

簡便な内歯車歯形測定法の研究

(測定器の試作とこれによる測定結果について)

(昭和53年5月31日 原稿受付)

機械工学教室

中	村	平
能	野	謙
坂	本	正
		介
		史

On a Handy Internal Gear Tooth Profile Tester (Trial Design of the Tester and a few Experimental Results)

by Taira NAKAMURA
Kensuke NOUNO
Masafumi SAKAMOTO

A new internal gear tooth profile tester is developed, the tester has been made and the hobbled internal gear tooth profile is measured with it.

It becomes clear that experimental values agree well with the theoretical results.

1. まえがき

新しく考案し設計した内歯車用歯形測定器の各部分の誤差が、測定した歯形にどのように、どの程度影響するかが明らかになったので、これを基本に測定器を製作した。さらに製作した測定器を調整し、検定して、内歯車切削用定位置ホブ¹⁾で切削した80, 76枚の内歯車の歯形測定を行い、あらかじめ計算した歯形と測定値を比較検討して、測定器の精度を考察した。

2. 測定器の製作

歯形測定器は試作器であるから、検定や修正の便を考えて、図1に示すように石定盤上で測定器各部分の寸法チェックができる形とした。測定器は図1のように、②フレーム、①2個のローラ、⑩測定用回転軸と⑨アームからなっている。この2個のローラ上に内歯車の外周を基準面として乗せて測定することにした。歯数が増減するとR点、即ち回転軸の中心を変えなければならないが、これはローラ径を変えたり、ローラ間隔を変化させることによって変えることができる。本研究では歯数の変わる範囲が狭いので、簡便さを考えて図2に示すように、

R点の位置調整用軸受⑦を取付けた補助フレーム②を用意した。

R点の位置決めには、できるだけ誤差を少なくすることが必要であるから、測定用歯車のR点とローラの中心間距離の加工には、すべて治具ポーラを用いた。

この治具ポーラ加工のなかでも、特に補助フレーム②に作られる軸穴⑦は、測定器の基準になるものであるから、その関係寸法を正確にする必要がある。②に加工される穴⑦は、ローラとの中心間距離を測定するのは勿論であるが、それ以前の穴加工中も中心間距離を測定し

