W , T , B , P , D および $\beta_{(K)}$) : 図5の記載に同じ

L	W	T	B	P	D	$\beta_{(K)}$
355 mm	79 mm	9 mm	4	85.5 mm	16 mm	32.0°

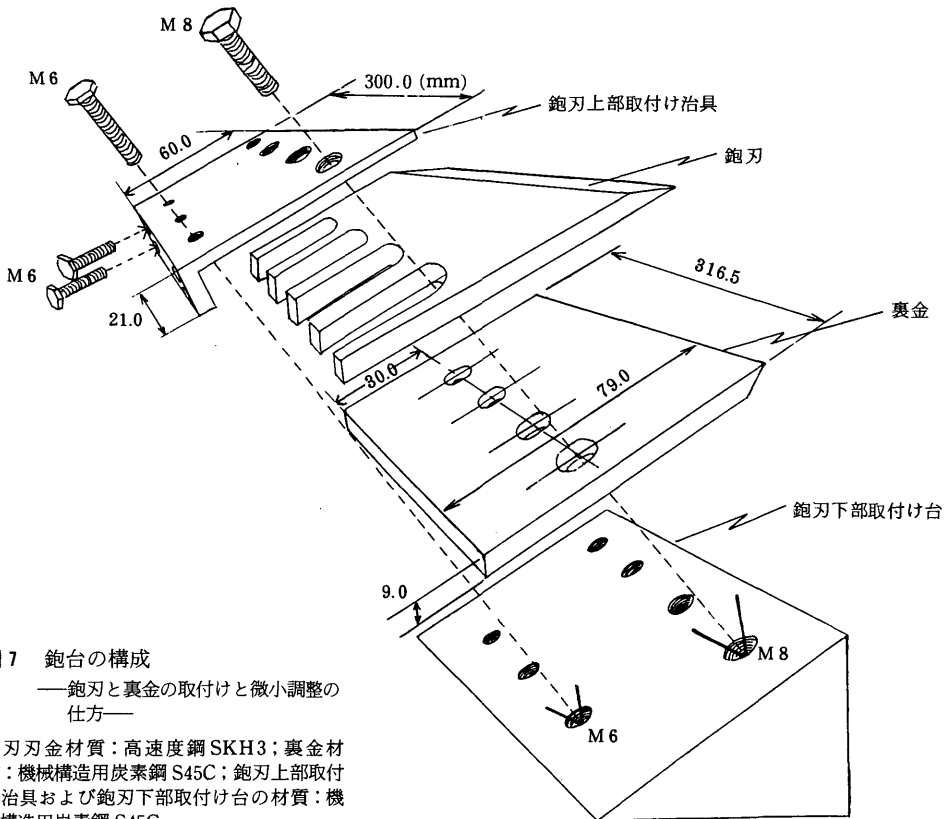


図7 鉋台の構成

—鉋刃と裏金の取付けと微小調整の仕方—

鉋刃刃金材質：高速度鋼 SKH3；裏金材質：機械構造用炭素鋼 S45C；鉋刃上部取付け治具および鉋刃下部取付け台の材質：機械構造用炭素鋼 S45C

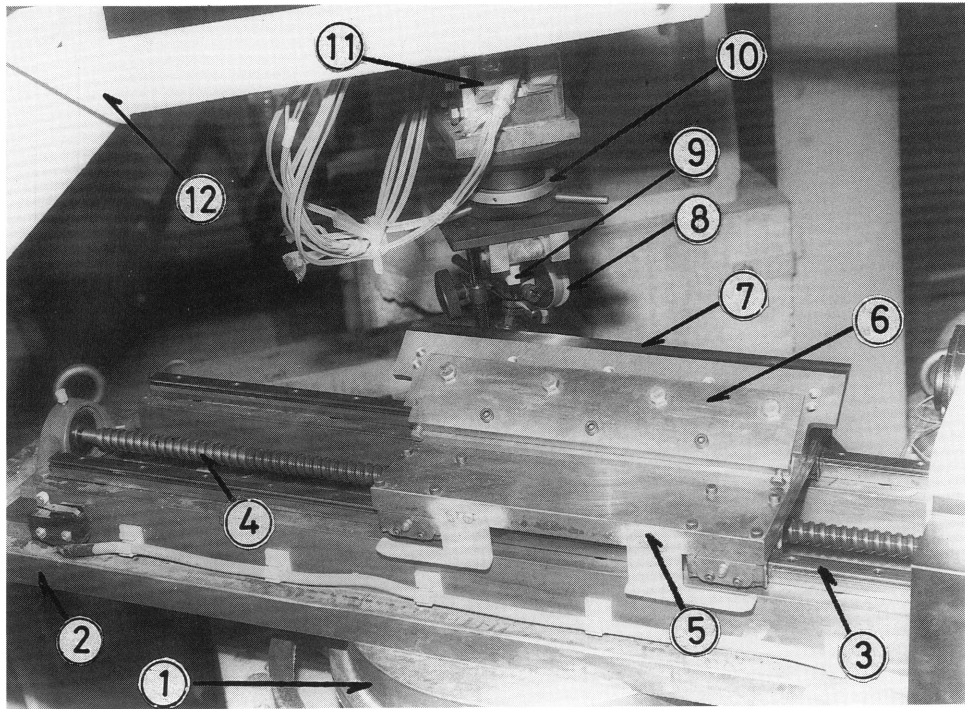


図8 切削実験装置への鉋刃の固定
(鉋刃逃げ面側から見た図)

①：バイアス角設定装置；②：鉋刃切れ線方向移動装置；③：鉋刃を切れ刃線方向へ移動させるための摺動レール(リニアウエイ)；④：鉋刃を切れ刃線方向へ移動させるための親ネジ；⑤：鉋台；⑥：鉋刃と裏金を鉋台に固定するための固定治具；⑦：鉋刃；⑧：ダイヤルゲージ；⑨：試験片；⑩：微小切込量設定装置；⑪：切削力3分力測定装置(八角形弾性リング荷重装置)；⑫：切削力3分力測定装置を固定するためのフレーム

た。鉋刃と裏金を装着した鉋台を切削実験装置に固定し、切削実験を行う様子を図8および図9に示した。

2.6 切削力3分力の測定

本研究における切削力の3分力の測定は、既報^{9)~11)}の方法に準じて行った。図3および図4に示すように、切削実験装置に固定された切削力3分力測定装置により、鉋刃により被削材に加えられた切削力 R (合力)が測定される。 R は、図10に図解するように、被削材の切削面を基準として、切削面上で鉋刃の切削方向に垂直な方向(X軸方向)、平行な方向(Y軸方向)および切削面に垂直な方向(Z軸方向)の3方向の分力に分解される。それぞれを横分力(X軸方向分力) F_x 、主分力(Y軸方向分力) F_y および背分力(Z軸方向分力) F_z と呼ぶ。これらの3分力の測定は、図11に示すように、切削力3分力測定装置を用いて、つぎのようにして行われる。

図11において、まず最初に、試験片①の切削面を平滑にしたのち(即ち、ならし切削を行ったのち)、微小切込量設定装置③を用いて、ダイヤルゲージで測定しながら試験片①に

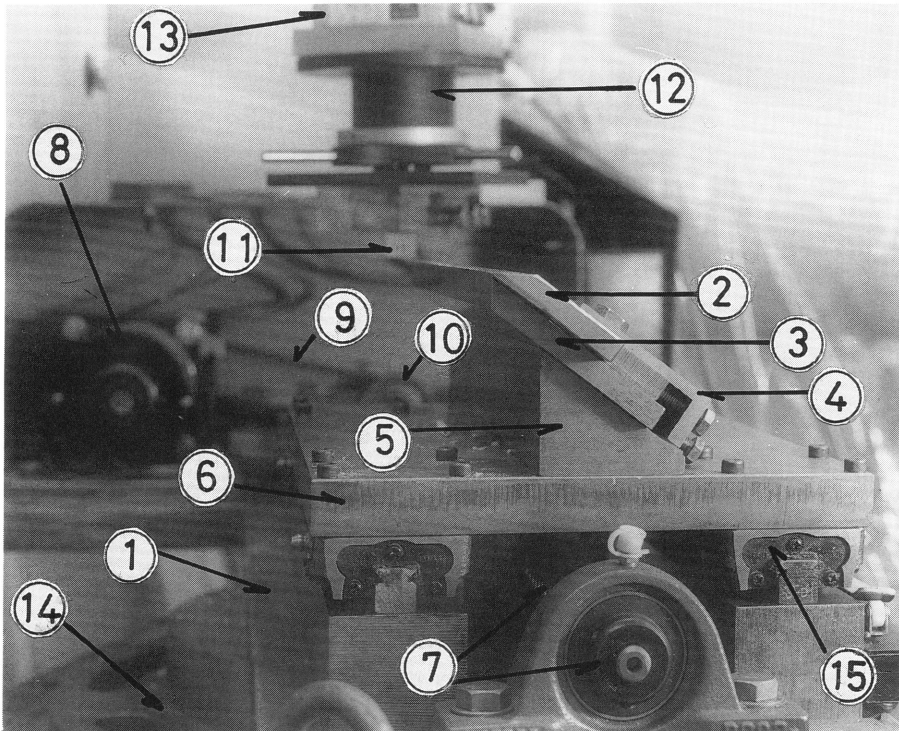


図9 切削実験装置への鉋刃の固定
(鉋刃側面から見た図)

①：鉋刃切れ刃線方向移動装置；②：鉋刃；③：裏金；④：鉋刃上部取付け治具；⑤：鉋刃下部取付け台；⑥：鉋台；⑦：鉋刃を切れ刃線方向へ移動させるための親ネジとその軸受；⑧：リバーシブルモータ；⑨：V-ベルト；⑩：プーリ；⑪：試験片；⑫：微小切込量設定装置；⑬：切削力3分力測定装置(八角形弾性リング荷重装置)；⑭：パイアス角設定装置(切削実験装置の送り台に固定されている)；⑮：リニアウエイ

切込量 t_n を与える。そのうち、鉋刃に切削速度 $V_{(w)}$ を与え、試験片⑪を切削すると、切削力3分力測定装置④により、上記3分力を測定し得る。なお、ダイヤルゲージで測定しつつ微小切込量設定装置により、試験片に切込量 t_n を与える様子を図12に示した。微小切込量設定装置の本体には、中央精機(株)製のZステージ(ダイヤルゲージ併用で読取可能な最小切込量は1/1,000 mmである)を用いた。

切削実験装置による三次元切削の様子を図13に示した。試験片のX軸、Y軸およびZ軸方向に加えられる切削力の3分力は、切削力3分力測定装置の中に仕込まれたX軸、Y軸およびZ軸のそれぞれの方向に撓み易い八角形状の弾性リングの微小変位として現れる。それらの変位は、弾性リングに貼付されたストレインゲージにより電氣的に増幅されて記録紙上に現れる。フォトコーダに記録された切削力の3分力波形のうち、一例として主分力 F_Y の波形を図14に示す。

図14に示すように、切削力主分力の測定には、切削長さにわたって現れた波形のうち切削の不安定な切削初期と切削末期を除いた中央部の一定長さを、分力の測定の対象範囲とした。測定範囲内に現れた波形の主な極大値 $f_{y1(\max)}$, $f_{y2(\max)}$, $f_{y3(\max)}$, …… $f_{yn(\max)}$ (mm)と、主な極小値 $f_{y1(\min)}$, $f_{y2(\min)}$, $f_{y3(\min)}$, …… $f_{yn(\min)}$ (mm)を測定し、それぞれの平均

