

# 金属切削におけるせん断角と被削材表面勾配および 切粉傾斜角との関係について

藤 本 留 吉

## Relation of Work Surface Slope and Chip Taper on Shear Angle in Metal Cutting

by

Tomeyoshi HUZIMOTO

On the effect of the work surface slope, or the rate of change of undeformed chip thickness, and on the shear angle in metal cutting is examined experimentally. It is found that the results of previous analyses only apply to one specific cutting condition and cannot generally be used in researches of machine tool chatter.

### 1 ま え が き

金属切削において、せん断角上における被削材表面勾配の影響すなわち、平常状態の切粉厚さの変化の割合は、(これはビブリの問題に関係するものであるが) 従来より実験的に種々研究されている。しかし、今日までのその解析的結果は、ただ一つの特殊な切削条件においてのみ応用され得るものであったと考える。従って、一般的工作機械のビブリの研究には、応用が不可能であると考え。筆者はこの未開発点を開拓する目的と同時に、併せて、G. Boothroyd と、S. Kobayashi 及び A. Shabaik の研究結果を確認の意味をも含めて研究に取りかかったのである。そしてこれを確認得た。

### 2 ビブリ現象の理論解析

およそ、工作機械に見られるビブリ現象は切削工具と被削材との間に発生する振動が、その工作機械に現われる一種の状態を指すものと解する。それは殆んどの場合、切削力に基因する正規の発生現象であって、しかも強制的性質のものであると考える。例えば、フライス作業におけるが如きが範例である。(S. A. Tobias : Machine-Tool Vibration 参照)<sup>1)</sup>

さて、かかる強制振動は、通常次の如き意味と同一視することができる。例えば、ビブリ、マークが加工面に残るのは、殆んど工作機械の回転駆動系により生ずる周波数に應ずるものと、この周波数の複合によるものとの 2 種類に分けて考えられる。

ビビりはまた切削作業中に自励的に発生する振動すなわち、工作機械自体による振動であって、これが、いわゆる自励振動と称するものである。この種のビビりの振動型は、それ程十分に研究し、理解されていないように思われる。自励型ビビりの発生には、2種のタイプがある。その一つは、或る状況のもとでの切削作業が、根本的に不安定である場合、切削工具の初期における如何なれ微小の移動でも急激に大なる振幅の振動が構成されるものである。この根本的不安定状態は、図1(a)に示されている「波状切

削」の理想的位置を考えて、観察提示してあるが如きものでこれにより理解される。また、本図は工具の切刃端が平均切削方向に対し、工具と被削材が正常に直交して波状運動をなす結果としてウネリ之路をたどるものとする。本図は、この位置を示してあるものである。(図1(a)参照)

自励的ビビりの第2の型は、より複雑性をもつ。しかし、これは恐らくは、より一般的で且つ常識的なものであろう。この場合は、切削操作は、本質的には安定と見てよいであろう。そしてこの種の振動は、

被削材と工具との間における急激な相関的変位により発生するものとする。そして、切削が漸次進むに従い衰退する性質のものとする。しかし最も実用的切削作業に対しては、オーバラップ切削がとられるであろう。そして、工具を取外せば、ビビりが残る。それは前の作業工程中において、工具の回転中かまたは工作物の回転中に残されるもので、その時に、工具力の変化によって、強制振動が起るものと解する。これがまた再生的ビビリとして知られているものであって、振動の振幅が増加する結果となる。この種のビビりの研究に対しては、「波状切削」と「波状転位」の両者に関して、理想的位置について考慮する必要がある。

「波状転位」は、工具が波動的ウネリのない表面を切削する場合を考える。(図1(b)参照)。この場合通常形状の切粉厚さは、被削材表面が彎曲に変化する結果として、ウネリ状のチップとなると考える。図1(b)はこの状況が描かれている。勿論現場における実際作業においては、波状面のウネリ転移は「波状切削」と「波状転位」の両者の組合せの結果として考えるのが適切であろう。かくして、一般的に言えば上記これら両種の場合を別々に解析して、これを組み合わせれば実際作業に適

