

ねじ切り旋盤におけるベッド滑り面精度が被削ねじのピッチ精度におよぼす影響について

市川 誠*

(昭和37年12月24日受理)

1. はじめに

ねじ切り旋盤で、一山バイトによりねじを切削する方法は、注意深くさえ行なわれると、被削ねじの総合精度が他の方法に比較してよい上にいろいろの利点を有している。

この場合に、被削ねじのピッチ精度に影響をおよぼす部分としては、親ねじの精度および軸振れ、換え歯車の分割誤差および偏心、主軸の軸振れをはじめ、ねじ切り旋盤特有の親ねじの累積ピッチ誤差補正機構なども挙げられるが、ここでは、ベッド滑り面精度について述べる。

このように滑り面を論ずるには、往復台側のベッドとの滑り面も考慮されるべきであるが、この往復台側は理想的なものとして、ベッド滑り面のみの平坦度、真直度および主軸と心押両センタを結ぶ線との平行度が被削ねじのピッチ精度におよぼす影響について解析した結果を主として述べ、さらに SIP 4 番形ねじ切り旋盤について、実際に行なったベッドと往復台の滑り面精度の向上経過とその最終総合精度が被削ねじのピッチ精度におよぼす影響について述べる。

2. ベッド滑り面の特性とその影響

2・1 ベッド滑り面不良による往復台の傾きとそれが被削ねじのピッチ精度におよぼす影響

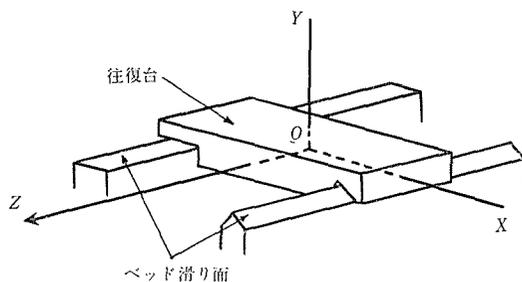


図1 往復台傾きの回転軸

ベッド滑り面の精度不良によって、往復台は移動中に種々の傾きを生じ、それに伴って、往復台上の刃物台のバイトが不規則に動き被削ねじのピッチ精度に影響を与える。

その傾きは、往復台とベッド滑り面の関係を単純化して考えると図1のように、往復台とベッドとの接触面の中心

* 機械工学教室，講師

を座標の原点とし、互いに直角なその三つの座標軸を回転軸とするような三種類にまとめられる。すなわち、

- (1) 往復台の移動方向と直角な水平軸（X軸）を回転軸とする傾き、
 - (2) 往復台の移動方向と直角な鉛直軸（Y軸）を回転軸とする傾き、
 - (3) 往復台の移動方向と平行な水平軸（Z軸）を回転軸とする傾き
- である。以下これらの影響について述べる。

なお、一般にバイトはすくい角のため、刃先を被削ねじ軸心と水平にすると、有効径位置は軸心より下がり、解析は非常にやっかいとなるが、ここでは便宜上、バイトはすくい角をもたないものとする。

2・1・1 X軸を回転軸として傾く場合

図2のように、往復台の傾きを θ_X (秒)、ベッド滑り面より被削ねじの軸心すなわちバイトの刃（以下単にバイトと言う）までの高さを h (mm) とすれば、 θ_X によるバイトの動きは Z 軸方向において、

$$dz_1 = h \cdot \sin \theta_X \quad (1)$$

となる。符号は、バイトを心押側から主軸側へ送り、右ねじの左フランクを切削する場合のピッチ誤差を標準とする。

また、この場合バイトが被削ねじの軸心から下がる長さを dy (mm) とすると、

$$dy = 2h \cdot \sin^2 \frac{\theta_X}{2} \quad (2)$$

となり、被削ねじの半径（有効径の半分、ねじ軸心よりバイト中心までの距離）を r (mm) とすれば、理想的ねじ面の $X=r$ 断面において dy に対応する Z 軸方向の長さもピッチ誤差となる。それを dz_2 (mm) とすれば、 $X=r$ 断面におけるねじの形状をあらゆる式から計算されて

$$dz_2 = \frac{Ph}{\pi r} \sin^2 \frac{\theta_X}{2} - \frac{2h^2 \tan \alpha}{r} \sin^4 \frac{\theta_X}{2} - \frac{4Ph^3}{3\pi r^3} \sin^6 \frac{\theta_X}{2} + \dots \quad (3)$$