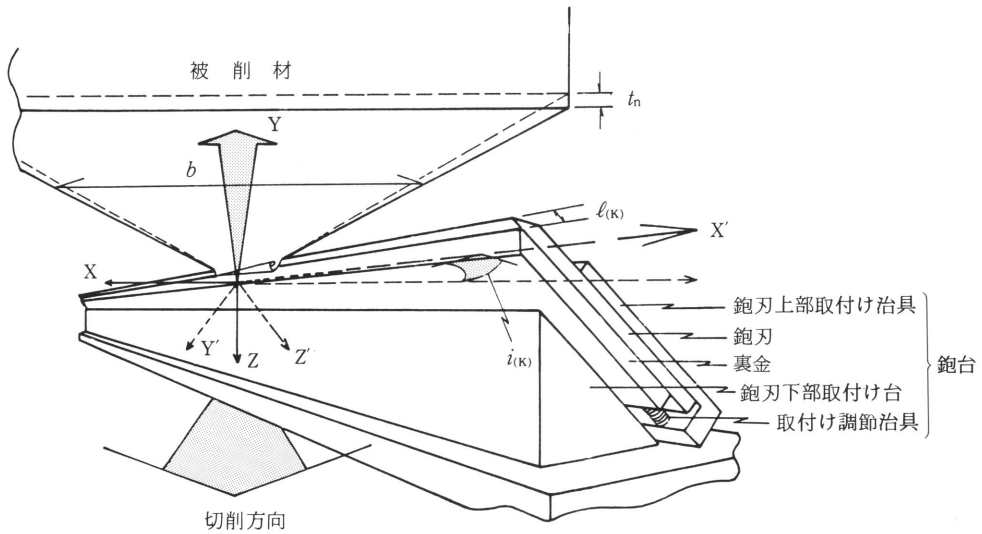


図10 三次元切削における切削力3分力の作用方向

XおよびY：切削面上における切削方向に垂直および平行な方向；Z：切削面に垂直な方向；X'およびZ'：鉋刃すくい面上における切れ刃線に平行および垂直な方向；Y'：鉋刃すくい面に垂直な方向； $\ell_{(k)}$ ：裏金垂直設置距離； $i_{(k)}$ ：鉋刃傾斜角(バイアス角)； b ：被削材切削幅； t_n ：切込量

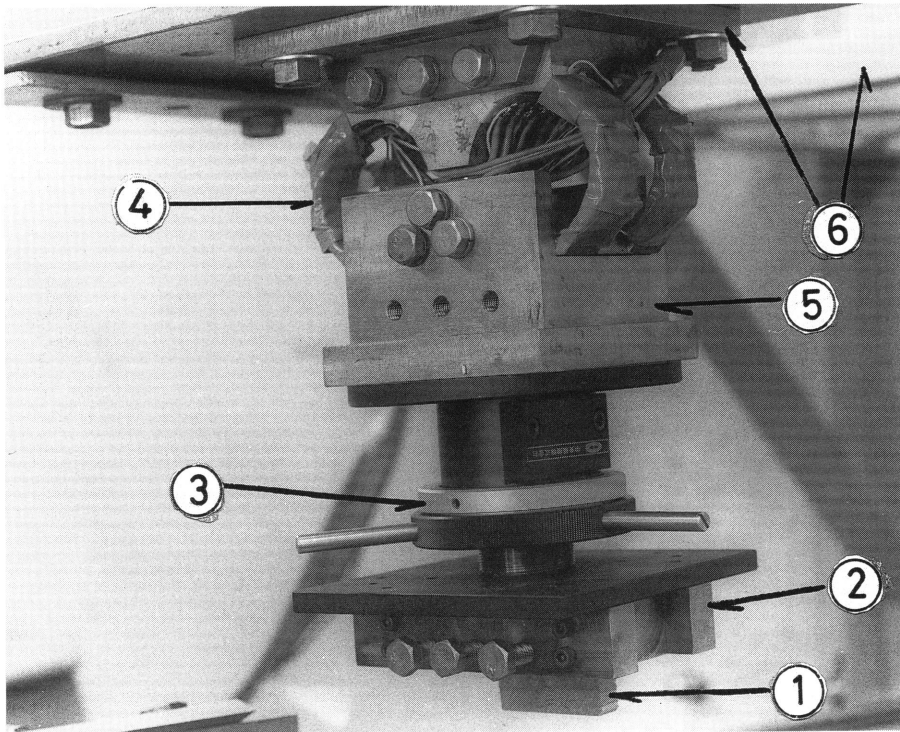


図11 切削力3分力測定装置と微小切込量設定装置

①：試験片；②：試験片固定治具；③：微小切込量設定装置；④：切削力3分力測定装置(八角形弾性リング荷重装置)；⑤：③と④を固定するための治具；⑥：④を固定するためのフレーム(フレーム自体はコンクリート基礎台に固定されている)

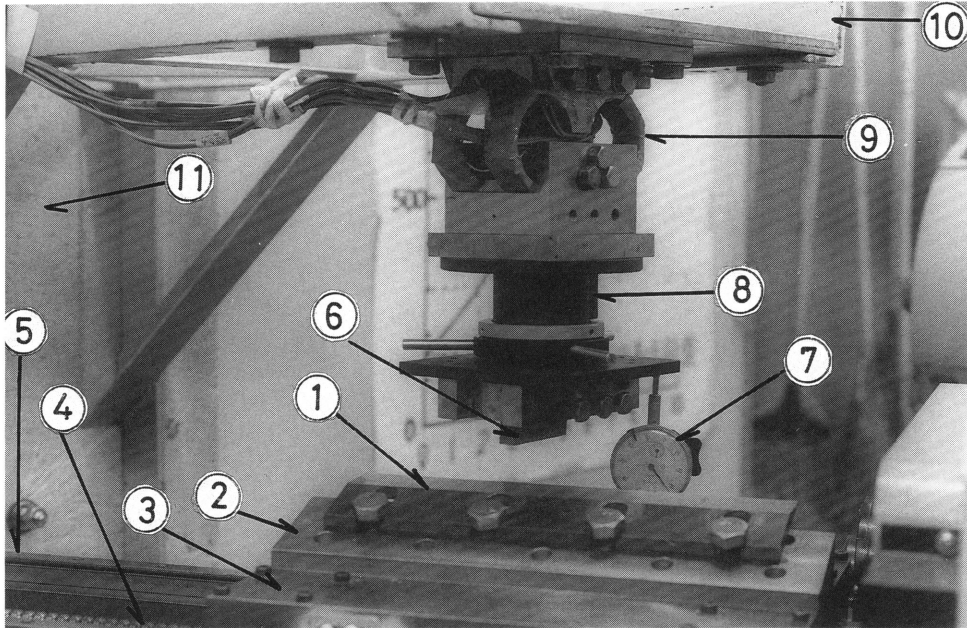


図12 微小切込量 t_n の設定の方法

- ①：鉋刃；②：鉋台；③：鉋刃切れ刃線方向移動装置；④：鉋刃を切れ刃線方向へ移動させるための親ネジ；⑤：鉋刃を切れ刃線方向へ移動させるための摺動レール(リニアウエイ)；⑥：試験片；⑦：ダイヤルゲージ；⑧：微小切込量設定装置；⑨：切削力3分力測定装置(八角形弾性リング荷重装置)；⑩：切削力3分力測定装置⑨を固定するための鋼鉄製フレーム；⑪：フレーム⑩を固定するためのコンクリート基礎台

値 $\overline{f_{y(\max)}}$, $\overline{f_{y(\min)}}$ を求めた。予め調べておいた切削力3分力測定装置に作用させた荷重の大きさ (kgf) とフォトコーダの記録紙上に現れた波形の大きさ (mm) との比例関係式の勾配 (kgf/mm) (即ち、較正実験の結果) に、上記の平均値 $\overline{f_{y(\max)}}$, $\overline{f_{y(\min)}}$ (mm) を乗じ、被削材切削幅 b (mm) で除して、それぞれの分力 $F_{y(\max)}$, $F_{y(\min)}$ (kgf/mm) を求めた。本研究では、主分力の大きさとして $F_{y(\max)}/b$ (以下では、単に F_y/b として表す) を用い、また、主分力の変動の大きさとして $F_{y(\max)}/b$ と $F_{y(\min)}/b$ の差、即ち切削力主分力の変動幅 $\Delta F_y/b (= F_{y(\max)}/b - F_{y(\min)}/b)$ とを用いて、主分力の変化を表すこととした。なお、横分力および背分力についても、主分力の場合と同様に、 F_x/b , $\Delta F_x/b$ および F_z/b , $\Delta F_z/b$ を算出して、それらの分力の変化を表すこととした。

それぞれの分力 F_x/b , F_y/b および F_z/b を用いると、切削力 (合力) R/b は、

$$R/b = \{(F_x/b)^2 + (F_y/b)^2 + (F_z/b)^2\}^{1/2} \quad (4)$$

で求められる。また、それぞれの分力の変動幅 $\Delta F_x/b$, $\Delta F_y/b$ および $\Delta F_z/b$ を用いると切削力 (合力) の変動幅 $\Delta R/b$ は、

$$\Delta R/b = \{(\Delta F_x/b)^2 + (\Delta F_y/b)^2 + (\Delta F_z/b)^2\}^{1/2} \quad (5)$$

で求められる。

これら3分力 (F_x/b , F_y/b および F_z/b) および合力 R/b , ならびに3分力の変動幅 ($\Delta F_x/b$, $\Delta F_y/b$ および $\Delta F_z/b$) および合力の変動幅 $\Delta R/b$ の大きさや変化の傾向を、 $i_{(k)}$, $\ell_{(k)}$ および φ のいろいろな組み合わせのもとで明らかにし、これら切削力の3分力および合力の変化を中心として、裏金を装着した直刃状鉋刃による木材の三次元縦切削についての検討を行う。

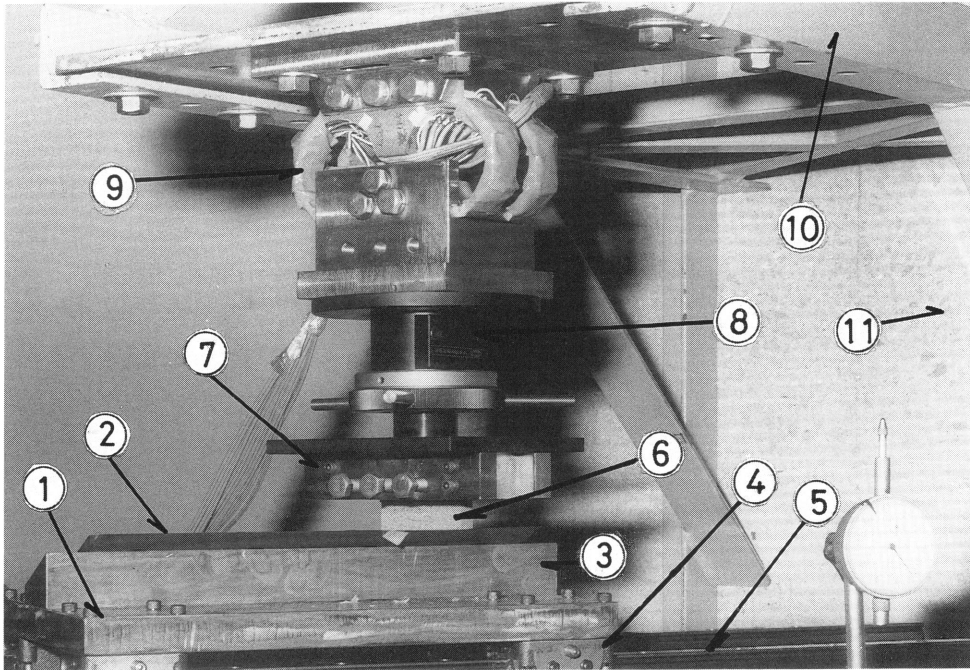


図13 切削実験装置による三次元切削の様子

①：鉋台；②：鉋刃；③：鉋刃下部取付け台；④：鉋刃切れ刃線方向移動装置；⑤：鉋刃を切れ刃線方向へ移動させるための摺動レール(リニアウエイ)；⑥：試験片；⑦：試験片固定治具；⑧：微小切込量設定装置；⑨：切削力3分力測定装置(八角形弾性リング荷重装置)；⑩：切削力3分力測定装置⑨を固定するための鋼鉄製フレーム；⑪：フレーム⑩を固定するためのコンクリート基礎台

