

# ラック形工具による歯車の仕上転造法

— 精度の向上 (第1報) —

久野 精市郎

Finish Roll Forming Gears by the Rack Die System  
—Improvement of Tooth Accuracy (Ist Report)—

Seiichiro KUNO

## 概 要

ラック形工具により自由駆動方式で高圧力角・低歯歯車を仕上げ転造する。素材歯部の転造代・歯ミゾ部とホブの関係を検討し、前加工はこのホブによった。転造代を変更してこれが歯底部の逃げミゾの有無による結果の製品精度への影響を調べた。主要な精度項目の測定結果から、ミゾ付の有利さがわかり、一定の歯車要目の場合の転造代の量がわかった。また、転造後の内径拡大量とも合わせて検討し、今後の問題点(方向)を示した。

## 1 まえがき

歯車の冷間転造では、仕上げ転造でも、その際に作用する力は相当大きなものとなる<sup>(1)</sup>。転造力の大きさは、材質、モジュール、歯巾等の歯車要目、全体の形状・寸法<sup>(2)</sup>および転造代等歯部の形状・寸法などで左右される。

歯車の製品精度は、主にこれら転造の際に生ずる力の大きさと、その力を受け持つ素材の形(相対的な歯の強さ)との関係に基因するものと思われる。精度の向上には、これらの基本的な関係の把握が必要だが、ラック形方式について、これらの報告はされていない。

まず、素材をホブ切りにより前加工する際のホブと歯部の形との関係を調べ、ホブを変更して転造代等を与えた。そこで、一定の歯車要目での素材歯部の条件変化が結果の精度に及ぼす関係を実験的に観察した。それらの形状と製品精度についての全体の動向から、歯部条件についてのおよその方向を示した。

## 2 条 件

転造盤は従来から使用しているラック形<sup>(3)</sup>による自由駆動方式とした。工具の材質はSKD11とし、歯面研削後の表面硬度をHRC55~58とした。素材成形のための工具の基準歯形の部分は約500mmで、この区間の単一ピッチ誤差は約5 $\mu$ 、累積ピッチ誤差は約15 $\mu$ である。

ラックの線方向の移動速度は約2.5m/min、転造時間は約15秒とし、切削油を使用した。

素材の歯車要目は、この方式に有利な基準圧力角25°、

歯末の丈0.8m、歯元の丈1mの高圧力角・低歯<sup>(4)</sup>とした。モジュールは1.5、歯数は27とした。ボスの全巾は30mmとし、歯巾はその中央部で10mm、内径は20mmとした。材質はSNC21とした。前加工はホブ切りにより、転造代の量および歯ミゾの逃げの量などはこのホブで与えた。

ラック工具のピッチ線が素材のピッチ線に達するまでの工具の押し込み量を $dp$ とすれば、ピッチ点での歯面に垂直方向の転造代の量は基準圧力角を $\alpha_0$ として、 $\delta_0 = dp \sin \alpha_0$ となる。 $dp$ の値を0.1~0.6mm( $\delta_0 = 0.04 \sim 0.25$ mm)とした。前加工後の素材歯底部の逃げミゾの深さ $dr$ は、製品の歯底位置より、 $dr = 0 \sim 0.6$ mmと変化させた。

## 3 素材のミゾ巾および転造代

### 3・1 素材歯底部のミゾ巾

前加工後の素材歯底部のミゾ巾の値は、転造代の量、歯丈、圧力角などによって左右されるが、これはまた、ホブ歯先のトンガリ巾とも関係する。図1にこの関係を示した。

転造前の左右のピッチ点での歯面に垂直な転造代をそれぞれ $\delta_{ol}$ 、 $\delta_{or}$ 、圧力角を $\alpha_{ol}$ 、 $\alpha_{or}$ ：歯底部での圧力角を $\alpha_{rlr}$ 、 $\alpha_{rrr}$ とする。また、転造後の素材の与えられた歯元の丈を $K_2m$ 、この歯底と前加工時の歯底との差の量を $K_3m$ とすれば、前加工時の歯底円半径 $r_3$ はピッチ円半径を $r_0$ として、 $r_3 = r_0 - m(K_2 + K_3)$ となる。したがって、前加工後の素材のミゾ巾は  $B = r_3 \beta_{rr} \dots \dots \dots (1)$

