

# ラック形工具による歯車の仕上げ転造法

—精度の向上（第4報）—

久野 精市郎

## Finish Roll Forming Gears by the Rack Die System

—Improvement of Tooth Accuracy (4th Report)—

Seiichiro KUNO

To improve the tooth accuracy on rolled workpieces, in this paper several problems are investigated on the rack die.

(1) Desirable root radius and crest radius, which are considered to give an important effect on the accuracy of the workpieces, are determined for the module as well as for the whole depth of rolling.

(2) From the geometrical relation, it is inferred that unworked tip on rack face is almost interfered with an involute flank on a workpiece. Therefore, it will be sure, in fact that they are clashed each other. To avoid this, it is clear to be effective to ease a tip on the face.

(3) At the end part on rack die, the crest line must not be too close to that of normal tooth. From the result on finish rolling using the designed die pieces, the desirable crest shape is made clear, and the rolled tooth on workpiece is improved.

### 1. まえがき

ラック形工具の歯先間距離は  $\pi m$  であるが、素材の円ピッチは、工具歯先がくい込む位置によって、これとは異なった値となる。とくに、工具歯先が素材歯底に達した位置では、この差の値が最大となり、締め付けなどの問題を生じやすい。

工具は、入口部（テーパ部）、正規工具部、逃げ部から成り立つ。入り口部の形については、一発転造（または荒転造）の場合について、すでに述べた<sup>(1)</sup>。仕上げ転造の場合でも、それと同じ考えをとり、その歯先曲線の1部を利用してさしつかえないと思われる。

正規工具部では、その長さについては、すでに検討した<sup>(2)</sup>。ここでは、まず、工具歯先角および歯底部の丸みの大きさを検討し、一定の値を示した。また、1歯のかみあい、素材と工具との干渉について、その関係式を示し、実験歯車についての計算例を示した。その結果、最良の幾何学的状態でも、転造にかかわっている歯の一つ前、後の工具歯先と素材歯面とは、すでに干渉すれすれの状態であることがわかった。

つぎに、工具の逃げ部の形について、その歯先曲線を検討し、それに基づいた工具逃げ部を製作した。これを

正規部に接続して、仕上げ転造を行ない、結果の製品精度の検討から、逃げ部に望ましい形を選定した。

### 2. 条 件

(1) 素材は、基準圧力角 $25^\circ$ 、モジュール1.5、歯数27および28、歯末の丈0.8m、歯元の丈1.0mの高圧力角・低歯歯車とした。歯巾は10mmとし、全体の巾は30mm、内径は20mmとした。旋削後の前加工は専用のホブで行ない、転造代は一定で約0.12mmとした。素材歯底部には、前加工時に、深さ4mmの逃げミゾを設けた。材質はS45Cとし、調質後のカタサを $H_b200\sim230$ とした。

(2) 転造方式は、従来からのラック形による自由駆動とした。ラック工具は、材質をSKD11とし、歯面研削後の表面硬度を $H_vC55\sim58$ とした。正規工具部では、単一ピッチ誤差は約 $5\mu m$ 、累積ピッチ誤差は約 $15\mu m$ である。ラックの移動方向の転造力は約20kNに設定し、転造時間は約15秒とした。また、切削油としてガリヤオイルを使用した。

(3) 工具の逃げ部は別に製作し、これを正規工具部と接続した。材質はSKD11で、その加工はつぎの順に行った。材料切断、焼鈍（ $800^\circ C$ 、2H保持）、粗削り（フライス）、焼鈍（ $600^\circ C$ 、1.5H保持）、全面研削（平研、立

研), 取り付け穴加工, 歯先面加工(NC フライス), 歯部粗加工(フライス), 焼き入れ(H<sub>R</sub>C60~63), 歯面研削, 角部の面取り研削。

正規工具部終了点より  $mz/2$  だけ離れた点の逃げ部の段差  $a_1$  の値は, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0mm の 5 種とした。これらを, 各 2 個ずつ, 5 組製作した。接続部工具の単一ピッチ誤差は 5~10 $\mu$ m, 累積ピッチ誤差は 10~15 $\mu$ m である。その形状を図 1 に示す。

