

旋削における三分力について (第2報)

山下 実, 宮地 秀征, 浜口 敏雄
渡辺 良助, 本田 巨範

On the Three Components of Cutting Resistance
in the Turning of Steel (2nd Report)

Minoru YAMASHITA, Hideyuki MIYAJI, Toshio HAMAGUCHI,
Ryosuke WATANABE and Masanori HONDA

Abstract

Three components of cutting resistances in the turning of S45C steel are measured. The cutting conditions and measuring methods are the same as stated in the previous report except the normal rake angles are 10° , 15° and 30°

1. ま え が き

前報¹⁾において鋼材の旋削時における, 工具形状 (すくい角, アプローチ角) および切削条件 (主に切込み, 送り) が三分力に及ぼす影響について, 実験的に調べた結果を述べた。それによるとアプローチ角の増加に対する三分力の変化は, 切込みと送りの比が大きい場合と小さい場合とでは様子が異なることが分かった。しかし工具形状としてすくい角が二通り ($\alpha=0^\circ, 5^\circ$) であったために, 工具形状が三分力に及ぼす影響については, まだ十分とは言えない。そこで本報ではすくい角を前報とは異なる三つの角度に変化させて, 前回と同様な実験を行ない, 工具形状, 切削条件が三分力に及ぼす影響について調べた。

2. 実験装置および実験方法

本実験に使用した旋盤と三分力測定用切削工具動力計は前報¹⁾におけるものと同じである。被削材と切削工具はそれぞれ機械構造用炭素鋼 S45C, 日立金属製 SKH 4 種 X 0 0 0 完成バイトで前報と同種のものである。切削工具のすくい角 α は $10^\circ, 15^\circ, 30^\circ$ の3種類で, 各すくい角に対してアプローチ角 ψ を $0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ の8種類に変化させて使用した。さらに切削条件も前報と同様, 切削速度を約 20 m/min (実

測では 18~22 m/min), 送り $s=1.0$ mm/rev 一定で, 切込み $t=0.1, 0.2, 0.3, 0.4$ mm および切込み $t=1.0$ mm 一定で, 送り $s=0.1, 0.2, 0.3, 0.4$ mm/rev と変化させた。

3. 実験結果および考察

3.1 三分力とアプローチ角との関係

3.1.1 $\alpha=10^\circ, t=1.0$ mm の場合

Fig. 1. 1, 1. 2, 1. 3, 1. 4 に垂直すくい角 $\alpha=10^\circ$, 切込み $t=1.0$ mm で送り $s=0.1, 0.2, 0.3, 0.4$ mm/rev のおのおの場合について, 三分力がアプローチ角 ψ の増加に対して変化する様子を示した。

これらの図から,

(1) 主分力 F_v は, アプローチ角 ψ の増加に対してあまり変化しない。

(2) 送り分力 F_f は, アプローチ角 ψ の増加に対して減少する傾向がある。この減少の割合は, アプローチ角 $\psi=0^\circ$ の場合にくらべて $\psi=75^\circ$ の場合は各送りとも約 60~70% である。

(3) 背分力 F_r は, アプローチ角 ψ の増加に対して送り分力 F_f とは逆に増加する傾向がある。この増加の割合は, アプローチ角 $\psi=0^\circ$ の場合にくらべて $\psi=75^\circ$ の場合では送り s が 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 mm/rev と大きくなるにつれて, 約 60%, 50%, 40%, 30% と増加の割合は小さくなる。

(4) これらの図から三分力間の力の大小関係を見ると、各送りとも常に主分力 F_v が最も大きく、アプローチ角 ψ が小さい場合には送り分力 F_f の方が背分力 F_r より大きい、アプローチ角 ψ がある大きさに達すると送り分力 F_f と背分力 F_r が等しくなり、アプローチ角 ψ がそれより大きくなると送り分力 F_f と背分力 F_r の大きさが逆になる。

送り分力 F_f と背分力 F_r が等しくなる時のアプローチ角 ψ は、送り s によって異なり、送り s が 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 mm/rev と大きくなるにつれて、アプローチ角 ψ は 35°, 30°, 25°, 20° と小さい方へ動く。

3.1.2 $\alpha=15^\circ, t=1.0\text{ mm}$ の場合

Fig. 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 に垂直すくい角 $\alpha=15^\circ$, 切

