- (2) 正員, 熊本大学熊本工業専門学校.
 (3) 和栗, 九州機械工業会誌, 40 号, 958 頁 (昭 12—3).
 (4) 仙波, 精密機械, 10 卷 2 号, 25 頁 (昭 18—2).
 (5) Gleason Works, Operating Instructions for No. 16 Hypoid Generator.
 浅枝, 工作機械に関する資料, 7 卷 7・8 号, 24 頁 (昭 19—7).
 (6) Gleason Works, Gleason Spiral Bevel Gear Jobbing System.
 (7) 和栗, 機械及電気, 4 卷 6 号, 871 頁 (昭 14—6).
 (8) 和栗, 機械及電気, 4 卷 9 号, 1324 頁 (昭 14—9).

621. 914. 2—484: 531. 717. 3: 531.713. 8

進み角の大きいホブの測定法⁽¹⁾上 野 拓⁽²⁾

The Measurement of Hobs of Large Lead Angles

by Taku UENO

There are many difficulties in measuring the hobs of large lead angles, as the form being very complicated. This report deals with the methods of measuring tooth profiles and pitch errors of these hobs.

At first, a method of measuring them briefly at machine shops using a lathe by aid of a dial gauge, is cleared. But the accuracy of this method is not expected over the lathe accuracy. Next, the method of measuring as accurately as possible with a Zeiss type Universal Measuring Microscope is explained.

1. 緒 言

最近切削能率をあげるため、二口の平歯車用ホブが用いられるようになってきた。またウォームギヤは進み角が大きいほど効率がよく、約 40° のとき最高の効率をもっている。したがって動力伝達用ウォームギヤには、しばしば進み角の大きいウォームが用いられ、ウォーム歯車用ホブも進み角の大きいものが必要になってきた。しかしこれらのホブは測定が極めてむずかしいので、十分検査されていない状態である。本研究は進み角の大きいホブをツァイス製万能測定顕微鏡によつて測定する方法⁽³⁾およびかかる測定器のない工場において簡単に旋盤で測定する方法について述べたものである。

2. 測定の方針

ホブは進み角が大きくなると、刃が極端にねじれていて、どうして測定するのか見当がつかないような複雑な形をしている。しかし次の方針を基本にして測定を進めて行けばよい。

まず第一に「ホブの切刃の現わすねじ面」は理論的にはいかなる形のねじ面でなければならぬか、すなわち「理想ねじ面の形」が問題である。

第二に「ホブの切刃が理想ねじ面上にあるかどうか」を測定する。

第一の問題については、まず平歯車、はすば歯車用のホブは、これらの歯車とちようどねじ歯車のようにかみ合つて相手の歯車を創成する。したがつてその切刃の現わすねじ面は軸に直角な断面がインボリュートの形をした一種のねじ歯車で、そのねじれ角が極端に大きくなつたものである。すなわち、「インボリュートねじ面⁽⁴⁾」でなくてはならぬ。

また、ウォーム歯車用ホブの理想ねじ面はもちろんウォームと全く同じ形のねじ面でなくてはならぬが、最近ウォームもインボリュートねじ面がよいと認められてきた。これは理論的に正しいものが作り易く、また性能が優秀なためである。

さてインボリュートねじ面の軸断面の形は直線ではなくて中高の形をしている⁽⁵⁾。進み角が小さいときは近似的に直線と見なしてもさしつかえないが、進み角が大きくなると中高の程度は大となり、直線からの振れが 0.5 mm 以上にも達する場合があるので無視できない。

第二の問題についてはホブの切刃はわん曲した空間曲線になつてゐるが、どんなに曲つていてもそれが理想ねじ面上にありさえすれば幾何学的にはさしつか

えない。したがってホブの切刃を測定し、その現わすねじ面と理想ねじ面との歯形の違いを求めればよい。

3. 旋盤を利用する測定

この方法は、使用する旋盤以上の精度で測定はできないが、特殊の測定器を必要としないから、現場などで測定するには便利である。測定の要領はホブをセンターでささえて旋盤に取り付け、工具台にバイトの代りに第1図に示すように先端にボールのついた測定用レバーとダイヤルゲージを取り付ける。測定レバーの先端はホブ軸と同じ高さにし、最初は切刃とボール

第 1 図

を C のような位置に置いておく。次にホブを回転させると同時に往復台を左に送つて、ちょうどウォームを切削するのと同じねじ運動をさせる。ホブの刃は往復台に対して相対的にはそのらせ線の方に動く。切刃が D のような位置でボールに当たるときボールを最も左に寄せる。このときダイヤルゲージの針が指す値は、切刃がねじ運動をして軸断面で働く位置を示すことになる。したがってねじ条に沿ってつぎつぎに切刃とボールが接触するときの読みをとればホブ 1 回転中の作用ピッチ誤差が測定できる。

