

## 旋削加工における切削抵抗の測定実験

### 1 実験目的

切削加工は工具を用いて工作物からその一部を削り取り、所望の形状、寸法、仕上げ面精度、強度などの性能を有する製品を創成する加工方法の一つである。切削工具によって工作物の一部が分離され塑性変形を起こす際に、工具はその反力（切削抵抗）を受ける。その切削抵抗の大きさや変動は、加工精度、仕上げ面粗さ、加工変質層、工具寿命、切削振動、工具摩耗などに大きな影響を与える。切削抵抗の大きさや変動を抑えるには、切屑生成などの切削現象を理解しておく必要がある。

旋削加工は工具（バイト、ドリル）を使い回転する工作物の外周、あるいは内周を切削する加工方法である。本実験は、歪みゲージを利用してバイトの変形量を測定して切削加工における切削抵抗の水平分力（主分力）、垂直分力（背分力）を求め、せん断面とすくい面に働く力を算出する。さらに、切込み量、切削速度と切削抵抗の関係を示す。本実験プロセスを体験することで、切削抵抗の測定法について学び、理論式の導出される過程を理解することができる。

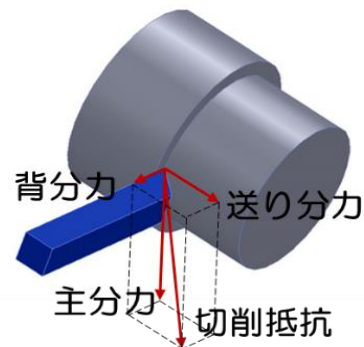


図1 切削抵抗

### 2 切削理論（4年生後期の授業で説明）

#### 1) 切削抵抗（測定できる力：図1参照）

$V$  : 切削速度（送り速度）

$F_c$  : 主分力（Y方向）  $F_t$  : 送り分力（Z方向）

#### 2) 切削比とせん断角の関係（2D切削モデル 図2参照）

$r_c$  : 切削比  $\phi$  : せん断角  $\gamma$  : すべり角

$$r_c = \frac{\text{切込み}}{\text{切屑厚さ}} = \frac{d}{t} \quad \tan \phi = \frac{r_c \cos \gamma}{1 - r_c \sin \gamma}$$