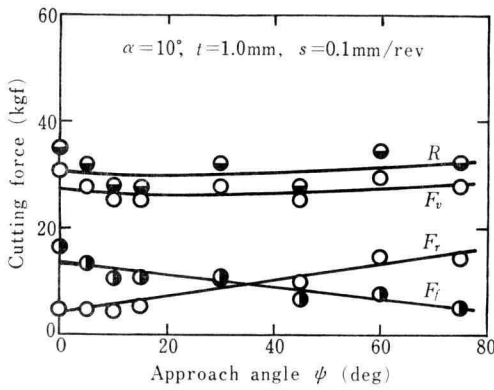


Fig. 1.1

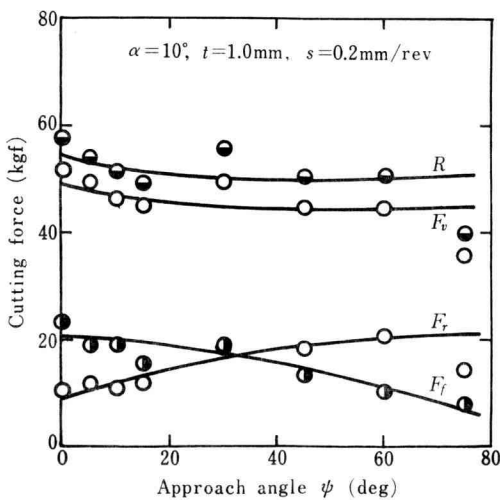


Fig. 1.2

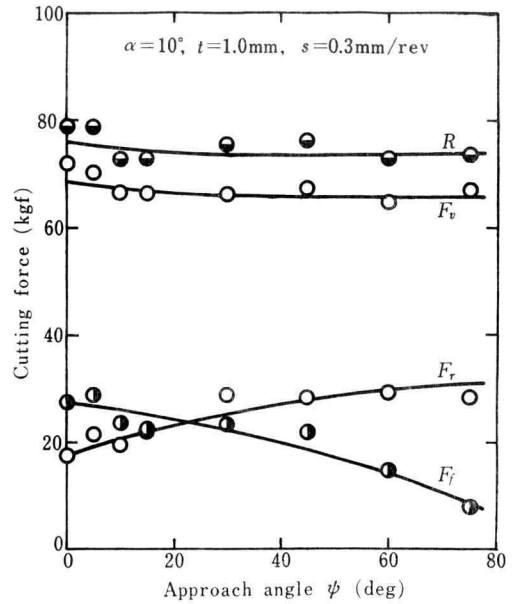


Fig. 1.3

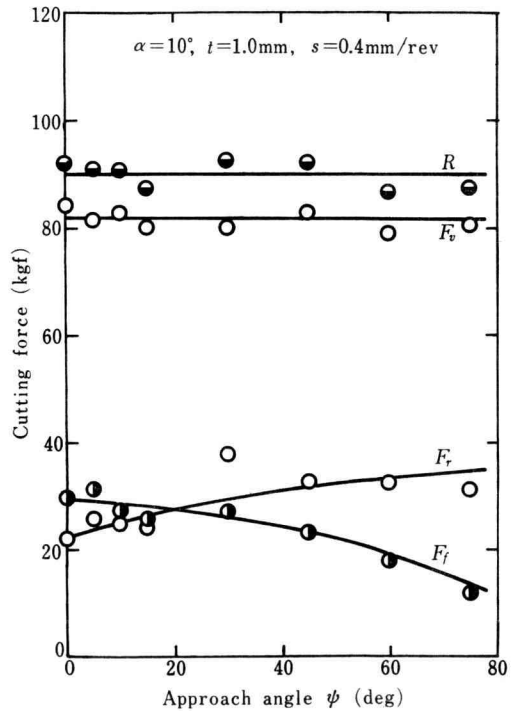


Fig. 1.4

Fig. 1 Cutting force vs. Approach angle ψ

込み $t=1.0\text{mm}$ で送り $s=0.1, 0.2, 0.3, 0.4\text{mm/rev}$ のおのおの場合について, 三分力がアプローチ角 ψ の増加に対して変化する様子を示した。

これらの図から,

(1) 主分力 F_v は垂直すくい角 $\alpha=10^\circ$ の時と同じ様にアプローチ角 ψ の増加に対して大きな変化は見られないが, アプローチ角 ψ の大きい所でいくぶん増加する様子が見られる。

(2) 送り分力 F_f は垂直すくい角 $\alpha=10^\circ$ の時と同じ様にアプローチ角 ψ の増加に対して減少する傾向が見

られる。この減少の割合も垂直すくい角 $\alpha=10^\circ$ の時とはほぼ同じで 60~70% くらいである。

(3) 背分力 F_r は垂直すくい角 $\alpha=10^\circ$ の時と同じ様

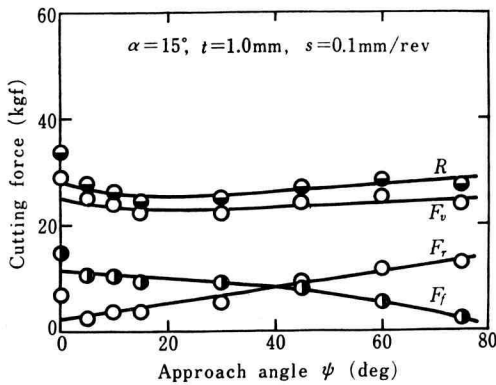


Fig. 2.1

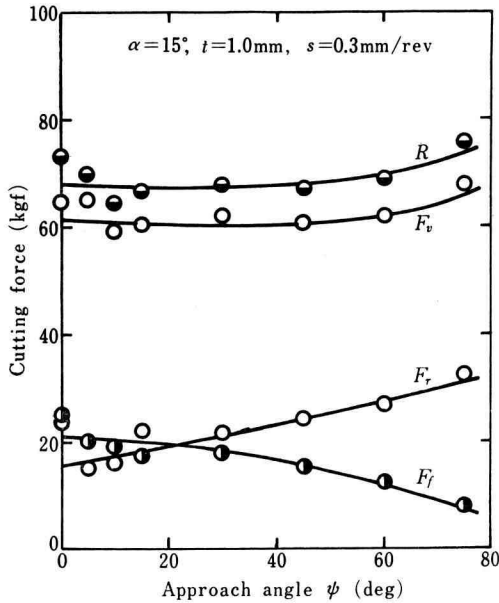


Fig. 2.2

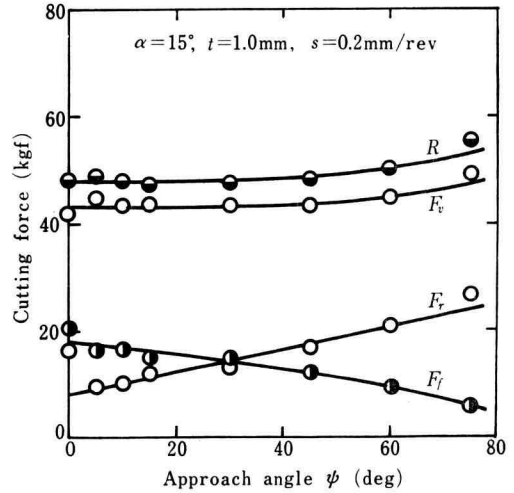


Fig. 2.3

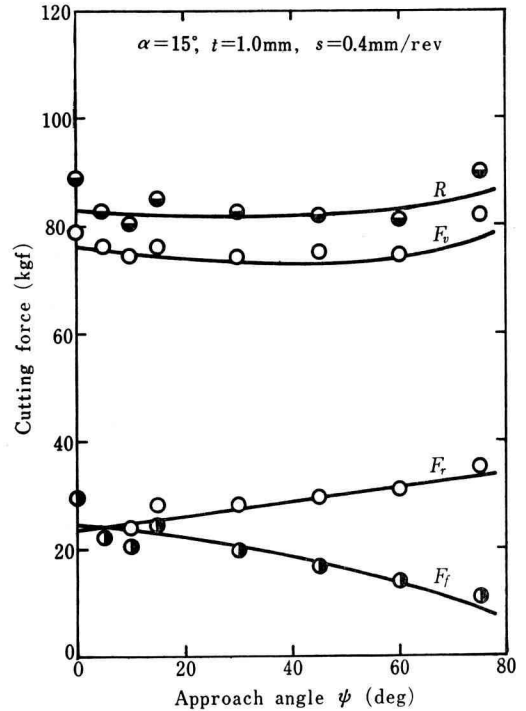


Fig. 2.4

Fig. 2 Cutting force vs. Approach angle ψ

にアプローチ角 ψ の増加に対して増加する傾向がある。この増加の割合はアプローチ角 $\psi=0^\circ$ の場合にくらべて $\psi=75^\circ$ の場合では、送り s が 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 mm/rev と大きくなるにつれて約 75%, 65%, 50%, 30% で、増加の割合は小さくなる。

(4) 三分力間の力の大小関係は、常に主成分力 F_v が最も大きく、アプローチ角 ψ の小さい場合には送り成分力 F_f が背成分力 F_r よりも大である。アプローチ角 ψ がある値になると送り成分力 F_f と背成分力 F_r の大きさが等しくなり、アプローチ角 ψ がそれより大きくなると送り成分力 F_f と背成分力 F_r の大きさが逆になる。