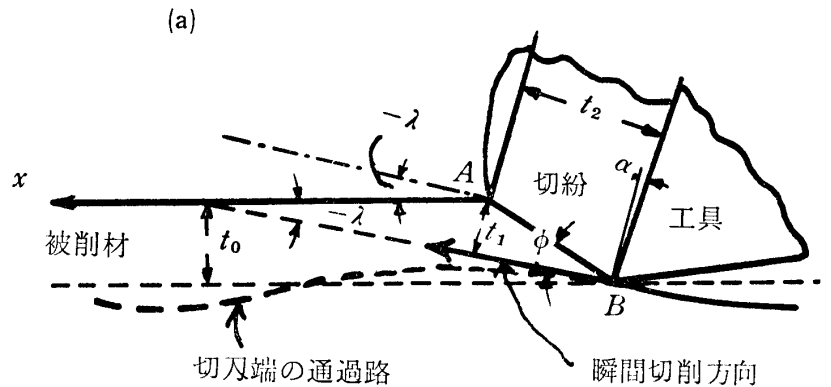


図1(a) 波状切削の状態

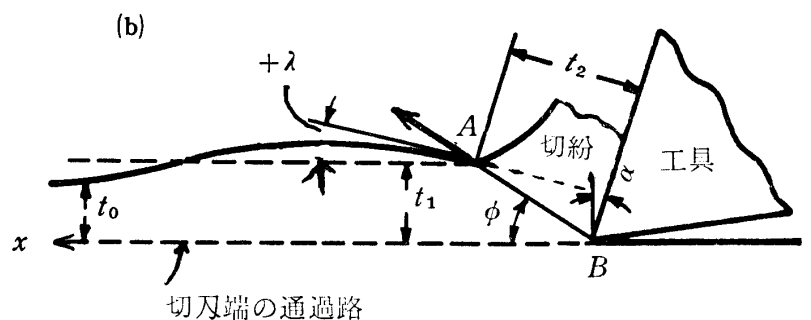


図1(b) 波状転位の状態

応すると仮定するものとして取扱う。

### 3 被削材表面勾配と切粉傾斜角およびせん断角との関係の理論解析

#### 3.1 $\lambda$ と $\phi$ および $\alpha, \beta$ の関係

被削材表面勾配  $\lambda$  とせん断角  $\phi$  および  $\alpha, \beta$  との関係について考察する。

図 1(a)(b)において示す如く、一定切削速度における波状面の直交切削において、せん断角  $\phi$  は、次式で表わされる。

$$\phi = f\left(\alpha, \beta, \left[\frac{dt_0}{dx}\right]_s\right) \quad (1)$$

$$\text{または,} \quad \phi = f(\alpha, \beta, \tan\lambda) \quad (1)'$$

ここに、 $\alpha$  = 与えられた材料で与えられた切削速度に対するレーキ角

$\beta$  = 工具面上の摩擦条件のパラメータ、 $\lambda$  = 被削材表面勾配

また、 $\left[\frac{dt_0}{dx}\right]_s = \tan\lambda$  で書き表わされる。そして、せん断面の端における通常状態の切粉厚さの変化の割合を示す。今、せん断角  $\phi$  上の  $\alpha, \beta$  の影響について考えれば  $\left[\frac{dt_0}{dx}\right]_s$  とは、無関係と仮定する。故に、式 (1) は次式の如く書き換え得る。

$$\phi = g_1(\alpha, \beta) + g_2\left[\frac{dt_0}{dx}\right]_s \quad (2)$$

ここに、 $g_1, g_2$  はいづれも関数。式 (1), (2) は、図 1(a) の場合に適用され得るもので、本図は工具が切削方向に直角振動を行い、試片がその直角面に平行に切削されるのである。もし、有効レーキ角  $\alpha$  を SHAW & HÖLKEN<sup>2)</sup> によって検討されたるが如き  $\alpha$  として用いれば、ということである。SHAW & SANGHANI<sup>3)</sup> が三角波状の組立として、その波状面について切削し、せん断角  $\phi$  の決定を最初に実験を行った場合を考えれば、せん断角  $\phi$  の関係式は

$$\phi = \phi_0 + \tan^{-1}\left[\frac{dt_0}{dx}\right]_s \quad (3)$$

または、

$$\phi = \phi_0 + \lambda \quad (3)'$$

ここに、 $\phi_0 = \frac{dt_0}{dx} = 0$  に対する安定状態の  $\phi$  であって、式 (2) より、式 (3) を推論するために附加条件として、関数  $g_2$  の形でその関係を考えるべきであって、彼等の実験においての  $\phi$  は  $dt_0/dx$  に対する一点において、決定されているようである。

#### 3.2 切削される切粉の傾斜角 $\lambda_c$ と $\lambda$ との探究

図 1(a), (b)に示すものを基準として考える「波状切削」と「波状転位」の両者における通常状態

の切粉厚さ  $t_1$  は、種々に変化する。それは、この  $t_1$  は工具力の影響によることは明白に考えられるからである。しかし、 $t_1$  の変化の割合に対する影響については、そう、容易に理解し、推察することは困難である。今切削方向に対する被削材表面勾配  $\lambda$  と、これと切粉傾斜角  $\lambda_c$  との関係を図 (2) (a)(b) に示す如く、幾何学的解析図について、検討し探究する。すなわち本図は、二種の切削状態における  $\lambda_c$  とこれに対応する  $\lambda$  の影響を示した図式解法である。本図(a)は図 (1) (a) の「波状切削」の場合であり、本図(b)は図 (1) (b) の「波状転位」の場合に相当する。これによってわかることは、本図(a)は、通常状態の切粉厚さは均一的に減少することを表わしている。これを  $-\lambda$  とする。本図(b)は前者とは反対に通常状態の切粉厚さが均一的に増加することを示している。これを  $+\lambda$  とした。図より明らかになることは、初粉の形状によって、工具力が最大になる傾向にあることが推定される。また、せん断角  $\phi$  は  $\lambda$  が負のとき減少する傾向をたどることが考えられる。そして、切粉傾斜角  $\lambda_c$  は、 $\phi$  の影響する量を決定する大なる要素となることが考えられる。図 2 により、幾何学的に解析して、 $\lambda_c$  を求める式を容易に求めることができる。

すなわち、

$$\frac{1}{\tan \lambda_c} = \tan(\phi - \alpha) \left\{ \frac{2 \sin \phi \sin(\phi - \lambda)}{\sin 2(\phi - \alpha) \sin \lambda} - 1 \right\} \quad (4)$$