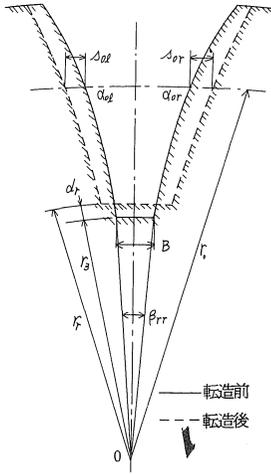


図1 素材歯底のミゾ巾

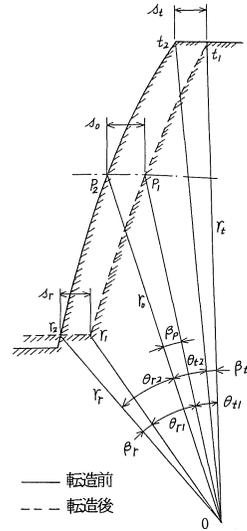


図2 転造代の関係

となる。函数をZ、転位係数をxとすれば

$$\beta_{rr} = (\pi - 4 \tan \alpha_0) / Z - (\delta_{0l} + \delta_{0r}) / r_0 \cos \alpha_0 - \{(\text{inv} \alpha_{0l} + \text{inv} \alpha_{0r}) - (\text{inv} \alpha_{rl} + \text{inv} \alpha_{rr})\} \dots(2)$$

となる。また、両歯面が同一のインボリュートで、かつ転造代が同一で基準歯厚のときは

$$\beta_{r0} = \pi / Z - 2 \delta_{0l} / r_0 \cos \alpha_0 - 2 (\text{inv} \alpha_{0l} - \text{inv} \alpha_{rl}) \dots(3)$$

となる。

3・2 ホブの圧力角と転造代

転造代は歯面に一様に与えるとは限らず、また両側の歯面で異なることもある。これらは一般に転造後の圧力角に対して、ホブの圧力角を変更するか、または標準のホブを基準位置からずらして加工することによって与えられる。

ホブを半径方向にずらして転造代を与える場合は、前加工後の素材歯底の位置が、転造後の値より浅くなり、好ましくない。またこの部分を他の工具で除いてミゾ部を追加する場合でも、ミゾ部全体が不規則になり易く、製品精度が悪化することがわかった。したがって、転造代部、歯ミゾ部等の歯形は専用ホブで同時に加工しなければならない。

図2に示すように、転造前の歯面を $t_2, p_2, r_2$ 、転造後の歯面を $t_1, p_1, r_1$ とする。また、転造前後の歯先、ピッチ点、製品の歯底部の位置での圧力角をそれぞれ $\alpha_{t2}, \alpha_{o2}, \alpha_{r2}; \alpha_{t1}, \alpha_{o1}, \alpha_{r1}$ とする。

仕上げ転造では、ピッチ点の転造代に対して、これと最大差の生ずる歯先または歯元での値が問題となることが多い。円周方向、歯面に直角方向の歯先、ピッチ点お

よび転造後の歯底部の各位置での転造代をそれぞれ

$$S_t, S_o, S_r; \delta_t = S_t \cos \alpha_t, \delta_o = S_o \cos \alpha_{o1}, S_r = S_r \cos \alpha_{r1} \text{ とする。}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{図2より } \beta_t &= \beta_o + \theta_{t1} - \theta_{t2}, \beta_r = \beta_o - (\theta_{r1} - \theta_{r2}) \\ \text{となり、歯先円半径を } r_k, \text{ 歯底円半径を } r_r \text{ とすれば、} \\ \delta_t &= r_t \cos \alpha_{t1} \beta_t = r_o \cos \alpha_{o1} (\beta_o + \theta_{t1} - \theta_{t2}) \\ \delta_r &= r_r \cos \alpha_{r1} \beta_r = r_o \cos \alpha_{o1} (\beta_o - \theta_{r1} + \theta_{r2}) \end{aligned} \right\} (4)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{したがって } \delta_t &= \delta_o + \Delta \delta_t, \Delta \delta_t = r_g (\theta_{t1} - \theta_{t2}) \\ \delta_r &= \delta_o + \Delta \delta_r, \Delta \delta_r = -r_g (\theta_{r1} - \theta_{r2}) \end{aligned} \right\}$$

となる。こゝに

$$\left. \begin{aligned} \theta_{t1} &= \text{inv } \alpha_{t1} - \text{inv } \alpha_{o1}, \theta_{t2} = \text{inv } \alpha_{t2} - \text{inv } \alpha_{o2} \\ \theta_{r1} &= \text{inv } \alpha_{o1} - \text{inv } \alpha_{r1}, \theta_{r2} = \text{inv } \alpha_{o2} - \text{inv } \alpha_{r2} \end{aligned} \right\} (5)$$

