

内歯車の高精度加工法 (II)

(ホブ切り法とホブ切り内歯車の精度)

(昭和48年5月14日 原稿受理)

坂 本 正 史
中 村 平
上 野 拓
寺 島 健 一

Studies on Precision Internal Gear Cutting (II)

(Internal gear hobbing)

by Masafumi SAKAMOTO
Taira NAKAMURA
Taku UENO
Kenichi TERASHIMA

Cutting tests were performed using some newly developed hobs for internal gears and very satisfactory results were obtained.

Accuracy of the hobbed internal gears, internal gear hobbing attachment and some observations for internal gear hobbing were shown in this paper.

1. 緒 言

高精度の内歯車を能率よく加工するためには、ホブ切りが最も適しているものと考え、創成歯切用の樽形ホブを考案しその解析を行なった¹⁾。しかしこのホブを近似的に作るにも特殊な研削盤が必要であり、正確な内歯車用ホブを作るのはなかなか困難である。そこで普通のホブ研削盤で容易に作ることの出来る円筒形のホブを考案し試作した²⁾。

このホブを用いて内歯車をホブ切りするためには、特殊な内歯車歯切装置が必要であるので、そのセッティング法等の検討を行なう必要がある。どのようにすればこの内歯車用ホブの特長を生かして高精度内歯車の加工が行なえるかを検討した。

2. 使用した内歯車用ホブとその特長

図1 図2は実験に使用した内歯車用ホブの写真

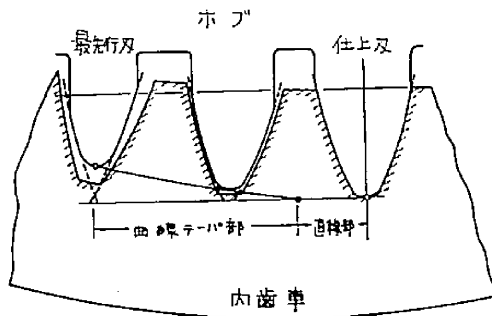


図1 実験に使用した内歯車用ホブ説明図

及びその説明図である。このホブはホブ切り中心にある切刃1枚のみが正しい内歯車歯形を仕上げるような輪郭に作られており^{*)}、この仕上刃より先に並んでいる切刃はただ歯溝をくりひろげる働きだけをする。したがって極言すれば仕上刃1枚

^{*)} 仕上刃の輪郭は歯切りされる内歯車の歯溝輪郭にほぼ近い形状をしているが、実際には少々異なった形をしている。

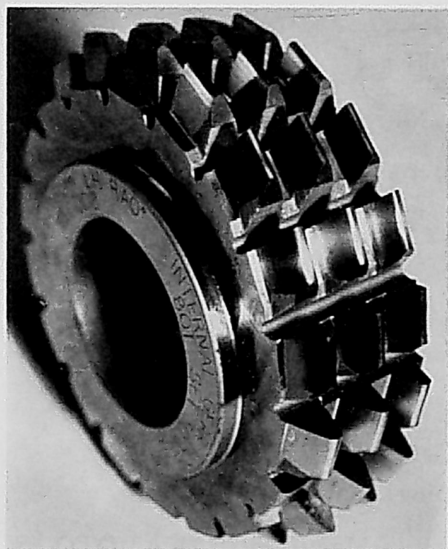


図2 試作した内歯車用ホブ

だけ丁寧に作っておけば良く、他の荒削刃は最終的に仕上げられる内歯車歯形輪郭の実質側に入り込まなければ、あとはどのような形でもかまわないわけである。切刃を任意に作れるということは、いいかえると歯切り作業に都合の良いようにしかも高精度の内歯車用ホブが容易に製作可能なように自由に設計できることを意味する。本ホブはそのような利点を生かして、切削トルク変動を均一化し、また仕上刃に切削負担ができるだけかからないように考慮して作られている³⁾。本ホブ切り法は普通ホブ切りと同様であり、ホブが1回転する間に内歯車材を正しく歯数分の1回転させて(1条ホブの場合)歯切りすれば良い。しかしこのホブ切刃の出す切屑(uncut chip)形状は普通ホブの場合と全く異なっている。

図3は普通ホブが削り出す最大切屑形状と内歯車用ホブの切屑形状を比較したものである。刃先が出す切屑形状を例に考えると、旋削あるいは正面フライス削りに近いことがわかる。図4は内歯車用ホブ各切刃の刃先が削り出す切屑厚さ、長さおよび切刃のくい付角を示したものである。内歯車用ホブでは割合大きな角度で被削材に切込み、すぐ一定の厚みになっている。最も働く9~21番切刃のくい込み角は、前例の普通ホブでは3条ホブの場合に相当している。