ただし、 P および α は被削ねじのピッチ (mm) およびフランク角(度)。

となる。したがって、この場合におけるピッチ誤差は

$$\delta_1 = dz_1 + dz_2, \quad (4)$$

すなわち、

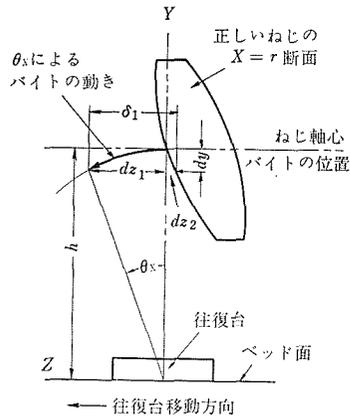


図2 往復台がX軸を回転軸として傾く場合

$$\delta_1 \doteq h \cdot \sin \theta_X + \frac{Ph}{\pi r} \sin^2 \frac{\theta_X}{2} - \frac{2h^2 \cdot \tan \alpha}{r} \sin^4 \frac{\theta_X}{2} - \frac{4Ph^3}{3\pi r^3} \sin^6 \frac{\theta_X}{2} \quad (5)$$

となる。

厳密に考えればこのようになるが、一般に θ_X はきわめて小さく、普通のねじ切りにおいては式 (5) において第 2 項以下は無視して差しつかえない程度であり、さらに、

$$\theta(\text{秒}) \doteq \theta \cdot 5 \times 10^{-6} \text{ (rad.)} \quad (6)$$

であるから、結局式 (5) は近似的に、

$$\delta_1 \doteq h \cdot \theta_X \cdot 5 \times 10^{-6} \text{ (mm)} \quad (7)$$

$$= h \cdot \theta_X \cdot 5 \times 10^{-3} \text{ (}\mu\text{)} \quad (8)$$

となる。

実際の問題として、たとえば SIP 4 番形式のねじ切り旋盤では、約 $h=130 \text{ mm}$ であるから、傾き角に対するピッチ誤差を計算してみると表 1 のようになる。

表 1 往復台が X 軸を回転軸として傾く場合の傾き角と被削ねじのピッチ誤差との関係

| 傾き角 θ_X (秒) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| ピッチ誤差 δ_1 (μ) | 0.7 | 1.3 | 2.0 | 2.6 | 3.3 | 3.9 | 4.6 | 5.2 | 5.9 | 6.5 |

2・1・2 Y 軸を回転軸として傾く場合

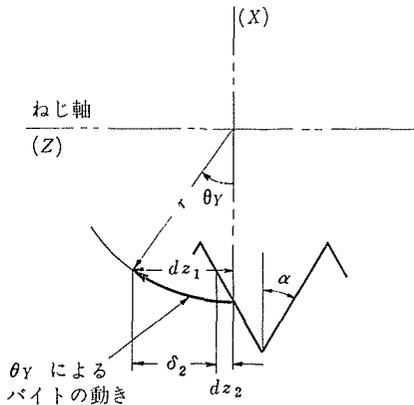


図 3 往復台が Y 軸を回転軸として傾く場合

図 3 のように、Y 軸を回転軸とする往復台の傾きを θ_Y (秒) 被削ねじの半径を r (mm) とすればそのピッチ誤差は図から明らかなように、

$$\delta_2 = dz_1 - dz_2 \quad (9)$$

となり、

$$dz_1 = r \sin \theta_Y, \quad (10)$$

$$dz_2 = 2r \tan \alpha \cdot \sin^2 \frac{\theta_Y}{2} \quad (11)$$

α は被削ねじのフランク角。

であるから、

$$\delta_2 = r \sin \theta_Y - 2r \tan \alpha \cdot \sin^2 \frac{\theta_Y}{2} \quad (12)$$

となる。

ここでも、 θ_Y はきわめて小さいので第2項は省略し、さらに近似的に

$$\delta_2 \approx r \cdot \theta_Y \cdot 5 \times 10^{-3} \quad (\mu) \quad (13)$$

