

簡易型大内径測定器の試作 研究

(昭和51年5月31日 原稿受付)

機械工学教室 中 村 平
" 坂 本 正 史

A Handy Measuring Instrument for Large Inside Diameters

by Taira NAKAMURA
Masafumi SAKAMOTO

In order to measure the large inside diameter easily, a new handy measuring instrument is developed. The results measured by this instrument are compared with those of inside micrometer and micro cord (Mitsutoyo micro cord A 21), showing that the new method satisfies the expected performance.

1. 緒 言

定位置ホブ (Single position hob) を使って正確な歯形の内歯車を歯切りするためには、内径を基準にして正しく切込みを与える必要がある。またセッティング位置を正確にチェックするためには試し切りをした歯車歯形を調べることによって行なうが、大型の内歯車材などでは内円の数分の一の試験片を歯切りして歯形を測定すると便利である。この試験片を正しくセットして歯切するにはその曲率半径を正しく知る必要がある。しかし図1のように中心にマンドレルが取付けられていたり、試験片が対称に取付けられていないと、内側マイクロメーターで精度よく測定できない。そのためにどうしても弦と弧の高さの寸法からその曲率半径を知る方法が必要である。それも歯車材をホブ盤のテーブルに取付けた状態で手軽に測定したい。そこで弦と弧の高さから大内径を測定する簡易型内径測定器を試作した。

小さな弦と弧の高さから大きな内径を求めるのは誤差が拡大されるので測定法としては良くないが、内歯車をホブ切りする場合の切込み深さ許容差は、図2から3級、80枚の内歯車で $50\mu\text{m}$ 程度であるから、弦の長さ l と弧の高さ h を高精度で測定すれば使用可能ではないかと考えて検討した。

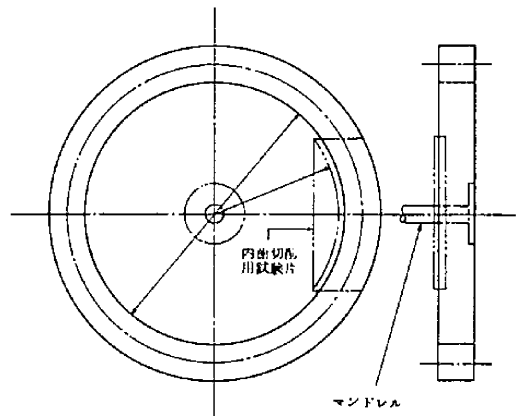


図-1 取付物による測定障害

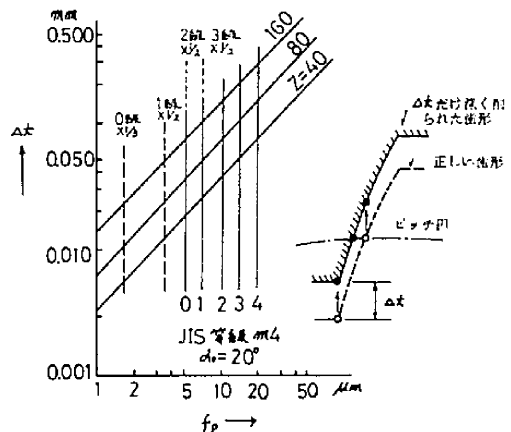


図-2 切込み深さ許容差

2. 測定法

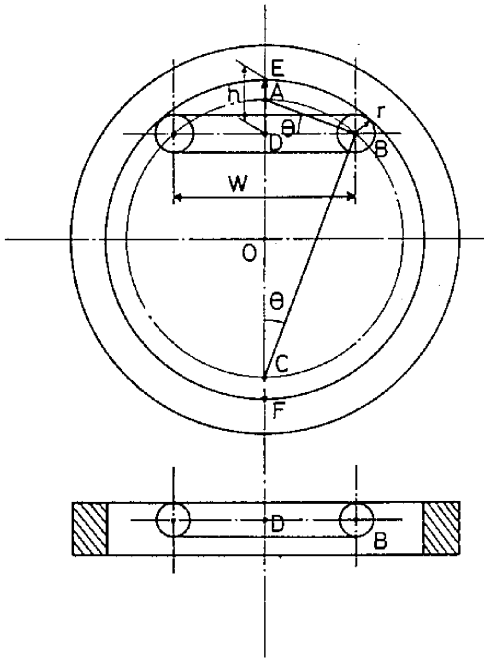


図-3 測定器の原理図

図3は測定器の原理図である。歯車材端面を基準にして弦と弧の高さを測定し直径を計算して求める。この図から分るように長さWのバーの両端に半径rの正確な半球を取付け、これを測定しようとする内径面に内接させる。そしてこのときのhの長さを正確に測定して、これから内径を求めるわけである。図3において内円筒は歪や表面あらかさのない理想的円筒とすれば、直径は(1)式のような簡単式になる。