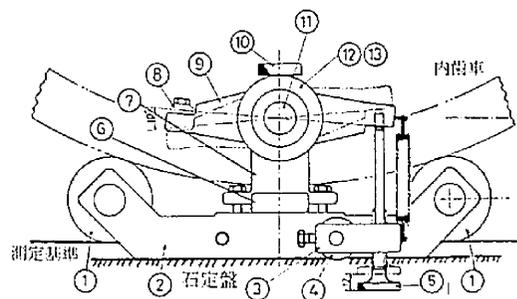


図-1 測定器形状

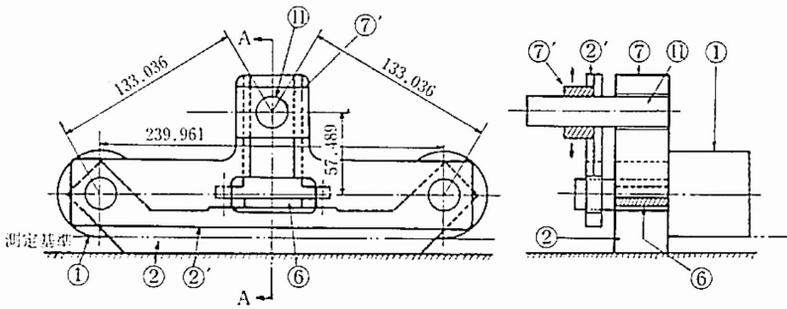


図-2 補助フレームと軸受

で誤差を小さくし、それでもなお微小な誤差を生じるので、測定器を組み立てた後に各部の寸法を正確に測定し調整した。その寸法は図2に示す値である。

フレーム②の形を上向きにU形にしたのは、歯車重量による歪みをできるだけ少なくするよう配慮したものである。このフレームに打込みにした二つのローラ①は平行度を保つために、十分な円筒度をもたせた。フレーム②、②'に組付けられる測定用回転軸⑪は、写真1からも分るように、歯車端面に対して垂直にする必要があるから、⑦の軸受を歯車中心線に対して左右に調整可能にし、その軸穴は R 点に合致させるために幾分低めに加工した。しかしこのように調整可能なようにすると、どちらか一方の精度が悪くなる。そこで先に述べた補助フレーム②'をローラにはめ込み、これに歯車中心線上、上下方向にのみ移動可能な R 点調整用軸受⑦'を取付けたわけである。これで左右方向の誤差が出る心配は少なくなる。この軸受⑦と⑦'はアーム⑨の回転中心であり、R 点そのものであるから、微細な寸法調整をする必要がある。本例では ± 80 の内歯車測定に合せて、ブロックゲージ⑥

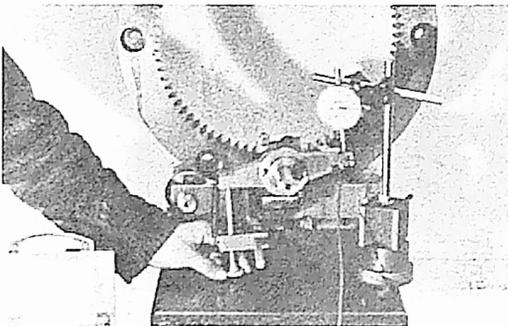
を入れて、軸⑪を移動させた。この軸⑪に取付けられるアーム⑨には、その一端に測定用電気マイクロのピックアップ⑧を取付けた。アームは軸に直角な同一平面を回転しつつ測定するのであるから、回転軸に対して遊びなく回転できるようにした。このアームのふらつきはばねで圧力を加えて除いた。又測定用アーム⑨の回転は手動にした。

3. 測定器の操作と検定

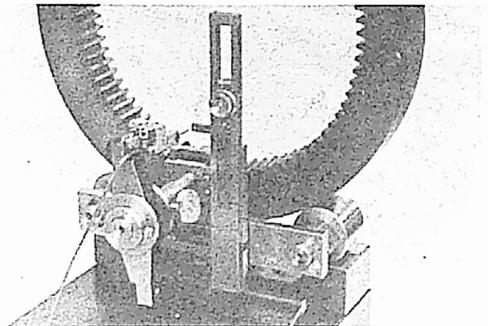
測定を始めるにあたって、まず写真2に示すようにローラ上に歯車をセットする。この場合測定器と歯車端面の直角度を知るには、二つのローラ上の当りの幅の一樣さを見れば十分である。以後操作と検定は次の順序に従って行った。

3.1. 感度調整

初めにアームの一端に取付けられたピックアップの感度を調整する。この調整は電気マイクロメータの測定範囲が $\pm 250 \mu\text{m}$ のものを使用したので、石定盤の上に1,000と1,250のブロックゲージを置き、この二つのブロッ



写真一 本測定器による内歯車の測定



写真二 歯車のセットとアームの検定

クゲージの上をピックアップの端子をすべらせて行なった。

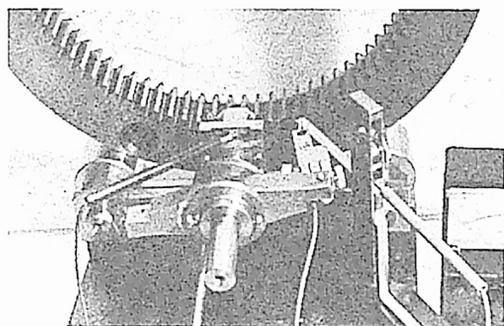
3.2. アーム (回転腕) の長さの決定と R 点の調整

アームの長さは写真2に示すように、測定器を石定盤の上にセットした後に、回転軸に沿ってアームを抜き出し、自由に回転できるようにしておいて、別に石定盤上にハイトゲージを用意して次のように決定した。

