

# めねじのリード測定における誤差解析

市川 誠\*

(昭和37年12月27日受理)

## 1. はじめに

めねじの測定には非常に複雑な手数を必要とし、多くの困難を伴うが、特に累積ピッチの測定は、わずかに SIP の万能測定器によってねじ溝中心のピッチ誤差がめんどろな操作で測定されるなど一二例を数えるに過ぎない。

めねじの累積ピッチ誤差測定<sup>1)</sup>の困難な理由は、めねじには支持センタがないので、その軸心とフィーラの進む方向を平行線上に正しく配置することができないからである。

さらに、真の意味におけるリード測定には偏心の影響などが加わるので、より多くの困難を伴う。

最近おねじのリード測定が著しく進歩しているため、めねじのリード測定への関心も高まり、東京工業大学精密工学研究所山本晃教授の御指導により同教授と筆者の協同研究によって、めねじリード測定装置が試作された。ここでは本測定装置における構造上の誤差、めねじ取り付けおよび測定装置設定の誤差、めねじ自身の誤差などがリードの測定精度におよぼす影響について検討し、よりよき設計への指針としたい。

なお、誤差解析のために必要な本測定装置の原理、構造、使用方法などについても簡単に述べる。

## 2. めねじリード測定法の概要

### 2・1 本測定装置の原理および構造

被測ねじの回転によるリードの進みに対し、そのフランクに接触する検出用接触球の進みを高い精度の等速送りで追従させれば、接触球の変位はねじのリード誤差となる。もちろん、ねじには回転偏心がなく、接触球の進む方向はねじ軸心と平行であること、などの条件が必要である。

この場合、接触球を2つ使いねじの同じフランクに180°隔てて接触させ両測定量を平均すれば、その値は接触球1つの場合と違って回転偏心、または一回転を周期とするサインカーブ状のよるめきの影響をほとんど受けない累積ピッチ誤差をあらわす。

本測定装置はこの接触球を2つ使用する測定原理によるもので図1のような構造を有し、ねじリード測定器の刃物台に取りつけて使用する。

フィーラ1は挿入棒2の先端にその中心で長手および変位の方向と直角な軸の回りに

\* 機械工学教室、講師

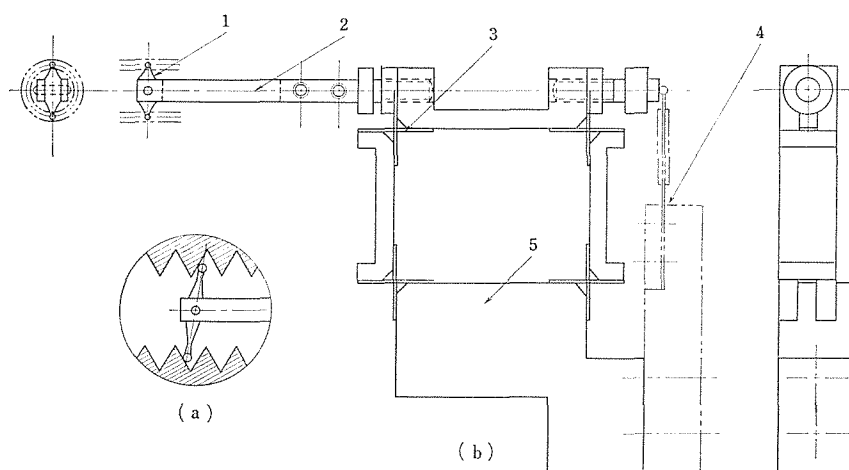


図1 めねじリード測定装置の構造

1. フィーラ 2. 挿入棒 3. 二重十字ばね接手 4. 電気測微器のゲージヘッド  
5. めねじリード測定器への取り付け部

自由に回転できるようにピン接合され、両端は被測めねじのフランクに接触する球状となっているが、その寸法は球の半径  $r$  mm, 被測めねじのピッチ  $P$  mm, 有効径  $E$  mm, フランク角  $\alpha^\circ$  などによって図2のようにめねじの有効径位置で接触するものとすれば、両球中心間の長さ  $2R'$  mm は次式から得られる。

$$2R' = \sqrt{(E - 2r \cdot \sin \alpha)^2 + \frac{P^2}{4}} \quad (1)$$

しかし、両球が有効径位置で接触するためには

$$r < \frac{P}{4 \cos \alpha} \quad (2)$$

でなければならない。したがって、フィーラの全長  $2R$  は

$$2R = 2R' + 2r \quad (3)$$

となる。

一般にこれらの値は厳密を要せず、むしろ全長はやや小さく、接触球径は相当小さくしておく方がめねじフランクの正しい有効径位置での接触が必ずしも必要条件でないから、製作上はもちろん、同じフィーラで類似のめねじを測定しうる場合があるので有利である。

挿入棒2は4個所で二重十字ばね接手3によって支持されているので、その軸方向に

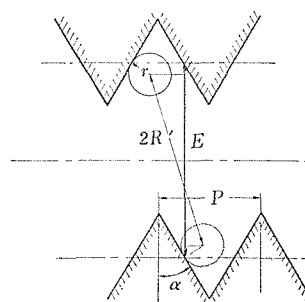


図2 フィーラの長さの計算法

摩擦がなく軽く動くことができる。そして右端でワイヤストレーンゲージを利用した電気測微器のゲージヘッド4に接しているので、図1のようにめねじ内に挿入されたフィーラ両接触球の変位は平均されピン穴中心の変位となり、挿入棒を介して検出される。すなわち累積ピッチ誤差としてペンオシロの記録紙上に拡大記録される。

測定圧は挿入棒の位置による十字ばねとゲージヘッドの薄板による弾性力によって得られる。

また、送り機構の関係で図1(a)のように右フランクにフィーラは接触するように働らかせるため、左フランクを測定する場合には、めねじを裏返して取り付け直さなければならない。

## 2・2 特殊面板の設計とめねじ取り付け法および測定操作

めねじのリード測定においては、既に述べたようにめねじを面板に正しく取り付けることが大切なので、図3に示す構造の特殊面板を設計した。

ねじリングゲージをそのはめあい点検ねじプラグゲージを利用して取り付けるもので、図3のようにねじリード測定器の回し板1への固定部3、ディスタンスピース4、めねじ取り付け面板5などから成り立っている。この固定部3の外周はこれとはめあう面板5の円筒内面と高度のはめあいを要し、ねじリード測定器のセンタ2と偏心なく回し板

