

ラック形工具による歯車の二段転造 (工具の歯形 Ⅲ)

Two Step Rollings of gear by the Rack Type Tools (Die Tooth Ⅲ)

久野 精市郎
Seiichiro KUNO

A profile error on tooth face of a rolled gear is often caused by an inclination to rolling direction. Then, the rack die teeth having the modified form against the normal pressure angle were designed and experimentally investigated to improve the accuracy of the rolled involute surfaces.

The pair die tools of rough rolling and the finish rolling were examined by rolling the workpiece (module 1.5, pressure angle 24.5° , number of teeth 28 and whole depth 2.7 mm).

The involute surfaces of workpiece after rough and finish rolling were compared and investigated respectively. As the result, the involute profile of a rolled pinion was improved. That is, in the rough and finish gear rolling by rack type tools, it was revealed that the new modified tools were useful for this system.

1. まえがき

旋削後の素材を一組のラック形工具により予転造・仕上げ転造の二工程で加工し、歯車として完成させる。その際、製品精度に及ぼす実験条件の各項目を検討し、精度向上への限界に挑戦してきた。

しかし、この加工方法で完成させる歯車の製品精度は、押しつけ加工であることから自ずと限界があるものと思われる。すなわち、製作するための装置の強度や精度、加工工具の精度や形状寸法、工具等の移動精度や押しつけ力など、製品精度に関係する項目は非常に多く、それらが相互に影響するからである。

これらのうちで、とくにその影響が大きいのは予転造工具ならし部歯形の形状・寸法である。この

ことに着目し、これまで、これらの値を変化させた実験と検討を進めてきた。⁽¹⁾⁽²⁾

その結果、予転造工具の歯形には、一定の形状・寸法が必要であることが明らかになった。

仕上げ用工具の歯形は、製品歯車の歯形とは相対の形であり、基本的にはこの歯形部分の形状・寸法はその歯車製作の目的によって決められる。

しかし、予転造工具では、予転造時に必要とされる相対の歯形を満足させても、まだ幾つかの問題点が残っている。その一つは、これはこの方式の弱点であるとも思われるが、予転造された半製品の歯車が転造方向へ歯が傾いて、それによる歯形誤差が若干認められることであり、もう一つは、加工終了時に素材が工具を抜け出るときに生ずると思われる誤差(偏心・ピッチなど)をもった歯車が、たまたま生ずることである。

げ部の形状・寸法、および両側ラック工具が左右に移動する際の互いの位相位置関係の若干のずれ等に原因するものと思われる。この問題については後日検討する。

ここでは、前者への対応の手段として、工具歯形の歯面修正を考慮した。予転造後の素材歯形は、ドリブン側（以下D側という）歯面の圧力角は予定値より大きくなり、フォロー側（以下F側という）では、圧力角は小さくなる傾向にある。

そこで、あらかじめ、工具のドライブ側（以下D側という）歯面をその分だけ逆に立て、コースト側（以下C側という）では逆にねかせた歯形にしておけば、転造後の素材歯形のこの傾きの傾向は改善されるのではないかと、と思われる。

ここでは、工具の歯面をここでの基準圧力角より $\pm 20'$ 修正した工具を設計・製作し、これによる工具で予転造・仕上げ転造の実験を試みた。

その結果、製品精度のうち歯形誤差（歯の傾き）は全体としては、やや改善され、その効果が認められた。しかし、製品の中には、以前とあまり変わらないものも含まれており、良いものと改善の認められないものとのバラツキも生じた。

これらの現象は実験装置を構成している各部分や加工条件等によって生ずる各部分の誤差が相に影響しあうために生ずるものと思われる。今後、これらの原因を詳細に検討し、順次取り除いていけば安定した精度のものが得られるものと思われる。

