ね じ 面 形 状 の 測 定*

中 島 克 洋** 坂 本 正 史** 中 村 平**

Measurement of Screw Thread Profile

Katuhiko NAKASHIMA, Masafumi SAKAMOTO, Taira NAKAMURA

The screw thread profile in addition to pitch and lead should be measured in order to know the screw thread contact condition which has an important role at driving performance of lead-screw. This paper describes two measuring methods of screw thread profile excepting the cross section profile included the center line. At first the cross section profile which is parallel to center line is measured. By this method the wider area accuracy of screw thread profile can be known in comparison with the measuring method of cross section profile included center line. Next the cross section profile perpendicular to center line is measured. In this method about half area profile of screw thread of the former method is known. But in the later method, the screw thread displacement of center line direction is performed accurately, because it is done with revolution of screw. And the error which happens followed the origin setting of feeler becomes small also. So more accurate measurement can be done easily by later method. The reproducible results are gained under actual measurement by these two methods.

1. 緒 言

送りねじの精度のうち、ピッチやリード誤差は送り精度に直接関係があるためその測定に関する研究も多く、また種々の測定機が市販されている。送りねじは送りを正しく保つ以外に、軽く、滑らかに動く、すなわち駆動性能の良さも要求される。だが送りねじの駆動性能は悪いものと考えられており¹⁾、実際にもナットの摩耗を始め様々な問題が生じている。著者らは送りねじの駆動性能をいろいろな角度から調べてきたが、その中で特にフランク角誤差によるねじ面接触状態の悪化がねじの摩擦を大きくすることを明らかにした²⁾。送りねじの駆動性能向上を考えるとこのフランク形状あるいはねじ面形状は重要で是非測定したい。

フランク角測定器としては API 規格ねじゲージを対象にしたねじ山形測定器がすでに開発されている³⁾。しかし送りねじとして用いられる台形ねじのフランク形状は測定されても普通は万能測定顕微鏡、工具顕微鏡、投影機などによる光学的な測定を行うのが実状である。光学的な測定ではリード角が大きいねじの軸断面形状を正しく測定するのが困難で、精度よく測定できない。

ねじ山形状は軸断面で規定されており、以上述べたフ

ランク角の測定も軸断面で行われる。しかし例えばねじ筋に沿って多角形誤差を持ったねじ面の接触状態を検討するためには軸断面のフランク形状測定だけでは不十分である。1回の測定でできるだけ広いねじ面形状がわかる測定法があれば便利である。

そこで本研究では軸断面以外でねじ面形状を正しく測定する二つの方法を考えた。その際、軸断面に沿った測定に比べ複雑にならぬよう注意した。

2. ねじ軸平行断面形状

2.1 測定原理

図1のようにねじ上に x, y, z 軸をとる。今ねじ軸に平行な平面でねじ面を切断する。このとき $y-z$ 平面に現れるねじ断面形状は O 点を原点とすると次式で表される。

図1 ねじ面の座標(軸平行断面)

* 原稿受付 昭和53年6月30日。昭和50年度精機学会秋季大会学術講演会(昭和50年11月24日)および昭和53年度精機学会春季大会学術講演会(昭和53年3月31日)にて発表。

** 正 会 員 九州工業大学(北九州市戸畑区仙水町1-1)

$$\left. \begin{aligned} z &= \frac{p\theta_i}{2\pi} \pm \Delta r \tan \alpha \\ y &= r_b \tan \theta_i \\ \Delta r &= r_b \left(\frac{1}{\cos \theta_i} - 1 \right) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ただし、符号の上段は図1のA面、下段はB面の場合である。また p はねじのリード、 α はフランク角、 r_b は図1の O_0O である。左ねじでは式(1)の p を負にすればよい。

今最も単純なねじ面形状誤差として フランク角が $\Delta\alpha$ だけ狂っている場合を考える。そのとき図1の軸平行断面形状は次式となる。

$$z' = \frac{p\theta_i}{2\pi} \pm \Delta r \tan(\alpha + \Delta\alpha)$$

$y, \Delta r$ は式(1)と同じである。ねじ面形状誤差 Δz は次式となる。

$$\begin{aligned} \Delta z &= z' - z = \pm \Delta r \{ \tan(\alpha + \Delta\alpha) - \tan \alpha \} \\ &= \pm r_b \left(\frac{1}{\cos \theta_i} - 1 \right) \frac{\sin \Delta\alpha}{\cos(\alpha + \Delta\alpha) \cos \alpha} \end{aligned}$$