あらかじめハイトゲージの高さをアームの回転半径の2倍 (101.446 mm, $m 4$, $z=80$ の場合) の長さにしておいて、R 点を中心にして上下180度回転させ、電気マイクロの振れが、上下ともに最高点で \oplus と \ominus と同じになるようにアームの長さを調整する。このようにすると零点で求める回転半径となる。ここで零点とは石定盤から R 点までの高さである。

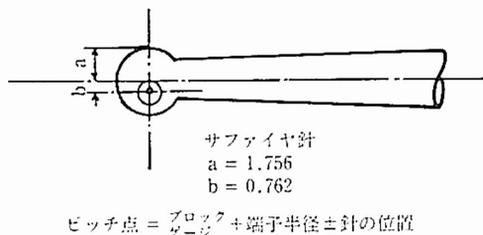
3.3. アームの水平の決定

ピッチ点を定めるためには、電気マイクロのピックアップの測定端子の外径 (針の先端) と、回転軸の中心を結ぶ直線が、二つのローラの中心点を結ぶ線に対して平行、即ちアームを水平にする必要がある。これには写真3のように石定盤からアームの中心軸までの高さと同じになるようにブロックゲージを積み、ピックアップの先端と接触させることによって求めた。接触はテストで確認した。



写真—3 アーム水平の検定

ハイトゲージの寸法は、左歯面を測定する場合が85.739 mm、右歯面を測定する場合が84.742 mm になった。このように左歯面、右歯面を測定する場合で寸法が異なるのは、図3に示すようにピックアップの端子につけたサファイヤ針が中心にないためである。(ピッチ点 = ブロックゲージ + 端子半径 ± 針の位置)



図—3 測定子

4. 歯車とピックアップのセットアップ

2個のローラ上に内歯車を静かに乗せる。一方回転軸上に抜き出されて検定されていたピックアップを、内歯車の測定歯溝に挿入し、歯幅方向の所定の深さで止める。止められたピックアップを正確に水平位置にもどす。この水平位置のピックアップに内歯車の歯形をローラ上を微動させながら徐々に近づける。このとき電気マイクロメータは歯形と接触を始めるので、メータの針は中央の零目盛に近づく、したがってより慎重に内歯車の締付穴に鉄棒などを入れてコックと叩きながら合わせる必要がある。メータの針が零目盛を指せばこの点がピッチ点である。この点を境に測定用アームを上下に回転して歯形を測定することができる。

5. 歯形の測定方法

アームの回転角はその回転量が非常に少ないので、回転量を長さの変化に変えてダイヤルゲージの目盛を読むことで行なった。

一般に歯形の測定はピッチ点からモジュール分だけ上下に測定すればよいから、 $m 4$ の歯車ではピッチ点を中心に ± 4 mm 動かせばよいが、内歯車では歯形に中心方向の傾きがあるから、モジュール分だけでなく、これを $\cos 20^\circ$ で割った4.25mmを使うほうが良い。 $m 4$, $z=80$ の内歯車では、 ρ が54.732 mm であるからこの点に垂直に4.25 mm をとると、アームの上下角はおおよそ4度になる。これを測定の便利上アームの長さ78 mm の点にダイヤルゲージをセットすると、ゲージの目盛がほぼ6 mmを指す。この0 ~ 6 mmの範囲を分測し易い数にとつて、5/100 (おおよそ0.2度) きざみに測定した。歯の測定箇所は歯車の偏心を考慮して、規格では歯車を90度ずつ4ヶ所測定することをすすめているので、これにしたがった。

6. 歯形の実測 (その1)

