

ラック形工具による歯車の二段転造 (工具の歯形 II)

Two Step Rollings of Gear by the Rack
Type Tools (Die Tooth II)久野 精市郎
Seiichiro KUNO

Both the rough rolling and finish rolling rack type tools were prepared for two step works. And the production for a lathed blank was tried to make a more precise involute gear of stub tooth. An accuracy of tooth face of rolled piece was greatly influenced by a shape at the top flank of rough rolling tool and its setting position against the gear blank. Then, those conditions in the two step gear rollings were experimentally investigated to improve the accuracy of the rolled profiles. In consideration of the 1st report, the pair tools of a new round-flat type were designed and examined by rolling the workpiece (module 1.5, pressure angle 24.5° , number of teeth 28 and whole depth 2.7 mm). And the accuracy of the rolled involute profiles were compared and investigated. As the results, the accuracy of the rolled pieces were improved. That is, it was revealed that the combinative system with the new designed rough rolling tool and the finish rolling tool was useful for the two step rollings.

1. はじめに

旋削後の歯車素材をラック形工具により、予転造・仕上げ転造の二段で加工し、歯車として完成させる。この場合の予転造および仕上げ転造後の素材歯形の成形状態は、とくに、予転造工具の形状・寸法の値に大きく影響する。

予転造用工具の全体形状としては、すでに全転造(一度の加工で歯車として完成させる)での実験結果¹⁾から、予転造でも、これと加工量は大差ないことから、全転造用工具の形状と類似の形状・寸法をもつ工具を採用し、実験の結果、この形状でほぼ問題のないことが確かめられた²⁾。

全報²⁾での予転造用工具は、この全体形状をもち、その歯形の部分だけを変更した2種類の工具を用いた。しかして、この歯形の素材歯形成への微妙な関係を調べるため工具設定位置を若干変更して加工し、その際の素材歯形への影響を検討した。

その結果、工具歯先の形状がR・平形では、予転造後の素材歯底部逃げミゾの形成が不十分であり、これが仕上げ転造時に悪影響を及ぼすこと。

また、R形では、素材歯底部のインボリュートの歯形形成が不十分となり、仕上げ転造後もこの結果が素材の歯形に残り、これが歯形誤差の原因となることが明らかになった。

そこで、これらの弱点を考慮した歯先の形状が前回とは別のR・平形を考案し、この予転造用工具を製作した。その際、基準の転造代は前回より若干少なく、0.03mmとした。この予転造用工具を用い、素材歯形形成の微妙な変化を調べるため、工具の設定は基準位置のほか、ここでも若干変更した位置を加えた。また、仕上げ用工具も予転造後の半製品の寸法に応じて若干の設定変更を加えた。

その結果、二段転造後の製品精度は前回より改善され、ほぼ満足すべき結果が得られた。ここでの予転造用工具の製作では、予転造後の素材歯底部に逃げミゾを与えるための工具歯先部長さを0.02mmとした。しかし、本来、この値は素材の加工代の

値との関係で決めるべきであり、この値はなお不十分と思われたので、さらにこの関係を検討した。

しかして、今回の実験の結果から、使用した予転造用工具、仕上げ転造用工具全体の歯先の包絡線の形については、ほぼ問題のないことが確かめられた。そこで、正規部、押し込み部の長さ等、各部の長さ寸法の関係を変更して示した。

2. 実験の条件

2・1 素材の条件

素材歯車の歯形は、従来からこの方式に有利であるとされている高圧力角・低歯歯車とした。歯車要目は、モジュール1.5、歯数28、圧力角24.5°、歯末の丈1.2mm、歯元の丈1.5mm、歯幅10mm、歯車素材全体の幅30mmの平歯車とした。

素材の材質はS15CKとした。転造時の変形量を少なくするため、その中心穴20mmの内径部は浸炭焼き入れし、その研削後の表面硬度は約200HRBとした。

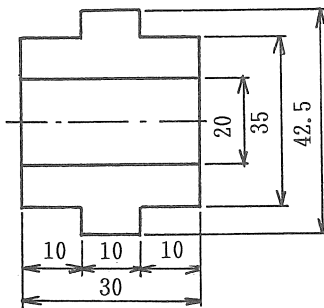


図1 素材の形

旋削後の素材形状は図1に示すように、歯部の位置を素材全体の变形を考慮してその中央部分とし、左右のボス部分の形は同形とした。素材外径の寸法は42.5±0.01mmに、内径寸法は20±0.002mmとし、転造結果に及ぼすの素材前加工の影響を少なくするため、厳密に仕上げた。

