

【実験I-1】 X型Vブロックの製作

1. 目 的

本工作実習では、フライス盤の操作方法，使用する工具，測定器について学ぶ。さらに，X型Vブロックを作製し，面粗さについて検討する。

2. フライス盤

2.1. フライス加工の種類

フライス加工の種類を図-1に示す。

2.2. フライス削りの諸元

フライス盤で切削する場合に必要な切削諸元（図I-1-2参照）は，① 切削速度 V ，② 切込み t ，③ テーブルの送り F が主体となるが，さらに④ 切削幅 w がある。また，テーブル送りをきびしく決める場合や，標準切削時間の設定，見積りに際しては，⑤ 1刃当たりの送りを考えなければならない。1刃当たりの送りは， f_z で表す。

2.2.1. 上向削りと下向削り

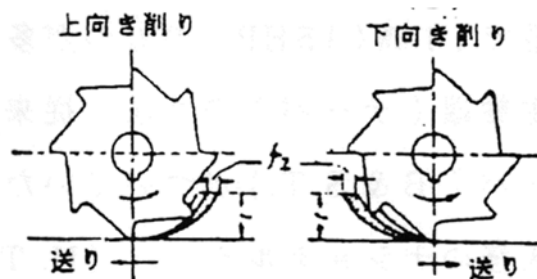
円筒削りでは，カッタの切削方向とテーブルの送り方向の関係から，上向き削りと下向き削りの使い分けが必要になる。（図I-1-2参照）つまり，カッタの切削方向と同じ方向に送りをかける方法を下向削りといい，一般の切削方法，すなわち上向削りとわけている（正面削りの場合は，実際問題としてワークの幅よりもカッタ直径が大きいことが多いので，このことはあまり考えないでよいが， シェルエンドミルなどでは正面削りと円周削りが複合されるから考えなければならない。）上向削りと下向削りの利点，欠点は表I-1-1のとおりである。

2.2.2. 切削速度

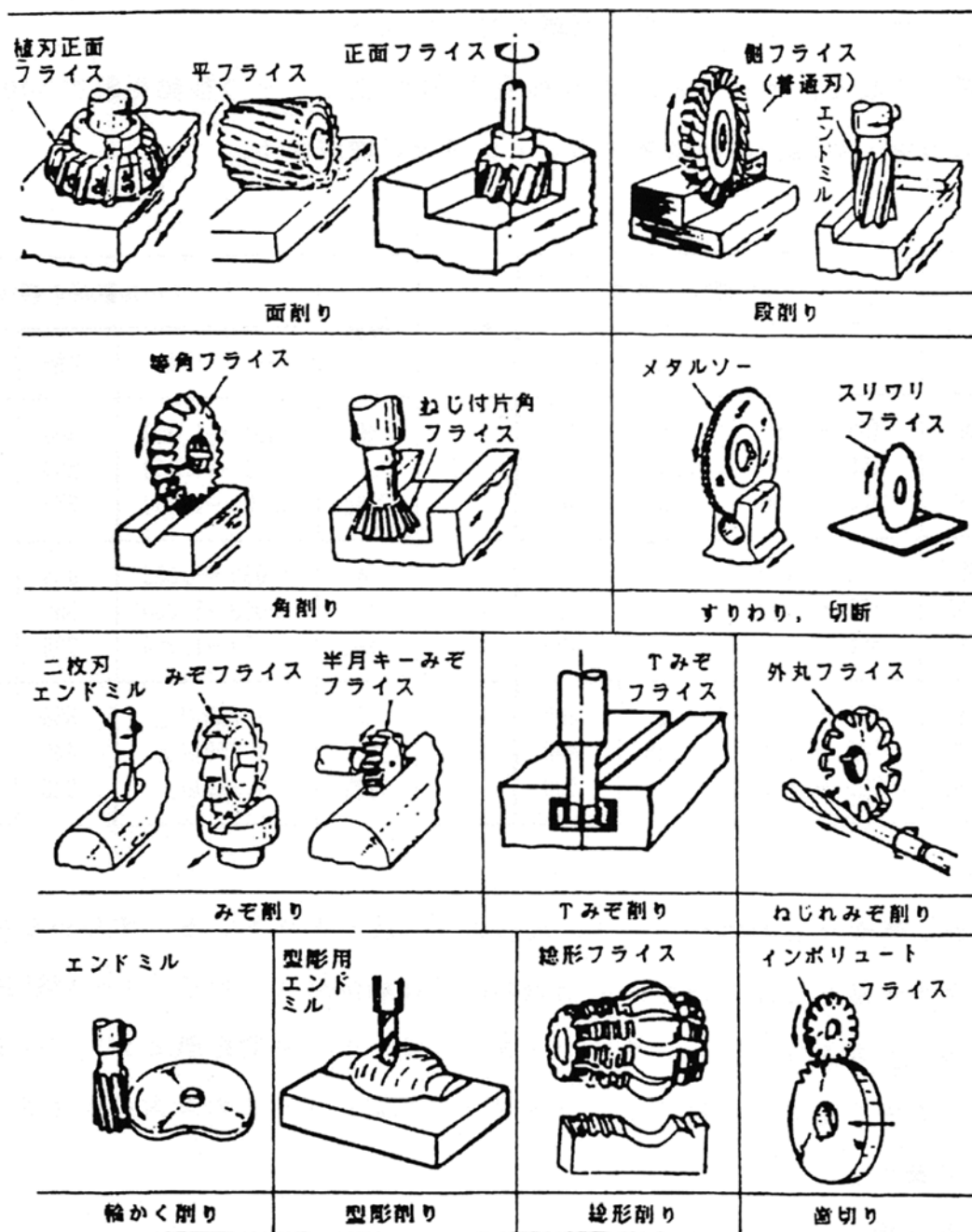
切削速度 V はカッタの刃先がワークを削る速度，言い換えれば，刃先がワーク上を通過する速度で，1分間につき何mという単位で表わされるのが普通で，次式によって計算される。