送り成分力 F_f と背成分力 F_r の大きさが等しくなる所は、送り $s=0.1$ mm/rev の時はアプローチ角 $\psi=45^\circ$ 、送り $s=0.2$ mm/rev の時はアプローチ角 $\psi=30^\circ$ 、送り $s=0.3$ mm/rev の時はアプローチ角 $\psi=20^\circ$ 、送り $s=0.4$ mm/rev の時はアプローチ角 $\psi=5^\circ$ のように、送り s が大きくなるとアプローチ角 ψ の小さい方へ動く。

3.1.3 $\alpha=30^\circ, t=1.0$ mm の場合

Fig. 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 に垂直すくい角 $\alpha=30^\circ$ 、切込み $t=1.0$ mm で送り $s=0.1, 0.2, 0.3, 0.4$ mm/rev のおのおの場合について、三分力がアプローチ角 ψ の増加に対して変化する様子を示した。

これらの図より

(1) 主成分力 F_v はアプローチ角 ψ の増加に対して徐々に増加する。さらに送り s が大きくなるにつれてわづかづつ大きくなる。

(2) 送り成分力 F_f はアプローチ角 ψ の増加に対して徐々に減少する傾向が見られる。この減少の割合は垂直すくい角 $\alpha=10^\circ, 15^\circ$ の時に較べて小さい。また送り $s=0.4$ mm/rev の時にはアプローチ角 ψ の増加に対してあまり変化しない。

(3) 背成分力 F_r は垂直すくい角 $\alpha=10^\circ, 15^\circ$ の時と同様に、アプローチ角 ψ の増加に対して増加する。この増加の割合は垂直すくい角 $\alpha=10^\circ, 15^\circ$ の時に較べて大きくなっている。

(4) 三分力間の力の大小関係は、常に主成分力 F_v が最大であり、アプローチ角 ψ が小さく送り $s=0.1, 0.2$ mm/rev のように送り s が小さい時は、送り成分力 F_f が背成分力 F_r よりも大きい。アプローチ角 ψ が小さくても、送り $s=0.3, 0.4$ mm/rev と送り s が大きくなる時は、背成分力 F_r の方が送り成分力 F_f よりも大きくなる。さらにアプローチ角 ψ が大きい時には各送りとも背成分力 F_r の方が送り成分力 F_f よりも大きくなる。また送り成分力 F_f と背成分力 F_r との間には、この二成分力の大き

が等しくなる所は、送り $s=0.1$ mm/rev の時はアプローチ角 $\psi=30^\circ$ 、送り $s=0.2$ mm/rev の時はアプローチ角 $\psi=15^\circ$ 、送り $s=0.3$ mm/rev の時はアプローチ角 $\psi=0^\circ$ であるが、送り $s=0.4$ mm/rev の時は等しくなる所はない。この様に送り s が大きくなるにつれて、アプローチ角 ψ の小さい所で背成分力 F_r 、送り成分力 F_f の大きさが等しくなる。

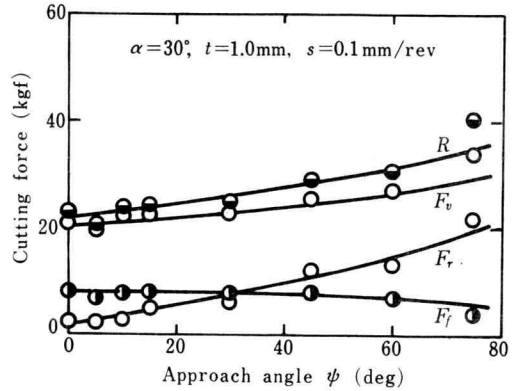


Fig. 3.1

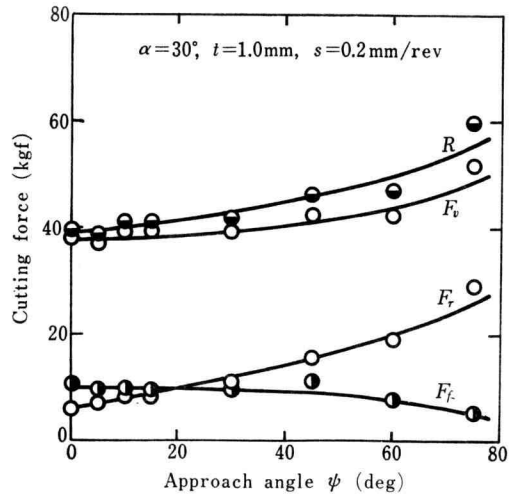


Fig. 3.2

3.1.4 $\alpha=10^\circ, s=1.0$ mm/rev の場合

Fig. 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 に垂直すくい角 $\alpha=10^\circ$ 、送り $s=1.0$ mm/rev で切込み $t=0.1, 0.2, 0.3, 0.4$ mm のおのおの場合に三分力がアプローチ角 ψ の増加に対して変化する様子を示した。

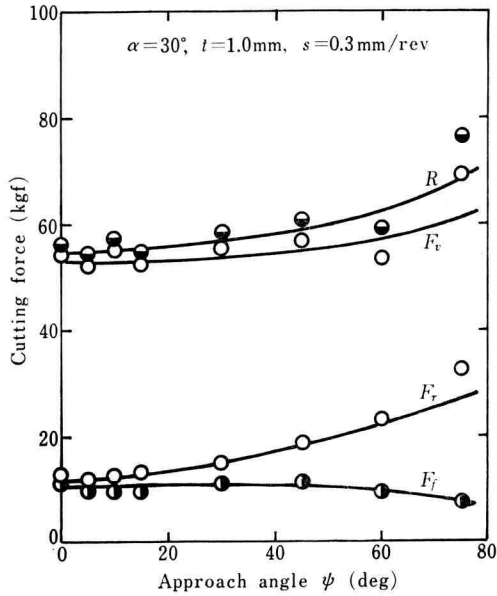


Fig. 3.3

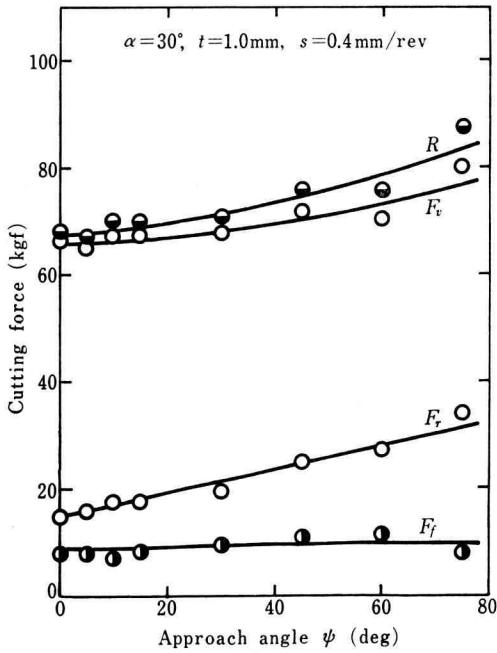


Fig. 3.4

Fig. 3 Cutting force vs. Approach angle ψ

これらの図より,

- (1) 主分力 F_v はアプローチ角 ψ が増加してもあまり変化しない。
- (2) 送り分力 F_f はアプローチ角 ψ が増加してもあまり変化しない。
- (3) 背分力 F_r はアプローチ角 ψ の増加に対して切