2. 実験条件

2.1 素材

完成後の素材歯車は1.5m, 28Zとした。歯形の形状はこの加工方式に有利な高圧力角・低歯とし、圧力角 24.5° , 歯末の丈 $0.8m = 1.2\text{mm}$, 歯元の丈 $1.0m = 1.5\text{mm}$ とした。また、歯車完成時の円弧歯厚は $\pi m / 2 = 2.356\text{mm}$ の基準値とし、歯幅は10mm, 素材幅は30mmとした。

材質は歯部の今後の浸炭焼き入れを考慮して、S15CKとした。転造時の内径寸法の若干の拡大傾向に対処するため、旋削加工後、その内径部を浸炭焼き入れし、変形防止のための、熱処理（HRB600程度）を施した。

転造前の素材形状を図1に示す。予転造後の素

材歯形は、仕上げ代 0.02mm 付き（円弧歯厚 $\pi m / 2 + 0.04\text{mm}$ ）のものを標準とした。また、このときの半製品歯車の歯末の丈は 1.2mm , 歯元の丈は 1.6mm とし、歯車として完成時の全歯丈より若干高くした。

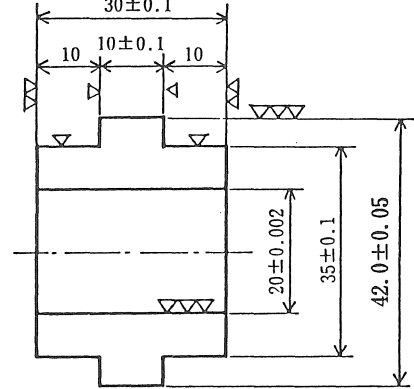


図1 素材の形状・寸法

回転加工中の素材は、両側工具の移動時に生ずる若干の累積誤差（位相誤差等）の影響を受けやすい。そこで、これを両側の工具には拘束されないように独立させ、素材は中心軸とは固定せず、自由に回転できるようにした。

実験では、後述する実験項目につき、各条件での試し転造を十分行った後、それぞれ4個ずつの予転造・仕上げ転造を行った。

2.2 工具・装置

図2は実験装置の中央部断面の説明図である。

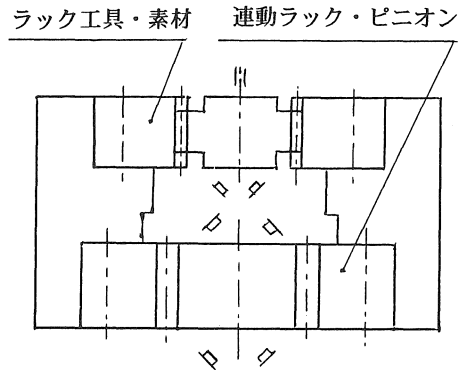


図2 実験装置の中央部断面

両側の移動装置は、その下側にある $m = 4$, $PA = 20^\circ$, ねじれ角 10° のハスバ駆動ラックと一体

であり、互いに逆方向に油圧駆動される。転造中の移動速度は約 2.4 m/min で、移動推力の値は $2.8 \times 10^3 \text{ kg-f}$ で、それぞれ一定値とした。

予転造用の工具は、転造後の素材歯面に、仕上げ用の加工代 0.02 mm を与えるような歯厚を持ち、歯丈を若干高くし、一定量の圧力角を修正した歯形として設計し、製作した。この歯形の形状・寸法を図 3 に示した。

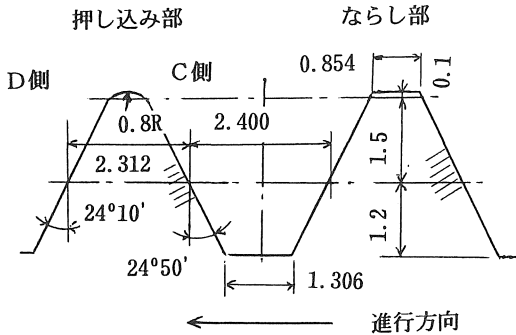


図 3 工具正規部の歯形形状

また、実験では、転造代の僅かの変化と、それによる完成後の歯の傾きとの関係を調べた。この転造代の異なる素材歯車は、両側工具の設定位置を素材中心方向に対して、それぞれ $\pm 0.01 / \sin 24.5^\circ = 0.023 \text{ mm}$ だけずらして再設定してから転造し、半製品歯車を製作した。このときの素材歯面に与えた仕上げ加工時の転造代の量は、およそ 0.01 mm, 0.03 mm である。

