

## 1. 実験の目的

機械加工の基本である切削加工について、切削のメカニズム、すなわち切削機構を明らかにすることは、切削条件や工具の選定ならびに加工機械の検討などを行う上で、きわめて重要なことである。本実験では、切削の最も基本的な形態である二次元切削を行い、種々の切削条件における切削力ならびに切り屑厚さの測定値を手がかりとして解析を進め、これに基づいて、二次元切削の機構を考察し理解する。

## 2. 実験装置

普通旋盤 (LS)、切削工具 (スロウアウェイチップ 超硬 P20、すくい角  $\alpha = 5^\circ = 5\pi/180$  rad)、被削材 (炭素鋼 S25C、薄肉鋼管)、工具動力計および動ひずみ測定器、記録計 (3 チャンネル ペン書オシログラフ)、ノギス

## 3. 実験方法

(1) 切削条件 (切削速度および切り込み量) を、次項 (2) のように変化させて切削を行う。各場合の切削力を測定し、同時に生成した切り屑を採取する。

(2) 切削条件 (工具すくい角  $\alpha = 5^\circ = 5\pi/180$  rad)

(a) 切削速度変化の影響 (切り込み  $t_1 = 0.08$  mm 一定とし切削速度を 6 種類に変化)

$$V_1(N_1) = 160, V_2(N_2) = 290, V_3(N_3) = 390, V_4(N_4) = 525, V_5(N_5) = 730, V_6(N_6) = 970$$

(b) 切り込み量変化の影響 (切削速度  $V(N) = 730$  rpm 一定とし切り込み量を 6 種類に変化)

$$t_1 = 0.025, t_2 = 0.04, t_3 = 0.08, t_4 = 0.12, t_5 = 0.16, t_6 = 0.18$$

## 4. 測定結果

表 1 切り屑厚さ  $t_2$ 、表 2 に切削力の測定値を示す。

表 1 切り屑厚さの測定結果

切り込み量 $t_1 = 0.08$ mm		切削速度 $V(N) = 730$ rpm	
切削速度 $V(N)$ [rpm]	切り屑厚さ $t_2$ [mm]	切り込み量 $t_1$ [mm]	切り屑厚さ $t_2$ [mm]
160	0.46	0.025	0.10
290	0.38	0.04	0.15
390	0.36	0.08	0.34
525	0.35	0.12	0.52
730	0.34	0.16	0.59
970	0.32	0.18	0.62

表 2 切削力の測定結果

切り込み量 $t_1 = 0.08$ mm			切削速度 $V(N) = 730$ rpm		
切削速度 $V(N)$ [rpm]	主分力 $F_h$ [N]	送り分力 $F_v$ [N]	切り込み量 $t_2$ [mm]	主分力 $F_h$ [N]	送り分力 $F_v$ [N]
160	55.57	35.97	0.025	17.93	15.48
290	49.00	35.08	0.04	24.50	21.36
390	47.33	35.97	0.08	46.06	38.42
525	46.75	37.53	0.12	63.70	58.11
730	46.06	38.42	0.16	78.40	68.80
970	46.35	42.43	0.18	81.34	70.76

## 5. データの解析と結果

例として,  $t_1 = 0.08 \text{ mm}$ ,  $V(N) = 160 \text{ rpm}$  の場合を示す.

(1) 生成した切り屑の幅は被削材の切削幅に等しいと仮定し, 得られた切り屑厚さを測定し, せん断角  $\phi$  の大きさを求める.

$$\begin{aligned}\phi &= \arctan \frac{r \cos \alpha}{1 - r \sin \alpha} \quad \text{ここで, } r = t_1/t_2 \text{ (切削比) より} \\ &= \arctan \frac{0.08/0.46 \times \cos(5\pi/180)}{1 - 0.08/0.46 \times \sin(5\pi/180)} \\ \therefore \phi &= 0.174 \text{ rad}\end{aligned}$$

(2) 被削材のせん断面に働く力を計算する. また, せん断応力  $\tau$  を求める.

$$\begin{aligned}F_s &= F_h \cos \phi - F_v \sin \phi \quad \text{より} \\ &= 55.57 \times \cos 0.174 - 35.97 \times \sin 0.174 \\ \therefore F_s &= 48.50 \text{ N} \\ F_n &= F_h \sin \phi + F_v \cos \phi \quad \text{より} \\ &= 55.57 \times \sin 0.174 + 35.97 \times \cos 0.174 \\ \therefore F_n &= 45.05 \text{ N} \\ \tau_s &= \frac{F_s \sin \phi}{t_1 \cdot d} \quad \text{より} \\ &= \frac{48.50 \times \sin 0.174}{0.08 \times 2.3} \\ \therefore \tau_s &= 45.63 \text{ MPa}\end{aligned}$$

(3) 工具すくい面に働く力を計算する. さらに, 工具-被削材間の摩擦係数  $\mu$  および摩擦角  $\beta$  を求める.

$$\begin{aligned}F &= F_h \sin \alpha + F_v \cos \alpha \quad \text{より} \\ &= 55.57 \times \sin(5\pi/180) + 35.97 \times \cos(5\pi/180) \\ \therefore F &= 40.68 \text{ N} \\ N &= F_h \cos \alpha - F_v \sin \alpha \quad \text{より} \\ &= 55.57 \times \cos(5\pi/180) - 35.97 \times \sin(5\pi/180) \\ \therefore N &= 52.22 \text{ N} \\ \mu &= \frac{F}{N} \quad \text{より} \\ &= \frac{40.68}{52.22} \\ \therefore \mu &= 0.78 \\ \beta &= \arctan \mu \quad \text{より} \\ &= \arctan 0.78 \\ \therefore \beta &= 0.66 \text{ rad}\end{aligned}$$

(4) 理論上の  $\phi$  は次式のように 2 通りで表される .