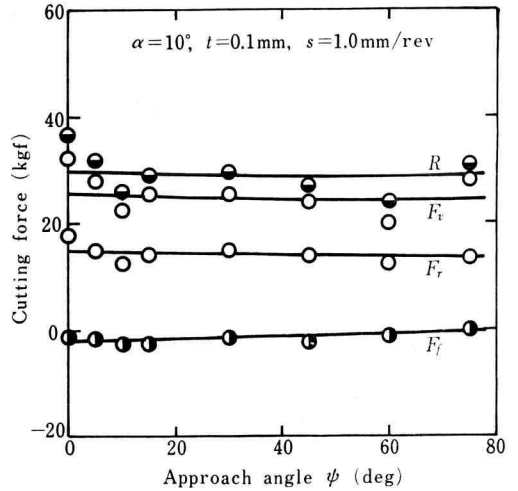


Fig. 4.1

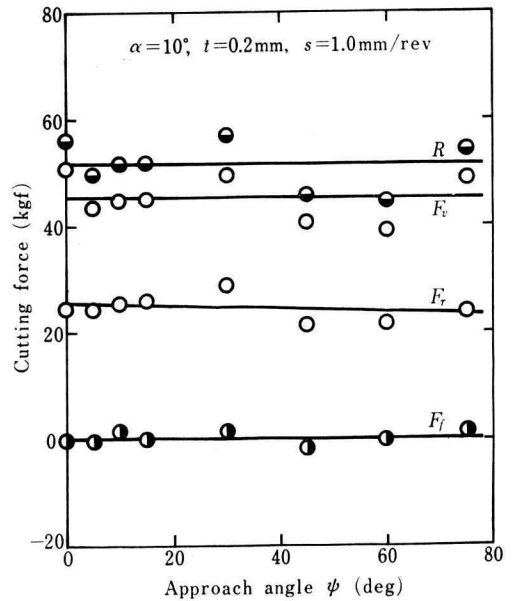


Fig. 4.2

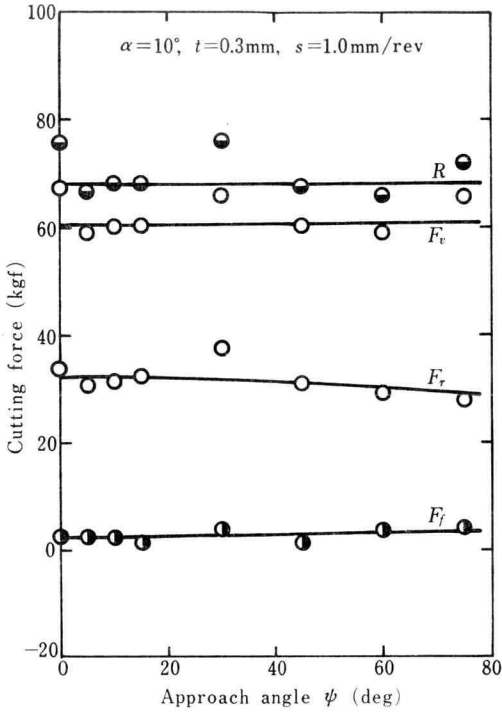


Fig. 4.3

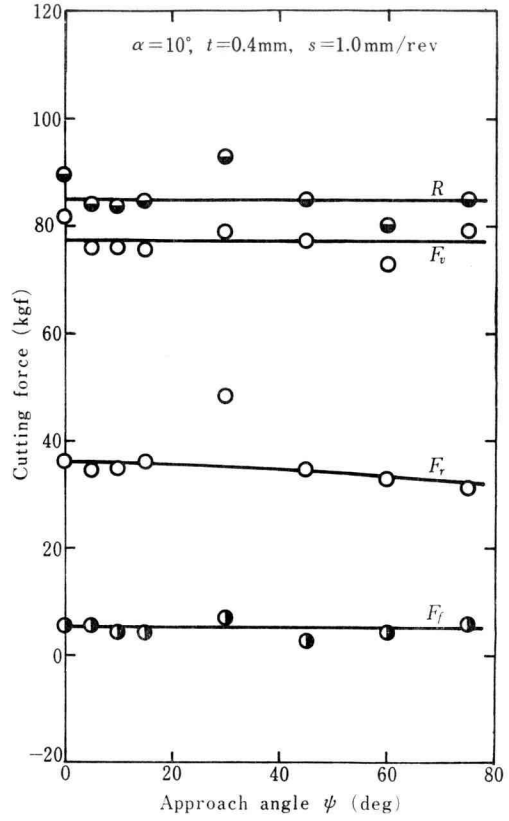


Fig. 4.4

Fig. 4 Cutting force vs. Approach angle ψ

込み t が小さい時は、ほぼ一定で変化しないが、 t が大きい時はやや減少する傾向がある。

(4) 三分力間の力の大小関係は大きい順に主分力 F_v 、背分力 F_r 、送り分力 F_f でアプローチ角 ψ の大小には関係しない。なお切込み $t=0.1\text{mm}$ の時、アプローチ角 ψ に関係なく送り分力 F_f が負になる。

3.1.5 $\alpha=15^\circ$, $s=1.0\text{mm/rev}$ の場合

Fig. 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 に垂直すくい角 $\alpha=15^\circ$ 、送り $s=1.0\text{mm/rev}$ で切込み $t=0.1, 0.2, 0.3, 0.4\text{mm}$ のおのおの場合に、三分力がアプローチ角 ψ の増加に対して変化する様子を示した。

これらの図より

(1) 主分力 F_v はアプローチ角 ψ が増加しても、垂直すくい角 $\alpha=10^\circ$ の時と同様あまり変化しない。

(2) 送り分力 F_f はアプローチ角 ψ が増加しても変化せず、ほぼ一定である。

(3) 背分力 F_r はアプローチ角 ψ の増加に対して切込み $t=0.1, 0.2\text{mm}$ の時はほぼ一定であるが、切込み $t=0.3, 0.4\text{mm}$ の時はわづかに減少する傾向がある。