また、歯先・歯元以外の部分での、ピッチ点での転造代との差は、その部分の転造前後の圧力角を $\alpha_2, \alpha_1$ とすれば(6)式になる。

$$\Delta \delta = r_g \{ (\text{inv } \alpha_1 - \text{inv } \alpha_2) - (\text{inv } \alpha_{o1} - \text{inv } \alpha_{o2}) \} \dots(6)$$

4 実験結果および考察

前加工後の試料は、単一ピッチ誤差20μ以内、歯ミゾのフレ30μ以内、歯形誤差15μ以内のものを使用した。実験は各項目について試料各5個とした。

4・1  $d_r = 0$  の場合

前加工後の素材の歯底に転造のための特別な逃げミゾを付けない場合で、素材の転造前後の歯丈は同じ値である。

4・1・1 結果

転造代 $\delta_0 = d_p \sin \alpha_0$ で工具押し込み量 $d_p$ を0.1~0.6mmと変化させた。その結果の製品精度の主要項目として、それぞれ図3に単一ピッチ誤差、図4に歯ミゾのフレ、図5に歯形誤差の値を示した。

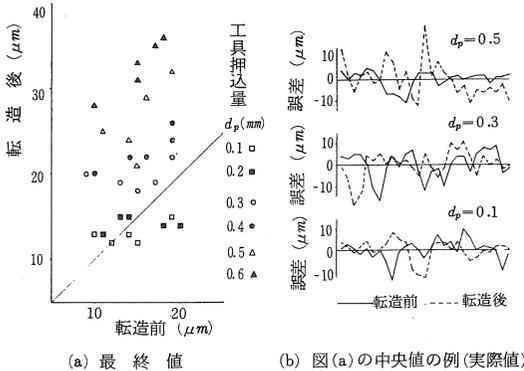


図3 単一ピッチ誤差 ( $d_r=0$ )

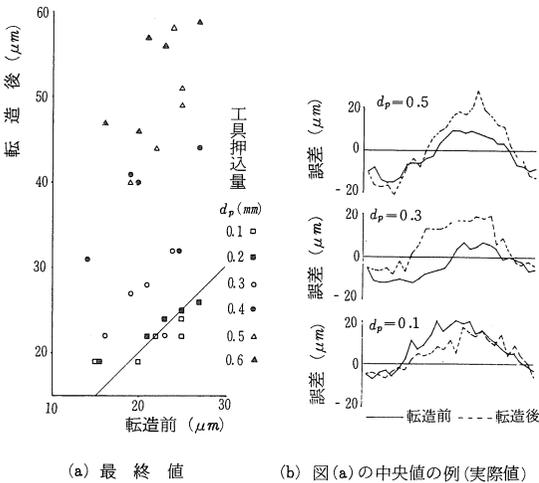


図4 歯ミゾのフレ ( $d_r=0$ )

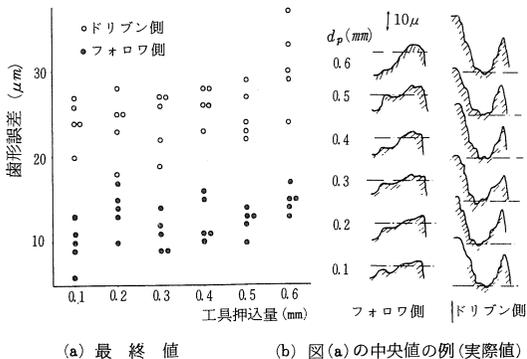


図5 転造後の歯形誤差 ( $d_r=0$ )

4・1・2 考察

(1) 単一ピッチ誤差の値は $d_p=0.1$ mmまたは0.2mmではほとんど変化がなく、12~15 $\mu$ で安定している。しかし、それが0.4または0.5mmになると相当量の増加が認められる。

(2) 歯ミゾのフレの値は $d_p$ の少ない範囲では、転造前の値にほぼ順じている。この量の増加と共に一層増加する傾向になり0.5または0.6mmになると急増する

(3) 歯形誤差の値は、ドリブン側では $d_p$ の値にほぼ比例して多くなる。歯元に対して歯先では-20~-40 $\mu$ の倒れを生ずる。

フォロウ側ではこの値にほとんど関係なく、誤差の値はほぼ一定している。歯元に対して歯先は全体として約20 $\mu$ 出ている。

(4) 当然ながら一般に $d_p$ の値が多いほど、製品精度は低下する低下傾向にあり、それが0.5または0.6mmになると極端に低下する。

しかし、 $d_p=0.1$ mmでは転造後の素材歯先部での盛り上り量も少なく、切削面もまだ一部残っており、転造したとは認め難い。

(5) これらの転造では、とくに $d_p$ の量が多い場合は、素材歯底部での転造代の逃げ場がなくなるようであり、 $d_p$ の量に比例して素材の一部がその部分で軸方向に押し出されているのが認められる。