仕上げ転造後の素材歯車の円弧歯厚は $\pi m/2$ を基準値とした。実験の種類は、表1に示す工具設定位置別で、予転造→仕上げ転造を11→22, 12→22, 13→22; 11→21; 13→23の5種とした。また、一つの条件での素材歯数は試し転造用の素材を除いて、各4個とした。

2・2 転造の条件

実験装置の中央部断面について、その主要部分の関係を図2に示した。工具は素材の両側にあるしゅう動部分に設置した。この両側の装置は下側の駆動ラック・ピニオンによって連動されており、互いに逆方向に油圧駆動される。

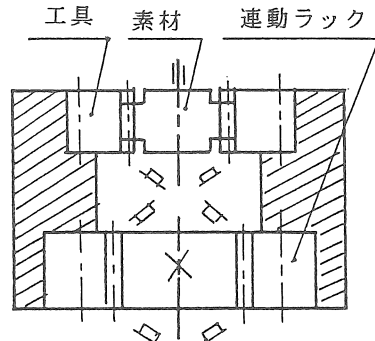


図2 装置の中央部

上側の素材は中心軸には固定せず、自由に回転できる状態にしておき、両側のラック工具によって回転(転造)される、自由駆動方式とした。

予転造後の素材歯面に与える仕上げ転造代の量は0.03mmとし、これを製作するための予転造用工具を設計し、製作した。

工具の設定条件の種類を表1に示す。予転造では、まず、試し転造を繰り返して表1(a)に示す予転造後の素材歯面の転造代が正しく0.03mmになるような位置を求め、これを標準位置とした。

表1 工具設定の種類

(a) 予転造用工具 (mm) (b) 仕上げ用工具

略号	転造代	設定位置	略号	設定位置
11	0.02	前進位置 ⁽²⁾	21	前進位置 ⁽⁵⁾
12	0.03	標準位置 ⁽¹⁾	22	標準位置 ⁽⁴⁾
13	0.04	後退位置 ⁽³⁾	23	後退位置 ⁽⁶⁾

注(1) 予定の加工代が正しくつけられる設定位置
 (2), (3) $\pm 0.01 / \sin \alpha$ 移動位置
 (4), (5), (6) 11→21, 12→22, 13→23で、仕上げ転造後の歯車の円弧歯厚が $\pi m/2$ になる位置

工具の材質はSKD11とし、熱処理後の歯面の表面硬度は、この材質としてはやや低く、HRC58～60とした。製作した予転工具の精度は、単一ピッチ誤差、約15μm、圧角誤差、差約10分である。また、仕上げ用工具はそれぞれ約5μm、約5分である。

転造時の左右方向への工具移動速度は2.4m/minで、また、工具の移動推力の値は、 $2.8 \times 10^3 \text{ kg-f}$ で、それぞれ一定とした。また、転造中は切削油（GALIA-G）を加えた。

3. 予転造用工具の設計

3-1 素材に与える転造代

前回の実験で採用した転造代0.04mmはやや多い値と思われる。しかし、これが少なすぎると予転造と仕上げ転造用工具の歯形寸法が（厳密には）若干異なるため、予転造後の素材歯面が、仕上げ転造時に、その歯形に全面で一様に当たらなくなる。この当たらない部分が残ると、このことが、製品の歯形誤差の原因となる。

すなわち、予転造後の素材歯面は、仕上げ転造時は、良精度の工具歯面に全面で当る（創成される）ことが必要である。この量は、予転造後の半製品の素材精度、工具や装置の総合的な精度の状況、素材の性質、工具の歯面（表面）状況による素材の盛り上がりなどの状況などでも異なる値であらう。これらの点から、ここでは、前回よりこの加工代を0.01mm少ない0.03mmを標準とした。

3-2 工具の歯丈

仕上げ用工具の歯形は、完成される素材歯車と対の形であればよい。すなわち、製品歯車のピッチ円上の歯厚、有効歯丈、歯底の逃げ部等の要目がきまれば、その形状・寸法は自ずから決定される。

仕上げ転造時でも、素材歯面はその転造代の部分が加工されるため、若干の転造力が加わる。また、加工された部分の材料は工具歯先と素材歯底との間で逃げ場を失い、工具歯先がこれを押しつけ、余分な転造力も加わる。