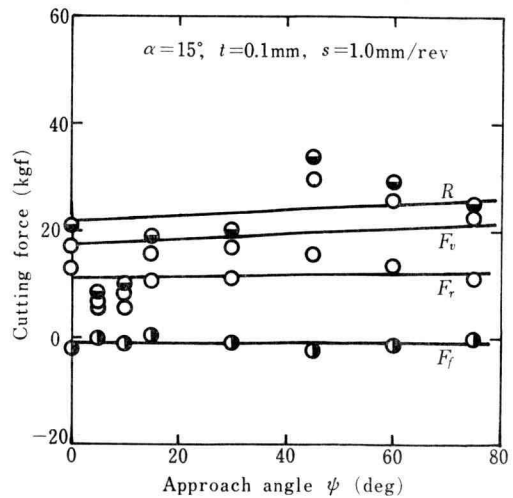


Fig. 5.1

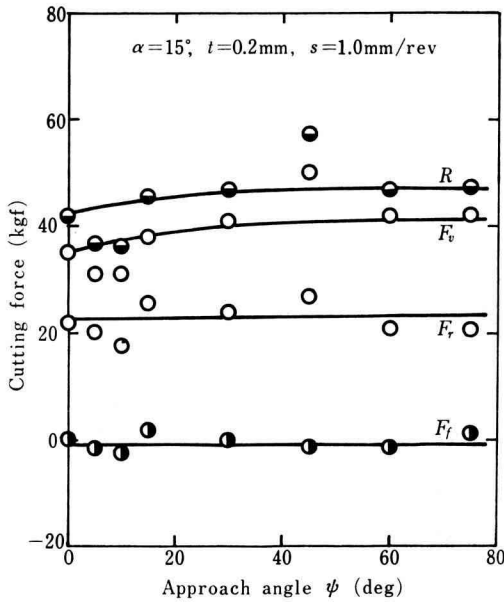


Fig. 5.2

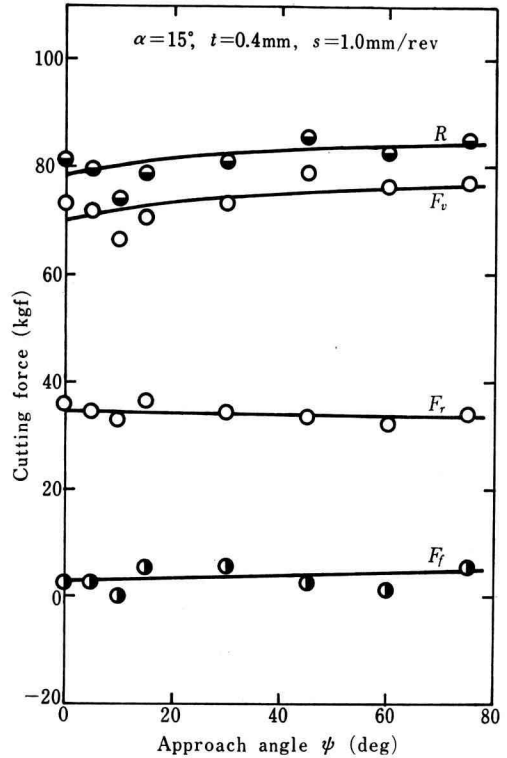


Fig. 5.4

Fig. 5 Cutting force vs. Approach angle ψ

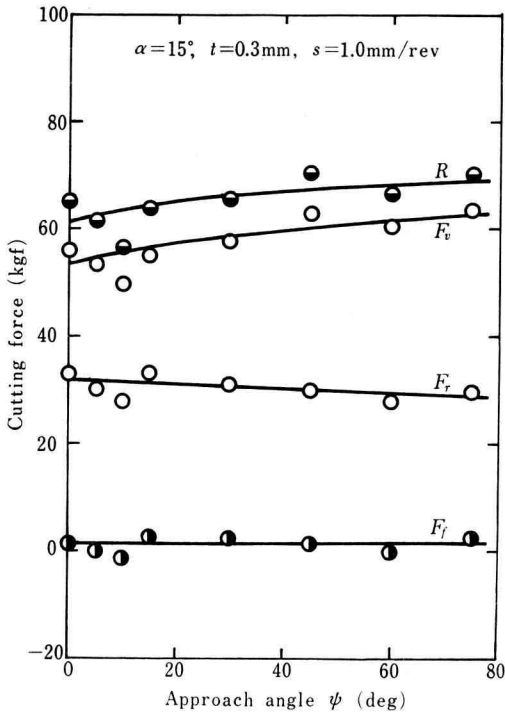


Fig. 5.3

(4) 三分力間の力の大小関係は垂直すくい角 $\alpha=10^\circ$ の時と同様に大きい順に、主分力 F_v 、背分力 F_r 、送り分力 F_f の順となりアプローチ角 ψ の大小には関係しない。なお切込み $t=0.1\text{mm}$ および 0.2mm では送り分力 F_f が負となる。

3.1.6 $\alpha=30^\circ$, $s=1.0\text{mm/rev}$ の場合

Fig. 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 に垂直すくい角 $\alpha=30^\circ$, 送り $s=1.0\text{mm/rev}$ で切込み $t=0.1, 0.2, 0.3, 0.4\text{mm}$ のおのおの場合に三分力がアプローチ角 ψ の増加に対して変化する様子を示した。

これらの図より、

- (1) 主分力 F_v はアプローチ角 ψ の増加に対して大きな変化はなくほぼ一定である。
- (2) 送り分力 F_f はアプローチ角 ψ の増加に対して、切込み $t=0.1\text{mm}$ の時はほぼ一定であるが、 $t=0.2, 0.3, 0.4\text{mm}$ では増加する傾向がある。この増加の割合は切込み t が大きくなるほど大きくなる。
- (3) 背分力 F_r はアプローチ角 ψ の増加に対して切