この場合は、工具歯先面が素材の歯底を全面に押すため、工具の受け持つ背力が急増する<sup>(1)</sup>。これが転造力増大の原因となり、製品精度を低下させる主因になるものと思われる。したがて、この影響を減少させるため、素材歯底部に若干の逃げミゾを付けることは有効であらう。

4・2  $d_r=0.4$ mmの場合

前加工後の素材の歯底に0.4mmの逃げ部を付けた場合で、歯丈は転造前・後で0.4mmの一定差とした。

4・2・1 結果

工具押し込み量 $d_p$ を0.1~0.6mmと変化させ、その結果の製品精度の主要項目として、それぞれ図6に単一ピッチ誤差、図7に歯ミゾのフレ、図8に歯形誤差の値を示した。

4・2・2 考察

(1) 単一ピッチ誤差の値は $d_p \leq 0.4$ mmではほとんど変化がなく、割合安定している。

それが0.5または0.6mmになると若干わるくなる傾向にある。

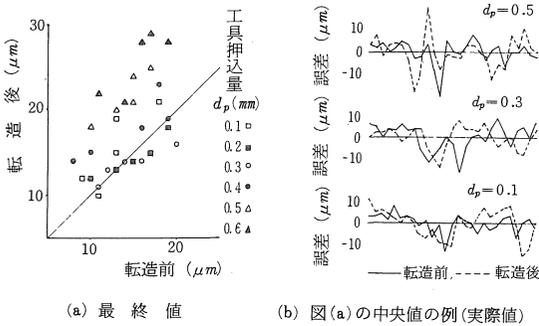


図6 単一ピッチ誤差 ( $d_r=0.4\text{mm}$ )

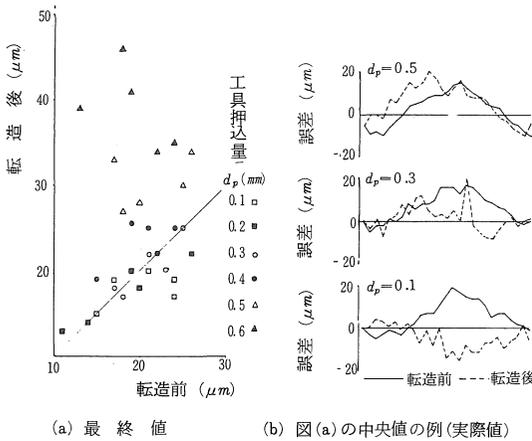


図7 歯ミゾのフレ ( $d_r=0.4\text{mm}$ )

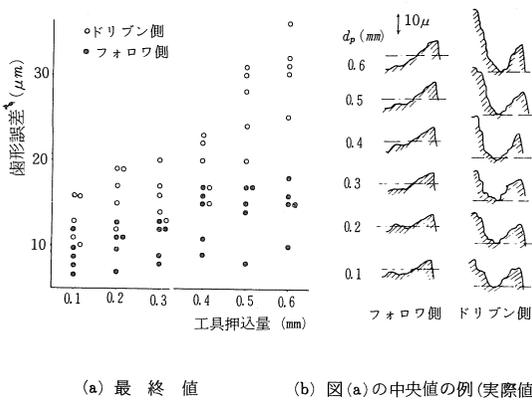


図8 転造後の歯形誤差 ( $d_r=0.4\text{mm}$ )

(2) 歯ミゾのフレの値は $dp \leq 0.4\text{mm}$ では、転造前の誤差の値に準じて、やゝわるくなる傾向にはあるが割合安定している。しかし、これが $0.5$ または $0.6\text{mm}$ になると非常に悪化する。

(3) 歯形誤差の値は、ドリブン側では $dp$ の値にほぼ比例して多くなる。歯元に対して歯先は $-30 \sim -40\mu$ の倒れを生ずる。これらの値は、 $d_r=0$ の場合の同じ $d_{pl}$ に対する誤差の値よりやゝ多い傾向にある。

フォロー側では、 $dp$ の値の増加と共に、やゝ増加の傾向にはあるが、その差は少なく、全体として $15 \sim 20\mu$ 程度となる。これらの値は $d_r=0$ の場合の値より、やゝ少なくなる傾向にある。