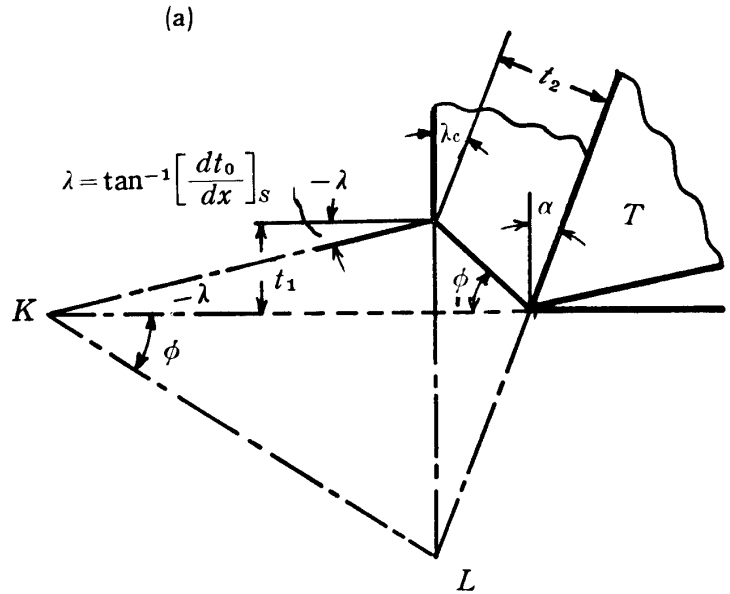


図 2(a) 切粉傾斜角  $\lambda_c$  と被削材表面勾配  $\lambda$  との関係 (解析図)

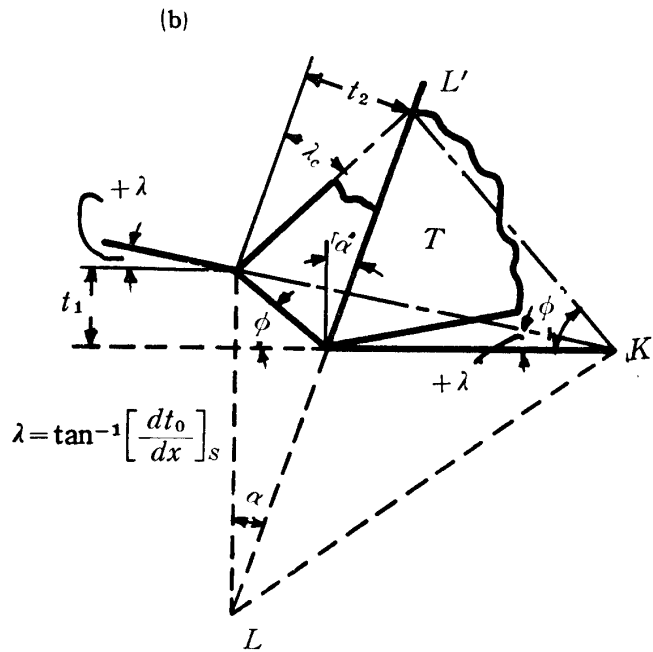


図 2(b) 切粉傾斜角  $\lambda_c$  と被削材表面勾配  $\lambda$  との関係 (解析図)

金属切削におけるせん断角と被削材表面勾配および切粉傾斜角との関係について

または,

$\lambda = \tan^{-1} \left[ \frac{dt_0}{dx} \right]_s$  の如く解して, 次式となる。

$$\lambda_c = \cot^{-1} \left[ \tan(\phi - \alpha) \right] \left[ 1 - \frac{2 \sin \phi \sin(\phi - \lambda)}{\sin 2(\phi - \alpha) \sin \lambda} \right] \quad (4)'$$

ここに,  $\lambda$  = 被削材表面勾 (  $t_1$  が増加するとき+とし, 減少するとき-とする )

$\phi$  = せん断角,  $\lambda_c$  = 切粉傾斜角

$\alpha$  = レーキ角

なお式 (4) における  $\lambda$  を瞬間的値と考えた  $\tan^{-1} \left[ \frac{dt_0}{dx} \right]_s$  であると推定するならば,  $\lambda$  は一定ではないから, 式 (1) からわかることは, 切削前の形状を保たない場合, 切粉の自由面は工具面に平行に沿って振れるのである。今, 式 (4) または式 (4)' について, 種々の  $\alpha$  の値の場合に対し,  $\phi$  と  $\lambda$  と  $\lambda_c$  との関係を検討吟味する。(図3～図8参照)

図3は,  $\alpha = 0^\circ$  のとき, 式 (4)' を用いて描いたグラフである。横軸に  $\pm \lambda^\circ$  をとり, 縦軸に  $\pm \lambda_c^\circ$  を取ってある。 $\phi$  をパラメータとする。これを見るに,  $\lambda$  と  $\lambda_c$  との関係は,  $\phi$  の値によって著しく影響されることがわかる。そして  $\phi$  の値が小なるに従い  $\pm \lambda_c$  (切粉傾斜角) の絶対値が大なる値となっている。しかも一々の  $\phi$  について見るに, 同じ  $\phi$  でも,  $+\lambda_c$  と  $-\lambda_c$  とは対称値をとらない。すなわち,  $\phi = 10^\circ$  のときと,  $15^\circ$  の場合を見るに, 夫々  $\lambda = 4$  と  $6$  において,  $+\lambda_c = 82$  と  $80$  が最大となっているが  $\lambda = -4$ ,  $-6$  のときは, それぞれ,  $\lambda_c = -45.5$  と,  $-58.1$  と