としてさしつかえない。

実際の寸法として、 $r=20$ mm のねじを切削する場合の傾き角に対するピッチ誤差を計算してみると表2のようになる。

表2 往復台がY軸を回転軸として傾く場合の傾き角と被削ねじのピッチ誤差との関係

| 傾き角 θ_Y (秒) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| ピッチ誤差 δ_2 (μ) | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 |

2・1・3 Z軸を回転軸として傾く場合

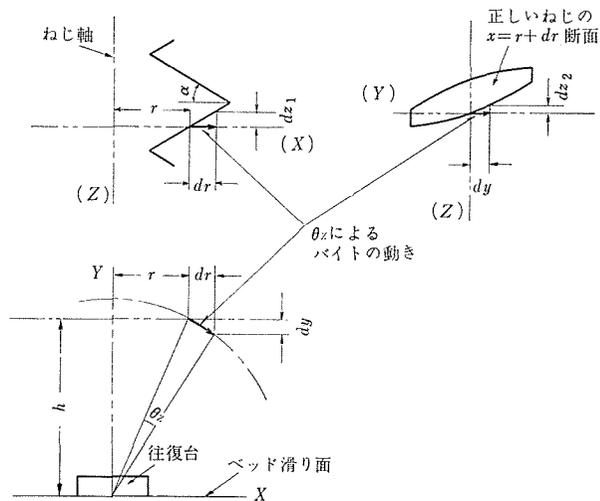


図4 往復台がZ軸を回転軸として傾く場合

図4のようにZ軸を回転軸とする往復台の傾きを θ_Z (秒)、ベッド滑り面より被削ねじ軸心までの高さを h (mm)、被削ねじの半径を r (mm) とすれば、往復台が θ_Z 傾くためにバイト中心の動きのねじ軸を含む水平面内におけるX軸方向成分 dr (mm) は

$$dr = h \cdot \sin \theta_Z - r(1 - \cos \theta_Z) \quad (14)$$

となるので、ピッチ誤差となるZ軸方向成分 dz_1 (mm) は次のようになる。

$$dz_1 = \{h \cdot \sin \theta_Z - r(1 - \cos \theta_Z)\} \tan \alpha. \quad (15)$$

ただし、 α は被削ねじのフランク角。

さらに、Y軸方向の成分 dy (mm) は

$$dy = r \cdot \sin \theta + h (1 - \cos \theta_Z) \tag{16}$$

となるので、これに対応する正しいねじ面の $X = r + dr$ 断面における Z 軸方向の長さもピッチ誤差となりそれを $dz_2(\text{mm})$ とすれば、

$$dz_2 = \frac{P \{r \cdot \sin \theta_Z + h (1 - \cos \theta_Z)\}}{2\pi \{r + h \cdot \sin \theta_Z - r (1 - \cos \theta_Z)\}} - \frac{\{r \cdot \sin \theta_Z - h (1 - \cos \theta_Z)\}^2 \tan \alpha}{2 \{r + h \cdot \sin \theta_Z - r (1 - \cos \theta_Z)\}} \dots\dots \tag{17}$$

となる。したがって、真のピッチ誤差は

$$\delta_3 = dz_1 + dz_2, \tag{18}$$

すなわち、

$$\begin{aligned} \delta_3 \doteq & \{h \cdot \sin \theta_Z - r (1 - \cos \theta_Z)\} \tan \alpha \\ & + \frac{P \{r \cdot \sin \theta_Z + h (1 - \cos \theta_Z)\}}{2\pi \{r + h \cdot \sin \theta_Z - r (1 - \cos \theta_Z)\}} \\ & - \frac{\{r \cdot \sin \theta_Z + h (1 - \cos \theta_Z)\}^2 \tan \alpha}{2 \{r + h \cdot \sin \theta_Z - r (1 - \cos \theta_Z)\}} \end{aligned} \tag{19}$$

となる。

しかし、式(18)における θ_Z は小さいので近似計算すると、

$$\begin{aligned} \delta_3 \doteq & \left(h \cdot \theta_Z - \frac{r \cdot \theta_Z^2}{2} \right) \tan \alpha + \frac{P \left(r \cdot \theta_Z - \frac{h \cdot \theta_Z^2}{2} \right)}{2\pi \left(r + h \cdot \theta_Z - \frac{r \cdot \theta_Z^2}{2} \right)} \\ & - \frac{\left(r \cdot \theta_Z - \frac{h \cdot \theta_Z^2}{2} \right)^2 \tan \alpha}{2 \left(r + h \cdot \theta_Z - \frac{r \cdot \theta_Z^2}{2} \right)} \end{aligned} \tag{20}$$