込み $t=0.1, 0.2$ mm の時はほぼ一定であるが, $t=0.3, 0.4$ mm の時はわずかに減少する傾向がある。

(4) 三分力間の力の大小関係は垂直すくい角 $\alpha=$

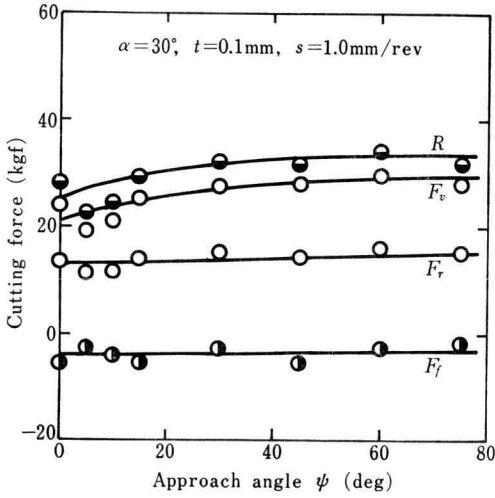


Fig. 6.1

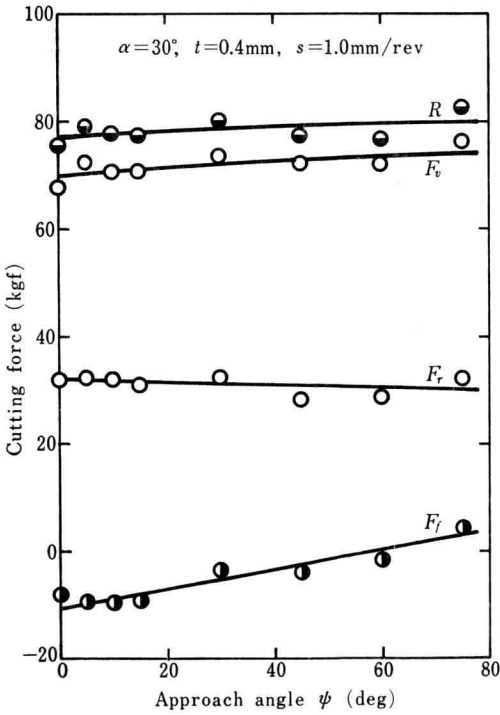


Fig. 6.2

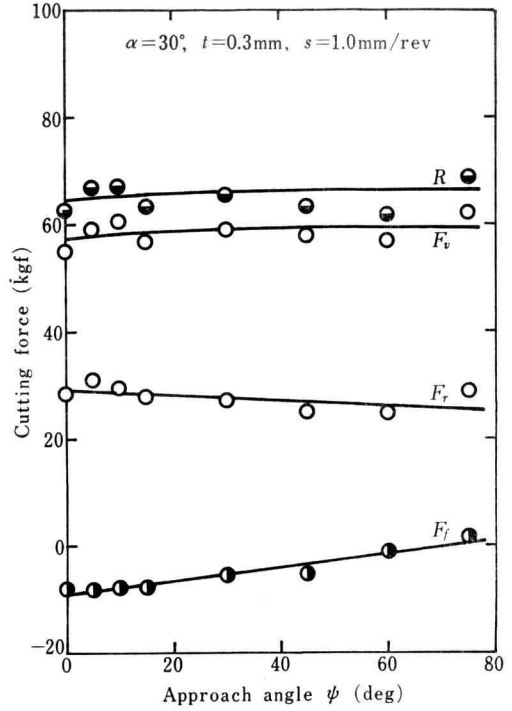


Fig. 6.3

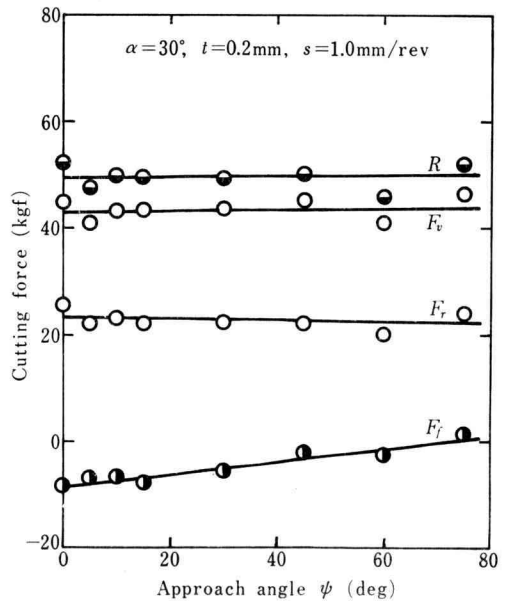


Fig. 6.4

Fig. 6 Cutting force vs. Approach angle ψ

10°, 15° の時と同様に, 大きい順に主成分力 F_v , 背成分力 F_r , 送り成分力 F_f である。なお各切込みとも送り成分力 F_f は負になる傾向があるが, アプローチ角 ψ が大きい所では正になる傾向が見られる例もある。

以上6つの場合をまとめてみると, 切りくず断面係数 ($n_s=t/s$) が 0.1~0.4 のように小さい場合は, アプローチ角 ψ が変わっても, 三分力が大きい順に主成分力 F_v , 背成分力 F_r , 送り成分力 F_f の順であり, 断面係数 n_s が 2.5~10 のように大きい場合は, アプローチ角 ψ の変化によって三分力の大きさの順は, 主成分力 F_v , 送り成分力 F_f , 背成分力 F_r の順になったり, 主成分力 F_v , 背成分力 F_r , 送り成分力 F_f の順になったりして変化の様子が異なる。

3.2 送り成分力と背成分力との関係

3.2.1 送り s に対して切込み t が大きい場合 ($t/s=2.5\sim 10$)

Fig. 1.1~1.4, 2.1~2.4 および 3.1~3.4 の三分力の中で, 送り成分力 F_f と背成分力 F_r との関係に注目して, さらに検討してみる。これらの二成分間関係を明らかにするため, Fig. 7.1, 7.2, 7.3 に示すように横軸に背成分力 F_r , 縦軸に送り成分力 F_f をとり, 実験結果をこの平

