

三次元座標測定機によるスクリー圧縮機ロータの測定*

劉 宗 先^{*1}, 田 村 久 司^{*2}, 川 崎 一 正^{*2}Measurement of Screw-Compressor Rotor Using
Coordinate Measuring MachineZongxian LIU^{*3}, Hisashi TAMURA and Kazumasa KAWASAKI^{*3} Niigata University, Graduate School of Science and Technology,
8050, Ikarashi 2-nocho, Niigata, Niigata, 950-2181 Japan

A method for measuring a screw-compressor rotor using a coordinate measuring machine (CMM) is proposed. The profile of the rotor is constituted by a number of profile curves that are smoothly connected with each other. The position of each connecting point can be expressed with its radius in cylindrical coordinates. Such a rotor tooth surface is measured with a CMM. During the measurement, the current curves should be identified and distinguished from the rest. To do this, we compare the radius with the distance between the measured point and the Z-axis in cylindrical coordinates. The essence of the method is as follows. First, the coordinates of a number of points on the surface are measured. Second, the probable rotor surface is estimated by the method of least squares, and the errors are determined. This paper explains in some detail methods for measurement of eccentricity, of errors due to the division of the tooth space, of profile errors, and of lead errors.

Key Words: Measurement, Machine Element, Gear, Coordinate Measuring Machine, Screw-Compressor, Screw-Rotor, Profile, Connecting Point, Method of Least Squares, Error

1. 緒 言

ガス圧縮機として広く使用されているスクリー圧縮機⁽¹⁾においてスクリーロータ(以下, ロータという)は最も重要な部品である。そして, そのロータは特殊なホブ盤あるいはねじフライス盤を用いて加工されるが, 加工工具として専用のホブあるいはフライスを必要とする。ところで, それらの工具が摩耗したとき切れ刃すくい面を研ぎ直すが, それによって刃形精度が劣化する。すくい面研ぎ直しを考慮して切れ刃二番面が作られていないためである。しかし, 現実には工具を研ぎ直して使用している。この場合すくい面研ぎ直し量の許容範囲はロータ歯形誤差によって判断されるべきで, そのためにロータの測定が必要になる。また, ロータ歯形誤差は, スクリー圧縮機の内部すきま⁽²⁾や伝達誤差(騒音)⁽³⁾などに影響を与えると考えられているが, スクリー圧縮機性能向上を目指すとき, まず歯形精度との関係を明らかにしておく必要がある。そのためにもロータの測定が必要になるもの

と思われる。

ロータ歯形は1本の曲線ではなく滑らかに接続する複数本の曲(直)線から成立している。本研究では, このような複数本の曲線からなる歯形の測定にもこれまでに提案してきた三次元座標測定機(以下, 三次元測定機という)を用いた測定法⁽⁴⁾が適用可能であることを示す。この測定法では, 三次元測定機の球状測定子とロータ歯面との接触点が複数本の曲線中のどの曲線上にあるかを座標測定値から判断する作業が加わる。本研究は, この条件のもとに複数本の曲線からなるロータ歯面の三次元測定法を示したものである。測定は, 偏心, 歯溝の割り出し誤差, 歯形誤差, リード誤差の各測定の順に行われ, いずれも間接測定される。

2. ロータ歯面の数式表示

本研究では, 著者らの二人が開発したスクリー圧縮機ロータ用歯切り工具(研ぎ直し可能なホブ)⁽⁵⁾を用いて歯切りされたロータを測定する。本測定法ではまず, ロータ歯面の座標測定値群によく一致するように理論(設計)歯面を設定する。そして, その理論歯面から定められるロータ軸心(偏心を考え, ロータ回転軸心と区別する)を求め, それとロータ回転軸心との差からロータの偏心を検出する。次いで, この偏心の

* 原稿受付 1999年4月5日。

^{*1} 正員, 新潟大学大学院 (〒950-2181 新潟市五十嵐二の町8050)。^{*2} 正員, 新潟大学工学部。

E-mail: kawasaki@eng.niigata-u.ac.jp

影響を取除いた形で歯溝の割り出し誤差, 歯形誤差およびリード誤差を検出する。これらの誤差を検出するためには, ロータ歯面の数式表示が必要になる。本研究で測定するロータ軸直角断面上の歯形は図1に示すように7本の曲(直)線から成立している。