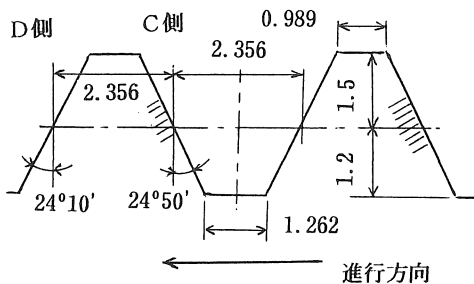


図 4 仕上げ用工具の歯形形状

仕上げ用の工具は 2 種とした。この歯形形状は図 4 に示す。歯面修正工具（以下 a 工具という）の

歯形は従来からの基準形（完成後の素材歯形とは逆の形）で、工具圧力角は $\alpha_0 = 24.5^\circ \pm 20'$ とした。無修正工具（以下 b 工具という）の歯形の各寸法は a 工具と同様で、工具圧力角は $\alpha_0 = 24.5^\circ$ である。

a, b 工具の設定では、転造代 0.02 mm を持つ予転造後の素材が仕上げ転造後その部分が正確に取り除かれ、円弧歯厚が正しく $\pi m / 2$ になるような工具位置を求めてこれを基準位置とし、この一定位置に工具を固定して転造した。

すなわち、予転造後の転造代が 0.01, 0.03 mm をもつ素材も、この基準位置に設定した仕上げ用工具で転造し、完成させた。

3. 修正工具の設計

3.1 従来の工具歯先部

新しい工具の設計に先立って、従来の予転造用工具の歯先部がその加工時の製品精度に及ぼす関係について、これまでの結果を再検討した。すなわち、製品に及ぼす影響の大きな項目である歯先寸法の変化、または設定位置（歯先位置）の変化等の製品精度への影響を確かめ、問題点の改善を試みた。

表 1 実験項目の内容

(mm)

条件 NO.	工具名	歯末の丈・形	設定位置	転造代	歯底部 h_{ac}
1	A	1.5 平形	I	.03	.024
2			II	.04	.000
3			III	.05	-.024
4	B	1.7 丸形	I	.03	.174
5			II	.04	.150
6			III	.05	.126
7	C	1.7 平形	I	.02	.224
8			II	.03	.200
9			III	.04	.176

注 (1) 工具 A, B, C の基準設定位置は II である。す

なわち、予転造後それぞれⅡの転造代をもつ歯車が得られるように設計された歯形の工具である。

(2) 工具Bは、歯先が丸形のため、素材歯底の逃げミゾ部の有効深さを $0.2 \times 3/4 = 0.15$ mmとした。

(3) 設定Ⅰ、Ⅲは、両側工具をⅡの位置より $\pm 0.1 / \sin 24.5^\circ = \pm 0.024$ mmだけ設定変更し(Ⅰは中心軸に近づけ、Ⅲは遠ざけ)た位置である。

(4) 寸法 h_{ac} は、仕上げ転造時の工具歯先と素材歯底部との隙間で、-は仕上げ用工具の歯先が転造開始時にすでに素材歯底に当たっている状態を示す。

工具圧力角を基準値より若干修正した場合でも、両側歯面の修正量が±で等量であるならば、その歯先寸法の値が素材精度に及ぼす影響は、従来の工具の場合と大差ないものと考えられる。すなわち、これまでの実験結果は利用できるはずである。そこで、こ予転造用工具別にその要目を再整理し、表1に示した。