$$V(m/min) = \frac{\pi D N}{1000} \quad (I-1-1)$$

ここで， D はカッタ直径(mm)， N はカッタ回転数(min^{-1})である。



図I-1-2 上向き削りと下向



図I-1-1 フライス加工の種

たとえば、直径 150 mmのカッタを用いて 220 min^{-1} で切削を行なうと、その切削速度は

$$V = \frac{3.14 \times 150 \times 220}{1000} = 103.5 (m/min) \quad (\text{I-1-2})$$

となる。

表I-1-1 上向き削りと下向き削りの利点と欠点

	上向き削り	下向き削り
利 点	① 切屑が切刃のじゃまをしない。 ② フライスの刃の進行方向と工作物の送られる方向が、相反して押し合うので、送り機構のあそびが除去されて、切削が、自然に行なわれる。	① 切刃が工作物を下へ押付けるので、工作物の取付けが簡単でよい。ことに薄物など取付けしにくいものの面削りに便利 ② フライスの刃が、一定の位置に一時に切込むので、刃先の摩耗が少ない。したがって、フライスの寿命が長く動力の消費が少なく、切削能率は向上する。 ③ 削り面がきれい。加工精度が向上する。 ④ 削り量が多い。 ⑤ 刃先が熱せられることが少ない。
欠 点	③ 切刃が工作物を押しあげるように作用するので、工作物を確実に取付けねばならない。 ④ 切刃が工作物に切込むとき、すぐ切込まないで、しばらくすべった後、接触圧力が増大して切込む。この摩擦のため、刃先が摩耗し、フライスの寿命が短くなり、動力をむだに消費する。 ⑤ 削り面がきたない。	⑥ 切屑が刃先のあいだにはさまって、切削のじゃまをする。 ⑦ 切刃と工作物の進行方向が同じ方向であるから、あそびが増大されて、工作物が切刃に引きこまれて、がたやびびりが起り、工作物やフライスを損傷する。また、アーバを曲げたりするので、あそび除去装置がないと、下向き削りはできない。

2.2.3. 送り

一般に金属は切削されるとき、その切屑の厚さ h_m が厚い程、また送りが早い程、単位切屑面積当りの動力は低くてすむ。前者の例を図I-1-3に示す。



図I-1-3 切屑の厚さ

また、送りが遅いと、カッタがワークに切込んでから削り終わるまでに長い時間を要し、それだけ刃先が何回も余分にワークと接触しつつ、薄い切屑を出していくので、刃先の摩耗の点からも不利である。したがってフライス切削では、切削状況から判断して、できるだけ送りを早くすることが必要となってくる。