となり、さらにその値が非常に小さくなる項を無視すると次のようになる。

$$\delta_3 \doteq \left(h \cdot \tan \alpha + \frac{P}{2\pi} \right) \theta_Z \cdot 5 \times 10^{-3}. \quad (\mu) \tag{21}$$

上式に実際寸法として、 $h = 130 \text{ mm}$ 、 $P = 6 \text{ mm}$ としフランク角が 30° と 15° の場合について計算すると表 3 が得られる。

表3 往復台がZ軸を回転軸として傾く場合の傾き角と被削ねじのピッチ誤差の関係

| 傾き角 θ_Z (秒) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------------|
| ピッチ誤差 δ_3 (μ) | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 1.1 | 1.3 | 1.4 | 1.6 | 1.8 | $\alpha=15^\circ$ |
| | 0.4 | 0.8 | 1.1 | 1.5 | 1.9 | 2.3 | 2.7 | 3.0 | 3.4 | 3.8 | $\alpha=30^\circ$ |

2・2 ベッド滑り面が両軸中心線と平行でない場合にそれが被削ねじのピッチ精度におよぼす影響

ベッド滑り面の中心線が主軸心押両センタを連ねる両軸中心線と平行でないとは、

(1) ベッド滑り面中心線が両軸中心線と平行な水平面内にあるが平行でない。すなわち水平面内における不平行。

(2) ベッド滑り面の中心線が両軸中心線と同一鉛直面内にあるが平行でない。すなわち鉛直面内における不平行。

の2つの場合がある。以下これらの場合における不平行程度とピッチ精度におよぼす影響を計算する。

2・2・1 水平面内における不平行の影響

このような場合には、往復台の送りに伴ってバイトがねじ軸心を含む平面内においてX軸方向に動くので、不平行程度を切削すべき一定の長さに対して dr (μ) とすれば、その間のピッチ誤差は図4より、

$$\delta_4 = dr \cdot \tan \alpha \quad (\mu) \quad (22)$$

となり、 dr に対するピッチ誤差を、被削ねじのフランク角 15° および 30° について計算すると表4が得られる。

表4 ベッド滑り面と両軸中心線の水平面内における不平行程度と被削ねじのピッチ誤差との関係

| 不平行程度 dr (μ) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------------|
| ピッチ誤差 δ_4 (μ) | 0.3 | 0.5 | 0.8 | 1.1 | 1.4 | 1.6 | 1.9 | 2.1 | 2.4 | 2.7 | $\alpha=15^\circ$ |
| | 0.6 | 1.2 | 1.7 | 2.3 | 2.9 | 3.5 | 4.1 | 4.6 | 5.2 | 5.8 | $\alpha=30^\circ$ |

2・2・2 鉛直面内における不平行の影響

往復台の送りに伴って、このような場合には、被削ねじの半径を r とすれば、バイトがねじ面の $X=r$ 断面内においてY軸方向に動くので、不平行程度を切削すべき一定の長さに対して dy (μ) とすれば、その間のピッチ誤差は、たとえば図2における式(3)と同様に、

$$\delta_5 = \frac{P \cdot dy}{2\pi r} - \frac{\overline{dy}^2}{2r} \cdot \tan \alpha - \frac{P \overline{dy}^3}{6\pi r^3} + \dots \quad (\mu) \quad (23)$$

となり、 dy に対するピッチ誤差を計算してみると、上式の第2項以下を無視して、 $r=20\text{ mm}$ 、 $P=6\text{ mm}$ の被削ねじにおいて表5のようになる。

表5 ベッド滑り面と両軸中心線の鉛直面内における不平行程度と被削ねじのピッチ誤差との関係

| 不平行程度 dy (μ) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ピッチ誤差 δ_5 (μ) | 0.05 | 0.10 | 0.14 | 0.20 | 0.24 | 0.29 | 0.34 | 0.38 | 0.43 | 0.48 |

2・3 まとめ

ベッド滑り面精度が被削ねじのピッチ精度におよぼす影響としては、以上述べたような要素に分けて考えればよいようである。

しかし、実際にはこれらの影響がいずれも単独に現われるものでなく、むしろすべてが複雑に組み合って相加された形となって、被削ねじにピッチ誤差を与えるが、この場合においても上に述べた各要素を測定することによって、被削ねじにピッチ誤差を与える原因となるベッド滑り面の精度は正しく知ることができる。