図5はくい付角をかえて断続切削を行なわせた

内歯車用ホブ仕様

モ	ジ	ユ	一	ル	M	4
被	削	材	歯	数	Z	80
圧		力		角	α_0	20°
歯				溝	G.L.	∞
切		込		量	D+F	9.0
巻		ね	じ	れ	NH	1LH
取		付		角		0°
分		割		数	Nu	18
材				質	SKH	55
か		た		さ	HRC	65
送				り	f	1.5

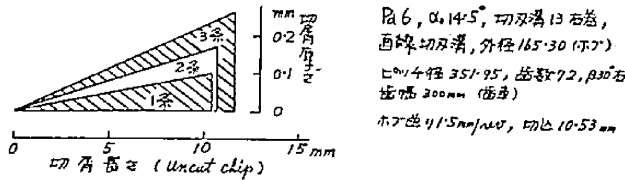
ときの工具摩耗である⁴⁾。ある角度より小さい値^{*)}になると、逃げ面摩耗幅が急激に増大している。くい付角が小さい範囲では、くい付はじめなどで切刃がすべったために工具摩耗が大きくなったものと思われる。この例は超硬工具ではあるが、高速度鋼工具の場合も同様なことが起っている。普通ホブ切りで多条ホブがもてはやされているのはこのためではなかろうか。この点から考えると、本ホブ切り法はくい付はじめの切刃のすべりが少なく、工具摩耗も少ないことが想像される。

切削厚さを比較すると、同じ送り $f=1.5 \text{ mm/rev}$ であるにもかかわらず厚さは内歯車用ホブの場合非常に薄く、1条ホブの1/7、3条ホブの1/17程度でしかない。これは内歯車ホブでは各切刃ができるだけ様な負担になるように設計されているのに対して、普通ホブでは特定の切刃に負担が集中するためである。くい付はじめの問題を除けば、工具摩耗は切削厚さに比例するものと仮定すれば、本内歯車用ホブは切削厚さが薄いので更に大きな送りで切削できることになり生産能率の点からも大変都合が良い。

仕上刃及び仕上刃に近い3~7番の切刃の刃先は働かないようにしている。これは歯形精度を

^{*)} この値は使用する切削系の剛性や工具と材料の組合せ等で異なるものと考えられる。

(a) 普通ホブ



(b) 内歯車用ホブ

切刃番号1~8の切刃は双先が削れない。

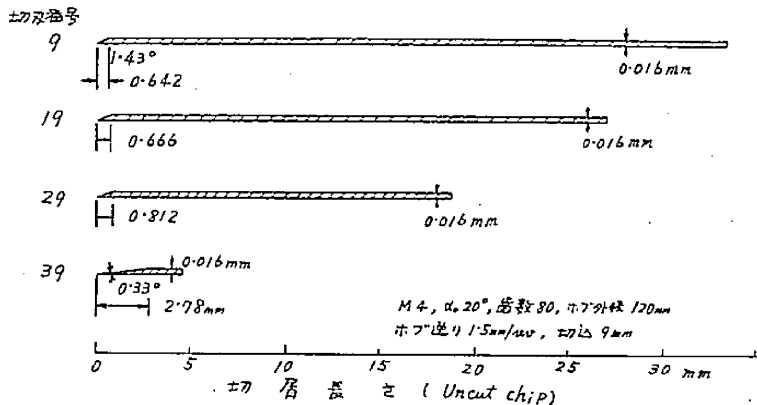


図3 普通ホブと内歯車用ホブの切屑形状

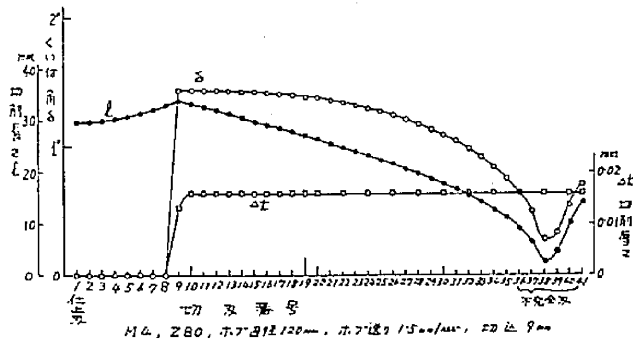


図4 内歯車用ホブの切屑形状(各切刃について)

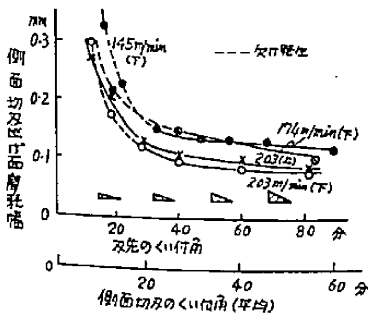


図5 くい付角と逃げ面摩擦幅

け持つ仕上刃は側面切刃だけ働かせ、少しでも余分な負担をかけずにその精度を長く保たせたいと考えたためである。

ただ注意しなければならないのは送りを増せばホブ全体の切刃が出す切屑の総量は増大するのであるから、ホブ軸にかかる切削抵抗はそれだけ大きくなり、ホブヘッドが弱いとホブ軸がたわんだり逃げて切刃を痛め、また内歯車の精度を低下させる恐れがある。したがって特に内歯車のホブ切りでは機械の剛性に注意する必要がある。