ここでテーブル送りと1刃当たりの送りとの関係を示しておく。どのフライス盤でも、機械操作には直接1刃当たりの送りというのではない。あるのはテーブル送りだけである。テーブル送り F は、回転数 N 、刃数 Z 、1刃当たりの送り f_z が決まれば、次式により求まる。

$$F = f_z \cdot N \cdot Z \quad (\text{I-1-3})$$

後に示す切削諸元の標準にも、この数値は記入されているので、 f_z を設定してからテーブル送り F をきめていく習慣をつけておくとよい。しかし、実際の作業にあたっては、切削速度と同様に、ここでも標準値を一つの目安とすべきである。

2.2.4. 切込み

切込みは、ワークから1回に削り取られる材料の厚さであり、取代によって決まってくる。（表I-1-2参照）たとえば、いま取代が6 mmある場合、実際切削を何回に分け、それぞれ切込みを何 mmにしてゆくかの可能性を考えてみると、

表I-1-2 フライスの切込み深さ
(標準値)

加工の程度	切込み深さ mm
精密仕上げ	0.3 ~ 0.5
中仕上げ	0.4 ~ 1.4
荒削り	3 ~ 5

- a) 6 mm切込んで1回で取る。
- b) 3 mm, 2.5 mm, 0.5 mmと3回で取る。
- c) 2 mm, 2 mm, 2 mmと3回で取る。
- d) その他の方法

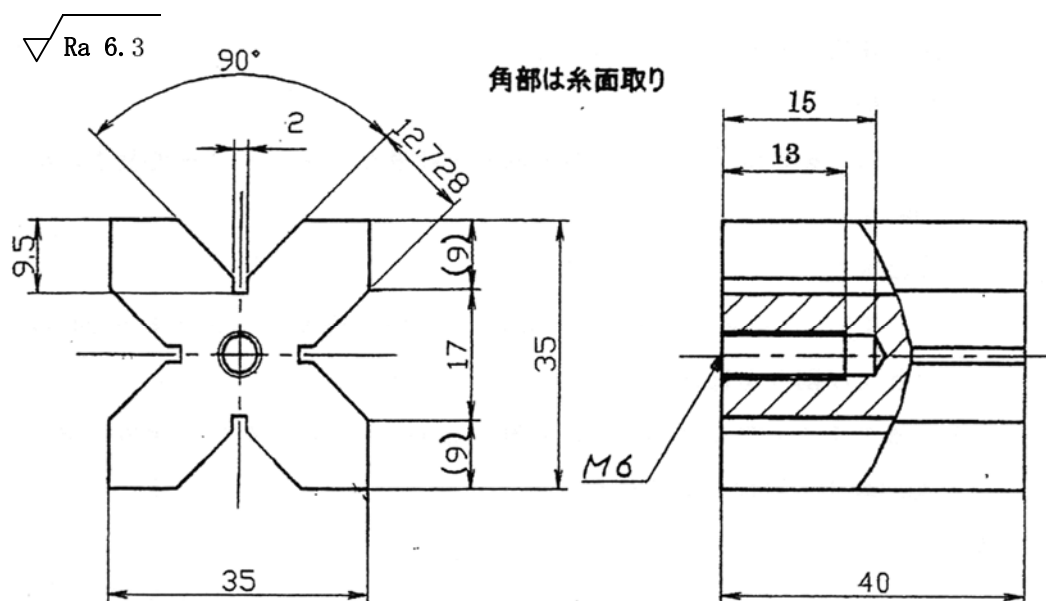
が考えられるが、これらのいずれにするかは機械、工具、ワーク形状、仕上面粗さ等によって決まってくるものである。一般には、b)の方法が適用されることが多い。このように切込みは、荒削り3 mm、仕上げ0.5 mm前後が一般的であるが、実際の数値はその場その場に当たって加工する人の判断に委ねられる。さらに、機械や工具の強さ、剛性、ワークの形状とその取付方法、および取代等から判断しなければならない。正面フライスと平フライスによる平面削りの切込みの標準を表に示す。

3. Vブロックの製作

3.1. 加工図と使用機器

次図に本課題で製作するX形Vブロックの加工図を図I-1-4に示す。加工に入る前に以下の点検、操作を行ない、フライス盤の誤操作をしないように十分慣れると同時に安全については細心の注意を払うこと。