これら各要素の影響を比較するために、表1から表5までを一まとめにすると図5のようになり、同一の傾きあるいは同一の不平行程度によって被削ねじのピッチ精度におよぼす影響の大小がよくわかる。したがって、ねじ切り旋盤のベッド滑り面は、工作上および保守上どの点に最も注意すべきかを知ることができる。

また、ベッド滑り面の性質上、その影響はきわめて低周波的に現われるもので、被削ねじには累積ピッチ誤差の形となり、SIP 4番形式のねじ切り旋盤では、その補正機構

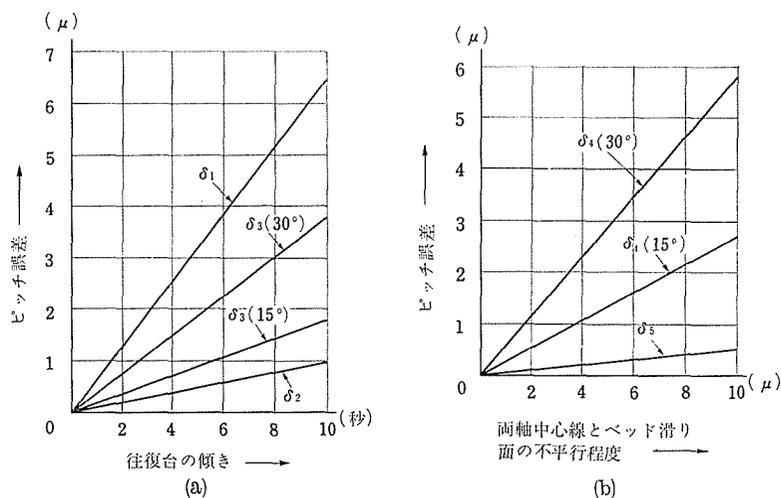


図5 往復台の各種の誤差と被削ねじピッチ誤差との関係
(ただし、SIP 4番形ねじ切り旋盤で、半径 20 mm、
ピッチ 6 mm、長さ 100 mm のねじを切削する場合)

のため親ねじの累積ピッチ誤差などと共に補正されてしまうことになる。しかし、このようなことは、ねじ山の角度誤差や有効径の不整の原因にもなるので、ベッド滑り面はできるだけよくするに越したことはない。

3. ベッドと往復台の滑り面精度向上経過とその影響

実験に供されたねじ切り旋盤は、SIP 4 番形式の約20年前の国産品であるが、長年工場でねじ切りに使用されたため両滑り面が非常に摩耗して、往復台の送りに伴うX軸中心の傾きは図6 (a) の手入れ前のように、その一方のみについても不規則であった。そこで両滑り面の状態を調べてみると、ベッドの滑り面は激しく使用されたと思われる中程がへこんでおり、往復台の滑り面は両端付近が摩耗して舟底型になっていた。