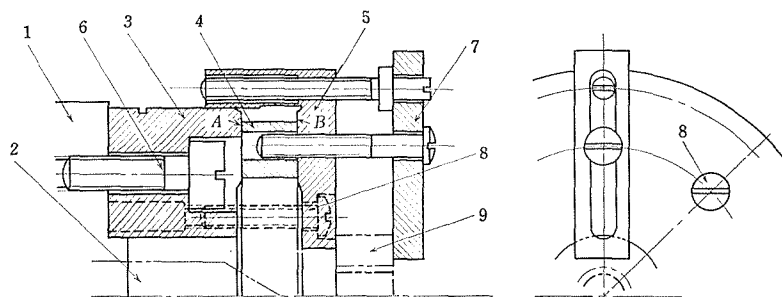
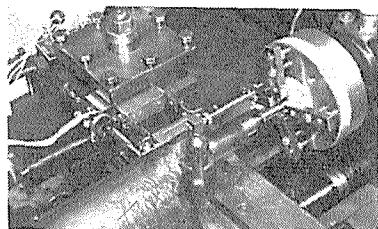
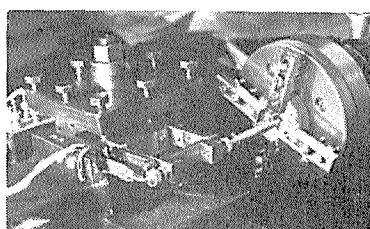


図3 めねじ取り付け特殊面板の構造

- |                 |                 |              |
|-----------------|-----------------|--------------|
| 1. ねじリード測定器の回し板 | 2. ねじリード測定器のセンタ | 3. 回し板への固定部  |
| 4. ディスタンスピース    | 5. めねじ取り付け面板    | 6. 固定部とりつけねじ |
| 7. めねじ取り付け具     | 8. 面板固定ねじ       | 9. 被测リングゲージ  |



(a) そのはめあい点検ねじプラグゲージを利用するねじリングゲージの面板への取り付け



(b) めねじリード測定装置をほぼ設定したところ

写真1 ねじリングゲージのリード測定操作

1に固定され、センタとめねじ取り付け面は常に正しく直角でなければならない。

以下に面板設計の説明もかねて、ねじリングゲージの取り付け法、および測定操作について述べる。

(1) 固定部3を回し板1にその外周がセンタ2と偏心ないようにねじ6(全周4個)で固定する。

(2) 取り付け面板5を固定部3にA面がB面に接触するまではめあわせる。

(3) ねじプラグゲージをねじリングゲージをはめあわせたままねじリード測定器の主軸、心押両センタ間に支持する。そしてリングゲージのみを回して端面を面板に密着させ写真1(a)のように、取り付け具7(全周4組)で取り付ける。

(4) 心押センタを後退させ、プラグゲージを抜き去り、リングゲージ9を取りつけたまま面板5を固定部3からはずす。

(5) ディスタンスピース4をA、B両面間にはさんで再び面板5を固定部3にはめあわせねじ8(全周4個)で固定する。ディスタンスピース4はフィーラと主軸センタが衝突しないためのものである。

(6) めねじリード測定装置をねじリード測定器の刃物台に、取り付け部5によって、フィーラピン(回転軸)がなるべく水平になり、かつ挿入棒がリングゲージの軸心と一致するように両センタを基準に調節しながら取り付け、写真1(b)のようにフィーラがリングゲージの入口附近に達するまでテーブルを送り、さらに微動送りによって、最初と同じフランクにフィーラの両端を接触せしめ、電気測微器の主としてペンオッシロをゼロ調整する。

(7) リングゲージの軸心とフィーラの両球の中心をむすぶ直線とが一致しているかどうかを、刃物台を水平前後方向に微動させながらペンオッシロの記録により確かめる。この場合にその一致がはずれると、のちに述べるような理由によって、フィーラはリングゲージの軸線の方向に後退するので写真2のような記録が得られる。その最大値を示す位置が正しいので再びこの位置にペンオッシロをゼロ調整する。

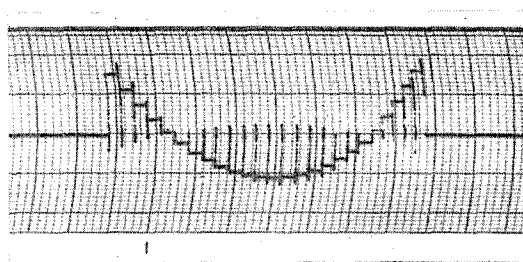


写真2 フィーラピン穴中心がめねじ回転中心をはずれる場合のペンオッシロの記録

(8) ペンオッシロの記録紙を送り、ねじリード測定器を駆動するとリングゲージのリードの状態が描かれて行く。

(9) フィーラがねじ部の最奥端に進みフランクを離れると記録が乱れるので直ちにオッシロのスイッチを切る。むしろその直前にこの操作ができれば記録はきれいに得られる。これで測定はおわる。

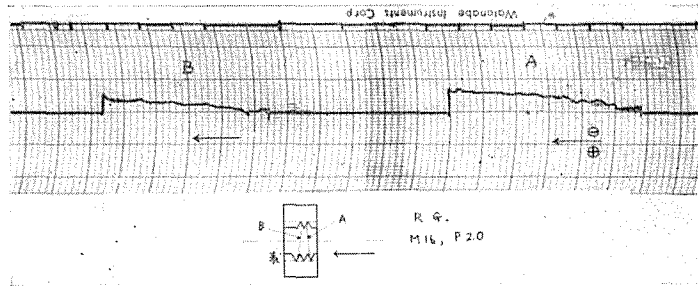


写真3 ねじリングゲージの測定例（1目盛2 $\mu$ ）

(10) このままで逆駆動すると、フィーラがねじ山にひっかかり破損するおそれがあるからフィーラを軸線方向に倒して引き抜く。

なお、以上はねじリングゲージの入口に面を向けている側のフランクを測定する場合であるが、他の側のフランクを測定する場合には既に述べたようにリングゲージを裏返して以上と同様の操作を行なえばよい。

