緊張せる鋼線を基準とするベッド滑り面の真直度測定に就て⁽¹⁾

(昭和 14 年 11 月 17 日 第 361 回 [工作機械部門] 講演會に於て講演)

正員 海老原 敬吉⁽²⁾ 准員 山 本 晃⁽³⁾

1. 緒 言

工作機械や測定機等のベッド滑り面の真直度を精密に測定する方法には、水準器を使用するもの、オートコリメーション法によるもの、或は直定規又は緊張せる鋼線若しくは液面等を基準とする方法等が挙げられる。以上の内水準器を使用するものと直定規又は緊張せる鋼線を基準とする方法とは、日本機械學會工作機械規格改訂委員會に於て改訂立案せられ、最近臨時日本標準規格として発表せられた工作機械のベッド滑り面の真直度測定並に DIN 仮規格等に採用せられてゐる。

これ等の規格に定められた方法とは少し異なるが、特殊なる支持台上に乗る水準器を用ひ、ベッド滑り面の垂直面内における真直度を精密に測定する方法とその測定結果に就ては既に筆者⁽⁴⁾の発表せる所であるが、直定規又は緊張せる鋼線を基準としてベッド滑り面の水平面内又は垂直面内における真直度測定に関しては未だ明らかならざる点が少ない。殊に直定規を垂直面内に立てたる場合の測定面の歪状態、緊張鋼線の水平面内における真直度或は垂直面内における懸垂線の形状等に関して精密なる測定結果が見當らない。基準となるべきものの精度が不確実であるならばそれによつて行はれる精度検査にも亦信を置けない結果となるから、これ等の基準に関してはその本性を明らかにして置く必要がある。

筆者等は最近緊張せる鋼線の真直度を測定する新しい方法を考案し種々研究を重ねた結果、緊張せる鋼線の諸性質を明らかならしむることが出来、更に真直度測定の基準として便利なる線定規に就ても実用し得る程度のものを得るに至つたのでこれ等を併せて茲に記載する。

2. 実験に供した鋼線と引張荷重の選定

実験に供した鋼線は、平均直径 0.20 mm, 横断面における

(1) On the Measurement of Straightness of Slide Ways of Machine Beds, using a Stretched Wire as a Datum.

(2) Keikiti EBIHARA, Member. The Institute of Technology of Precision Machines, Tokyo. 東京工業大学精密機械研究所。

(3) Akira YAMAMOTO, Associate Member. The Institute of Technology of Precision Machines, Tokyo. 東京工業大学精密機械研究所。

(4) 精密機械、第 3 巻第 10 号、391~398 頁。

直径の変化 $\pm 10\mu$, 縦断面における直径の変化 $\pm 2\mu$, 長さ 1 m の重量 0.2245 g/m であつて、横断面の直径の変化が比較的大きく従て略楕円形なる事が想像される。若し鋼線が振れた儘で緊張されたものとすれば、鋼線の片側に於て測定した真直度は鋼線本来の真直度に直径の変化の半分を加へたものとなるから、考察を簡単にするため本実験に於ては鋼線の両側の読みをとり、その平均値即ち鋼線の中心線の真直度を以て示すことにした。

第 1 図

第 1 図に示すものは本実験に使用した鋼線に就て実測を行つた引張荷重と伸、並に永久歪との関係である。実験結果によれば鋼線の弾性係数は 2.08×10^6 kg/cm², 引張強さは 250~260 kg/mm² となる。但しこれ等の値は鋼線の断面が直径 0.20 mm の真円と仮定して計算したものである。本実験に於ては鋼線の諸性質を検討するために同一の鋼線に就て荷重を増減し反覆測定を行ふ必要上最大荷重を弾性限界より少し低い所で止めることにしたが、弾性限界は測定の精度によつて異なり確然と定め難いから、0.001% の永久歪を限度とし、従てこれに相當する最大荷重を 3 kg と選定した。