製品歯車の精度の向上のためには、予造後の素材精度をある程度確保しておくと同時に、仕上げ転造時の素材歯車に与える力が最小になるような考慮を要する。このことは、前回の実験結果からも明らかである。

そのためには、まず、仕上げ用工具歯末の丈 h_{a2}

＜予転造用工具の歯末の丈 h_{a1} とすることが必要である。しかし、前回のこれを考慮した工具Bでの実験結果からは、その目的は達成できなかった。

それは、工具の歯先の形状がR形であったため、素材歯底に確実な逃げミゾ部が形成されないことによる。さらに、この形の工具では、素材の有効歯丈の歯元部と逃げミゾ部との接続が円弧になるため、これが転造後の素材の歯形誤差増大の原因となって表れたものと思われる。

製品の歯形精度の向上には、予転造後の素材歯車にも、歯元まで正しいインボリュートを形成させておく必要がある。そこで、ここでは図3に示すように、予転造用工具の正規部歯先は平形とし、その歯末の丈は $h_{f1} = h_{a2} + 0.02 \text{ mm}$ として、予転造後の素材歯底部に角形で深さ0.2mmの逃げミゾをつけることにした。

3-3 工具の形

工具押し込み部の歯先形状はR形が好ましい。そこで、正規部の歯丈 h_{f1} がすでに一定以上の高さなので、図3に示すように、R形部の歯丈が高くなりすぎないように、両者の歯先（歯丈）が同一線上になるようにし、この形状で加工した。

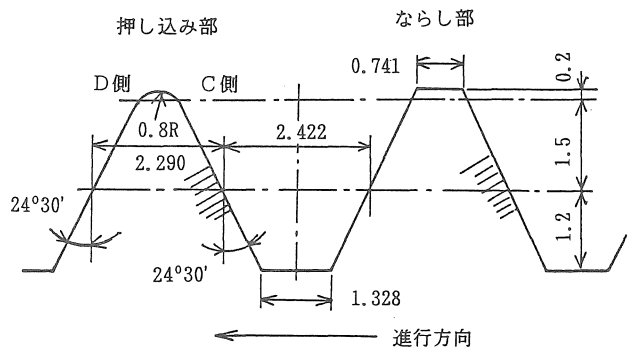


図3 正規部の工具歯先

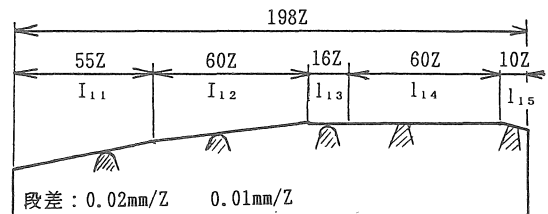


図4 予転造用工具の形

全体の形状は、図4に示すように、 l_{11} , l_{12} , l_{13} の区間は歯先がR形に、 l_{14} , l_{15} の区間は平形とした。なお、押し込み部の区間 l_{11} の歯数は55枚、 l_{12} は60枚で、素材歯車はこの区間でそれぞれ一歯当たり0.28, 0.14mmの押し込みを受ける。

区間 l_{13} の歯数は16枚とした。素材はここで工具歯先の傾斜部を通過した残りの押し込みを完了する。区間 l_{14} の歯数は60枚とした。素材歯車は、ここでならし回転しながら、歯形を形成し、その歯底部に確実な逃げミゾが形成される。

4. 結果および考察

4.1 歯厚

予転造後の素材歯面に与える転造代の量は、すでに述べたように、ここでは0.03mmを基準とした。まず、旋削後の素材に対して試し転造を試み、これが得られるための工具の設定位置を標準位置(略号12)とした。また、転造代の量が0.02, 0.04mmになるように、工具を標準位置から素材中心方向へ計算値、 $y = \pm 0.01 / \sin \alpha_0$ だけ移動させた位置を、それぞれ前進位置(略号11)、後退位置(略号13)とした。

仕上げ転造では、設定12で予転造された素材に対し、仕上げ転造後の円弧歯厚が $\pi m / 2$ になるような設定位置を求めて、標準位置(略号22)とした。同様に、予転造工具の設定11, 13後の素材に対し、仕上げ転造後の歯厚が $\pi m / 2$ になるような設定位置を求めて、それぞれ、前進位置(略号21)、後退位置(略号23)とした。

実験結果の素材について、またぎ歯厚の平均値から求めた片側歯厚の値を図5に示した。図中の矢印は、ここでの予定値を示し、●印は予転造後、○印は仕上げ転造後の実験値を示す。

