621.824.4-422:621.941-422

ポリゴン断面の工作について*

(第4報, 断面形状の測定法および測定接触球の丸みが形状誤差の測定に及ぼす影響)

賀 勢

晋**

On the Machining of the Polygonal Profile

(Report 4, Measurements of the Profile and the Effect of the Roundness of the Measuring Edge upon the Accuracy of the Profile Measurement)

by Susumu KASEI

Polygonal profiles used for couplings must be precise in shape. Therefore, the following conditions must be satisfied in the measurement of this kind of profile:

- a. The rotation angle must be precise in the range $0^\circ \sim 360^\circ$;
- b. The radius must be equally correct;
- c. The same degree of precision is desirable for the measurement of the shaft and the boss.

Taking into consideration of the above conditions, the author adopted the feeler method apparatus on the toolmakers' microscope.

In this measurement, the roundness of the measuring edge has an effect upon the accuracy of the profile measurement.

In this report, the author studied the theoretical values of error in reading of the lathe-turned profile and the ground profile. And based on the correction formula, the correction chart of profile measurement was prepared for the practical use.

According to this chart, the results of the close examination for the experimental polygonal shafts were indicated.

1. ポリゴン断面形状誤差の測定法

切削されたポリゴン断面軸穴が軸継手としての特色を発揮するためには、その形状が正確でなければならない。形状の正確さは測定によって確かめる必要がある。一般実用の場合の測定は最大半径、最小半径などの測定のみで十分であるが、切削された断面が理論値どおりできているかどうかを検査するためには、全周にわたる精密な測定を必要とする。ポリゴン断面のようにその理論式が極座標によって示されているものについては、その測定法も同じく極座標によるのが合理的である。すなわち中心軸線をささえ一定角の回転をあたえ、その角度に対するポリゴン半径が理論値どおりになっているかどうかを検討する。ゆえにポリゴン断面の測定装置としては

- a. 角度を $0^\circ \sim 360^\circ$ にわたって正確に回転せしめ得ること。

- b. 寸法を正確に測定し得ること。

が同時に必要となる。

角度を正確によみとるためには割出し台、精密割出し台、光学的割出し台などを使用することがまず考えられる。研削断面の測定の場合には、はんばな角度を分の程度まで設定しなければならないから十分な精度を必要とする。

寸法を正確に測定するためにはいろいろの方法がある。たとえば

- a 投影法
- b インジケータ法
- c 一般のマイクロメータを使用する方法
- d ナイフエッジを使用する方法
- e フィーラー式顕微鏡装置を使用する方法

などである。一方においてポリゴン断面形状の測定に関してはつぎのような要求を満たすものでなければならない。

- a. 断面形状を示すポリゴン半径は最大から最小まで数 mm の範囲にわたって測定を行なわなければならない。

* 昭和 38 年 11 月 1 日 第 41 期東京秋期講演大会において論文講演として講演, 原稿受付 昭和 38 年 7 月 8 日。

** 正員, 徳島大学工業短期大学部 (徳島市南常三島 2 の 1)。

らない。しかもこの区間において相当に高精度の測定を必要とする。すなわちいかに高精度であっても測定範囲がせまくては利用不可能である。

b. 軸継手は軸と穴とが一组になってはじめて機能を発揮するものであるから、軸測定と同様な精度で穴の測定ができなければならない。できれば軸に用いたものと同じ測定装置で穴の測定ができることが望ましい。

以上の見地より上記 5 種類の測定方法を検討すると、あまり精度を問題としない測定においては、第 1 報にてのべたインジケータによる方法が便利である。しかし高精度の測定を必要とする場合においては、e. のフィーラー式顕微鏡装置を用いる方法がもっとも適するものと考えられる。

ゆえに本研究において高精度を要する測定は、工具顕微鏡とその付属装置であるフィーラー式顕微鏡装置を使用した。第 1 図はこの方法を採用してポリゴン断面を測定している状況である。(a) は軸測定の場合、(b) は穴測定の場合を示す。第 2 図はフィーラー式顕微鏡装置の先端にある接触球をポリゴン断面軸に当てる状況である。ポリゴン断面の形状によっては (a) のような真直形接触球では (b) のように軸部が当って都合が悪いので、重量とバランスとを考慮した (c) のようなわん曲形接触球を利用した。この装置全体が工具顕微鏡の対物鏡の下端に取付けられる。

第 3 図はポリゴン断面の形状測定の要領である。測定の際はポリゴン半径 r を直接には測定せず、図

に示した最大半径 R と測定すべき半径 r との差 S が測定値として示される。

いま中心 O および回転角 α とした場合、旋削断面の α と S との間にはつぎの関係がなければならない。すなわち

$$\left. \begin{array}{l} \text{単弦形ポリゴン断面に対しては}^{(1)} \\ S = e(1 - \cos n\alpha) \\ \text{クランク形ポリゴン断面に対しては}^{(2)} \\ S = \sqrt{a^2 - e^2} \sin^2 n\alpha - e \cos n\alpha - (a - e) \end{array} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ただし e : カム偏心量 n : ポリゴン葉数

a : 偏心カム円中心とスライドピン中心との距離

研削されたポリゴン断面、すなわち包絡断面においては、半径 $r_{ec} = OB$ と最大半径 R_{ec} との差が S として計算され、またその断面の回転角 α_{ec} は研削といし