$\Delta\alpha \ll \alpha$ とすれば Δz は次式で近似される。

$$\Delta z = \pm \frac{r_b}{\cos^2 \alpha} \cdot \Delta\alpha \cdot \left(\frac{1}{\cos \theta_i} - 1 \right) \quad (2)$$

Δz の値は $\theta_i = \tan^{-1} y / r_b$ によって決まるので、 $y=0$ を中心に y の絶対値が同じであれば Δz も同じ値となる。図2は工作機械親ねじに使用される程度の寸法で、実際の測定にも使用したねじの Δz と $\Delta\alpha$ の関係である。1/1000mm程度が検出できる測微計を使用すれば ± 5 分程度のフランク角誤差は十分測定できる。

式(2)の Δz はリード誤差がないものとして求めたものである。リード誤差があるときのねじ面形状誤差は式(2)のフランク角誤差に基づく分にリード誤差が加わったものが測定される。図2に示したねじでは図1の θ_i の最大値は 30° ぐらいである。他の寸法のねじでもこの値はそれ程大きくない。1回転中のリード誤差の1/6程度がねじ面形状誤差の中にはいってくる。一方、接触状態を知るためのねじ面形状測定であれば、フランク角誤差だけでなく、リード誤差を含んだねじ面形状誤差が測定されてもよい。むしろ本方法は軸断面での測定より1回で広いねじ面形状を測定でき、しかも接触状態に関する情報量を余計得ることができる。

2.2 測定法

実際の測定は万能測定顕微鏡を用いて行った。両センタにおねじを、鏡筒部に電気マイクロメータを取付けた。触針はサファイア針を用いた。触針先端は表面粗さの影響が入らないようその先端半径を $30 \mu\text{m}$ 程度に丸めて

図1のA面

図2 フランク角誤差があるとき軸平行断面に現れるねじ面形状誤差

図3 軸平行断面 (y_1-y_2) の測定

ある。

具体的には図3に示すようにナットの内半径より小さくなるような r_b を選び、電気マイクロメータ触針を y 方向に一定間隔ごとに移動するとともに、式(1)で計算される z だけおねじを軸方向に移動させ、そのときの触針の振れを読む。ただし最初に図1の原点 O を決めてやる必要がある。そのためまず触針を y 方向に移動し、おねじ外径部の座標 y_1, y_2 を求める。そうすると $y_0 = (y_1 - y_2)/2$ で原点が求められる。一方、正確な r_b の値は $r_b = \sqrt{r_0^2 - y_0^2}$ より求める。

2.3 測定誤差の検討

図3の y_1, y_2 に測定誤差があるとねじ面形状にも測定誤差を生じさせる。もし y_1, y_2 とともに同じ値の測定誤差、すなわち y_0 に Δy_0 の測定誤差があるときのねじ面

図4 y_0 (r_b) に誤差があるとき発生する測定誤差

形状の測定誤差 $\Delta z'$ を式 (1) によって計算すると図4のようになる。ただし図4は図1のA面で y_0 が8.5mmの場合について計算した。B面では $\Delta z'$ 軸を境にして対称になる。図中には Δy_0 はどのくらいの r_b の変化 Δr_b になるかも示した。この図および図2から ± 5 分程度のフランク角誤差を求めるには $|\Delta y_0| < 0.1$ にすべきである。ただし y が正の領域では $\Delta z'$ は小さいので、この領域では Δy_0 が余程大きくない限りその影響をあまり考慮しなくてもよい。

次にねじの取付誤差から発生する測定誤差を検討する。まず水平面内で傾いて取付けられている場合を考える。このときは図1からもわかるように $y=0$ を境にして右と左で絶対値は等しいが、符号が異なるフランク角誤差となる。従ってこのフランク角誤差については $|y|$ が同じところの測定値を平均することによって打ち消すことができる。ただし接触状態を知るためには図1の y 軸に沿うねじ面形状がそのまま知りたいので、取付けはできるだけ正確に行う方がよい。