2. セッティング法と歯形誤差

本ホブ切り法は連続割出切削を行なうので、内歯車のピッチ精度は普通ホブ切りと同様に主としてホブ盤の割出精度に依存するが、定位置ホブであるから仕上刃が内歯車材に対して正しく指定された位置にくるようにセットされなければ歯形誤差を生ずる。したがって創成歯切りを行なう一般のホブ切り時の注意事項の他に、次のことに注意しなければならない。

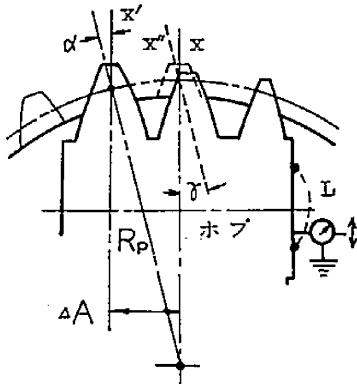


図6 ホブ軸方向セッティング誤差

a) ホブ軸方向の位置決め

図6のように、仕上刃の中心線 x が内歯車材の中心線 x' と ΔA だけずれていると、図からわかるように歯溝が傾いて仕上げられることになる。ホブのあらわす仮想ピニオン⁵⁾の半径を R_p 、 ΔA だけずれたために歯形が傾いた角度を α とすると、(1) 式のようになる。

$$\alpha = \sin^{-1} \frac{\Delta A}{R_p} \quad \dots\dots (1)$$

歯形全体が単純に傾くものと仮定すると、そのために歯形は f_b だけ狂うことになる。

$$f_b \Rightarrow 2m\alpha = 2m \sin^{-1} \frac{\Delta A}{R_p} \quad \dots\dots (2)$$

したがって今もし f_b が歯形誤差の許容値であるとすればセッティング誤差 ΔA は (3) 式であれば良いことになる。

$$\Delta A \leq R_p \sin \left(\frac{f_b}{2m} \right) \approx \frac{z}{4} f_b \quad \dots\dots (3)$$

図7は $m=4$ 、 $\alpha_0=20^\circ$ を例にして歯形誤差の

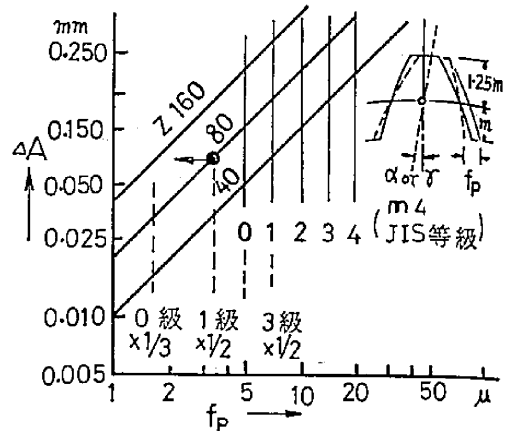


図7 歯形誤差におよぼすセッティング誤差の影響

許容値に対する ΔA を計算したものである。実質側の誤差は JIS 0 級で $1/3$ 、1、2、3 級で $1/2$ 以下にする規定があるから、その時の許容誤差を图中に記入している。例えば $z=80$ で JIS 1 級の歯形精度の内歯車を得るためには ΔA は $7/100$ mm 以内にセットしなければならないことになる。この例からわかるように、ホブ軸方向のセッティングは比較的容易に行なえることがわかる。

b) ホブのねじれ

仕上刃の中心線 x'' が x 軸に対して水平面内で γ だけねじれて取付けられると (図6)、そのねじれは直接歯溝の傾きとして内歯車にうつされる。このホブのねじれはホブ端面を基準にしてダイヤルゲージを用いてテーブルを L だけ移動させて調べる (図6)。ホブのねじれ γ を歯形誤差 f_b 以内におさめるためには、このときのインジケータの読みの差を Δh とすれば Δh が (4) 式以内になるようにセットすれば良い。

$$\Delta h \leq L \frac{f_b}{2m} \quad \dots\dots (4)$$

図8は Δh を計算した例である。歯形精度1級の内歯車を得るためには $L=40$ mm とすれば $\Delta h \leq \frac{17.5}{100}$ mm でなければならないことがわかる。

c) 切込量

内径を正しく仕上げた素材に対して、仕上刃の切込みが正規の量より Δt だけ深かければ、図9のようにホブ仕上刃のピッチ点 a が内歯車の歯底側 b へ移される。したがってピッチ円上 c 点の圧力