ロータ歯面を数式表示するために, まず, ロータ軸直角断面上で雌, 雄ロータにそれぞれ固着した複素平面座標系 $O_f-X_fY_f$, $O_m-X_mY_m$ を図2に示すように設定する。 O_f, O_m はそれぞれ雌, 雄ロータ軸心である。図2で, E はロータ軸間距離, P はロータピッチ点であり, R_f, R_a は雌, 雄ロータそれぞれの歯先円半径, R_d, R_m はそれぞれの歯底円半径である。なお, R_f, R_m は雌, 雄ロータそれぞれのピッチ円半径でもある。雌ロータ歯数を n_f , 雄ロータ歯数を n_m とすると, 歯数比 j は $j=n_f/n_m$ となる。

以下, 7本の曲(直)線からなる雌ロータ歯形をそれぞれ歯形①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦で, また, 雄ロータ歯形を歯形I, II, III, IV, V, VI, VIIで示す。ところで, 既報⁽⁵⁾では歯形①, I, ②および⑤の式を示した。ここでは, それぞれの歯底円と歯先円である歯形④, VII, ⑦, IVを除いた残りの歯形II, ③, III, V, ⑥, VIの式を示すが, それらの誘導例として歯形⑥, VIの式について説明する。

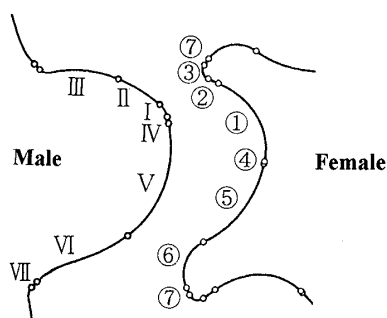


Fig. 1 Profiles of rotor

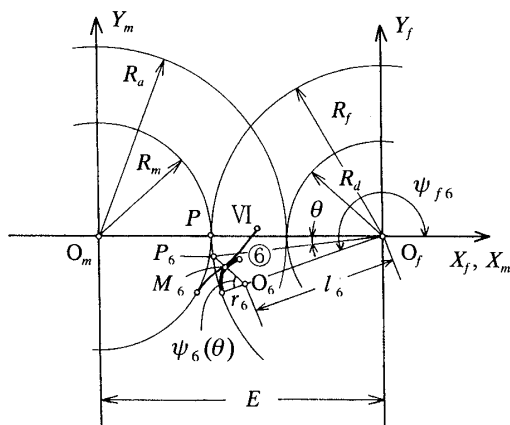


Fig. 2 Plane coordinate systems and profile

歯形⑥は図2に示すように歯形⑤と雌ロータピッチ円の双方に接する半径 r_6 なる円弧である。軸 O_f から円弧の曲率中心 O_6 までの距離を l_6 とする。歯形⑥上の任意の一点 M_6 に立てた法線とピッチ円との交点を P_6 とする。そして, $\angle P_6O_fP$ を θ とし, これを歯形表示パラメータとすれば, i を虚数単位, X_f 軸を実軸, Y_f 軸を虚軸とする複素平面上⁽⁶⁾ で歯形⑥すなわち $S_6(\theta)$ は次式で示される。

$$\left. \begin{aligned} S_6(\theta) &= l_6 e^{i\psi_{f6}} + r_6 e^{i(\psi_{f6} - \psi_6(\theta))} \\ \tan \psi_6(\theta) &= \frac{R_f \sin(\psi_{f6} - \theta - \pi)}{R_f \cos(\psi_{f6} - \theta - \pi) - l_6} \end{aligned} \right\} \dots\dots (1)$$

ここに, ψ_{f6} は $\overline{O_fO_6}$ と X_f 軸とのなす角度で, 既知である。 ψ_{f6} は反時計方向を正とする。以下, 回転角の正負はこれに従う。