垂直面内での取付誤差もやはりフランク角誤差となる。この場合は水平面内での取付誤差と違って y の絶対値が等しいところでは符号も等しいフランク角誤差となる。今、取付誤差としては大きいねじ長さ300mmにつき $100 \mu\text{m}$ 傾いた状態を考えると、最も影響を受ける $y=0$ で、フランク角誤差は1分あまりとなる。

ねじ長さ300mmにつき取付誤差を $20 \sim 30 \mu\text{m}$ 以内にすることは容易である。よって水平、垂直面内ともねじの取付けに十分注意すれば ± 5 分程度のフランク角誤差は容易に測定できる。

測定点のねじ面の法線方向と電気マイクロメータ触針の作動方向のなす角度は図3の y 軸上で異なる。このため触針先端部の接触位置が変化して測定誤差が発生す

図5 ねじ面の座標
(軸直角断面)

る。しかし ± 5 分程度のフランク角誤差を検出する程度であればこの誤差は問題にならない。

3. ねじ軸直角断面形状

3.1 測定原理

図5のようにねじ上に x, y, z 軸をとり、Aをねじ軸心Oから R_0 なる距離にある x 軸上のねじ面の点とする。今A点を原点としてねじ軸心から R 、 x 軸から ϕ だけ回転した位置にあるねじ面上の点Bの z 座標は次式となる。

$$z = \frac{p\phi}{2\pi} \mp \Delta R \tan \alpha \quad (3)$$

$$\Delta R = R - R_0$$

ただし符号の上段は図5のIのねじ面、下段はIIのねじ面である。A点でねじ面を軸直角に切断したとき現れる断面形状は式(3)で $z=0$ とおくことにより次式となる。

$$\Delta R = \pm \frac{p\phi}{2\pi} \cot \alpha \quad (4)$$

この式はいわゆるアルキメデス螺旋を表している。

測微計触針をナット内径より小さいねじ面上の点Aに当て、その触針を ΔR だけ x 方向に移動させるとともに、式(4)を満足する ϕ だけねじを回転させ、そのときの触針の変位を検出すればこれがアルキメデス螺旋に沿うねじ面形状誤差となる。

フランク角が $\Delta \alpha$ だけ狂っているときアルキメデス螺旋に現れるねじ面形状誤差 Δz は次式となる。

$$\Delta z = \mp \Delta R \cdot \sec^2 \alpha \cdot \Delta \alpha \quad (5)$$

図6は $\Delta \alpha$ と Δz の関係を ΔR をパラメータとして表したものである。 $\Delta \alpha$ が同じであっても、 ΔR が小さいと Δz も小さいので測定が困難である。しかし ΔR が1mm以上とれば ± 5 分ぐらいの $\Delta \alpha$ は電気マイクロメータで十分検出できる。

図5のIのねじ面の場合

図6 フランク角誤差があるときのねじ面形状誤差 (軸直角断面)

ただ式(5)は式(2)と同じくリード誤差はないものとして求めたものである。もしリード誤差がある場合はそれも含めたものがねじ面形状誤差として測定される。しかしアルキメデス螺旋に沿う測定はねじを1/10回転もすればよいのでリード誤差の1/10程度がねじ面形状誤差に影響する。だが2.1節で述べたのと同じく、接触状態を知るということからはリード誤差も含めたねじ面形状誤差でもさしつかえない。本測定法もまた軸断面で測定するより広いねじ面範囲を測定することになる。ただ測るねじ面範囲は軸平行断面を測定する場合の約半分である。

しかし本測定法は軸平行断面の測定に比べて次の利点がある。軸平行断面、軸直角断面ともにねじ面の z 方向の移動誤差はそのまま測定誤差となる。 z 方向の移動は直接直線運動で与えるより、回転運動を直線運動に変える方法の方が正確にできる。すなわち軸直角断面の測定では z 方向の移動を回転によって与えているので、この移動誤差から発生する測定誤差を小さくできる。

3.2 測定法

測定はねじを回転軸に取付け、触針をねじ軸と直角方向に直線移動させることにより行える。このことが容易に行えるという理由で、実際の測定には図7に示すように旋盤を用いた。旋盤両センタにねじを取付け、横送りに電気マイクロメータを固定した。触針は軸平行断面の測定で使用したのと同じサファイア針を用いた。主軸にはロータリーエンコーダを直結してねじの回転角を計り出す。このロータリーエンコーダは1回転で21600パルスの出力があり、本測定に用いたねじに対して1パスは約0.3 μmの z 方向の進みに相当する。横送り台移動量は1/100 mmのダイヤルゲージで測定した。