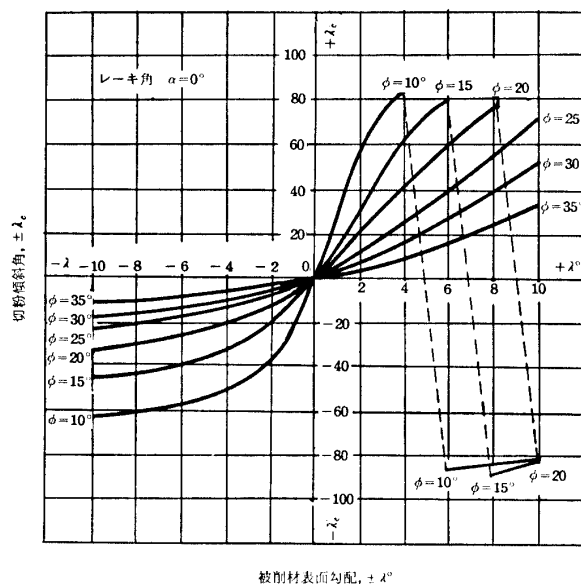


図3  $\lambda$  と  $\lambda_c$  の関連における  $\phi$  の影響

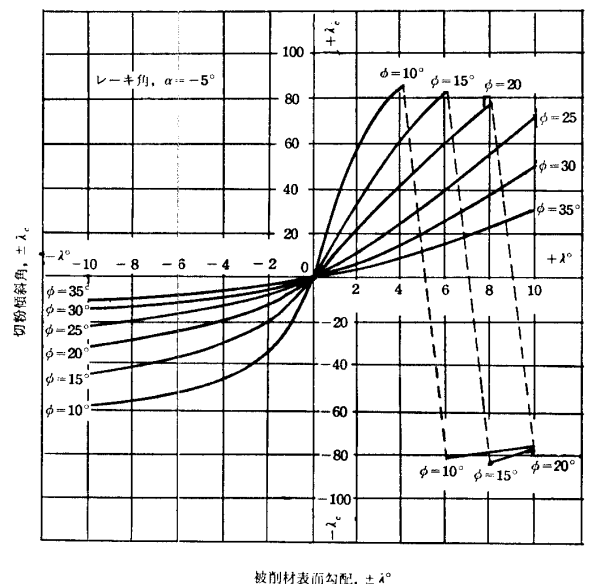


図4  $\lambda$  と  $\lambda_c$  の関連における  $\phi$  の影響

なり, 対称的ではない。且つ  $\phi = 10^\circ$  の場合,  $+\lambda = 6$  のとき  $-\lambda_c = 88$  程度に正負転換する。これは切粉の傾斜は正常に屈曲しないで工具面に密着するか外側に飛び出すかの現象を呈するものと考えられる。 $\phi = 15^\circ, 20^\circ$  の場合も, 同じ現象で  $-\lambda_c$  に転換する。これらは共に正常切粉発生状