第 2 図 接触球を利用するポリゴン断面軸測定要領

第 3 図 断面精度の測定要領説明図

第 4 図 軸穴測定における接触球の丸み r_1 の影響説明図

(a) 軸の測定

(b) 穴の測定

第 1 図 ポリゴン断面軸および穴の測定状況

車中心のポリゴン断面輪郭中心に対する回転角 α に関連して計算される (第7図参照)。

測定によって得られた S の値と式によって理論計算された S の値とを比較すれば, その断面形状を明らかにすることができる。すなわち形状誤差を E_r として

$$E_r = (\text{測定によって得られた } S) - (\text{理論値の } S)$$

として示すとき, E_r が正であると断面は理論形状よりやせていることになり, E_r が負であるときは太っていることになる。

2. フィーラー式顕微鏡法における接触球の丸みが形状誤差の測定におよぼす影響

ポリゴン断面の形状測定は前章においてのべたようにフィーラー式顕微鏡装置を用いることにする。その場合に検討を要する問題として接触端部の形状が測定結果におよぼす影響がある。

接触端部は一般に球状をなしている。これは鋼球が利用できて正確な寸法が得られること, 測定部分の摩擦の小なること, さらに穴測定に便利なためである。

丸断面を測定する場合には接触球の丸みは測定値に影響しない。しかしポリゴン断面曲線のようにわい曲した輪郭の測定においては第3図の ΔS の影響が現われる。

この状態を拡大して第4図においてさらに詳しく考える。第4図(a)に示すように接触球と曲面との接触点 B が O_1O 線上にないとき, ポリゴン最大半径 AO と DO との差は接触球の動き O_0C ではなくてこれに CD の長さが加わる。ゆえに測定結果に示される断面形状は実物より大きくなる。正しい寸法を知るためには CD の寸法を計算して補正しなければならない。

ポリゴン中心, 接触球中心および接点によって形成される $\triangle OO_1B$ において $O_1B=r_1$ は接触球の丸みである。

第5図 軸測定における接触球の丸みによる読み誤差 (単弦形ポリゴン断面)

$$\frac{r_1}{\sin \Delta \alpha_1} = \frac{OO_1}{\sin(180^\circ - \beta_1)} = \frac{OB}{\sin \theta} \quad \text{より}$$

$$\frac{r_1}{\sin \Delta \alpha_1} = \frac{r_1 + CD + OD}{\sin(180^\circ - \beta_1)} = \frac{OB}{\sin(\beta_1 - \Delta \alpha_1)}$$

となるゆえに

$$\sin \Delta \alpha_1 = \frac{r_1 \sin \beta_1}{r_1 + CD + OD}$$

また $\triangle OO_1B$ に余弦法則を適用すると

$$(r_1 + CD + OD)^2 = r_1^2 + OB^2 + 2OB r_1 \cos \beta_1$$

ゆえに

$$\sin \Delta \alpha_1 = \frac{r_1 \sin \beta_1}{\sqrt{r_1^2 + OB^2 + 2OB r_1 \cos \beta_1}} \dots \dots (2)$$

すなわち座標軸よりの回転角 α_1 で接触するとき, それより $\Delta \alpha_1$ だけ回転角の進んだ位置 $\alpha = \alpha_1 + \Delta \alpha_1$ において測定していることになる。

3葉ポリゴン断面の場合において回転角 120° の範囲について述べると

$0^\circ, 60^\circ$ および 120° においては $\Delta \alpha_1 = 0$ となり, $0^\circ \sim 60^\circ$ の間においては $\Delta \alpha_1$ は OO_1 線より手前に, $60^\circ \sim 120^\circ$ の間においては $\Delta \alpha_1$ は OO_1 線よりさらに進んだ位置に示される。(2)式における OB はポリゴン半径であり, β_1 は B 点において断面曲線に立てた法線と OB とのなす角であるから, いずれの種類のポリゴン断面においても計算することができる。したがってポリゴン断面曲線が与えられた場合, α_1 の各位置について $\Delta \alpha_1$ を(2)式より計算できる。ゆえに回転角が $\alpha = \alpha_1 + \Delta \alpha_1$ となった場合のポリゴン半径 OD を式によって求めることができる。

基準値のポリゴン半径 OA および求めようとするポリゴン半径 OD の測定における読みの差は, 測定値としては O_0C で示されるが, 実際は O_0D でなければならない。したがって測定値の読みだけでは不十分で, CD の量を計算して加えることによって初めて正しい値が得られる。ゆえにさらに加える量 CD を読み誤差と称することにする。 CD の値は

$$CD = \sqrt{r_1^2 + OB^2 + 2OB r_1 \cos \beta_1} - (r_1 + OD) \dots \dots \dots (3)$$