$$D = r + h + (W/2)^2 / (h - r) \tag{1}$$

ここでW/2は中央測定端子の位置、hは弧の高さである。

3. 測定誤差

r, hおよびWを測定してこれから内径Dを間接的に求めるのであるから、W/2, r, hの微小変化によって求める内径がどのように変わるかを調べてみる。(1)式を各因子で偏微分すると次のようになる。

$$\partial D = W / (h - r) \partial (W/2) \tag{2}$$

$$\partial D = \{1 + (W/2)^2 / (h - r)^2\} \partial r \tag{3}$$

$$\partial D = \{1 - (W/2)^2 / (h - r)^2\} \partial h \tag{4}$$

誤差 $\partial(W/2)$, ∂r , ∂h が測定誤差 ∂D に与える影響は

いずれも $W/2/(h-r)$ に関係し、これが小さいほど ∂D が小さくなる。

$W/2/(h-r)$ と $(D-2r)/W$ の関係は(5)式のようになる。

$$W/2/(h-r) = D - 2r / W \pm \sqrt{(D - 2r / W)^2 - 1} \tag{5}$$

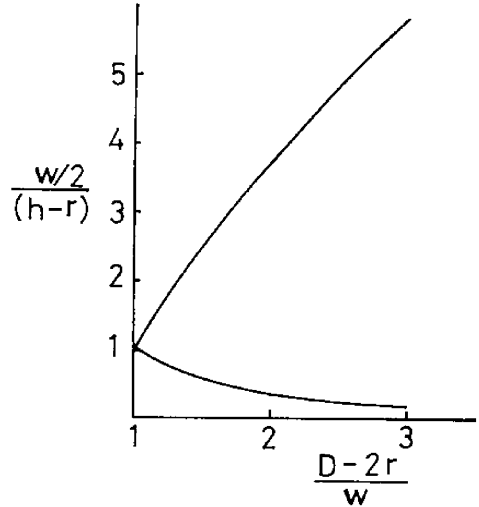


図-4 $W/2/(h-r)$ と $(D-2r)/W$

(5)式に数値を代入して $W/2/(h-r)$ と $(D-2r)/W$ の関係を調べると、図4に示されるように変化することがわかる。 $W/2/(h-r)$ が小さくなるためには図3において \overline{DE} で測らず、 $h = \overline{DF}$ で測る必要がある。今 $(D-2r)/W = 2$ に選ぶと、(2)~(3)式は \overline{DF} で測った場合は(6)式、 \overline{DE} で測ると(7)式のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \partial D &= |0.54 \partial(W/2)| \\ \partial D &= |1.07 \partial(r)| \\ \partial D &= |0.93 \partial(h)| \end{aligned} \right\} \tag{6}$$

$$\left. \begin{aligned} \partial D &= |7.46 \partial(W/2)| \\ \partial D &= |14.92 \partial(r)| \\ \partial D &= |12.92 \partial(h)| \end{aligned} \right\} \tag{7}$$

(6), (7)式より明らかのように(6)式で測定すると誤差がより小さくなることがわかる。

しかし大内径を測定する測定器、たとえば内径が3m, 4mともなれば測定器は大きくなり製作不可能か、又は非常に高価になる。どうしても $h = \overline{DE}$ 側で測定する必要がある。このような考えから緒言で述べた方法、すなわち小さい弦で測定する方法を採用したわけである。Wとrは製作時に正確に作る事ができるし、また正

確に測定した内径を基準に検定しておくこともできるので、本研究では一定値と考えた。ここでは誤差混入の恐れのある、毎回測定する h の測定誤差と直径との関係のみを(7)式から引出して検討すると、 h の誤差が13倍にも拡大されることになる。従って0.03 mm程度の精度に内径を測定するためには、 $2\mu\text{m}$ 程度で h を測らなければならない。そこで図3のADの位置に直動式電気マイクロメータを取付け、最小目盛 $1\mu\text{m}$ で h を測定することにした。

