

進み角の大きい3形ウォームのピッチ円直径の 測定に用いる最適ローラ径について

両角宗晴*
(昭和55年5月30日受理)

On the Best Roll Diameters Used for Measurement of the Pitch Diameters of the Type-3 Milled Worm Screw Thread with a Large Lead Angle

Muneharu MOROZUMI

The type-3 milled worm screw thread is produced by a cone-shaped milling cutter or grinding wheel with the wheel axis inclined relative to the worm axis by the lead angle on the pitch cylinder. The present paper deals with the best roll diameters used for measurement of the pitch diameters of type-3 milled worm screw thread, which has one- or multi-start threads and large lead angles, in measuring screw threads by the over-roll-measurement. To minimize the errors caused by the deviations of the flank angle from the nominal value, the diameters of the best roll which is to touch the spiral with the diameter of the nominal pitch cylinder of the worm on the screw surface are calculated. The smallest roll diameters to provide the measurements over rolls equal to the outside diameter of the external thread are calculated. The obtained results are tabulated.

1 緒 言

精密ねじの有効径測定には三針法が多く用いられるが、この場合有効径の測定値がねじ山半角誤差の影響を受けないためには、針がねじの基準有効径の所で接触するような針径の針を用いなければならない。この針径を最適針径と呼ぶ。JISB 1723-1977「円筒ウォームの寸法」の規格で規定されている1形ウォーム、2形ウォーム、3形ウォームおよび4形ウォームでは、進み角が25°前後の大きいものもあり、このような進み角の大きいねじの場合は、厳密理論により計算される最適針径またはそれに近い針径の針を用いなければならない。またねじみぞに挿入された針の頂がねじ山頂すれすれになるような針径を最小針径と呼ぶが、三針測定に使用する針径は、当然最小針径より太いものを用いなければならない。ときには最適針径が最小針径より細い場合も生ずるので注意しなければならない。

* 精密工学教室 教授

筆者はすでに1形ウォームと4形ウォームの最適針径と最小針径¹⁾および2形ウォームの最適針径と最小針径²⁾を求めている。本論文においては3形ウォームの最適針径と最小針径を計算するための理論式を導き、これら諸式を用いて3形ウォームの針径表を作成した。

2 3形ウォームの最適針径 (2c₀)

3形ウォームは図1に示すごとく、紡錘形のフライスまたは砥石の回転軸を、ウォーム軸に対してウォームの進み角 β_c だけ傾けてウォームの左右両ねじ面を同時に加工したねじであり、JIS規格ではフライスの工具圧力角(工具の軸断面上の両側円錐母線間の角の半分)を、 $\alpha_c=20^\circ$ と定め、ピッチ P 、条数 n 、リード $l(=nP)$ 、歯末のたけはウォームの軸方向モジュール $m_a(=P/\pi)$ に等しく、歯元のたけは $1.2m_a$ と定めている。そして軸断面上で、基準有効半径(基準ピッチ円半径) r_c におけるねじ山の幅を $P/2$ としている。図2に示すごとく、ウォーム軸を z 軸とし、 x 軸が歯みぞの中央を通るような $o-xyz$ 座標軸を考え、含軸断面(xz 平面)で

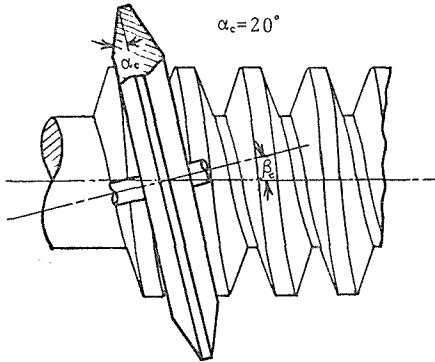


Fig. 1 Thread cutting of the type-3 milled worm thread

ねじ面を切斷したとき、この軸断面山形上でのピッチ円半径 r_c なる点を A および B とすれば、この A 点、 B 点を通る基準ピッチ円筒面上のリード l なる右ねじれのつる巻線はそれぞれ次式で表すことができる。

$$\left. \begin{aligned} x &= r_c \cos \varphi, \\ y &= r_c \sin \varphi, \\ z &= \mp \frac{P}{4} + \frac{l}{2\pi} \varphi. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