3.2 工具の歯丈

工具Aでは、表1に示すように、いずれの設定でも h_{ac} の値が不足している。すなわち、仕上げ転造時の工具歯先と素材歯車・歯底面との隙間が不足で、取り除かれる転造代の部分の工具歯先方向への逃げ場がない。このため、工具歯先が素材歯底部を全面で押し付け、歯車に予期しない転造力が加わる原因となる。

工具Bでは、歯先のR型形状の精度のばらつきが生じ易い。この多少の不均一性は加工上止むを得ぬものであるが、これが災いし、この歯先が転造時に素材歯面のインボリュート誤差を大きくしてしまう。

また、この形では工具歯形の直線部分と歯先の半円部との均一な接続(位置)の精密加工の困難さを伴う。転造時には、これらの若干の加工誤差が素材歯底部に写され、素材歯面のインボリュートの出発点の位置が歯毎に若干変化することにより、歯形精度が不均一になり易い。

歯先のR形は、押しつけ加工のための形状としては好ましい形である。ここでの歯末の丈の増分 0.2 mmの値は、素材歯底の逃げミゾのための有

効高さを $3/4$ 程度(約 0.15 mmの高さの差に相当)としても、仕上げ転造時に必要な逃げミゾの大きさとしては、ほぼ満足な値である。

工具歯形Cの形は、上の二つの弱点を補ってはいる。すなわち、素材歯底部の逃げミゾに対応する増分の高さはよく、また、歯先が平面なので対応する素材歯底部のインボリュート始点の均一性も良好である。しかし、歯先の平面は、押し込み時には、素材との間に面当りの転造力が生じる。

ここでの各 h_{ac} の大きさは、転造代の量等との関係でも変化すべき値である。歯のたわみ量は、歯丈の僅かの高さの差でも大きく影響する。したがって、この h_{ac} の値は必要最小限に止めるべきであり、その意味からは、ここでのC形工具の歯末の丈は高すぎると思われる。

この h_{ac} の値は次式で与えられている⁽²⁾。

$$h_{ac} = 2h_{a2} \delta f / \{ S_{p0} \cos \alpha_0 - 2(h_{a2} \sin \alpha_0 + \delta f) \}$$

h_{a2} : 仕上げ用工具の歯末の丈

δf : 仕上げ転造時の素材歯面の加工代

これらの値は、素材の材質、圧力角、モジュール、歯幅等でも若干変化する値である。しかし、ラック形工具による冷間転造では、この転造代の量は高々 0.04 mm程度と思われ、これに対応する h_{ac} の値は高々 0.1 mm程度である。

さらに、転造時には、転造力による装置の弾性変形に対する逃げも考えられる。そこで、実際の h_{ac} の値(工具の設計値)では、これらを許容する数値が必要である。これらを考慮して、ここでの修正工具の h_{ac} の値は、 0.10 mmとした。

3.3 工具圧力角

転造加工では、加工後の素材歯車の歯形は、その回転方向に若干傾き易い。すなわち、図5の(1)に示すように、予備転造工具①の歯形で転造すると、素材の歯形は②で示される傾向になる。そこで、図5の(2)に示すように予め工具の歯形をこの傾き量だけ逆方向に修正した圧力角をもつ歯形③にしておけば、これで転造された素材の歯形は④の正し形に完成できるのではないか、と思われる。

従来の実験結果からは、①の工具で転造した予転造後のD側の素材歯形は $15 \sim 20$ 分程度その方向に倒れ(圧力角が増大し)、F側では 15 分程度立つ(圧力角が減少する)傾向にあった。