4. 測定器

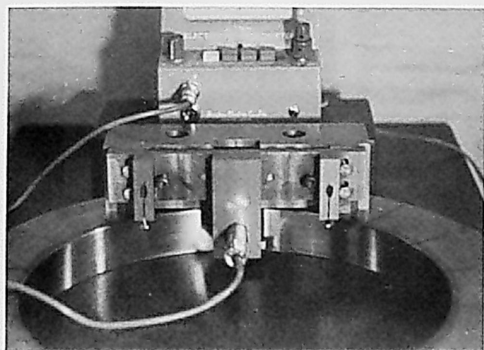


図-5 内歯車材に乗せて測定中の写真

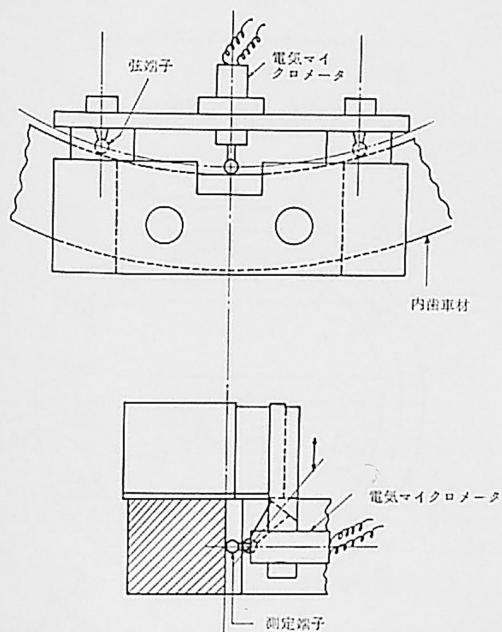


図-6 測定器の形状

測定器は図5のように内歯車材に乗せて測定することは先に述べたが、図6のように弦端子は内円筒に対して 25° の傾きを持って接触するようにし、また測定圧によるたわみを少なくするように配慮した。測定端子は $W/2$ の位置に取付け、保持具と共に上下させるように工夫し、内円筒を厚さ方向に測定できるようにした。また本体は再現性のある測定値を得るために、一定の圧力で接触するように十分な重さとした。特に弦端子形状は測定値の平均化と、内歯車材とその内円筒との直角度を考えて $\phi 5$ の球を用いた。

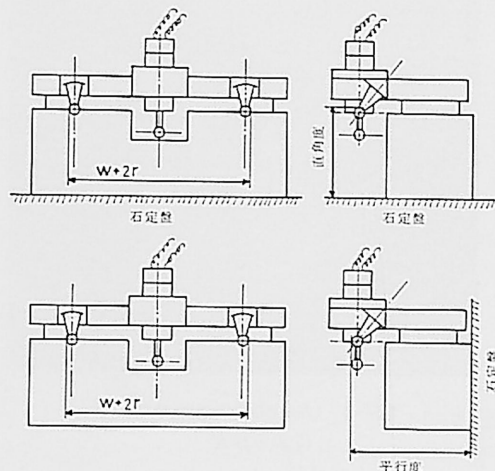


図-7 弦端子の平行度、垂直度と $W+2r$ の測定

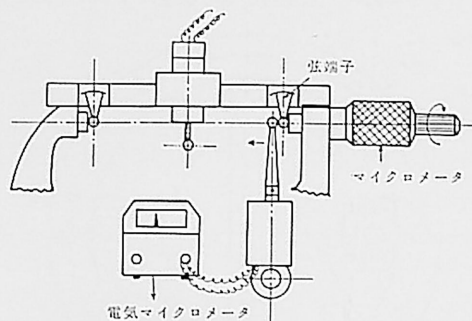


図-8 弦端子のたわみ測定

試作した測定器は工作誤差、取付誤差を考慮して、各端子位置、平行度、直角度をチェックし易くするために測定器本体を角形とし、そのチェックは図7のように石定盤から各端子までの高さを測定して行なった。また $2r$ 、 $W/2$ は測定値を平均し、 $2r=5.0198$ 、 $W/2=77.9534$ mmとして用いた。測定圧によるこれ等のたわみを補償する