写真3は本器によって上のようにして得られたねじリングゲージのリード測定結果である。記録紙の1目盛が1mmで500倍の記録であるから1目盛が2 $\mu$ を示しAフランクで約12 $\mu$ 、Bフランクで約10 $\mu$ の累積ピッチの縮みが認められる。

### 3. めねじ取り付け誤差および測定装置設定誤差の影響

めねじのリード測定においては、既に述べたように、その取り付けが一番問題となるところであるが、この測定方法においても次のようなめねじ取り付け誤差およびそれに関連するリード測定装置の特にフィーラピン穴中心の設定誤差について検討しておかねばならない。

まず、これらの誤差の総合された最も一般的な場合としては、

- (1) めねじ取り付け偏心有り、かつその軸心の回転中心とフィーラピン穴中心が一致しない場合

であるが、めねじの取り付け操作、測定装置の設定操作などによっては(1)の特別な形となる次の各場合が考えられる。これらは、めねじ取り付け偏心有る場合とそうでない場合に大別され、それぞれの場合においてフィーラピン穴中心との一致程度が問題となる。すなわち、

- (2・1) めねじ取り付け偏心があつて、その軸心の回転中心とフィーラピン穴中心が一致する場合

- (2・2) めねじ取り付け偏心があつて、その軸心の回転中心が、フィーラピン穴中心を座標の中心とし、フィーラ長手の方向をy軸、それと直角の方向をx軸とし、x、y軸のいずれか一軸上のみ一致する場合で次の2種となる。すなわち、

x軸上のみ一致する場合、

y軸上のみ一致する場合

である。さらに、

(3) めねじ取り付け偏心が無い場合においてもその軸心とフィーラピン穴中心との位置関係は(2)と同様の各種の場合がある。しかし、(3)の取り付け偏心が無い場合においてはいずれも後に述べるように理論上問題とならない。

以下、上に述べた各場合における測定誤差を計算し、フィーラの水平でない場合の影響についても考察する。

### 3・1 めねじ取り付け偏心があり、かつ軸心の回転中心とフィーラピン穴中心が一致しない場合

これは先に述べたように、すべての誤差が現われる最も基本的な場合で図4(a)のようにめねじ取り付け偏心 $S$ があり、かつねじ軸心の回転中心がフィーラピン穴中心 $O'$ から $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ずれているような場合を考えると、回転に伴うめねじ軸心の軌跡は、フィーラピン穴中心に対し、 $\Delta x$ ,  $\Delta y$ の点 $O$ を中心と半径 $S$ の円を描く。

したがって、めねじ軸心が $y$ 軸の方向に一致した点を出発点とし、右ねじを測定する場合を基準として図4のように回転角 $\theta$ をとると、フィーラの接触球はめねじフランクに対して、 $R$ をフィーラ長さの半分とすれば、

$y$ 軸の正の側にある接触球 $A$ はめねじ軸心より

$$R_1 = R + (\Delta y - S \cdot \cos \theta), \quad (4)$$

$y$ 軸の負の側にある接触球 $B$ はめねじ軸心より

$$R_2 = R - (\Delta y - S \cdot \cos \theta) \quad (5)$$

の断面で接触し、さらに共に軸心より

$$E = \Delta x + S \cdot \sin \theta \quad (6)$$

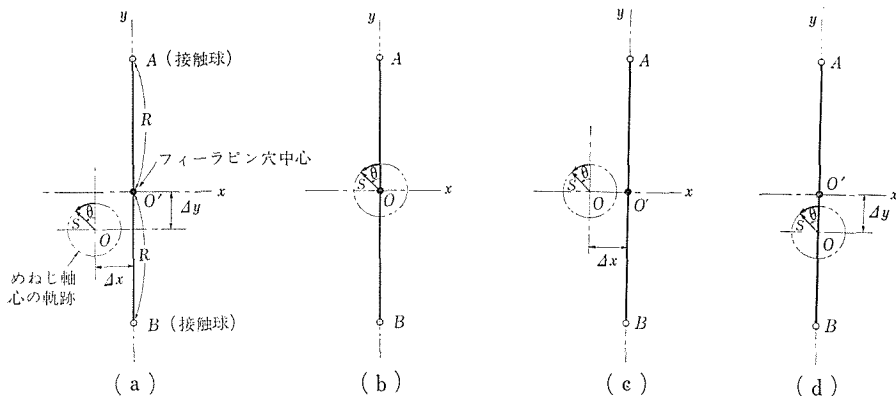


図4 めねじ取り付け偏心およびフィーラピン穴中心の設定誤差がある場合

$x$  軸方向に偏位していることになるので、ねじ軸心より一定距離における軸心に平行な面でねじ面を切断した場合に、その断面形を近似的にあらわす式によって、 $A, B$  両接触球の変位  $Z_A, Z_B$  を求めることができそれぞれ次のようになる。

$$Z_A = \frac{P}{2\pi} \cdot \frac{\Delta x + S \cdot \sin \theta}{R + (\Delta y - S \cdot \cos \theta)} - \frac{1}{2} \tan \alpha \cdot \frac{(\Delta x + S \cdot \sin \theta)^2}{R + (\Delta y - S \cdot \cos \theta)} - \frac{1}{3} \cdot \frac{P}{2\pi} \left\{ \frac{\Delta x + S \cdot \sin \theta}{R + (\Delta y - S \cdot \cos \theta)} \right\}^3 + \dots \quad (7)$$

$$Z_B = -\frac{P}{2\pi} \cdot \frac{(\Delta x + S \cdot \sin \theta)}{R - (\Delta y - S \cdot \cos \theta)} - \frac{1}{2} \tan \alpha \cdot \frac{(\Delta x + S \cdot \sin \theta)^2}{R - (\Delta y - S \cdot \cos \theta)} + \frac{1}{3} \cdot \frac{P}{2\pi} \left\{ \frac{\Delta x + S \cdot \sin \theta}{R - (\Delta y - S \cdot \cos \theta)} \right\}^3 + \dots \quad (8)$$

