

## ラック形工具による歯車の二段転造 (工具の歯形 I)

### Two Step Rollings of Gear by the Rack Type Tools (Die Tooth I)

久野 精市郎  
Seiichiro KUNO

In the full-form gear rolling on one step, the rolled gear blank was suffered from the great force at the time in passing the pushing part of rack tool. Therefore, the produced tooth profiles were often separated in true precisions and the pinion quality was easily influenced by the operating variations of rolling system.

There, both the rough rolling and finish rolling rack tools were prepared for two step works. And the production for a lathed blank was tried to make a more precise gear. In this paper, as the investigation of the effect to profile precises of rolled teeth, the shapes at the top profiles of the rough rolling tools were examined experimentally. Those top shapes were the round, flat and round-flat respectively.

From the investigation of rolled workpiece (module 1.5, pressure angle  $24.5^\circ$ , number of teeth 28, whole depth 2.7mm and tooth width 10mm), it was revealed that the round-flat type was the best in those shapes and the two step rollings by the rack type tools were useful for gear-piece manufacturing.

#### 1. はじめに

ラック形工具による歯車の転造では、今日まで、前加工がホブ切りによる素材についての、仕上げ転造<sup>(1)</sup>;旋削後の素材を一工程で歯車として完成させる、全転造<sup>(2)~(4)</sup>の研究が試みられてきた。

このうち、後者でも最近は工具形状の改善等により、一定の条件下ではあるが、良精度の歯車が生産できるようになった。

歯車の転造では、素材の材質は転造力のための硬さの制限等から、比較的軟質材を用いることになる。このことは、製品歯車の精度の上からは、素材形状の変形への対策、転造力に対応した素材内径部の硬化等の試み、一歯当たりの押し込み量への工具歯先部形状の考慮など、多くの検討を要する。さらに

、歯面精度は加工時に細心の注意を保っても、なお、微妙な転造条件の変化の影響を受けやすい。

とくに、一歯当たりの転造量が多い全転造では、良品の製品もできるが、中には悪いのもまじることがある。この方法は、加工効率は非常によいが、その製品精度は転造条件の僅かの変化にも敏感に影響される。すなわち、製品精度の連続的な安定化を保つ上からは、若干の問題点もある。

そこで、これらの点を改善するための方法として、旋削後の素材に多少の仕上げ代残して予転造し、その後、別の仕上げ用工具でその僅かの部分を仕上げ転造する、いわゆる二段転造方式を試みた。これにより、生産効率は若干下がるが、良精度の歯車が安定的に得られるのではないかと、と思われる。

歯車を二段転造する場合でも、全転造ほどではないが、種々の条件が互いに関係して、それらが製品精度に複雑な影響を及ぼす。すなわち、工具の歯形

、寸法差、素材の転造代の量、予転造後の歯底部の形、工具圧力角・またはその修正量、工具の設定位置・設定方法などである。

これらのうち、素材の転造代の問題についてはすでにその一部を報告した<sup>(5)</sup>が、これは、今後の進め方についての問題点の把握という程度のものである。ここでは、これらの点を考慮して、二段転造による歯車の生産方式について、従来からこの方式に有利であるとされている高圧力角・低歯歯車を用いて、その基本的な事項を実験的に検討した。結果を順次報告する予定である。

## 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・低歯とした。歯車要目は、モジュール 1.5、歯数 28、圧力角  $24.5^\circ$ 、歯末の丈 1.2mm、歯元の丈 1.5mm、歯幅 10mm、ねじれ角  $0^\circ$  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 200 HRBとした。歯部の位置は、素材全体の変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。

旋削後の素材外径の寸法は  $42.5 \pm 0.01\text{mm}$  に、内径寸法は  $20 \pm 0.002\text{mm}$  とし、素材の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圧は  $\pi m/2$  を基準値とした。予転造では、まず、試し転造して、安定して予定した転造代の素材ができるような工具設定位置の状態を確認した。その後の予転造での実験用の試料個数は、一つの条件で各 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 1 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・ピニオンによって運動されており、互いに逆方向に油圧で駆動される。