雄ロータ歯形VIを求める。歯形のかみあい条件「歯形の接点において立てたそれらの共通法線はピッチ点を通る」⁽⁷⁾より, $O_f-X_fY_f$ 上の点 M_6 がその座標系とともに軸 O_f のまわりを角度 $-\theta$ だけ回転し, 点 P_6 が点 P に到達したとき, 点 M_6 を軸 O_m のまわりに角度 $+j\theta$ だけ回転している座標系 $O_m-X_mY_m$ で表したものが雄ロータ歯形VI上の点 $S_{vi}(\theta)$ になる。

$$S_{vi}(\theta) = \{S_6(\theta)e^{i\theta} + E\}e^{i(j\theta)} \dots\dots\dots (2)$$

同様に, 歯形II, ③, III, Vはそれぞれ次の式で示される。

$$S_{ii}(\theta) = \{S_2(\theta)e^{i\theta} + E\}e^{i(j\theta)} \dots\dots\dots (3)$$

$$\left. \begin{aligned} S_3(\theta) &= l_3 e^{i\psi_{f3}} - r_3 e^{i(\psi_{f3} - \psi_3(\theta))} \\ \tan \psi_3(\theta) &= \frac{R_f \sin(\psi_{f3} + \theta)}{l_3^2 + R_f \cos(\psi_{f3} + \theta)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

$$S_{iii}(\theta) = \{S_3(\theta)e^{i\theta} + E\}e^{i(j\theta)} \dots\dots\dots (5)$$

$$S_v(\theta) = \{S_5(\theta)e^{i\theta} + E\}e^{i(j\theta)} \dots\dots\dots (6)$$

上式中の $S_2(\theta)$, $S_5(\theta)$ はそれぞれ既報⁽⁵⁾の歯形②, ⑤の式として示されている。

以上でロータ軸直角断面歯形がすべて示されたことになる。さて, これらの式からロータ歯面の式を導く。雌, 雄ロータそれぞれに固着した座標系 $O_f-X_fY_fZ_f$ と $O_m-X_mY_mZ_m$ を図3に示すように設定する。座標系 $O_f-X_fY_fZ_f$ は, 図2に示した座標系 $O_f-X_fY_f$ にロータ軸心である Z_f 軸を加えたものである。 $O_f-X_fY_fZ_f$ においてロータ歯面を列ベクトル $X = (X, Y, Z)^T$ で示すと, θ と φ をロータ歯面表示パラメータとして, また, 列ベクトル $S = (S_x, S_y, 0)^T$ を歯形 $S_1 \sim S_7$ の代表するものとして,

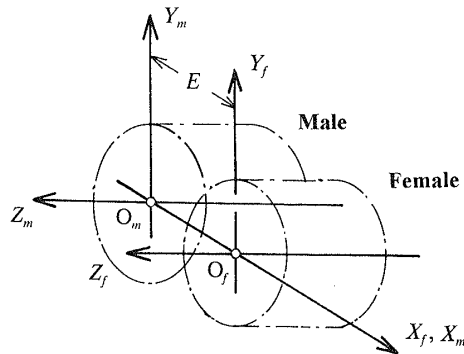


Fig. 3 Coordinate systems of rotors

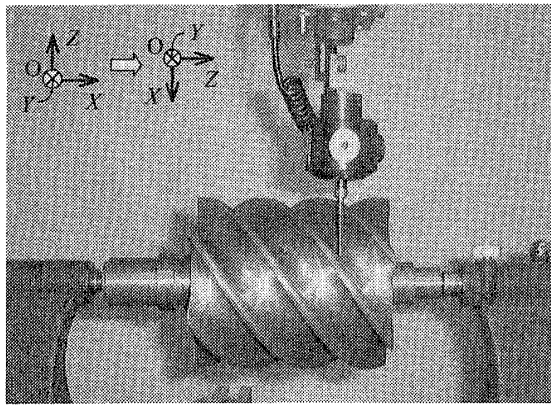


Fig. 4 Measuring state of rotor

$$X(\theta, \varphi) = C(\varphi)S(\theta) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ h \end{bmatrix} \varphi$$

$$h = \frac{L}{2\pi}$$

$$C(\varphi) = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここに、 L はロータねじ面のリードを、 φ は Z_f 軸まわりの回転角を意味する。ロータ歯面の単位面法線列ベクトルを $N=(N_x, N_y, N_z)^T$ とする。