仕上げ転造後の歯車のまたぎ歯厚(4枚)の予定値は、 $S_{m0} = 16.083$ mmである。したがって、設定12による予転造後の歯厚寸法は、 $S_{m12} = S_{m0} + 2 \times 0.03$ mmである。

設定12, 22では、試し転造を繰り返して素材のまたぎ歯厚寸法 S_{m12} , S_{m0} が正しく得られるような位置に設定した。したがって、図4に示すように、設定12→22による結果では、実験後の各素材とも、その平均値はほぼ予定値となった。

これに対して、設定11後の素材歯厚は、予定値に対して若干加工不足となり、設定13では、やや

加工過多となった。設定11は、設定12の位置から素材歯面の転造代の量が0.01mm減少するような位置に工具を移動した位置とした。しかし、転造中はバネ効果のため、装置が素材中心方向に対して若干逃げていたものと思われる。

また、同様に転造代の量を0.01mm増加させるための設定位置13では、転造中は、両側の工具が予定位置より若干素材の中心方向に寄っていたものと思われる。すなわち、工具の設定位置変更により素材の歯厚寸法を加減する際には、その値が僅かであっても、厳密には装置の弾性変形の考慮が必要である。

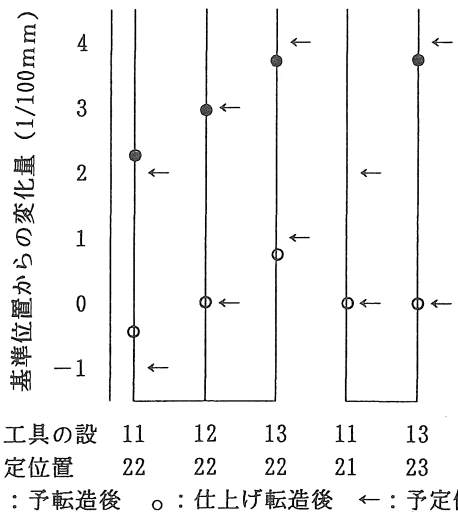


図5 工具設定位置と歯厚寸法差(片側)

設定位置11→22による結果では、歯厚は計算値に近付くが、なお若干届かない。また、13→22では、予定値より加工量が多くなった。すなわち、仕上げ用工具の設定位置が一定なら、片側歯面の標準加工量0.03mmに対して、予転造後の転造代が大きいと加工量はこれより大きくなり、小さいとやや小さくなる傾向にある。

予転造用工具の設定位置11, 13で加工された素材歯厚を正しく $\pi m / 2$ に加工するには、図4の11→21, 13→23に示すように、それぞれ独自の設定位置で行うべきである。

設定11後の素材および設定13後の素材を、それぞれ設定21, 23で行った仕上げ転造では、これは、あらかじめ試し転造でそれを確認した設定位置であったので、実験後の各素材歯厚の平均値はほぼ予定値となった。

4・2 歯形

前報²⁾での予転造用工具A形は、押し込み部の歯先がR形で歯丈は正規部より高く、正規部の歯先は平形で、その歯丈は仕上げ用工具と同寸法とした。これは、予転造後の素材歯底に逃げミゾをなくし、仕上げ転造時に、工具歯先の押しつけに原因すると思われる製品精度の悪化が認められた。

また、同B形は、押し込み部・正規部とも同じ歯丈で、仕上げ用工具の歯丈より高くし、全ての歯先をR形とした。しかし、歯先の丸形は、厳密な加工が困難なこともあり、このための、半製品の歯形誤差が大きくなった。さらに、仕上げ転造時でも、この誤差の部分が取り除けないで残った。

ここでは、予転造後の素材歯面は、有効歯元の丈の部分まで、正しくインポリユートに加工するため、予転造用工具の歯末の丈は0.2mm高くし、その歯先は平形にした。

また、押し込み部の歯先はR形としたが、歯丈は高すぎないように正規部と同じ高さとした。したがって、今回の予転造時には、素材の歯底部に確実な逃げミゾが付けられているはずである。

4・1項で示したように、設定13では、転造中の工具素材歯面に転造代0.4mmが正しく付けられる位置より若干素材中心方向に寄った位置で加工している。また、この場合のみかけ上の転造代は0.04mmで、これがここでの最大値である。仕上げ転造時にこの逃げミゾに作用するこれらの悪影響、すなわち、工具歯先が素材歯底を押しつけることによる付加力の発生は、ミゾ深さがそれが0.2mmあるので、ここでは問題はないと思われる。