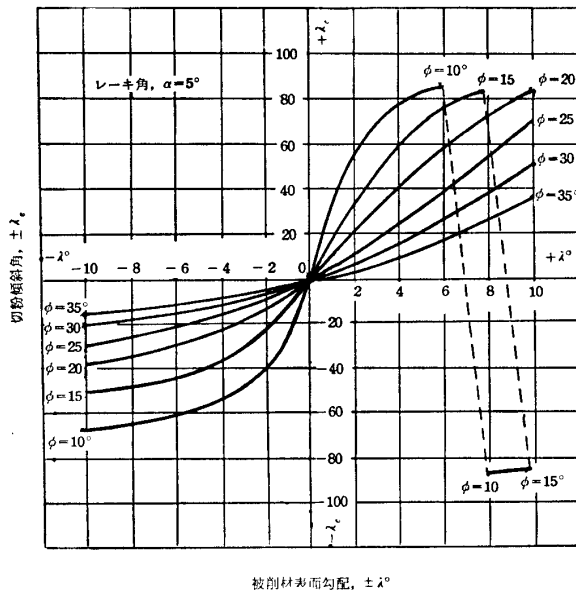


図5  $\lambda$  と  $\lambda_c$  の関連における  $\phi$  の影響

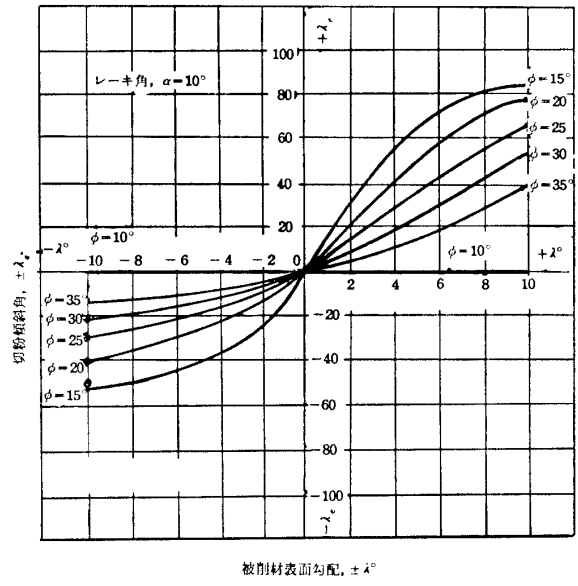


図6  $\lambda$  と  $\lambda_c$  の関連における  $\phi$  の影響

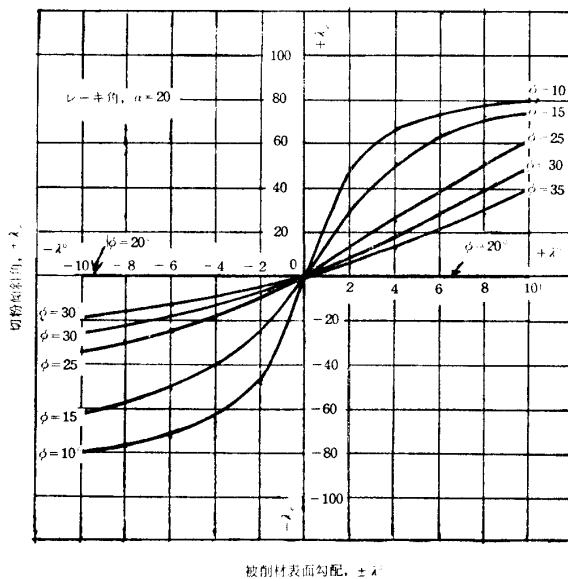


図7  $\lambda$  と  $\lambda_c$  の関連における  $\phi$  の影響

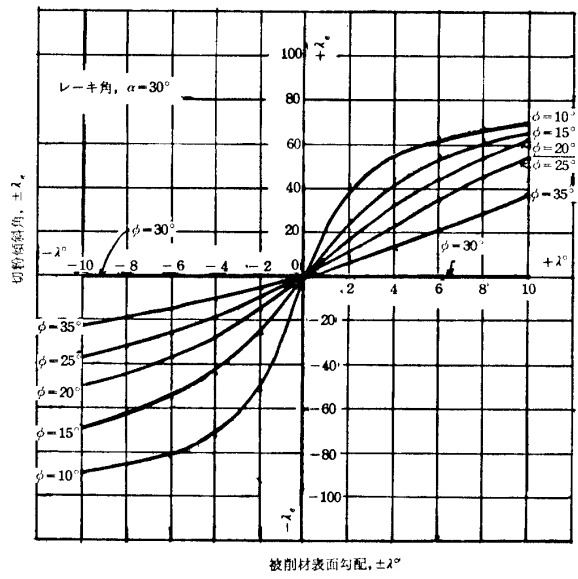


図8  $\lambda$  と  $\lambda_c$  の関連における  $\phi$  の影響

態とは言い難い。次の図4 ( $\alpha = -5^\circ$ ), 図5 ( $\alpha = 5^\circ$ ) の場合も同様な現象がグラフ上で見る。しかし他の要素は図3に同じ。これらはいずれも式(4)よりの理論的考察であるが以下図6, 7, 8は共に図示の如く, 図3と同傾向を呈しているが, ただ, 図6 ( $\alpha = 10^\circ$ ) になると,  $\phi = 10^\circ$  のとき  $\lambda_c$  と  $\lambda$  とは横軸に一致してしまう。これはこの  $\phi$  において切粉傾斜角と被削材表面勾配とが一致することを意味すると考える。また  $\alpha = 20^\circ$ ,  $\alpha = 30^\circ$  のときは(図7, 8)前者は  $\phi = 20^\circ$  のとき  $\lambda_c$  と  $\lambda$  とは横軸に一致し, 後者は  $\phi = 30^\circ$  のとき  $\lambda_c$  と  $\lambda$  とは横軸に一致している。これらの特異現象は実際上においても見られるところであるが, 極めて複雑さを思わしめる。また, 従来の論文より推論できることは, 切削力に対する  $\lambda$  の影響は最初の  $\phi$  の値に大きく, 広く依存されるのであって, 逆に,  $\phi$  はレーキ角, 切削速度, 潤滑状態等のパラメータにより基因されて影響

することである。この要素または、条件は、従来の研究においては証明されていなかったものと思われる。(計算はすべて福井大学電子計算機センターの協力による)

#### 4 従来の研究に対する検討

過去において、多くの研究者は、推論的に試みた文献が多数である。それは、 $\phi$  に対する  $\lambda$  の影響に関して実験測定したものである。例えば最小エネルギーの原理を用いて **Field** と **Merchant**<sup>4)</sup> は、次の如く被削材表面勾配  $\lambda$  とせん断角  $\phi$  との関係式を作っている。これは「被状転位」に関する式であって、次式の如し。

$$2\phi + \beta - \alpha - \lambda = \text{const} \quad (5)$$

ここに、 $\alpha$ : レーキ角,  $\beta$ : 工具表面における平均摩擦角,  $\lambda$ : 被削材表面勾配

今、もし  $\phi_0$  を  $\lambda = 0$  のときのせん断角の値として、定義するならば、式(5)は次式で書き表わされる。

$$\phi = \phi_0 + \frac{1}{2}\lambda \quad (6)$$

また、滑り線分野の研究より、**Shaw** と **Sanghani**<sup>5)</sup> は切削の始めにおいて、せん断面は、 $\lambda$  に無関係に  $45^\circ$  で自由面と交叉するであろうと理論的に仮定した。かつ工具面における摩擦状態にも無関係であると仮定した。かく考えた結果次式を提示した。

