621.914.5

精密基準ホブ盤の研究(第2報)⁽¹⁾和栗 明⁽²⁾ 坂井 甚吉⁽³⁾ 近藤 誠造⁽⁴⁾

Studies on Gear Hobbing Machine of the Highest Accuracy

(2nd Report)

by Akira WAKURI, Jinkichi SAKAI and Seizō KONDO

The index worm should also be made as accurately as possible. Testing the tooth bearing between the worm and wheel, we have corrected the pressure angle of worm minutely until ideal profile bearing has been obtained. The lead of the worm was also finished to the highest degree of accuracy on a special worm grinding machine. And we have succeeded to obtain the index worm, which has a long and continuous tooth bearing extending 3.5 pitches on worm thread, and also keeps the cyclic error motion not exceeding 7 seconds during every rotation.

On this super precision hobber remodelled in our laboratory and equipped with the above mentioned index worm and worm wheel, we can easily cut index worm wheels with the maximum accumulated pitch error less than 20 seconds.

1. 親ウォームの仕上

回転精度の高いウォーム・ギヤを得るには、ウォーム歯車だけでなくウォームも精密に仕上げなくてはならない。前述のウォーム1回転中に引き起される歯車の遅速運動の波は、ウォーム1回転ごとに全く同じように繰り返される狂いのためである。その狂いはウォームにある場合もあるし、歯切りの時ホブの狂いがその1回転ごとに歯車に移された場合もある。あるいはウォームとホブとが合わぬ場合、またこれらが重って現われる場合もある。正しいホブを用いると共にそれに合った正しいウォームを用いねばならぬ。これらの点に注意を欠けばずいぶん大きい遅速の波をウォーム1回転ごとに描くことがある⁽⁵⁾。ウォームを整数回転して割出す時にはこの波の影響は歯車のピッチにはほとんど現われない。整数回転の外に1/a回転して割出す時には、遅速の波の上を1/a回転ずつたどって行くから、a回の割出、すなわちaピッチで1サイクルを描くピッチの狂いを生ずる⁽⁶⁾。かようなわけであるから、我々は親ウォームの精密仕上にも最善を尽さねばならない。

a) 正しいウォーム さて我々はできるだけ正しいホブを用いたから、これに合った正しいウォームを作ればよい。ウォームの理想運動は、回転するにつれてそのねじ母線が軸方向に正しくなめらかに進むにある。それにはウォームのピッチおよび1回転中の進みの正しさがたいせつである。ピッチそのものはわずかに大きくてもさしつかえないが、むらのないことが望ましい⁽⁶⁾。——ウォームのピッチはホブのピッチより絶対に小さくなくてはならぬ。小さいときは歯面に負のふくらみをつけることになる。——もちろんウォームは偏

心や傾きのためにあるいはスラスト軸受の狂いのために振れて回ってはならぬ。本実験においては、ロッヂ社製の旋盤に研削装置を取り付けてウォームを入念に研削仕上したのであるが、その親ねじは精度の高いものと取り換え、換歯車も特に作ったのである⁽⁷⁾。

b) 圧力角合わせ なおウォームをホブに合わせするには、ウォームの圧力角を歯車の圧力角に正しく合わせてやる。すなわちウォームと歯車を正しくかみ合わせて歯丈に沿っての当りを調べ、当りがりっぱにつくようにウォームの圧力角を微細に修正する。この圧力角合わせはきわめてたいせつである。正しく合えばウォームの当りは普通2ピッチ以上に伸びるであろう。これは少くとも2組の歯が同時にかみ合っていることを示し、荷重分担の点からも運動のなめらかさの点からも非常に望ましい⁽⁸⁾。

c) 歯面にふくらみを与えること 歯幅に沿っての当りは、片当りの懸念がないように、また潤滑油が引込まれ易いように、両端ではわずかに透き中央附近で当るのが望ましい。それで筆者の一人の方法⁽⁹⁾を用いて歯面に膨みをつけた。ホブのリードを t_i 、圧力角を α_i とすれば、ウォームのリード t_a をわずかに伸ばし、それに応じて圧力角 α_a もわずかに増す。端のすきま Δ はほぼ次式で現わされる。

$$\frac{\Delta}{r_i} = k \frac{t_a - t_i}{t_i}$$

α_i	14°5'	17°5'	20°	22°5'
k	0.55	0.46	0.41	0.375

ホブの諸元は $t_i = 10.18 \text{ mm}$, $\alpha_i = 14.31'$, $r_i \approx 23.31 \text{ mm}$ であるから、 $\Delta = 0.04 \text{ mm}$ にするには $t_a = 10.212 \text{ mm}$ にすればよい。そのつもりでウォームを研削仕上

