

ラック形歯車転造工具押し込み部の形

久野 精市郎

Shape on Die Tooth of Pushing Part in Rack Type Gear Rolling

Seiichiro KUNO

In this cold rolling made by means of rack type tools, the twin dies are each associated with a separate slider, and the work-piece mounted on the unrestrained arbor is rotated between those.

The profile error of rolled teeth was controlled by the crest die forms at the each contact with the bottom land of work surface. The pinion blanks used for rolling are nearly equal in diameter to the pitch circle diameter of the finished part.

As the operations start, the tooth tip is gradually taken charge of a tight force against the difference between a linear and a chordal pitch. Therefore, according to go on, the rolled force added to the tooth tip has to be declined gradually. Then, to the crest lines at the top flank, the several limited straight lines are adopted and those relations are formulated.

Concretely, in the case of 28 teeth of module 1.5, the pressure angle of 25° and the whole depth of 2.7 mm, the calculated results are indicated. That is, in the rack type gear rolling, the desirable crest shapes of pushing part on the rack die tools are designed respectively.

1. まえがき

ラック形工具による歯車の転造では、その報告は殆どない。また、工具押し込み部の形については、さらに不明の点が多い。

ラック形工具は、転造中は素材の中心方向への移動ができない。したがって、素材へのくい込み量の加減は、工具押し込み部の形状を変更することによって与えることになる。

素材1歯当りの押し込み量は、工具の歯の強さ、製品精度などに大きな影響を及ぼす。すなわち、ラック形方式では、押し込み部の形は、歯車転造についての基本をなすものである。

ラック形工具の押し込み部における工具歯先では、素材は、ピッチ円付近の値をもつ素材外径から、次第に食い込み始める。その後、その食い込み位置に応じて、工具歯先に加わる締め付け力は増加するので、歯先に生じる転造力は、次第に減少させなければならない。

これらを考慮して、ここでは、押し込み部の歯先線に、その傾きが次第に小さくなるような折れ線を適用し、それらの関係の式を示した。また、それを用いて、歯先部の形を求める手順を、例によって示した。すなわち、歯車要目および許容押し込み量などの転造条件が与えられた場合には、工具押し込み部の歯先部は、 n 個の折れ線の形で与えることができる。

2. 押し込み部の歯先線

2・1 ラック形方式

歯車素材は装置の中心位置に設置する。素材と中心軸とは固定せず、軸には素材回転の案内の役目だけをさせる、自由駆動方式とする。

ラック工具は、素材の両側に設置し、このスライダを、工具とは別の駆動ラック・ピニオンで、互いに逆方向に油圧駆動する。工具歯先部の形状は、図1に示すように、押し込み部、正規歯部、逃げ部か

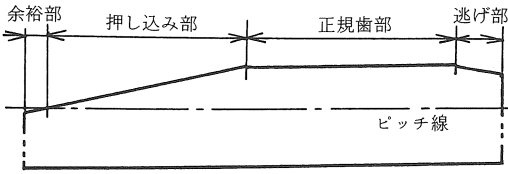


図1 ラック形工具歯先の区分

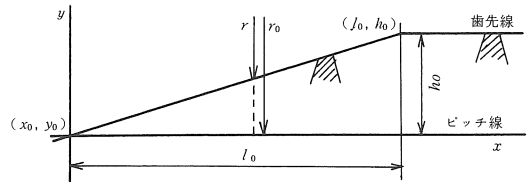


図2 工具の押し込み部

ら成り立つ。素材歯車は、この各部を転がって、歯車として完成される。

転造加工する際の、旋削後の素材外径は、ほぼ、ピッチ円に近い値である。したがって、工具押し込み部の歯先線の位置は、素材のピッチ円から、歯底円に相当する部分までがあればよい。

図2に示すように、工具のピッチ線をx軸にとり、点 (x_0, y_0) を原点としてY軸をとる。工具の歯末の丈(転造歯車の歯元の丈、 k_2m)を h_0 とすれば、 $y=h_0$ は正規歯部の歯先線の位置である。