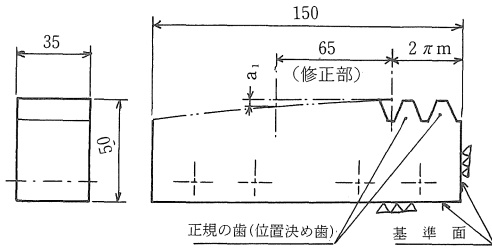


図 1 接続工具 (逃げ部)

### 3. 工具の歯部

#### 3.1 基準の歯形

歯車を仕上げ転造する場合の, ラック工具の基準歯部の断面を図 2 に示す。図は歯厚修正のない場合で, ピッチ線上のミゾ巾  $N_{01}$ =ピッチ線上の歯巾,  $N_{02}=\pi m/2$  とする。ラックの進行方向に対する左右の歯面を, それぞれ F 側, D 側とする。ここでは, 標準工具の直線歯形とし,  $N_{1c}=N_{1D}$  とする。

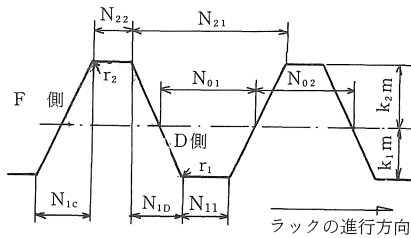


図 2 基準ラックの歯部

基準圧力角を  $\alpha_0$ ,  $N_{22}$  を歯先巾,  $N_{11}$  を歯底巾,  $k_2m$  を歯末の丈,  $k_1m$  を歯元と丈とする。 $k_2=1.25k_1$  とすれば, 冷間転造歯車で実用可能な範囲は(1)となる<sup>9)</sup>。

$$\alpha_0=20^\circ\sim 25^\circ, k_1=(1\sim 0.8)m, m=1\sim 2 \dots\dots(1)$$

$N_{22}$  の値は, 一発転造または荒転造の場合は, 素材へのくい込み易さからの, 大きすぎの限界, および焼き入れ破損上からの, 小さすぎの限界としての経験値(2)がある。仕上げ転造でも, ほぼこの範囲を目安としてよいであろう。

$$1.2mm \geq N_{22} \geq 0.5m \dots\dots(2)$$

#### 3.2 歯の角部の丸み

(1) 図 2 に示す工具歯底部の角の丸み半径  $r_1$  は, できるだけ小さい方がよい。これが大きいと素材の歯先部を押しつぶし, 歯形はインポリユートからはずれ, 歯形誤差の増大, カミアイ率の減少にもなる。

しかし, 砥石先端部の丸みの最小値からの限界, 砥石の摩耗による均一性の問題などがある。いずれにしても,  $r_1$  によるインポリユートの欠損部は, 有効歯丈の 1 割以内にとどめるべきである。

(1) の条件より  $k_{1max}=1, m=2$  のとき,  $2k_1m/10=0.4$  となる。また, 実用上の歯丈の最小を  $k_{1min}=0.8$  とすれば,  $m=1$  より, この値は 0.16 となる。したがって,  $r_1$  の範囲は,  $0.16 \leq r_1 \leq 0.4$  または,  $0.16 \leq r_1 \leq 0.2k_1m$  となり, これより,  $r_1$  の推奨値として(3)を与める。また,  $m$  と  $k_1$  による  $r_1$  の値を表 1 に示す。