ただし、 $P, \alpha$  はめねじのピッチ（1条ねじ）およびフランク角。

上式の符号は図 1 (b) のように、右ねじにおいてその入口に面を向けているフランクを、心押側から主軸側へフィーラを送って測定する場合に、累積ピッチ誤差が大きくなる方をプラスとする。

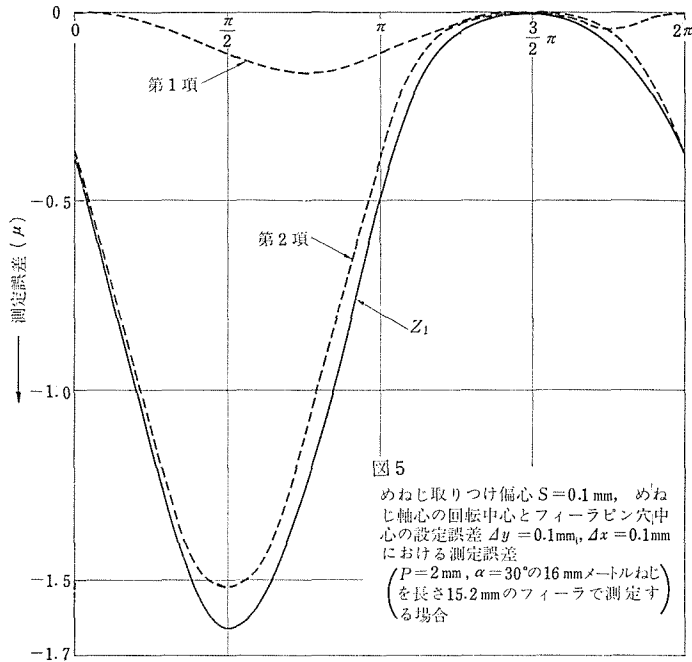
したがって、フィーラピン穴中心の変位は

$$Z_1 = \frac{Z_A + Z_B}{2} = -\frac{P}{2\pi} \cdot \frac{(\Delta x + S \cdot \sin \theta)(\Delta y - S \cdot \cos \theta)}{R^2 - (\Delta y - S \cdot \cos \theta)^2} - \frac{R}{2} \tan \alpha \cdot \frac{(\Delta x + S \cdot \sin \theta)^2}{R^2 - (\Delta y - S \cdot \cos \theta)^2} - \frac{1}{3} \cdot \frac{P}{2\pi} \cdot \frac{(\Delta x + S \cdot \sin \theta)^3 (\Delta y - S \cdot \cos \theta) \{3R^2 + (\Delta y - S \cdot \cos \theta)^2\}}{\{R^2 - (\Delta y - S \cdot \cos \theta)^2\}^3} \quad (9)$$

となる。

いま、式 (9) によって、 $P = 2 \text{ mm}$ 、 $\alpha = 30^\circ$  の  $16 \text{ mm}$  メートルめねじのリードを測定するのに、フィーラ長さを  $15.2 \text{ mm}$  とし、取り付け偏心が  $S = 0.1 \text{ mm}$  あって、 $\Delta y = 0.1 \text{ mm}$ 、 $\Delta x = 0.1 \text{ mm}$  の軸心とフィーラピン穴中心の設定誤差がある場合について計算すると図 5 に実線で示すような、主として第 2 項の影響をうける 1 回転を 1 周期とするよろめき状の測定誤差を生ずる。なお、第 3 項の値は非常に小さくまったく無視できる。

このよろめき状の測定誤差は、めねじ自身には責任のないものであるが、その値は約  $1.6 \mu$  と相当に大きなものである。しかし、 $\theta = 2n\pi$  ( $n$  は整数) においては常に最初の値となるので、換言すればゼロとなるから累積ピッチ測定には影響なく、かつ既に述べたようなめねじ取り付けおよび測定装置の設定方法によれば、実際にはこのようにすべての誤差を同時に生ずることがなく、それらの値もこの計算にとり上げるほど大きくな



いから、この場合は一応後に述べる各場合の参考にとどむべきであろう。

### 3・2・1 めねじ取りつけ偏心があり、その軸心の回転中心とフィーラピン穴中心が一致する場合

これはめねじ取りつけ偏心のみがある場合となり、図4(a)において  $\Delta x = 0$ ,  $\Delta y = 0$  とした同図(b)のように、めねじ軸心はフィーラピン穴中心のまわりに取りつけ偏心量  $S$  を半径とする円を描くことになり、3・1と同様の考え方によつてフィーラピン穴中心の変位は式(9)において、 $\Delta x = 0$ ,  $\Delta y = 0$  とした次式によって与えられる。

$$Z_2 = \frac{P}{4\pi} \cdot \frac{S^2 \cdot \sin 2\theta}{R^2 - S^2 \cdot \cos^2 \theta} - \frac{R}{2} \tan \alpha \cdot \frac{S^2 \cdot \sin^2 \theta}{R^2 - S^2 \cos^2 \theta} - \frac{1}{6} \cdot \frac{P}{2\pi} \cdot \frac{S^4 \cdot \sin^2 \theta \cdot \sin 2\theta (3R + S^2 \cdot \cos^2 \theta)}{(R^2 - S^2 \cdot \cos^2 \theta)^3} \quad (10)$$

したがって、3・1と同様のねじを測定する場合取りつけ偏心量  $S = 0.1 \text{ mm}$  とすれば、式(10)から計算されてその測定誤差は図6のように最大  $0.4 \mu$  の1回転に2周期とするマイナス側にのみ生ずるよるめき状となる。そしてやはり第2項の影響が支配的であるが、この場合にも  $\theta = n\pi$  ( $n$ は整数)において常にゼロとなり累積ピッチ測定には影響ない。



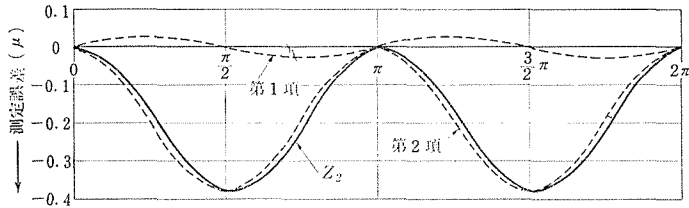


図6 めねじ取りつけ偏心  $S=0.1\text{ mm}$  のみにおける測定誤差  
 ( $P=2\text{ mm}$ ,  $\alpha=30^\circ$  の  $16\text{ mm}$ メートルねじ)  
 (を長さ  $15.2\text{ mm}$  のフィーラで測定する場合)