いま、図2で l_0 を与えると、 $y=h_0x/l_0$ ($x_0 \leq x \leq l_0$)は、一様な押し込み部、歯先線の形を表す。点 (x_0, y_0) は素材の入り口部(押し込み開始点)、点 (l_0, h_0) は出口部(押し込み終了点)であり、この区間での素材1歯当りの押し込み量 d は(1)となる。

$$d = \pi m z \cdot h_0 / 2 l_0 \quad (1)$$

素材は、半回転 $R_0 = \pi m z / 2$ の度に、それぞれ、両側の工具から押し込まれる。したがって、この区間での押し込み回数を k_0 とすれば、その全長 l_0 は(2)となる。

$$l_0 = k_0 \cdot R_0 \quad (2)$$

点 (x_0, y_0) 部分でのかみあいでは、素材の弦ピッチと、工具の線ピッチの値とが近似のため、工具歯先には、素材への押し込み力が加わるだけである。しかし、素材が点 (l_0, h_0) に近づくにつれて、工具歯先には、素材の弦ピッチとの差による締め付け力が増加していく。すなわち、図2で、素材の歯数を Z とし、転造中の歯底円半径を $r = r_0 - y$ 、とすれば、締め付け力の値は、弦ピッチとの差、 $\delta p = 2r \tan(\pi/Z) - \pi m$ 、($0 \leq y \leq h_0$)に関係した値となる。

2・2 n 次の折れ線

前項の問題を考慮して、押し込み部の歯先線にn次の折れ線を適用する。図2に示す l_0, h_0 の区間を、それぞれnに区分し、点 (l_0, h_0) を (x_n, y_n) として、この区間をn個の折れ線で表す。

このとき、nに区分したn'番目の折れ線の長さ

$l_{nn'}$ 、およびその区間の高さ $h_{nn'}$ は(3)となる。

$$\begin{cases} l_{nn'} = x_{nn'} - x_{nn'-1} \\ h_{nn'} = y_{nn'} - y_{nn'-1} \end{cases} \begin{cases} x_{n0} = 0, n \geq 2 \\ y_{n0} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

ここで、各区分高さ $h_{nn'}$ の関係を(4)とする。また、最初の区分高さ h_{n1} は(5)とする。これより、n'番目の区分高さ $h_{nn'}$ は(6)となる。

$$h_{nn'} = h_{nn'-1} / 2, \quad n \geq 2 \quad (4)$$

$$h_{n1} = h_0 \cdot 2^{n-1} / (2^n - 1) \quad (5)$$

$$h_{nn'} = h_0 \cdot 2^n / 2^{n'} \cdot (2^n - 1) \quad (6)$$

個々の段差は、あまり細かくしても、実際の数値の取り扱いから煩わしく、また、大きくすると段差がとりにくく、1/2程度が最も扱いやすい。押し込み量に変更を要する場合には、長さ方向の値を変化させればよい。

折れ線は、常に $y = h_0x/l_0$ の上側にある。したがって、 x_{n1} の範囲は(7)となる。各区分 $l_{nn'}$ は、ここでも R_0 の整数倍とし、その関係を(8)とする。このとき、n'番目の傾き区間での、素材1歯当りの押し込み量 $d_{nn'}$ は(9)となり、工具1歯当りの高さの差 $\delta h_{nn'}$ は(10)となる。

$$0 < x_{n1} < l_0 \cdot 2^{n-1} / (2^n - 1) \quad (7)$$

$$l_{nn'} = R_0 \cdot k_{nn'}, \quad \sum_{n'=1}^n k_{nn'} = k_0 \quad (8)$$

$$d_{nn'} = R_0 h_0 \cdot 2^n / l_{nn'} \cdot 2^{n'} (2^n - 1) \quad (9)$$

$$\delta h_{nn'} = 2 d_{nn'} / Z \quad (10)$$

2・3 折れ線の具体化

$\delta h_{nn'}$ の値は、加工機械の移動最小目盛の範囲内で選び直し、この値を $\delta h'_{nn'}$ として決定する。この各高さの横方向の長さを $l'_{nn'}$ とし、押し込み部の全長を、 $l'_0 = \sum_{n'=1}^n l'_{nn'}$ とする。

つぎに、この l'_0 に相当するピッチ線上の点を新たな原点 (x_0, y_0) として座標を設定する。このとき、折れ線の高さ方向の各座標位置は変らない。x方向の新たな座標を $x'_{nn'}$ とすれば、折れ線各部の長さおよび高さの差は(11)となり、折れ線を表す式は(12)とな

表1 素材1歯当りの押し込み量とその回数

押し込み回数	許容押し込み量	押し込み部の全長	押し込み回数	許容押し込み量	押し込み部の全長
12	0.125	791.7	8	0.187	527.8
11	0.136	725.7	7	0.214	461.8
10	0.150	659.7	6	0.250	395.8
9	0.167	593.8	5	0.300	329.9