3. 水平面内における鋼線の真直度測定

測定方法及び装置 第 2 図に於て曲線 $P_0, P_1, P_2, \dots, P_n$ 及び $P'_0, P'_1, P'_2, \dots, P'_n$ は適當の引張荷重を以て緊張され、水平面内において互に 0.3 mm 程度に接近して置かれた 2 本の鋼線の水平投影を示すものとする。 P_0 から始めて夫々 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ なる位置における 2 曲線間の間隔 $m_0, m_1, m_2, \dots, m_n$ を実測し、次に曲線 $P'_0, P'_1, P'_2, \dots, P'_n$ を x 方向の位置はその儘にして 180° の反轉を行ひ点線にて示す如く曲線 $P''_0, P''_1, P''_2, \dots, P''_n$ を得たものとし、再び間隔 $\bar{m}_0, \bar{m}_1, \bar{m}_2, \dots, \bar{m}_n$ を実測する。反轉の前後に於て x 方向には余り位置の狂ひはないものとすれば、曲線 $P'_0, P'_1, P'_2, \dots, P'_n$ と $P''_0, P''_1, P''_2, \dots, P''_n$ とは一つの対称図形となり両曲線の間に對称の中心線を考へることが出来る。この中心線が本測定における基準直線に該當するものでこれを x 軸にとり、これと直角方向を y 軸にとれ

第 2 図

第 3 図

ば曲線上の任意の一点 P_i , $P_{i'}$, 或は $P_{i''}$ は座標 (x_i, y_i) , $(x_i, y_{i'})$, 或は $(x_i, -y_{i'})$ で表はすことが出来る。そこで x 座標を等しくする 2 点間の距離はそれらの y 座標の差で表はされるから

$$\begin{cases} y_{i'} - y_i = m_i \\ y_i - (-y_{i'}) = \bar{m}_i \end{cases}$$

この 2 式から y_i と $y_{i'}$ を求めると

$$\begin{aligned} y_i &= (\bar{m}_i - m_i)/2 \\ y_{i'} &= (m_i + \bar{m}_i)/2 \end{aligned}$$

かくの如きことを x の各位置に就て行へば基準直線 x 軸に対する曲線の形を決定することが出来る。茲に対称の中心線は仮想的な直線であり測定の度に位置を変へるから、これを基準として真直度を表はすことは不便である故、座標軸の変換を行つて P_0, P_n 或は P_0', P_n' を結ぶ直線 XX' 或は $X'X'$ を基準としてこれを表はすことにする。 xx 軸と XX 軸又は $X'X'$ 軸の傾角が微小なることを考慮すれば新しい軸に関する各点の座標 $Y_i, Y_{i'}$ は次の式に依て求められる。

$$\begin{aligned} Y_i &= (y_i - y_0) - (y_n - y_0) \cdot x_i / x_n \\ Y_{i'} &= (y_{i'} - y_0') - (y_n' - y_0') \cdot x_i / x_n \end{aligned}$$

間隔 m_i 或は $\bar{m}_i$ の実測には第 3 図に示す如き国産の測

微顕微鏡を用ひて行ふことが出来る。その測定範囲は 1 mm, 最小目盛 1μ , 測定精度 $\pm 0.5\mu$ である。尚鋼線には太さがあるから測定の対象となるのは鋼線の片側か或は両側の読みを平均して得られる鋼線の中心線である。

鋼線を完全に 180° 反轉するには鋼線単独では非常に困難であるから、これに所要の張力を與へて棒の両端にかけ渡し両端をねぢで固定して第 2 図又は第 3 図に示す如き一種の弓を作り、この弓全体を反轉することに依り所期の目的を達することが出来た。

尙本実験に於ては第 3 図に示す如く反轉を行はない方の鋼線も同様に弓となし、木製枠の両端に適當な大いさの鋳鉄の四角のブロックをねぢで固着し針金の両端をこれに締付けて固定する。然る後略 1.03 mm の間隔を以て 2 本の鋼線を並べ、これらが同時に顕微鏡の焦点の深さ以内に入るやう高さの調節をなし、弓の両端に取付けられたブロックを適當なバイスにより定盤に固定し、測定が終るまで 2 本の鋼線の相対位置が変わらないやうにする。尙 x 方向の位置を定めるために、測定位置毎に反轉用の木製枠へ細い針を植ゑ、顕微鏡の視野には鋼線と同時にこの針先をも覗き得るやうにした。鋼線に所要の引張荷重を與へるには、弓を横たへたまゝ一端を弓の一端に固定し他端には球軸受の外周を経て死荷重を懸