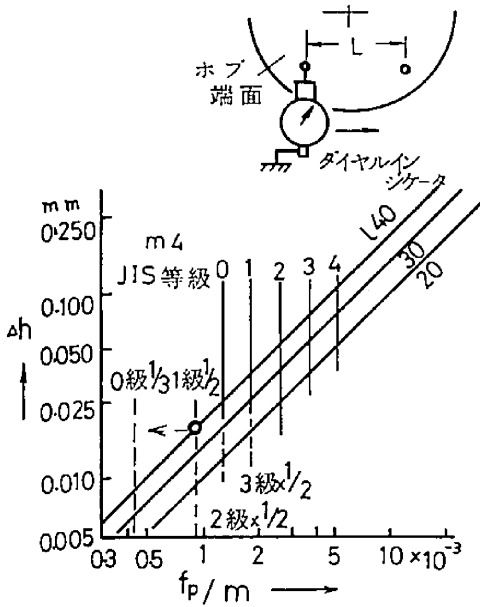


図8 歯形誤差におよぼすホブねじれの影響

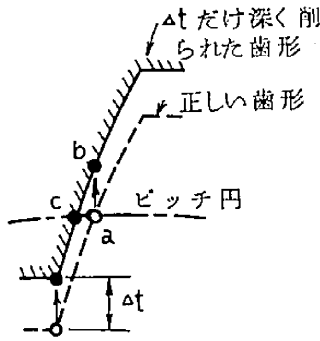


図9 切込み誤差と歯形

角は小さくなる。切込量は内径を基準に決めるから、素材の内径測定が不正確で正しい値より $2 \Delta t$ だけ小さく測定されていると、 Δt だけ切込が深くなることになる。

a 点の圧力角を α_0 、 c 点の圧力角を $(\alpha_0 - \Delta\alpha_0)$ とすると、 Δt と $(\alpha_0 - \Delta\alpha_0)$ の間には (5) 式のような関係がある。

$$\Delta t = \frac{mz}{2} \left\{ 1 - \frac{\cos \alpha_0}{\cos(\alpha_0 - \Delta\alpha_0)} \right\}$$

$$\approx -\frac{mz}{2} \cdot \Delta\alpha_0 \cdot \tan \alpha_0 \quad \dots\dots (5)$$

圧力角の狂い $\Delta\alpha_0$ と歯形記録線図における歯

形誤差の最大幅 f_p との間には次のような関係がある⁶⁾。

$$\Delta\alpha_0 = \frac{1}{\tan \alpha_0} \cdot \frac{f_p}{e} \quad \dots\dots (6)$$

但し e は歯形記録線図における傾斜の水平長さである。内歯車の場合の e の長さは図10の ab であるが、内歯車とかみ合うピニオンの大きさがわからないので e の長さとして ac を考えると

$$e = \frac{m}{2} (\sqrt{(z+2)^2 - z^2 \cos^2 \alpha_0} - \sqrt{(z-2)^2 - z^2 \cos^2 \alpha_0}) \quad \dots\dots (7)$$

このホブ切りで目標としている内歯車は比較的径の大きいものであるから近似的に e を (8) 式のように考える。

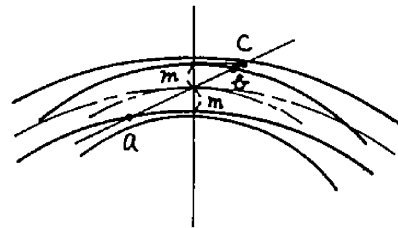


図10 歯形記録線図における傾斜水平長さ

$$e \approx \frac{2m}{\sin \alpha_0} \quad \dots\dots (8)$$

したがってこれらの関係を (5) 式に代入すると (9) 式が求まる。内径測定誤差をも含めた切込誤差 Δt が (9) 式の Δt より小さくなる必要がある。

$$\Delta t \leq \left| \frac{z}{4} \cdot f_p \cdot \sin \alpha_0 \right| \quad \dots\dots (9)$$

図11は $m4, \alpha_0 20$ の歯車について Δt を計算した例である。1級の歯形精度を得るためには $z80$ とすれば、切込不足量に対しては $f_p \times \frac{1}{2}$ 、切込過ぎに対しては f_p の許容値を考えれば、 $-0.024 < \Delta t < 0.049$ mm となる。したがって JIS 1級の歯形精度を得るためにはホブセッティングを表1以内に入れる必要がある。 ΔA と Δh を 1/100 mm 程度におさることはさほど困難ではない。3種類の値の内一番注意しなければならないのは切込量であろう。特に径の大きい内径を正確に測定