$$\phi = \phi_0 + \lambda \quad (7)$$

これらの研究は、式(4)はまた、近似的には、一次式で十分展開されて、切粉を保つ式となるであろうと考えた。また、それがたとえ、 $\phi_0$  が最早  $45^\circ$  でなくなって、切削条件に基因するとしても切粉を保つ式として、成立するであろうと考えた。次に小林、**Shabaik**<sup>6)</sup> は、せん断角上の  $\lambda$  の影響は、せん断面より直下に先行して、生ずる領域の応力状態によって決定されるものと仮定している。滑り線分野においては、式(7)の **Shaw** と **Sanghani** に見る如く、これと同一の結果を与えるものとして、その領域を考えた。**Oxley**<sup>7)</sup> によってなされた解析は、広範囲のせん断層について、幾何学的に基礎づけられた式である。それは、 $\lambda$  は式(7)によって示されている方法で  $\phi$  が影響されねばならぬということを示した。しかもこれは、より小範囲に対してである。**Oxley** によって作り出された、数学上の解答は、 $\phi$  は近似的に言って、平常状態の被削材表面勾配の20%に等しい量によって変化しなければならないことを示した。この場合式(7)は次式となる。

$$\phi = \phi_0 + \frac{2}{10}\lambda \quad (8)$$

「波状転位」の解析においては、**Wallace** と **Andrew**<sup>8)</sup> は、 $\phi$  においての変化であることを認めている。そして、これらは次式の関係によって支配されるものと仮定した。

$$\phi = \phi_0 + k \cdot \lambda \quad (9)$$

ここに、 $k$  = 与えられた材料とすべての切削条件に対する常数  
 彼等の創造的論文において、その著者等は

$$k=0.75$$

が理論と実際に殆んど一致するとした。しかし論文の検討の結果、この形は 1.0 に修正されている。Albrecht<sup>9)</sup> は「波状転位」の操作を解析して、切削力の式を誘導している。そして、この切削力は、通常状態の切粉厚さが増加する時の方が、その減少するときよりも、より大となることを示した。しかし、この結果は、従来のすべての実験的証明<sup>4), 5), 6), 7)</sup> とは反対である。そこで、今、ここに実験を行って結果としての本論文を提示するものである。従来よりの実験結果は、 $\phi$  と  $\lambda$  との間の関係について、切削条件の影響は未だ研究されてなく、従って、式(9)の  $k$  の値が与えられた被削材に対する常数であるかまたは、昔日からの論議の  $\phi_0$  の値による常数であるか示されていなかった。今それを、ここに切削条件によるものであることを実験により解明せんとするものである。

## 5 実験結果とその考察

本実験の目的：本切削条件の範囲内における  $\phi$  と  $\lambda$  との関係の実験で、式(4)を用いて、実験の基礎として、近似的に切粉傾斜角  $\lambda_c$  の測定より、 $\lambda$  の与えられたる値に対する  $\phi$  を決定するものである。

実験装置とその方法：直交切削の実験で、油圧式 30cm 大限製セーパを用いて行った。試験片は 215/38cm、巾  $\frac{1}{8}$ " の 4 : 6 黄銅。使用工具は高速度鋼バイト（逃げ角  $12^\circ$ ）、乾式切削である。試片の切削面は  $30^\circ$  に相当するウネリ面である。被削材表面勾配に相当する  $\lambda$  の影響は、切削速度  $v_c$  とレーキ角  $\alpha$  の領域を変化させて測定した。切削前後の  $\lambda$  は、球形端をもつ、深さ測定マイクロメーターを用いた。その方法は、試片上に 75mm 間隔の二点間における高さの差を見るのであって、切削工具の公称運動の方向に一直線を引いた平行線から、測定するものである。いわゆる側面グリッド（格子線）である。かくして、切削前後の  $\lambda$  の勾配を測定して、その差が結局  $\lambda$  の影響である訳である。また、チップテーパ  $\lambda_c$  を得る技術は、既知の二点間におけるチップの厚さを測定して知るのである。

この技術は、切削比  $t_1/t_2$  と、 $\phi$  は、チップが発生する間の部分を一定に保たれるものと仮定する。この仮定の確実性を検定するために、通常状態の切削条件の許に予備実験を入念に行った。そして、この切粉厚さ

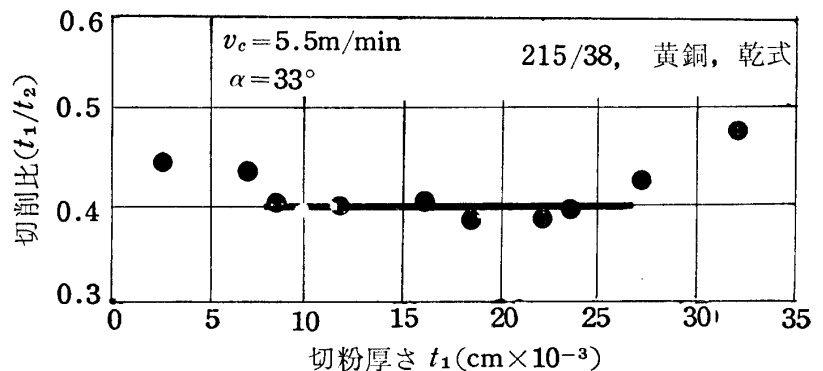


図9 切削比に対する通常状態の切粉厚さの影響



の各種の値を計測した。これら実験結果は、図9に示す通りである。一定の切削比より生ずる偏差は通常状態の切粉厚さの著しく微小の値であるが、これは、測定誤差にも基因したものと考える。また、この計測誤差の意味で、切粉が横広がり突撃するために通常状態の切粉厚さが、大になるために生ずる偏差に基因するとも考えられる。かくて、その後の実験で、通常状態の切粉厚さの値は、 $0.203\text{mm} \sim 0.610\text{mm}$ の偏差範囲に納まった。ただしこれは、与えられたレーキ角  $\alpha$  と与えられた切削速度  $v_c$  に対して、切削比  $t_1/t_2$  が一定であるという仮定が可能なおときである。切削試験の結果は、図10、