さて、式(7)で示されるロータ歯面 X を三次元測定機の座標系 $O-XYZ$ で表す。そこでまず、三次元測定機にロータをセットする。このとき、ロータ軸と三次元測定機の球状測定子(以下、測定子という)支持棒との干渉を回避するために、図4に示すようにする。すなわち、 $O-XYZ$ を Y 軸に関して時計方向に 90° まわして、ロータ回転軸心およびロータ軸心 Z_f の方向を Z 軸と一致させ、かつその座標値も $Z=Z_f$ とする。このことは簡単に実行できる。しかし、図5に示すように X_f, Y_f 軸はそれぞれを X, Y 軸に一致されることができない。よって、 X 軸と X_f 軸のなす角度を未知とし Φ で表す。また、ロータの偏心を考

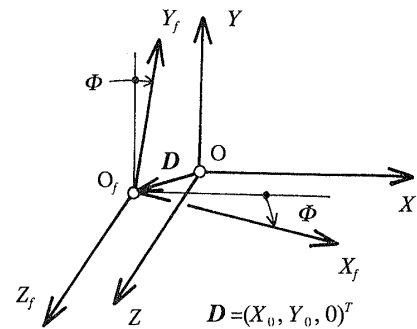
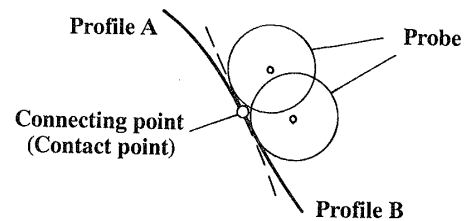
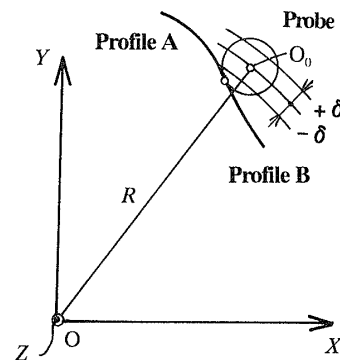


Fig. 5 Relationship between two coordinate systems



(a) Magnifying picture of connecting point



(b) State of contact

Fig. 6 Contact point and connecting points

えると、原点 O_f は X_0, Y_0 を未知数とする列ベクトル $D=(X_0, Y_0, 0)^T$ で示される位置にあることになる。

これより、 $O-XYZ$ におけるロータ歯面 X とその単位面法線列ベクトル N をそれぞれ X', N' とすると、

$$\left. \begin{aligned} X' &= C(\Phi)X + D \\ N' &= C(\Phi)N \\ D &= (X_0, Y_0, 0)^T \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (8)$$

3. 歯形接点の位置

ロータを三次元測定機にセットした後、ロータ歯面を測定する。このとき、1章で述べたように、測定子とロータ歯面との接触点が複数本の歯形中のどの歯形上にあるかを判断する必要がある。特に接触点が歯形の接点の付近にある場合には、その接触点がどちらの歯形に属するか判断することができない [図6(a)]

参照]. そこで, 接線点の両側にわずかな範囲を定め, その範囲内にある座標測定値を除くことにすれば, 接触点がどちらの歯形に属するかが確実になる. そのためには, O - XYZ における歯形の接線点の位置を明確にしておく必要がある. ロータ歯面は円筒ねじ面であるから, 接線点の位置を円筒座標系における半径で表すことができる. そこで, 歯形の接線点が測定子との接触点になったときの測定子中心の乗る円筒半径 R をあらかじめ計算によって求めておく. すなわち, O_f - $X_fY_fZ_f$ における接線点の位置を表す列ベクトルと単位面法線列ベクトルをそれぞれ $\mathbf{X}_c=(X_c, Y_c, Z_c)^T$, $\mathbf{N}_c=(N_{cx}, N_{cy}, N_{cz})^T$ とすれば, その半径 R はロータ歯面の式から次のように求められる.

$$R = \sqrt{(X_c + R_0 N_{cx})^2 + (Y_c + R_0 N_{cy})^2} \dots\dots\dots (9)$$

ここに, R_0 は測定子半径である. 次に, 接線点両側に適当な範囲 δ を設定する. そして, 図 6(b) に示すように測定子中心が式 (9) で計算される半径 $R \pm \delta$ の円筒内にある場合の座標測定値を採用しないことにすればよい. $R + \delta$ を R_{\max} とし, $R - \delta$ を R_{\min} とする.