ために図8のようにしてチェックした。その結果電気マイクロメータ上で $4\mu\text{m}$ 程度変化することが分った。

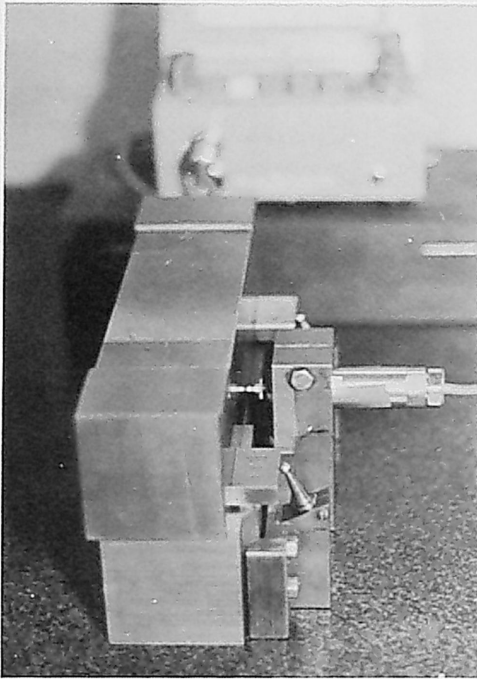


図-9 ($h-r$)のブロックゲージによる検定

弧の高さ($h-r$)の検定は図9のように弦端子とブロックゲージを挟む測定器とほぼ同重さの、表面を研削したブロックを用い、測定時と同じ状態にすることに努めて行なった。

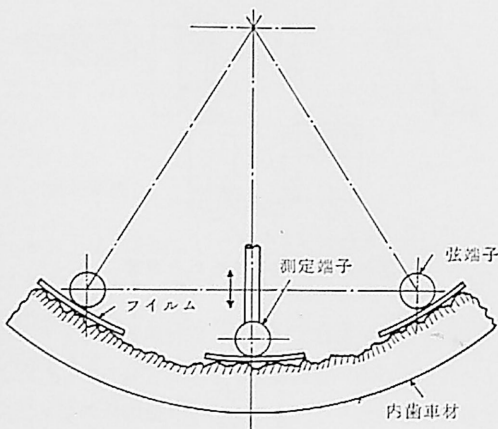


図-10 内径とその変動チェック

| フィルム厚み | 測定値 μm | 弧の高さ μm | 内径 (式による) μm | マイクロメータによる内径 μm |
|--------|-------------------|--------------------|-------------------------|----------------------------|
| 0.158 | -25 | 19.8696 | 330.7192 | 平均 330.990 |
| 0.157 | -25.5 | 19.8701 | 330.7121 | |
| 0.157 | -26.5 | 19.8711 | 330.6977 | |

表1 フィルムを挟み測定した内径と実内径

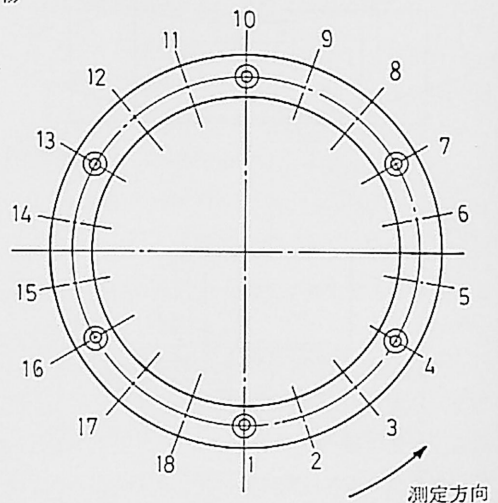
次に検定値の再現性をみると $1\mu\text{m}$ 弱変動するのが確認されたが、しかし実測する内歯車材では測定値のばらつきがどの程度あるかは明らかでない。そこであらかじめ図10では3つの端子と内円筒との間に一様な厚さのフィルムを入れ、表面あらかさや歪の少ない内径における本測定器の精度を調べてみた。その結果は表1に示す通り、フィルムをはさめばほぼフィルム厚さだけ小さい内径が測定できることが分った。

測定値のばらつきが表1の差7, 15, $21\mu\text{m}$ になったことから、ほぼ目標精度の $30\mu\text{m}$ 程度以内に測定されていることが分った。従って内径測定器として使用可能と判断し、次のように測定した。