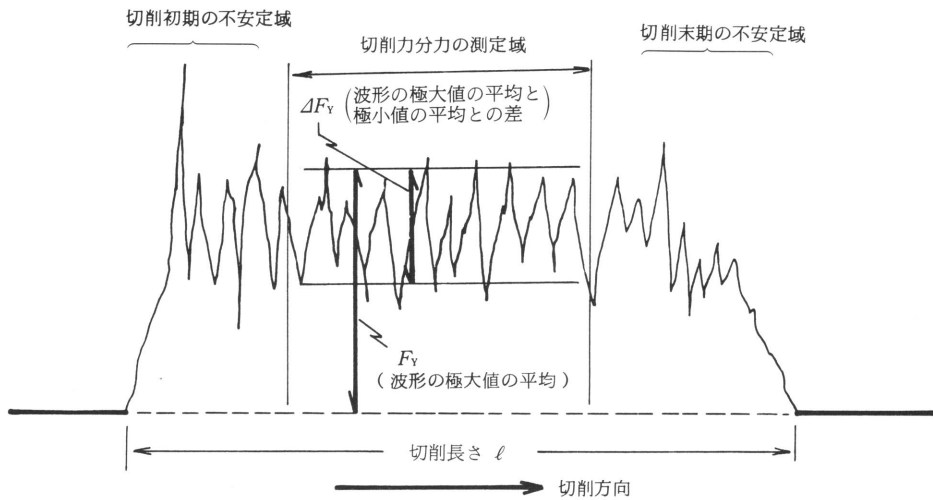


図14 オシログラムに描かれた切削力分力波形の一例と分力の測定の方法

F_Y ：測定された切削力主分力(Y軸方向分力)； ΔF_Y ：測定された切削力主分力(Y軸方向分力)の変動幅

3. 実験結果および考察

切削力の3分力(横分力 F_x/b , 主分力 F_y/b および背分力 F_z/b) および合力 R/b の大きさや変化の傾向を, バイアス角 $i_{(k)}$, 被削材繊維傾斜角 φ および裏金垂直設置距離 $l_{(k)}$ のいろいろな組み合わせ下で明らかにした。さらに, 切削力のそれぞれの分力の変動幅(横分力変動幅 $\Delta F_x/b$, 主分力変動幅 $\Delta F_y/b$ および背分力変動幅 $\Delta F_z/b$) および合力変動幅 $\Delta R/b$ をも, $i_{(k)}$, φ および $l_{(k)}$ の種々の組み合わせ下で明らかにした。

$i_{(k)}=0^\circ$ の場合は二次元切削の場合であり, このときの切削力やその変動幅を基準として, 三次元切削 ($i_{(k)}\neq 0^\circ$ の場合) における切削力やその変動幅の変化を明らかにすることができる。また, $l_{(k)}=20.0$ mm の場合は裏金を作用させない場合であり(切込量 $t_n=0.1$ mm の三次元縦切削では, 鉋刃すくい面への切屑の接触長さが20.0 mm を超えることはないから, $l_{(k)}=20.0$ mm の裏金設置は, 裏金を作用させない場合を意味する), このときの切削を基準として, 裏金を作用させた場合 ($0 < l_{(k)} \leq 0.55$ mm の場合で, 作用の程度は $l_{(k)}$ の大きさによって異なる) における切削力やその変動幅の変化を明らかにすることができる。さらに, $\varphi=0^\circ$ の場合は被削材の繊維走向が切削方向に平行な場合であり, このときの切削力やその変動幅を基準として, 被削材の繊維走向が切削方向に順目角度で斜交する場合 ($\varphi < 0^\circ$ の場合) および被削材の繊維走向が切削方向に逆目角度で斜交する場合 ($\varphi > 0^\circ$ の場合) における切削力やその変動幅の変化を明らかにすることができる。

3.1 切削力の変化に及ぼすバイアス角 $i_{(k)}$ の影響

$i_{(k)}$ の変化に伴う F_x/b , F_y/b および F_z/b の変化を図15 (a)に, $i_{(k)}$ の変化に伴う R/b の変化を図15 (b)に示す。

図15 (a)および図15 (b)は, いずれも, $l_{(k)}$ の各場合について (φ をパラメータとした場合), $i_{(k)}$ の変化に伴う切削力の3分力や合力の変化を示したものである。図より明らかなように, F_x/b は, $i_{(k)}=0^\circ$ の場合(二次元切削の場合)には $F_x/b=0$ となるが, $i_{(k)}$ を増加させると(三次元切削の場合), いずれの $l_{(k)}$ の場合も, また, いずれの φ の場合も増加傾向を示した。

F_z/b は, $l_{(k)}=20.0$ mm の場合(裏金を作用させない場合)には, $i_{(k)}$ の増加に伴い著しい減少と増加の傾向(即ち, 顕著なミニマムカーブを描く傾向) ($\varphi > 0^\circ$ の場合)か, あるいは緩やかな減少と増加の傾向(即ち, 緩やかなミニマムカーブを描く傾向) ($\varphi \leq 0^\circ$ の場合)を示したが, $l_{(k)}=0.15\sim 0.55$ mm の範囲の場合(裏金を作用させない場合)には, F_z/b は $i_{(k)}$ の増加に伴いほぼ一定で変化のない傾向か, 緩やかな減少傾向か, ミニマムカーブを描く傾向, のいずれかの傾向 ($l_{(k)}$ と φ の組み合わせによって異なる傾向)を示した。

F_y/b および R/b は, とともに $i_{(k)}$ の変化に伴う傾向が類似した。即ち, F_y/b および R/b は, $l_{(k)}=20.0$ mm の場合(裏金を作用させない場合)には, $i_{(k)}$ の増加に伴い顕著なミニマムカーブを描く傾向 ($\varphi > 0^\circ$ の場合)か, 減少傾向 ($\varphi = 0^\circ$ の場合)か, あるいは緩やかなミニマムカーブを描く傾向 ($\varphi < 0^\circ$ の場合)を示したが, $l_{(k)}=0.15\sim 0.55$ mm の範囲の場合(裏金を作用させた場合)には, F_y/b および R/b は $i_{(k)}$ の増加に伴い減少傾向 ($l_{(k)}$ の小さい場合で φ の全ての場合, および $l_{(k)}$ の大きい場合で $\varphi \leq 0^\circ$ の場合)か, あるいはミニマムカーブを描く傾向 ($l_{(k)}$ の大きい場合で $\varphi > 0^\circ$ の場合)を示した。

以上のような $i_{(k)}$ の変化に伴う切削力の3分力や合力の変化から, つぎのことが明らかとなった。裏金を作用させないと, $i_{(k)}=0^\circ$ または $i_{(k)}$ を小さく設定した場合には, $\varphi > 0^\circ$ の場合(逆目角度の場合)に著しく大きい切削力を示すが, 裏金を作用させることにより, このような切削力を減少させることができる。しかし, $\varphi \leq 0^\circ$ の場合(平行角度および順目

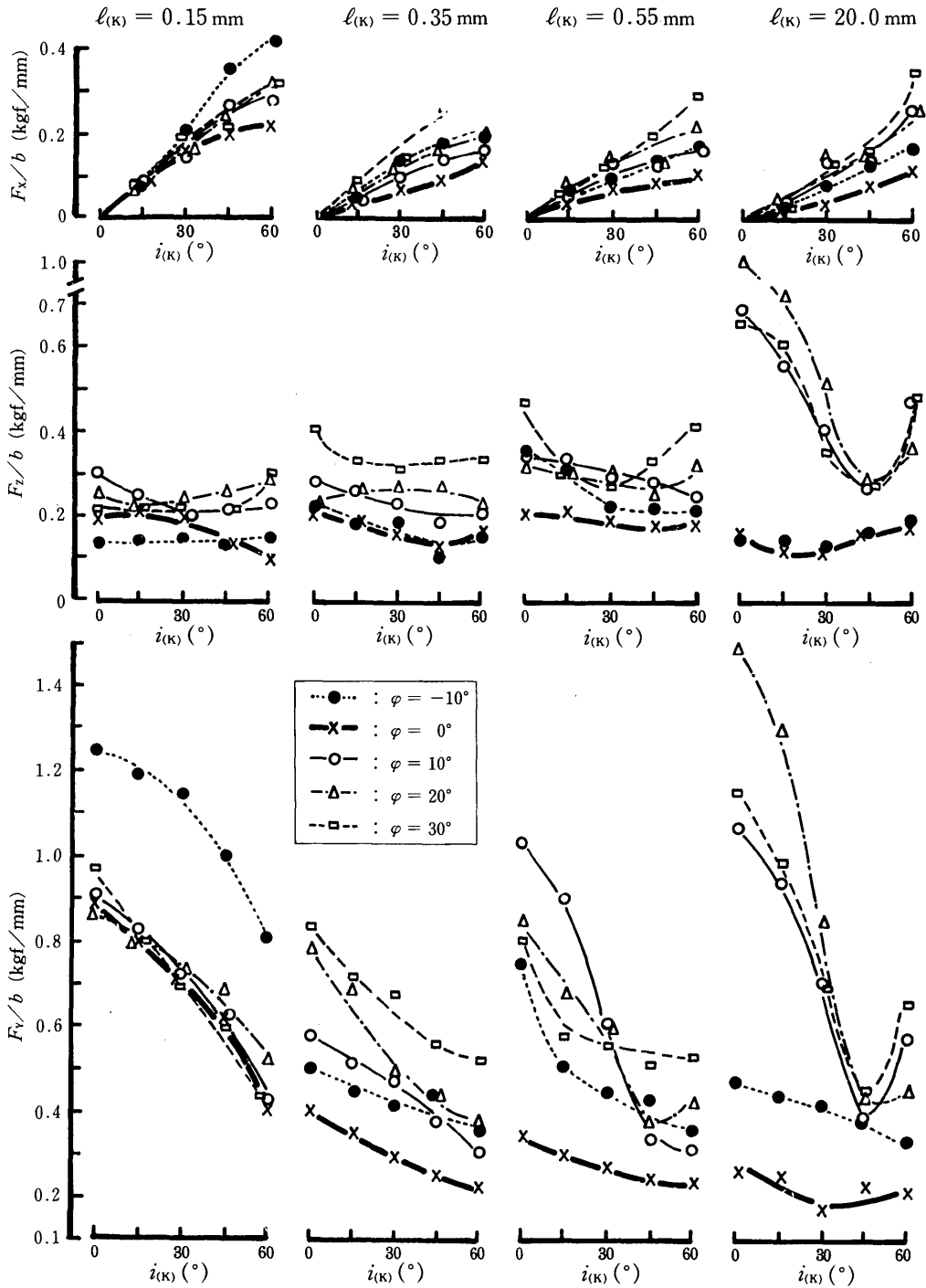


図15(a) バイアス角 $i_{(k)}$ の変化に伴う切削力の3分力(横分力 F_x/b , 主分力 F_y/b および背分力 F_z/b) の変化 (1)

—種々の裏金垂直設置距離 $l_{(k)}$ の場合 (繊維傾斜角 φ をパラメータとした場合)—

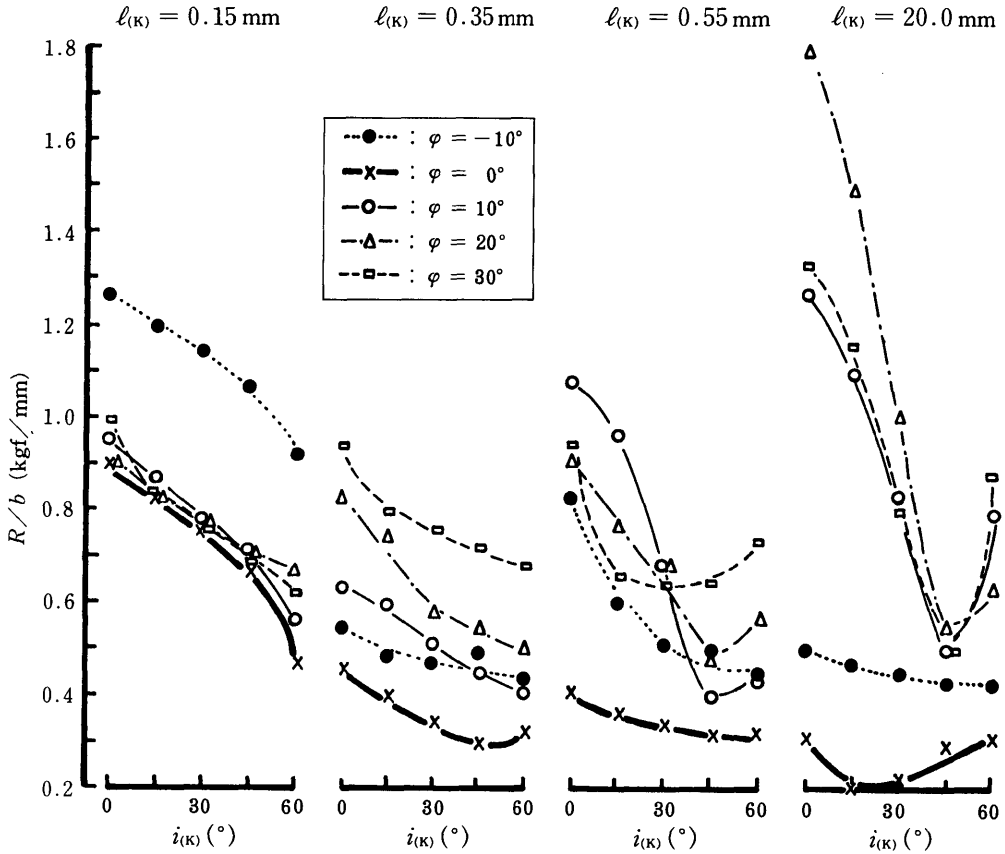


図15 (b) バイアス角 $i_{(K)}$ の変化に伴う切削力の合力 R/b の変化 (1)