歯形を測定するには工具台を理想ねじ面の軸断面圧力角 α に等しい角度旋回させ、測定装置を理想歯形のピッチ点における切線方向に送ることができるようになる。まず工具台を動かしてレバーの先端が切刃上の任意の一点を測定するようにし、ねじ運動をさせて切刃とボールが接触するときのゲージの読みをとる。次にホブと往復台をまた始めの C のような位置に戻し、工具台を歯形に沿って少し送り、同様にして B 点の読みをとる。かくして歯形に沿ってつぎつぎに読みをとれば、切刃が軸断面で現わす歯形が正しい圧力角をもつた直線からどれだけ振れているかがわかる。したがって理想ねじ面の軸断面歯形を計算して比較すれば、歯形の狂いが測定できる。

ここで注意すべきことは、進み角が大きくなると歯先と歯元におけるらせ線の進み角の違いが相当大きく

なる。ゆえに (b) 図に示すように、ボールとらせ線が接触する位置が軸と同じ高さになるように取り付けねばならぬ。

4. 万能測定顕微鏡による測定

ツアイス製万能測定顕微鏡によれば進み角が大きいホブでも相当高い精度で測定できる。第2図はこの測定器の構造と測定の要領を示した線図で、測定用顕微

第 2 図

鏡がホブ軸に対して垂直になっている場合である。

さてここで二つの困難がある。まず第一は、ホブの進み角が大きくなると手前の刃が邪魔になって、一方の歯面の歯元に近い部分が全然見えないことである。このときは第3図右図のように顕微鏡の焦点が少し高い位置になるようにしてやればよい。この場合測定点のホブ軸方向の位置の読みは変らぬが、半径 R の点を測定したい場合には、テーブルの前後方向の位置をホブ軸から

第 3 図

第 4 図

$$x = \sqrt{R^2 - h^2} \dots \dots (1)$$
だけ移動した位置にしなければならぬ。ここで h は、ホブ軸をふくむ水平面から焦点までの高さである。

第二に問題になるのはこれと反対側の歯面では、切刃二番面の方が飛出しているの第4図のように切刃が陰になって全然見えない。この場合には豆ランプで斜め下方から切刃を照す。そうす

ると照らされた側面だけ光って輝いて見え、光の当らぬ切刃面は陰になって暗く見えるから、その境目の線にヘヤラインを合わせる。もちろん反対側歯面の切刃ほど明瞭ではないが、光の位置や強さを工夫することによって $2\sim 3\mu$ の精度で測定できる。

さて求めたいのは切刃が理想ねじ面上にあるかどうかである。それには切刃上の各点の空間における位置を測定し、その切刃がホブのねじ線に沿って運動したとき描くねじ面の軸断面における歯形が、理想ねじ面のそれと一致するかどうかを調べればよい。切刃の位置を現わすためにホブ軸を y 軸とし、測定しようとする切刃のピッチ点 P を通り y 軸に垂直に交わる直線を原線として円柱座標を用いる。すなわち y 軸からの半径を R とし、図の方向に θ 座標をとる。

第 5 図

いま測定しようとする切刃上の一点を Q とする。測定器のテーブルを前後左右に動かし、また割出合でホブを回転して Q を顕微鏡の中心に合わせ、 Q 点のホブ軸からの半径 R 、ピッチ点を基準とした y 軸方向の位置 y_m を測定する。 θ 座標はピッチ点を顕微鏡の焦点に合わせたとき、 Q 点を合わせたときの割出合の回転角になる。しかし実際には測定がむづかしく十分な精度が得られぬので、次のようにして求めるのがよい。 Q 点は切刃上の点であると同時に切刃面上の点である。したがって切刃面の形を測定し、切刃面上でピッチ点からの距離 y_m 、ホブ軸からの半径 R なる点の θ 座標を求めれば、これが Q 点の θ 座標である。第 5 図においてピッチ点 P から y_m の距離にあり、 y 軸に垂直な平面 T を考える (T 面は Q を通る)。切刃面と T 面との交線は曲線 QQ_p で現わされる。ここで Q_p をピッチ円筒上の点とすれば Q_p の θ 座標は

$$\theta_0 = (2\pi/L')y_m$$

となる。ただし L' は切刃面のリードである。ゆえに Q_p 点を基準にした Q 点の座標 $\Delta\theta$ を測定すれば、 Q 点の座標 θ は

$$\theta = \theta_0 - \Delta\theta = (2\pi/L')y_m - \Delta\theta \quad \dots\dots\dots (2)$$