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

0.04mmとし、これを製作するための予転造用工具は 2 種類(A, B)とした。

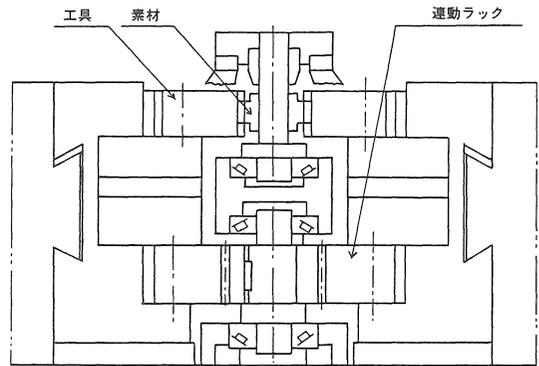


図1 実験装置の断面図

実験は、しゅう動部への予転造工具の設定に際して、それぞれ正しく予定の転造代が得られるための位置(0)、それより若干後退させた位置(1)、若干前進させた位置(2)について行なった。仕上げ用工具は(0)位置の素材の円弧歯厚が  $\pi m/2$  になるような一定位置に設定し、これらの素材を順次仕上げ転造した。

工具の材質は SKD11とし、熱処理後の歯部表面硬度は HRC 58~60とした。製作した予転造工具の精度は、単一ピッチ誤差約  $15\mu\text{m}$ 、圧力角誤差約 10 分である。また、仕上げ用工具のそれはそれぞれ約  $5\mu\text{m}$ 、約 5分である。

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

## 3. 工具の形

### 3.1 仕上げ用の工具

仕上げ用の工具は、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。その工具全体の形は、図 2 に示すように導入部、仕上げ部、逃げ部から成り立つものとした。

導入部は、長さ 150mm、段差 0.3mmとした。予転造後の素材の歯面に垂直方向の転造代  $f$  を加えたことによる歯ミゾ幅の減少分を補うためには、工具の素材導入開始位置は計算上  $\delta y = f / \sin \alpha$ 。だけ後退

させればよい。

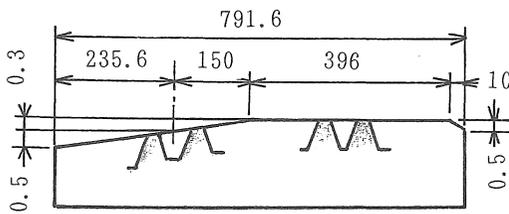


図2 仕上げ用工具の形

この転造代は高々 0.08mm 程度を考慮すれば十分である。そこで、 $\alpha_0=24.5^\circ$ とした場合の工具の後退量、仕上げ転造時の装置の若干の弾性変形量を考慮し、さらに工具の全長をなるべく短くするなどの配慮から、この段差を 0.3mmとした。

しかし、これらの他に、実際には両側工具の若干の位相誤差、中心軸のガタ、素材の編心など、種々の不確定の誤差も重なりやすく、これだけの段差ではまだ不十分であることが明らかになった。

そこで、この導入部の先に、さらに長さ 235.6mm、テーパ段差 0.5mm（工具一歯当たりの高さの差 0.01mm）の補助導入部を用意し、これを仕上げ用ラックに接続して一体として設置した。仕上げ部の長さは 396mm（約  $3\pi m_z$ ）とした。素材は導入部をすぎ、この仕上げ部での約  $1/2$ 回転で、仕上げ代の部分が取り除かれる。すなわち、最初の 0.5回転は仕上げ転造、その後の 2.5回転は、ならし転造の部分とした。

この部分は、長すぎると工具の累積ピッチの精度が悪化する。また、このほかに、両側装置を連動している駆動ラックの累積誤差なども加わり、製品精度に悪影響を及ぼす。しかし、短かすぎると、素材歯形の形成上からは加工不足となり、予定の仕上げ代が取りきれないで残ることになる。仕上げ転造が終了しても、数回のならし転造（素材はこの部分でも若干加工される）が必要であることは、すでに明らかである。