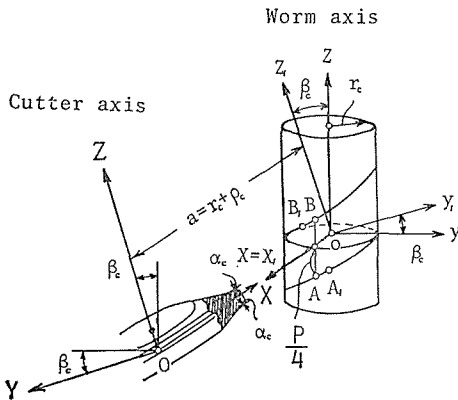


Fig. 2 Type-3 milled worm and coordinate systems

ただし複号は点 A, B を通るつる巻線の順とする。 φ は偏角である。いま基準ピッチ円直径 $d_c(=2r_c)$ に対する進み角を β_c とするとき、 x 軸を軸として xyz 座標軸を β_c だけ回転させたものを $x_1 y_1 z_1$ 座標軸とし、 x_1 軸上において $x_1 = a$ なる点 O を通り、 z_1 軸に平行な軸を工具軸とし、これを Z 軸とする $O-XYZ$ 座標軸を考え、式(1)のつる巻線を XYZ 座標系で表すと

$$\left. \begin{aligned} X &= a - r_c \cos \varphi, \\ Y &= -r_c \sin \varphi \cos \beta_c - \left(\mp \frac{P}{4} + \frac{l}{2\pi} \varphi \right) \sin \beta_c, \\ Z &= -r_c \sin \varphi \sin \beta_c + \left(\mp \frac{P}{4} + \frac{l}{2\pi} \varphi \right) \cos \beta_c. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ただしウォームの条数を n , 工具のピッチ円筒半径を ρ_c , 外半径を ρ_a , ウォームの歯底円半径を r_b とすると, $\tan \beta_c = \frac{l}{\pi d_c} = \frac{nm_a}{d_c}$, $a = r_c + \rho_c (= r_b + \rho_a)$ きて工具軸 Z からこのつる巻線上の点までの距離を ρ とすると

$$\begin{aligned} \rho &= \sqrt{X^2 + Y^2} \\ &= (a^2 - 2ar_c \cos \varphi + r_c^2 \cos^2 \varphi + r_c^2 \cos^2 \beta_c \sin^2 \varphi \\ &\quad \mp \frac{1}{2} r_c P \cos \beta_c \sin \beta_c \sin \varphi + \frac{1}{\pi} r_c l \varphi \cos \beta_c \sin \beta_c \sin \varphi \\ &\quad + \frac{P^2}{16} \sin^2 \beta_c \mp \frac{1}{4\pi} P l \varphi \sin^2 \beta_c + \frac{1}{4\pi^2} l^2 \varphi^2 \sin^2 \beta_c)^{\frac{1}{2}}. \end{aligned}$$

ρ が最小になるようなつる巻線上の点を A_1 および B_1 とし, この A_1, B_1 に対する φ を φ_{oc} とすれば, $d\rho/d\varphi = 0$ より次式を得る.

$$\sin \varphi_{oc} = \left(\mp \frac{P}{4r_c} - \varphi_{oc} \tan \beta_c \right) \tan \beta_c \frac{\frac{l}{2\pi} + r_c \cot \beta_c \cos \varphi_{oc}}{\frac{l}{2\pi} - r_c \tan \beta_c \cos \varphi_{oc} + \frac{a}{\sin \beta_c \cos \beta_c}}. \quad (3)$$

ただし, 複号は点 A_1, B_1 の順とする. そして A_1 点と B_1 点の座標は次式で表される.

$$\left. \begin{aligned} X_{A_1(B_1)} &= a - r_c \cos \varphi_{oc}, \\ Y_{A_1(B_1)} &= -r_c \sin \varphi_{oc} \cos \beta_c - \left(\mp \frac{P}{4} + \frac{l}{2\pi} \varphi_{oc} \right) \sin \beta_c, \\ Z_{A_1(B_1)} &= -r_c \sin \varphi_{oc} \sin \beta_c + \left(\mp \frac{P}{4} + \frac{l}{2\pi} \varphi_{oc} \right) \cos \beta_c. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

この場合 $Z_{A_1} = -Z_{B_1}$ となるから, $Z_{A_1} = Z_o$ とおくと

$$Z_o = Z_{A_1} (= -Z_{B_1}) = -r_c \sin \varphi_{oc} \sin \beta_c + \left(-\frac{P}{4} + \frac{l}{2\pi} \varphi_{oc} \right) \cos \beta_c. \quad (5)$$

ただし φ_{oc} は式(3)の複号の上を用いる.