表 1  $r_1$  の値

		(mm)			
$k_1$	$m$	1	1.25	1.5	2
1.0		0.18	0.21	0.23	0.28
0.8		0.16	0.18	0.20	0.24

( $\mu$ m 以下は 4 捨 5 入)

$$r_1=0.1k_1m+0.08 \dots\dots(3)$$

(1) の範囲では  $N_{11} > 2r_1$  である。この  $r_1$  の値は目安であるが, 大きさと共にその均一性が重要である。この許容値  $\pm \delta r_1$  は, 歯形誤差への考慮から(4)の範囲が望ましい。

$$|\delta r_1| \leq 0.1r_1 \dots\dots(4)$$

(2) 工具歯先部では, 角の丸み半径を  $r_2$  とする。転造のし易さからは, 歯丈は低いほどよいので, 素材歯底の頂げき部に相当する値は, 最小値  $0.25k_1m$  をとる。したがって,  $r_2 \leq 0.25k_1m$ , 安全をみて  $r_2 \approx 2k_1m$  とすれば,  $r_2=r_1$  となり,  $r_2$  においても(3)式および表 1 の値がそのまま適用できる。また, 均一性についても(4)式と同様に考えてよいであろう。

(1) の範囲では,  $N_{22} > 2r_2$  となり, 歯先がとんがることはない。ただし,  $N_{22}$  の値が(2)より大きくはみ出すのは,  $m=2, k_1=0.8$  の  $\alpha_0=20^\circ(N_{22}=1.69)\sim 22.5^\circ(N_{22}=1.48)$  のみであり, そのほかはほぼ(2)を満足する。

### 4. 工具歯先部のしめ付け

ラックの歯の間は, いずれの部分でも  $\pi m$  であるが, 素材歯車の弦ピッチは, 歯の位置によって異なる。この差のため, 工具の歯先部が素材歯面と干渉し, 付加力, たわみ, かじりなどの問題を生ずる。そこで, 正規工具部において, 工具の歯先面が素材の歯底面に達した場合について, これらの関係を調べた。

4.1 最大転造力位置

(1) 素材歯車が、工具の押し込み部をすぎて、正規工具部に達した場合でも、転造力の大きさは一歯のかみあいの度に異なり、工具の歯が図3のA<sub>1</sub>の位置に達したときに最大となる。

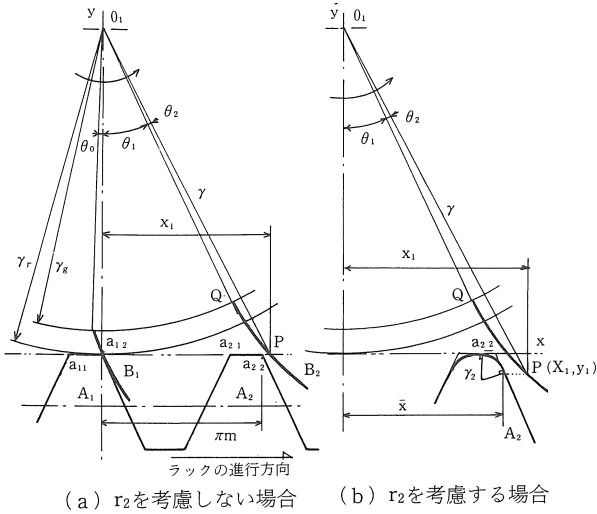


図3 ラックの歯の位置(1)

図3で、歯先線をx軸とし、歯A<sub>1</sub>の歯先角a<sub>12</sub>を点(0, 0)として、x, y座標をとる。

素材の歯B<sub>2</sub>のD側歯面のx軸上の点をP(x<sub>11</sub>, 0), 基礎円上の点をQ, 素材中心をO<sub>1</sub>(0, r<sub>r</sub>)とし、O<sub>1</sub>Qのy軸となす角をθ<sub>1</sub>, O<sub>1</sub>Pとなす角をθ<sub>2</sub>とする。また、O<sub>1</sub>P=r, 点Pでの圧力角をα, 基礎円半径をr<sub>g</sub>, 歯B<sub>1</sub>の基礎円上の点とO<sub>1</sub>とが、y軸となす角をθ<sub>0</sub>とする。

$$\left. \begin{aligned} r_r &= r \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ \theta_0 + \theta_1 &= 2\pi/z & \theta_2 &= \text{inv}\alpha \\ \theta_0 &= \text{inv}\alpha_r & r \cos\alpha &= r_g \end{aligned} \right\} \dots\dots(5)$$

$$r_r/r_g = \cos(\theta_1 + \text{inv}\alpha)/\cos\alpha \dots\dots(6)$$

$$x_{11} = r_g \sin(\theta_1 + \text{inv}\alpha)/\cos\alpha \dots\dots(7)$$

(6)よりαの値がわかり、(7)よりx<sub>11</sub>の値がわかる。これとπmとの差δx<sub>11</sub>=x<sub>11</sub>-πmの値が、この場合の干渉量となる。