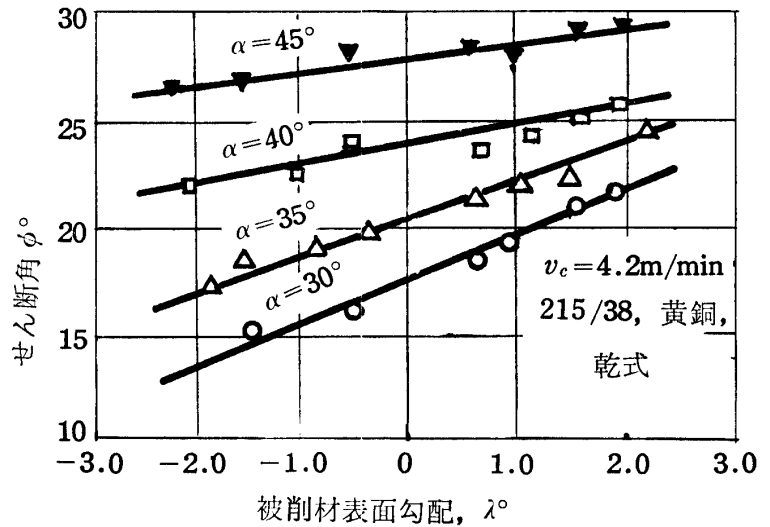


図10 各種レーキ角に対する  $\phi$  上における  $\lambda$  の影響

11に示してある。図10は一定切削速度  $v_c = 4.2\text{m/min}$  の低速度に対して、 $\alpha$  をパラメータとして、これを種々に変化(4種)させて、 $\phi$  に対する  $\lambda$  の影響を示してある。図11は一定のレーキ角  $\alpha = 33^\circ$  における各種(5種)の切削速度  $v_c$  に対する  $\phi$  と  $\lambda$  との関係が示されている。すなわち、 $v_c$  をパラメータとしての、 $\phi$  と  $\lambda$  との関係であって、図を見ると、 $v_c$  と  $\alpha$  の相互組み合わせに対し、 $\phi$  と  $\lambda$  との間に生ずる関係が、近似的に直線 ( $y = md + b$ ) 関係にあることが理解される。すなわち次式が成り立つ。

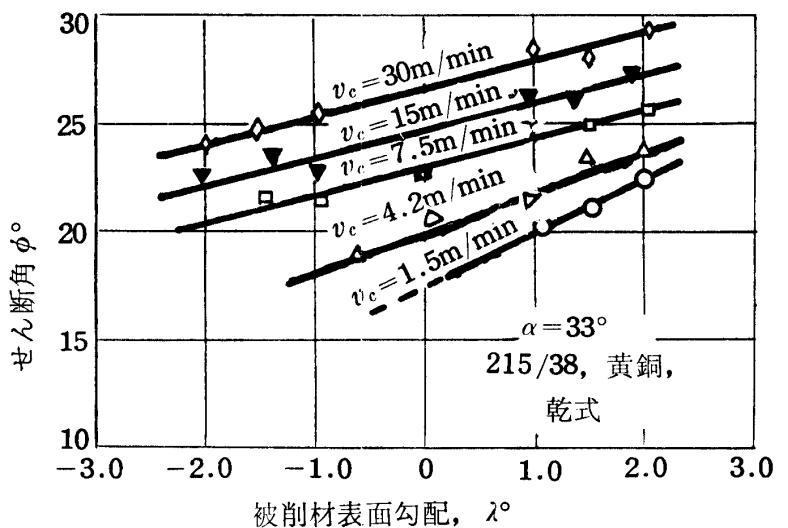


図11 各種  $v_c$  に対する  $\phi$  上の  $\lambda$  の影響

$$\phi = \phi_0 + k'\lambda \quad k' = \text{近似的に見た場合の } k \quad (10)$$

ここに、 $\phi_0$  は、 $\lambda = 0$  のときの  $\phi$  である。しかしこの結果から明らかなことは、図10、11における直線勾配としての値は、レーキ角  $\alpha$  または、切削速度  $v_c$  の変化によって幾分影響されるところである。従来の論文においては、 $k'$  の値に影響する意味あるパラメータは  $\phi_0$  であり得るとい

うことが提唱されていた。そして切削状態また条件の変化は、唯その  $\phi_0$  に関する影響を通してのみ  $k'$  の値に、影響されるという意味を提言されていたようである。このアイディアを確認するために各種の従来より提唱された  $k'$  の値を  $\phi_0$  に対応してカーブを描いて見た。図 (12) がすなわちそれである。図示に見るが如く、本実験に基く関係よりこれら二要素 ( $\phi_0, \phi$ ) のパラメータの間に存在することを前提としたのである。そして、そのパラメータは特殊な切削速度やまたは、使用したレーキ角には無関係にあるとしたのである。