によって計算することができる。

3. 単弦形ポリゴン断面軸測定時における読み誤差

ポリゴン半径 OB および OD は

$$OB = OA - e + e \cos n \alpha_1$$

$$OD = OA - e + e \cos n(\alpha_1 + \Delta \alpha_1)$$

より求められ, 法線と半径とのなす角 β_1 は

$$\beta_1 = \tan^{-1} \left\{ \frac{(-e \sin n\alpha_1) \sin \alpha_1 + \frac{1}{n} (R - e + e \cos n\alpha_1) \cos \alpha_1}{(-e \sin n\alpha_1) \cos \alpha_1 - \frac{1}{n} (R - e + e \cos n\alpha_1) \sin \alpha_1} \right\} - (90^\circ + \alpha_1) \dots\dots\dots (4)$$

として求め⁽²⁾, (2) 式および (3) 式より読み誤差を計算して補正することができる. 第 5 図は図に示す条件の単弦形ポリゴン断面軸を $r_1=1.498 \text{ mm}$ (本実験に使用した装置の接触球の正確な丸み寸法) のもので測定した場合に生ずる読み誤差である. $\alpha=0^\circ, 60^\circ$ および 120° においては誤差はないが, それ以外の角度においては図のような誤差を生じ, 30° および 90° 近辺において最大となる. この線図は 60° を境として左右対称であるが $0^\circ \sim 60^\circ$ および $60^\circ \sim 120^\circ$ の範囲においては 30° もしくは 90° の縦線を境として対称でない. 図においては 60° および 90° の線を基準として軸の場合には内側にひずんだ形をしている. これは $\Delta\alpha_1$ の影響である.

また偏心量が増加すると誤差は急激に大になり測定るとき無視し得ない量となる. この図を利用して CD の寸法を求めて測定値に補正を加え, これを S の測定寸法とすべきである.

4. クランク形ポリゴン断面軸測定時における読み誤差

ポリゴン半径 OB および OD はそれぞれ

$$OB = OA - \{\sqrt{a^2 - e^2 \sin^2 n\alpha_1} - e \cos n\alpha_1 - (a - e)\}$$

$$OD = OA - \{\sqrt{a^2 - e^2 \sin^2 n(\alpha_1 + \Delta\alpha_1)} - e \cos n(\alpha_1 + \Delta\alpha_1) - (a - e)\}$$

より求められ, 法線と半径とのなす角 β_1 は

$$\beta_1 = \tan^{-1} \left\{ \frac{e \sin n\alpha_1 \left\{ \frac{\cos n\alpha_1}{\sqrt{\left(\frac{a}{e}\right)^2 - \sin^2 n\alpha_1}} - 1 \right\} \sin \alpha_1 + \frac{1}{n} \left\{ (R + a - e) - e \sqrt{\left(\frac{a}{e}\right)^2 - \sin^2 n\alpha_1} - \cos n\alpha_1 \right\} \cos \alpha_1}{e \sin n\alpha_1 \left\{ \frac{\cos n\alpha_1}{\sqrt{\left(\frac{a}{e}\right)^2 - \sin^2 n\alpha_1}} - 1 \right\} \cos \alpha_1 - \frac{1}{n} \left\{ (R + a - e) - e \sqrt{\left(\frac{a}{e}\right)^2 - \sin^2 n\alpha_1} - \cos n\alpha_1 \right\} \sin \alpha_1} \right\} - (90^\circ + \alpha_1) \dots\dots\dots (5)$$

より計算することができる⁽²⁾. 第 6 図は図中に示す条件のクランク形ポリゴン断面軸を測定した場合に生ずる読み誤差である.

5. 単弦形円周包絡ポリゴン断面軸測定時における読み誤差

研削によって形成された包絡断面においても, 生ずる読み誤差は一般のポリゴン断面曲線の場合と同様な考え方によって計算し補正することができるが, その取扱いは旋削によって得られるポリゴン断面曲線におけるよりも煩雑である.

単弦形円周包絡断面の場合について考える. 第 7 図においてといし車中心 O_2 のえがくポリゴン半径は $r = R - e + e \cos n\alpha$ とあり, したがって $\frac{dr}{d\alpha} = -ne \sin n\alpha$ であって, といし車直径を d , 包絡ポリゴン断面最

第 6 図 軸測定における接触球の丸みによる読み誤差 (クランク形ポリゴン断面)

第 7 図 円周包絡断面における β_1

大半径を R_{ec} とすると, ポリゴン半径 R は $R=R_{ec} \pm \frac{d}{2}$ の関係にある. ただし上下の符号で上は研削軸, 下は研削穴の場合を示す. 第7図において回転角 α のときの研削点 B の座標を (x, y) とすると

$$\left. \begin{aligned} x &= r \cos \alpha \mp \frac{d}{2} \frac{-ne \sin n\alpha \sin \alpha + r \cos \alpha}{\sqrt{n^2 e^2 \sin^2 n\alpha + r^2}} \\ y &= r \sin \alpha \pm \frac{d}{2} \frac{-ne \sin n\alpha \cos \alpha - r \sin \alpha}{\sqrt{n^2 e^2 \sin^2 n\alpha + r^2}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

より計算し, 第4図においてまず必要な角 α_1 および半径 OB は

$$\alpha_1 = \alpha_{ec} = \tan^{-1} \frac{y}{x} \quad OB = \sqrt{r^2 + \frac{d^2}{4} \mp \frac{r^2 d}{\sqrt{n^2 e^2 \sin^2 n\alpha + r^2}}}$$

より求められる⁽³⁾. つぎは第7図の β_1 を計算する.