(2) 歯先角r<sub>2</sub>の大きさを考慮する場合は、図3(b)で、r<sub>2</sub>の面取りの出発点p<sub>r</sub>の位置と、これに相当する素材歯面上の点p(x<sub>12</sub>, y<sub>12</sub>)を考慮する。

点a<sub>22</sub>と点p<sub>r</sub>のx方向、y方向の距離は、それぞれr<sub>2</sub>(1-sinα<sub>0</sub>)tanα<sub>0</sub>, r<sub>2</sub>(1-sinα<sub>0</sub>)である。p<sub>01</sub>をr, 点pでの圧力角をαとすれば(8)が成り立つ。このαと(7)式により、このときのx<sub>12</sub>の値が求められる。このときの点P<sub>r</sub>のx方向の理論値x̄は(9)となり、このx<sub>1</sub>との差δx<sub>12</sub>=x<sub>12</sub>-x̄<sub>12</sub>の値が、このときの干渉の程度を与える。

$$\{r_r + (1 - \sin\alpha_0)r_2\}/r_g = \cos(\theta_1 + \text{inv}\alpha)/\cos\alpha \dots\dots(8)$$

$$\bar{x}_{12} = \pi m + r_2(1 - \sin\alpha_0)\tan\alpha_0 \dots\dots(9)$$

4.2 歯ミゾ部の中央位置

(1) 最大荷重位置以外の標準位置として、素材の歯が中央にあり、工具はその両側に位置する図4の場合を考慮する。ラック工具は標準とし、転位は考えないものとする。

素材の歯B<sub>2</sub>のD側歯面のx軸上の点をP(x<sub>1</sub>, 0), 基礎円上の点をQ, 素材中心をO<sub>1</sub>(0, r<sub>r</sub>), 歯B<sub>1</sub>のC側歯面の基礎円上の点をQ<sub>1</sub>とし、O<sub>1</sub>Qとy軸となす角をθ<sub>11</sub>, O<sub>1</sub>Q<sub>1</sub>とO<sub>1</sub>Qとなす角をθ<sub>12</sub>とすれば、θ<sub>11</sub>=π/2z+invα<sub>0</sub>, θ<sub>12</sub>=π/z-2invα<sub>0</sub>となり、θ<sub>1</sub>は(10)式となる。

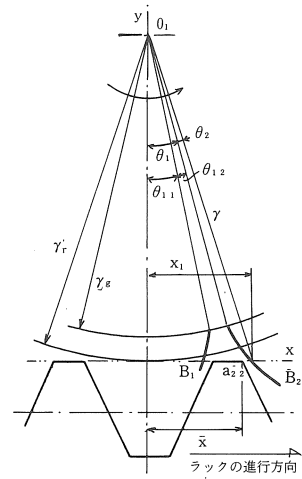


図4 ラックの歯の位置(2)

$$\theta_1 = 3\pi/2z - \text{inv}\alpha_0 \dots\dots(10)$$

$$\bar{x}_{21} = 3\pi m/4 - k_2 m \tan\alpha_0 \dots\dots(11)$$

点Pでの圧力角をαとすれば、この場合のαの値は、このθ<sub>1</sub>の値を使って(6)式より、x<sub>21</sub>の値は(7)式より求める。点a<sub>22</sub>のx方向の値x̄<sub>21</sub>は(11)であり、これとx<sub>21</sub>との差δx<sub>21</sub>=x<sub>21</sub>-x̄<sub>21</sub>の値が干渉量となる。