予転造後、仕上げ転造後の歯形誤差の値は、いずれの場合もフオロワ側より、ドリブン側の方がやや悪化しており、また、それぞれの特徴をよく表していると思われる。そこで、この代表的な、よく傾向を示している、と思われる歯形誤差線図を図6に示した。

設定11, 12, 13による予転造後の素材歯面の歯形誤差測定の結果は、3種類とも大差はなく、いずれもピッチ点付近にやや凹のある、転造方向に若干傾いた類似の形状を示している。フオロワ側の傾きは、これよりは少なく、全体として基準圧力角より立ちぎみで、その平均的な傾き量は前者の約1/2程度であった。

仕上げ転造後の歯形誤差は、いずれの場合も改善された。改善の傾向は、仕上げ用工具の設定22に

ついては11→22, 12→22, 13→22の順で、11→22での製品歯形の精度が最良であった。また、11→22と11→21とでは前者がよく改善されており、13→22と13→23とでは差は殆ど認められなかった。

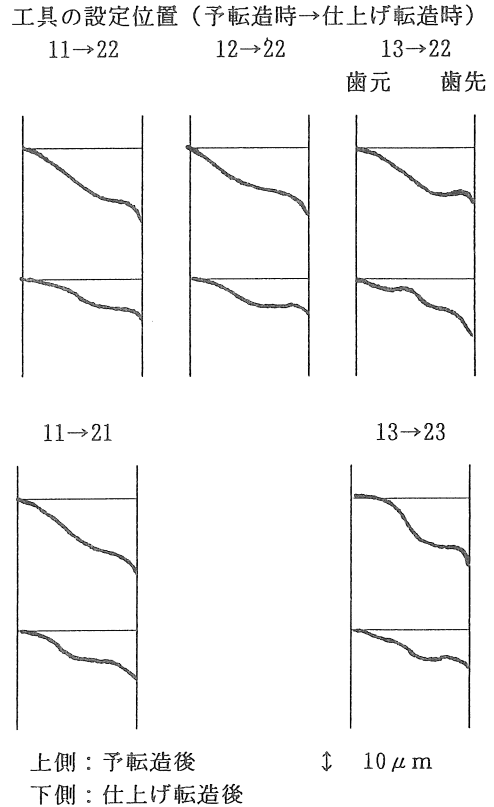


図6 歯形誤差（ドリブン側）

設定11では、転造後の、みかけ上の転造代は0.02mmであり、これの設定22による仕上げ転造では、加工量はほぼ0.025mm程度と標準値より少なかったため、改善の効果があつたものと思われる。すなわち、仕上げ代としては今後0.02～0.025mm近辺についての検討を、さらに進めるべきと思われる。

予転造用工具の正規部歯先を平形にすること、および押し込み部はR形とし、正規歯部との段差を設けない今回使用したこの形は、予転造用工具の形としては良い形であると思われる。

なお、今回は予転造用と仕上げ用工具との歯末の丈の差を0.2mmとした。これは僅かな値ではあ

るが、素材歯歯車に与える仕上げ代の量などとも関連して、なお、検討しておく問題である。

今回の結果からも明らかなように、仕上げ転造後でも、ドリブ側歯面の転造方向への傾きの傾向はまだ残っており、また、コースト側でも若干の逆の傾きが生じている。しかし、これらの転造歯車に特有な全体としての歯の傾きの傾向は、従来の方法（工具の歯寸法、歯先形状等の変更）では取り除けいと思われる。この傾き量を改善するためには、今後は創成時に素材歯形に及ぼす工具歯面の圧力角の修正等について、転造力との関係での考慮が必要になるとと思われる。

5. 予転造用工具の歯形

仕上げ転造時の最大の問題は、素材の仕上げ代の部分が工具歯先部に流れ、素材歯底部と工具歯先面との押しつけによる付加力の増大にある、と思われる。このことは、予転造用工具の設定位置を若干変更し、それによる転造代の増減と素材歯底部の逃げミゾとの関係が、製品精度に影響を及ぼす実験結果からも明らかである。

そこで、歯直角の二次元断面において、素材歯面の転造代の量と、その際に歯底部に付加すべき逃げミゾ深さとの関係を検討した。

5.1 基準の歯形

5.1.1 素材の歯形

仕上げ転造後の素材の製品歯形は、歯末の丈 h_{a0} = 0.8 m, 歯元の丈 h_{r0} = 1.0 m, ピッチ円上の歯厚 $s_{p0} = \pi m / 2$, 圧力角 $\alpha_0 = 24.5^\circ$ の高圧力角・低歯歯車とする。