研削点 B における接線のこう配は

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\frac{\partial y}{\partial r} \frac{dr}{d\alpha} + \frac{\partial y}{\partial \alpha}}{\frac{\partial x}{\partial r} \frac{dr}{d\alpha} + \frac{\partial x}{\partial \alpha}} \dots\dots\dots (7)$$

によって示されるから⁽⁴⁾, B 点の法線のこう配 m は

$$m = \frac{1}{\frac{dy}{dx}} = - \frac{\frac{\partial x}{\partial r} \frac{dr}{d\alpha} + \frac{\partial x}{\partial \alpha}}{\frac{\partial y}{\partial r} \frac{dr}{d\alpha} + \frac{\partial y}{\partial \alpha}}$$

によって示すことができる. $\frac{\partial y}{\partial r}$, $\frac{\partial x}{\partial r}$, $\frac{\partial y}{\partial \alpha}$ および $\frac{\partial x}{\partial \alpha}$ を計算すれば

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial y}{\partial r} &= \sin \alpha \pm \frac{d}{2} \frac{-\sin \alpha (n^2 e^2 \sin^2 n\alpha + r^2) - r(-ne \sin n\alpha \cos \alpha - r \sin \alpha)}{(n^2 e^2 \sin^2 n\alpha + r^2)^{3/2}} \\ \frac{\partial x}{\partial r} &= \cos \alpha \mp \frac{d}{2} \frac{\cos \alpha (n^2 e^2 \sin^2 n\alpha + r^2) - r(-ne \sin n\alpha \sin \alpha + r \cos \alpha)}{(n^2 e^2 \sin^2 n\alpha + r^2)^{3/2}} \\ \frac{\partial y}{\partial \alpha} &= r \cos \alpha \pm \frac{d}{2} \left[\frac{(-n^2 e \cos n\alpha \cos \alpha + ne \sin n\alpha \sin \alpha - r \cos \alpha)(n^2 e^2 \sin^2 n\alpha + r^2)}{(n^2 e^2 \sin^2 n\alpha + r^2)^{3/2}} \right. \\ &\quad \left. - \frac{n^3 e^2 \sin n\alpha \cos n\alpha (-ne \sin n\alpha \cos \alpha - r \sin \alpha)}{(n^2 e^2 \sin^2 n\alpha + r^2)^{3/2}} \right] \\ \frac{\partial x}{\partial \alpha} &= -r \sin \alpha \mp \frac{d}{2} \left[\frac{(-n^2 e \cos n\alpha \sin \alpha - ne \sin n\alpha \cos \alpha - r \sin \alpha)(n^2 e^2 \sin^2 n\alpha + r^2)}{(n^2 e^2 \sin^2 n\alpha + r^2)^{3/2}} \right. \\ &\quad \left. - \frac{n^3 e^2 \sin n\alpha \cos n\alpha (-ne \sin n\alpha \sin \alpha + r \cos \alpha)}{(n^2 e^2 \sin^2 n\alpha + r^2)^{3/2}} \right] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

(8) 式を (7) 式に入れて β_1 を計算すると

$$\begin{aligned} \beta_1 &= \tan^{-1} \\ &\times \left[\frac{\left\{ \cos \alpha \mp \frac{d}{2} \frac{\cos \alpha (e^2 n^2 \sin^2 n\alpha + r^2) - r(-en \sin n\alpha \sin \alpha + r \cos \alpha)}{(e^2 n^2 \sin^2 n\alpha + r^2)^{3/2}} \right\} (-en \sin n\alpha) + \left\{ -r \sin \alpha \mp \frac{d}{2} \right.}{\left\{ \sin \alpha \pm \frac{d}{2} \frac{-\sin \alpha (e^2 n^2 \sin^2 n\alpha + r^2) - r(-en \sin n\alpha \cos \alpha - r \sin \alpha)}{(e^2 n^2 \sin^2 n\alpha + r^2)^{3/2}} \right\} (-en \sin n\alpha) + \left\{ r \cos \alpha \pm \frac{d}{2} \right.} \right. \\ &\quad \left. \left. \frac{(-en^2 \cos n\alpha \sin \alpha - en \sin n\alpha \cos \alpha - r \sin \alpha)(e^2 n^2 \sin^2 n\alpha + r^2) - e^2 n^3 \sin n\alpha \cos n\alpha (-en \sin n\alpha \sin \alpha + r \cos \alpha)}{(e^2 n^2 \sin^2 n\alpha + r^2)^{3/2}} \right\}}{(-en^2 \cos n\alpha \cos \alpha + en \sin n\alpha \sin \alpha - r \cos \alpha)(e^2 n^2 \sin^2 n\alpha + r^2) - e^2 n^3 \sin n\alpha \cos n\alpha (-en \sin n\alpha \cos \alpha - r \sin \alpha)} \right] \\ &\times \left[\frac{(-en^2 \cos n\alpha \cos \alpha + en \sin n\alpha \sin \alpha - r \cos \alpha)(e^2 n^2 \sin^2 n\alpha + r^2) - e^2 n^3 \sin n\alpha \cos n\alpha (-en \sin n\alpha \cos \alpha - r \sin \alpha)}{(e^2 n^2 \sin^2 n\alpha + r^2)^{3/2}} \right] \\ &- \tan^{-1} \left(\frac{r \sin \alpha \pm \frac{d}{2} \frac{-en \sin n\alpha \cos \alpha - r \sin \alpha}{(e^2 n^2 \sin^2 n\alpha + r^2)^{1/2}}}{r \cos \alpha \mp \frac{d}{2} \frac{-en \sin n\alpha \sin \alpha + r \cos \alpha}{(e^2 n^2 \sin^2 n\alpha + r^2)^{1/2}}} \right) \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