写真4は角度 θ の延長上にダイヤルゲージをセットして、手で測定器右側の左歯面を測定している状態を示す。

図4は定位形内歯車用ホブ¹⁾を使って $z=80$ の铸铁製内歯車を切削し、4ヵ所の左右の歯形を測定し、インボリュート曲線と円弧のずれを補正する補正值で整理した結果である。内径と外径に偏心のある場合は、4ヵ所測定した歯形曲線の傾きを比較すると分るので、これを比較した。その結果を図から判断すると、被測定歯車の偏心は小さく、判別されない程度である。しかし平行誤差が現れているところから、被測定歯車にはわずかに切込み誤差があったことがわかる。

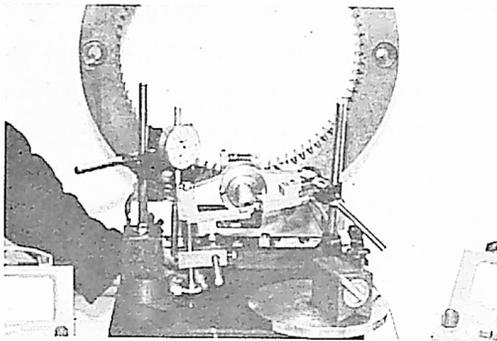


写真4 左歯面測定中の本器

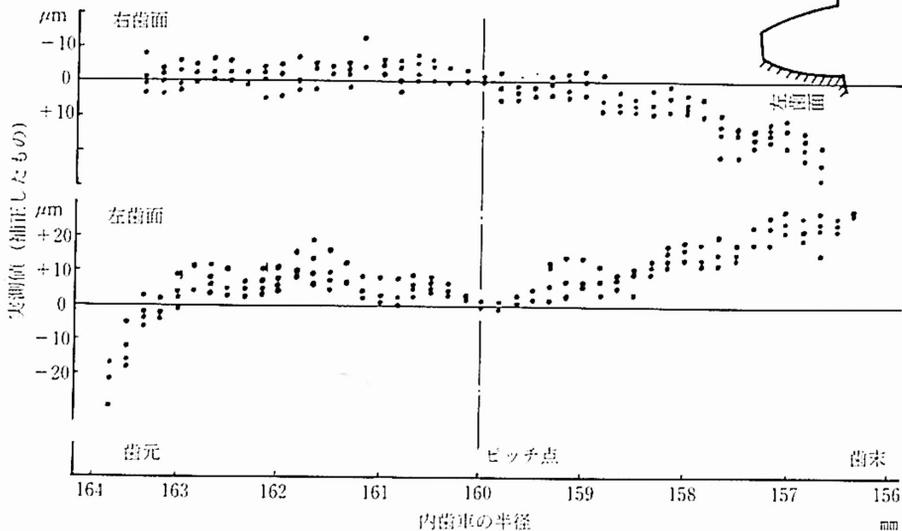


図4 $z=80$ 歯形曲線

7. 実測例(その2) 干渉を起した歯形の測定

定位形内歯車用ホブを外歯車用円筒形ホブと同様に、歯数に関係なく同一ホブを使用できれば、より便利である。しかし定位形内歯車用ホブは成形歯切りであるので、特定の歯数だけにマッチした歯形を切削するように設計、製作されている。したがってこのホブを他の歯数の歯切りに用いる場合には、歯形の干渉を十分計算しておかないと、歯車を使用するに当って支障をきたす。そこで次のようにして歯数の異なる場合の歯形を計算した。

図5に示すように内歯車は m, z, a_0 、内歯車用ホブは m, z_c, a_0 を持った一对の歯形が O, O_c を中心にして啮合して行く過程を考える。ここで簡単にこの過程の歯形の干渉を調べるために、両歯形をピッチ点を通る曲率半径 ρ をもつ円弧で近似する。即ち歯形を a 点を中心とする半径 \overline{ap} の円弧であらわす。従って設計されたホブと同じ条件の内歯車歯形では a と a_c は一致するはずである。

内歯車の中心 o を原点として二つの円の方程式を求めると、次のようになる。内歯車では、

$$\begin{aligned} & \left[x - \frac{mz}{2} \cos \alpha_0 \sin(\alpha_0 - \theta_0) \right]^2 \\ & + \left[y + \frac{mz}{2} \cos \alpha_0 \cos(\alpha_0 - \theta_0) \right]^2 \\ & = \left(\frac{mz}{2} \sin \alpha_0 \right)^2 \end{aligned} \quad (1)$$