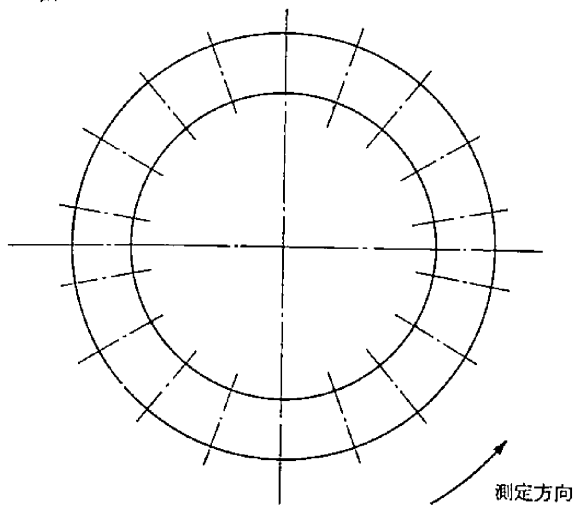
測定は図11のように内円を18等分し、被削測定物のリングの歪を少なくするために石定盤の上で内歯車材端面に本測定器を乗せ、両端子が同時に当るように内接させ、電気マイクロメータで弧の高さを読むことを行なった。

図-11 18等分測定点

鈎物



鋼



5. 測定結果

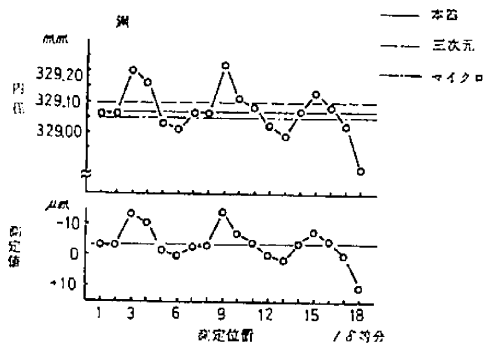


図-12 鋼の内径と平均値

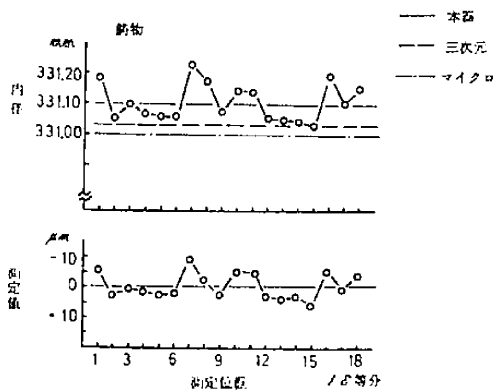
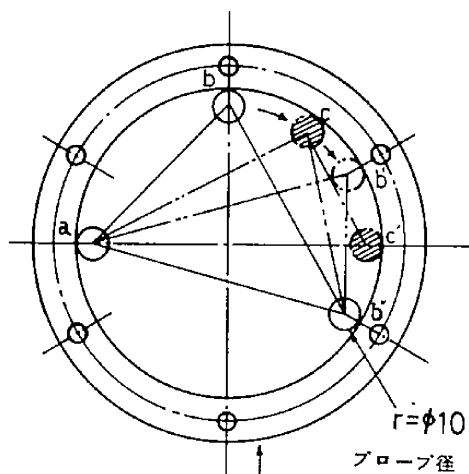


図-13 鋳物の内径と平均値

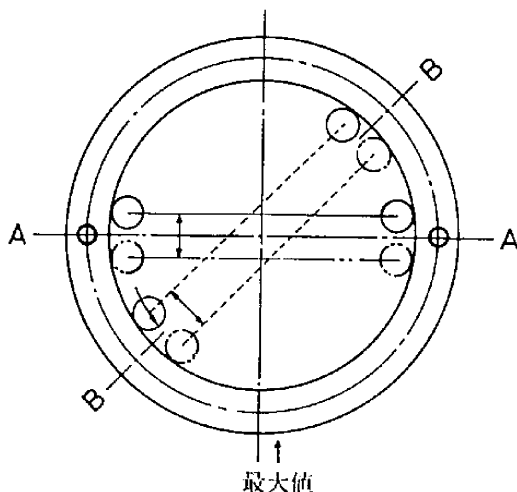
測定した個々の r を(1)式に代入して内径を求めたのが図12、図13である。この結果をみると鋼、鋳物材ともに内径が非常に変動しているように見え、実際の値とは

違っている。これは(7)式からも分るように内歯車材の加工時に生じたわずかな形状誤差が拡大され誇張されているからで、内円筒に歪がないと仮定して導いた(1)式に起因する。逆に考えればこれは形状誤差が拡大されて示され、そこで形状誤差を知るのに便利であるとも考えられる。