(2) 歯先角のr<sub>2</sub>の大きさを考慮する場合は、図3(b)で考慮したのと同様に、丸みの出発点をp<sub>r</sub>, これに相当する素材歯面上の点をp(x<sub>22</sub>, y<sub>22</sub>)とする。点pでの圧力角をαとすれば、この値は(10)式のθ<sub>1</sub>の値を(8)式に代入して求められる。x<sub>22</sub>の値は、このθ<sub>1</sub>とαより(7)で求められる。このときの点p<sub>r</sub>のx方向の理論値x̄<sub>22</sub>の値は(12)となり、このx<sub>1</sub>との差δx<sub>22</sub>=x<sub>22</sub>-x̄<sub>22</sub>の値が干渉の程度を与える。

$$\bar{x}_{22} = 3\pi m/4 - k_2 m \tan\alpha_0 + r_2(1 - \sin\alpha_0)\tan\alpha_0 \dots\dots(12)$$

4.3 計算例

m=1.5, α<sub>0</sub>=25°, k<sub>1</sub>=0.8m, k<sub>1</sub>+k<sub>2</sub>=1.8m について

の計算結果の値を表2に示す。幾何学的な理論値との差を $\delta x$ とし、(+)ではラックとの間にすぎ間があり、(-)ではその値だけ干渉していることを示す。

表2 計算例

関係位置	図3 (a)		図3 (b)		図4	
項目	27Z	28Z	27Z	28Z	27Z	28Z
$\theta_0$	10'	12'	10'	12'		
$\theta_1$	13°10'	12°39'	13°10'	12°39'	8°17'	7°56'
$\theta_2$	38'	38'	45'	46'	19'	21'
$\alpha$	18°06'	18°13'	19°13'	19°18'	14°35'	15°01'
$\delta x(\text{mm})$	-0.107	-0.109	-0.092	-0.087	0.001	0.004

5. 逃げ部の形

素材歯車の弦ピッチと $\pi m$ との差の値をスリップ量 $R_e$ ,  $R=R_e/\pi m$ の値をスリップ係数とした<sup>(1)</sup>。一発転造のラック工具入り口部では、歯先が素材へくい込んでいくにしたがって、工具一歯当りの押し込み量 $\delta$ を減少させ、 $R \cdot \delta = K$ とするような歯先面曲線を採用した<sup>(4)</sup>。

工具入り口部のテーパ終了点付近では、素材が正規部に移ってから、その半回転前に転造された押し込み不足の部分を、なお転造することになる。しかし、工具の逃げ部では、素材はすでに転造を完了しているので、その部分に達すると同時に、素材歯底・工具歯先間にすぎ間を生ずることになる。

このすぎ間量を如何にすべきか、の理論的根拠はない。しかし、工具歯先面が素材歯底面より離れる量は、正規工具部からの離れた量に比例してよいこと、また、工具歯先間のスリップ量によるしめつけ量を、入り口部で考慮したと同様にして、ゆるめていくこととすべきであろう。

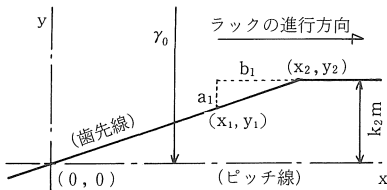


図5 ラックの逃げ部

逃げ部について、図5に示す座標を考える。ピッチ線と歯先線との交点を原点とし、正規部終了点を $(x_2, y_2)$ とする。

$y$ はピッチ線から、そのときの歯先までの距離で、検討の範囲は $0 \leq y \leq k_2m$ ,  $0 \leq x \leq x_2$ とする。素材中心からピッチ線までの距離を $r_0$ とすれば、 $R_e$ ,  $R$ は(13)となり、逃げ部での工具歯先面のすぎ間量 $\delta_1$ は(14)となる。これにより、この場合の関係として(15)を与える。

$$R_e = \pi m \left\{ 1 - \frac{2(r_0 - y)}{\pi m} \tan \frac{\pi}{z} \right\}$$

$$\approx 2y \tan \frac{\pi}{z}, \quad R = \frac{2y}{\pi m} \tan \frac{\pi}{z} \dots\dots\dots(13)$$