本測定法では軸平行断面形状測定時のような原点設定

図7 ねじ面形状測定装置(軸直角断面)

のわずらわしさが無い。ねじ軸心と触針高ささえ一致させればねじ面のどの位置から測定開始してもよい。したがって原点設定誤差から発生する測定誤差を軸平行断面形状測定時より小さくできる。また図5ではねじ底からねじ外径部へ触針を移動しているが、外径部からねじ底部へ移動してもよい。

3.3 測定誤差の検討

測定誤差の発生要因として被測定ねじの取付誤差、自重によるたわみ、曲がり、電気マイクロメータ触針高さの設定誤差が考えられる。これらはねじの傾き、偏心、それにねじ軸心と触針高さの違いから発生する誤差に置き換えられる。水平面内でのねじの傾きはそのままフランク角誤差となる。しかしこの測定誤差は2.3節でも検討したようにねじの取付けを十分注意して行えば小さくできる。

偏心による測定誤差は、いま振れの量を dR とすると $dR \tan \alpha$ である。アルキメデス螺旋に沿う測定はねじを1/10回転ぐらいすればよい、1回転中のねじの振れを10 μmとすると $\alpha = 14.5 \sim 15^\circ$ では測定誤差は0.26 μmぐらいである。振れの量が余程大きくない限りこの誤差は無視できる。

なお以上のねじの取付誤差、振れに基づく測定誤差は180°離れた2か所の同一ねじ面で測定した値を平均すれば打ち消せる。

最後に触針とねじ軸心の高さが図8に示すように Δc だけ相違しているとき発生する測定誤差 $\Delta z'$ を検討する。高さが Δc 違っていても触針が A_1 から A_1'' の方に移動すれば何ら測定誤差は生じない。実際は触針が A_1' の方向に移動するので A_1' と A_1'' の z 座標の差 $\Delta z'$ が測定誤差となる。 $\Delta z'$ は次式で表される。

$$\Delta z' = -\Delta R d\theta \tan \beta \quad (6)$$

$$d\theta \doteq \Delta c / R_0, \quad \tan \beta = p / 2\pi(R_0 + \Delta R) \doteq p / 2\pi R_0 \text{ より}$$

$$\Delta z' \doteq -\frac{p}{2\pi} \cdot \frac{\Delta R \cdot \Delta c}{R_0^2} \quad (7)$$

図9は $\Delta z'$ と ΔR の関係を Δc をパラメータとして表

図8 触針とねじ軸心の高さが一致しないとき発生する測定誤差の検討図

したものである。フランク角誤差が ± 5 分あるときの測定値も示した。 ± 5 分程度のフランク角誤差を測定するには $|\Delta c| < 0.1 \text{ mm}$ にすればよい。

4. 測定結果

図10は第2,3章で述べた二つの方法で同一ねじを測定した結果である。二つの測定結果の絶対値にはいくらか相違も見られるが傾向はほぼ一致している。測定結果に凹部が見られるが、これはねじ面に肉眼でも見えるみぞ状のくぼみがあったためで、それが現れている。実線は1回目、点線は2回目の測定結果である。両測定方法とも再現性ある結果が得られている。

以後、測定が容易であったアルキメデス螺旋に沿った測定結果を述べる。

図11(a)は研削ねじの測定結果である。ねじ面形状誤差はほとんどないといえる。図11(b)は旋削ねじで

図9 触針とねじ軸心の高さが一致しないとき発生する測定誤差

まだ使用されていないねじ面の測定結果である。フランク角は約10分大きくできている。このねじを正しく加工されためねじと組合わせても接触するのはねじ底部だけである。

図11(c)は上記の旋削ねじで複数のめねじを用い焼付かないよう十分に注意しながら長期間駆動試験を行った後のねじ面である。めねじねじ山が当たった範囲のねじ面形状誤差は減少している。