る。

$$\begin{cases} l'_{nn'} = x'_{nn'} - x'_{nn'-1} \\ h_{nn'} = y_{nn'} - y_{nn'-1} \end{cases} \begin{cases} x'_{n0} = 0 \\ y_{n0} = 0 \end{cases} \quad n \geq 2 \quad (11)$$

$$y = \delta h'_{nn'} (x - x'_{nn'-1}) / \pi m + y_{nn'-1} \quad (12)$$

$$(x'_{nn'-1} \leq x \leq x'_{nn'}, y_{nn'-1} \leq y \leq y_{nn'})$$

ここで、新たな素材1歯当りの押し込み量を $d'_{nn'}$ とすれば、設定前後の関係は(13)であり、設定後の各関係は(14)、(15)、(16)となる。

$$\delta h'_{nn'} \leq \delta h_{nn'}, l'_{nn'} \geq l_{nn'}, d'_{nn'} \leq d_{nn'} \quad (13)$$

$$d'_{nn'} = Z \cdot \delta h'_{nn'} / 2 \quad (14)$$

$$l'_{nn'} = \pi m h_{nn'} / \delta h'_{nn'} \quad (15)$$

$$l'_0 = \pi m \sum_{n=1}^n (h_{nn'} / \delta h'_{nn'}) \quad (16)$$

3. 歯先線の形

3.1 条件

歯先線の形を決定するための、適用例としての条件を以下に示す。素材歯車は、ラック形方式の転造に有利な、高圧力角・低歯とした。それぞれ、モジュール1.5、歯数28、圧力角25°、歯末の丈 $k_1 m = 0.8 m = 1.2$ (mm)、歯元の丈 $k_2 m = 1 m = 1.5$ (mm)、歯幅10 (mm)、ねじれ角0°である。

素材の材質はS10C、旋削後の中心穴は20 (mm)、ボス全体の幅は30 (mm)とした。

工具の材質はSKD11とし、歯面の熱処理硬度は、HRC58~60とした。その移動速度は2.5m/minで、移動時の推力は 2.8×10^3 kg-fで、それぞれ一定とした。

従来の結果⁽¹⁾からは、押し込みの入り口部、出口部での、素材1歯当りの許容押し込み量の比は、ほぼ2:1で、押し込み量の範囲は、それぞれ0.2~0.3 (mm)、0.1~0.15 (mm)とされている。

しかし、これらは、本来、素材の材質、かたさ、歯幅、工具の強さ、工具寿命、安全率の考え方、押し込み力による素材精度の変化、素材の形状、圧力角、工具の歯丈などで変化する値である。個々の場

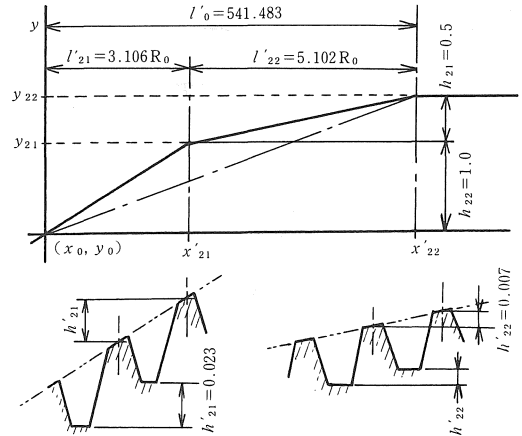


図3 n = 2 の場合の各関係

合には、その条件に応じた検討結果によって決定されなければならない。

この方式での、考えられる範囲の、平均的な許容押し込み量 d_0 の範囲、素材の押し込み回数 k_0 、押し込み部の全長の値を表1に示した。

3.2 n = 2 の場合

全体の高さ h_0 は、 $h_0 = k_2 m = 1.5$ (mm)であり、各高さの差 h_{21}, h_{22} は式(6)より、 $h_{21} = 2h_0/3, h_{22} = h_0/3$ である。また、 l_{21} の範囲は式(7)より $0 < x_{21} < 2l_0/3$ である。

ここで、 $l_0 = k_0 R_0$ 、 $k_0 = 8$ とすれば、素材1歯当りの平均押し込み量 d_0 は、 $d_0 = 0.188$ (mm)であり、 x_{21} の範囲は、 $0 < x_{21} \leq 5.33 R_0$ である。