によって求めることができる。したがって (2) 式を
といて第 4 図の $\Delta\alpha_1$ の計算ができる。

第 8 図は図中に示す条件のポリゴン断面の α , α_{ec}
および β_1 の関係を (6), (8) および (9) 式より
求めたものである。 α の値が $0^\circ \sim 60^\circ$ の範囲において
は α_{ec} は α より常に小であって, α のすすみかたよ
りも研削点がおくれてすすみ, 60° において追いつい
て一致し, $60^\circ \sim 120^\circ$ において α_{ec} が先行する。かく
て求めた $\Delta\alpha_1$ の値を第 9 図に示す。これによって第
4 図に示す測定時の角 α を $\alpha = \alpha_1 + \Delta\alpha_1$ として求め
ることができる。

一般のポリゴン断面においては α が定まれば, 回
転角 α の場合のポリゴン半径 $r = OD$ が求められた
が, 包絡線ポリゴン断面においてはたとえ α を定めて
も直ちに OD を求めることができない。第 4 図の α_1
は第 7 図においては α_{ec} に相当するものであるから,
第 7 図においてといし車中心 O_2 のポリゴン断面輪郭
の中心 O に対する回転角 α の代りに, α' としたとき
包絡断面における α_{ec} が $(\alpha_{ec} + \Delta\alpha_1)$ となるとして,

この α' を (6) 式の α の代りに用いて OD の長さ
を計算しなければならない。このことをつぎに考える。

$$\alpha_{ec} = \tan^{-1} \frac{y}{x} \quad \text{であるから}$$

$$\frac{d\alpha_{ec}}{d\alpha} = \frac{1}{1 + \left(\frac{y}{x}\right)^2} \frac{x \frac{dy}{d\alpha} - y \frac{dx}{d\alpha}}{x^2}$$

$$= \frac{x \left(\frac{\partial y}{\partial r} \frac{dr}{d\alpha} + \frac{\partial y}{\partial \alpha} \right) - y \left(\frac{\partial x}{\partial r} \frac{dr}{d\alpha} + \frac{\partial x}{\partial \alpha} \right)}{x^2 + y^2}$$

.....(10)

$\frac{d\alpha_{ec}}{d\alpha}$ は α_{ec} の増し方 ($\Delta\alpha_1$) とこれに対する α の
増し方との割合であるから, この値を (8) 式を用い
て計算すれば, $\Delta\alpha_1$ より $d\alpha$ の計算ができ $\alpha' = \alpha + d\alpha$
より α' を求め得る。第 10 図は図示の条件の α と
 $\frac{d\alpha_{ec}}{d\alpha}$ との関係を示す。このようにして α' が求めら
れるから, この場合の x, y あるいは $r = OD$ を計算し,
(3) 式より CD が求められる。第 11 図は図示の条

第 8 図 円周包絡ポリゴン断面における
 α と α_{ec} および β_1 との関係

第 9 図 円周包絡ポリゴン断面における
 α と $\Delta\alpha_1$ との関係説明図

第 10 図 円周包絡ポリゴン断面における α
と $d\alpha_{ec}/d\alpha$ との関係説明図

第 11 図 軸測定における接触球の丸みによる読
み誤差 (単弦形円周包絡ポリゴン断面)

件の円周包絡ポリゴン断面軸の読み誤差の補正表である。同じ条件の単弦形ポリゴン断面におけるよりも読み誤差は若干増大する。また α と α_{es} とのくいちがいのために線図は 60° の線を軸として外側に流れた形状となる。

6. 単弦形直線包絡ポリゴン断面軸測定時における読み誤差

単弦形直線包絡ポリゴン断面の式は

$$x = r \cos \alpha + ne \sin n\alpha \sin \alpha, \quad y = r \sin \alpha - ne \sin n\alpha \cos \alpha$$

である⁽⁵⁾。したがって

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial y}{\partial r} &= \sin \alpha, & \frac{\partial x}{\partial r} &= \cos \alpha \\ \frac{\partial y}{\partial \alpha} &= r \cos \alpha - n^2 e \cos n\alpha \cos \alpha + ne \sin n\alpha \sin \alpha \\ \frac{\partial x}{\partial \alpha} &= -r \sin \alpha + n^2 e \cos n\alpha \sin \alpha + ne \sin n\alpha \cos \alpha \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