- (1) 主軸、送り装置の回転停止および非常停止
- (2) 主軸回転数の変換操作法
- (3) 手送り、自動送り、早送りの操作法
- (4) 送り速度変換操作法
- (5) 切削刃物および切削材質に対する予備知識



図I-1-4 Vブロック加工図

本課題で使用する工作機械，工具，計測器類は以下のものである。

(1) 工作機械

横フライス盤，立フライス盤

(2) 工具計測器

ノギス，ハイトゲージ，正直台，Vブロック，メタルソー，エンドミル，正面フライス，油目ヤスリ，プラスチックハンマー

(3) 素材

□ 38× 300 mm 6-4黄銅 (C2800B)

3.2. 作業手順

(1) 平面削り

立フライス盤はバイスを取り付けて，□ 38× 300 mm 素材黄銅棒の4面を正しく，□ 35mm になるように正面フライスで削る。

(2) スリ割り溝削り

横フライス盤でバイスを正しく取り付け，□ 35 mmに削った材料の中心にメタルソーを移動し，位置決めをしてから深さ9.5 mmの溝削りをする。
同じ要領で他の3面も溝削りを行なう。

(3) 切断

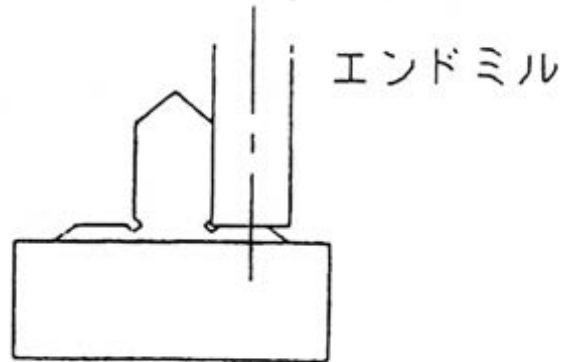
スリ割りをした□ 35 mmの材料を取り付け直し，メタルソーで長さ 41 mmに切断する。

(4) 端面削り

立フライス盤では，41 mmに切断した材料の両面を正面フライスで 40 mmに仕上げ削りを行なう。

(5) V溝削り

立フライス盤では、エンドミルを用い材料を図I-1-5のようにバイスに取り付けて削る。次に反対側の溝も同じ要領で削り、V溝 4ヶ所を加工する。



図I-1-5 V溝削り

(6) 糸面取り

切削加工したVブロックのエッジ部を油目ヤスリで糸面取りを行なう。

3.3. 切削条件

切削速度と送りは、表I-1-3に示す関係にある。手順としては1刃当たりの送りを設定してから考えるのがよい。

$$\begin{aligned} V &= \pi D N / 1000 \quad [\text{m/min}] \\ f_z &= F / (N \times Z) \quad [\text{mm}] \\ F &= f_z \times N \times Z \quad [\text{mm/min}] \end{aligned} \quad (\text{I-1.4})$$

ここで、 V = 切削速度 m/min, D = カッタ直径 mm, Z = カッタ刃数, f_z = 1刃当たりの送り mm, F = 送り mm/m, N = 回転速度 min^{-1} となっている。

表I-1-3 各工程における切削条件

加工	使用カッタ	主軸回転数 $N \text{ min}^{-1}$	切削速度 $V \text{ m/min}$	送り F mm/min	1刃当たりの送り $f_z \text{ mm}$	切込み mm
平面削り	$\phi 60$ 4Z 超硬 正面フライス	980	185	200	0.05	0.5~1
溝削り	$\phi 125 \times 2 \times 25.4$ SHSメタルソー (50Z)	115	45	70	0.01	9.5
切断	$\phi 150 \times 3 \times 25.4$ SHSメタルソー (50Z)	115	54	70	0.01	35
端面削り	$\phi 60$ 4Z 超硬 正面フライス	980	185	200	0.05	0.5
V溝削り	$\phi 25$ 4Z SHS エンドミル	530	42	60	0.03	0.3~3