さらに、 $k_{21} = 3, k_{22} = 5$ とし、 $l_{21} = 3R_0, l_{22} = 5R_0$ として与えると、区間 l_{21}, l_{22} での素材1歯当りの押し込み量 d_{21}, d_{22} ；工具1歯当りの高さの差 $\delta h_{21}, \delta h_{22}$ はつぎのようになる。

$$\begin{cases} d_{21} = R_0 \cdot h_{21} / l_{21} = R_0 / 3R_0 = 0.333 \\ d_{22} = R_0 \cdot h_{22} / l_{22} = 0.5R_0 / 5R_0 = 0.100 \text{ (mm)} \\ \delta h_{21} = 2d_{21} / Z = 0.0238 \\ \delta h_{22} = 2d_{22} / Z = 0.0071 \text{ (mm)} \end{cases}$$

これらより、工具1歯当りの高さの差 $\delta h'_{21}, \delta h'_{22}$ を、それぞれ $\delta h'_{21} = 0.023, \delta h'_{22} = 0.007$ (mm) と決定する。

このとき、素材1歯当りの押し込み量 d'_{21}, d'_{22} ；各区間の長さ l'_{21}, l'_{22} ；全長 l'_0 はつぎのようになる。これらの関係を図3に示した。

$$\begin{cases} d'_{21} = Z \cdot \delta h'_{21} / 2 = 0.322 \\ d'_{22} = Z \cdot \delta h'_{22} / 2 = 0.098 \text{ (mm)} \end{cases}$$

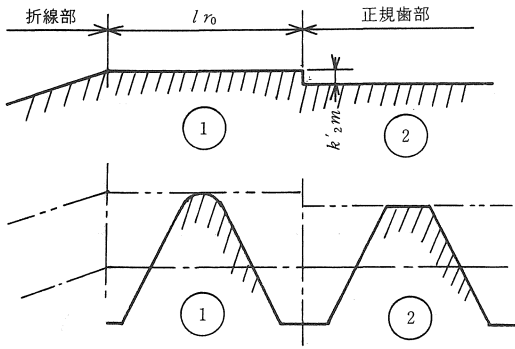


図4 押し込み終了部の段差

$$\begin{cases} l'_{21} = R_0 \cdot h_{21} / d'_{21} = 3.1056R_0 \\ l'_{22} = R_0 \cdot h_{22} / d'_{22} = 5.1020R_0 \text{ (mm)} \\ l'_0 = 8.2076R_0 = 541.484 \text{ (mm)} \end{cases}$$

3. 3 n = 3 の場合

各部の高さ h_{3n} は式(6)より, $h_{31} = 4h_0/7$, $h_{32} = 2h_0/7$, $h_{33} = h_0/7$ となる。

ここで, $k_0 = 8$ とすれば, 素材 1 歯当りの平均押し込み量 d_0 は, $d_0 = 0.188$ (mm) であり, x_{31} の範囲は, $0 < x_{31} \leq 4.57R_0$ である。

さらに, $k_{31} = 2$, $k_{32} = 3$, $k_{33} = 3$ とし, $l_{31} = 2R_0$, $l_{32} = 3R_0$, $l_{33} = 3R_0$ として与えると, 各区間での素材 1 歯当りの押し込み量 d_{3n} ; 工具 1 歯当りの高さの差 δh_{3n} はつぎのようになる。

$$\begin{aligned} d_{31} &= R_0 \cdot h_{31} / l_{31} = 0.4286, \quad d_{32} = 0.1429, \quad d_{33} = 0.0714 \text{ (mm)} \\ \delta h_{31} &= 0.0306, \quad \delta h_{32} = 0.0102, \quad \delta h_{33} = 0.0051 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

これらより, 工具 1 歯当りの高さの差 $\delta h'_{3n}$ を, それぞれ $\delta h'_{31} = 0.03$, $\delta h'_{32} = 0.01$, $\delta h'_{33} = 0.005$ (mm) と決定する。このとき, 素材 1 歯当りの押し込み量 d'_{3n} ; 各区間の長さ l'_{3n} ; 全長 l'_0 はつぎのようになる。

$$\begin{aligned} d'_{31} &= 0.42, \quad d'_{32} = 0.14, \quad d'_{33} = 0.07 \text{ (mm)}, \\ l'_{31} &= 2.0408R_0, \quad l'_{32} = l'_{33} = 3.0612R_0 \text{ (mm)}, \\ l'_0 &= 8.1632R_0 = 538.554 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