そして $\rho_{A_1} = \sqrt{X_{A_1}^2 + Y_{A_1}^2}$, $\rho_{B_1} = \sqrt{X_{B_1}^2 + Y_{B_1}^2}$ で $\rho_{A_1} = \rho_{B_1}$ であるから, これを ρ_o とおくと

$$\rho_o = \rho_{A_1} (= \rho_{B_1}) = \sqrt{X_{A_1}^2 + Y_{A_1}^2}. \quad (6)$$

つまりピッチ円筒面上の A 点を通るつる巻線に対し、工具円錐面上の半径 ρ_{A_1} なる円が A_1 点で接し、工具円錐面上の半径 ρ_{B_1} なる円が B 点を通るつる巻線と B_1 点で接してそれぞれのつる巻線を削り出すのである。それには工具の円錐面を作る直線母線がこの A_1 点および B_1 点を通るればよいから、このような工具円錐面は次式で表される。

$$\left. \begin{aligned} X &= \rho \cos \theta, \\ Y &= \rho \sin \theta, \\ Z &= \pm \{Z_0 + (\rho - \rho_0) \tan \alpha_c\}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

ただし ρ は工具の任意半径、 θ は工具軸まわりの X 軸からの偏角とする。複号は点 A_1 側および B_1 側の順とする。この円錐面をウォーム軸 z のまわりに右ねじ運動させると、次式のごとき曲面群を得る。

$$\left. \begin{aligned} x &= (a - \rho \cos \theta) \cos \lambda + [\rho \sin \theta \cos \beta_c \pm \{Z_0 + (\rho - \rho_0) \tan \alpha_c\} \sin \beta_c] \sin \lambda, \\ y &= (a - \rho \cos \theta) \sin \lambda - [\rho \sin \theta \cos \beta_c \pm \{Z_0 + (\rho - \rho_0) \tan \alpha_c\} \sin \beta_c] \cos \lambda, \\ z &= -\rho \sin \theta \sin \beta_c \pm \{Z_0 + (\rho - \rho_0) \tan \alpha_c\} \cos \beta_c + \frac{l}{2\pi} \lambda. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

ただし λ はウォーム軸まわりの x 軸からの偏角とする。この曲面群を xz 平面により切断する場合、式(8)において $y=0$ より次式を得る。

$$\tan \lambda = \frac{\rho \sin \theta \cos \beta_c \pm \{Z_0 + (\rho - \rho_0) \tan \alpha_c\} \sin \beta_c}{a - \rho \cos \theta}. \quad (9)$$

式(8)の x と z の式に式(9)を代入して λ を消去すると

$$\left. \begin{aligned} x &= (a - \rho \cos \theta) \sqrt{1 + \left[\frac{\rho \sin \theta \cos \beta_c \pm \{Z_0 + (\rho - \rho_0) \tan \alpha_c\} \sin \beta_c}{a - \rho \cos \theta} \right]^2}, \\ z &= -\rho \sin \theta \sin \beta_c \pm \{Z_0 + (\rho - \rho_0) \tan \alpha_c\} \cos \beta_c \\ &\quad + \frac{l}{2\pi} \tan^{-1} \frac{\rho \sin \theta \cos \beta_c \pm \{Z_0 + (\rho - \rho_0) \tan \alpha_c\} \sin \beta_c}{a - \rho \cos \theta}. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

これは ρ と θ をパラメータとする曲線群であり、この包絡線を求めれば、3形ウォームの軸断面山形が得られる。それには次のヤコビアンを式(10)について計算し、 ρ と θ の関係を求め、式(10)において ρ か θ のいずれか一つを消去すればよい。すなわち

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial x}{\partial \rho} & \frac{\partial z}{\partial \rho} \\ \frac{\partial x}{\partial \theta} & \frac{\partial z}{\partial \theta} \end{vmatrix} = 0$$