予転造後の歯面に与えられる転造代 δf は、歯先から歯底まで一様な値とし、両側歯面には同一の転造代を与えるものとする。さらに、予転造後の素材歯底部には、予転造時に深さ h_{a0} の逃げミゾを加えるものとする。したがって、予転造後の素材の歯元の丈は $h_{r0} + h_{a0}$ となる。

5.1.2 仕上げ用工具の歯形

工具の歯形は、完成後の素材歯形とは逆の形となる。すなわち、歯末の丈 $h_{a2} = h_{r0} = 1.0$ m, 歯元の丈 $h_{r2} = h_{a0} = 0.8$ m, 工具圧力角 $\alpha_0 = 24.5^\circ$ である。

ピッチ線上の歯厚 $s_{p0} = \pi m / 2$
 ピッチ線上のミゾ幅 $e_{p0} = s_{p0}$ (1)

5.2 予転造用工具の歯形

5.2.1 歯形寸法

素材に与える転造代を δf , 圧力角を α_0 とすれば、ピッチ線上の歯形寸法は (2) となる。

歯厚 $s_{pwo} = s_{p0} - 2\delta f / \cos \alpha_0$
 ミゾ幅 $e_{pwo} = e_{p0} + 2\delta f / \cos \alpha_0$ (2)

5.2.2 面積の比較

仕上げ転造時には、素材歯元の丈 h_{r0} に付着した部分の転造代 (図7の四辺形 ABCD 部分) が、素材歯底ミゾ部 (同、台形 GG' B' B 部分) に入り込むものとする。素材歯先部の転造代の部分は、多くはその歯先へ流れる。とくに、フォロワ側からすべり上がった流れは、最終的には工具の歯底部で押しつけられているのが、完成品の結果からも認められる。

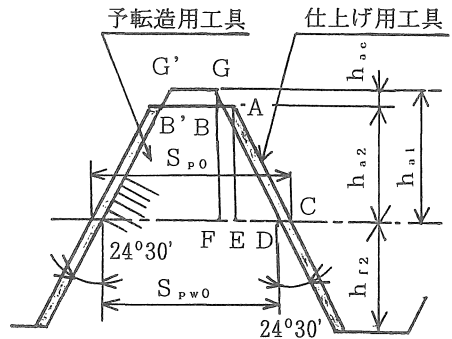


図7 工具の歯形

そこで、台形 GG' B' B の面積を S_1 , 四辺形 ABCD の面積の2倍 (両側) を S_2 とし、 $S_1 \geq S_2$ から、図7の予転造用工具歯先の突出部 h_{a0} の値を求める。

$BB' = s_{pwo} - 2h_{a2} \tan \alpha_0$
 $GG' = BB' - 2h_{a0} \tan \alpha_0$ と (2) より、 S_1 は (3) となる。

$S_1 = \{s_{p0} - 2\delta f / \cos \alpha_0 - (2h_{a2} + h_{a0} \tan \alpha_0)\} \tan \alpha_0$ (3)

つぎに、四辺形 ABCD の面積 S_2 は図7より、四辺形 ABCD と ABFE の面積が等しいので (4) となる。

$S_2 = 2h_{a2} \times \delta f / \cos \alpha_0$ (4)

ここで、(3) = (4) とすれば

$\{s_{p0} \cos \alpha_0 - 2\delta f - (2h_{a2} + h_{a0}) \times \sin \alpha_0\} \times h_{a0} = 2h_{a2} \delta f$, となる。

h_{a0} は小さな値であるから、 $h_{a0}^2 \times \sin \alpha_0$ の項を無視すれば、 h_{a0} は(5)となる。

$$h_{a0} = 2 h_{a2} \delta f / \{ s_{p0} \cos \alpha_0 - 2 (h_{a2} \times \sin \alpha_0 + \delta f) \} \quad (5)$$

これより、仕上げ代 δf 等の条件が与えられれば h_{a0} の値は求められる。

しかし、これらの関係は厳密には、素材の材質、圧力角、歯幅、モジュールなどでも、それぞれ若干異なる値である、と思われる。

5・2・3 実験条件での値

実験に使用した歯車、すなわち、ここでの高圧力角・低歯歯車の各条件は、 $s_{p0} = \pi m / 2$ 、 $\alpha_0 = 24.5^\circ$ 、 $h_{a2} = 1.2 \text{ mm}$ 、 $\delta f = 0.03 \text{ mm}$ である。