4. 誤差検出法

4.1 偏心 ロータの偏心はロータ歯面から定められるロータ軸心と, 軸受と嵌合する回転軸心とのずれである. 偏心の測定においては, 歯数の多いはずば歯車のような場合, 各歯面につき一点の座標を測定することによって偏心が検出できるが⁽⁴⁾⁽⁸⁾, スクリーユロータの場合は歯数が 4~6 枚と少なく, 一つの歯面につき一点の座標測定では偏心を精度よく検出することができないと考えられる. そこで本研究では, 一つの歯面についても多数点の座標を測定することにする. また, 偏心がある場合は, ロータを回転させるとロータ軸心も回転軸心のまわりに回転しその位置を変えるから, ロータを回転させることはできない. そこで, ロータは図 4 に示した状態のまま固定しておき, 代わりに測定子支持棒と軸との干渉を回避するために, 測定子の姿勢を 1 回だけ変えることにする. もちろん, そのときには測定子の原点補正をする.

さて, 複数本の曲線で構成されるロータ歯形において, どの歯形についても偏心の影響が同じように現れると考えられる. そこで, 測定がしやすかつ測定範囲の広い歯形⑤を用いて偏心測定を行うことにする(図 7 参照). ただし, 図 7 に示すように歯形⑤の歯底円付近の歯面は $R(\theta, \varphi) \cong$ 一定の円筒に近い面であるために, 測定点の位置を示すパラメータ (θ, φ) のうち θ を座標測定値から推定することが非常に難しく, そ

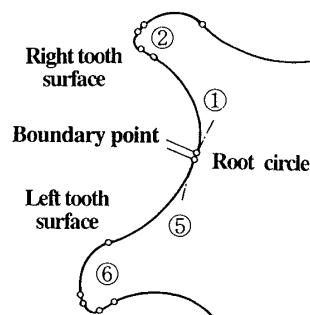


Fig. 7 Space of rotor

の値が不安定になる. そこで, 歯底円の付近を避けて歯形⑤を測定することにする. このとき, 各歯面の歯形⑤につき, 無作為に多数点の座標を測定する. そして, 座標測定値ごとに, 測定点と Z 軸との距離 R を式 (9) より求めるとともに, R が歯形⑤と歯形⑥との接線点で定めた R_{\max} と R_{\min} の範囲内にあるかどうかを判定し, その範囲内にある座標測定値を棄却する. このようにして得た全歯面の測定値群からロータ軸心の位置 (X_0, Y_0) を最小自乗法により求める⁽⁴⁾. 一方, それとは別にロータ回転軸心の位置を検出する. そして, 両者のずれをロータの偏心量とする.

4.2 歯溝の割り出し誤差 ロータの歯溝の割り出し誤差測定も歯形⑤を用いることにする. 4.1 節で得たロータ軸心位置 (X_0, Y_0) と測定値群とをそのまま用いて歯溝の割り出し誤差を検出する. これによりロータ偏心の影響を受けない形で歯溝の割り出し誤差を知ることができるとともに, 測定作業も少なくて済む. さて, 基準とする歯面から数えて l 番めの歯面の測定値(群)を \mathbf{M}_l とすれば, 各測定値と歯面 \mathbf{X}' とは次のような関係がある.

$$\mathbf{M}_l = \mathbf{X}'(\theta, \varphi; \Phi) + R_0 \mathbf{N}'(\theta, \varphi; \Phi) \dots\dots\dots (10)$$

式 (10) より l 番めの歯面の各測定値についての θ, φ, Φ を求めることができる. そうすると, 各角度 Φ の平均値として l 番めの歯面に関する角度 Φ_l を定めることができる.

一方, 理論上の l 番めの歯面に関する角度を Φ'_l とすれば, それは基準とする歯面から Z 軸まわりに角度 $2\pi(l-1)/n_f$ ラジアン回転した角度である. Φ_l を基準とする歯面の角度とすれば, Φ'_l は

$$\Phi'_l = \Phi_l + 2\pi(l-1)/n_f \dots\dots\dots (11)$$

測定値群から求めた Φ_l と理論上の角度 Φ'_l とのずれを $\Delta\Phi_l$ とし, それにロータ平均半径を乗じたものを l 番めの歯面の歯溝の割り出し誤差とする.