で現わされる ($\Delta\theta$ の測定法はあとで述べる)。

これで切刃上の Q 点の位置 y_m 、 R 、 θ が求まったので、次に Q 点がホブのねじ条に沿って動いたとき

き軸断面と交わる点の y 座標を求める。第 6 図はホブを半径 R なる円筒で切つて展開した図で、 Q 点が軸断面で動く位置は B 点になる。またホブのねじ条のリードを円筒によるホブの断面 L とすれば、 Q 点は 2π rad の回転に対して L の割合で進むから θ rad 回転する間には

$$\overline{Q_1B} = (L/2\pi)\theta = (L/2\pi)\{(2\pi/L')y_m - \Delta\theta\}$$

動く。したがって B 点の y 座標を y_a とすれば

$$y_a = \overline{OQ_1} + \overline{Q_1B} = y_m + \frac{L}{2\pi} \left(\frac{2\pi}{L'} y_m - \Delta\theta \right)$$

普通ホブの切刃面は、ピッチ半径においてはねじ条に直角になるように作るので、ホブの進み角を r とすれば

$$\left. \begin{aligned} \tan r &= L/2\pi r & \therefore L/2\pi &= r \tan r \\ \tan r &= 2\pi r/L' & \therefore 2\pi/L' &= \tan r/r \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

したがって

$$\begin{aligned} y_a &= y_m + r \tan r \{ (\tan r/r) y_m - \Delta\theta \} \\ &= (y_m / \cos^2 r) - r \cdot \Delta\theta \tan r \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

これが切刃の現わすねじ面の軸断面の歯形を求める

第 7 図 (a)

式である。ここで y_a 、 y_m はホブを切削方向に回転させたときねじが進む方向を正、 $\Delta\theta$ は切刃面がとぎ過ぎた方向に狂っているときを正とすれば、ねじの巻き方向、歯面の左右に関係なく $r > 0$ として成立する。

もし切刃面が正しく中心を向いた直線ので

第 7 図 (b)

きていれば $4\theta=0$, したがって次のように簡単になる.

$$y_a = y_m / \cos^2 \gamma \dots\dots\dots(5)$$

次にホブ軸に直角な断面における切刃面の形, すなわち Q_p を基準にした Q 点の座標 4θ の測定法を述べる. 万能測定顕微鏡には第 7 図のような心出し装置がついていて (第 2 図参照), 顕微鏡を外してその中心の位置に簡単にもつてくることができるようになってい. それでこれを少し改造して先を細くしたスピンドルが軽く上下できるようにし, その移動量をダイヤルゲージで読めるようにした. まず針の先端がホブ軸と同じ高さにあるとき, ゲージの読みが 0 になるようにしておく. 最初ピッチ半径 r の所に針を当て, 割出合でホブを回し, ゲージの読みが 0 になるようにする. 次にテーブルを前後に動かし, 同じ軸直角断面内で半径 R の所に針を当て, 同様にしてゲージの読みが 0 になるようにする. このとき割出合の回転した角度が 4θ を現わす. こうすれば 4θ は約 1 分の精度で測定できる.

4. ホブの測定例

第 8 図の実線は万能測定顕微鏡により, わが国 K 製作所製グラウンドホブの切刃の現わす ねじ面 の軸断

第 8 図

面刃形を測定したものである. 歯形は中高の形をなし, 正しい圧力角をなす直線に対して歯先で約 0.06 mm,

歯元で約 0.1 mm くぼんでいる. また歯元が飛出しているのは歯形を少し修正したものと思われる. 左歯面の点線は旋盤を利用して測定した結果で, 万能測定顕微鏡による測定結果とおおよそ合っている.

このホブは, はすば歯車用ホブであるから, 理想ねじ面はインボリュートねじ面ではなくてはならぬ. 鎖線はその軸断面歯形を計算したものであるが, よほどこれに近い歯形をしている. しかしこのホブは切刃面の形を測定すると右図のように約 0.3 mm 中高になっている. これを正しく半径方向を向いた直線になるようにとき直せば, 現在の歯形よりもさらに歯先と歯元で歯が飛び出, インボリュートねじ面からの狂いは大きくなるであろう.

5. 結 論

(1) 進み角のきわめて大きいホブの精度を旋盤を利用して測定する方法を明らかにした. この方法はもちろん使用する旋盤の精度が問題であるが, 特別な測定器なしで測れるから, 現場などで測定するのに便利である.

(2) ツアイス製万能測定顕微鏡による測定法を完成した. 約 3μ の精度で測定できる.

本研究は文部省科学研究費の援助の下に行つた.

最後に終始御懇切な指導をいただいた九大, 和栗教授に衷心より感謝の意を表す.

注:—

- (1) 昭和 24 年 9 月 26 日 九州支部共同主催久留米地方講演会において講演, 原稿受付 昭和 25 年 2 月 17 日.
- (2) 正員, 九州大学工学部.
- (3) 紙数の関係で歯形についてだけ述べ, ピッチの測定法は省略する.
- (4) Buckingham: Spur Gear, p. 366.
両角: 機械学会論文集, 13 卷 43 号, p. 128 (昭 22—1).
- (5) Buckingham: Spur Gear, p. 375.