3・2・2 めねじ取りつけ偏心があり、その軸心の回転中心が  $x$ ,  $y$  軸のいずれか一軸上にのみ一致する場合

まず  $x$  軸上にのみ一致する場合には図4(c) のようになり、その測定誤差  $Z_3$  を表わす式は、式(9)において  $4y=0$  とした形となる。ゆえにその式によって、 $\Delta x=0.1\text{ mm}$ ,  $S=0.1\text{ mm}$  とし、3・1と同じめねじのリード測定する場合を計算すると図7のように1回転を1周期とする約  $1.5\ \mu$  のよるめき状の測定誤差を生じ、 $2n\pi$  ( $n$  は整数) においては常に最初の値すなわちゼロとなるので累積ピッチ測定には影響ないが、本測定法によると既に述べたように、それぞれが  $0.1\text{ mm}$  という誤差は実際にはあり得ない大きいものであるから問題とならないが、この図7が図5と比較してほとんど変わらないとい

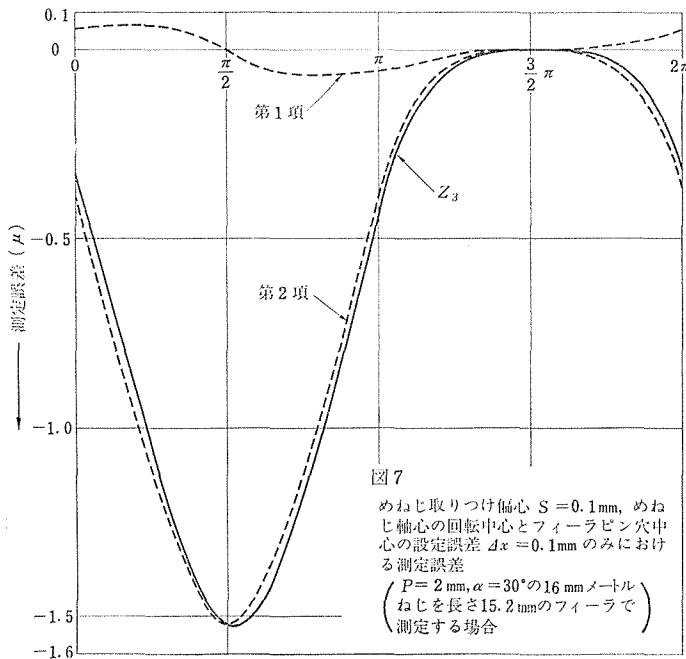


図7  
 めねじ取りつけ偏心  $S=0.1\text{ mm}$ , めねじ軸心の回転中心とフィーラピン穴中心の設定誤差  $\Delta x=0.1\text{ mm}$  のみにおける測定誤差  
 ( $P=2\text{ mm}$ ,  $\alpha=30^\circ$  の  $16\text{ mm}$ メートルねじを長さ  $15.2\text{ mm}$  のフィーラで測定する場合)

うことは、 $\Delta y$  の影響が非常に小さいことを示すもので、このことは測定誤差に最も影響を有する式 (9) の第 2 項からも容易に理解できる。

さらに、図 7 を図 6 と比較し、あるいは、式 (9) の第 2 項によれば  $\Delta x$  の影響が相当に大きいことがわかるので、めねじ軸心をフィーラの長手方向に一致させ  $\Delta x$  をなるべく小さくすればよいことがわかる。

すなわち、2・2 の測定操作において双物台を水平前後方向に微動させて最適位置を見出したのは  $\Delta x$  をなるべくゼロにするためであった。

かくすることによって、めねじ軸心の回転中心は図 4 (d) のように少なくとも  $y$  軸上すなわちフィーラの長手方向に一致し本測定法における最も一般的な場合となり、その測定誤差を表わす式は実質的には式 (9) において  $\Delta x=0$  とおいて、さらにまったく影響ない第 3 項を省略した次式となる。

$$Z_4 \approx -\frac{P}{2\pi} \cdot \frac{S \cdot \sin \theta (\Delta y - S \cdot \cos \theta)}{R^2 - (\Delta y - S \cdot \cos \theta)^2} - \frac{R}{2} \tan \alpha \cdot \frac{S^2 \cdot \sin^2 \theta}{R^2 - (\Delta y - S \cdot \cos \theta)^2} \quad (11)$$

したがって、上式において  $\Delta y=0.1 \text{ mm}$ 、 $S=0.1 \text{ mm}$  として、3・1 と同じめねじのリード測定する場合の測定誤差を計算すると図 8 のようになる。

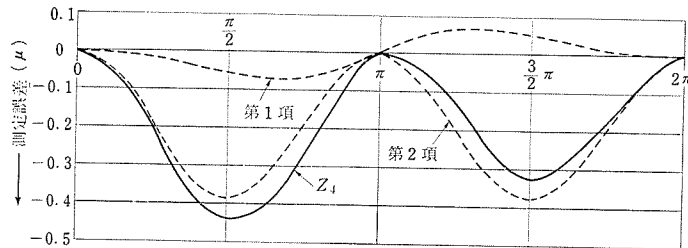


図 8 めねじ取りつけ偏心  $S=0.1 \text{ mm}$ 、めねじ軸心の回転中心とフィーラピン穴中心の設定誤差  $\Delta y=0.1 \text{ mm}$  のみにおける測定誤差  
( $P=2 \text{ mm}$ 、 $\alpha=30^\circ$  の 16 mm メートルねじを)  
(長さ 15.2 mm のフィーラで測定する場合)