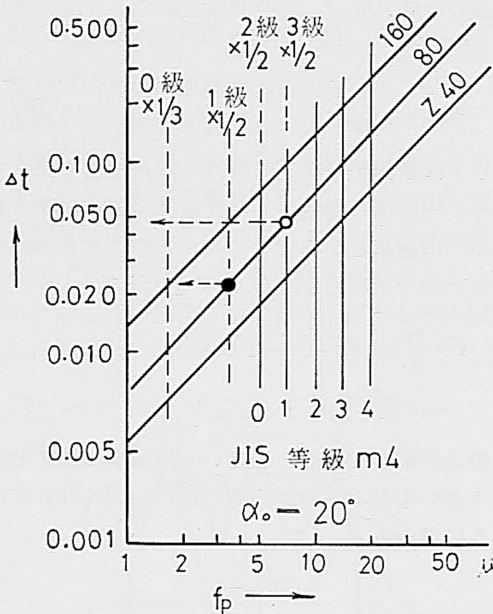


図11 歯形誤差におよぼす切込誤差の影響

表1 JIS 1級の歯形精度を得るためのセッティング精度

$JA < 0.07 \text{ mm}$
$dh < 0.018 \text{ mm} (l = 40 \text{ mm})$
$-0.024 \text{ mm} < Jt < 0.049 \text{ mm}$
M 4, $\alpha_0 20^\circ$, Z 80

する必要があるが、これも少々注意すればさほど困難ではないものとする。

3. ホブ切り装置

内歯車ホブ切り装置はその構造上どうしてもきやしやになり易い。したがって内歯車のホブ切りが成功するかしないかの鍵を握る最大の問題点は充分に大きな剛性をもったホブ切り装置ができるかどうかである。ホブ切り装置の設計を難しくしている問題点は次のことである。

1. 剛性, (ホブヘッドがオーバハングした形になるのでどうしても剛性が低くなり易い)
2. 駆動系の遊隙の除去, (断続する切削力をフライホイール等でなめらかにし得ない)
3. ホブ軸まわりが小さい, (ホブが内径面に入って歯切りするので, ホブ軸まわりをできるだけ小さく設計したい)

4. セッティング法の考慮, (定位置ホブであるから, 正しい位置にセッティングしなければ歯形が狂ってしまう)

ホブ切り装置にはKR-600型ホブ盤のタンジェンシヤル・カッタヘッドに, 試作した内歯車用ホブヘッドをとりつけたものを用いた。従来のホブ軸に歯車をとりつけ, 歯車列で内歯車用ホブ軸を回わした。

図12は内歯車用ホブヘッドの写真である。ホブのねじれを調整できるように二重円筒形に作り, また各部の剛性ができるだけ大きくなるように心がけて設計した。

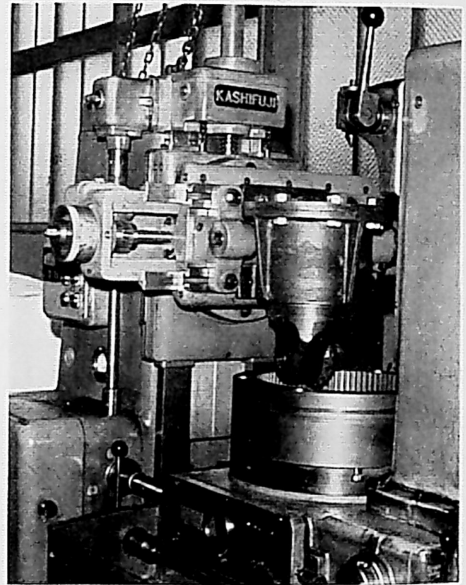
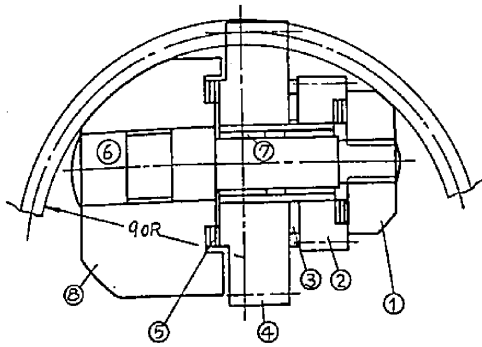


図12 九工大で試作した内歯車用ホブヘッド

ホブ軸まわりをできるだけ小さく, しかも遊びがなくしっかり取付けるために, 図13に示すようにホブ軸を固定し, 軸上をホブと駆動歯車とが回転するようにした。片持にしたのはホブの取付けはずしが容易なためと, できるだけホブ軸まわりを小さくするためである。軸受にはニードルベアリングを用い, これに軸を固めにはめ込んで遊びをなくすように心がけた。歯切り中にホブが切削力等でねじれないように大きいスラスト軸受⑤を入れ, ナット①でホブ端面がこの軸受にしっかり押付けられるようにした。スラスト軸受には二硫化モリブデングリースをつめた油みぞをもつ特別



- ① ナット ② 駆動歯車 ③ 正面キー
- ④ ホブ ⑤ 特殊スラスト軸受 ⑥ 固定軸
- ⑦ ニードルケジ ⑧ 内歯車用ホブヘッド本体

図13 内歯車用ホブ軸まわり説明図

に設計したすべり軸受を用いたが、これはその摩擦力で少しでもホブ軸の回転変動を無くそうと考えたためである。このようにして設計した装置で加工できる最小内歯車は $m4, z47$ 枚までのものが歯切りできる。