#### 3) 切削力（図3参照）

a) すくい面に働く力（ $F$  : 摩擦力、 $N$  : 垂直力）を求める。

$$F = F_t \cos \gamma + F_c \sin \gamma$$

$$N = F_c \cos \gamma - F_t \sin \gamma$$

b) せん断面に働く力（ $F_s$  : せん断力、 $F_n$  : 垂直力）を求める。

$$F_s = F_c \cos \phi - F_t \sin \phi$$

$$F_n = F_c \sin \phi + F_t \cos \phi$$

c) 比切削抵抗（単位容積当たりの動力）

$$\omega = \frac{W}{Vbd} = \frac{F_c V}{Vbd} = \frac{F_c}{bd}$$

: 単位切削面積当たりの主分力

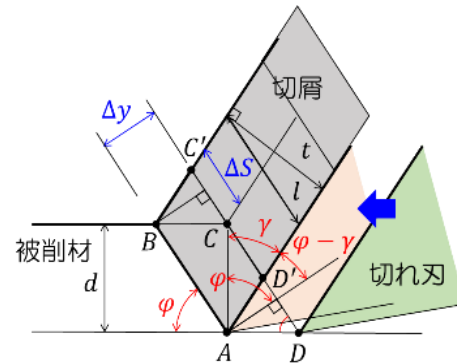


図2 切削比、せん断角

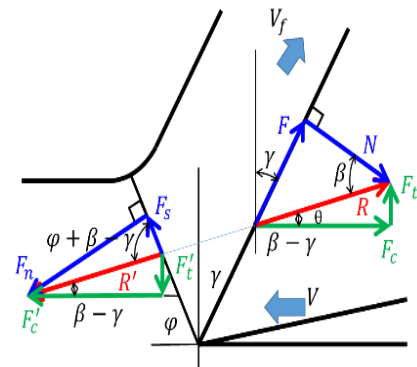


図3 旋削加工モデル

### 3 実験装置

使用する装置、機器、工具を以下の写真、図に示す。他にデジタル台はかりを使用する。



図4 旋盤（ワシノ製 LPT-35C）



（使用方法：電子回路基礎実験テキスト参照）

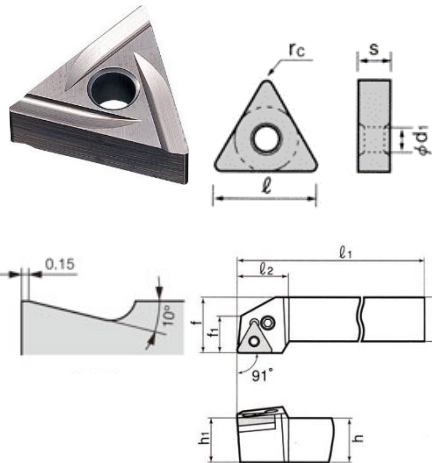
図5 オシロスコープ



（使用方法：ひずみゲージを用いた応力測定の基礎実験参照）

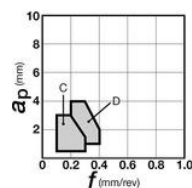
図7 バイト、ひずみゲージ、実験用ひずみゲージアンプ

チップ	TNGG160402R-C
適合	旋削加工用G級ネガチップ
被削材	P(鋼)
穴の形状	円筒穴
形状	正三角形60°
チップブレード	両面、C形
逃げ角(度)	0
勝手	右
種別	ネガ
材質	GT530(超鋼)
切削領域	仕上切削、勝手つき
刃長(mm)	16.5
厚さs(mm)	4.76
コーナー半径rc(mm)	0.2
穴径d1(Φmm)	3.81
コーナー高さ許容差(mm)	±0.025
内接円直径(Φmm)	9.525
厚さ許容差(mm)	±0.13
内接円許容差(mm)	±0.025



旋削チップホルダ タンガロイ		
レバーロック式 P形外径加工用バイト 刃先角91°		
	PTGNL2020	PTGNL1616
クランプシステム	レバーロック式	
適合チップ	正三角形60°	
切込み角Kr(°)	91	
チップ逃げ角(°)	0	
勝手	右	
用途	外径切削	
種別	ネガ	
形状	正三角形	
タイプ	ピンロック式	
寸法b(mm)	20	16
寸法h1(mm)	20	20
寸法h(mm)	20	16
寸法l1(mm)	125	100
寸法f(mm)	25	
寸法l2(mm)	22	
寸法f1(mm)	16	
基準コーナー rc	0.8	
使用インサート	TN□□1604	

図8 チップ、ホルダの形状、仕様



切込みap(mm)	0.5~3.0
送りf(mm/rev)	0.1~0.3
切削速度(m/min)	150~300

図9 推奨切削条件

## 4 実験手順

- (1) ひずみゲージアンプ 2 台をそれぞれとオシロスコープの CH1、CH2 に接続する。
- (2) ひずみゲージアンプにひずみゲージのコードを接続する（図 10 参照）。バイトの正面（Y-A）、側面（Y-B）、上面（Z-A）、下面（Z-B）それぞれにひずみゲージを貼りつけてあり、Y と Z をそれぞれのひずみゲージアンプに接続する。