5. 結論

ねじ面接触状態を知るため重要なねじ面形状を軸断面以外で測定する二つの方法を考えた。以下その測定法、特徴、注意点を要約する。

図10 測定結果(軸平行断面, 軸直角断面)

外径: 37 mm, $p=6.35$ mm, 29 度台形ねじ

図 11 測定結果(軸直角断面)

- (1) 軸平行断面でねじ面形状の測定を行った。軸断面形状測定と比較した本測定法の利点は 1 回の測定でより広いねじ面の形状誤差を知ることができるということである。ただし本測定法は軸断面法と同じく、特に軸方向のねじ面の移動を正確に行う必要がある。
- (2) 軸直角断面(アルキメデス螺旋)でねじ面形状を測定した。(1)の方法より狭いねじ面の形状誤差しかわからないが、軸方向のねじ面の移動を回転で与えること、原点設定誤差が入りにくいことから、(1)の方法より正確な測定が容易に行える。
- (3) (1),(2)の方法とも再現性ある測定結果が得られた。なお本測定法はねじだけではなく、ウォーム、ホブ等の精度測定にも応用できるであろう。

参 考 文 献

- 1) 村瀬善三郎, 千葉芳文: 工作機械の送りねじの摩擦, 精密機械, **39**, 12 (1973) 1201.
- 2) 坂本正史, 中島克洋: 送りねじの組立精度が駆動性能におよぼす影響, 日本機械学会論文集, **43**, 372 (1977) 3160.
- 3) 遠藤大海ほか: ねじ山形測定器の試作, 精密機械, **27**, 1 (1961) 14.

情 報

(p.1049 より続く)

ばね製造業が総合的にみて世界最高レベルに達した理由は①鉄鋼など素材がよくなった, ②二次加工メーカーの努力, ③優秀な西独, 米国の機械を導入した, ④品種調整を行い, メーカーの専門化を高めた, ⑤産学共同の研究組織による新技術の導入——などがあげられる。

今後の競争力強化には人手依存の組立部門の合理化, 大物ばね製造工程での省エネルギーのほか, 特徴技術として①標準化推進, ②軽量化(強化グラスファイバなど軽量材料の成形・加工技術の研究)などが必要である。

▽油圧機器(油圧ポンプ, 油圧バルブ, 油圧モータ)=総合評価順位は①米国, ②西独, ③日本, ④英国, ⑤フランスの順で, 3~5年後も変わらない。評価決定要因の上位5つは性能, 信頼性, 価格, 生産規模, 販売力の順で, これも将来の変化はない見込みである。

本製品の競争力は価格よりも性能, 信頼性など技術要因のウェイトが高い。

油圧機器が米, 西独に追いつけない理由として①日本は昭和30年代後半から技術導入し急成長したが, 総合的な蓄積ができていない, ②生産量は圧倒的に米国が多く, 米ビッカース社で日本の全生産量とほぼ同じ, ③価格競争力は逐次強化されてきたが, 技術導入のためテロリーの制約があり, 国際市場における真の競争力が試されるまでに至っていない, ④先端技術の自主開発の

遅れ——などがあげられる。今後の競争力強化策は①省エネルギー化, ②マイコン利用の制御, ③弁のモジュール化, ロジック化, ④作動油業界, 機械振興協会技術研究所などとの開発研究——のほか, 特徴技術として①低騒音化, ②高圧化(1cm²当たり210~350kg), ③バリアブルポンプ, 電子機器との結合による電力量の低減などが必要である。

▽自動車(乗用車, トラック, 四輪車)=乗用車の国際競争力は①米国, ②日本, ③西独, ④フランスの順で, 今後さらに競争激化が予想されるものの, 米国の1位は揺るぎないものとなろう。トラックでは第3位にカナダが入り, 米国, 日本, カナダ, フランスの順で, 将来も続くと考えられる。

競争力決定の要因からみる日本の自動車は, 現在までの競争力の主体は自動車の生産コストにあった。これによる競争結果が日本を世界のトップレベルにランクするようになった。しかし, 外国からの攻勢も予想されるため, 小型車分野での競争はさらに激化しよう。大型自動車の先進技術を小型車分野へ展開し, 生産規模, 販売力をバックに, 海外メーカーが価格を主体とする攻勢をかけてくれば, 日本の自動車産業の将来は不安なものとなるう。

(p.1069へ続く)