より

$$\begin{aligned} \rho = & \{a - r_c \mp (r_c \tan \beta_c + a \cot \beta_c) \tan \alpha_c \sin \theta\} \cos^2 \alpha_c \sec \theta \\ & - Z_o \sin \alpha_c \cos \alpha_c + \rho_o \sin^2 \alpha_c. \end{aligned} \quad (11)$$

式(10)の ρ に式(11)を代入して、 θ をパラメータとして3形ウォームの軸断面山形を得るが、 $x=r$ に対応する z を求めるためには、計算の途中に試行法が入って計算が面倒になるから、軸断面山形を式(10)と(11)で表す代りに

$$r^2 = (a - \rho \cos \theta)^2 + \left[\rho \sin \theta \cos \beta_c \pm \{Z_o + (\rho - \rho_o) \tan \alpha_c\} \sin \beta_c \right]^2, \quad (12)$$

とにおいて次式で表す。

$$\left. \begin{aligned} x &= r, \\ z &= -\rho \sin \theta \sin \beta_c \pm \{Z_o + (\rho - \rho_o) \tan \alpha_c\} \cos \beta_c + \frac{l}{2\pi} \lambda. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

ただし $\tan \lambda =$ 式(9), $\rho =$ 式(11), 複号は A_1 側, B_1 側の順とする. そして式(12)から次式を得る.

$$\rho = \frac{a \cos \theta + AB \sin \beta_c - \sqrt{r^2(\cos^2 \theta + B^2) - (A \sin \beta_c \cos \theta - aB)^2}}{\cos^2 \theta + B^2}, \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \text{ただし } A &= -Z_o + \rho_o \tan \alpha_c, \\ B &= \tan \alpha_c \sin \beta_c \pm \sin \theta \cos \beta_c. \end{aligned}$$

また式(11)を変形して

$$\sin \theta = \pm \frac{(a - r_c)C - D\sqrt{D^2 + C^2 - (a - r_c)^2}}{C^2 + D^2}. \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \text{ただし } C &= (r_c \tan \beta_c + a \cot \beta_c) \tan \alpha_c, \\ D &= \rho \sec^2 \alpha_c - (-Z_o + \rho_o \tan \alpha_c) \tan \alpha_c. \end{aligned}$$

式(14)と(15)の連立反復法によって $x=r$ に対する ρ と θ を求め、この ρ と θ を式(9)に代入して λ を求め、これら ρ , θ , λ を式(13)の z の式に代入して3形ウォームの軸断面山形を表すことができるから、試行法を用いる必要がなくなり、ポケット形電卓で計算することができる. さて式(11)と(12)より $\theta = \theta(r)$, したがって式(11)より $\rho = \rho(r)$, 式(9)と(11)より $\lambda = \lambda(\theta)$, したがって $\lambda = \lambda(r)$ となり、このことより式(13)の z は $z = z(r)$ となる. そこで式(13)で表される3形ウォームの軸断面山形上で、ウォーム軸から r の距離にある点において山形輪郭に接線を引き、その接線が x 軸となす角を α とすれば、式(13)より次式を得る.

$$\mp \tan \alpha = \frac{dz}{dx} = \frac{dz}{dr} = \left(\frac{\partial z}{\partial \rho} \frac{d\rho}{d\theta} + \frac{\partial z}{\partial \lambda} \frac{d\lambda}{d\theta} + \frac{\partial z}{\partial \theta} \right) \frac{d\theta}{dr}, \quad (16)$$

ただし複号は A_1 側, B_1 側の順とする.

いま式(9)を $F(\lambda, \rho, \theta) = 0$, 式(12)を $G(r, \rho, \theta) = 0$ とおけば, 式(11)から $\rho = \rho(\theta)$ であるから次式を得る.

$$\frac{d\lambda}{d\theta} = -\frac{\frac{\partial F}{\partial \theta} + \frac{\partial F}{\partial \rho} \frac{d\rho}{d\theta}}{\frac{\partial F}{\partial \lambda}}, \quad \frac{d\theta}{dr} = -\frac{\frac{\partial G}{\partial r}}{\frac{\partial G}{\partial \rho} \frac{d\rho}{d\theta} + \frac{\partial G}{\partial \theta}}.$$

これらの式を用いて次式を得る.