ただし $\theta_0 = \pi/2z$

この内歯車が θ_i だけ手前に回転してもどつたとすると、
上述の歯形は、

$$\begin{aligned} & \left[x - \frac{mz}{2} \cos \alpha_0 \sin(\alpha_0 - \theta_0 - \theta_i) \right]^2 \\ & + \left[y + \frac{mz}{2} \cos \alpha_0 \cos(\alpha_0 - \theta_0 - \theta_i) \right]^2 \\ & = \left(\frac{mz}{2} \sin \alpha_0 \right)^2 \end{aligned} \quad (2)$$

となる。

次にホブ切刃の輪廓を考える。ホブ切刃も同様に円弧
で近似できるものとすれば、歯車の場合と同様にして、
円の方程式は、

$$\begin{aligned} & \left[x - \frac{mz_c}{2} \cos \alpha_0 \sin(\alpha_0 - \theta'_0) \right]^2 + \left[y \right. \\ & \quad \left. + \frac{mz_c}{2} \cos \alpha_0 \cos(\alpha_0 - \theta'_0) + \frac{m}{2}(z - z_c) \right]^2 \\ & = \left(\frac{mz_c}{2} \sin \alpha_0 \right)^2 \end{aligned} \quad (3)$$

ただし $\theta'_0 = \sin\left(\frac{z}{z_c} \sin \theta_0\right)$

となる。

内歯車が θ_i だけ手前にもどつたとき、ホブは i/N だけ
逆に回転するものとする、

$$\theta_i = \frac{2\pi}{z} \cdot \frac{i}{N} \quad (4)$$

ただし i = 切刃番号 (仕上刃を 0 とし、それよりもどつ
て 1, 2, 3, ……と番号をつける。18番が最先行刃で
ある)

内歯車が θ_i だけ手前にもどつた位置でのホブの切刃
は、

$$\begin{aligned} & \left[x - \frac{mz_c}{2} \cos \alpha_0 \sin(\alpha_0 - \theta'_0) + \frac{P'_i}{N} \right]^2 \\ & + \left[y + \frac{mz_c}{2} \cos \alpha_0 \cos(\alpha_0 - \theta'_0) + \frac{m}{2}(z - z_c) \right]^2 \\ & = \left(\frac{mz_c}{2} \sin \alpha_0 \right)^2 \end{aligned} \quad (5)$$