各々の測定値は直接内径とせず、できるだけ回数を増して、その平均内径を求めた。この平均内径の測定結果の良否は、三次元測定器とマイクロメータの測定結果と比較検討することで行なった。



$$D = 2R_A \quad R_A = \sqrt{(X_A - X_0)^2 + (Y_A - Y_0)^2} \pm r$$



$20^{\circ} \pm 1^{\circ}$ A21 MICRO CORD による

図-14 三次元測定器によるプローブの移動

| | マイクロ メーター 内径 | 三次元測定器 | | 計算による |
|----|--------------------|---------|---------|---------|
| | | 穴の上 | 穴なし | |
| 鋳物 | 330.990 | 331.025 | 331.030 | 331.028 |
| 鋼 | 329.047 | 329.101 | | 329.098 |

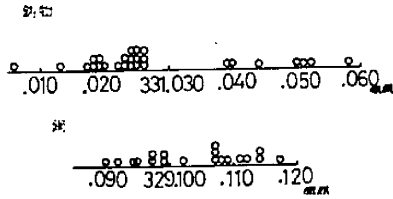


表2 鋳物と鋼の測定値と内径平均値の比較

三次元測定器による測定はA 21 マイクロコードで図14のようにプローブをa→c→c, a→b→b, a→c→bと移動させて行なった。またマイクロメーターによる測定は分割点上を多数測定し、平均値を求めた。測定点は鋼、鋳物材共に内歯車材端面から10mmの所である。

三次元測定器による鋳物製内歯車材の測定ではばらつきが大きかった。これは掃付穴を先にあけ、その後内径面を旋削したので、穴の上では被削材が逃げて加工されたためではないかと考えた。この逃げた部分が加工後スプリングバックして凸形になり、内径の三点測定値に影響したものと思われる。そこで計算によって直径を求めた結果およびその平均値を表2に示した。しかしこの結果からは穴の影響があらわれていないと思われたので穴の影響を調べるために、A-A分割線上をまたいで測定し、これを穴の上とした。また穴なしとしてB-B分割線で測定し平均化して表2に併記した。

先に述べた本器による平均値と表2の平均値を比較したものが図15である。この図から分るように鋼においては本器による平均内径とマイクロ、三次元測定器による平均内径との差は比較的小さい。しかし鋼より表面があらく出来上っていた鋳物では少々問題であることが分った。

この表面形状の状態を知るために各々90ヶの測定値を取出し、図16に示す度数表を作り、これから平均値、不偏分散の平方根、そして変動係数を求めると表3となり、これから変動係数は鋳物の方が大きくなっていることが分った。それだけばらつきが大きいことを示している。また表3のσを図17に記入してみると、±σから外れる測定値が黒丸のように示され、鋳物材ではすべて穴の上の測定値であることが分った。これが原因で鋳物材

はばらつきの大きい内径と計算されたようである。これと比較して鋼では \bar{x}_{90} と \bar{x}_3 の平均値の変動のないところから、その歪の影響が小さいようである。