逃げ部は長さ 10mm、段差 0.5mmとした。補助導入部を含めた仕上げ工具の全長は 791.6mmである。

工具正規部の歯形は、完成させる歯車素材の歯形とは逆の形となる。この歯形を図3に示した。ここでのピッチ線上での歯厚は  $1/2\pi m$  を基準とした。導入部、逃げ部ともその歯形は正規部の歯形と同形とした。

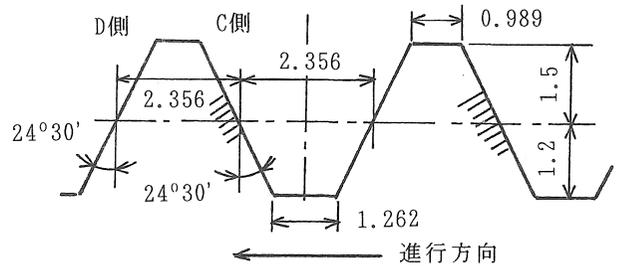


図3 仕上げ用工具の歯形

### 3.2 予転造用の工具

予転造用工具を用いて歯車素材を転造する場合でも、それによって完成された半製品の精度は、工具全体の形状は勿論のこと、個々の歯部形状の微小な差の値に依存する部分が多い。

全転造用工具については、工具の歯先部、歯底部の形状を変化させて実験した結果、一定の望ましい歯形形状、およびその部分の長さが明らかになった<sup>(4)</sup>。図4に全転造用工具の歯先部包絡線の長さ、および正規部分での歯先の概略の形を示した。

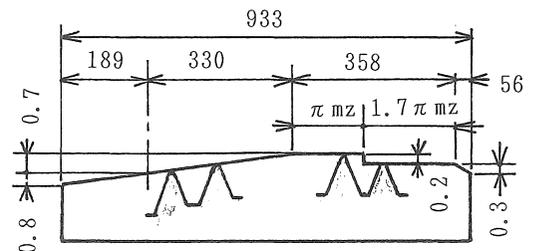


図4 全転造用工具の形

仕上げ転造での転造代の量は僅かなので、予転造用工具による加工の場合でも、転造量としては全転造と大差はない。したがって、全転造に際しての工具形状を決定した経緯は参考になる。そこで、ここでは、全体の長さをこれとほぼ同様にしたつぎの2種類の予転造用工具を用意した。

A：工具歯先の包絡線の形は全転造用工具と全く同形で、素材の歯形に 0.04mm の転造代を与えるための歯厚を持った工具。この工具の正規歯部における歯先R形と平形との形状・寸法を図5に示した。これによる予転造は、全転造用工具による加工とほぼ同じ条件なので、予転造後の素材の精度は最良と

なるはずである。

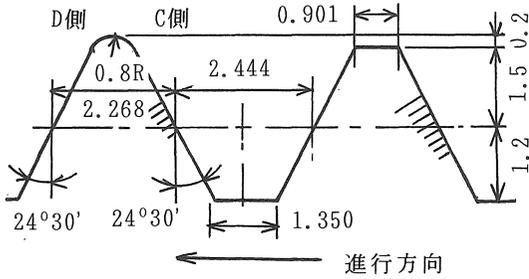


図5 予転造用工具Aの歯形

B: 各部の長さはA工具と同様とし、歯形の歯先部の形を全て、全転造用工具の正規部前半の形と同形とした場合の工具。この工具の正規歯部における歯形の形状・寸法を図6に示した。仕上げ用工具の歯形は全転造用工具の正規部後半の形と同形なので、B工具による予転造後の素材は、仕上げ後の製品精度は良くなるものと思われる。