表I-1-4 V溝仕上げの切削条件

加工	使用カッタ	主軸回転数 $N \text{ min}^{-1}$	切削速度 $V \text{ m/min}$	送りF mm/min	1刃当たりの送り $f_z \text{ mm}$	切込み mm
V溝削り	$\phi 25 \text{ 4Z SHS}$ エンドミル	530		60		0.2
		265		30		0.2
		530		195		0.2
		530		315		0.2

4. 課題

- (1) 工作機械については、実際に使用した機械について具体的に記述する。ウェブサイトや文献で調べた結果を補足してよい。
- (2) 測定器具については、実際に使用した器具について具体的に記述する。ウェブサイトや文献で調べた結果を補足してよい。
- (3) 加工方法については、実際に行った手順を簡潔にまとめて記述する。作業中に受けた注意や気が付いた点についても具体的に記述する。
- (4) 加工条件については、実際に設定した加工条件を記述する。表I-1-4の各条件の切削速度 V 及び1刃当たりの送り f_z を式(I-1-4)から求め、表をそのまま報告書に記載する。
- (5) 本課題は普通公差 (JIS B0405) の中級 (m) に従っている。実習中に4つの凸部の①幅、②表面粗さを測定し、目標値や公差等を含めて表にまとめて記載する。
- (6) 考察では、V溝部の面粗さを平面粗さ標準片と比較して決定した結果から、1刃当たりの送り f_z と面あらさの関係について考察する。
- (7) 添付の図面には、①幅、②表面粗さの測定結果を赤字で追加記入する。

【実験 I-2】 ホブ盤による歯車の製作

1. 目的

工具圧力角がそれぞれ $\alpha = 14.5^\circ$ と $\alpha = 20^\circ$ 、モジュールが $m = 2$ のホブを用い、歯数が $Z = 13$ 枚の標準歯車と転位歯車を切削し、製作した各 4 枚の歯車の歯形等を比較検討する。

2. 歯車の諸元および各部の名称

歯車の諸元を以下に示す。ここで、各記号は図 I-2-1 に示す。

モジュール	$m = d / Z$
基準ピッチ円直径	$d = m Z$
円ピッチ	$P = \pi d / Z$
法線ピッチ	$P_b = \pi m \cos \alpha = \pi d_b / Z$
基礎円直径	$d_b = d \cos \alpha$
歯先円直径	$d_a = d + 2m = (Z + 2)m$
中心距離	$a = (d_1 + d_2) / 2 = m(Z_1 + Z_2) / 2$