3. 4 歯先の変更

素材が点 (x_n, y_n) を終了して, $y = h_0$ の歯先部に移っても, なお 1/2 回転の区間は押し込まれる。押し込み部の工具歯先は丸形がよい。しかし, 正規歯部では, 先端は平らな, 角形がよいとされている。したがって, これを満足するため, この両者の接続部では, 少なくとも, 押し込み部を丸形にしただけ,

表2 工具押し込み部の値 (n = 3)

折線番号	長さ方向の区間	高さ方向の区間	各歯の高さの差	素材の押し込み量
1	$2.041R_0$	0.857	0.03	0.42
2	$2.061R_0$	0.429	0.01	0.14
3	$3.061R_0$	0.214	0.005	0.07

(注) 補正值 $l''_{31} = 0.714R_0$, $R_0 = 65.973$
 $l'_0 = 8.163R_0 + l''_{31} = 565.642$ (mm)

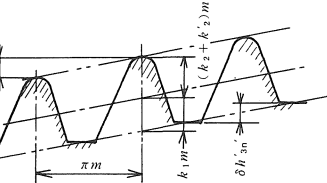
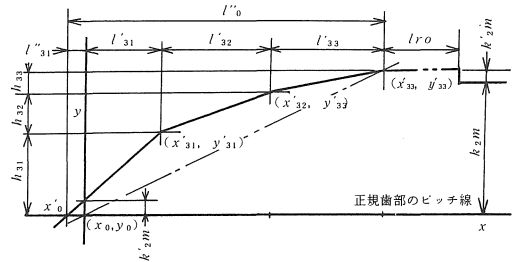


図5 押し込み部の形 (n = 3)

段差を必要とする。

この関係を図4に示す。この高さの差は, 工具の条件 (全転造, 予転造など) で若干変化し, また, 素材の材質, 歯幅, 素材の歯底に対する考え方 (有効歯丈, とくに歯底付近の歯形精度の厳密さ) などでも変更を要する値である。

この高さの差を $k_2 m$ とすれば, 図4の区間 l_{r0} の工具歯末の丈 h' は, $h' = (k_2 + k'_2)m$ である。 l_{r0} の長さは, $\pi m z / 2$ 以上は必要で, 一般には, この2倍程度がよいと思われる。

ここで, 各折れ線の接点のY座標 Y_{nn} をY方向に $k_2 m$ だけ移動し, その点を Y'_{nn} とする。

$$Y'_{nn} = Y_{nn} + k_2 m \tag{17}$$

このとき, 歯先の最後の傾き線と水平線との交点の座標は (x'_{nn}, y'_{nn}) である。また, 折れ線の式は (18) となる。

$$\left. \begin{aligned} Y &= \delta h'_{nn} (x - x'_{nn-1}) / \pi m + Y'_{nn-1} \\ Y'_{n0} &= k_2 m, \quad x'_{n0} = 0, \quad n \geq 2 \\ (x'_{nn-1} \leq x \leq x'_{nn}, \quad Y'_{nn-1} \leq Y \leq Y'_{nn}) \end{aligned} \right\} \tag{18}$$

ここで, 最初の折れ線の x 軸との交点を $(x'_0, 0)$

とすれば, (18)より $x'_0 = -\pi m^2 h'_2 / \delta h'_{n1}$ となり, この区間の長さを l'_{n1} とすれば, 折れ線部の全長 l''_0 は (20)となる。

$$l'_{n1} = |x'_0| = \pi m^2 k'_2 / \delta h'_{n1} \quad (19)$$

$$l''_0 = l'_0 + l'_{n1} \quad (20)$$

また, 押し込み始めの歯先線に, 多少の余裕を必要とする場合には, $n' = 1$ の線を, 工具のピッチ線より下側まで, 適宜延長すればよいであらう。

3. 5 $n = 3$ の歯先線

3. 3 で計算した結果を利用して, 3. 4 項を加え, 再整理した結果の値を表 2 に示した。また, それらの関係を図 5 に示した。

4. 結論

(1) ラック形方式による歯車の転造では, 素材のく

い込み位置により, 工具歯先への転造力を次第に減少させるための考慮が必要である。

- (2) 押し込み部の歯先線に, その傾きが次第に小さくなるような折れ線を適用し, それらの関係の式を示した。また, それを用いて, 歯先部の形を求める手順を, 例によって示した。
- (3) 歯車要目の条件および許容押し込み量を与えられた場合には, ラック形の工具押し込み部の歯先線は, n 個の折れ線の形で与えることができる。

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, 197, 1972

(受理 平成元年1月25日)