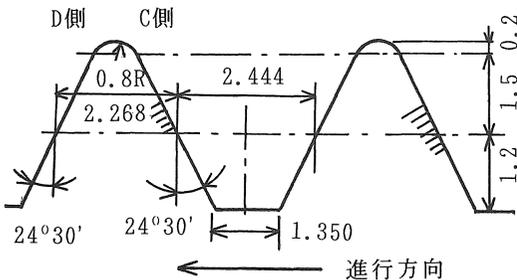


図6 予転造用工具Bの歯形

工具A, Bを用いて、素材中心に対する両側工具の設定位置を6種類変更し、予転造を行なった。すなわち、予転造後の素材歯車の歯厚に、予定の0.04mmの仕上げ代を与えられる基準の設定位置(A<sub>0</sub>, B<sub>0</sub>とする)；この位置から素材中心に対して工具を約0.025mm後退させた位置(A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>とする)；同、前進させた位置(A<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>とする)、の2×3種である。

設定0の場合に比べて、設定1(または2)では、計算上は素材歯面の仕上げ代を約0.01mm増大(または減少)させる意味がある。すなわち、予転造後の素材の転造代が0.05(または0.03)mmになったのと同様の効果がある。

仕上げ用工具の設定は、仕上げ代0.04mmの素材

で、転造後、基準の歯形が得られるような一定の位置として固定し、これら予転造後の素材を順次仕上げ転造した。

#### 4. 結果及び考察

##### 4.1 歯厚

各条件別の予転造および仕上げ転造後の素材のまたぎ歯厚の平均値から求めた片側歯厚の値を図7に示した。また、この場合の各寸法変化の平均値の値を表1に示した。

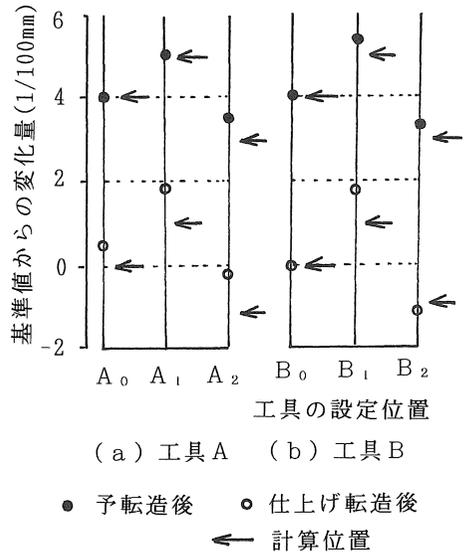


図7 またぎ歯厚(片側歯面)

予転造では、A, B工具とも、A<sub>0</sub>, B<sub>0</sub>の場合を基準設定位置とした。この近辺で工具を仮設定し、試し転造を行なって素材の歯厚に正しく仕上げ代0.04mmが得られることを確認し、その位置で工具を再設定して予定の実験を行なった。そのため、A<sub>0</sub>, B<sub>0</sub>での予転造後の $\pi m/2$ からの片側歯厚の変化量はいずれも0.04mm近辺になった。

しかし、工具設定変更による場合では、この転造代の基準値からの変化量、すなわち平均値は、計算値の±0.01mmに対して、いずれの場合も若干異なる値(やや多めの値)を示した。

仕上げ転造では、工具BのB<sub>0</sub>設定で予転造した素材に対して試し転造し、予定の素材歯厚が得られた位置で仕上げ用工具を本設定とした。したがって、B<sub>0</sub>設定後の仕上げ転造では、各素材歯厚は規定

値に対して差はほぼ0（円弧歯厚は  $\pi m/2$ ）となった。すなわち、仕上げ転造での片側歯面の加工量は、ほぼ0.04mmとなった。

表1 素材歯面の変化量（片側歯面）  
(0.01mm)

工具 設定 位置	予転造後		仕上げ転造後	
	基準値 との差	実際の 転造代	基準値 との差	実際の 加工量
A <sub>0</sub>	±0	4.0	+0.5	3.5
A <sub>1</sub>	+1.2	5.2	+1.9	3.3
A <sub>2</sub>	-0.4	3.6	-0.2	3.8
B <sub>0</sub>	±0	4.0	±0	4.0
B <sub>1</sub>	+1.4	5.4	+1.7	3.7
B <sub>2</sub>	-0.7	3.3	-1.1	4.4