この場合について、 h_{a0} の値を式(5)より求めると、(6)になった。

$$h_{a0} = 0.072 / \{ 2.144 - 2(0.498 + 0.03) \} = 0.066 \text{ mm} \quad (6)$$

6. 工具歯先包絡線の形

旋削後の素材から、ラック形工具による二段転造により、高圧力角低歯歯車を完成させる。その際の工具全体の形状、とくに歯先部包絡線の形について、以下の結果を確認した。

6・1 予転造用工具

前回²⁾の実験では、あらかじめ想定した全転造用工具¹⁾とほぼ類似の全体形状の工具で差し支えないことが確かめられた。さらに、今回の結果から正規部の歯先が段差のなR部・平部の組合せでよいことが確認された。工具歯先の、この包絡線の形を図8に示した。

6・1・1 押し込み部

図8の点 g_{11} から点 g_{13} までの区間を「押し込み

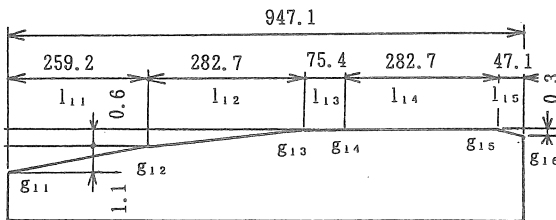


図8 予転造用工具歯先の包絡線

部」とする。この区間では、 g_{11} より g_{13} に近づくにしたがって、素材一歯当たりの押し込み量を少なくすることが望ましい。

すなわち、工具歯先は旋削後の素材外径値付近(ほぼピッチ円近傍となる)の g_{11} 部より、その歯底部に近づくのにしたがって、素材の円周ピッチ(実際には弦ピッチ)と工具のピッチ πm との差が大きくなる。工具の設計では、その工具歯先部の押し込み位置による、締め付け量の増大に応じた転造力の順次の減少を考慮すべきである。

しかし、この区間を円弧とし、これを正規歯部歯先の包絡線の直線部分と円滑に接続することは、加工上不利なので、ここでは、この円弧を工作の容易な二直線で置き換えた。 l_{11} 、 l_{12} の区間では、素材はそれぞれ約2回転し、その間の素材一歯当たりの押し込み量は、それぞれ $d_1 = 0.28$ 、 $d_2 = 0.14 \text{ mm}$ である。押し込み量としては、この程度で差し支えないものと思われる。

6・1・2 正規部ほか

素材は図8の点 g_{13} を過ぎて、なお半回転の区間は押し込まれる。この間を多少の余裕をみて l_{13} を歯数16(素材歯車の歯数の $1/2$ は14)とした。 l_{14} の区間は、ならし回転部である。素材はこの区間でも若加工される。これが長すぎるとラック工具・駆動装置全体の累積誤差増大の原因となり、また、短かすぎると歯形部の加工不足で素材歯車の精度が乱れる。実験の結果からは、この区間はほぼ2回転でよいと思われる。

区間 l_{15} は逃げ部である。この長さを10歯とし、段差を 0.3 mm とした。この傾き角は小さいほどよいと思われるが、一定量の逃げ部段差は必要である。したがって、傾き角を小さくしすぎて工具が長くなりすぎないような、全体の累積誤差の増大との兼ね合いで、その限界があるものと思われる。

6・1・3 工具の形

(1) 段差: 押し込み部 l_{11} 、 l_{12} 区間の段差を c_{11} 、 c_{12} とし、その区間の素材一歯当たりの押し込み量 d_1 、 d_2 を与えれば、段差の値は(1)となる。また、逃げ部段差 c_{13} は(2)でよい。

$$c_{11} = 2 d_1 \cdot l_{11} / \pi m z, \\ c_{12} = 2 d_2 \cdot l_{12} / \pi m z \quad (1)$$

$$l_{15} = 10 \pi m z, \quad c_{13} = 0.3 \text{ mm} \quad (2)$$

(2) 長さ: 押し込み部は $l_{11} + l_{12} \div 4 \pi m z$ 、正規部はほぼ $l_{13} + l_{14} + l_{15} \div 3 \pi m z$ 、である。したがって、全長 L_1 は(3)となる。

$$L_1 = (l_{11} + l_{12}) + (l_{13} + l_{14} + l_{15})$$

$$\cong 7 \pi m z \quad (3)$$

6・2 仕上げ転造用工具

仕上げ用工具は、予転造後の歯車素材の仕上げ代の部分を転造し、素材の歯形を予定の形に完成させることにある。工具全体の形は図9に示すように導入部、仕上げ部、逃げ部から成り立つ。仕上げ部（正規歯部）の歯形は素材の歯形とは逆の形である。