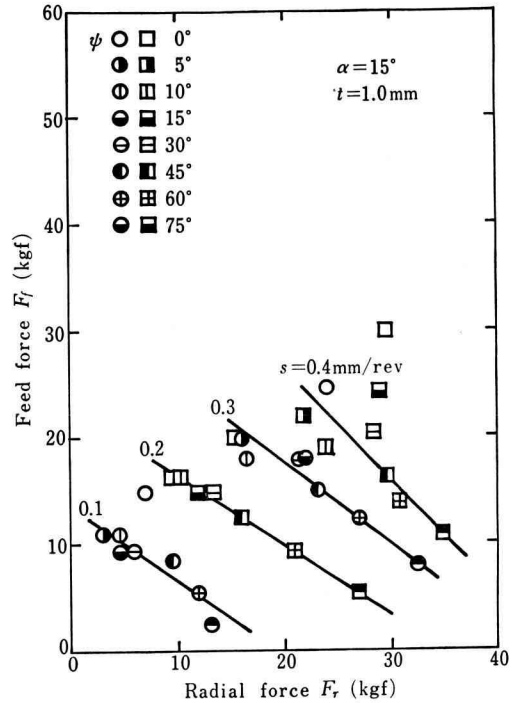


Fig. 7.2

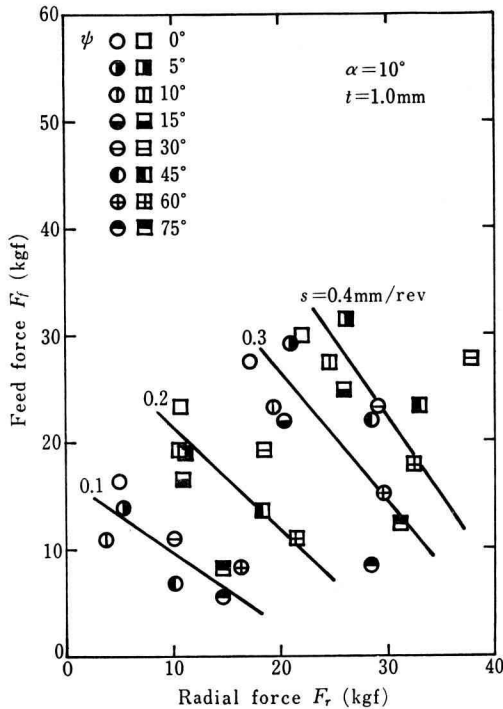


Fig. 7.1

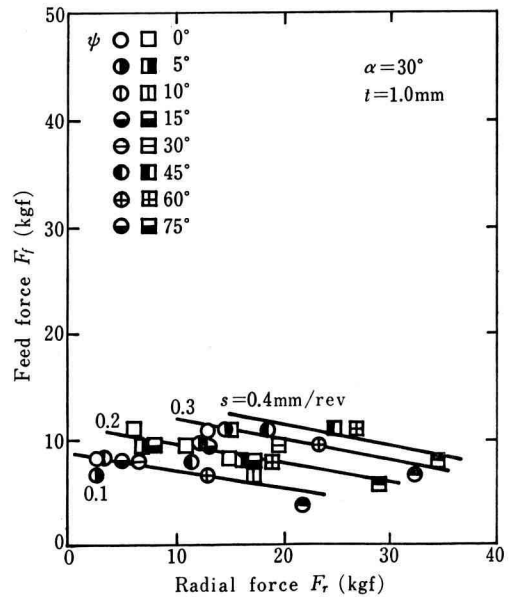


Fig. 7.3

Fig. 7 Vector Representation of Horizontal Components

面上に表わした。おのおのの点はある切削条件下における送り分力 F_f と背分力 F_r との合力のベクトルの先端を表わす。

これらの図によると、

(1) 合力の先端はいつれの送りに対しても、アプローチ角 ψ の増加にしたがって、左上から右下へと変化する直線で表わされる。

(2) 垂直すくい角 $\alpha=10^\circ, 15^\circ, 30^\circ$ を較べると、対応する送りに対する直線の傾きが、 α が大きくなるにしたがって小さくなる。特に $\alpha=30^\circ$ では極端に小さくなる。

次に、背分力 F_r と送り分力 F_f の合力のベクトルが F_r 軸となす角を θ として、この θ に注目する。 θ は切削抵抗の水平分力がシャンクとなす角に相当する。Fig. 7.1~7.3 によると θ はアプローチ角 ψ の増加にしたがって減少するようなので、これらの関係を明らかにするために、Fig. 8.1, 8.2, 8.3 にアプローチ角 ψ と θ との関係を、各送りについて示した。

これらの図から、

(1) アプローチ角 ψ の増加に対して、各送りとも θ は直線的に減少する。

(2) アプローチ角 ψ の変化に対して θ はおよそ $75^\circ \sim 15^\circ$ の間を変化する。

(3) 直線の傾きは送り s が小さいほど大きく、送り s

が増加するにつれて傾きは小さくなる。すなわち送り s が小さいほど、アプローチ角 ψ の変化に対する θ の変化の割合は大きい。また垂直すくい角 $\alpha=10^\circ, 15^\circ, 30^\circ$

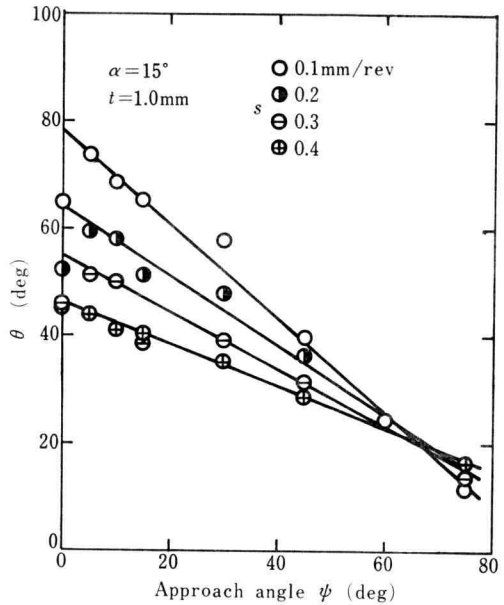


Fig. 8.2

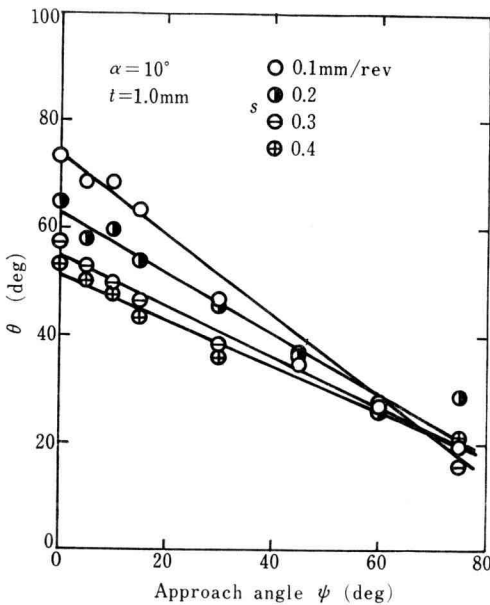


Fig. 8.1

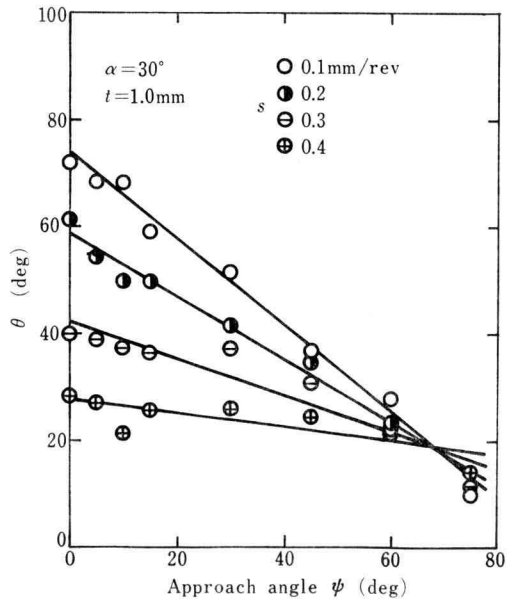


Fig. 8.3

Fig. 8 Approach angle ψ vs. θ

を較べると、垂直すくい角 α が小さい時は、直線の傾きはあまり差がないが、垂直すくい角 α が大きくなるほどアプローチ角 ψ の変化に対して直線の傾きの差は大きくなる。さらに送り s が小さい時は各すくい角とも、アプローチ角 ψ の変化に対する θ の変化は同じぐらいであるが、送り s が大きくなると、垂直すくい角 α が大きいほど、アプローチ角 ψ の変化に対して θ の変化は小さい。

3.2.2 送り s に対し切込み t が小さい場合 ($t/s=0.1\sim0.4$)