第 4 図

け、鋼線が十分に弾性伸びをなし荷重と釣合つた所で弓の他端に締め付ける。即ち締付後の張力は鋼線自身のばね作用により與へられるのである。尙後に述べる如き垂直面内の真直度の測定の如く引張力の大きさを正確に定むることを要する場合には木製枠の曲りに依る影響も考慮して鋼線自身には死荷重と全く釣合つた正味の引張力がかかるやうにしなければならない。

測定結果 測定は 3 m の長さに緊張された鋼線の中央 2 m に就て行ひ、 x 方向の各測定位置は 200 mm 毎の等間隔とした。第 4 図は振れの殆ど無い鋼線を 1 kg, 2 kg, 3 kg

[第 7 卷 第 27 号 (第 1 部)]

と荷重を変化させて測定した鋼線の中心線の真直度を示し、第5図はこれと同じ鋼線の一端を固定し、3 m の他端を5回振つたものを矢張り1 kg, 2 kg, 3 kg と荷重を変化させて測定した鋼線の中心線の真直度を示すものである。以上の結果に依り鋼線の真直度に対しては荷重の影響よりも振れの影響が甚だ大であることが知られる。3 m に就き5回の振りを與へれば、2 m につき波の数は3.3 出来る筈であるが実測の結果も大体これに近い点から考へれば、商品として輪狀に束ねられてゐる針金を振れたまゝで緊張すれば、元の輪狀に巻き戻らうとする至力のために丁度 蔓巻ばね を引き伸ばしたやうな形となり、これが第5図に示す如く波形となつて現はれるものと考へられる。

第5図

本測定に使用した鋼線は前記のやうに断面が楕円形をなしてをり、第5図の如く振れた状態では縦方向に $\pm 10 \mu$ 程度の直径の変化があり、第4図の如く振れを無くすればその変化は $\pm 2 \mu$ に減する。緊張した鋼線を基準としてベッド滑り面の真直度を測定する際にはその片側だけを読む方が遙かに簡単で実用的であるが、その真直度は中心線の真直度に鋼線の直径の変化の半分を加へたものとなるから、この意味においても針金の振れを無くすることは是非とも必要である。第6図は全測定を通じて反轉用として使用した鋼線で、3 m に就き1振れ程度の振れが残つてゐる鋼線の片側の真直度を示すものである。工場等に於て屢々行はれる如く振れに対しては何等考慮することなく第6図に示す如くいゝ加減に緊張した鋼線を基準として真直度の測定を行ふときは、真直なベッドに就て 20μ の誤差を示すやうな結果となる。第7図は真直度を検するために某所より送られた直径 0.20 mm の鋼線であるが、携帯に便なる如く直径 30 mm 位の円筒に緊密に巻きつけてあつたため、どんなに振れを無くしようと努めても尙図に示すやうな甚だしい曲りが認められた。これは如何に細い鋼線であつても至の大き過ぎるものでは線定規として優秀なものが得られないことを示す例である。これに反して第8図は直径 0.20 mm の殆ど眞圓な亜鉛引鋼線で、径 200 mm 位の輪狀に緩やかに束ねて保存してあつたものを丁寧に巻き戻し、振れの殆ど無い状態で測定したもので 2 m の全長に亘り $\pm 2 \mu$ 程度の精度を示し、線定規としては満足すべき真直度を有してゐる。尙線引きの際ゲイスとドラム

昭和16年5月]

との距離を所要の長さだけ離して置き、その間の部分を切りとつて線定規を作れば更に優秀なものが得られるものと考へられる。

尙鋼線は反轉に際し自重によつて真直度を変へる恐れがあり反轉前と全く対称なる形状が得られるか否かを検する必要があるが、第6図に示す黒点は反轉用鋼線をその儘とし測定すべき鋼線を反轉して反轉用鋼線の真直度を測定した結果で、反轉した場合との偏差の最大値は僅かに 1.6μ に過ぎない。