但し P'_i は法線ピッチとする。

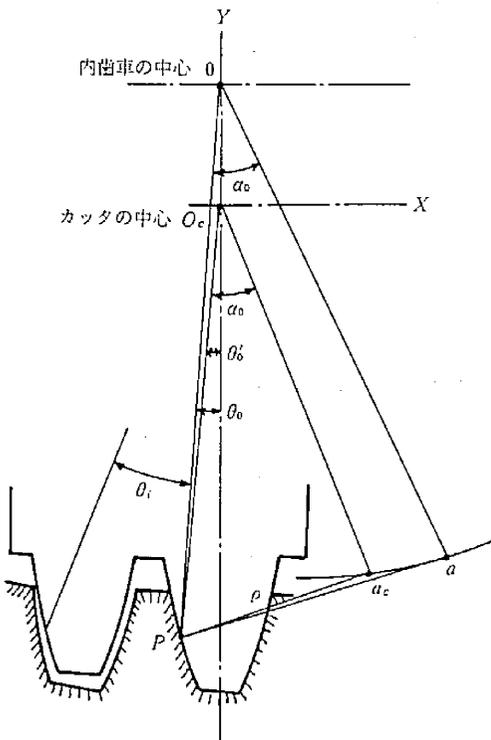
干渉量を求めるために、(2)と(5)式を変形して、

$$\begin{aligned} x_2 = \frac{mz}{2} \left\{ -\sqrt{(\sin \alpha_0)^2 - \left[y / \left(\frac{mz}{2} \right) \right.} \right. \\ \quad \left. \left. + \cos \alpha_0 \cos(\alpha_0 - \theta_0 - \theta_i) \right]^2} \right. \\ \quad \left. + \cos \alpha_0 \sin(\alpha_0 - \theta_0 - \theta_i) \right\} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} x_5 = \frac{mz_c}{2} \left\{ -\sqrt{(\sin \alpha_0)^2} \right. \\ \quad \left. - \left[y / \left(\frac{mz_c}{2} \right) + \cos \alpha_0 \cos(\alpha_0 - \theta'_0) + \left(\frac{z}{z_c} - 1 \right) \right]^2} \right. \\ \quad \left. + \cos \alpha_0 \sin(\alpha_0 - \theta'_0) - \frac{P'_i}{N(mz_c/2)} \right\} \end{aligned} \quad (7)$$

ここで y は、 $|mz/2 + h| \geq y \geq |mz/2 - h|$ の範囲で
ある。 h は歯の高さである。(y はこの場合負になる)

この両式から $|x_2| - |x_5| \geq 0$ ならば干渉は起らな
い。この(6), (7)式を計算機に入れて形状を比較したもの
が、図6である。この図から分るように80枚用として設



図一五 歯形の干渉

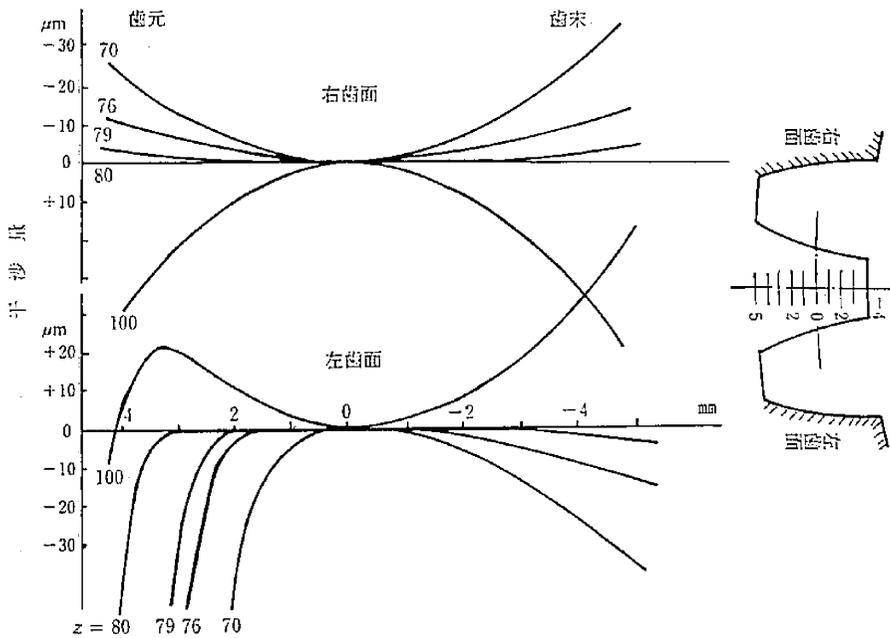
計、製作されたホブで切削すると、それより歯数の少ない内歯車では、歯元と歯末で干渉を起し、歯数の多い100枚ではほとんど干渉を起すことなく、削り残しが出ている。