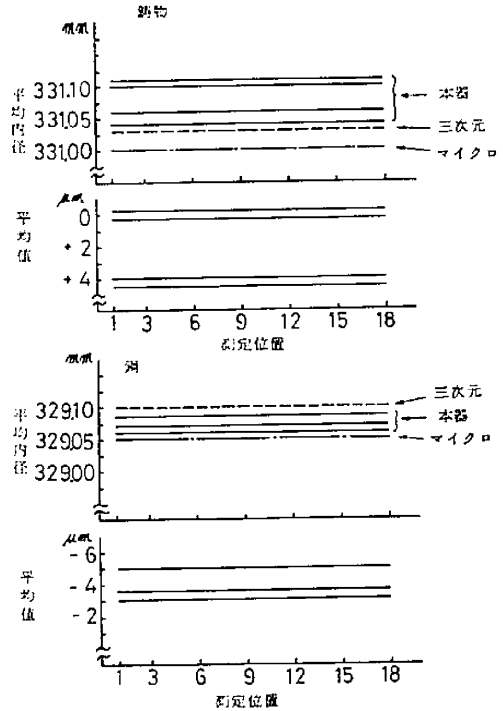


図-15 鋼と鋳物の平均内径の比較

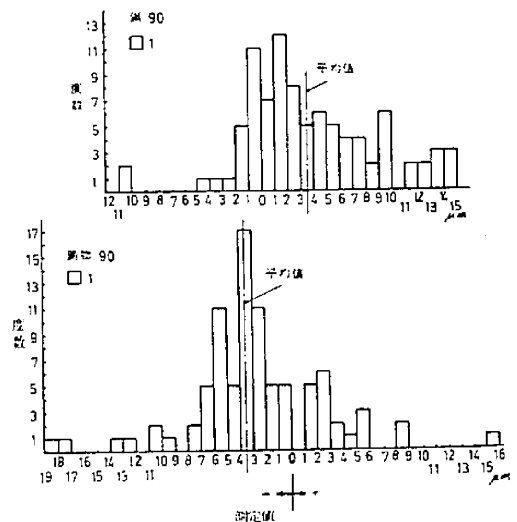
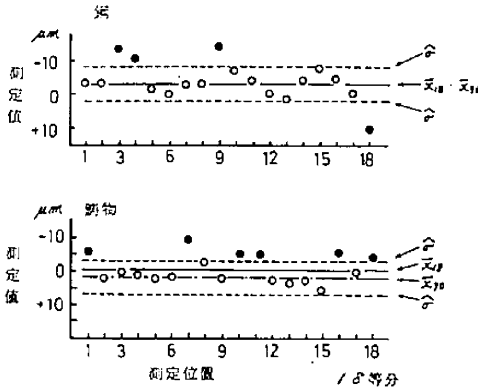


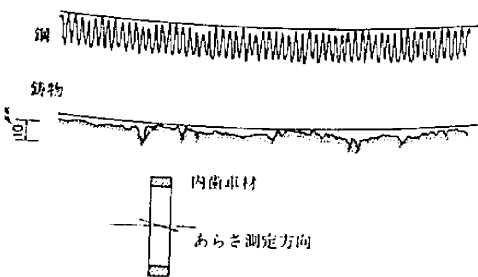
図-16 内径測定値の度数表

| | \bar{x} | $\hat{\sigma}$ | $\hat{\sigma}/\bar{x}$ |
|----|--------------------|--------------------|------------------------|
| 鋼 | 3.41 μm | 4.82 μm | 1.41 |
| 鋳物 | -246 | 4.80 | 1.94 |

表3 $\bar{x} \cdot \hat{\sigma} / \bar{x}$ の比較



図一17 \bar{x}_{18} と \bar{x}_{90} の平均値の移動



図一18 測定点付近の内径表面歪曲線

このように各分割点近傍の表面形状の歪が大きいことが分かったので、この表面の歪曲線を測定してみると、図18のようになり、これからも鋳物の方が変動が多かったのが分かった。従って本測定器による内径測定は黒丸の点を除けば他の測定器に対比しても比較的精度よく測定できているようである。

6. まとめ

内歯車材の大内径を測定する目的で簡易型内径測定器を諸条件を勘案して試作し、測定した。その結果表面形状の良い鋼の測定ではその測定精度も良く、ほぼ測定器として使用可能であることがわかった。しかし表面形状の良い内径測定では表面のうねりなどの影響が拡大されて測定結果に入ってくるので、そのままでは実際の値を示さなくなる。そこで次のようにまとめると良いのではないかと考えた。

図16の度数表からも分るように確率の小さい内径測定値はこれを無視し、できるだけ多くの測定値を使って平均値を求める。そして 測定値-平均値/13=新測定値として(1)式に代入し、各々内径を求める方法である。

このようにすれば表面形状の良い部分の内径測定には少し鈍感に測定されるが、極端に形状が誇張されてあらわされることはなくなる。

さらに本測定器の精度を上げるためには、あらさやうねりの影響を微妙に拾い上げる弦端子径と表面形状との関係を良く調べる必要がある。

またその他に問題点としては歯車材端面との直角度の悪いテーパ穴に対して内径が大きく現れることが考えられる。これに対しては裏側からも測定し、その平均値を調べてみると、この程度の歯車材の厚みでは、テーパを考慮する必要は少ないようである。

このように調べた結果種々の問題点が明らかになってきた。これ等をさらに改良し、研究して良い内径測定器を完成したい。

測定器の検定に当心よく三次元測定器を使用させていただいた呉工業試験場の皆様に感謝すると共に、本学工作研究室の皆様に感謝致します。