ここでは、素材の仕上げ加工と同時にならし（なじみ）加工も行われ、ここでの工具精度が完成品の歯形精度に大きく影響する。

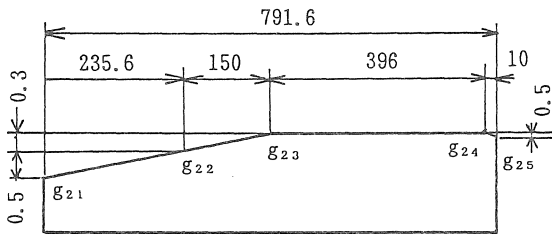


図9 仕上げ用工具歯先の包絡線

6・2・1 導入部

導入部 l_{21} 区間の段差は $c_1 = 0.5$ mm で、歯先の包絡線は段差の差をもつ直線（斜線）とし、歯底部は一歯ごとに 0.01 mm づつ下がった水平線とした。 l_{22} 区間の段差 c_{22} は 0.3 mm である。この区間の歯先の包絡線は上と同様の斜線としたが、歯底部は l_{22} の長さに比べて段差が少ないため、正規部と同じ位置の直線とした。

6・2・2 正規部ほか

工具は素材の両側に設定されているので、素材歯車は正規部に達した後、計算上 $1/2$ 回転で転造代の部分がなくなるはずである。しかし、実際にはこの区間を過ぎても少しずつ仕上げ転造される。累積誤差による全体の長さの制限から、この区間 l_{23} は素材の約3回転が適当であると思われる。

素材は点 g_{24} では完成されている。逃げ部では工具の歯先がすでに仕上げられた素材歯形に触れないように、大きく逃げてよいと思われる。そこで、 $c_{23} = 0.5$ 、 $l_{24} \cong 10$ mm と一定にした。

6・2・2 工具の形

(1) 段差： $c_{21} = 0.5$ 、 $c_{22} = 0.3$ 、 $c_{23} = 0.5$ mm でこの段差の値はモジュール、歯数にはあまり左右されない値であると思われる。

(2) 長さ：段差部 $l_{21} + l_{22} + l_{24} \cong 3 \pi m z$ ；仕上げ部 $l_{23} \cong 3 \pi m z$ である。したがって、仕

上げ用工具の全長 L_2 は (4) となる。

$$\begin{aligned} L_2 &= (l_{21} + l_{22} + l_{24}) + l_{23} \\ &\cong 6 \pi m z \end{aligned} \quad (4)$$

7. 結論

旋削後の素材をラック形工具により、予転造・仕上げ転造の二段加工し、歯車として完成させた。

考案し、設計した工具の形、すなわち、R・平形の組み合わせによる歯先の包絡線の形は、歯車の二段転造のための予転造用工具の形として、良好であることが確かめられた。

その結果、仕上げ用工具および予転造用工具全体の形状（歯先包絡線の各部分の長さ割り合いと素材の転がり回数との関係など）が明らかになった。

歯車中心に対して予転造用工具の設定位置変更して加工し、素材歯車の転造代を加減することは、あまり好ましくない。やむをえずこれで若干の転造代を加減する場合には、仕上げ用工具の微妙な設定変更を要する。

予転造後の素材歯面与える転造代の量は、今回標準とした 0.03 mm より、やや少なめでもよい、と思われる。

予転造後の素材歯車に与えるべき加工代と、それに応じた予転造用工具歯先の突出部（予転造後の素材歯底の逃げミゾ部）の高さ寸法の間関係を明らかにした。

完成した歯車歯形の歯形誤差の原因となる正しいインボリュートからの歯の傾きについては、この精度のより向上のためには、今後は工具歯面の圧力角の修正等も考慮すべきである。

参考文献

- 1) 久野精市郎：歯車の全転造用ラック形工具の歯形、設計・製図、Vol. 25, NO. 10, 15-19, 1990.
- 2) 久野精市郎：ラック形工具による歯車の二段転造（工具の歯形 I）、愛知工業大学研究報告、NO. 28, 1993.

(受理 平成6年3月20日)