4.3 歯形誤差 歯形誤差は実際の歯形と理論(設計)歯形とのずれであるが, それをロータ歯面法線方向のずれで表すことにすれば, 測定値の処理が簡単に

なる。また、それで十分であると考え。図8において、実線は実際の歯形を、破線は式(8)で示される理論歯形を示す。ここで、式(8)中の Φ は本節の測定によって改めて求めるものとする。その理由は、測定歯面に対して最も確からしい角度 Φ を用いるべきであることによる。図8に示すように測定子がロータ歯面上の一点 G で接触しているとき、測定子中心座標 O_0 が測定される。式(8)より定めた理論歯面と O_0 までの距離を H とし、さらに H と測定子半径 R_0 との差を ΔH とすれば、それが点 G における歯形誤差になる。

一般に、ロータ軸直角断面の歯形誤差は各断面でそれぞれ同じであると考えことにしているから、歯形誤差測定では軸直角断面の位置を特別に指定することはない。このことは、測定子と歯面との接触点を Z ＝一定の断面内で拘束する必要のないことを意味するから、逆に測定子のロータ軸(Z 軸)方向移動を拘束し、測定子中心の Z 座標を一定にして測定してもよいことになる。ここでは、測定の容易さからそのようにする。接触点の Z 座標は一定の断面内にはないが、その補正の必要はない。

歯形誤差測定は、7本の歯形全部を順番に測定する。このとき測定点がどの歯形にあるかの判定を半径 R によって行うが、歯溝の一方の側にある歯形①、②、③と反対側にある歯形⑤、⑥とを区別しなければならない。歯形接続点の R がそれぞれ異なっているからである。そこで、歯底円である歯形④を境界として一つの歯溝を形成している歯面を左・右歯面に区別して(図7)左・右歯面の測定値群も区別しておく。

歯形誤差測定では、まず、 m 番めの歯面につき歯形全体に及ぶように多数点の座標を測定する。そうすると、測定値(群) M'_i を得る。このとき、4・1節で述べた理由によって歯形①、⑤の歯底円および歯形③、⑥の歯先円付近の測定値を除く。すなわち、各測定値に

つき半径 R を計算し、それが $(R_d+R_0+\Delta)$ より小さいときおよび $(R_f+R_0-\Delta)$ より大きいときの測定値を除く。ここで、 Δ は歯底円および歯先円付近に定めた範囲を示し、推定する θ の安定性と歯形誤差とを考慮して $\Delta=0.02\text{ mm}$ とした。

さて、このようにして歯底円付近と歯先円付近の測定値を除いた測定値がどの歯形に関するものであるかの判断を歯形接続点の半径 R のみで行うことにし、 $\delta=0$ とする。この測定値(群)を M_i ($i=1, 2, \dots, n$)とし、式(10)より各測定値に関する角度 Φ_i を求め、それらの平均値としてその歯面に関する角度 Φ_m を定める。そして、この Φ_m を用いて式(8)より理論歯面 X' を定める。各測定値 M_i と歯面 X' との関係を示せば

$$\left. \begin{aligned} M_i &= X'(\theta_i, \varphi_i; \Phi_m) \\ &+ H_i N'(\theta_i, \varphi_i; \Phi_m) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (12)$$

$$i=1, 2, \dots, n$$

式(12)より各測定値に対する H_i を求め、それと測定子半径 R_0 との差 ΔH_i を求める。これがその測定点におけるロータ歯形誤差になる。

次に、先に除いた測定値が歯底円および歯先円上のものであると考えことにし、それらの R と設計歯底円半径および設計歯先円半径とを比較する。そして、それらの差を歯形誤差とする。求めた歯形誤差のうちの最大と最小の値の差(絶対値の和)をロータ歯形誤差とする。