—種々の裏金垂直設置距離 $l_{(K)}$ の場合 (繊維傾斜角 φ をパラメータとした場合)—

角度の場合) には、裏金を作用させない方が小さい切削力を示すが、裏金を作用させることによって、とくに、 $l_{(K)}$ を著しく小さくすると、このような $\varphi \leq 0^\circ$ の場合における小さな切削力も $\varphi > 0^\circ$ の場合とほぼ同程度の切削力の大きさに変化する。

$i_{(K)}$ の変化に伴う F_V/b および R/b の大きさから判断すれば、裏金を作用させた場合には、 $l_{(K)}=0.35$ mm の場合に、 $i_{(K)}$ の変化に伴う F_V/b および R/b の大きさが最も小さい。したがって、 $l_{(K)}=0.35$ mm の場合で、 $i_{(K)}$ を大きく設定すると、切削力は小さくなる。

つぎに、 $i_{(K)}$ の変化に伴う切削力の変動幅の変化を明らかにした。 $i_{(K)}$ の変化に伴う $\Delta F_X/b$ 、 $\Delta F_Z/b$ 、 $\Delta F_V/b$ および R/b の変化を図16に示す。

$\Delta F_X/b$ は、極めて小さい値であり、 $i_{(K)}$ の増加に伴い僅かながら増加傾向を示した。 $\Delta F_Z/b$ は、 $l_{(K)}=20.0$ mm の場合 (裏金を作用させない場合) には $i_{(K)}=0^\circ$ の場合 (二次元切削の場合) で大きい値を示したが、 $i_{(K)}$ の増加に伴い減少傾向を示した。 $l_{(K)}=0.15 \sim 0.35$ mm の範囲の場合 (裏金を作用させた場合) にも $i_{(K)}$ の増加に伴い $\Delta F_Z/b$ は減少傾向を示したが、その減少傾向の程度は $l_{(K)}=0.35$ mm の場合に最も小さくなった。

$i_{(K)}$ の変化に伴う $\Delta F_V/b$ および $\Delta R/b$ の変化の傾向は、類似した。 $\Delta F_V/b$ および $\Delta R/b$ は、 $l_{(K)}=20.0$ mm の場合 (裏金を作用させない場合) には $i_{(K)}=0^\circ$ の場合 (二次元切削の場合) に大きく、 $i_{(K)}$ の増加とともにそれらは著しく減少する ($i_{(K)}=60^\circ$ の場合で $\Delta F_V/b$ および $\Delta R/b$ が増加する場合もある)。 $l_{(K)}=0.15 \sim 0.55$ mm の範囲の場合 (裏金を作用させた場合) には、 $\Delta F_V/b$ および $\Delta R/b$ は $i_{(K)}$ の増加に伴い減少傾向を示すが、 $l_{(K)}=0.35$ mm の場合にはその減少傾

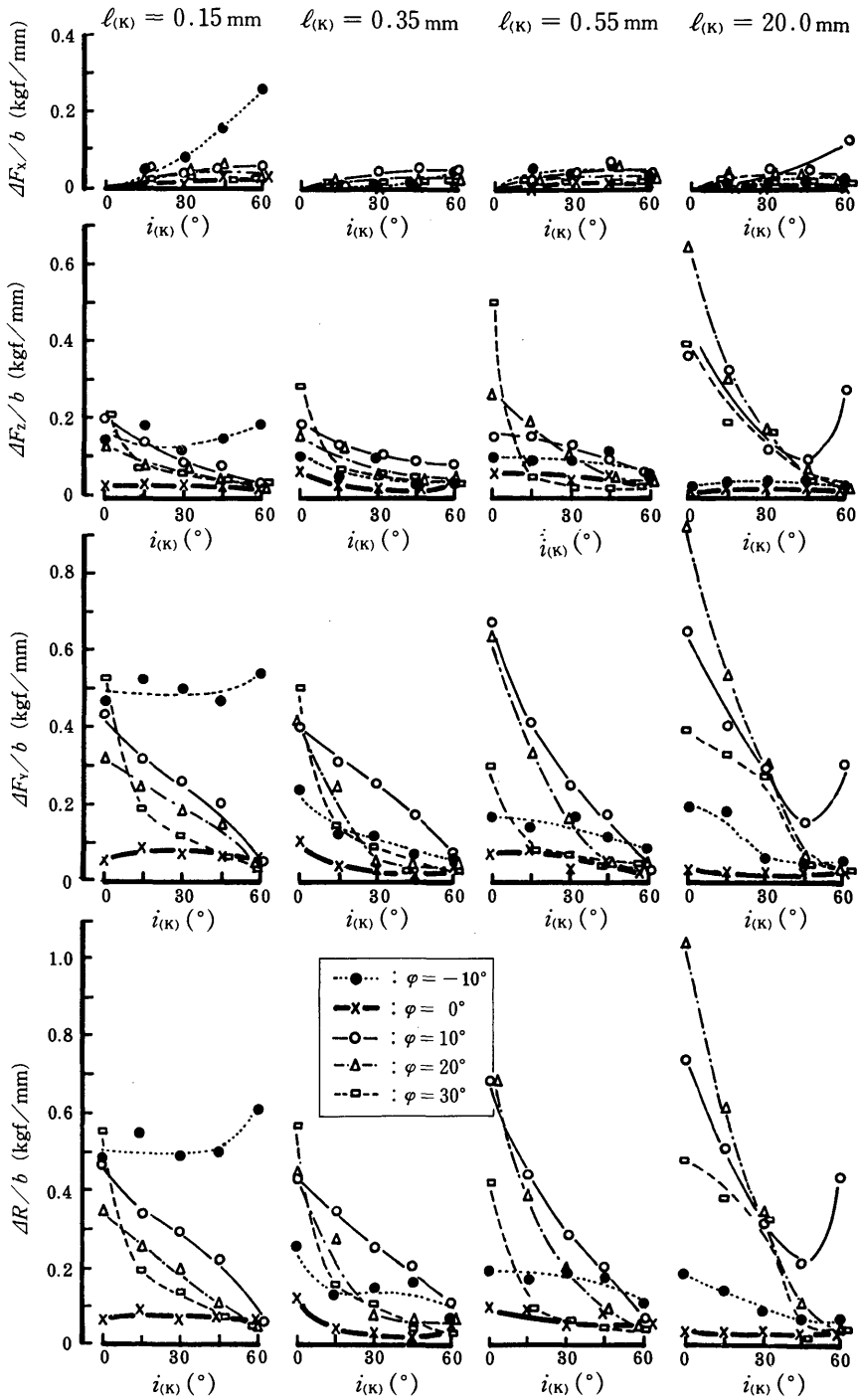


図16 バイアス角 $i_{(K)}$ の変化に伴う切削力の3分力および合力の変動幅(横分力変動幅 $\Delta F_x/b$, 主分力変動幅 $\Delta F_y/b$, 背分力変動幅 $\Delta F_z/b$ および合力変動幅 $\Delta R/b$) の変化 (1)

— 種々の裏金垂直設置距離 $l_{(K)}$ の場合 (繊維傾斜角 ϕ をパラメータとした場合) —

向の程度が最も小さくなる。

これらの切削力の3分力や合力の変動幅の大きさやそれらの変化の仕方から明らかのように、裏金を作用させない場合には $i_{(k)}=0^\circ$ の場合で変動幅が大きくなるが（ただし、 F_x/b の変動幅 $\Delta F_x/b$ は除く）、 $i_{(k)}$ の増加とともに変動幅は著しく減少する。裏金を作用させた場合には $l_{(k)}=0.35$ mm で $i_{(k)}$ を大きくすれば、切削力の3分力や合力の変動幅を小さくすることができる。

つぎに、 $i_{(k)}$ の変化に伴う切削力の3分力や合力、およびそれらの変動幅をいろいろな φ の場合についてとりまとめた。 $i_{(k)}$ の変化に伴う F_x/b 、 F_y/b 、 F_z/b および R/b の変化を、いろいろな φ の場合について ($l_{(k)}$ をパラメータとした場合について) とりまとめた結果を、図17に示す。

図17により、いろいろな φ の場合について、 $i_{(k)}$ の変化に伴う切削力の3分力や合力の変化の傾向が明らかとなった。即ち、 F_x/b は、 $i_{(k)}=0^\circ$ の場合（二次元切削の場合）には $F_x/b=0$ であるが、いずれの φ の場合にも、また、 $l_{(k)}=20.0$ mm（裏金を作用させない場合）および $l_{(k)}=0.15\sim 0.55$ mm の範囲の場合（裏金を作用させた場合）のいずれの場合も、 $i_{(k)}$ の増加に伴い増加傾向を示した。 F_z/b は、 $\varphi=0^\circ$ の場合（平行角度の場合）および $\varphi<0^\circ$ の場合（順目角度の場合）には、 $l_{(k)}=20.0$ mm の場合（裏金を作用させない場合）および $l_{(k)}=0.15\sim 0.55$ mm の範囲の場合（裏金を作用させた場合）のいずれの場合も、 $i_{(k)}$ の増加に伴いほぼ一定で変化のない傾向か、 $i_{(k)}=30^\circ\sim 45^\circ$ で最小値をもつ緩やかなミニマムカーブを描く傾向を示したが、 $\varphi>0^\circ$ の場合（逆目角度の場合）には、 $i_{(k)}$ の増加に伴い $l_{(k)}=20.0$ mm の場合（裏金を作用させない場合）に顕著なミニマムカーブを描く傾向を示し、 $l_{(k)}=0.15\sim 0.55$ mm の範囲の場合（裏金を作用させた場合）にはほぼ一定で変化のない傾向か、極めて緩やかなミニマムカーブを描く傾向を示した。

$i_{(k)}$ の変化に伴う F_y/b および R/b の変化は、ともに類似した傾向を示した。 $\varphi=0^\circ$ の場合（平行角度の場合）には、 F_y/b および R/b は $i_{(k)}$ の増加に伴い $l_{(k)}=20.0$ mm の場合（裏金を作用させない場合）にミニマムカーブを描く傾向を、また、 $l_{(k)}=0.15\sim 0.55$ mm の範囲の場合（裏金を作用させた場合）に減少傾向を示した。 $\varphi<0^\circ$ の場合（順目角度の場合）には、 F_y/b および R/b は、 $i_{(k)}$ の増加に伴い $l_{(k)}=20.0$ mm の場合（裏金を作用させない場合）および $l_{(k)}=0.15\sim 0.55$ mm の範囲の場合（裏金を作用させた場合）のいずれの場合も減少傾向を示した。 $\varphi>0^\circ$ の場合（逆目角度の場合）には、 F_y/b および R/b は、 $i_{(k)}$ の増加に伴い $l_{(k)}=20.0$ mm の場合（裏金を作用させない場合）に顕著なミニマムカーブを描く傾向を、 $l_{(k)}=0.15\sim 0.55$ mm の範囲の場合（裏金を作用させた場合）に減少傾向 ($l_{(k)}$ の小さい場合) か、緩やかなミニマムカーブを描く傾向 ($l_{(k)}$ の比較的大きい場合) を示した。

以上のように、裏金を作用させない場合 ($l_{(k)}=20.0$ mm の場合) と比較すると、裏金を作用させた場合 ($l_{(k)}=0.15\sim 0.55$ mm の範囲の場合) には、 $i_{(k)}$ の変化に伴う切削力の3分力や合力の変化の傾向が、 $\varphi=0^\circ$ の場合（平行角度の場合）、 $\varphi<0^\circ$ の場合（順目角度の場合）、 $\varphi>0^\circ$ の場合（逆目角度の場合）など、いろいろな φ の場合において比較的類似した。しかし、裏金を作用させない場合には、いろいろな φ の場合に、切削力の3分力や合力の変化の傾向が著しく異なった。長い材長の板材の仕上げ切削 ($\varphi=0^\circ$ の場合を基準) では、種々の φ の変化が起り得るから、上記のような φ の変化が起ったとしても、 $i_{(k)}$ の変化に伴う切削力の3分力や合力の変化の傾向がいずれの φ の場合にも比較的類似することを意味し、この種の仕上げ切削には、裏金を装着することが必要であることを意味している。