ホブ盤のホブ軸から内歯車ホブ軸までは歯車列でつないだ。内歯車ホブ軸にはフライホイールをつけることが出来ないのので、この歯車列間のバックラッシはできるだけ小さく組立てる必要がある。バックラッシ調整装置を是非つけておきたい。某社で計画された内歯車用ホブヘッドは複リードウォームギヤを用い、バックラッシの調整を行なっている。

両ホブ軸間の回転は1対1で伝えるようにした。歯車列の各歯数が等しければ、ホブ1回転ごとに各歯車はもとの関係位置にもどるので、伝導歯車の誤差は削られる内歯車のピッチには影響を与えないはずである。しかし中間歯車の歯数が違っておれば、ホブが1回転してももとの関係位置に戻らないので、伝導歯車のピッチ誤差はホブ軸の遅速運動となって内歯車のピッチ精度に影響を与える。しかし幸なことに伝導歯車の誤差は縮小され内歯車のピッチに影響するので、できるだけ正確な歯車を用いればそれほど問題ではない。例えばホブ軸上の歯車が $m4$ ピッチ径 60mm とし、この歯車に $\frac{5}{100}\text{mm}$ 誤差があったものとすれば $m4$ 歯数 80 の内歯車のピッチは 3μ 狂うことになる。

ホブヘッドを組立た後にホブヘッドの剛性を測定したのが図14である。ほぼ切削力（ホブ半径方向）の働く位置にロードセルを介して力を加え、そのときの各部のたわみ量をダイヤルゲージで測定した。切刃の傾き調整のため二重円筒の構造にしたが、これがたわみを大きくしているものと思われる。このたわみの問題には十分な注意が必要であろう。軸受部の温度上昇はホブ切りの際多量の切削油をかけて歯切りしたためか予想より低い温度に保ち得た。

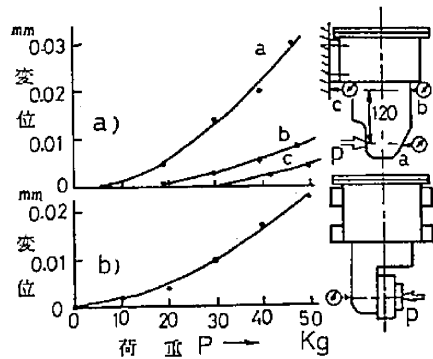


図14 ホブヘッドのたわみ

4. 歯切り法

4.1. セッティング法

a) ホブの取付 ホブのねじれはホブ端面を利用して調整する。調整を容易にするためには 90 度ホブ²⁾を採用し、ホブの外径をできるだけ大きくすると良い（4式の L を大きくすることができる）

まずホブヘッド回転軸をまわして垂直方向のねじれを直し、次に内歯車用ホブヘッドの二重円筒を回わして水平面内のホブのねじれを調整する。特に水平面内のホブねじれは直接歯形のねじれとなるので、できるだけ丁寧に合わせる必要がある。

次にホブ盤テーブル中心にテストバーを立て図15のような方法でホブ軸方向位置を調整する。この調整はタンジェンシャルカッタヘッドの接線送り用手送り軸を利用すれば容易に $1/100\text{mm}$ 以内の精度でセットできる。

b) 切込量 内歯車材の内径を基準に切込量を決めるので、内径を正確に測定しておく必要

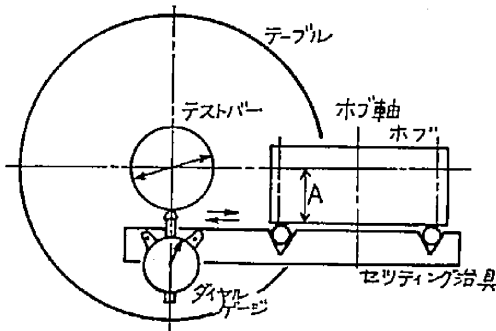


図15 ホブ軸方向位置決め法

がある。まずホブを内径面にわずかに切込ませて切削すると図16 a のように長さ l の傷がつく、ホブの外径を $2R_h$ とすると切込深さ δ と l の関係は (10) 式のようになる。

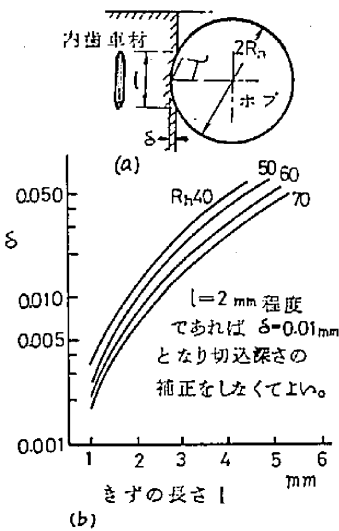


図16 切込補正量

$$\delta = R_h - \sqrt{R_h^2 - (l/2)^2} \approx \frac{l^2}{8R_h} \quad \dots\dots(10)$$