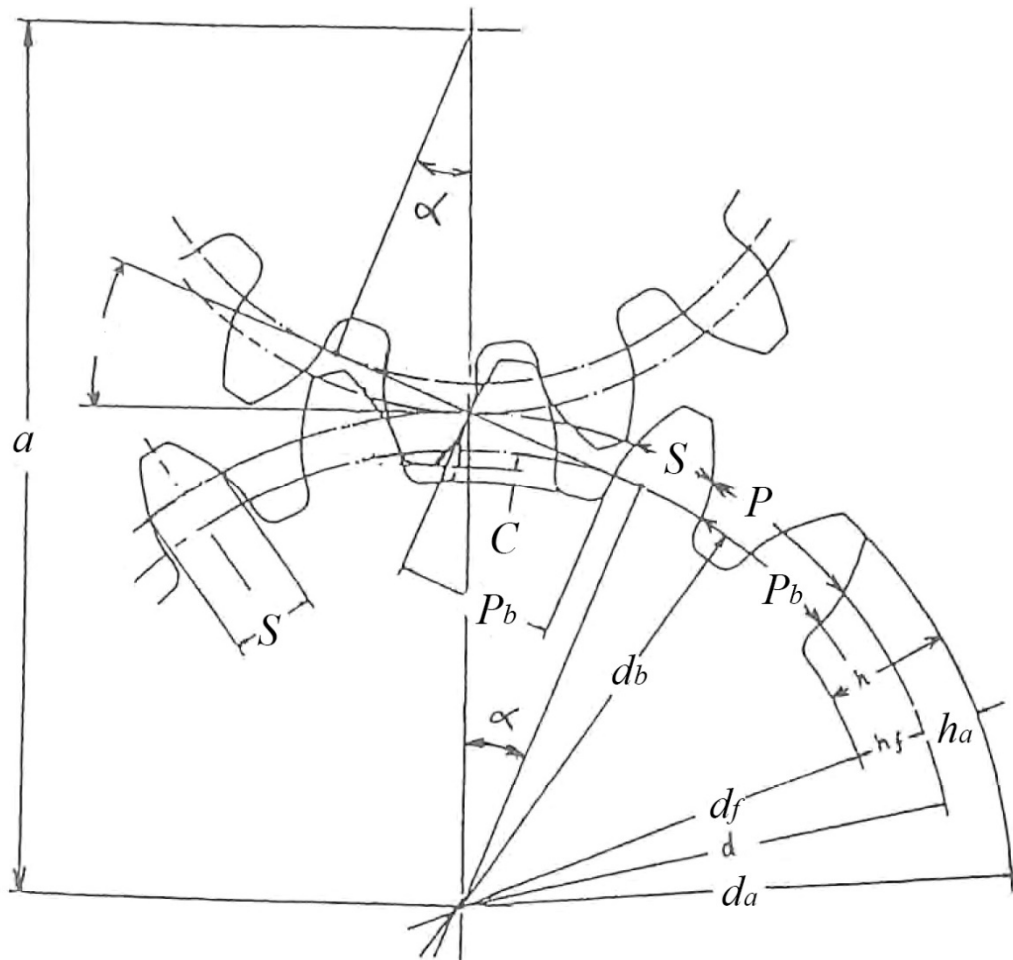


図 I-2-1 標準歯車各部の寸法と名称

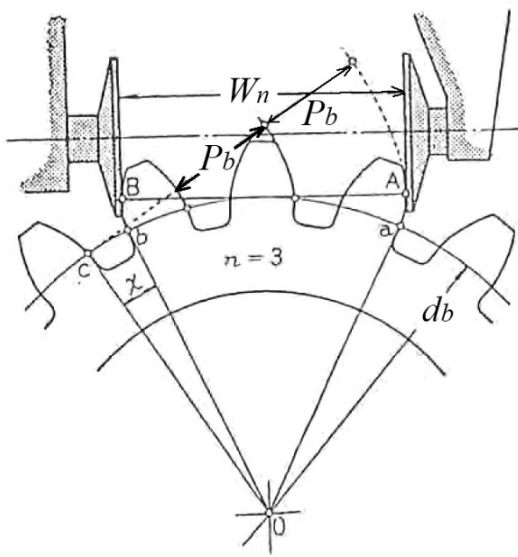
3. マタギ歯厚の計算式

歯数 n 枚のマタギ歯厚 W_n は図 I-2-2 から $W_n = \overline{AB}$ であり、基礎円直径は $d_b = ZP_b / \pi$ であることより

$$W_n = \overline{AB} = ac - bc = nP_b - \chi \frac{d_b}{2} = P_b \left(n - \frac{z\chi}{2\pi} \right) \quad (\text{I-2-1})$$

ここで、基礎円歯付き角 χ は転位係数 x の歯車に対して図 I-2-3 から次式で表される。

$$\chi = \frac{\pi}{z} - \frac{4x \tan \alpha}{z} - 2 \operatorname{inv} \alpha \quad (\text{I-2-2})$$



注意：

基礎円歯付き角 χ ← ギリシャ文字のカイ
転位係数 x ← アルファベットのエックス

図 I-2-2 マタギ歯厚 ($n=3$)