注：予転造後の基準値は、転造代 0.04mm、  
仕上げ転造後は0（円弧歯厚は  $\pi m/2$ ）

これに対して、その他の予転造後の素材の、仕上げ転造後の変化量（片側歯面）は、予想した値とは異なる、複雑な挙動を示した。

これは、B<sub>1</sub>後の素材ではやや加工不足となり、B<sub>2</sub>後では加工過多となった。また、A<sub>1</sub>による予転造後の素材では、いずれの場合も、仕上げ転造による加工量は不足気味（歯厚は予定値より増大の傾向）となった。

これらの差は、主に予転造用工具と、仕上げ用工具の歯部形状の差異、すなわち、歯末の丈の寸法差によるものと思われる。B工具による予転造の場合では、いずれの素材でも予転造後の歯底部に若干の逃げミゾがあり、これが仕上げ転造をやや円滑にしているものと思われる。

予転造後の、ここでの歯底円寸法の基準値（ $mz/2 - 2m$ ）からの、歯底部の逃げミゾ深さの値を表2に示した。A工具による転造の場合でも、A<sub>2</sub>の設定位置では、仕上げ時の素材歯底部に若干の逃げミゾがあり、これが工具Aグループの中では、仕上げ転造時の加工量を最大にしたものと思われる。

すなわち、予転造後の素材歯底部には、仕上げ転造用工具の歯先との間にある程度の逃げミゾが必要であることは明らかである。

表2 予転造後の素材歯底部ミゾ深さ  
(mm)

工具設定	転造代	工具A	工具B
基準位置	0.04	0	-0.2
後退位置	0.05	+0.025	-0.175
前進位置	0.03	-0.025	-0.225

注：後退・前進位置での転造代は計算上の値である。－は歯底基準値よりの深さを、＋は浅すぎ量を示す。

#### 4.2 歯形

予転造後、仕上げ転造後の素材の歯形誤差の値は、いずれの場合にもフオロワ側よりドリブ側の方が悪化しており、さらに、各条件別の誤差の値もドリブ側で大きく表れ、それぞれの特徴をよく表していると思われる。そこで、ドリブ側歯面の歯形誤差の結果を図8に示した。

歯形誤差の値は、A工具による予転造後の場合には、工具設定位置のいずれの条件でも割合少ない結果が得られた。しかし、仕上げ転造後では、A<sub>2</sub>で加工した素材の場合では若干改善されたが、他の場合はいずれも悪化した。とくに、A<sub>1</sub>で予転造後の素材では、歯の倒れが大きくなった。これは、仕上げ転造時の工具歯先と素材歯底部との押しつけにより、正規の転造力のほかに、この押しつけによる付加力が生じ、素材の歯がこれを受け持ったことによるものと思われる。

B工具による場合では、B<sub>0</sub>、B<sub>2</sub>での素材は仕上げ転造後改善されたが、B<sub>1</sub>での素材では、若干悪化した。しかし、B工具による場合では予転造後のいずれの素材でも、インポリユート歯面につながる歯底部の丸みがやや大きくなり、これが歯形誤差線図には、歯底部付近の誤差となって表れてくる。さらに、仕上げ転造後の場合でも、素材のこの丸みによる歯形誤差の部分が、十分に切り切れないで残る傾向にある。

これは、工具歯先の丸み部分の加工に、若干のばらつきがあるためである。歯面加工後、丸みの部分を後加工するため、歯先を順次加工していく際のテーブルの送りねじなどに原因する工具歯先位置の若干の位相差が、小さな半円の両端部の歯面との接続