$\delta = 0.01 \text{ mm}$ 以内の精度で切込を決めるためには l は次式より小さくならなければならない。

$$l \leq 0.283\sqrt{R_h} \quad \dots\dots(11)$$

$R_h = 60 \text{ mm}$ であるとする $l \leq 2.2 \text{ mm}$ したがってこの場合傷の長さが 2 mm 以下であれば切込深さを補正しなくても良いであろう。 l が大きいときは図16 b で補正しなければならない。

4.2. ホブセッティング寸法及び切込量の検査
ホブ切刃には逃げ角がついているので、切刃を

砥ぎ直して行くとホブ軸方向のセット寸法(仕上刃の中心とホブ端面までの寸法)が変化してくる。仕上刃の輪郭が左右対称になるように内歯車用ホブを設計しておけば、研ぎ直し後のセット寸法は実測で求めることができる。しかしホブ切りされた内歯車歯形を簡単に調べる事が出来ればより正確な歯切りが行なえて好都合である。また歯切りされた内歯車の歯底は仕上刃以外の刃先、極言すれば任意の形状の切刃(テーブル部で加工する)が削るわけであるから、内歯車材の内径を基準にしてわずかに削りこれを基準に切込深さを決めたのでは、もしホブの作り方が悪ければ切込量が狂ってくる恐れがある。この点からも実際の歯形を実測して正しいセッティング寸法、切込深さを決定したい。そこで本研究では次のような方法で歯形を測定した。

既設の歯形試験機では大きな内歯車歯形を測定できないので、工具顕微鏡を用い直角座標式にホブ切りされた歯形輪郭を求めた。

大きな内歯車をいちいち削って検査するのは大変である。このために図17に示すような小さなテストピースを削りその歯形を調べることにした。このテストピースによるホブ切りで問題になるのは、どのようにしてホブ切り時と全く同じように歯車材をセットして歯形を測定するかということである。切込はリング状の取付具の内径を基準にしてホブの位置を調べ、これにより正規の切込量を決定した。ホブ切り前に、ホブ盤のサポートにとりつけたケガキバイトを用いてテーブルを回転することによってテストピース表面に同心円の傷を歯形と交る位置につけておく。歯形測定においては左右歯形と円弧状傷との交点を図18の y 軸と平行に置き測定した。 x 軸方向の位置は歯底円を基準にしても良いが、ケガキバイトでけが

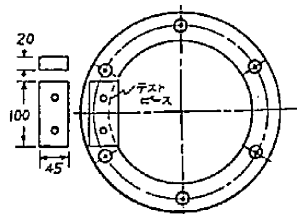


図17 セッティング寸法検査用テストピース

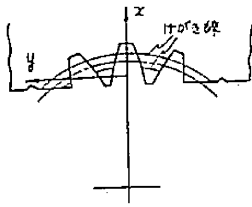


図18 セッティング位置検査用テストピース

いた円弧の弦の寸法から計算することも出来る。このようにして理論的に求めた x, y の値と実測値の差をとり歯形誤差曲線とした。

5. ホブ切結果

内歯車用ホブヘッド各部の振動振幅をロイトリソナー振動計で測定した。その1例を図19に示す。切削力の変動を均一化するように設計したホブを使用したが生削状態は非常に滑らかで、その効果ははっきり現われている。

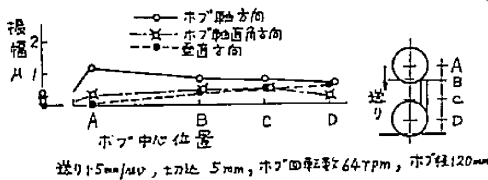


図19 ホブの振動振幅

図20はそのときの歯面あらさを調べたものである。図21はピッチを測定した例である。ピッチ精度はJIS 3級程度に入っており、この程度のピッチ精度の内歯車であれば比較的容易に歯切りすることができる。ホブ切り歯車のピッチ精度は主として親ウォーム歯車のピッチ精度に依るの