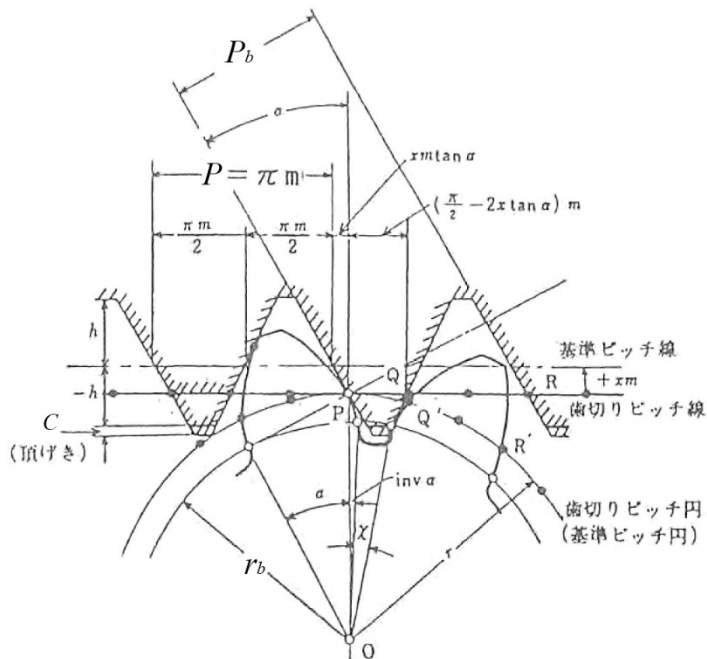


図 I-2-3 転位歯車の創成歯切り

したがって、マタギ歯厚の計算式は上式と法線ピッチ $P_b = \pi m \cos \alpha$ を式(I-2-1)に代入することより、次式になる。

$$W_n = m \cos \alpha \{z \operatorname{inv} \alpha + \pi(n - 0.5)\} + 2xm \sin \alpha \tag{I-2-3}$$

なお、本実験ではマタギ歯厚の測定は 1 枚の歯車について各 4 箇所で行い表 I-2-1 のようにまとめ、さらにマタギ歯厚 W_2 と W_3 に対する計算結果ならびに加工した歯車の法線方向バックラッシ j_n がどの程度になるかを求めて空欄に記入して報告すること。

表 I-2-1 製作した歯車の測定結果

インボリュート歯車		標準	転位
材料寸法	外径		
	内径		
	幅		
モジュール m			
圧力角 α			
歯数 Z			
基準円直径 d			
転位係数 x			
マタギ歯厚 W_n	W_n (図面)		
	W_3		
	W_2		
法線ピッチ P_b	理論値		
	製作した歯車		
バックラッシ (図面)			
法線方向バックラッシ j_n			
歯車のスタンプ			

参考：

法線ピッチ P_b

理論値： $\pi m \cos \alpha$

製作した歯車：マタギ歯厚 $W_3 - W_2$

法線方向バックラッシ j_n

マタギ歯厚 W_2 －製作したマタギ歯厚 W_2

4. 歯切りのための切込み量の決定

歯数 13 枚の歯車では $n = 2$ として w_2 を測定する。 $\alpha = 14.5^\circ$ と $\alpha = 20^\circ$ に対するマタギ歯厚の計算結果は、加工図面に示したものである。図 I-2-4 から切り込み量 δ_t とマタギ歯厚の変化量 δ_E には次のような関係式が成立する。

$$\delta_t = \frac{1}{2 \sin \alpha} \delta_E \quad (\text{I-2-4})$$

ただし、 δ_E は歯切り仕上前のマタギ歯厚 w_2' と計算値 w_2 の差である。したがって、マタギ歯厚の公差、すなわちバックラッシ分も考慮に入れて、式 (I-2-4) により所定切込み量を定めながら、図面で指示された歯厚を持つような歯車を切削して完成する。

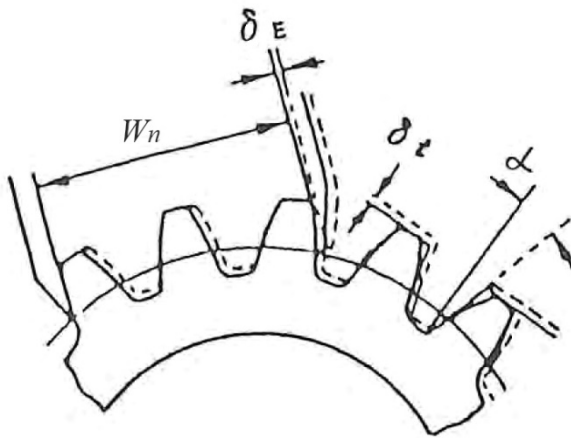


図 I-2-4 δ_E と δ_t の関係

なお、 δ_t と δ_E は機械要素設計（2 年次秋学期）で説明した中心間距離の増加量 Δa と法線方向バックラッシ j_n の関係式（以下の式）とまったく同じであることを注意しよう。

$$j_n = \Delta a \times 2 \sin \alpha \quad (\text{I-2-4})$$

参 考

歯車のスケッチなどで圧力角や転位係数が不明である場合に対して歯車諸元をどのように推定するかを簡単に述べる。このような場合には、まず全歯たけと歯数および外径より、ラウンドナンバーになるモジュール m を推定する。次に、 n