したのであるがわずかに縮んで $t_a = 10.203 \text{ mm}$ になった。したがって端のすきまは $4 = 0.03 \text{ mm}$ 程度となった。ウォームの圧力角 α_a は次式を満足するように定める。

$$t_a \cos \alpha_a = t_i \cos \alpha_i$$

したがって計算では $\alpha_a = 15^\circ 1'$ となるのであるが、歯の当りは $\alpha_a = 14^\circ 45'$ の時が最良であった。歯面をすり仕上げしたために歯車の圧力角がホブで仕上げた時よりいくらか違っていたためであろう。ウォームの当りも 3.5 ピッチに伸び、1 回転中の遅速の波は 7 秒である。良好なるかみ合状態といえるであろう。

第 1 図

2. テーブルおよびサドルの仕上について

テーブルは旋盤加工後、上下に返して置き、それに定盤をすり合わせて、すべり面および取付面のきさげ仕上げをした。これらの面は一平面中に設けたから仕上げは容易であったが、次のごとき思わぬ失敗をした。初め適当な高さの 4 本足の木の台の上に置いてきさげ作業を進めていたが、たまたま台の位置を移動した時、当りが非常に変わった。台のささえ方が違ったためとしか考えられない。念のためにテーブルの一端を持ち上げその下に木の枕を入れてかきものとし、定盤を当ててみると、たわんでいると思われる所には明瞭に当りがつかない。かかるがん丈なものもわずかなささえ方の違いで、当りに影響するほどたわむものかと今さらな

第 2 図

が驚いた次第である。木の台の上では精度の確保が期し難いから、平削盤の正しいテーブルの上に置いて改めてきさげ作業を行った。

サドルは軸受穴を基準にして仕上げた。軸模範としては第 2 図のごときゲージをきわめて精密に研削仕上げして用いた。a 部は直径を 0.01 mm 小さく仕上げたすり合せ用のゲージ。まずこれを軸受穴にはめてすり合わせ、黒当りが全面一様につくように軸受穴を仕上げる。次にゲージを下げて b の部をはめればゲージは軸受穴にびたりと保持される。その上部 c にはつばを備え、その受面は円筒部に直角に仕上げてある。この c 部にしっくりはめる腕の先にダイヤルゲージを取り付け、c を中心に回して、サドルのすべり面が回転中心線に対して正しく直角をなすか否かを検査しながら、すべり面を仕上げるのである。外周すべり面はテーブルのすべり面にすり合わせて、ベッド上をすべる面は最後にはベッドのすべり面に直接すり合わせて仕上げた。ただし外周すべり面は作業の便宜上別の場所で、3 点支持に近い状態でささえ上げてしたのである。いよいよでき上がったのでサドルをベッドの上に乘せ、その上にテーブルを置いて回して見ると、第 3 図のようにしか当りがつかない。その原因はささ

第 3 図

えの中間がたわんだ状態ですり合わされたから、いよいよベッドに乗せられた時は、下のすべり面全体が当りたわんでいた所が上に持ち上げられるためであろう。それで組んだ状態で円周すべり面の当りを修正しなければならなかった。かようにたわみの影響はずいぶん大きく現われる。精密工作においてはこの点を十分に考えて仕事を進めなくてはならない。機械が大きくなればなるほどその影響は大きい。要点は使用状態において正しくなるように仕上げることである。

さてテーブルは第 1 報第 5 図に示すように外周すべり面 a のほかに内周にもすべり面 c を設けて荷重を分担させることにした。内周すべり面だけで受けさせればテーブルは軽く回るがテーブルの安定度を確保

するためには外周も軽く当てねばならぬ。座金 c の厚さを微細に薄めて行ってこの目的を達したのである。その途中次のような実験を行って見た。テーブルの外周、半径 272 mm の所に鋼索を巻き、それをいかほどの力で引張れば、テーブルは回されるか試験した。内周 c のみで受けさせた場合には、 4.9 kg の力でテーブルを回し始めることができた。しかし潤滑油を与えても与えないでも同じで、摩擦係数は 0.19 であった。座金の当りの幅が特に狭かったために接触圧力が高く、潤滑油を与えても油は押出されていたと思われる。外周でも軽く当て接触圧力を小さくした場合には摩擦係数は 0.07 となった。油膜は切れないで良好な潤滑状態にあるものと思う。本計算は、テーブルの上面のたわみ曲線を精密水準器で測定し、外周内周で分担するテーブルの重量を 66 kg , 54 kg と推定して行ったのである。ロープを引張る力も 5.4 kg で、わずかに増すだけであるからこの状態で使用することにした。なお外周だけで受けさせた場合には 18.6 kg の力で引張らねばならなかった。実験の結果を表示すれば第 1 表のとおりである。