これより前章と同様にして β_1 を求めると

$$\beta_1 = \tan^{-1} \left[-\frac{\cos \alpha (-ne \sin n\alpha) + (-r \sin \alpha + n^2 e \cos n\alpha \sin \alpha + ne \sin n\alpha \cos \alpha)}{\sin \alpha (-ne \sin n\alpha) + (r \cos \alpha - n^2 e \cos n\alpha \cos \alpha + ne \sin n\alpha \sin \alpha)} \right] \\ - \tan^{-1} \left[\frac{r \sin \alpha - ne \sin n\alpha \cos \alpha}{r \cos \alpha + ne \sin n\alpha \sin \alpha} \right] \dots\dots\dots (12)$$

によって計算できる。 $\Delta\alpha_1$ の計算要領ならびに α' を求めて OD を計算する方法は、円周包絡ポリゴン断面の場合と同様である。第 12 図は図示の条件での直線包絡ポリゴン断面の読み誤差の図表である。

同条件の円周研削にくらべると読み誤差が大である。

7. ポリゴン断面穴測定時における読み誤差

軸の場合と同様にしてポリゴン断面穴の測定においても測定端子の丸み r_1 の影響を計算できる。第 4 図(b)は穴の測定の状況である。計算の手順は軸の場合と同様であるが符号が変わり、

第 12 図 軸測定における接触球の丸みによる読み誤差 (単弦形直線包絡ポリゴン断面)

$$\sin \Delta\alpha_1 = \frac{r_1 \sin \beta_1}{\sqrt{r_1^2 + OB^2 - 2OB r_1 \cos \beta_1}} \dots\dots\dots (13)$$

となる。すなわち座標軸よりの回転角 α_1 で接触しているとき、それよりも $\Delta\alpha_1$ だけ回転角の手前の位置 $\alpha = \alpha_1 - \Delta\alpha_1$ において測定していることになる。 $\Delta\alpha_1$ の示され方は軸測定の場合とは逆であって、3 葉ポリゴン断面においては $0^\circ \sim 60^\circ$ の間において $\Delta\alpha_1$ は OO_1 線よりさらに進み、 $60^\circ \sim 120^\circ$ の間においては $\Delta\alpha_1$ は OO_1 線より手前に引かれる。 OB および β_1 は軸測定の場合と同様に計算できるから α_1 の各値に対して $\Delta\alpha_1$ を計算でき、したがって回転角 $\alpha = \alpha_1 - \Delta\alpha_1$ の場合のポリゴン半径の計算ができる。ポリゴン半径 OA および OD 測定における読みの差は測定値としては O_0C で示されるが実際は O_0D でなければならない。したがって測定値読みから差引くべき量 CD は

$$CD = OD - r_1 - \sqrt{r_1^2 + OB^2 - 2OB r_1 \cos \beta_1} \dots\dots\dots (14)$$

によって計算できる。第 13 図は図中に示した条件のポリゴン断面穴を測定したとき生ずる読み誤差である。 60° の線を基準として外側にひずんだ形となり、軸の場合とは逆になる。読み誤差は同じ条件で比較すると軸の場合よりはがいて大である。

8. 断面精度測定結果の例

ポリゴン断面曲線の形状を測定して理論値と比較する精度測定結果は、すでに第 1 報においてインジケータ法によるものを発表した⁽⁶⁾。

以来ポリゴン断面軸加工用旋盤の精度の改善につとめて、得られる断面の精度向上をはかった。

これらの試作断面を本報において説明したフィーラー式顕微鏡法によって測定し、接触球の丸みによる補正を行なって得た結果の一例を第 14 図に示す。図の実線の折線は単弦形ポリゴン断面軸の測定結果を示し、点線は同条件 (工作機械, バイト, 切込み, 送りおよび主軸回転数が同じ) で切削した丸軸断面の測定結果を示して比較対照せしめたものである。

軸の全周にわたる測定の結果, 形状誤差の上下の最大限の幅によって精度を比較すると, ポリゴン断面軸においては図のようにだいたい 20μ 内外である。これにくらべて同条件の丸軸においては 10μ 近辺であるから, ポリゴン断面は丸断面にくらべるといくらか

第 13 図 穴測定における接触球の丸みによる読み誤差 (クランク形ポリゴン断面)

第 14 図 $R=18$ および $e=0.501\text{mm}$ で切削した場合の単弦形旋削ポリゴン断面軸形状誤差実測例

及ばないといえるが, 第 1 報に示したものに比べるるとおおいに改善されている。第 14 図は 4 種類の削り速度についての測定結果であるが, 削り速度が上昇するとポリゴン断面軸と丸軸の形状誤差の折線が離れる傾向を示している。

9. 結 論

(1) ポリゴン断面軸穴の形状誤差を測定する場合について, その測定法をあげ, 高精度を必要とする場合に最適の方法は, フィーラー式顕微鏡装置を工具顕微鏡に取付けて輪郭を測定する方法であることを述べた。