すなわち、約  $0.5 \mu$  のよろめき状の測定誤差を生ずるが、これは被测めねじに全く責任のないものであり、特に、図 6 とほとんど同じであつて、 $y$  軸上の偏位はあまり問題にならないことを示すものである。そして  $\theta=n\pi$  ( $n$  は整数) において常にゼロとなるので累積ピッチ測定には影響なく、かつ本測定法によれば  $0.1 \text{ mm}$  の偏心を生ずることはまずなく、フィーラ長手方向の不一致も問題とならないが  $0.1 \text{ mm}$  より充分小さく設定しうるので、実際の場合の測定誤差は  $0.5 \mu$  よりはるかに小さくなる。本測定器としてこの程度の測定誤差は実用上まったく問題とならない。

### 3・3 めねじ取りつけ偏心がない場合

既に述べたように、この場合においてもリード測定装置の設定と関連して、いろいろ

の場合を考えることができるが、いずれの場合においても、取りつけ偏心量  $S=0$  となるので式(9)における各項とも  $\theta$  に関係ない値、すなわちめねじの回転に影響されない一定値となることから明らかなように、フィーラピン穴中心においては変位を生じないこととなり、リード測定にあたってよるめき状の測定誤差はもちろん累積的な測定誤差も生じないので、3・1および3・2で述べたような測定誤差について考慮する必要はない。

なお、理論的には、偏心がある場合はもちろん偏心がなくても、めねじ軸心とフィーラピン穴中心が一致しないときには、被测めねじに1回転を1周期とするようなサインカーブ状のよるめきがある場合、本測定装置の接触球2つを使用する測定原理が十分に活かされないはずであるが、實際上このことは問題とならない。

### 3・4 フィーラピンが水平でない場合

リード測定装置の設定にあたり、フィーラピンが水平でないと図9のようにその傾きを  $\varphi$  とすれば、フィーラピン穴中心がめねじ回転中心からはずれる量を  $e$  (先に述べた  $\Delta x$  に相当するもの) とすれば両接触球の変位は

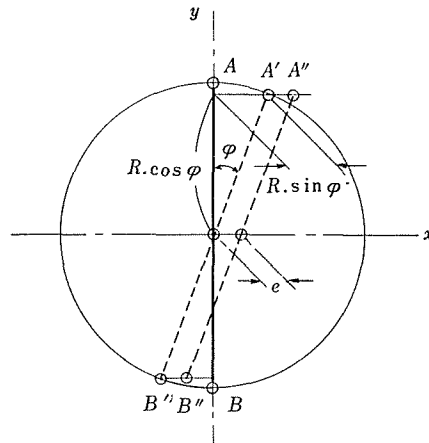


図9 フィーラピンが水平でない場合

$$Z_{A'} = \frac{P}{2\pi} \left( \frac{R \cdot \sin \varphi + e}{R \cdot \cos \varphi} \right) - \frac{R \cdot \cos \varphi}{2} \tan \alpha \cdot \left( \frac{R \cdot \sin \varphi + e}{R \cdot \cos \varphi} \right)^2 - \frac{1}{3} \cdot \frac{P}{2\pi} \left( \frac{R \cdot \sin \varphi + e}{R \cdot \cos \varphi} \right)^3 + \dots \quad (12)$$

$$Z_{B'} = \frac{P}{2\pi} \left( \frac{R \cdot \sin \varphi - e}{R \cdot \cos \varphi} \right) - \frac{R \cdot \cos \varphi}{2} \tan \alpha \cdot \left( \frac{R \cdot \sin \varphi - e}{R \cdot \cos \varphi} \right)^2 - \frac{1}{3} \cdot \frac{P}{2\pi} \left( \frac{R \cdot \sin \varphi - e}{R \cdot \cos \varphi} \right)^3 + \dots \quad (13)$$

となり、フィーラピン穴中心では

$$Z_0 = \frac{Z_{A'} + Z_{B'}}{2}$$

$$\begin{aligned} & \approx \frac{P}{2\pi} \tan \varphi - \frac{1}{2} \tan \alpha \cdot \left( \frac{R^2 \cdot \sin^2 \varphi + e^2}{R \cdot \cos \varphi} \right) \\ & - \frac{1}{3} \cdot \frac{P}{2\pi} \left( \frac{R^2 \cdot \sin^2 \varphi + 3e^2}{R^2 \cdot \cos^2 \varphi} \right) \tan \varphi \end{aligned} \quad (14)$$

の変位を受ける。

いま上式において、 $P=2\text{ mm}$ 、 $\alpha=30^\circ$  の  $16\text{ mm}$  メートルめねじを測定する場合について、 $R=7.6\text{ mm}$  として  $\varphi$  と  $e$  および  $Z_0$  の関係を計算により求めると図10のようになる。

ゆえに、挿入棒を回転できるようにしておいて、最小点を見出せば、フィーラピンが水平になった場合となる。

また、フィーラピン穴中心をめねじ回転中心と一致させる精度は図10の  $\varphi$  の値に対する最大点の曲率によって比較することができるが、 $\varphi$  の値が大きい程、ごくわずかであるが、よいことを示しているので、最初フィーラピンの水平は適当でよい。

なお、図10に写真2を座標測定器で精密に測定した結果を○印で記入したが、よく一致している。このことは、本測定装置の検出精度のよいことを証明しているものと思う。

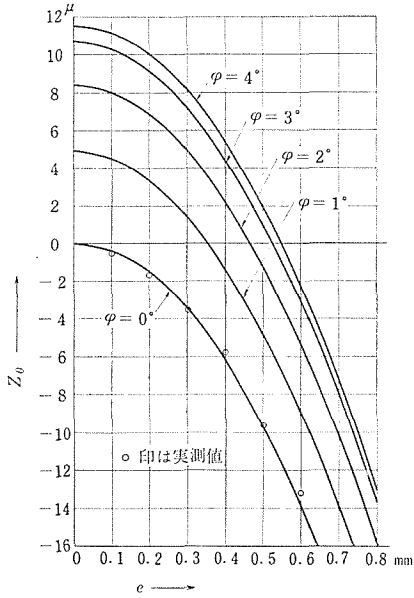


図10 フィーラピンが水平でない場合の  $x$  軸方向変位  $e$  とピン穴中心の  $z$  軸方向変位  $Z_0$  の関係

#### 4. めねじ軸心に対するねじリングゲージ端面の直角誤差の影響

図11のように、めねじ軸心に対するねじリングゲージ端面の直角誤差を  $\beta$  とすると、フィーラの両接触球  $A$ 、 $B$  は1回転後にめねじのピッチ方向と一致しないフィーラピン穴進行線と平行な  $A_1$ 、 $B_1$  でフランクに接触することとなるので、フィーラピン穴中心は