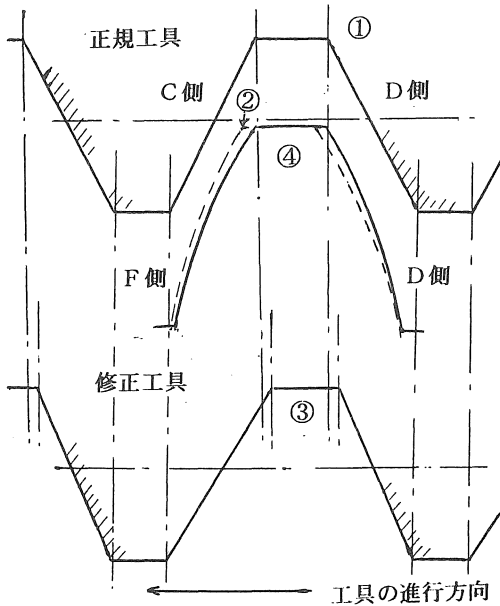


図5 工具の歯形と素材の歯形

しかし、これらの圧力角変化の様子は一様ではなく、上記の範囲を中心としてバラツキも多い。それには工具の歯形形状以外にも、装置の移動誤差など多くの因子が影響しているものと思われる。そこで、ここでは当面、基準圧力角 $\alpha_0 = 24.5^\circ$ に対して両側歯面を等量 $\pm 20'$ 修正することとし、各工具圧力角を、D側は $25^\circ 10'$ 、C側は $24^\circ 50'$ とした。

3.4 全体形状

予転造用工具（2個一組）の全体形状は従来からのものと同一形⁽²⁾で、その全長は947.1mm、歯幅は35mmである。工具歯先の包絡線の形は、素材の入り口側から、押し込み部、正規歯部、逃げ部の順である。

押し込み部Ⅰ（長さ259.2；段差1.1）、押し込み部Ⅱ（長さ282.7；段差0.6）、正規歯部Ⅰ（長さ75.4）までの歯先は丸形であり、正規歯部Ⅱ（長さ282.7）、逃げ部（長さ47.1；段差0.3）の歯先は平形とした。

歯先の丸形は素材の押し込み・成形に作用する部分であり、平形は素材は底部の成形とならし回転とに作用する部分である。

仕上げ用工具（2個一組で、修正工具と無修正

工具）の全体形状も従来からのものと同一形⁽²⁾で、その全長は7961.6mm、歯幅は40mmである。工具歯先を連なる包絡線の形は、導入部Ⅰ（長さ235.8、段差0.5）、導入部Ⅱ（長さ150、段差0.3）、正規歯部（長さ396）、逃げ部（長さ10、段差0.5）から成り、歯先の形は全て平形とした。

4. 実験結果および考察

4.1 実験順序と項目

製作した一組の予転造工具（以下d工具という）を、まず図2の装置に仮取り付けした。その後、両側工具の互いの進行方向への相対位置関係と素材中心に向かっての前後方向の設定位置を調整し、移動部に固定した。つぎに、この工具による素材の試し転造を数回繰り返す、予転造後の素材歯厚の寸法が正しく $\pi m / 2 + 0.04$ mm（片側歯面の転造代は0.02mm）になる位置ような前後の位置を求めて、d工具の本設定とした。

この位置を予転造工具の基準位置Ⅱとする。位置Ⅰは片側歯面の計算上の転造代を0.01mmにするため、工具をこの基準位置より素材中心方向へさらに $0.01 / \sin \alpha_0 \approx 0.024$ mmだけ移動して設定した場合であり、Ⅲは転造代を0.03mmにするため、逆に0.024mm後退して設定した位置である。

表2 工具の設定と実験項目の略号

dの設定位置	予転造工具 d使用	仕上げ転造 工具a使用	仕上げ転造 工具b使用
I	dⅠ	dⅠ・a	dⅠ・b
Ⅱ	dⅡ	dⅡ・a	dⅡ・b
Ⅲ	dⅢ	dⅢ・a	dⅢ・b

仕上げ用工具（歯面修正工具a、無修正工具b）の素材に対する前後方向の設定は、dⅡで製作された半製品の素材が仕上げ転造後、その歯厚が正しく $\pi m / 2$ となる（0.02mmの加工代の部分が正確に取り除かれる）位置を求めて一定値とした。