(a) *Ernst-Merchant* の解

$$\phi = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2}(\beta - \alpha)$$

(b) *Lee-Shaffer* の解

$$\phi = \frac{\pi}{4} - (\beta - \alpha)$$

(5) 結果

表 3, 4 に計算結果を示す .

表 3 計算結果 ( $t_1 = 0.08$  mm)

$V(N)$ [rad]	$t_1$ [mm]	$t_2$ [mm]	$r$	$\phi$ [rad]	$F_h$ [N]	$F_v$ [N]	$F_s$ [N]	$F_n$ [N]	$\tau_s$ [MPa]	$F$ [N]	$N$ [N]	$\mu$	$\beta$ [rad]
160	0.08	0.46	0.174	0.174	55.57	35.97	48.50	45.04	45.63	40.67	52.22	0.78	0.66
290		0.38	0.211	0.21	49.00	35.08	42.19	43.04	39.69	39.22	45.76	0.86	0.71
390		0.36	0.222	0.222	47.33	35.97	40.39	43.62	38.01	39.95	44.02	0.91	0.74
525		0.35	0.229	0.228	46.75	37.53	39.54	45.06	37.20	41.47	43.30	0.96	0.76
730		0.34	0.235	0.235	46.06	38.42	38.71	45.81	36.43	42.28	42.54	0.99	0.78
970		0.32	0.250	0.249	46.35	42.43	38.31	49.82	36.04	46.31	42.48	1.09	0.83

表 4 計算結果 ( $V(N) = 730$  rpm)

$V(N)$ [rpm]	$t_1$ [mm]	$t_2$ [mm]	$r$	$\phi$ [rad]	$F_h$ [N]	$F_v$ [N]	$F_s$ [N]	$F_n$ [N]	$\tau_s$ [MPa]	$F$ [N]	$N$ [N]	$\mu$	$\beta$ [rad]
730	0.025	0.10	0.250	0.249	17.93	15.48	14.98	18.35	45.11	16.99	16.52	1.03	0.80
	0.04	0.15	0.267	0.266	24.50	21.36	20.43	25.28	38.45	23.42	22.54	1.04	0.81
	0.08	0.34	0.235	0.235	46.06	38.42	38.71	45.81	36.43	42.28	42.54	0.99	0.78
	0.12	0.52	0.231	0.230	63.70	58.11	52.68	68.26	33.04	63.44	58.39	1.09	0.83
	0.16	0.59	0.271	0.270	78.40	68.80	65.31	81.33	30.72	75.37	72.11	1.05	0.81
	0.18	0.62	0.290	0.288	81.34	70.76	67.86	83.77	28.38	77.58	74.86	1.04	0.81

また, 図 1 に  $\phi$  と  $\beta - \alpha$  の関係, 図 2, 3 に切削条件の変化に対する  $F_h$  と  $F_v$  の変化, 図 4, 5 に切削条件の変化に対する  $\phi, \beta$  の変化を示す .

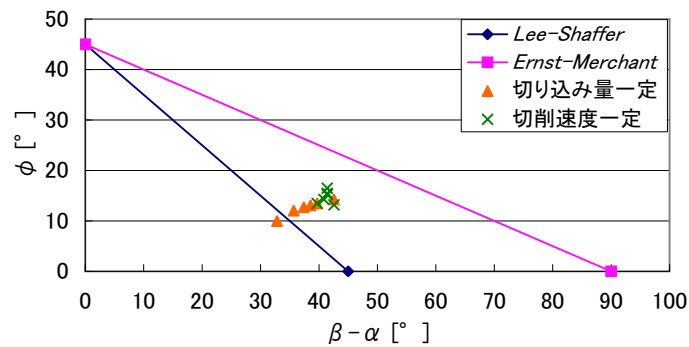


図 1  $\phi$  と  $\beta - \alpha$  の関係

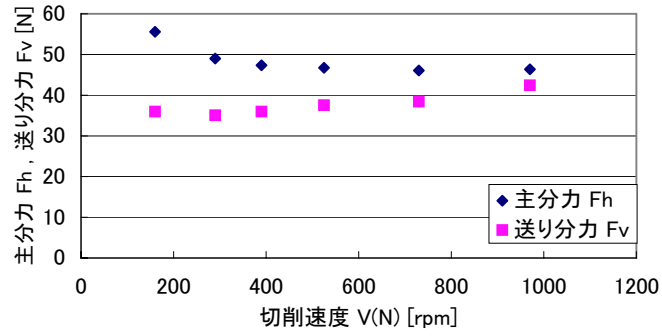


図2  $V(N)$  の変化と  $F_h$  と  $F_v$  の変化 ( $t_1 = 0.08$  mm)