$$\delta_1 = (\Delta y / \Delta x) \pi m z / 2 \dots\dots\dots(14)$$

$$R \cdot \delta_1 = K_1 \dots\dots\dots(15)$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{2 \delta_1}{\pi m z} C_1 \text{より, } \frac{2y}{\pi m} \tan \frac{\pi}{z} \cdot \frac{dy}{dx} \cdot \frac{\pi m z}{2 C_1} = K_1$$

$$y^2 = 2 C_1 K_1 x / \tan(\pi/z) + C_2 \dots\dots\dots(16)$$

初期条件  $(0, 0)$ ,  $(x_2, k_2m)$  より

$$C_2 = 0 \quad C_1 = (k_2m)^2 \tan(\pi/z) / (2 K_1 x_2) \dots\dots\dots(17)$$

$$y^2 = (k_2m)^2 x / x_2 \quad y \geq 0$$

$$y = k_2m \sqrt{x/x_2} \dots\dots\dots(18)$$

つぎに、図5の $b_1$ ,  $a_1$ ( $b_1$ ,  $a_1$ は大きさだけを考える)だけ離れた点 $(x_1, y_1)$ を与える。 $y_1 + a_1 = y_2$ ,  $x_1 + b_1 = x_2$ ,  $k_2m - a_1 = k_2m \sqrt{(x_2 - b_1)/x_2}$  これより(19), (20)が求まり、 $a_1, b_1$ を与えると工具の歯先曲線が求められる。

$$x_2 = b_1(k_2m)^2 / a_1(2k_2m - a_1) \dots\dots\dots(19)$$

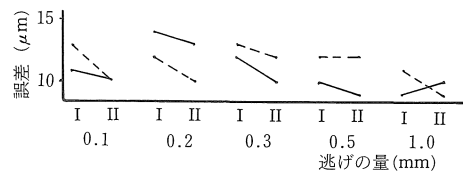
$$y = \sqrt{a_1(2k_2m - a_1)x/b_1} \dots\dots\dots(20)$$

ここでは、 $b_1 \approx \pi m z / 2$ とし、 $m = 1.5$ ,  $z = 27, 28$ のため、 $b_1 = 65$ とした。これに対して $a_1 = 0.1 \sim 1.0 \text{mm}$ を与えた。

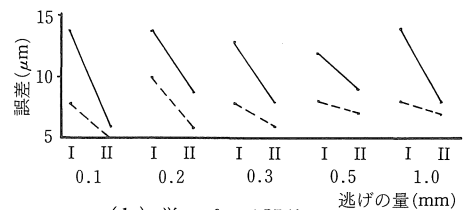
6. 実験結果・考察

正規工具の終了部に、それぞれ5種の逃げ部ラックを接続し、1.5m 27Z, 28Zについて、各5個ずつ転造した。転造後、精度の主要項目について測定し、さらにならし転造を行って再測定した。

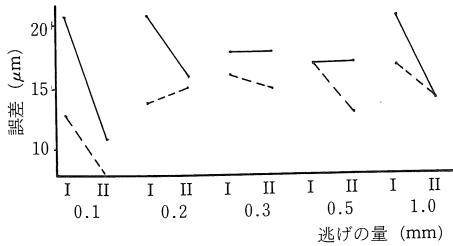
歯ミゾのフレ、単一ピッチ誤差、累積ピッチ誤差については、それぞれ誤差線図から一つずつ値をとり、これら5個を平均して一つの点として、その結果の値を図6に示した。