これをキサゲおよび砥石作業によって、往復台の滑り面をわずかに申へこみにして両

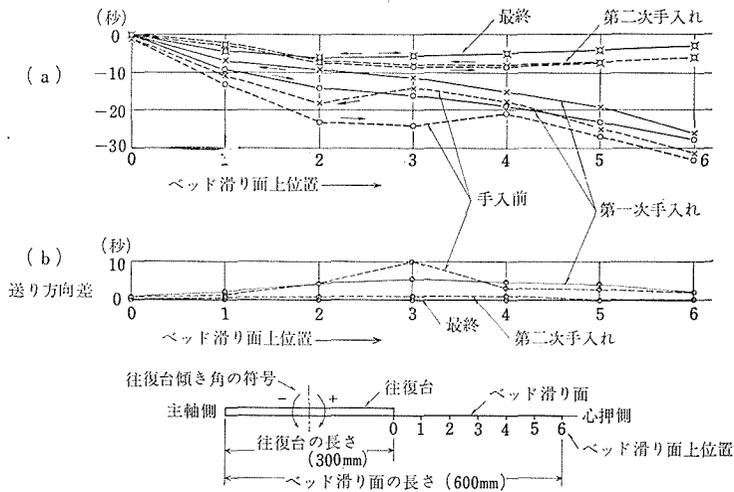


図6 ベッドと往復台の滑り面精度 (X軸を回転軸とする傾き) の向上経過

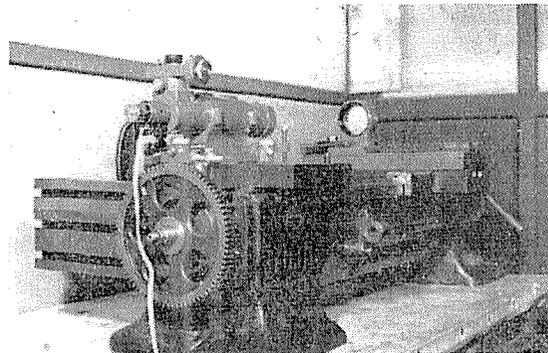


写真1 ベッドと往復台の滑り面精度 (X軸およびY軸を回転軸とする傾き) の測定方法

端でベッドの滑り面に接触するようにし、ベッド滑り面の平坦度などをその影響が既に述べたように被削ねじのピッチ誤差の許容範囲内になるまで直そうとした。

この間の作業による精度向上経過のうち、図5からもわかるように最も影響の大きいX軸を回転軸とする傾きについて測定した結果を図6(a)に示した。

測定方法は写真1のように主軸台をはずして、1秒読みのオートコリメータを取りつけ、往復台をベッド上の一定位置に、最初主軸側から心押側へ、次に心押側から主軸側へと送って読み取った。

同図(b)は、往復台をベッド上の一定位置におくために、主軸側と心押側の両方向から送った場合の傾きの差を示し、主として、往復台の滑り面が舟底形になっているため、そのすきまに油などが入る影響と考えられるもので、往復台送りの安定性を判断する一つの材料と言える。

いずれにせよ最終的には非常によくなったので、図6(a)によりベッド滑り面上位置2~6の範囲を使用するようにすれば、その送り距離すなわち被削ねじ長さ約200mmについて傾き約3秒となり、式(8)あるいは図5(a)より被削ねじピッチに 2μ の誤差を与えるが、被削ねじの長さをその半分100mmとし、ベッド滑り面上2~4の範囲を使用すれば、この場合の傾き約1秒でこれによる被削ねじのピッチ誤差は

$$\delta_1 = 0.6 \mu \tag{24}$$

となり、その影響は非常に小さくなる。

次に、Y軸を回転軸とする傾きについても図7のようになって、ベッド滑り面上2~4においては、往復台の傾き約1秒で被削ねじピッチに

$$\delta_2 = 0.1 \mu \tag{25}$$

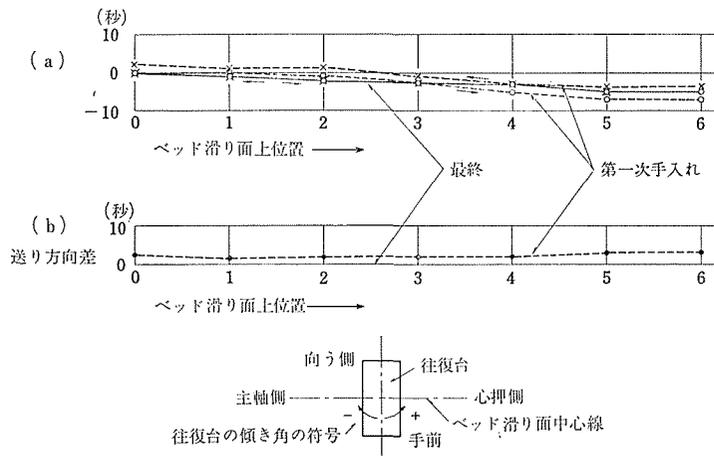


図7 ベッドと往復台の滑り面精度(Y軸を回転軸とする傾き)の向上経過

の誤差を与える。

さらに、主軸心押両センタ間にテストバーを支持して、往復台上の刃物台に固定した SIP インジケータで両軸中心線とベッド滑り面の平行程度を見ながら主として心押センタを調整した結果、ベッド滑り面上 2～4 において、