4. 垂直面内における鋼線の真直度測定

緊張した鋼線を基準として垂直面内の真直度を検査する際に補正すべき鋼線の自重による垂下量の計算式として多くの

第6図

第7図

第8図

書物に次の式が掲げられてゐる。即ち $w \text{ g/m}$ の重さを有する針金に $K \text{ kg}$ の引張荷重をかけて緊張し、 $(l_1 + l_2) \text{ m}$ の水平距離にある鋼線上の2定点を結ぶ水平線を基準とし、一定点より $l_1 \text{ m}$ なる距離における鋼線上の一点の基準よりの垂下量は $\delta = l_1 l_2 w / (2K) \text{ mm}$ で表はされるといふのである。この式は完全に柔軟な紐とか鎖について論じられる懸垂線の方程式を展開し、適當に整理して微少量を省略して得られるものであつて、鋼線のやうに剛ばつた物体についても成立つかどうかは疑問である。そこで筆者が以前に2点連鎖法と名付けて発表した廣い平面の平かさ測定法の一應用として特殊の装置を考案し、次に示す如き方法に依て鋼線の撓み量の実測を行つた。

測定方法及び装置 水準器の両端に夫々これと直角に測微顕微鏡を強固に取付け、略々水平に緊張された鋼線を側面から覗くやうにする。水準器は測定台上すべての位置で常に一定の読みを示す如く調整し(例へば常に水平に)両測微顕微鏡の視野に現はれた鋼線の位置を読む。

第9図において $P_0, P_1, P_2, \dots, P_n$ は略々水平に緊張された鋼線の垂直投影を示すものとし、 $x_1, (x_2 - x_1), (x_3 - x_2),$

.....は両測微顕微鏡間の中心距離 l に等しくとり、装置をこの距離だけ次々に移動して各位置における両測微顕微鏡の読み h'_{i-1} , h_i を次々に取つてゆく。 O'_{i-1} , O_i は両測微顕微鏡の零点の位置を示し、これを結ぶ直線は常に一定の傾きを

第 9 図

第 10 図

有し各位置に於て互に平行である。それ故 P_0 を通り O'_{i-1} , O_i に平行な直線を仮想しこれを x 軸とすれば、これが本測定法における真直度の基準に該當する。 P_0 より垂直上方に z 軸をとれば任意の一点 P_i の座標は

$$\begin{aligned} x_i &= il \\ z_i &= z_{i-1} + (h_i - h'_{i-1}) \\ &= (h_1 - h'_0) + (h_2 - h'_1) + (h_3 - h'_2) + \dots \\ &\quad \dots + (h_i - h'_{i-1}) \end{aligned}$$

に依て與へられる。更に x 軸は仮想的な直線であるから P_0 , P_n を結ぶ直線 x を基準として真直度を表はすために座標軸を変換すれば、

$$\begin{aligned} X_i &= x_i - il \\ Z_i &= z_i - z_n \cdot x_i / x_n = z_i - z_n \cdot i / n \end{aligned}$$

が得られる。但し上式はすべて水平面となす x 軸、 X 軸の傾きは極めて僅かなものと考へ傾き角に関する高次の微少量はすべて省略した。

第 10 図は本測定装置を示す。水準器は国産品にて感度は一目盛 $5''$ 測微顕微鏡は国産品にて測定範囲 1 mm , 最小目盛 1μ , 測定精度 $\pm 0.5\mu$ である。水準器と直角に補助の水

準器が置かれてあつて直角方向の水平を調整するやうになつてゐるが、水準器と測微顕微鏡との取付を適當に調整すれば、この方向の傾きの影響を極めて少くすることが出来るから、従て補助の水準器はこれを省略しても差支ない。装置はゴム紐とねぢとで前後左右の微動調整を行ひ、更に装置の上下方向の微動を兼ねた 3 本のねぢに依て台上に支持されてゐる。 P 点の位置の決定には図に示してゐないが別の木製枠に距離 l 毎に細い針を植ゑて測定しやうとする鋼線と殆ど平行に針先を配列し両測微顕微鏡の視野の中に鋼線と同時に針先をも覗かしめ、 x 方向の位置に大なる狂ひのないやうに留意した。

測定結果 水平面内における真直度測定と同様 3 m の長さにて略し水平に緊張された針金の中央 2 m に就て 200 mm 毎に測定を行つた。第 11 図並に第 12 図は夫々第 4 図並に第 5 図に示す鋼線