そこでつぎには、 $i_{(k)}$ の変化に伴う切削力の変動幅の変化を、いろいろな φ の場合について ($l_{(k)}$ をパラメータとした場合について) とりまとめ、それらの結果の一例 (合力の変動幅 $\Delta R/b$ の変化) を図18に示す。

図18より明らかのように、 $i_{(k)}$ の増加に伴い $\Delta R/b$ は、いずれの φ の場合も減少傾向を示した。 $\varphi=0^\circ$ の場合（平行角度の場合）には、 $\Delta R/b$ は小さい値で、 $i_{(k)}$ の変化に伴う減少傾向の程度も他の φ の場合に比して最も小さくなっている。 $\varphi<0^\circ$ の場合（順目角度の場合）には、 $l_{(k)}$ を著しく小さくすると ($l_{(k)}=0.15$ mm の場合)、 $\Delta R/b$ は大きい値で、しかも $i_{(k)}$ を増加させた場合にも $\Delta R/b$ は減少しない。 $\varphi>0^\circ$ の場合（逆目角度の場合）には、 $\Delta R/b$ は $i_{(k)}=0^\circ$ の場合（二次元切削の場合）に最も大きい、 $i_{(k)}$ の増加に伴い $\Delta R/b$ は著しい減少傾向を示した（とくに、 $\varphi=20^\circ$ の

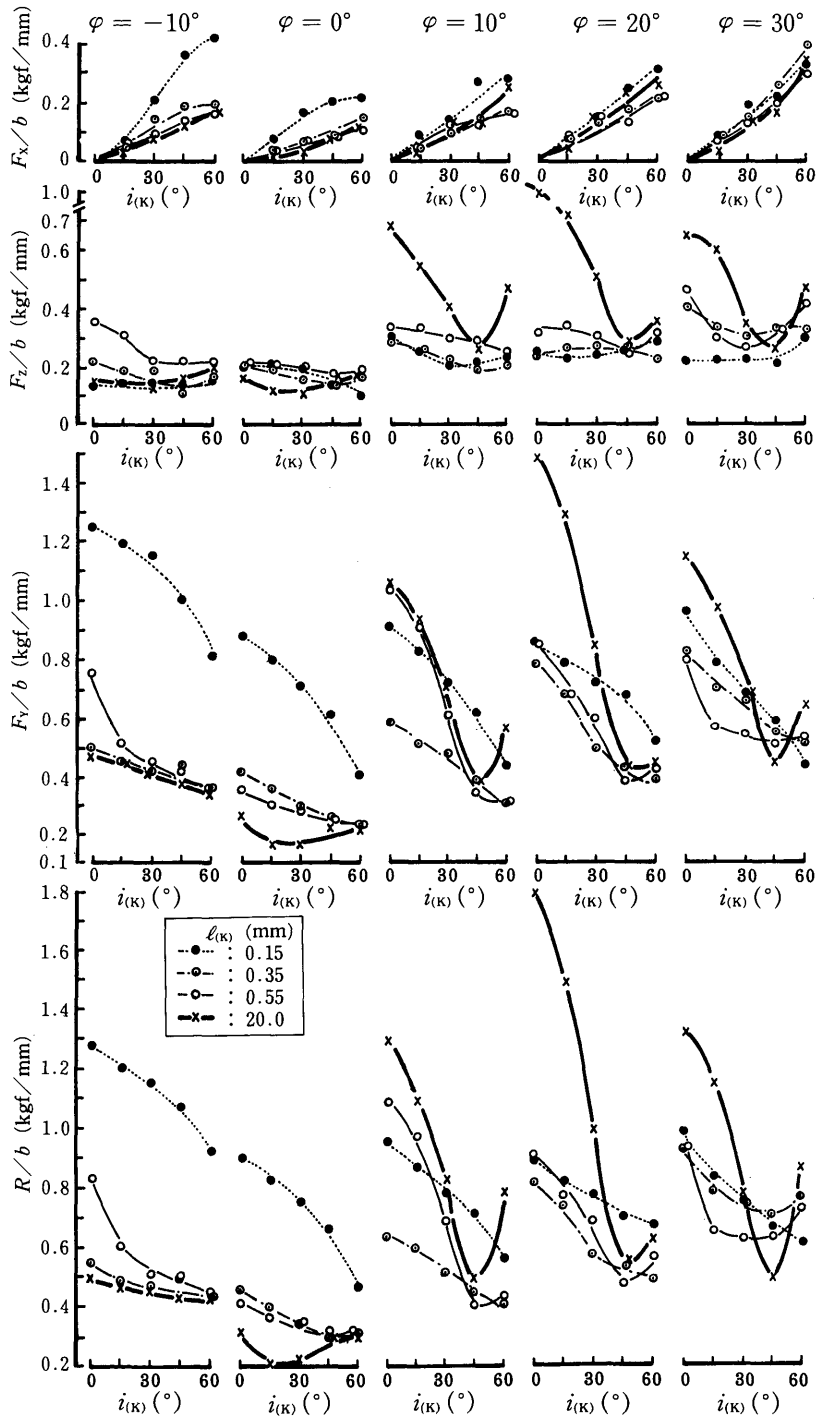


図17 バイアス角 $i_{(K)}$ の変化に伴う切削力の3分力(横分力 F_x/b , 主分力 F_y/b , および背分力 F_z/b) および合力 R/b の変化(2)

—種々の繊維傾斜角 φ の場合 (裏金垂直設置距離 $l_{(K)}$ をパラメータとした場合) —

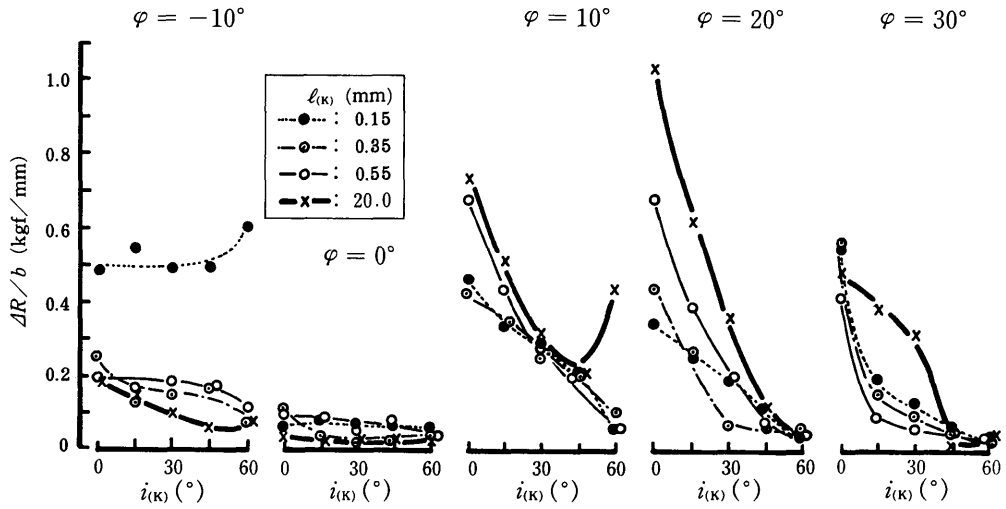


図18 バイアス角 $i_{(K)}$ の変化に伴う切削力の合力 R/b の変動幅 $\Delta R/b$ の変化 (2)
 —種々の繊維傾斜角 φ の場合 (裏金垂直設置距離 $l_{(K)}$ をパラメータとした場合)—

場合に、最も減少傾向が著しい)。

以上のように、 $\varphi \leq 0^\circ$ の場合 (平行角度および順目角度の場合) には、 $l_{(K)}$ を著しく小さくしない程度に設置すれば、 $\Delta R/b$ は小さく、しかも $i_{(K)}$ の変化に伴い $\Delta R/b$ の変化の程度も小さい。 $\varphi > 0^\circ$ の場合 (逆目角度の場合) には、 $l_{(K)} = 20.0$ mm の場合 (裏金を作用させない場合) よりも $l_{(K)} = 0.15 \sim 0.55$ mm の範囲の場合 (裏金を作用させた場合) の方が $\Delta R/b$ は小さいが、 $l_{(K)} = 20.0$ mm の場合および $l_{(K)} = 0.15 \sim 0.55$ mm の範囲の場合のいずれの場合も $\Delta R/b$ の変化は、 $i_{(K)}$ を増加させることによって著しく小さくなる。

3.2 切削力の変化に及ぼす被削材繊維傾斜角 φ の影響

被削材繊維傾斜角 φ の変化に伴う切削力の3分力 (横分力 F_x/b 、主分力 F_y/b および背分力 F_z/b) および合力 R/b の変化を、いろいろな裏金垂直設置距離 $l_{(K)}$ の場合について (バイアス角 $i_{(K)}$ をパラメータとした場合について) とりまとめ、それらを図19(a)および図19(b)に示した。

図19より明らかなように、 F_x/b は、 $l_{(K)} = 20.0$ mm の場合 (裏金を作用させない場合) および $l_{(K)} = 0.15 \sim 0.55$ mm の範囲の場合 (裏金を作用させた場合) のいずれの場合も、 $\varphi = 0^\circ$ の場合 (平行角度の場合) で最小値を示し、 $\varphi < 0^\circ$ の場合 (順目角度の場合) および $\varphi > 0^\circ$ の場合 (逆目角度の場合) へ変化するに伴い増加傾向を示した。 $l_{(K)}$ を著しく小さくすると、 φ の変化に伴う F_x/b の変化は、 $\varphi > 0^\circ$ の場合 (逆目角度の場合) よりも $\varphi < 0^\circ$ の場合 (順目角度の場合) に著しく大きくなる (即ち、 $\varphi < 0^\circ$ の場合に F_x/b が大きい値を示す。なお、この傾向は $i_{(K)}$ の大きい場合ほど顕著に現れる)。 $l_{(K)}$ を大きくする ($l_{(K)} = 0.55$ mm の場合) か、または $l_{(K)}$ を著しく大きく設定して裏金を作用させない場合 ($l_{(K)} = 20.0$ mm の場合) には、 $l_{(K)}$ の小さい場合とは逆に、 φ の変化に伴う F_x/b の変化は $\varphi < 0^\circ$ の場合 (順目角度の場合) よりも $\varphi > 0^\circ$ の場合 (逆目角度の場合) に著しく大きくなる (即ち、 $\varphi > 0^\circ$ の場合に F_x/b が大きい値を示す。なお、この傾向は $i_{(K)}$ の大きい場合ほど顕著に現れる)。 F_z/b は、 $l_{(K)} = 20.0$ mm の場合 (裏金を作用させない場合) および $l_{(K)} = 0.15 \sim 0.55$ mm の範囲の場合 (裏金を作用させた場合) のいずれの場合も、 F_x/b の場合とほぼ同様に、 $\varphi = 0^\circ$ の場合 (平行角度の場合) で最小値を示し、 $\varphi < 0^\circ$ の場合 (順目角度の場合) および $\varphi > 0^\circ$ の場合 (逆目角度の場合)