$$\begin{aligned} \tan \alpha = \mp r & \left[(\sin \theta \sin \beta_c \mp \tan \alpha_c \cos \beta_c) \{ (a - r_c) \cos \alpha_c \sin \theta \mp \right. \\ & (r_c \tan \beta_c + a \cot \beta_c) \sin \alpha_c \} \cos \alpha_c + \rho \cos^3 \theta \sin \beta_c \\ & + \left. \left(\frac{r_c \tan \beta_c \cos^2 \lambda}{a - \rho \cos \theta} \right) [\rho \tan \lambda \sin \theta \cos^2 \theta - \rho \cos \beta_c \cos^3 \theta - \right. \\ & (\tan \lambda \cos \theta + \sin \theta \cos \beta_c \pm \tan \alpha_c \sin \beta_c) \\ & \times \{ (a - r_c) \cos \alpha_c \sin \theta \mp (r_c \tan \beta_c + a \cot \beta_c) \sin \alpha_c \} \cos \alpha_c \left. \right] \\ & \times [\{ a \cos \theta - \rho \cos^2 \theta - \rho \sin^2 \theta \cos^2 \beta_c \mp \\ & (Z_0 + 2\rho \tan \alpha_c - \rho_0 \tan \alpha_c) \sin \theta \sin \beta_c \cos \beta_c - Z_0 \tan \alpha_c \sin^2 \beta_c \\ & - (\rho - \rho_0) \tan^2 \alpha_c \sin^2 \beta_c \} \times \{ (a - r_c) \cos \alpha_c \sin \theta \mp \\ & (r_c \tan \beta_c + a \cot \beta_c) \sin \alpha_c \} \cos \alpha_c - a\rho \sin \theta \cos^2 \theta \\ & + \rho^2 \sin \theta \cos^3 \theta \sin^2 \beta_c \mp \{ Z_0 + (\rho - \rho_0) \tan \alpha_c \} \rho \cos^3 \theta \sin \beta_c \cos \beta_c]^{-1}. \quad (17) \end{aligned}$$

以上のことから, 軸断面山形における $r = r_c$ なる点の圧力角 α_{mc} を求めるためには次の計算順序によればよい.

φ_{oc}	Z_0	ρ_0	ρ	θ	λ	α_{mc}	
式(3)	→ (5)	→ (4), (6)	→ (14)	→ (15)	→ (9)	→ (17)	
(反復計算)			$r = r_c$ とする はじめ $\theta = 0$ とする ↑ (反復)			$r = r_c$ とする	…(A)

さて図3に示すごとく, 半径 c なるピンをウォームの歯みぞに挿入した場合, ウォーム軸とピン軸との最短距離が x 軸になるように定める. xyz 座標軸の原点 O を, ピン軸と x 軸との交点を o' とすれば, ウォーム軸とピン軸との最短距離は $\overline{oo'} (= h)$ であり, ピンはウォームのねじ面と Q, Q' 点で点接触し, Q 点におけるねじ面への法線と, Q' 点におけるねじ面への法線は, いずれもピン軸上の一点 o' を通り, 三角形 $Qo'Q'$ はピン軸に垂直な平面となる. そしてピン軸は, 点 o' を通る半径 h でリード l なるつる巻線に対して o' 点で接し, y 軸に対して γ なる角をなす. 図3に示すごとく, xyz 座標軸に対する

Q点の位置は、半径 r_Q 、偏角 θ_Q および z 座標 z_Q で表される。いまQ点とウォーム軸を含む平面によるねじ面の軸断面山形において、Q点における軸断面圧力角を α_Q とすれば、 z_Q は次式から計算される³⁾。

$$z_Q = -\frac{c}{\sqrt{\sec^2 \alpha_Q + \left(\frac{l}{2\pi r_Q}\right)^2}}, \quad (18)$$

または

$$c = -z_Q \sqrt{\sec^2 \alpha_Q + \left(\frac{l}{2\pi r_Q}\right)^2}. \quad (18')$$