4・4 リード誤差 リード誤差測定も歯形⑤を用いることにする。 k 番めの歯面につき測定子の姿勢を変えないでねじ面に沿ってできるだけ広い範囲で多数点の座標を測定すると、測定値(群) M_k を得る。式(7)中のリード L を未知なる定数と考える。そして、各測定値に関する角度を Φ_k とする。各測定値 M_k と歯面 X' との関係は

$$\left. \begin{aligned} M_k &= X'(\theta_k, \varphi_k; \Phi_k, L) \\ &+ R_0 N'(\theta_k, \varphi_k; \Phi_k, L) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (13)$$

$$k=1, 2, \dots, q$$

偏心、歯溝の割り出し誤差を求めたときと同じ考え方で最小自乗法より L を求めることができる。それと設計上のリードとの差 ΔL がリード誤差になる。

5. 測定

測定したロータの基本諸元を表1に示す。偏心、歯溝の割り出し誤差とリード誤差測定では、歯形接続点を狭む範囲 $\pm\delta$ を $\pm 0.2\text{ mm}$ とした。表2、3に雌、雄ロータそれぞれの歯形接続点の位置を示す。測定には半径 $R_0=0.997\text{ mm}$ の測定子を用いた。また、測定は

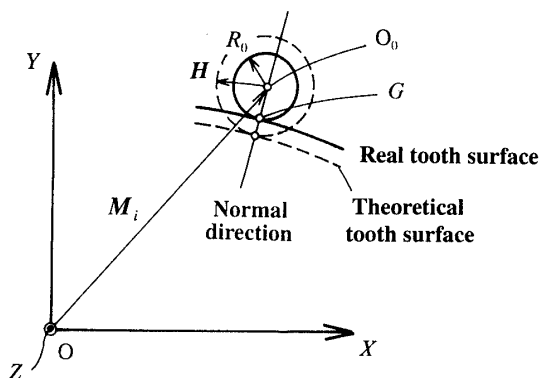


Fig. 8 Show of profile error

その再現性を確かめる目的でロータの姿勢を変えて2回行った。その結果を表4, 5に示す。

5・1 偏心の測定 偏心の測定は測定がしやすかつ測定範囲の広い歯形⑤, Vについて行い, ロータ端面付近の各歯面につき, 測定子の姿勢を1回変えて無作為に15点の座標を測定した。そして, その15点

Table 1 Basic dimensions of rotor (mm)

		Male	Female
Center distance	E	87.5	
Number of teeth	N_m, N_f	4	6
Pitch radius	R_m, R_f	35	52.5
Addendum radius	R_a, R_f	56.9	52.5
Root radius	R_m, R_d	35	30.6
Lead	L_m, L_f	152	228

Table 2 Radius range of female rotor (mm)

Profile	Upper limit R_{max}	Lower limit R_{min}
⑦	—	53.30
③	53.30	50.16
②	49.76	47.60
①	47.20	31.80
④	—	31.60
⑤	31.80	45.22
⑥	45.62	53.30

Table 3 Radius range of male rotor (mm)

Profile	Upper limit R_{max}	Lower limit R_{min}
IV	—	57.73
I	57.73	56.65
II	56.25	49.65
III	49.25	36.20
VII	—	36.00
VI	36.20	48.60
V	49.00	57.73

Table 4 Results of measurement of female rotor (μm)

Number of measurement	1		2	
	Results	Δt	Results	Δt
Eccentricity	3.5	5.1	2.6	5.3
Dividing error of tooth space	9.5		11.4	
Profile error (max.)	38.7	—	46.8	—
Lead error	-36.8	6.4	-43.6	8.7

Table 5 Results of measurement of male rotor (μm)

Number of measurement	1		2	
	Results	Δt	Results	Δt
Eccentricity	7.3	7.8	10.5	9.0
Dividing error of tooth space	10.6		11.5	
Profile error (max.)	41.5	—	49.2	—
Lead error	-39.7	8.5	-48.3	9.9

が歯形⑤, V上のものであるかどうかを確認し, 偏心を検出した。偏心は雌ロータで2.6~3.5 μm , 雄ロータで7.3~10.5 μm という結果を得た。そのときの測定値群の標準偏差(適合精度)⁽⁹⁾ Δt はそれぞれ5.1~5.3 μm と7.8~9.0 μm であった。