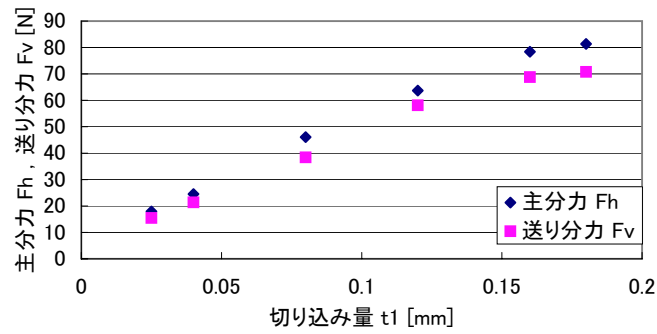


図3  $t_1$  の変化と  $F_h$  と  $F_v$  の変化 ( $V(N) = 730$  rpm)

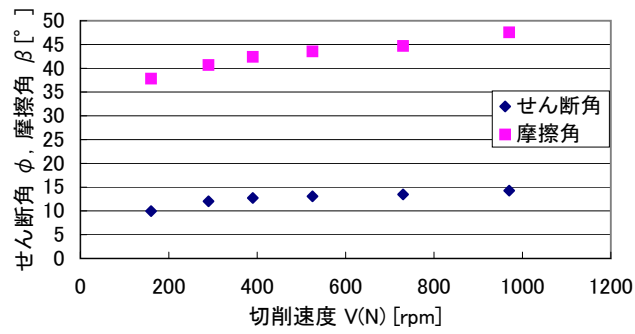


図4  $V(N)$  の変化と  $\phi$  ,  $\beta$  の変化 ( $t_1 = 0.08$  mm)

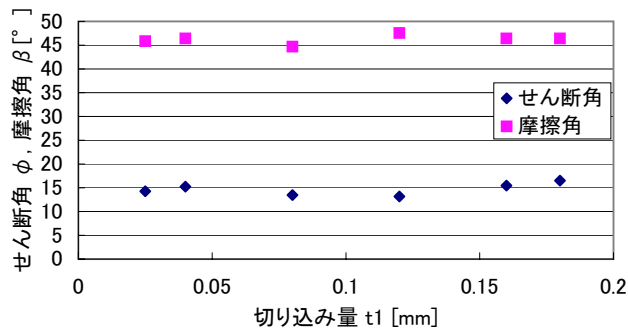


図5  $t_1$  の変化と  $\phi, \beta$  の変化 ( $V(N) = 730 \text{ rpm}$ )

## 5. 考察

まず、表3, 4の $\tau_s$ と静的材料試験で求めた降伏せん断応力 $\tau$ の値を比較すると、 $\tau_s$ は $\tau$ より小さく、73.9~83.7%の差があった。これは弾性範囲内ということになるが、実際は材料が塑性変形しているのが矛盾する。しかし、この実験で求めた $\tau_s$ は動的な材料試験で求めたものであるから、それにより降伏点が下がったと考えられる。つまり、動的の場合では切削過程による摩擦熱が発生するため、材料が高温になり変形しやすくなるから降伏点が下がると考えられる。また、表4の $\tau_s$ は表3の $\tau_s$ より減少の変化率が大きい。これは切削速度を上げるより切り込み量を増やすほうが抵抗が大きく、摩擦熱もより発生するということが分かる。

次に、図1をみると $\phi$ はLee-Shafferの解と近似である。したがって、その理論解が有力であるが、いまだ定説のないのが現状らしいので、この実験に合う実験式を求めると。図1より、散布の平均をとって $\phi = 55\pi/180 = 11\pi/36$ となる。

図2をみると、主分力は徐々に減少している。これは低速のときは工具刃先に構成刃先が発生し、抵抗が大きくなるため主分力は大きくなる。そして切削速度が上がっていくと切り屑の温度が再結晶温度以上になり、構成刃先の堆積が行われなくなり、切削しやすくなる。またその時せん断角が増加し、切削力は小さくなり切削が滑らかに行われる。送り分力は切削速度と比例関係になっている。これは送り速度の上昇により送り分力は増加すると考えられる。

図3をみると、 $t_1$ と $F_h, F_v$ は比例関係になっている。この場合の切削速度では構成刃先が発生しないから、この変化は明らかである。

図4をみると、 $V(N)$ と $\phi, \beta$ は緩やかな比例関係になっている。これは一般に切削速度が増加すると、 $\phi$ は増加し、また摩擦が大きくなるので $\beta$ は増加するからである。

図5をみると、 $t_1$ が変化しても $\phi, \beta$ は一定である。つまり、構成刃先が生成されない切削速度一定のもとでは $\phi, \beta$ は $t_1$ に依存しないことが分かる。