$$Z_G = \frac{AA_1 + BB_1}{2} - P \quad (15)$$

の変位、すなわち測定誤差を生ずることになる。 $AA_0$ 、 $BB_0$  をめねじの正しいピッチ方

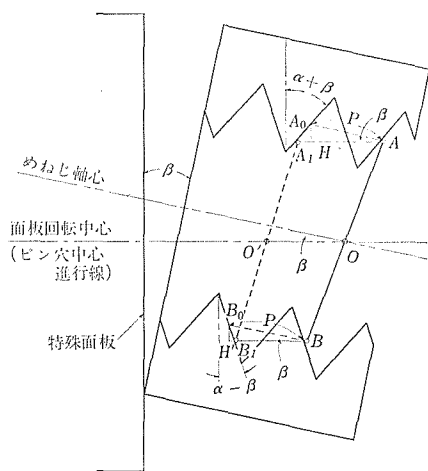


図11 めねじ軸心に対するねじリングゲージ端面の直角誤差がある場合

向とし、 $H, H'$  をそれぞれ  $A_0, B_0$  より  $AA_1, BB_1$  への垂線とすれば、

$$\begin{aligned}
 AA_1 &= AH + HA_1 \\
 &= P \cdot \cos \beta \\
 &\quad + P \cdot \sin \beta \cdot \tan (\alpha + \beta) \\
 &= P \{ \sin \beta \cdot \tan (\alpha + \beta) \\
 &\quad + \cos \beta \}, \tag{16}
 \end{aligned}$$

ただし、 $P, \alpha$  は被測ねじのピッチおよびフランク角。

となり、同様にして、

$$\begin{aligned}
 BB_1 &= P \{ \cos \beta \\
 &\quad - \sin \beta \cdot \tan (\alpha - \beta) \} \tag{17}
 \end{aligned}$$

となるから、

$$Z_G = \frac{P}{2} \left[ \sin \beta \{ \tan (\alpha + \beta) - \tan (\alpha - \beta) \} + 2 (\cos \beta - 1) \right] \tag{18}$$

となる。上式を  $\beta$  が小さいという条件によって簡単になると、

$$Z_G = \frac{P}{2} \sin^2 \beta \{ 1 + 2 \tan (\alpha + \beta) \cdot \tan (\alpha - \beta) \} \tag{19}$$

となる。したがって、 $n$  回転後には次のようになる。

$$Z_{Gn} = \frac{nP}{2} \sin^2 \beta \{ 1 + 2 \tan (\alpha + \beta) \cdot \tan (\alpha - \beta) \}. \tag{20}$$

ゆえに、めねじに累積ピッチ誤差がなくても上式で示される累積ピッチ誤差のような測定誤差を生ずることになる。

いま、 $P = 2 \text{ mm}$ 、 $\alpha = 30^\circ$  の  $16 \text{ mm}$ メートルねじにおいて、 $\beta$  が10分、20分、30分の場合について計算すると表1のようになる。

表1 めねじ軸心に対するねじリングゲージ端面の直角誤差がある場合の累積ピッチ誤差状の測定誤差

(16 mmメートルねじ、ピッチ2 mm、フランク角  $30^\circ$  の場合)

	$\mu$									
回転数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10 分	0.01	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.13	0.14
20 分	0.06	0.11	0.17	0.23	0.29	0.34	0.40	0.46	0.51	0.57
30 分	0.13	0.25	0.38	0.51	0.64	0.76	0.89	1.02	1.14	1.27

また、めねじの回転すなわちフィーラの進行に伴って、よろめきも増大するが、これは、取り付け偏心がある場合において、偏心量が次第に増大することと近似的には同様に考えられるので、主として累積ピッチ誤差を測定しようとする本測定器においては、式(20)で充分であろう。

なお、リングゲージの製作においては、端面の直角誤差は非常に少なく、20分も30分もあることはなく、本測定器としては表1からわかるようにその誤差は実用上まずさしつかえない。

## 5. 測定装置および面板各部誤差の影響

### 5・1 測定装置の影響

その軸心と端面との直角誤差のないめねじが、誤差のない面板に偏心なく正しく取り付けられ、めねじ回転中心とフィーラピン穴中心が一致した場合でも、測定装置各部に工作上、構造上および設定上の誤差があると、リード測定に誤差を与える。以下これらについて述べる。

#### 5・1・1 フィーラ長さの中心とピン穴中心が一致しない場合

図12のように、フィーラの全長を $2R$ 、その一方の接触球からピン穴中心までの長さを $l$ 、両接触球の変位を $Z_a$ 、 $Z_b$ とし、ピン穴中心の変位を $Z$ とすれば、

$$Z = \frac{2RZ_a - l(Z_b - Z_a)}{2R} \quad (21)$$

であるから、微分して

$$dZ = \frac{Z_b - Z_a}{2R} dl \quad (22)$$

となり、 $l = \frac{2R}{2} = R$  とすると、

$$dZ = \frac{Z_b - Z_a}{2R} dR \quad (23)$$

となる。

したがって、たとえば $2R = 15$  mm のフィーラについて、 $Z_a = 10 \mu$ 、 $Z_b = 20 \mu$  の場合、ピン穴中心の検出精度に $1 \mu$ を要求するには、式(23)から