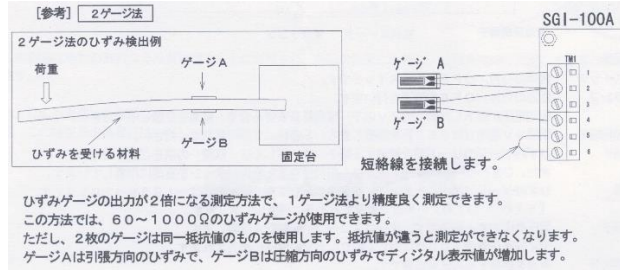


図 10 ひずみゲージの接続

- (3) ひずみゲージアンプに電池を接続し、ゼロ調整をする。オシロスコープの動作も確認する。

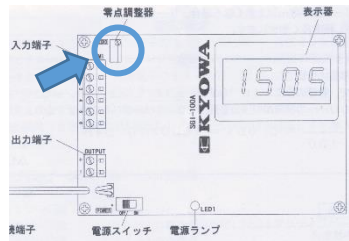


図 11 ゼロ点調整

- (4) ひずみ測定装置の特性（負荷と電圧出力値の関係）を求める。
  - ①デジタル台はかりをチャックとバイトの間にはさむ。
  - ②バイトを押し付けてデジタル台はかりに荷重（5、10～60kgf（50、100～600N））をかけ、ひずみアンプの電圧出力を測定する。
- (5) 表 1 の切削条件で切削加工し、切削抵抗、切屑厚さ、切屑幅を測定、切屑の状態を観察する（写真を撮り、タイプを書く）。

表 1 切削条件

工作物	S45C	Φ50～60mm
切削速度(m/min)	50、75、100	
切り込み量(mm)	0.2、0.4	
送り量(mm/rev)	0.12、0.24、0.32、0.48	

## 5 実験結果

- (1) 切削比を求める。
- (2) せん断角を求める。
- (3) 主分力、送り分力、せん断角、切削比からせん断面、すべり面の切削抵抗を求める。
- (4) 比切削抵抗を求める。

## 6 考察

- (1) 切込み量 0.2、0.4mmそれぞれについて、送り量（横軸）と切削抵抗（主分力、背分力、すくい面に働く力、せん断面に働く力）の関係をグラフで示し、考察せよ。
- (2) 切込み量 0.2、0.4mmそれぞれについて、切削速度（横軸）と切削抵抗（主分力、背分力、すくい面に働く力、せん断面に働く力）の関係をグラフで示し、考察せよ。
- (3) 2Dと3D切削モデルの違いについて調べ、本実験の測定・評価方法は正当かどうか考察せよ。

**【データ整理】**

(1) 負荷とひずみゲージアンプ出力電圧の関係

負荷 kg(N)	5(50)	10(100)	20(200)	30(300)	40(400)	50(500)	60(600)
ひずみゲージ 出力電圧							

換算式 (近似式) \_\_\_\_\_

(2) 切削抵抗、切屑厚さ測定

仮切削速度 (m/min)	回転数 (rpm)	工作物 外形(mm)	実切削速度 (m/min)	切込み量 (mm)	送り量 (mm/rev)	アンプ出力値(mV)		オシロスコープ	
						主分力	送り分力	主分力	送り分力
① 50				0.2	0.12				
					0.24				
					0.32				
					0.48				
② 75					0.12				
					0.24				
					0.32				
					0.48				
③ 100					0.12				
					0.24				
					0.32				
					0.48				
④ 50				0.4	0.12				
					0.24				
					0.32				
					0.48				
⑤ 75					0.12				
					0.24				
					0.32				
					0.48				
⑥ 100					0.12				
					0.24				
					0.32				
					0.48				

(3) 切屑厚さ測定とすくい面、せん断面に働く力の計算

実切削速度 (m/min)	切込み量 (mm)	送り量 (mm/rev)	切屑厚さ (mm)	切削比	せん断角	すくい面に働く力(N)		せん断面に働く力 (N)	
						摩擦力	垂直力	せん断力	垂直力
①	0.2	0.12							
		0.24							
		0.32							
		0.48							
②		0.12							
		0.24							
		0.32							
		0.48							
③		0.12							
		0.24							
		0.32							
		0.48							
④	0.12								
	0.24								
	0.32								
	0.48								
⑤	0.12								
	0.24								
	0.32								
	0.48								
⑥	0.12								
	0.24								
	0.32								
	0.48								

(4) 切屑幅の測定と比切削抵抗の計算

実切削速度 (m/min)	切込み量 (mm)	送り量 (mm/rev)	切屑厚さ(mm)	切屑幅 (mm)	主分力 (N)	比切削抵抗 (GPa)	
①	0.2	0.12					
		0.24					
		0.32					
		0.48					
②		0.12					
		0.24					
		0.32					
		0.48					
③		0.12					
		0.24					
		0.32					
		0.48					
④	0.12						
	0.24						
	0.32						
	0.48						
⑤	0.12						
	0.24						
	0.32						
	0.48						
⑥	0.12						
	0.24						
	0.32						
	0.48						