θ とアプローチ角 ψ の関係を前と同様に Fig. 9.1, 9.2, 9.3 に示す。

これらの図から、

- (1) アプローチ角 ψ の変化に対して θ はほぼ $10^\circ\sim 20^\circ$ の間を変化する。
- (2) 同一アプローチ角の時には、切込み t が大きいほど θ の値は大きい。
- (3) 垂直すくい角 $\alpha=10^\circ, 15^\circ$ の場合、切込み t が小さいほどアプローチ角 ψ の増加に対して θ は大きくなる傾向を示すが、切込み t が大きくなるほど θ はアプローチ角 ψ の増加に対して変化せずほぼ一定である。
- (4) 垂直すくい角 $\alpha=30^\circ$ の時はすくい角 $\alpha=10^\circ, 15^\circ$ の時と逆に、アプローチ角 ψ の増加に対して切込み

t が大きくなるほど、 θ の増加の変化量は大きくなる。

(5) 垂直すくい角 $\alpha=30^\circ$ の時は θ の値は大部分が負である。

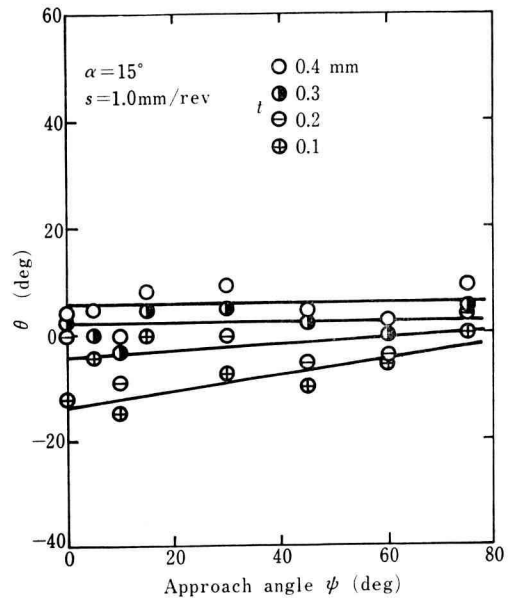


Fig. 9.2

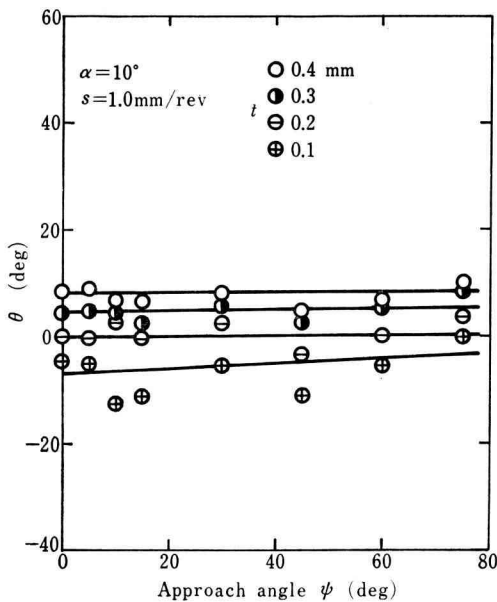


Fig. 9.1

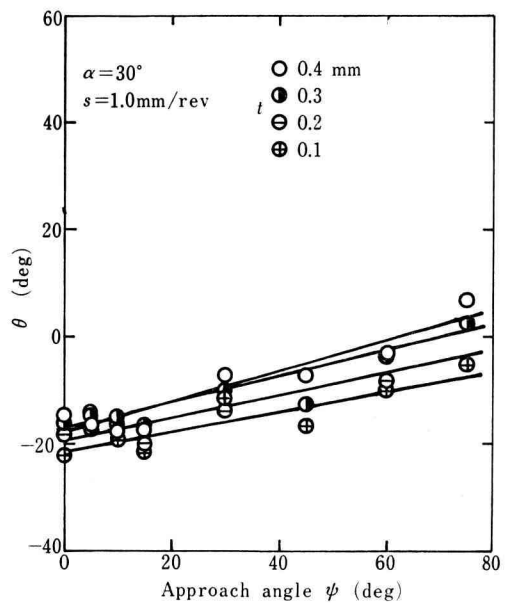


Fig. 9.3

Fig. 9 Approach angle ψ vs. θ

3.3 海老原の実験式との比較

海老原の実験式²⁾を用いて計算した切削抵抗と各種切削条件の組合わせにより得られた236個の実験値(主分力 F_v)との誤差の分布をFig. 10に示す。横軸は誤差%で縦軸は指示誤差に対しそれぞれ5%以内の実験値数の全実験値数に対する%である。これによると誤差 $-20\% \pm 5\%$ がいちばん多く、ついで $-10\% \pm 5\%$ で、これらで約45%を占める。全般的にはマイナスに偏っており、実験値に較べて計算値の方が大きく出るようである。

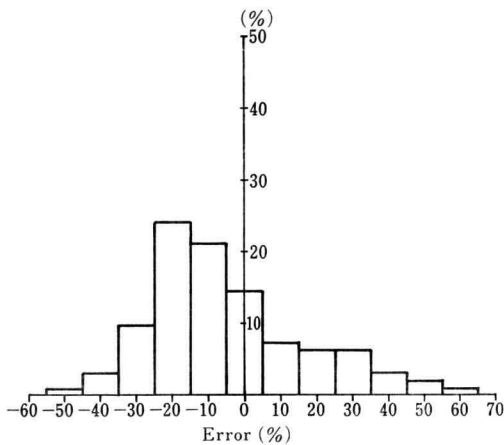


Fig. 10 Frequency distribution of Error

4. む す び

今回の実験によって得られた結果は第1報の実験とはほとんど変わらなかったが、まとめると次り通りである。

(1) アプローチ角の増加に対する三分力の変化は、切込みと送りの比が大きい場合($t/s=2.5\sim 10$)と小さい場合($t/s=0.1\sim 0.4$)とでは様子が異なる。

(2) 切込みと送りの比が大きい場合には、アプローチ角の増加に対して、送り分力は減少し背分力は増加する。さらにアプローチ角の増加に対して、送り分力と背分力の力の大小関係が逆転する。

(3) 切込みと送りの比が小さい場合には、アプローチ角の増加に対して、三分力の大きな変化はみられない。三分力間の力の大小関係は大きい順に主分力、背分力、送り分力である。

(4) 切込みと送りの比が大きい場合には、アプローチ角の増加に対して $\theta (= \tan^{-1}F_f/F_r)$ は約 $75^\circ\sim 15^\circ$ の間で減少し、送りが小さいほど変化が大きく、送りが大きいほど変化は小さい。

(5) 切込みと送りの比が小さい場合には、アプローチ角の増加に対して θ は約 $10^\circ\sim -20^\circ$ の間をわずかに変化する。なお、第1報にくらべると θ の値が負になる条件の範囲が広くかつ負の絶対値も大きい。

(6) 海老原の実験式による計算値と実験値との比較では全般に計算値の方が大きく出た。

文 献

- 1) 幾徳工業大学研究報告 B-2 (1977) 27
- 2) 海老原, マシナリー, 臨時増刊 No.7 (1950)