それだけ80枚用歯形と比較して、歯形が変化しているわけである。

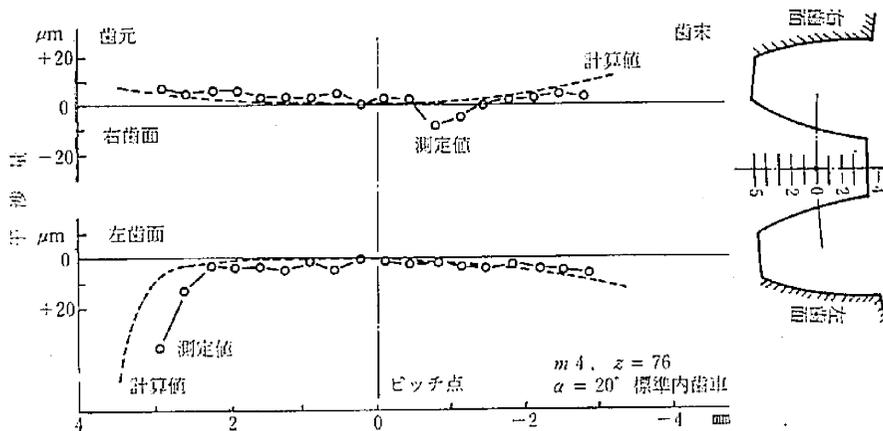
この中から $z=76$ 枚の歯車歯形を選び、 $z=80$ 枚の歯車歯形と比較するために、76枚の鋳鉄製内歯車を切削し、歯形を測定し、その差を求めたのが図7である。これに図

6で求めた $z=76$ 枚の歯形干渉曲線を重ねてみると、右歯面では歯元、歯末で数 μm 程度の誤差を生じていることが分る。

これをすべて測定器誤差と考えると、 R 点誤差がこの誤差のおよそ10倍あることが考えられる。これは測定器の精度チェックからもありえないことで、むしろホブの歯形誤差、ホブの刃先丸味の影嚮、歯車の真円度誤差、セッティングエラーなどによると考えた方が妥当であろう。



図—6 歯形の干渉



図—7 $z = 76$ 枚、歯形の干渉の比較

8. まとめ

大, 中形の内歯車の歯形測定に使用するために, 円弧近似歯形測定法を応用し, 従来の(a), (b)測定法の差点を取除いた新しい内歯車歯形測定器を試作した。この測定器の製作にあたっては, 測定値の再現性が良好なこと, 高精度な測定が可能なメカニズムであること, しかもその構造はシンプルで正確であること, また取扱い易さと安定性の良さから, 内歯車の外周を二個のローラにうずめこむ形にした。測定した歯形曲線には, 若干の誤差は生じたが, 割合に精度よく測定ができた。

歯形測定に影響する諸要因はいろいろ考えられるが, なかでも R 点の位置誤差が最も大きい。これに相当大きな誤差を挿入して, 正しい円弧であるのに, 誤差があるように測定された歯形誤差を求めてみると, 切込み過ぎに相当する誤差では誤差曲線の傾きに変化がおきることが分った。

また R 点の誤差量を $100 \mu m$ とすると, およそ歯形には $1/10$, $10 \mu m$ の誤差になる。従って 0 級程度の内歯車測定には, R 点の誤差を $10 \mu m$ 程度にする必要がある。これは可能であろう。

本測定器で $z=80$ 枚のホブで切削した歯形を測定し, 補正してプロットしてみると, わずかに切込み誤差のあることが, 共通の傾きから分った。従って切込みをより正確にする必要がある。

$z=70 \sim 100$ 枚の歯形が, $z=80$ 枚用ホブで正しく切削できることを示すために, その歯形干渉量を求める円弧近似式を求め, 例として 80 枚と 76 枚の歯形の実測を行い, 計算値と比較した。ほぼ理論通りに歯切りされており, 80 枚より少ない歯形は中央で当りが強く, 100 枚では歯先と歯元で強く当ることが分った。

本測定器をより精度の高い内歯車に適応させるためには, より高精度な測定器を作ると共に, R 点の移動による誤差を防ぐ, 歯車の微動方法の工夫, 内歯車外周の真円度誤差の処理, 調整と検定を用意するなど, 改良すべきである。

最後に本研究に御協力していただいた疋田敏君, 一好守君に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 坂本, 中村他 2 名, 九州工大研究報告, 27号 (昭48-6) 37.