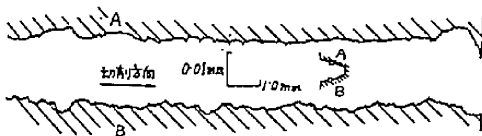


図20 ホブ切りした内歯車歯面歯筋方向あらさ

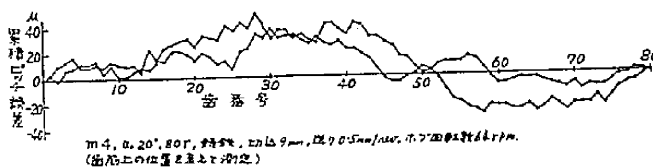


図21 ホブ切りした内歯車のピッチ精度

で精度の高いホブ盤を用いれば高いピッチ精度の内歯車が得られるのは当然ではあるが、ピッチ精度の高い内歯車を得ようという本研究の目的は達せられる。

図22は歯形精度を調べた例である。切込量は正規の値 $2.25m$ を与え、ホブ軸方向のセッティングは $\Delta A = 0$ になるようにして歯切りしている。 L 歯面の歯元隙間部分が引込んでいる他はほぼ JIS 4級の歯形精度に仕上がっている。(この引込んでいる部分は働かない)。しかしよくみると両歯面とも少々歯形が立っている。即ち正規の切込量切込んだのでは切込み過ぎである。(9)式で計算するとこの切込み過ぎ Δt は約 0.07mm ($f_p = 10\mu$ として) となる。この値だけ切込を補正して歯切りすれば更に高精度の歯形が得られる。先に求めたセッティング誤差と歯形精度との関係式の妥当性を調べるため、誤差 ΔA を与えてホブ切りしたのが図23である。図22と図23の歯溝中心を求めたものが図24である。この傾き量 $\frac{93\mu}{8\text{mm}}$, $\frac{64\mu}{8\text{mm}}$ から (1) 式で ΔA を計算すると各々 $1.86, 0.92\text{mm}$ が求まる。実際にセットした ΔA は

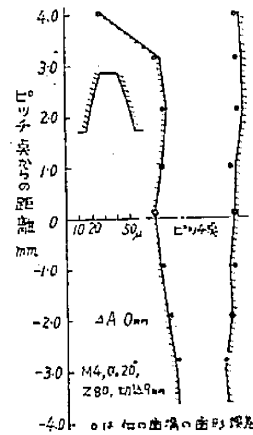


図22 正規のセッティング位置でホブ切りした内歯車歯形誤差

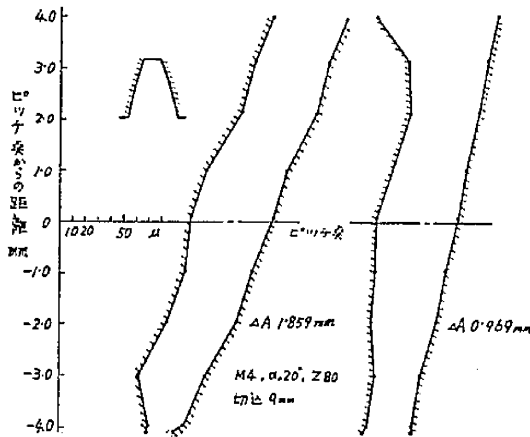


図23 ホブ軸方向セッティング誤差を与えた場合の歯形誤差

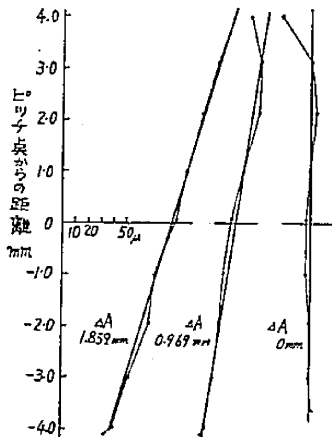


図24 歯溝中心の傾き

1.859, 0.969 mm である。0.969 オフセットしたものが少々違いすぎるようだが、傾きに直すと $\frac{2.5\mu}{8mm}$ になる。測定誤差でもこの程度はである

ろう。したがって前述の計算式でセッティングを行ってもかなりの精度でセッティング出来ていることがわかる。

6. む す び

内歯車のホブ切りを行ない、ピッチ精度 JIS 3 級、歯形精度 JIS 4 級のものを得た。本実験においても切込量を補正しておれば総合精度 JIS 3 級の内歯車も製作可能と考える。本ホブ切り法を更に発展させるためには、内歯車用ホブヘッドの剛性、ホブ軸駆動系の遊び除去等を完全にし、高精度高能率加工が行なえるようにする必要があろう。

本研究テーマを与えて下さり、御鞭撻下さった九大名誉教授和栗明先生、九工大卒論として実験の一部を担当された首藤伸二・山内仁・野田誠の諸氏に厚くお礼申し上げます。また内歯車のピッチ測定には九工大鎮守一講師にお世話になったことに感謝の意を表したい。

本研究は 46 年度試験研究費、47 年度科学研究費補助金で行ったものである。

注

- 1) 寺島, 上野, 坂本: 機械学会論文集, 38—312 (図 47—8), 2143
- 2) T. Ueno, K. Terashima & M. Sakamoto: ASME publication 72-PTG-54 ('73-10)
- 3) 寺島, 上野, 坂本: 機械学会論文集投稿中
- 4) 坂本: 機械学会論文集, 34—257 (43—1), 174
- 5) 坂本: 九工大研究報告, No. 27 ('73—8), 9
- 6) 歯車便覧, (昭39), 1082, 日刊工業新聞社
- 7) 新荘: 機械と工具, 3—10 ('59—10), 78