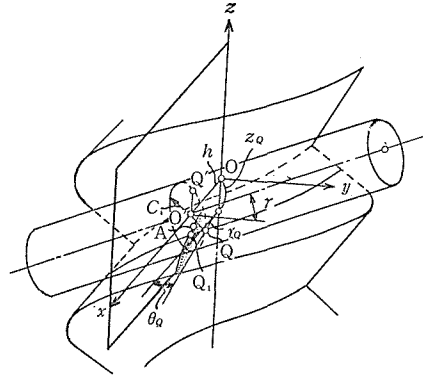


Fig. 3 Contact of a measuring roll with worm thread flanks

ただし α_Q は式(17)において複号の上を用いて計算する。 θ_Q は次式から求められる⁴⁾。

$$\tan \theta_Q = \frac{\frac{l}{2\pi r_Q}}{\tan \alpha_Q - \frac{r_Q}{z_Q}}. \quad (19)$$

またQ点を含み xz 平面に平行な平面でねじ面を切断したときのウォームの断面曲線のQ点における圧力角を α_P とすれば、 α_P は次式から計算される⁵⁾。

$$\tan \alpha_P = \tan \alpha_Q \cos \theta_Q + \frac{l}{2\pi r_Q} \sin \theta_Q. \quad (20)$$

接点QとQ'を通り、ピン軸に直角な平面で針とねじ面を切断すると、ピンの断面は半径 c なる円となり、このねじ面の断面曲線のQ点における圧力角 α_{P_n} は次式から求められる。

$$\tan \alpha_{P_n} = \tan \alpha_P \cos \gamma. \quad (21)$$

しかるときは

$$h = r_Q \cos \theta_Q + c \sin \alpha_{P_n}.$$

しかるに $z_Q = -c \cos \alpha_{P_n} \cos \gamma$ が成立するから

$$\begin{aligned} c \sin \alpha_{P_n} &= -z_Q \tan \alpha_{P_n} \sec \gamma = -z_Q \tan \alpha_P \\ &= -z_Q \left(\tan \alpha_Q \cos \theta_Q + \frac{l}{2\pi r_Q} \sin \theta_Q \right). \end{aligned}$$

ゆえに

$$h = \left\{ r_Q - z_Q \left(\tan \alpha_Q + \frac{l}{2\pi r_Q} \tan \theta_Q \right) \right\} \cos \theta_Q. \quad (22)$$

いま接触点 Q を通るねじ面上のつる巻線が xz 平面と交わる点を Q_1 とすると, Q_1 点はねじ面の xz 平面による軸断面山形上の点であり, その z 座標 z_{Q_1} は $z_{Q_1} = z_Q - \frac{l}{2\pi}\theta_Q$ である. しかるにこの軸断面山形上の基準ピッチ円半径 r_c なる点を A としたから, $z_A = -\frac{P}{4}$ であり, 軸断面山形上の Q_1 点と A 点との z 座標の差は

$$z_A - z_{Q_1} = -\frac{P}{4} - z_Q + \frac{l}{2\pi}\theta_Q$$

となる. したがって次式を得る.

$$r_Q = r_c + \left(-\frac{P}{4} - z_Q + \frac{l}{2\pi}\theta_Q\right) \cot \frac{\alpha_{mc} + \alpha_Q}{2}. \quad (23)$$

最適針径 $2c_0$ を求めるためには, 式(23)で $r_Q = r_c$ として次式を得る.

$$z_{Q_c} = -\frac{P}{4} + \frac{l}{2\pi}\theta_{Q_c}. \quad (24)$$

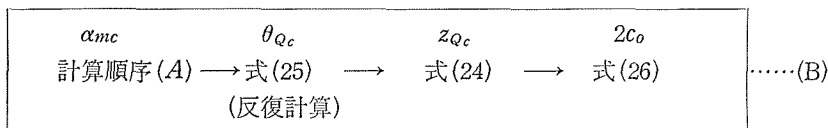
この z_{Q_c} を式(19)に代入し, かつ $r_Q = r_c$, $\alpha_Q = \alpha_{mc}$ とすると

$$\tan \theta_{Q_c} = \frac{\frac{l}{2\pi r_c}}{\tan \alpha_{mc} + \frac{r_c}{\frac{P}{4} - \frac{l}{2\pi}\theta_{Q_c}}}. \quad (25)$$