(a) 歯ミゾのフレ



(b) 単一ピッチ誤差

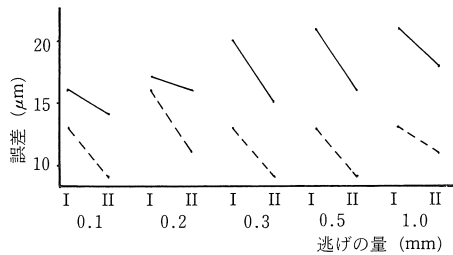


(c) 累積ピッチ誤差

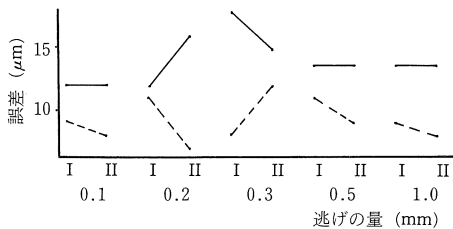
I：転造後，II：ならし転造後，—27Z，  
---28Z，歯車各5個の平均値およびその推移を示す。

図6 製品誤差

歯形誤差では、一つの歯車で90°方向の4つの歯を測定して平均し、さらに5個の歯車の平均値を一つの点として、その結果を図7に示した。



(a) 27Z



(b) 28Z

I：転造後，II：ならし転造後，—D側，  
---F側，歯車各5個の平均値およびその推移を示す。

図7 歯形誤差

ここでは、全体としての誤差の発生状況、およびその推移の傾向をみるにとどめ、個々の誤差線図を記すことは省略した。

(1) 歯ミゾのフレでは、転造前、転造後、ならし転造後の平均値は11~12 $\mu\text{m}$ 、ばらつき巾は約3 $\mu\text{m}$ であり、それらの間には差は認められなかった。また、 $a_1$ の値による差もほとんどない。前加工時の値がそのまま残るものと思われる。

(2) 単一ピッチ誤差では、転造前の値は5~8 $\mu\text{m}$ で

ある。転造後はやや悪化する。誤差の値は、逃げ部による差は認められないが、歯数による差が大きく、28Zでの効果が認められる。

ならし転造では、 $a_1=0.1\text{mm}$ のときは、ほかに比べて誤差は非常に少なくなる。27Zでは、転造後より約5 $\mu\text{m}$ 、28Zでは、約3 $\mu\text{m}$ 改善される。改善率としては、27Zの方が大きい、結果の値は28Zの方が少ない。

(3) 累積ピッチ誤差では、転造前の値は6~11 $\mu\text{m}$ である。転造後やや悪化し、27Zでは約20 $\mu\text{m}$ に、28Zでは約15 $\mu\text{m}$ になる。Zによる差は逃げの少ない、 $a_1=0.1, 0.2\text{mm}$ の所でやや大きくなる。

ならし転造では、27Zは $a_1=0.1, 0.2, 1.0$ で、28Zでは $a_1=0.1, 0.5$ のとき、その平均値は約8 $\mu\text{m}$ と少なくなった。しかし、どちらの場合でも、 $a_1=0.1\text{mm}$ のときの誤差が最も少くなり、その効果が認められる。

(4) 歯形誤差では、転造前の値は8~12 $\mu\text{m}$ である。転造後、D側の誤差は27Zでは20~25 $\mu\text{m}$ となったが、 $a_1=0.1\text{mm}$ のときが最小で、この大きさと共に、誤差の値は次第に大きくなる傾向にある。28Zでは、 $a_1=0.3\text{mm}$ のとき、やや悪化するほかは、これによる差はほとんど認められず、その値は約15 $\mu\text{m}$ となる。

F側では、27Zでは約15 $\mu\text{m}$ 、28Zでは約10 $\mu\text{m}$ となる。すなわち、 $a_1$ による差はほとんどなく、Zによる差が5 $\mu\text{m}$ ほど出ている。

(5) ならし転造後の歯形誤差は、27Zでは、転造後の値がややわるかったためか、D側、F側とも改善された。しかし、 $a_1$ の値による差は認められない。

28Zでは、ならし転造による改善の値向はあまりはっきりしない。しかし、 $a_1=0.1, 0.2\text{mm}$ では、ほかに比べてやや良い傾向にある。ここでは $a_1$ の値よりも歯数による差がはっきりしており、いずれの精度項目の場合でも28Zの方が有利である。