(4) こゝでも $dp$ の値の多いほど、製品精度は低下する傾向にはあるが、 $d_r=0$ の場合ほどの比例関係はない。しかし、 $dp \leq 0.2$ では、転造後の素材歯先部での盛り上がり量も少なく、歯の表面も転造されたとは認め難い。

(5) 同じ $dp$ の値に対しては、歯面は $d_r=0$ より $0.4\text{mm}$ の場合の方が、転造され方がやや少ない。したがって、後者では $dp=0.3 \sim 0.4\text{mm}$ 程度にすべきである。

(6)  $dp \leq 0.4\text{mm}$ では、工具歯先面が素材歯底に全面的に当たるための背力の増加は認められない。しかし、それが $0.5\text{mm}$ 以上では、ここでも素材の一部がその歯底部で軸方向に押し出されているのが認められる。

しかし、 $d_{pl}$ による素材のはみ出しは $d_r$ の量とも関係するので、相対的に精度への影響を調べるべきであらう。

### 4・3 内径寸法の変化

冷間転造では仕上げ転造の際にも、素材中心方向へ相当大きな力が加わる。素材の内径寸法は転造によって拡大する方向にあり、この値も製品精度に影響する。

転造前後の内径寸法を、各試料について4箇所測定し、その平均値を図9に示した。

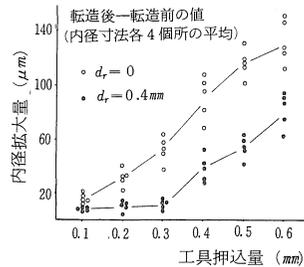


図9 素材の内径拡大量

(1) 拡大量の値はおよそ転造代の大きさに比例するが、前加工後の素材歯底の逃げミゾの有無により非常な差を生ずる。

$d_r=0$ では、 $dp=0.3\text{mm}$ 以上で、 $d_r=0$ でも、 $dp=0.4\text{mm}$ 以上で急増する。この範囲での転造後の素材の歯ミゾ

のフレ、歯形誤差などの悪化とも関連していると思われる。

(2) 図9の値は、素材の歯部に相当する部分の内径拡大量である。穴の軸方向別の拡大量は一樣ではなく、歯のある部分で最大となり、素材の両端部ではここに示した値よりやや小さい。これらの値と各製品精度との関係はさらに検討し、それらの許容値等を示す必要があるであろう。

これらの結果より、転造代はその許容範囲でなるべく少なくすべきであり、その必要量に応じて、最少な歯底の逃げミゾとすべきことがわかった。実験の範囲では $dp=0.3$  mmに対して $dr=0.4$  mm程度がよいと思われる。

ここでは一定の歯車要目についての影響を調べたが、転造代およびミゾ部の深さの関係は、歯車の材質、硬度、モジュール、歯丈、歯山などでもそれぞれ異った値となるであろう。したがって、それぞれ個々の場合についてさらに検討されねばならない。

内径拡大量も、上記の歯車要目の変化によってもまた異った値となるであろう。そのほか、素材の形状<sup>(2)</sup>(内径寸法、ボス巾、肉厚等)および加工条件(総ころがり回数、ならし回数等)でも相互に関連して複雑となる。したがって、これもそれぞれ個々の場合についてさらに検討を必要とするであろう。

ここでは素材歯部の形が主要精度に及ぼす影響を概括的に扱ったが、今後はこれらの方向付けを基に、より細部の検討を進める予定である。

## 5 結 論

(1) 仕上げ転造歯車の精度は、転造代の大きさと歯ミゾ部の形とに関連する。また、これは転造際の素材の内径寸法拡大量とも相関している。

(2) 一定の歯車要目に対しては、望ましいほぼ一定量の転造代がある。前加工時には、素材歯底部にその量に応じた最小の逃げミゾを付けるべきである。

(3)  $m=1.5$  ,  $\alpha_0=25^\circ$  の高圧力角・低歯歯車では、転造代は約0.13mm, ミゾ部の逃げは約0.4 mm程度がよい。

## 参考文献

- (1) 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, 精機学会秋期大会前刷(1972) 104
- (2) 久野精市郎, ラック形工具による歯車の仕上転造法(素材の形と製品精度), 愛工大研究報告No.11 (1976) 37
- (3) 久野精市郎, ラック形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), 愛工大研究報告No.7 (1972) 197
- (4) 久野精市郎, 転造歯車の歯形寸法について, 愛工大研究報告No.8 (1973) 161