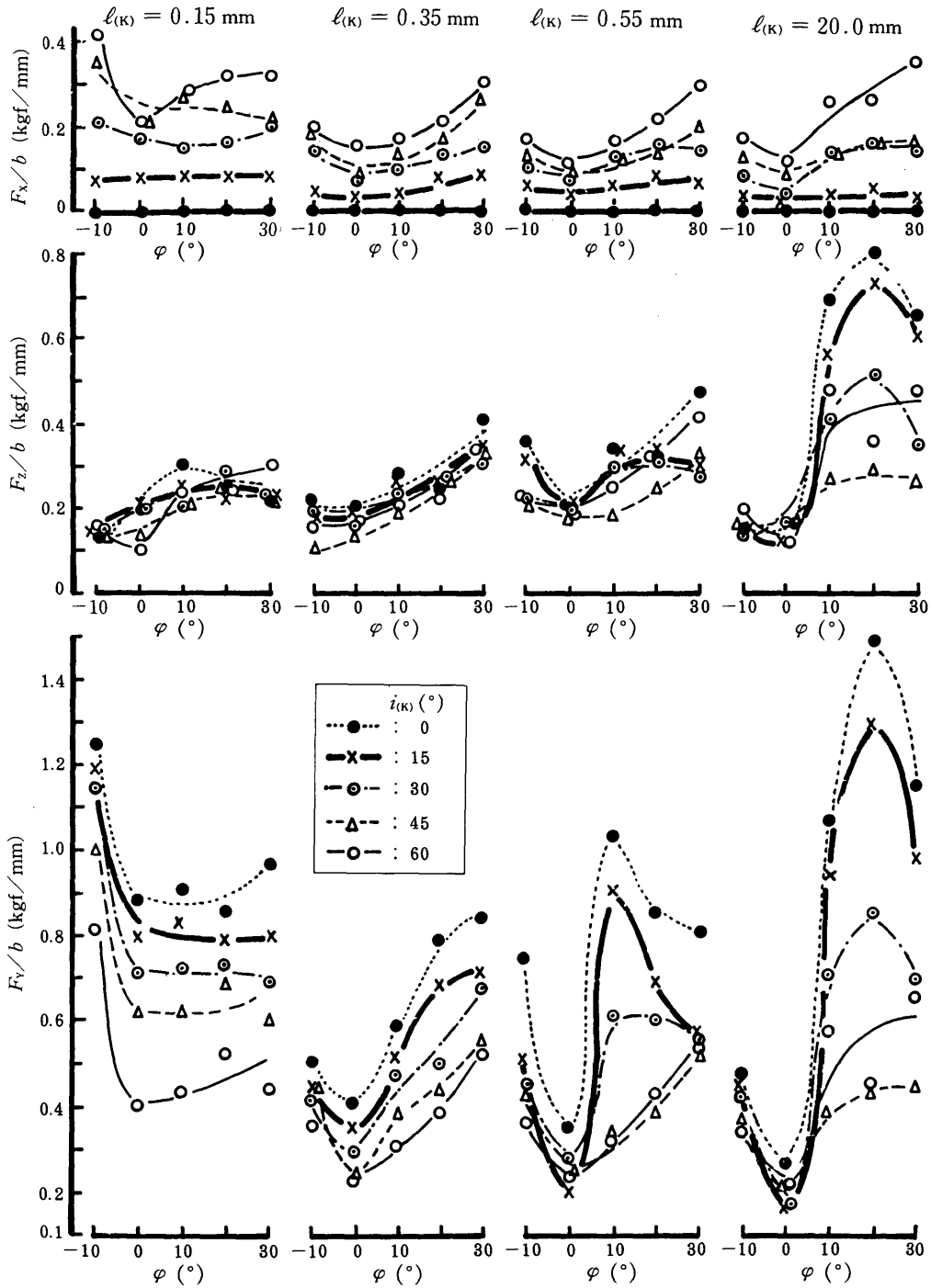


図19 (a) 繊維傾斜角 φ の変化に伴う切削力の3成分(横分力 F_x/b , 主分力 F_y/b および背分力 F_z/b) の変化 (1)
 —種々の裏金垂直設置距離 $l_{(k)}$ の場合 (バイアス角 $i_{(k)}$ をパラメータとした場合)—

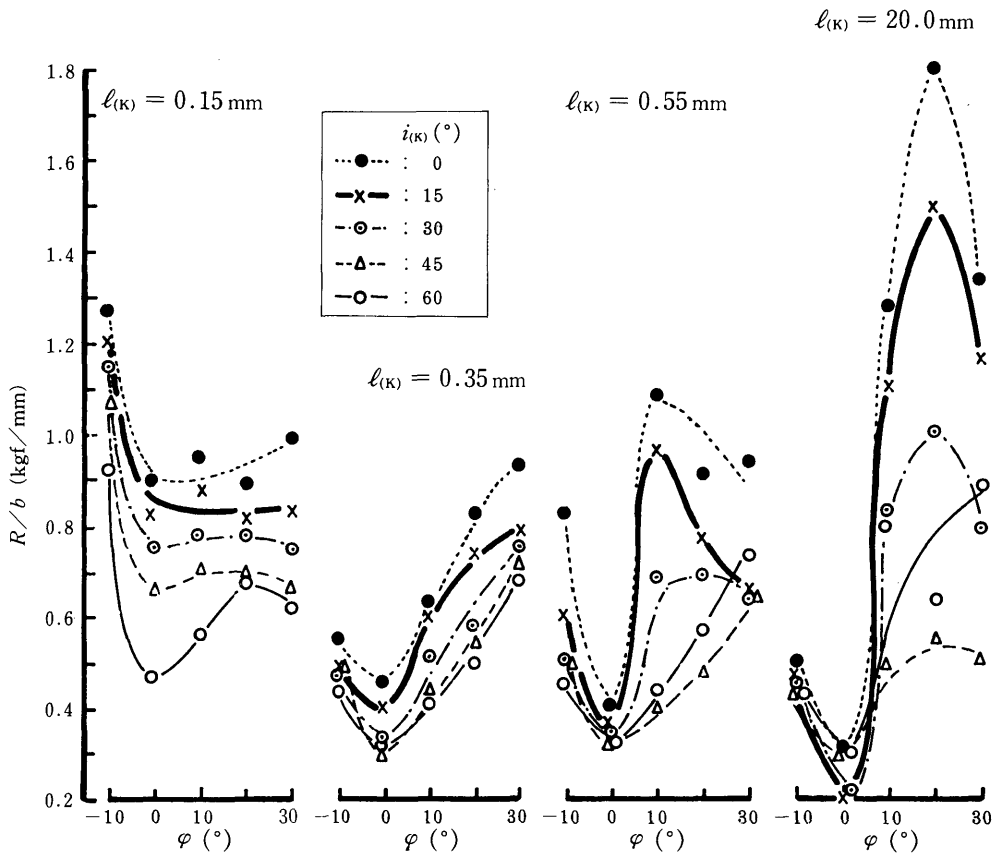


図19 (b) 繊維傾斜角 φ の変化に伴う切削力の合力 R/b の変化 (1)

—種々の裏金垂直設置距離 $l_{(k)}$ の場合 (パイアス角 $i_{(k)}$ をパラメータとした場合)—

へ変化するに伴い増加傾向を示した。 $l_{(k)}$ を著しく小さくした場合 ($l_{(k)}=0.15 \text{ mm}$ の場合) には、 F_x/b の場合とは異なり、 φ の変化に伴う F_z/b の変化は、 $\varphi < 0^\circ$ の場合 (順目角度の場合) よりも $\varphi > 0^\circ$ の場合 (逆目角度の場合) に著しくなる (F_z/b は、 $\varphi > 0^\circ$ の場合に大きい値を示す。この傾向は、 $i_{(k)}$ の大きさには殆ど影響されない)。 $l_{(k)}=20.0 \text{ mm}$ の場合 (裏金を作用させない場合) には、 $\varphi < 0^\circ$ の場合 (順目角度の場合) よりも $\varphi > 0^\circ$ の場合 (逆目角度の場合) に F_z/b は著しく増大する傾向を示すが、 $l_{(k)}$ を比較的大きく作用させると ($l_{(k)}=0.35 \sim 0.55 \text{ mm}$ の場合)、 φ の変化に伴う F_z/b の変化の傾向は、 $l_{(k)}=0.15 \text{ mm}$ の場合と $l_{(k)}=20.0 \text{ mm}$ の場合のほぼ中間の様相を呈した。

φ の変化に伴う F_y/b および R/b の変化は、類似した傾向を示した。 F_x/b および F_z/b の場合とほぼ同様に、 F_y/b および R/b は、 $l_{(k)}=20.0 \text{ mm}$ の場合 (裏金を作用させない場合) および $l_{(k)}=0.15 \sim 0.55 \text{ mm}$ の範囲の場合 (裏金を作用させた場合) のいずれの場合も、 $\varphi=0^\circ$ の場合 (平行角度の場合) に最小値を示し、 $\varphi < 0^\circ$ の場合 (順目角度の場合) へ変化するに伴い増加傾向を示し、 $\varphi > 0^\circ$ の場合 (逆目角度の場合) へ変化するに伴い増加傾向か、マキシマムカーブを描く傾向を示した。 $l_{(k)}$ を著しく小さくした場合 ($l_{(k)}=0.15 \text{ mm}$ の場合) には、 $\varphi < 0^\circ$ の場合 (順目角度の場合) に F_y/b および R/b が著しく増大し、 $\varphi > 0^\circ$ の場合 (逆目角度の場合) に F_y/b および R/b は大きな変化を示さない傾向となるが、 $l_{(k)}$ を比較的大きくした場合 ($l_{(k)}=0.35 \sim 0.55 \text{ mm}$ の場合) には、 $l_{(k)}=0.15 \text{ mm}$ の場合とは異なって $\varphi > 0^\circ$ の場合 (逆目角度の場合) に F_y/b および R/b が著しく増大する。裏金を作用させない場合 ($l_{(k)}=20.0 \text{ mm}$ の場合) には、 $\varphi > 0^\circ$ の場合 (逆目角度の場合) における F_y/b および R/b は、 $l_{(k)}=0.35 \sim 0.55 \text{ mm}$ の場合よりもさらに著しく増大する。

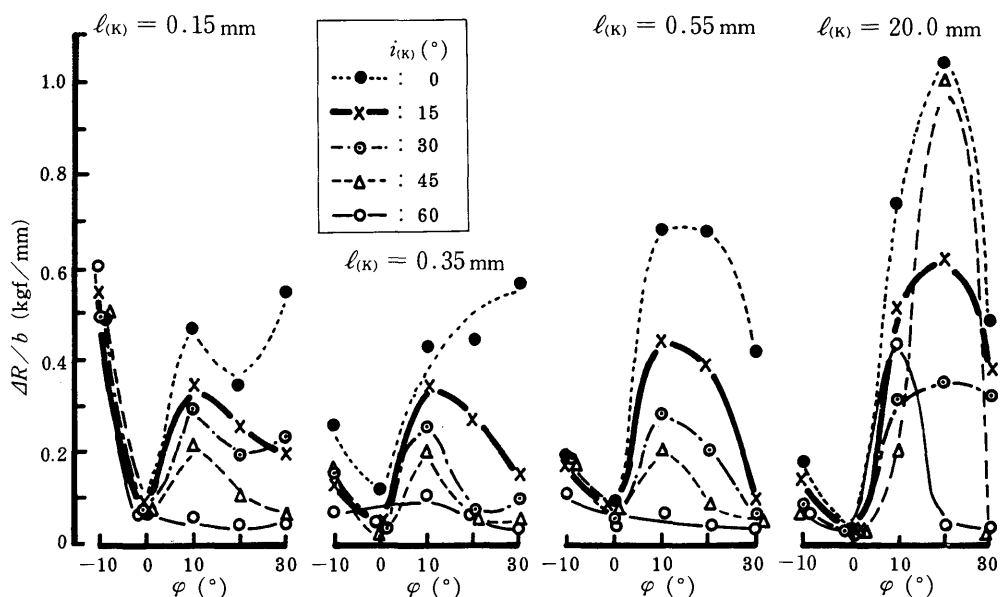


図20 繊維傾斜角 φ の変化に伴う切削力の合力 R/b の変動幅 $\Delta R/b$ の変化 (1)
 —種々の裏金垂直設置距離 $l_{(K)}$ の場合 (バイアス角 $i_{(K)}$ をパラメータとした場合)—

以上のように、 φ の変化に伴う切削力の3分力や合力の変化から、つぎのことが明らかとなった。裏金を作用させないと ($l_{(K)}=20.0$ mm の場合)、 $\varphi > 0^\circ$ の場合 (逆目角度の場合) に分力や合力が著しく増大するが、裏金を作用させると ($l_{(K)}=0.15 \sim 0.55$ mm の範囲の場合)、 $\varphi > 0^\circ$ の場合 (逆目角度の場合) における分力や合力を減少させることができる。即ち、 $l_{(K)}$ を比較的大きくした場合 ($l_{(K)}=0.35 \sim 0.55$ mm の場合)、 $\varphi > 0^\circ$ の場合 (逆目角度の場合) における分力や合力を減少させることができるが、 $l_{(K)}$ を著しく小さくすると ($l_{(K)}=0.15$ mm の場合)、 $\varphi > 0^\circ$ の場合 (逆目角度の場合) では分力や合力は比較的大きい値となるが、 φ の変化の影響を殆ど受けず分力や合力はほぼ一定の大きさを示すが、 $\varphi < 0^\circ$ の場合 (順目角度の場合) では分力や合力の著しい増加をもたらす。 F_V/b および R/b の大きさや φ の変化に伴うそれらの変化の傾向から判断すると、 $l_{(K)}=0.35$ mm の場合には、分力や合力が最も小さい値で、しかも φ の変化に伴う分力や合力の変化も小さくなる。