(6) 工具歯面角部の面取りは、小さいと素材歯面へのかじり、転造屑の発生を伴う。大きすぎると、歯先のとがりや、歯先巾の減少による破損、歯底部では素材歯形への影響などが生じる。これは、ある範囲内の大きさが必要で、大きさと共にその均一性への考慮が製品精度の向上に役立つ。また、その公差を保って工具を加工する方策が重要な問題となる。

(7) ラックと素材とがかみ合っている歯の、一つ先のラック歯先角部と素材歯面とのすき間(干渉)の式を示した。転造力は1歯のカミアイ中でも変化するが、最大転造力位置および素材の歯が中心にある位置について求めた。

実例として、二、三つの計算の結果、いずれの場合でも、静的な幾何学的な位置で、すでにそのすき間は0か、

やや干渉していることがわかった。また、工具歯先角部の面取りを考慮した場合でも、この関係はほとんど変わらない。

(8) したがって、工具の精度（ピッチ誤差の大きさ  $\delta_1$ ）、転造力による歯先部のたわみ ( $\delta_2$ )、両側工具の位相誤差 ( $2\delta_3$ ) など、いずれがあっても、それらの値は工具歯先部の素材歯面への干渉量として直ちに作用して行く。

今回の実験では、 $\delta_1 \doteq 5 \mu\text{m}$ 、正味転造力 5 kN で、これを歯先部で受け持つとすると  $\delta_2 \doteq 20 \mu\text{m}$  となる。連動ラック・ピニオンのバックラッシュ ( $2B_t \geq 2\delta_3 \text{max}$ ) が約  $50 \mu\text{m}$  で、このうち約  $1/4$  が片側ラックに効いているとすれば、干渉量はほぼ  $50 \mu\text{m}$  となり、非常に大きな値となる。製品精度と、これらの関係は今後の検討課題である。

(9) 単一ピッチ誤差、累積ピッチ誤差の結果からは、 $a_1 = 0.1 \text{mm}$  の効果は明らかである。ならし転造では、その効果がよりはっきりする。また、 $a_1$  の大きさと共に、歯数（偶数歯）の考慮が重要である。いずれの精度項目でも、28Z の結果の方が良い値となった。

逃げ部の形についての理論的な根拠はない。しかし、結果の示すように、可能な限りゆるやかに逃げるのが好ましいと思われる。実際には、工具の精度保持の上から、加工し易さとしての逃げ量の限界があり、 $a_1 = 0.1 \text{mm}$  程度がこの場合の最小値と思われる。

## 7. 結 論

(1) 工具歯先部および歯底部の角の面取りには、望まし

い一定値がある。歯車の仕上げ転造では、工具歯面角部の形およびその寸法差はとくに重要である。

(2) 工具・素材の 1 組のかみあい中で、その前、後のラック歯面の歯先角部は、無負荷の状態でも、素材歯面とほぼ干渉している。ラックの誤差や転造力などにより、実際には、この干渉量は相当大きなものとなる。

(3) 工具逃げ部の歯先面曲線の形は、逃げ部に入ってから長さ  $mz/2$  の区間で、素材歯底との逃げの量を約  $0.1 \text{mm}$  にするような一定の曲線にするとよい。

(4) 偶数歯の場合は、いずれの精度項目も奇数での値より良くなった。ならし転造でも偶数歯は有利であり、また、逃げ部の形の変化にも鈍感である。

## 参考文献

- 1) 久野精市郎：ラック型工具による歯車の冷間転造（しめつけ係数と工具押し込み部の形）、愛知工業大学研究報告 No. 7（1972）197。
- 2) 久野精市郎：ラック形工具による歯車の仕上転造、精度の向上（第 3 報）、愛知工業大学研究報告 No. 15（1980）77。
- 3) 久野精市郎：転造歯車の歯形寸法について、愛知工業大学研究報告 No. 8（1973）161。
- 4) 久野精市郎：ラック型歯車転造装置に作用する力について、精機学会秋季大会講演論文集、（1972）7。

（受理 昭和 56 年 1 月 16 日）