枚のマタギ歯圧 W_n と $n-1$ 枚のマタギ歯厚 W_{n-1} をそれぞれ測定しておいて、式(I-2-5)より圧力角が $\alpha=20^\circ$ であるか $\alpha=14.5^\circ$ であるかを確認することができる。

$$P_b = W_n - W_{n-1} = \pi m \cos \alpha, \qquad \alpha = \cos^{-1} \frac{W_n - W_{n-1}}{\pi m} \tag{I-2-5}$$

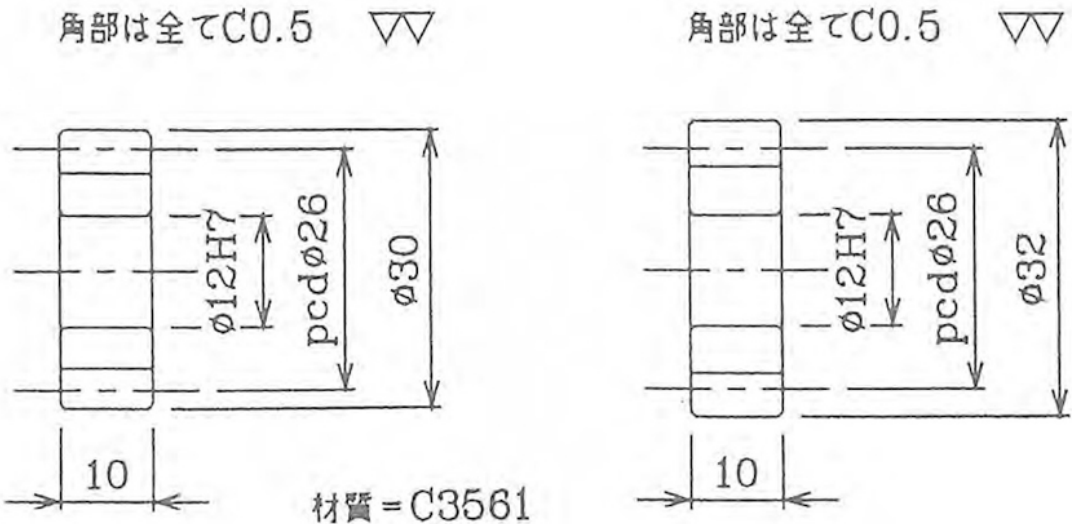
そして、歯車が標準歯車でない場合には転位係数を推定して歯車諸元が定まる。式(I-2-5)で圧力角が決まったら法線ピッチを $P_b = \pi m \cos \alpha$ より再度求め、式(I-2-1)から基礎円歯付き角 $\hat{x}$ を

$$\hat{x} = \frac{2\pi}{z} \left(n - \frac{W_n}{P_b} \right) \tag{I-2-6}$$

のように推定して、転位係数 x の推定値 $\hat{x}$ を次式によって求めることができる。

$$\hat{x} = \frac{\pi}{4 \tan \alpha} - \frac{z}{2 \tan \alpha} \left(\operatorname{inv} \alpha + \frac{\hat{x}}{z} \right) \tag{I-2-7}$$

5. 作製する歯車の仕様



$m = 2, \quad z = 13 \text{ のマタギ歯厚 } W_2$

圧力角	標準 $x=0$	転位 $x=0.5$
$\alpha = 14.5^\circ$	$W_2 = 9.264$	$W_2 = 9.765$
$\alpha = 20^\circ$	$W_2 = 9.221$	$W_2 = 9.905$

6. 課題

- (1) ホブ盤による歯車の製作に際して、注意すべき点を述べよ。
- (2) インボリュート歯車の利点を、今回の体験も踏まえて、製造面および性能面から重要と

思われる順に3つ以上箇条書きにせよ。また欠点は何か。

- (3) 製作した標準歯車と転位歯車をその特徴が解るようにスケッチするとともに、転位歯車によって解決できる設計上の課題を複数個具体的にあげよ。
- (4) 圧力角の違いによる利点を述べよ。
- (5) 製作した歯車のマタギ歯厚 w_3 , w_2 を使用してテキストの参考の式を確認しながら圧力角と転位係数をそれぞれ求めよ。