かかる関係は、先づ、最初の如く近似的値として、次式で表わし得る。

$$k' = m\phi_0 + n \quad (11)$$

従って

$$\phi = \phi_0 + k'\lambda \quad (12)$$

式 (11) と (12) は、連立方程式であるからこれを解いて、次式を得る。

$$\phi = \phi_0 (1 + m \cdot \lambda) + n\lambda \quad (13)$$

ここに、 $m, n$  は用いられた被削材に対する定数。かくして、従来の実験者によって用いられていた式は特別な切削条件或いは状態に対しては、正しいと言い得るのであって、それは、 $k'$  の値は、明らかに  $\phi_0$  の値に基因されるということであり、かつ使用された切削速度  $v_c$  と  $\alpha$  とに基因されるということである。そして安定状態における切削の一般的解析に対してのみ、この影響は、効果的に評価されねばならないとブースロイド氏は言う。

## 6 む す び

次の如くむすびを記す。

1. 金属切削におけるせん断角  $\phi$  上における  $\lambda$  の影響は最初のせん断角  $\phi_0$  の値に基因され、かつ切削条件に基因される。

2. 本論文に示した 215/38 の 4—6 黄銅の切削実験に対して、得た次の形の関係式

$$\phi = \phi_0 (1 + m \cdot \lambda) + n \cdot \lambda$$

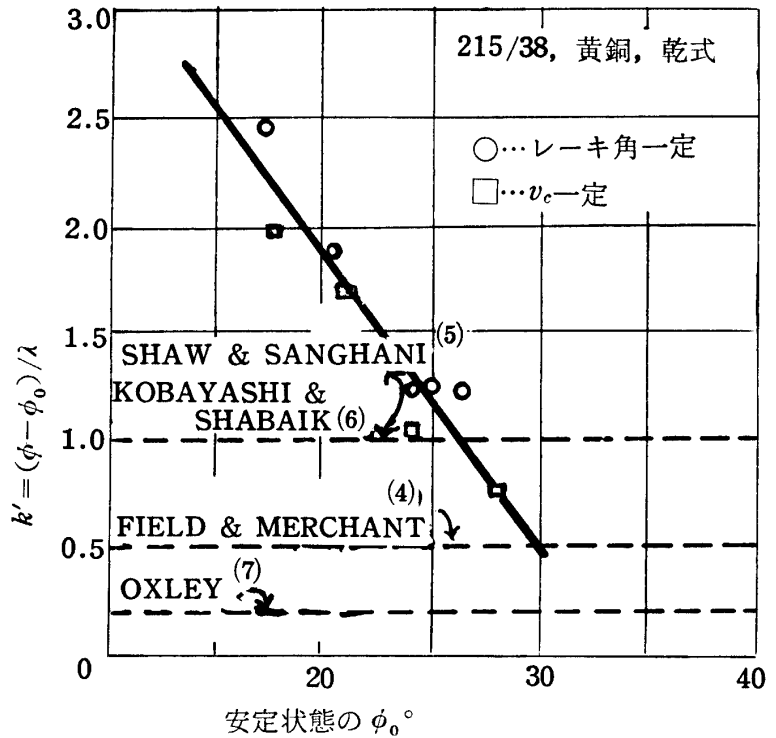


図12 パラメータ  $k'$  と安定状態の  $\phi_0$  との関係

は、すべての調査された切削速度と、レーキ角に対し通用することが解明された。このことは、G. BOOTHROYD の式と符合する。

3. 関係式  $\phi = \phi_0 + k \cdot \lambda$  はただ従来の研究論文における如く特別な切削条件においてのみ推せんされ、通用されるものであることを附記する。ここに、 $k$  は一定数である。

4. かくして、G. BOOTHROYD の結果をも確かめ得た。

## 参 考 文 献

- 1) S. A. Tobias : Machine-Tool Vibration, BLACKIE (1965)
  - 2) M. C. Shaw and W. Hölken, "Über Selbsterregte Schwingungen bei der spanenden Bearbeitung", Industrie (Nr. 63), vol. 957, p. 959.
  - 3) Shaw, M. C., and Sanghani, R. S., "Cutting Characteristics with Variable Undeformed chip thickness" C. I. R. P. Annalen, vol. 10, 1963.
  - 4) Field, M., and Merchant, M. E., "Mechanics of Formation of Discontinuons Chip in Metal Cutting", Trans. ASME, vol. 71, 1949. p. 421.
  - 5) Shaw, M. C., and Sanghani, R. S., "Cutting Characteristics with Variable Undeformed Chip Thickness" C. I. R. P. Annalen, vol. 10, 1962, p. 240.
  - 6) Kobayashi, S., and Shabaik, A., "Chip Formation with Varying Undeformed Chip Thickness at Very Low Speed," Journal of Engineering for Industry, Trans. ASME, Series B, No. 4 Nov. 1964, p. 389.
  - 7) Oxley, P. L. B., "Meehanics of Metal Cutting for a Material of Variable Flow Stress," Journal of Engineering for Industry, Trans. ASME, Series B, No. 4 Nov. 1963, p. 339.
  - 8) Wallace, P. W., and Andrew, C., "Machining forces-Some Effects of Removing a Wavy snrface," Journal of Mechanical Engineering Sciences, vol. 8, No. 2, 1966, p. 129.
  - 8) Wallace, P. W., and Andrew, C., Authors' reply to discussion of reference [8], Journal of Mechanical Engineering Sciences, vol. 10.
  - 9) Albrecht, P., "Dynamics of the Metal Cutting Process," Journal of Engineering for Industry, Trans. ASME, Series B, No. 4, Nov. 1965, p. 429.
- その他機械工学便覧, (改訂第4版) 日本機械学会, (昭35.6)。

(著者機械工学科 昭和48年1月13日受理)