つぎに、 φ の変化に伴う切削力の分力や合力の変動幅を、いろいろな $l_{(K)}$ の場合について ($i_{(K)}$ をパラメータとした場合について) とりまとめ、それらの一例 (合力の変動幅 $\Delta R/b$ の変化) を図20に示す。

図20より明らかなように、 $\Delta R/b$ は、 $\varphi=0^\circ$ の場合 (平行角度の場合) に最小値を示し、 $\varphi < 0^\circ$ の場合 (順目角度の場合) へ変化するに伴い増加傾向を、 $\varphi > 0^\circ$ の場合 (逆目角度の場合) へ変化するに伴い増加傾向か、マキシмумカーブ ($\varphi=10^\circ \sim 20^\circ$ の場合に極大値) を描く傾向を示した (即ち、 φ の変化に伴いミニムムカーブとマキシмумカーブを描く傾向を示した)。 $l_{(K)}=20.0$ mm の場合 (裏金を作用させない場合) には、 φ の変化に伴う $\Delta R/b$ の変化が、 $\varphi \leq 0^\circ$ の場合 (平行角度と順目角度の場合) と $\varphi > 0^\circ$ の場合 (逆目角度の場合) で著しく異なった。即ち、 $\varphi > 0^\circ$ の場合には、 $\varphi=10^\circ \sim 20^\circ$ の場合で $\Delta R/b$ が著しく増大した。 $l_{(K)}$ を小さくする (裏金を作用させる) と、 $\varphi > 0^\circ$ の場合における $\Delta R/b$ の大きさは減少し、 $l_{(K)}=0.35$ mm の場合に $\Delta R/b$ の大きさや φ の変化に伴う $\Delta R/b$ の変化が最も小さくなった。 $l_{(K)}$ を著しく小さくすると ($l_{(K)}=0.15$ mm の場合)、 $\varphi < 0^\circ$ の場合 (順目角度の場合) で $\Delta R/b$ が著しく増加した。

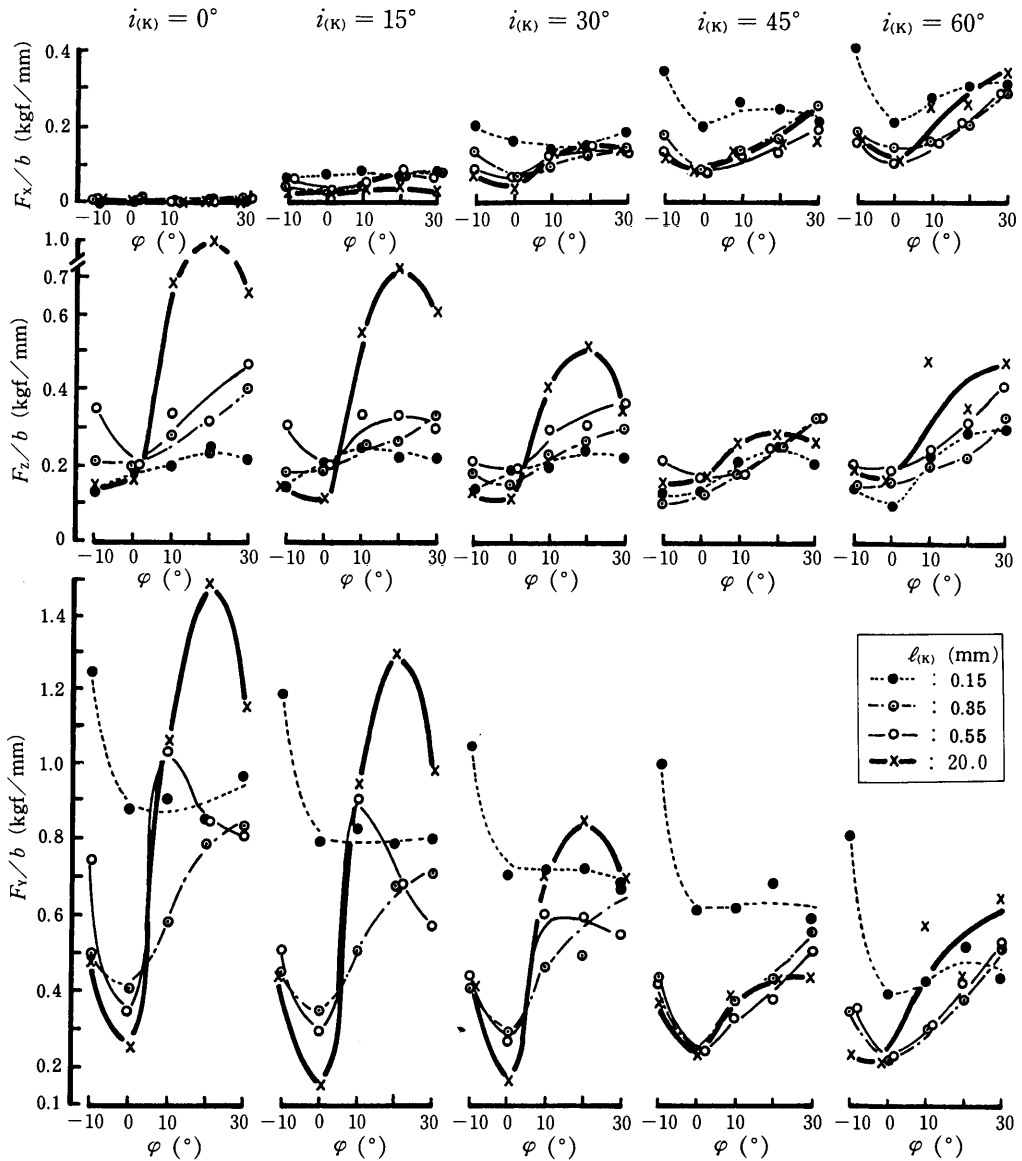


図21 (a) 繊維傾斜角 φ の変化に伴う切削力の3分力(横分力 F_x/b , 主分力 F_z/b および背分力 F_y/b) の変化 (2)

—種々のバイアス角 $i_{(k)}$ の場合 (裏金垂直設置距離 $l_{(k)}$ をパラメータとした場合)—

以上のように、 $\varphi > 0^\circ$ の場合 (逆目角度の場合) に $\Delta R/b$ を減少させ、しかも $\varphi < 0^\circ$ の場合 (順目角度の場合) に $\Delta R/b$ を増加させないような $l_{(k)}$ を設定することが必要となる。本研究では、 $l_{(k)} = 0.35$ mm の場合に、 $\varphi > 0^\circ$ の場合および $\varphi < 0^\circ$ の場合のいずれにおいても、 $\Delta R/b$ が小さい値を示した。

つぎに、 φ の変化に伴う切削力の3分力および合力の変化を、いろいろな $i_{(k)}$ の場合につ

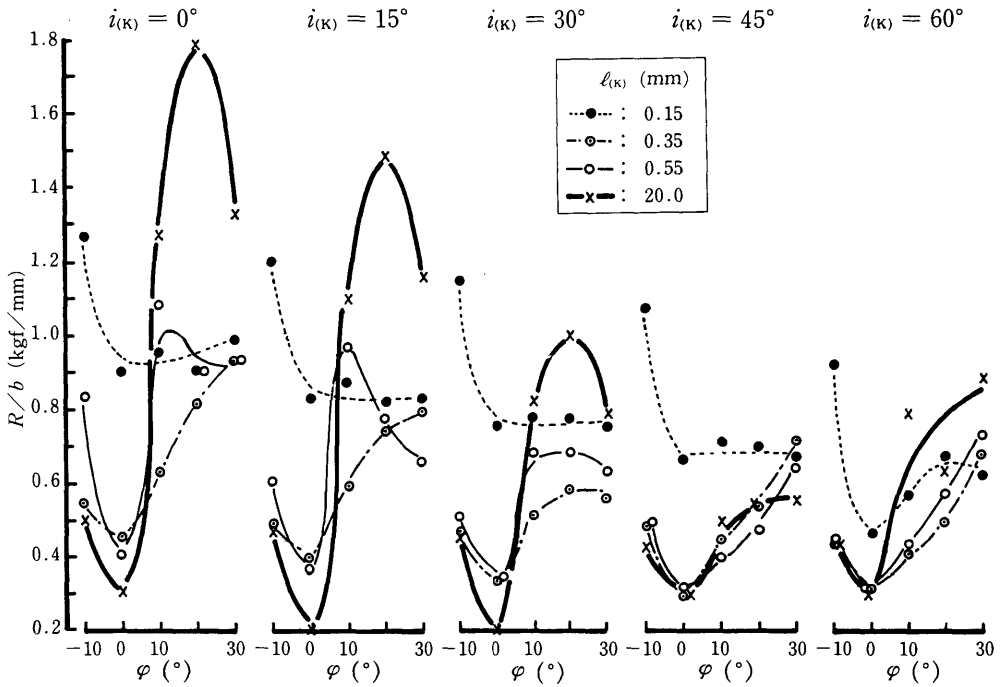


図21 (b) 繊維傾斜角 φ の変化に伴う切削力の合力 R/b の変化 (2)

—種々のバイアス角 $i_{(k)}$ の場合 (裏金垂直設置距離 $l_{(k)}$ をパラメータとした場合)—

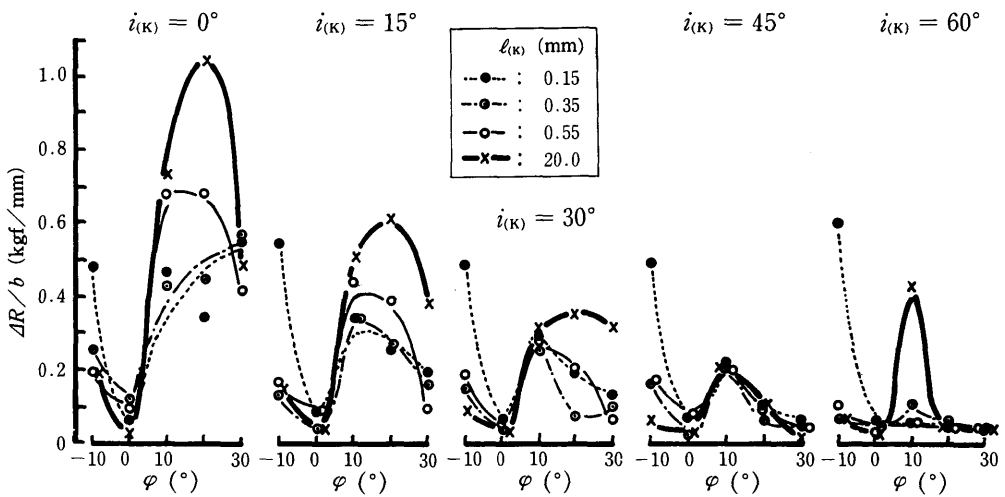


図22 繊維傾斜角 φ の変化に伴う切削力の合力 R/b の変動幅 $\Delta R/b$ の変化 (2)

—種々のバイアス角 $i_{(k)}$ の場合 (裏金垂直設置距離 $l_{(k)}$ をパラメータとした場合)—

いて ($l_{(k)}$ をパラメータとした場合について) とりまとめ、それらの結果を **図21 (a)** および **図21 (b)** に示す。

図21より明らかなように、 $i_{(k)}=0^\circ$ の場合 (二次元切削の場合) には、 $F_x/b=0$ であるが、 $i_{(k)}$ を増加させるにつれて、 φ の変化に伴う F_x/b の変化の傾向がより顕著に現れる。 F_x/b は、 $\varphi=0^\circ$ の場合 (平行角度の場合) に最小値となり、 $\varphi<0^\circ$ の場合 (順目角度の場合) および $\varphi>0^\circ$ の場合 (逆目角度の場合) へ変化するに伴い増加傾向を示した。 $i_{(k)}$ の小さい場合 ($i_{(k)}=15^\circ\sim 30^\circ$ の場合) には、 φ の変化に伴う F_x/b の変化の傾向が極めて緩やかである (殆ど変化のない傾向にも類似した)。 $i_{(k)}=0^\circ$ の場合 (二次元切削の場合) には、 F_z/b は、 $\varphi=0^\circ$ の場合 (平行角度の場合) に最小値を示し、 $\varphi=20^\circ$ の場合 (逆目角度の場合) に最大値を示す、いわゆるミニマムカーブとマキシマムカーブを描く傾向を示すか、あるいは $\varphi=0^\circ$ の場合 (平行角度の場合) を基準として $\varphi<0^\circ$ の場合 (順目角度の場合) に減少傾向、 $\varphi>0^\circ$ の場合 (逆目角度の場合) に増加傾向を示した。 $i_{(k)}$ を増加させると ($i_{(k)}=45^\circ\sim 60^\circ$ の場合)、 $\varphi>0^\circ$ の場合 (逆目角度の場合) における F_z/b の大きい値は減少し、 $i_{(k)}=45^\circ$ の場合には $\varphi>0^\circ$ の場合における F_z/b が他の $i_{(k)}$ の場合に比して最も小さくなる (即ち、 $i_{(k)}=45^\circ$ の場合に、 φ の変化に伴う F_z/b の変化が最も小さくなった)。