$$dR = \frac{2R}{Z_b - Z_a} dZ \quad (24)$$

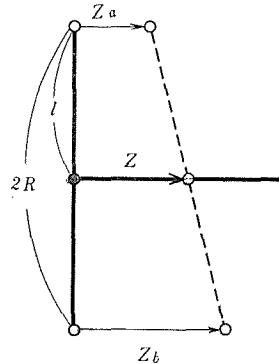


図12 フィーラ中心とピン穴中心の関係

$$= \frac{15}{0.01} \cdot 0.001 = 1.5 \text{ mm} \quad (25)$$

となり、工作上ほとんど問題にならない。

### 5・1・2 フィーラピン穴中心が被測めねじの累積ピッチ誤差のため、最初一致させためねじ軸心よりはずれるための影響

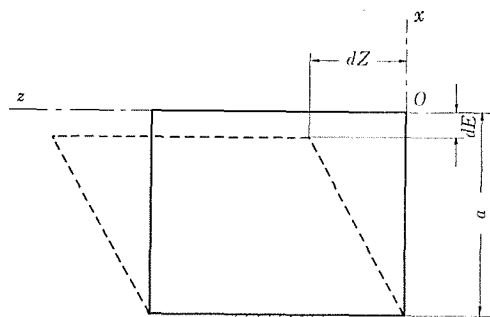


図13 ピン穴中心のz軸方向の変位に伴うx軸方向の変位

測定装置の構造上このはずれは水平方向に生ずる。そして、十字ばね接手に囲まれた設計上の直角四辺形が平行四辺形となるため、図13のように累積ピッチ誤差を  $dZ$  とし、十字ばね間の軸直角方向の長さを  $a$  とすれば、そのためにピン穴中心がめねじ軸心からはずれる量  $dE$  は

$$dE = a - \sqrt{a^2 - dZ^2} \quad (26)$$

となり、これはフィーラ長手と直角方向すなわち  $x$  軸上の偏位と考えられるので、その影響は近似的に、

$$\begin{aligned} \Delta P &\approx -\frac{R}{2} \tan \alpha \cdot \left(\frac{dE}{R}\right)^2 \\ &= -\frac{R}{2} \tan \alpha \cdot \left(\frac{a - \sqrt{a^2 - dZ^2}}{R}\right)^2 \end{aligned} \quad (27)$$

となり、記録上は真の累積ピッチの伸縮より、この量だけマイナスされているはずである。

しかし、この場合も本器の寸法から計算すると全く問題とならない。

### 5・1・3 その他の場合

(1) めねじ軸心に対して挿入棒中心線が傾いている場合も考えられるが、設定操作を注意深く行えばその傾きはごくわずかとなりほとんど無視できる。そしてこのことは 5・1・2 に準じて考えればよい。

(2) フィーラピン穴のガタは回転中心位置のばらつきとなり、測定誤差発生の原因となるが注意深く加工された場合には非常に少なく、特にフィーラの回転角がきわめてわずかで、さらに挿入棒側のみから押されていることを思えば、ほとんど問題ないであろう。

## 5・2 面板各部誤差の影響

面板における製作上および操作上の誤差が、めねじのリード測定におよぼす影響は、

結果的にはほとんど既に述べたことに関連があるので、ここでは簡単に述べる。

(1) ねじリード測定器の回し板への固定部の外周とリード測定器主軸センタは偏心がなくすること。この誤差による影響は、めねじの取り付け偏心の原因となる。

(2) この固定部外周とめねじ取り付け面板の円筒内面は高度の真円で、かつ高度のはめあいであること。このはめあいにガタがあると、めねじの取り付け偏心およびねじ軸心と端面の直角誤差のある場合と同様の影響を与える。

(3) めねじ取り付け面板面は、常にねじリード測定器の両軸中心線と直角であるように、注意されなければならない。この誤差は、めねじ軸心と端面の直角誤差のある場合と同じ結果となる。

## 6. む す び

本測定法における重要点についての測定誤差解析結果をまとめると、

(1) めねじ取り付けおよび測定装置設定誤差の影響は、本測定方法の一般的な場合すなわち式(11)においては筆者が計算した偏心量および設定誤差 0.1 mm も実際より相当に大きいものである。それでも、被測めねじに責任のないよろめき状の測定誤差の最大が  $0.5 \mu$  (この場合はすべてマイナスとなる) 以下で実用上差しつかえない。そして累積ピッチ測定には影響しない。

(2) めねじ軸心と端面の直角誤差の影響は、一般にその直角誤差は小さく、取り付け誤差を含めても先に計算した30分 ( $1/2^\circ$ ) より大きくなることはまずないと思はれる。たとえばそれが20分としても 16 mmメートルねじ程度なら、約20山目にしてようやく  $1 \mu$  の被測めねじに責任のない累積ピッチ誤差状の測定誤差があらわれる。やはり被測めねじに責任のないよろめきもだんだん増大するがほとんど問題とならない。

(3) めねじ回転中心とフィーラピン穴中心の不一致もめねじ取り付け偏心がない場合には累積ピッチ測定にはなんらの影響を与えない。

(4) めねじリード測定装置およびめねじ取り付け特殊面板の工作上、機構上、設定上の誤差は上に述べたことと関係するところもあるが、いずれもたいした問題とならない。

要するに、このめねじリード測定法は、その測定器の製作、測定操作が比較的容易で、かつ高い精度が得られるので、実用上もなんら問題なく充分採用できることがわかった。

おわりに、この研究に終始熱心な指導を賜った東京工業大学精密工学研究所山本晃教授に深甚なる謝意を表する次第である。

## 文 献

- 1) 山本晃・市川誠：自動記録式ねじリード測定器の試作，日本機械学会・精機学会諏訪地方講演会前刷（1962—10），31～37.
- 2) 山本晃・他4名：自動記録式親ねじリード測定器の研究と試作，精密機械，28巻12号（1962），697.
- 3) 上 掲：2）698ページ.



## Summary

### Analysis of Error in Internal Thread Lead Measurement

Makoto ICHIKAWA

(Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering)

An outline of the internal thread lead measurement and the analytical results on the matters which come into question in the measuring method are explained in this paper.

The chief results obtained by this analysis are as follows:

(1) In case of eccentric chacking, only the periodic error which is not responsible for the internal thread is recorded as a measuring error. But this error does not increase, and it is generally very slight.

(2) If the internal thread has a right angle error between the center line of the thread and the end, the periodic error and the cumulative pitch error which have nothing to do with the lead of the internal thread are recorded, as a measuring error. And these errors increase gradually as the rotation of the internal thread, but they are generally of no importance.

(3) In case that the rolling center of the internal thread does not coincide with the center of the feeler pin hole, there is no influence on the internal thread lead measurement.

(4) The error made in manufacturing and operating the internal thread lead tester and the special face plate has no necessity of being taken into consideration.

Accordingly, this method of the internal thread lead measurement is worthy of a practical using.