これらの工具と実験項目の略号を表2に示した。

4. 2 歯厚

転造後の素材歯車の歯厚寸法を基準値からの変化量として、図6に示した。ここでの仕上げ転造後のまたぎ歯厚寸法の基準値 S_{m0} は、 16.083 mm である。したがって、予転造加工d I, d II, d III後の素材歯厚の予定値は、 S_{m0} にそれぞれ、両側歯で $0.02, 0.04, 0.06\text{ mm}$ 加わり、 $16.103; 16.123; 16.143\text{ mm}$ となる。

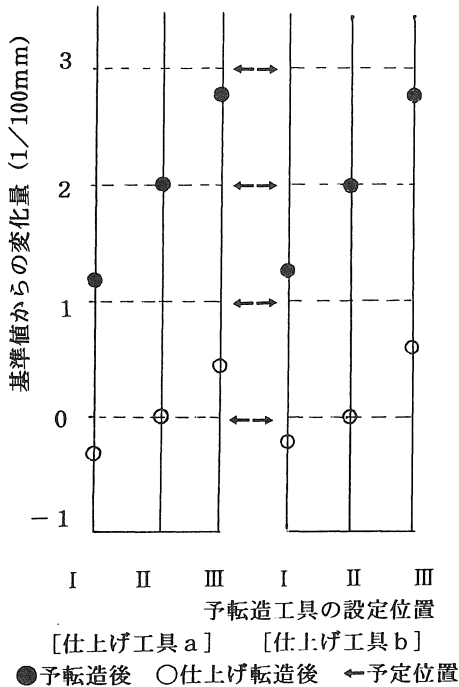


図6 加工後の歯厚寸法 (片側歯面)

条件IIのd工具では、予定の仕上げ代が 0.02 mm になるように、また、条件IIでの仕上げ加工での仕上げ加工時のa, b工具では、この部分が取り除かれるように、素材の試し転造を繰り返してから固定位置を決め、設定した。したがって、この条件による実験結果の歯厚寸法の値はいずれも予定値に近く、 $\pm 0.008\text{ mm}$ の範囲となった。

条件Iの予転造後の歯面は、予定の仕上げ代 0.01 より若干大きく、 $+0.013\sim+0.015$ 程度になった。また、この素材の仕上げ転造後は、 -0.005 mm 程度とやや加工過多になった。a, b工具後では殆ど差はないが、どちらかといえば

aの方が加工量はやや多い。

条件IIIの予転造後は、予定の仕上げ代 0.03 mm より若干少なく、 $+0.025\sim0.028\text{ mm}$ となり、仕上げ転造後は $+0.005\sim+0.008\text{ mm}$ になった。

いずれにしても、ここでの歯厚寸法の値は転造加工で生ずる歯の傾きとの関連で、およその傾向をためのものである。歯厚が正確に予定値となるか否かは、ここではさして問題とはしない。それは、それぞれの歯厚の必要条件に応じて、工具の素材中心方向への相対位置を設定変更すれば得られる値だからである。

I, IIの結果による予定値との差の生ずる原因は、転造中に生じた工具の背分力のために装置が弾性変形した影響であろう。これらの正確な値を得るには、必要に応じてその装置の剛性を考慮した実条件(素材の材質、歯幅、モジュール等)による補正を行えばよいであろう。

ラック形工具による歯車の二段転造では、仕上げ転造時の素材歯面の加工代は、 $0.01\sim0.02\text{ mm}$ 程度がよいと思われる。ダイローラ形による成形とは異なり、ラック形方式では、仕上げ加工時に素材歯面を若干修正加工するための肉厚が必要だからである。

また、仕上げ時の転造代が $0.015\pm 0.005\text{ mm}$ 程度であるならば、それに適応する一組の予転造工具で、この加工は可能である。すなわち、この程度であれば工具を素材中心方向へ設定変更してられる(仕上げ加工時の歯車の品質には関係しない)範囲であると思われる。