第 1 表

	テーブルの 円周方向に 加える力 kg	摩擦係数 μ	接 触 圧 kg/cm ²	接 触 すべり面
潤 滑	4.9	0.19	6.3*	内周のみ
乾 燥	4.9	0.19	6.3*	
潤 滑	18.6	0.16	0.85	外周のみ
潤 滑	5.4	0.05(動) ⁺	0.85	
乾 燥	31.1	0.28	0.85	
潤 滑	5.4	0.07	内周 1.1 外周 0.6	内周および外周
潤 滑	4.8	0.06(動) ⁺		
乾 燥	5.8	0.075		

* 当りの幅狭く実際の接触圧はもっと大きくなっていたであろう。

+ 動摩擦係数

3. 本ホブ盤の仕上性能

かようにして作った精密基準ホブ盤でホブ盤用の親ウォーム歯車を実際に切って見た。

a) ホブ切り 本ホブ盤の親ウォーム歯車と全く同じものを予備のつもりで切ったのであるが、ホブ切りのままで最大集積ピッチ誤差を 19~20 秒に仕上げることもできた。ホブは前に用いた園池製の研削ホブである。

ピッチ $t_i = 10.18 \text{ mm}$, 圧力角 $\alpha_i = 14^\circ 31'$,

ピッチ半径 $r_i = 23.3 \text{ mm}$, 左一口

ウォーム歯車 鋳鉄 ショア $H_s = 38$, 歯数 $Z = 150$

ピッチ径 $D_i = 486.06 \text{ mm}$

b) 舞いツール グート・エバーハート製ホブ盤用の親ウォーム歯車を舞いツールで切ったのであるが、歯切りのままで最大集積ピッチ誤差 25 秒、歯数にすり仕上げを施して容易に 18 秒に仕上げることもできた。歯面に 0.04 mm のふくらみがつくようにウォームも仕上げたのであるが非常に良好な状態で働いている。

ウォーム歯車

鋳鉄 $H_s = 38$

$t_i = 15.850 \text{ mm}$

$\alpha_i = 14^\circ 23'$

$Z = 90$

ウォーム

肌焼焼入鋼 $H_s = 80$

$t_a = 5/8'' = 15.875 \text{ mm}$

$\alpha_a = 14^\circ 47'$

右一口

舞いツールではなお数個の親ウォーム歯車を切ったのであるが、だいたい同様な精度に仕上げることもできた。

すなわち歯切りのままで、ホブ切りでは 20 秒、舞いツール切りでは 25 秒程度の最大集積ピッチ誤差に仕上げることもできるのである。精密基準ホブ盤としての性能を発揮しているといえるであろう⁽¹⁰⁾。

本研究は昭和 21 年度より 4 箇年にわたる文部省科学研究費の援助の下に行ったものである。ここに深く感謝の意を表したい。また本機の製作および測定に当っては九大工作実験室の守田博恒君、相浦正人君、石津幸輔君、島村種雄君および昭和 24 年卒業の植田早苗君、高松喜興君、昭和 25 年卒業の中尾集一君の熱心なる助力に与った。その他多くの方々から寄せられた励ましと援助を忘れることはできない。ここに衷心より感謝の意を表する次第である。

注:—

(1) 昭和 25 年 4 月 8 日 第 27 期定期総会講演会において講演原稿受付 昭和 27 年 8 月 12 日。

(2)(3)(4) 正員、九州大学。

(5) 和栗, 機械学会論文集, 8 巻 30 号 4 部, 95~97 ページ (昭 17-2)。

(6) 和栗, 機械学会論文集, 6 巻 25 号 4 部, 22 ページ (昭 15-11)。

(7) 前掲(6)の 19 ページ。

(8) 和栗, 安東, 機械学会論文集, 15 巻 50 号 4 部, 27 ページ (昭 24-10)。

(9) 前掲(8)の 24 ページ以下。

(10) 前報注(8)。