位置に微小な変化を生じるためであらう。

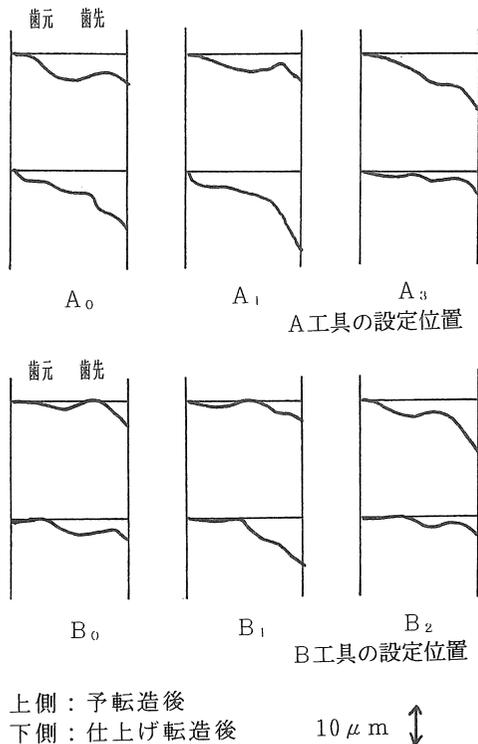


図8 歯形誤差 (ドリブ側歯面)

しかし、この多少の加工誤差は、厳密には取り去れない。したがって、素材の精度をより向上させるためには、予転造時の素材への工具の押し込み易さを多少犠牲にしても、工具の歯先は平行にして、予転造時には工具の歯先部と対になる素材の歯底部まで、正しいインボリュートを形成させておくことが必要である。

A, B工具とも、設定位置2の場合が、仕上げ転造後の歯形は最良となった。これは、仕上げ転造時の転造代が最小であったことと、同時に、その際の素材の歯底ミゾを有効に保つため、工具歯先が素材歯底を押し付けることによって生ずるための背分力が緩和されるためであらう。

仕上げ転造用工具と予転造用工具との歯末の丈の差(予転造後の素材歯底部の逃げミゾの深さ)の値は、素材に与える転造代の量、モジュール、材質、歯幅などによってそれぞれ異なるものと思われる。

すなわち、予転造用工具の歯寸法値は、個々の条件に応じて、それぞれ実験的に決定していく必

要があるものと思われる。

## 5. 結論

旋削後の素材を、一定要目の条件で、ラック形工具により予転造・仕上げ転造の二段転造加工して、歯車として完成させた。

ラック形工具による歯車の二段転造では、予転造時に素材に与える転造代の量としては、0.04mmよりやや少なめの方がよい。

予転造用工具の歯先部は角形にすべきである。それは、製品精度の上から、予転造時には素材の有効歯丈をすぎてやや下の歯底付近まで、正確なインボリュートを形成させておく必要があるためである。

予転造用工具の歯末の丈は、仕上げ用のそれより若干高くしておくことよい。これによる、予転造後の素材歯底部に与えられる逃げミゾのため、仕上げ用工具の歯先が素材歯底部を押しつけることによって生ずる、付加転造力を緩和できる。

素材歯車の転造代が0.04mmのための工具の高さの差は0.03mm程度がよい。ここでのB工具(図6)の0.02mmはやや不足気みである。

予転造用工具の歯末の丈の大きさは、素材に与えるべき転造代の量など、素材の各条件に応じて、それぞれ固有の値を持つべきである。

## 参考文献

- 1) 久野精市郎：ラック形工具による歯車の仕上げ転造法・精度の向上(第1報), 愛知工大研究報告, 13B, 77-81, 1978.
- 2) 久野精市郎：ラック形工具による転造歯車素材の割り切り, 愛知工大研究報告, 17B, 63-67, 1982.
- 3) 久野精市郎：ラック形歯車転造工具押し込み部の形, 愛知工大研究報告, 24B, 61-65, 1989.
- 4) 久野精市郎：歯車の全転造用ラック工具の歯形, 設計工学, 25(10), 15-19, 1990.
- 5) 久野精市郎：ラック形工具による平歯車の冷間転造(二段転造における転造代), 愛知工大研究報告, 23B, 105-110, 1988.

(受理 平成5年3月20日)