さらに、その際の予転造工具歯末の丈の増分は、本実験の範囲では、装置の耐剛性力にもよるが、高々 0.1 mm 程度あればその目的は達成できるものと思われる。

4. 3 歯形

転造歯車は押しつけ、回転加工である。そのため、素材の材質は比較的軟らかくしておく必要があるが、それでも加工時の転造力は相当大きな値となる。したがって、素材歯面にも大きな力が加わり、回転方向への倒れを生じ易い。

これは止むを得ない現象で、そのため、この方式には製品の歯形精度への限界があるようにも思われる。

ここでの有効歯丈 2.4mmの区間で、歯が一樣に傾いたとした場合、歯先での10 μ mの歯形誤差は傾き角では、約14分程に相当する。

従来からの二段転造時における予転造後の素材歯形の傾きの程度は、歯が一樣に傾いたとした場合の歯形誤差として、D側で-20~-25 μ m（圧力角誤差では+30~+35分）、F側では+10~+15 μ m（同-15~-20分）程度である。

基準圧力角の工具で、加工された歯面にこれだけの差が生じるのなら、それを加工する工具の歯形を逆の形に修正しておけば、加工後の歯形に良い結果が得られるかも知れない。その際、予転造加工後の素材歯面の圧力角を左右一定値にするため（ここでは歯先と歯元で加工代が異なることのないように）、修正歯面の歯形は左右等量にすべきであると思われる。

そこで、ここでの工具歯面は等量修正（修正量は ± 20 分）とした。これによる転造歯車のD側歯面の結果の一部を図7に示した。

設定条件Ⅱのd工具による結果では、歯の平均的な傾き量は無修正工具によるの場合にくらべて明らかに減少し、従来の1/2程度に少なくなった。しかし、なお回転方向への若干の歯の倒れ（圧力角の増大）が認められる。

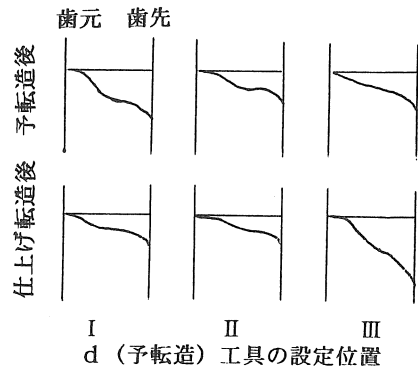
しかも、これらの値の中には歯の倒れが殆ど0近辺のもの（予定の正しい圧力角のもの）、従来の無修正工具での場合とあまり変わらないものなど、多くが含まれており、全体としては、同じ条件の無修正工具の場合に比べて、ややバラツキが生じているように思われる。この素材の仕上げ加工後では、b工具では若干悪化する傾向にあり、バラツキ幅もa工具での場合よりやや多い。

I・dでの結果の誤差の値は、Ⅱでの場合より平均して5 μ m程度多い。しかし、この値は無修正のd工具での場合よりは平均的には若干少なくなる。工具修正の効果は認められるが、結果の歯形誤差のバラツキもやや多くなった。

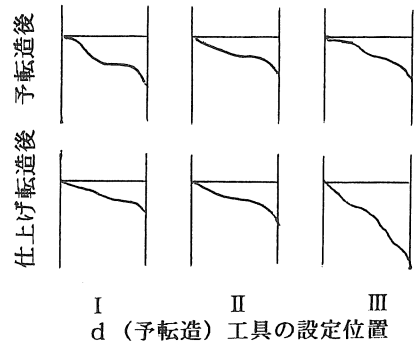
その後の仕上げ加工では、a、bともd後の値より改善されて、誤差は10 μ m程度となり、バラツキも少なく安定してくる。a、bによる平均的な差は殆ど認められないが、b工具での結果の方がバラツキ幅は少なく、より安定している。