(2) 上記の方法で測定する場合, 測定端の接触球の丸みのために測定のよみが真の寸法を示さないから, 補正のための式を作成した。

(3) この式を計算するためには, 球の接触点の法線と接触点を通る中心線とのなす角 β_1 の計算が必須のものとなるので, 各種ポリゴン断面の β_1 の計算式を (4), (5), (9) および (12) 式により示した。

(4) この式を利用して単弦形ポリゴン断面軸, クランク形ポリゴン断面軸, 単弦形円周包絡ポリゴン断面軸および単弦形直線包絡ポリゴン断面軸について補正の式を計算し, 補正のための図を作製した。

(5) ポリゴン断面軸についても同様の方法によって補正できることを説明した。

(6) 切削装置の精度を改善して得た試作断面について, フィーラー式顕微鏡法によって測定し, 接触球の丸みによる補正を行なって得た結果を例示し, 同条件切削による丸断面との精度の差を示すとともに, 第 1 報にのべた当時との精度改善の模様を明らかにした。

本研究に対しご指導とご教示をいただいた東京工業大学 山本 晃教授および徳島大学 稲田貞俊教授に深い感謝の意を表する。

文 献

- (1) 賀勢, 機械学会論文集, 29-199 (昭 38-3), 461.
- (2) 賀勢, 機械学会論文集, 29-208 (昭 38-12), 1868.
- (3) 賀勢, 機械学会論文集, 29-208 (昭 38-12), 1874.
- (4) 坂井, 微分積分学演習, 第 1 巻, (昭 33), 194, 共立出版.
- (5) 賀勢, 機械学会論文集, 29-208 (昭 38-12), 1875.
- (6) 賀勢, 機械学会論文集, 29-199 (昭 38-3), 460.

討 論

〔質問〕 工作されたポリゴン断面の輪郭線の精度を第14図のような曲線で全体として表わすならば、本文中にあるような複雑な計算式によらなくても、接触球の中心が描く曲線を基準にして測定するだけで十分のように考えられる。すなわち、ポリゴン断面の輪郭曲線に接触しながら移動する接触球の中心の座標を (r, θ) で表わした場合、この中心の描く曲線の方程式は簡単な形式で求められ、したがって各 θ に対応する読みが読みとられた場合、その読みと上の方程式から計算される理論値との差を輪郭誤差として表わせば、第14図とは性格は異なるが、それと同等の精度を持った全体としての形状誤差が求められると思うがどうか。

(宮崎 孔 友)

〔回答〕 断面の精度を断面そのもので考えずに接触球を含めた寸法で比較すれば補正を要しないとの考え方は傾聴に値する。いま付図1において

$$r = F(\alpha) \dots\dots\dots (a)$$

$$\sigma = \tan^{-1} \left[\frac{F(\alpha)}{F'(\alpha)} \right] \dots\dots\dots (b)$$

$$\frac{\sin\left(\frac{\pi}{2} + \sigma\right)}{r_1} = \frac{\sin(\theta - \alpha)}{\rho} \dots\dots\dots (c)$$

$$r^2 + r_1^2 - 2rr_1 \cos(\theta - \alpha) = \rho^2 \dots\dots\dots (d)$$

の四つの関係があるからこれを解いて

$$r_1 = \lambda(\theta) \dots\dots\dots (e)$$

として示すことができ接触球の中心の式が求められる。問題は (e) 式が簡単な形で示し得るかどうかである。著者のいうポリゴン断面には二つの系統があ

付図1 r と r_1 との関係

る。一つは旋削によるもので符号を本文と同じにすると、ポリゴン半径 r は単弦形ポリゴン断面の場合

$$r = K + e \cos n\alpha \quad \text{ただし} \quad K = R - e$$

クランク形ポリゴン断面の場合

$$r = k - (\sqrt{a^2 - e^2} \sin^2 n\alpha - e \sin n\alpha)$$

ただし $k = R + a - e$

である。これらを原式 (a) として (e) 式を求める。とよい。得たものはさして複雑でないにしても、これを解いて r_1 を求める努力と本文に示す補正法を比較すればあまり差はないように考えられる。さらに他は研削による包絡ポリゴン断面である。この場合接触球の中心の式を求めることは半径 ρ の円で与えられた包絡断面を生ずべき原曲線を求めることに帰着する。そのポリゴン半径 r は

単弦形円周包絡ポリゴン断面の場合

$$r = \sqrt{(K + e \cos n\alpha)^2 + \frac{d^2}{4}} \mp \frac{(K + e \cos n\alpha)^2 d}{\sqrt{n^2 e^2 \sin^2 n\alpha + (K + e \cos n\alpha)^2}}$$

となりクランク形円周包絡ポリゴン断面の場合

$$r = \sqrt{\{k - (\sqrt{a^2 - e^2} \sin^2 n\alpha - e \cos n\alpha)\}^2 + \frac{d^2}{4}} \mp \frac{\{k - (\sqrt{a^2 - e^2} \sin^2 n\alpha - e \cos n\alpha)\}^2 d}{\sqrt{\left(\frac{ne^2 \sin n\alpha \cos n\alpha}{\sqrt{a^2 - e^2} \sin^2 n\alpha} - ne \sin n\alpha\right)^2 + \{k - (\sqrt{a^2 - e^2} \sin^2 n\alpha - e \cos n\alpha)\}^2}}$$