φ の変化に伴う F_y/b および R/b の変化は、類似した傾向を示した。 F_y/b および R/b は、 $i_{(k)}=0^\circ$ の場合 (二次元切削の場合) には、 $\varphi=0^\circ$ の場合 (平行角度の場合) で最小値を示し、 $\varphi<0^\circ$ の場合 (順目角度の場合) へ変化するに伴い増加傾向を示し、 $\varphi>0^\circ$ の場合 (逆目角度の場合) へ変化するに伴い増加傾向か、マキシマムカーブ ($\varphi=20^\circ$ の場合に最大値) を描く傾向か、あるいはほぼ一定で変化のない傾向を示したが、 $i_{(k)}$ を増加させると、 φ の変化に伴う F_y/b および R/b の変化は、 $\varphi=0^\circ$ の場合 (平行角度の場合) に最大値を示し、 $\varphi<0^\circ$ の場合 (順目角度の場合) および $\varphi>0^\circ$ の場合 (逆目角度の場合) に増加傾向を示す、いわゆるミニマムカーブを描く傾向を示した。

以上のような φ の変化に伴う分力や合力の変化の傾向から明らかなように、 $i_{(k)}$ を著しく増加させた場合 ($i_{(k)}=60^\circ$ の場合) に、 φ の変化に伴う分力や合力の変化が最も小さくなる。即ち、 $i_{(k)}$ を増加させるほど、 φ の変化に伴う分力や合力の変化が小さくなる。

つぎに、 φ の変化に伴う切削力の分力や合力の変動幅の変化を、いろいろな $i_{(k)}$ の場合について ($l_{(k)}$ をパラメータとした場合について) とりまとめ、それらの一例 (合力の変動幅 $\Delta R/b$ の変化) を **図22** に示す。

図22より明らかなように、いずれの $i_{(k)}$ の場合も、 φ の変化に伴う $\Delta R/b$ の変化は、 $\varphi=0^\circ$ の場合 (平行角度の場合) に最小値を、 $\varphi<0^\circ$ の場合 (順目角度の場合) か、あるいは $\varphi>0^\circ$ の場合 (逆目角度の $\varphi=10^\circ$ または $\varphi=20^\circ$ の場合) に最大値を示す、いわゆるミニマムカーブとマキシマムカーブを描く傾向を示した。とくに、 $i_{(k)}=0^\circ$ の場合 (二次元切削の場合) には、 φ の変化に伴う $\Delta R/b$ の変化が、 $\varphi\leq 0^\circ$ の場合 (平行角度と順目角度の場合) と $\varphi>0^\circ$ の場合 (逆目角度の場合) で著しく異なった ($\varphi>0^\circ$ の場合に、 $\Delta R/b$ が著しく大きい値を示した) が、 $i_{(k)}$ の増加に伴い $\varphi>0^\circ$ の場合における $\Delta R/b$ の大きさは次第に減少し、 $i_{(k)}=45^\circ$ または 60° の場合で φ の変化に伴う $\Delta R/b$ の変化は最も小さくなった。とくに、 $l_{(k)}=0.35\sim 0.55$ mm の場合には、 $\Delta R/b$ は小さい値を示し、 φ の変化に伴う $\Delta R/b$ の変化も小さくなった。即ち、 $i_{(k)}$ を大きくすれば、分力や合力の変動幅も著しく小さく、しかも φ の変化に伴うそれら変動幅の変化も小さくなる。

4. 結 言

表面仕上げを目的とした切削加工には、ひら削りと回転削りとがある。このうち、ひら削りの代表的機械である超仕上げ鉋盤および代表的手工具である二枚刃台鉋では、鉋刃刃先の剛性を高めるため、および被削材の逆目ぼれを防止するために、鉋刃には裏金が装着され、それに伴う鉋刃の鋭利性を高めるためにバイアス角 $i_{(k)}$ が設定されている。裏金の装着条件 (セット条件) により、著しい切削力の変化が起り得るし、被削材の繊維走向のちがひや $i_{(k)}$ の大きさにより、さらに著しい切削力の変化が起り得る。このような裏金を装着した直刃状鉋刃による三次元切削における切削現象については、未だ明らかにされていない。本研究では、超仕上げ鉋盤や二枚刃台鉋により板材を繊維走向に平行に切削加工する場合を

対象として、裏金を装着した鉋刃により被削材に加えられる切削力の変化の測定を中心として行い、 $i_{(k)}$ 、裏金垂直設置距離 $l_{(k)}$ および被削材繊維傾斜角 φ のいろいろな組み合わせのもとで切削力の3分力(横分力 F_x/b 、主分力 F_y/b および背分力 F_z/b) および合力 R/b の変化を明らかにした(図15~図23)。とりまとめた図の順序にしたがって、得られた基礎的知見を列記すると、つぎのとおりである。

(1) 裏金を作用させないと、 $i_{(k)}=0^\circ$ の場合(二次元切削の場合)または $i_{(k)}$ を小さく設定した三次元切削の場合には、 $\varphi>0^\circ$ の場合(逆目角度の場合)に著しく大きい切削力を示すが、裏金を作用させることにより、このような切削力を減少させることができる。しかし、 $\varphi\leq 0^\circ$ の場合(平行角度および順目角度の場合)には、裏金を作用させない方が切削力は小さい値を示すが、裏金を作用させることによって、とくに、 $l_{(k)}$ を著しく小さくすると、このような $\varphi\leq 0^\circ$ の場合における小さな切削力も、 $\varphi>0^\circ$ の場合とほぼ同程度の切削力の大きさに変化する。 $i_{(k)}$ の変化に伴って顕著な変化の傾向を示した F_y/b および R/b の大きさから判断すれば、裏金を作用させた場合には、 $l_{(k)}=0.35\text{ mm}$ の場合に、 $i_{(k)}$ の変化に伴う F_y/b および R/b の大きさが最も小さくなる。したがって、 $l_{(k)}=0.35\text{ mm}$ の場合で、 $i_{(k)}$ を大きく設定すると、切削力は小さくなる(図15 (a)および図15 (b))。

(2) 裏金を作用させない場合には、 $i_{(k)}=0^\circ$ の場合で切削力の3分力や合力の変動幅は大きくなるが(ただし、 F_x の変動幅の場合を除く)、 $i_{(k)}$ の増加とともに変動幅は著しく減少する。裏金を作用させた場合には、 $l_{(k)}=0.35\text{ mm}$ で $i_{(k)}$ を大きく設定すれば、いずれの変動幅をも小さくすることができる(図16)。

(3) 裏金を作用させない場合(本研究では、 $l_{(k)}=20.0\text{ mm}$ の場合)と比較すると、裏金を作用させた場合($l_{(k)}=0.15\sim 0.55\text{ mm}$ の範囲の場合)には、 $i_{(k)}$ の変化に伴う切削力の3分力や合力の変化の傾向は、 $\varphi=0^\circ$ の場合(平行角度の場合)、 $\varphi<0^\circ$ の場合(順目角度の場合)、 $\varphi>0^\circ$ の場合(逆目角度の場合)など、いろいろな φ の場合において比較的類似した。しかし、裏金を作用させない場合には、いろいろな φ の場合に、切削力の3分力や合力の変化の傾向が著しく異なった。 $\varphi=0^\circ$ の場合を基準とした長い材長の板材の仕上げ切削においては、切削の進行に伴い種々の φ の変化が起り得るから、上記のような φ の変化が起ったとしても、 $i_{(k)}$ の変化に伴う切削力の3分力や合力の変化の傾向がいずれの φ の場合にも比較的類似することを意味し、この種の仕上げ切削には、裏金を装着することが必要であることを意味している(図17)。

(4) $\varphi\leq 0^\circ$ の場合(平行角度および順目角度の場合)には、 $l_{(k)}$ を著しく小さくしない程度に設置すれば、合力の変動幅 $\Delta R/b$ は小さく、しかも $i_{(k)}$ の変化に伴い $\Delta R/b$ の変化の程度も小さい。 $\varphi>0^\circ$ の場合(逆目角度の場合)には、裏金を作用させない場合($l_{(k)}=20.0\text{ mm}$ の場合)よりも裏金を作用させた場合($l_{(k)}=0.15\sim 0.55\text{ mm}$ の範囲の場合)の方が $\Delta R/b$ は小さいが、裏金を作用させない場合、作用させる場合のいずれの場合も、 $\Delta R/b$ の変化は、 $i_{(k)}$ を増加させることにより著しく小さくなる(図18)。

(5) 裏金を作用させないと($l_{(k)}=20.0\text{ mm}$ の場合)、 $\varphi>0^\circ$ の場合(逆目角度の場合)に分力や合力が著しく増大するが、裏金を作用させると($l_{(k)}=0.15\sim 0.55\text{ mm}$ の範囲の場合)、 $\varphi>0^\circ$ の場合における分力や合力を減少させることができる。即ち、 $l_{(k)}$ を比較的大きくした場合($l_{(k)}=0.35\sim 0.55\text{ mm}$ の場合)、 $\varphi>0^\circ$ の場合における分力や合力を減少させることができるが、 $l_{(k)}$ を著しく小さくすると($l_{(k)}=0.15\text{ mm}$ の場合)、 $\varphi>0^\circ$ の場合では分力や合力は比較的大きくなるが、 φ の変化の影響を殆ど受けず、分力や合力はほぼ一定の大きさを示すが、 $\varphi<0^\circ$ の場合(順目角度の場合)では分力や合力の著しい増加をもたらす。 F_y/b および R/b の大きさや φ の変化に伴うそれらの変化の傾向から判断すると、 $l_{(k)}=0.35\text{ mm}$ の場合には、分力や合力が最も小さい値で、しかも φ の変化に伴う分力や合力の変化も小さくなる(図19 (a)および図19 (b))。

(6) $\varphi > 0^\circ$ の場合 (逆目角度の場合) に $\Delta R/b$ を減少させ、しかも $\varphi < 0^\circ$ の場合 (順目角度の場合) に $\Delta R/b$ を増加させないような $l_{(k)}$ を設定することが必要である。本研究では、 $l_{(k)} = 0.35 \text{ mm}$ の場合に、 $\varphi > 0^\circ$ の場合および $\varphi < 0^\circ$ の場合のいずれにおいても、 $\Delta R/b$ が小さい値を示した (図 20)。

(7) $i_{(k)}$ を著しく増加させた場合 ($i_{(k)} = 60^\circ$ の場合) に、 φ の変化に伴う分力や合力の変化が最も小さくなる。即ち、 $i_{(k)}$ を大きく設定するほど、 φ の変化に伴う分力や合力の変化が最も小さくなる (図 21 (a) および 図 21 (b))。

(8) $i_{(k)}$ を大きくすれば、分力や合力の変動幅が著しく小さくなり、しかも φ の変化に伴うそれら変動幅の変化も小さくなる (図 22)。

文 献

- 1) 杉山 滋, 田中博二: 裏刃付き工具による木材切削における工具切れ刃面および裏刃すくい面に加わる切削抵抗, 木材学会誌, **26** (6), 400~407 (1980).
- 2) 杉山 滋: 木材切削における工具切れ刃面および裏刃すくい面における切削抵抗に及ぼす気乾容積重の影響, 木材学会誌, **26** (12), 783~789 (1980).
- 3) 杉山 滋, 田中博二, 松尾文雄: 木材切削における裏刃 (チッププレイカ) の影響 — 切削現象の変化, ならびに工具切れ刃面および裏刃すくい面に加わる切削抵抗の変化 —, 長崎大学教育学部自然科学研究報告, No. 32, 169~200 (1981).
- 4) 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).
- 5) 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ィアス角の影響, 木材学会誌, **32** (7), 677~684 (1986).
- 6) 杉山 滋: 木材の引き切り切削における引き切り速度の影響 — 縦送り二次元・三次元切削における被削材に加わる切削力の変化, 切屑の変形および被削材切削加工面の性状の変化について —, 長崎大学教育学部自然科学研究報告, No. 39, 107~122 (1988).