Ⅲ・dでも工具修正の効果は認められる。平均的にはⅡでの場合とほぼ同じだが、Ⅱでの場合より

バラツキ幅は少ない。しかし、仕上げ加工後は、歯の傾きの程度が再び悪化する傾向にある。悪化の程度はb工具の方がやや多くバラツキも相当ある。



(a) 仕上げ修正工具 a



(b) 仕上げ正規工具 b
↑10 μ m

図7 歯形誤差（ドリブ側）

d工具の歯丈については、歯末の丈の増分を前報⁽²⁾の0.2より0.1mmとしたが、この値はこの程度でよいと思われる。仕上げ転造時に素材歯面の転造代の部分が、素材の歯底に埋まりすぎて、そのため、工具は先面が素材歯底部を面で押しつけたという痕跡は、今回は認められなかった。

素材のF側歯面の誤差はD側とは土が逆で、その傾きの値はD側の1/2以下で少なく、問題はないと思われる。すなわち、D側が改善されればF側の誤差もそれに応じてより少なくなると思われるからである。

d Iで相当悪かった素材の歯面が、d I・a、d I・bでは改善された。これは、もともと仕上げ用工具の精度がd工具よりは相当良く、また、この

二つの条件による加工の場合が、仕上げのための加工代の値が最小であったためであろう。すなわち、加工代の大小によっても、仕上げ用工具の修正量の値はそれに応じて若干変化させるべきであると思われる。

片側歯面の加工量が0.01mm程度と少ない場合は、仕上げ用工具の歯面は無修正でもよいであろう。むしろその方が製品のバラツキも少なく、安定すると思われる。転造代が0.02mm程度、またはそれ以上であるならば仕上げ加工の際の工具歯面修正も考慮すべきである。

今回は転造代の標準値を0.02mmとしたが、この値を0.015mm程度とし、さらに修正、無修正工具で仕上げ加工時の比較検討を試みて、製品精度の挙動を調査すると、細部がより明らかになるであろう。

d工具の歯面修正は効果があり、その値はほぼ ± 20 分程度でよいと思われる。その際、仕上げ加工時の転造代は、この方式で許される最小値とすれば、仕上げ用工具の歯面は修正せず、基準圧力角のままでもよいであろう。

5. 結論

- (1) 旋削後の素材をラック形工具により、歯車として完成させる際には、素材の歯形は回転方向への若干の倒れを生じ、これが製品の歯形精度劣化の最大の原因となる。
- (2) そこで、これに対応する工具歯面を、その倒れとは逆向きに修正した歯形を設計・製作し、これによる歯車の二段転造を試みた。
- (3) その際、予転造用工具の歯形修正には効果があり、その修正量の値としてはここでの実験値

± 20 分程度で良いことが明らかになった。

- (4) 仕上げ用工具の歯形修正は、仕上げ加工時の加工代の量によってその効果が異なる。すなわち、片側歯面の加工量が0.02mm以上なら工具歯面修正の効果があり、0.01mm程度であれば無修正工具の方が良い値が得られる。
- (5) ラック形工具による二段転造では、仕上げ転造時の加工代の量を可能な限り少なくするような修正歯面をもつ予転造用工具を用いるべきである。その際、その後の仕上げ加工では、工具歯面の修正は必要ない。
- (6) 修正歯面のある予転造工具での結果は、上述のように効果があり、製品のドリブ側歯面の歯形誤差は無修正工具による場合に比べて約1/2程度となり、平均値としては $10\mu\text{m}$ 程度改善された。
- (7) しかし、予転造後の歯面には、まだ若干の歯の傾き量が残っており、しかも、その誤差のバラツキ幅の改善はなく、工具の設定条件によっては、むしろこれが大きくなるものもある。この点の改善が今後の問題である。
- (8) フォロ側歯面の誤差は、いずれの場合もドリブ側誤差の1/2以下であり、歯形誤差としては問題なさそうである。

参考文献

- 1) 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, 33-38, 1993.
- 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. 29, 23-30, 1994.

（受理 平成9年3月21日）