の形となる。しかし式中の媒介変数 α は本文第7図に示す α であって、といし車中心のポリゴン断面輪郭中心に対する回転角である。付図1の α とはことなるから両者の関係を求めなければならないし、角 σ も本文の (9) 式同様な複雑な形で示されるので結局研削断面の (e) 式は簡単には示し得ないと考えられる。とすれば補正で複雑な式を用いるか、直接複雑な式を用いるかのいずれかであって意味は同じでなかろうか。

また討論者の示された測定法はいわば間接法である。その結果を自己の部内のみで利用するにはさしつかえないが、これを他に及ぼして精度をうんぬんするとき説得力がうすいうらみがあるように思われる。

本文中に出る補正の式は複雑ではあるが $\sin$, $\cos$ の連続であって素直な形の繰返しにすぎず電子計算機などを利用すれば計算が重荷になるとは考えられない。

〔質問〕 割出し台を用いて工作物の全周を測定する場合に工作物を支持するセンタに振れがあると測定に誤差を生ずることが考えられるが、これに対する補正を考慮したか。

(編 修 理 事)

〔回答〕 本文には記述を略したが第14図に示したものは切削時および測定時に被削試験片を支持するセンタの振れによる測定誤差を補正した測定結果である。

試験片を旋盤によって加工する場合および精密割出し台を利用して全周を測定する場合には、駆動側のセンタ

付図 2 旋盤回りセンタの振れの測定

は回りセンタである。したがってセンタの振れによる誤差を生ずる。この値は本文で述べた接触球の丸みの影響にくらべるとわずかではあるが精密測定の場合には補正を要する。

(a) 切削時の旋盤の回りセンタの振れによる補正

まず旋盤の回りセンタの動きを知らなければならぬから、付図 2 のようにテストバーとマイクロメータヘッドを利用する。付図 3(a) はその結果である。試験片の断面寸法を補正するときの振れの換算値は付図 3(b) において、いま長さ A のテストバーの止りセンタから B の位置において測定した振れが主軸回転角 α において m であれば、付図 3(c) において長さ C の試験片の止りセンタから D の位置で切削した場合の補正量は付図 3 に示す本実験の試験片では

$$p = m \frac{A D}{C B} = 1.27 m \times \frac{D}{140} \dots\dots\dots (f)$$

によって計算できる。

この補正により試験片は振れないセンタ間にささえて削られたことになり、試験片断面の支持中心に対

(a) 旋盤におけるテストバーの振れ

(b) テストバーによる中心線の振れの校正

(c) 試験片を入れたときの関係位置

付図 3 旋削における中心線振れの校正

する振れの補正がなされる。

(b) 測定時の割出し台センタの振れによる補正

その値 m は切削時のそれにくらべてさらにわずかである。補正の方法は上述の旋盤の回りセンタの振れによる場合と同様である。割出し台の回りセンタの振れ測定にもテストバーを使用し読みは工具顕微鏡に取付けられた大形マイクロメータによった。したがって補正式は (f) 式と同じでバイト位置 D が測定端子位置 D となるだけである。

以上の (a) および (b) の両補正によって試験片断面の実際寸法を知り理論値と比較することができ

金 型 工 業 構 造 調 査

日本金型工業会(会長・永嶺源吾氏)は通産省の補助金を受け、わが国で初めての「金型工業の構造調査」を実施する。

これは金型メーカー、ユーザ約 1 万を対象とする総合調査とメーカー約 300 社を対象とする構造調査のふたとおりの調査からなり、明年 3 月末にまとめて公表される。

調査の目的は (1) 二重構造の解明 (2) 生産形態の合理性の分析 (3) 労働需給ひっばくに対する対策の三つにあり、金型工業の合理化指針ともなるべき性質の重要な調査である。

同時にこの調査は将来海外との比較、検討を行ない、わが国の金型工業の水準向上に役立てようとしているだけに効果が期待されている。

金型は塑性加工法(非切削加工法)の発展で従来のプレス、ガラス、ゴムからダイカスト、プラスチックなどに応用分野を広げ、しかもその需要量も急激にふ

えている。これに対応して金型メーカーは技術の向上と生産規模の拡大をはかっている。しかし精度、耐久度など技術の向上、設備の近代化、労働力の確保などの問題点も多く、金型工業は今後の合理的なあり方について改めて検討されなければならない転換期にある。そのため、こんど調査して調査結果を合理化に役立てようとするものである。

現在、同工業会は構造調査委員会を中心に調査方法と方針について検討を行なっているが、基本的には総合調査では通産省の調査統計部の協力をえてアンケート方式によって労務、生産、設備など 2 枚でいどの基本調査を実施する。

対象は、外販メーカーは従業員 10 人以上、内製一貫メーカー(自家生産)は 50 人以上の規模としている。一方、構造調査は財務、労務、設備、取引金など各細部の項目 20 枚にわたり記入の方法をとることになっている。

(服部 敏夫)