5・2 歯溝の割り出し誤差の測定 偏心の測定で得たロータ軸心位置 D を用いて式(8)より理論歯面 X' を定めた。これにより, 偏心の影響が除かれる。また, 5・1節で得た測定値群を用いて歯溝の割り出し誤差を検出した。歯溝の割り出し誤差は雌ロータでは9.5~11.4 μm , 雄ロータでは10.6~11.5 μm であった。ホブ切りロータにしては, 歯溝の割り出し誤差が大きい。

5・3 歯形誤差の測定 任意に選んだ歯面について無作為に左・右歯面全体にそれぞれ20点の座標を測定し, その歯面に関する角度 Φ_m を定めた。この Φ_m を用いて式(12)より, 未知数 H_i, θ_i, φ_i を計算し, 各測定点における ΔH_i を求めた。そして, それと歯底円および歯先円付近の歯形誤差とあわせて, それらの最大と最小の値の差(絶対値の和)をロータの歯形誤差として検出した。測定結果の一例を図9に示す。

5・4 リード誤差の測定 任意に選んだ歯面について無作為にねじ面に沿って10点の座標を測定し, ロータのリード誤差を検出した。リード誤差は雌ロータで-36.8~-43.6 μm , 雄ロータで-39.7~-48.3 μm という結果を得た。

はすば歯車研削歯面の三次元測定⁽⁴⁾⁽⁸⁾での Δt は2 μm 以下であったのに対し, ホブ切りしたままの歯面を測定した本研究の場合の Δt は約9 μm で大きくなった。その原因としては, ロータ歯面粗さのみではなく, ロータ歯切り工具の誤差が大きく影響しているものと考えられる。

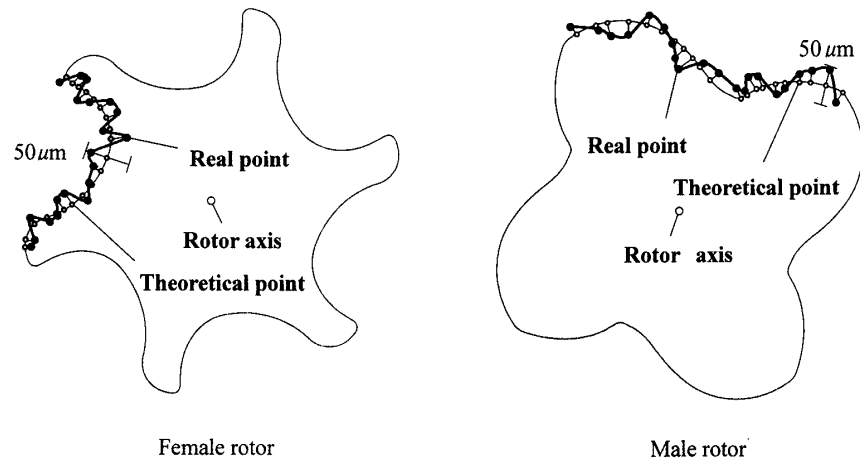


Fig. 9 Profile error

6. 結 言

三次元座標測定機によるスクリー圧縮機ロータの測定法を示した。

複数本の歯形曲(直)線から成立しているスクリーロータ歯面でも三次元測定は可能である。測定では、測定点が複数本の曲線のどの曲線にあるかの判定が必要であるが、本報ではその判定法も示した。また、それに基づいて実際にスクリーロータを測定し、偏心、歯溝の割り出し誤差、歯形誤差とリード誤差を検出し、本法の妥当性を確認した。

文 献

- (1) 石井雅治, 機誌(機械工学年鑑), **99**-933(1996), 645-647.
- (2) 藤原満・ほか3名, 機論, **58**-553, B(1992), 2765-2771.
- (3) 藤原満・ほか3名, 機論, **57**-543, C(1991), 3662-3668.
- (4) 田村久司・ほか2名, 機論, **63**-606, C(1997), 572-578.
- (5) 手塚育利・ほか3名, 日本機械学会 IMPT-100 講演論文集, No. 97-14(1997-7), 397-402.
- (6) 酒井高男, 機構学大要, (1973), 16-17, 養賢堂.
- (7) 日本機械学会機械要素部門委員会編, 機構学, (1955), 240.
- (8) 劉宗先・ほか3名, 機論, **65**-629, C(1999), 389-394.
- (9) 田村久司・ほか2名, 機論, **60**-575, C(1994), 2450-2455.