ただし α_{mc} は計算順序(A)によって求める. 式(25)では右辺分母にも θ_{Q_c} を含んでいるので, はじめ右辺分母の $\theta_{Q_c} = 0$ として式(25)から θ_{Q_c} を求め, この θ_{Q_c} を再び式(25)の右辺の θ_{Q_c} に代入するということを繰り返す, θ_{Q_c} の近似度を高め, θ_{Q_c} の値が安定するまで反復計算を行なって正しい θ_{Q_c} を求める. この θ_{Q_c} を式(24)に代入して z_{Q_c} を求め, この z_{Q_c} を式(18')の z_Q に代入し, かつ $\alpha_Q = \alpha_{mc}$, $r_Q = r_c$ とした次式から最適針径 $2c_0$ を求めることができる. すなわち

$$2c_0 = -2z_{Q_c} \sqrt{\sec^2 \alpha_{mc} + \left(\frac{l}{2\pi r_c}\right)^2}. \quad (26)$$

すなわち最適針径を求める計算順序は次のようになる.



3 3形ウォームの最小針径 ($2c_{\min}$)

ウォームの歯みぞに針またはピンを挿入したときのオーバピン寸法がウォームの外径に等しくなるような針径を最小針径 $2c_{\min}$ と呼べば、三針法に用いる針の直径は $2c_{\min}$ よりも太いものを用いなければならない。3形ウォームの歯末のたけがウォームの軸方向モジュール m_a に等しいことから、最小針径のピンを使用すると次式が成立する。

$h = r_c + m_a - c$. そして式(18')を用いると

$$h = r_c + m_a + z_Q \sqrt{\sec^2 \alpha_Q + \left(\frac{l}{2\pi r_Q}\right)^2}$$

となり、この h を式(22)の h に代入すると

$$\begin{aligned} & r_c + m_a + z_Q \sqrt{\sec^2 \alpha_Q + \left(\frac{l}{2\pi r_Q}\right)^2} \\ &= \left\{ r_Q - z_Q \left(\tan \alpha_Q + \frac{l}{2\pi r_Q} \tan \theta_Q \right) \right\} \cos \theta_Q. \end{aligned}$$

この式に式(19)を用いて θ_Q を消去すれば $F(r_Q, z_Q) = 0$ が得られる。ただし式中の α_Q は式(3), (4), (5), (6), (9), (14), (15), (17)により r_Q の関数である。つぎに式(23)の θ_Q に式(19)を代入して θ_Q を消去して $G(r_Q, z_Q) = 0$ が得られる。式中の α_Q は r_Q の関数である。この $F(r_Q, z_Q) = 0$ と $G(r_Q, z_Q) = 0$ の両式を連立して満足する r_Q と z_Q を試行法により求め、この r_Q と z_Q を式(18')に代入する。なお計算順序(A)で α_{mc} を求めるときは、式(14)の ρ と式(17)の α_{mc} を求める際に $r = r_c$ としていたが、これを $r = r_Q$ とおくことにより α_{mc} の代りに α_Q が求められ、この α_Q を式(18')の α_Q に用いることにより、最小針径 $2c_{\min}$ を求めることができる。

4 数 値 例

JISB1723-1977 で規定されている3形ウォームの最適針径と最小針径の計算結果をそれぞれ表1と表2に示す。この場合 $K = \rho_c / r_c$ とし、 $a = r_c + \rho_c (= r_b + \rho_a)$ 。したがって $\rho_c = \rho_a - (r_c - r_b) = \rho_a - 1.2m_a$ である。

5 結 言

3形ウォームのように進み角の大きいウォームの三針法による有効径測定に使用する最適針径を計算するための理論式を導き、さらに三針の頂がねじ山頂すれすれになる最小針径の計算式を導き、これら諸式を用いて、3形ウォームの針径表を作成した。終りに数値計算に助力された市川和正、石井康、八重島公郎の諸氏に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 両角宗晴, 八重島公郎: 進み角の大きい三角ねじおよびインボリュートねじの有効径測定に用いる最適針径について, 信州大学工学部紀要, 42号(昭52-7), p. 1.
- 2) 両角宗晴: 進み角の大きい2形ウォームの有効径測定に用いる最適針径について, 信州大学工学部紀要, 45号(昭53-12), p. 89.
- 3) W. H. Harrison: Analysis of Screw Thread Measurement, Machinist, 96 April 19, (1952) p. 602.
- 4) 文献3)に同じ
- 5) 文献3)に同じ