第 11 図

第 12 図

をそのまゝ測面から測定した鋼線の中心線の真直度である。図において実線は一つの実測値、点線は同じ鋼線を反轉して同じ箇所を測定したもの、 $\times$ 点はその両者の平均値、鎖線は前記の撓み量計算式によつて全く理論的に計算された曲線である。図によつて明らかな如く $\times$ 点は殆ど正確に計算値と一致してゐる。そこで垂直面内に於ては鋼線の真直度はその自重による撓みと鋼線自身の曲りととの和であるとして殆ど差支ない。第 13 図は第 8 図の両端をそのまゝ同じ方向に 90° 回轉し側面から測定したもので、この曲線から自重による撓み量を引き去れば第 8 図に示すものと酷似した曲線が得られる。

次に本測定における測定誤差は中央において蓄積する虞があるが同一の測定を2回繰返した結果その最大偏差は僅かに $1\sim 2\mu$ にすぎなかつた。唯垂直面内の真直度には撓み量が大いなる影響を有するから引張荷重の與へ方は極めて嚴密を要し、殊に木製の枠では温度や湿気による伸び縮みが激しいから測定の度毎に荷重をかけ直さないとこの方面の誤差がかなり大きな量として入つて来る。

第 13 図

5. 緊張せる鋼線を基準とするベッド滑り面の真直度の測定

以上述べた如く振れの全く無い鋼線を選び、弾性限界以内の荷重を懸けてこれを緊張する時は水平面内における真直度は $\pm 1\mu/m$ 程度にして、垂直面内に於ては懸垂線として理論上求められる曲線に殆ど完全に一致する事が明らかとなつたから、この如き緊張鋼線を基準として工作機械等のベッド滑り面の真直度を測定することは極めて容易であり且充分な測定精度が得られる。即ち、ベッド滑り面上を滑る適當な大いさの滑り台上に測微顕微鏡を固定し、測定距離の両端に於て顕微鏡の読みを一致させる如く調整し、然る後に各位置における顕微鏡の読みをとりこれ等の結果を図示すれば滑り面の形状が直ちに図示される。

この場合前に述べた臨時日本標準規格又は DIN 仮規格等

に図示された如く鋼線を緊張させる方法としてその一端を固定し他端に滑車を経て荷重を垂下せしむる如き方法に於ては、鋼線の真直度を如何にして実測するかは問題である。殊にベッドの長さが5m以上に長い場合には種々の困難を伴ふ。

これが対策として筆者は次の実験を試みた。即ち振れのない鋼線を選び第3図に示す如く反轉用として用ひた全長1m~2mの木枠の両端に固定された止め金と蔓巻ばねに依て所要の張力を與へて緊張する。止め金の両端には鋼線と一直線上にセンタ孔を備へ支持に便しめる。この様な構造の線定規は予め前に述べた如き方法によつてその真直度を較正しておけば、任意の長さに張られた鋼線をこれによつて比較補正することが出来る。長さ4mの旋盤ベッド滑り面の真直度検査に際し、精度検査規格に図示せられた方法によつて緊張された直径0.12mmの鋼線を、全長1.5m、精度 $\pm 1\mu/m$ の線定規によつて較正した結果、鋼線には $\pm 5\mu$ 程度の撓りのあることを発見し、その補正を行つたためベッド滑り面の真直度は非常に良くなつた例がある。又旋盤の両センタ間に線定規を支持し180°反轉して各位置における測定を再度行ふことによつて、ベッド滑り面と鋼線の真直度を同時に見出すことも可能である。線定規をこの様にして使用することは大型旋盤等には困難であるかも知れないが、中型以下の場合には規格に定められた方法より運用上の利点は多いと考へられる。この線定規の木枠の代りにコンヂット管を用ひれば長さ3m程度の線定規が容易に得られ、且鋼線を緊張させる張力が正確に示されるならば、水平面内のみならず垂直面内の真直度測定にこれを基準として使用することが可能である。

終りに本実験に対する局又太郎君の懸命なる助力を謝し、且本研究は日本學術振興會第29小委員會の援助によるものなることを附記し茲に厚く感謝の意を表する。

(昭和16年3月31日受付)

(裏面前号正誤表添附)