水平面内における不平行程度は約 1μ 、両軸中心線に対し滑り面の主軸側が向うに寄っている。

鉛直面内における不平行程度は約 8μ 、両軸中心線に対し滑り面の主軸側が低い。ところまで精度が向上した。

これらが被削ねじピッチに与える影響は、フランク角 15° の場合に式(21)あるいは図 5 (b) より

$$\delta_4 = 0.3 (0.6) \mu, \quad (26)$$

() 内はフランク角 30° の場合。

および、

$$\delta_5 = 0.4 \mu \quad (27)$$

となる。

Z軸を回転軸とする傾き角は実際に測定しなかったが、水平面内における不平行程度において、この傾き角の影響も含めて測定したことになるので、それから推測しても非常に小さく、ほかの場合と同程度もしくはそれ以下と考えられるが、1秒とすれば被削ねじのピッチ誤差は式 (20) あるいは図 5 (a) より、

$$\delta_3 = 0.2 (0.4) \mu \quad (28)$$

としてよいであろう。

これらのベッド滑り面の影響による被削ねじピッチに対する総合誤差は、既に述べたように各誤差が相加されたものとなるが、このベッド滑り面において、被削ねじの左フランクを、往復台を、心押側から主軸側へ送って切削するときの各誤差の符号は、その原因となる傾き角および不平行程度の方向から容易にわかり、総合誤差は

$$\delta = +\delta_1 - \delta_2 - \delta_3 - \delta_4 + \delta_5 \quad (29)$$

となり、上式にそれぞれの値を代入すると、

$$\begin{aligned} \delta &= +0.6 - 0.1 - 0.2 (0.4) - 0.3 (0.6) + 0.4 \mu \\ &= +0.4 (-0.1) \mu \end{aligned} \quad (30)$$

() 内はフランク角 30° の場合。

となる。

この程度の影響はやむをえないと思われる。

なお、右フランクを切削する場合の総合誤差はフランク角を含む項の符号を変えたものとなる。

このように、精度向上されたベッド滑り面が被削ねじピッチに与える影響は相当小さくなる。このことは、標準ねじを被削ねじのかわりに、また検出精度の非常により電気測微器をバイトのかわりに取りつけて、ちょうどねじ切削と同じ状態で調べた結果によって確かめられた。すなわちその測定値は親ねじの累積ピッチ誤差がそのままあらわれて、ベッド滑り面の影響はほとんど認められなかった。

4. む す び

ベッド滑り面の状態によって生ずる往復台すなわちバイトの不規則な運動を往復台の送りに伴う傾きと不平行程度に分けて解析し、滑り面精度と被削ねじのピッチ精度との関係を明らかにした。

これによると、傾きでは往復台の進行方向と直角な水平軸を回転軸とする傾きの影響が最も大きく、両軸中心線とベッド滑り面の平行度では、水平面内における不平行度の影響が大きいことがわかったので、ねじ切り旋盤のベッド滑り面の設計、製作、保守上参考になるであろう。

なお、実際に滑り面の精度向上作業をした経験から、滑り面のみについて言えば、被削ねじにおよぼす影響を最小限度に押さえることもそう困難でないと思われる。

おわりに、本研究に貴重な示唆と指導をいただいた東京工業大学精密工学研究所山本晃教授に感謝するものである。

文 献

- 1) 山本 晃：ねじ工作法，誠文堂新光社，1版（1959），1.
- 2) 上 掲：3～14ページ.
- 3) 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），698.

Summary

On Influence of Accuracy of Bed Sliding Surface on Pitch Accuracy of Screw Cut in Screw Cutting Lathe

Makoto ICHIKAWA

(Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering)

The irregular motion of a cutting tool which is installed on the carriage caused by the condition of a bed sliding surface has an influence on the pitch accuracy of a screw which is to be cut, and the influence was analyzed theoretically in this paper.

Namely, the cause of irregular motion of cutting tool lies in the following points— the three sorts of inclination which have their center axis in the center of the sliding surface between a bed and a carriage, and the two parallelisms between the center line of the both axis of a screw cutting lathe and the center line of a bed sliding surface.

So, the analysis carried out by the idea related above has brought about the following results.

(1) The inclination round of the horizontal axis gives a larger error to the pitch of a cut screw than any other inclinations.

(2) The influence of parallelism in the horizontal plane is larger than that of a vertical one.

Accordingly, these two things are to be borne in mind in manufacturing and preserving the bed sliding surface of a screw cutting lathe.