

ラック形工具による歯車の仕上転造法

(素材歯車の歯面修正)

久野 精市郎

Finish Roll Forming Gears by the Rack Die System

(Profile Modification on the Gear Blank)

Seiichiro KUNO

In the gear rolling, the finished profile may slightly incline toward the direction of the rolling force. Probable error for the profile of rolled surfaces obviously results from the tooth inclination.

In this paper, the gear blank, which was previously hobbed as $m=1.5$, $\alpha_o=25^\circ$, $Z=27$, and whole depth=1.8m is rolled by the free driving both rack dies. Then, the profile of the driven side and that of the follower side of the blank are modified, respectively by a preferable involute apart to the direction of the opposite rolling force.

By the investigation of those finished rolling conditions, the desirable modification of the tooth profiles were decided, and the rolled involute profiles were improved.

1. まえがき

(1) 転造による歯車の製作では、創成された素材の歯面は、回転方向へ若干倒れる。これは避けられない現象で、そのため、転造歯車では、歯形誤差が大きくなり易い。

ラック型工具では、その全長には制限があるため、素材押し込み部での一歯当りの押し込み量は、割り合い大きく、また、正規工具部での素材の転がり回数は少ない。このため、歯は倒れ易く、この倒れに対しては特別の考慮を要する。

転造歯車での歯形誤差の値は、大部分がこの歯の傾きに原因するものであり、本来の歯形誤差(歯面に垂直な凹凸)は、それほど多くはない。

(2) 素材の歯の倒れに対しては、つぎの方法が考えられる。

i) 素材の歯を前もって、逆方向に修正しておく。ii) 工具歯形を逆向きに、若干修正しておく。iii) 転造後、さらに素材を逆回転方向で、ならしの仕上げ転造をする。

これらのうち、ここでは、i) について採りあげる。旋削後の素材を、ホブ切りによって前加工する。その際、ホブを素材歯面に対応して修正しておく。しかして、この前加工された素材を、ラック型工具により、自由駆動

方式で仕上げ転造した。

(3) これらによって得られた製品歯車の歯形解析の結果、ほぼ一定の、望ましい歯面修正値が得られた。

ここでの結果は、ホブ切りによる前加工歯車の仕上げ転造には勿論のこと、前加工された歯車をパニシ転造する場合、ラック工具で荒転造する場合の工具圧力角の設定などにも、利用できるものと思われる。

2. 実験の条件

(1) 歯の傾きの主な原因(条件)としては、つぎのものがある。

i) 傾きの量は、ほぼ転造力の値に比例する。仕上げ転造では、転造力は、ほぼ転造代の大きさに比例する。

ii) 素材の材質、硬度にも影響する。これは転造力とも相関し、それに耐えられる程度の歯部およびボス部の剛性が必要となる。

iii) 全歯丈および歯数が関係する。歯数は25枚以下では、傾きは急増する。歯丈は低く、圧力角は大きいほど、当然有利である。

iv) 前加時に、素材歯底部に若干の逃げミゾを付けておくことが必要である。転造力の大部分は、工具歯先と素材底部との当り方による。

以上から、ここでは、仕上げ転造に有利と思われる一定の条件とした。

(2) 転造歯車の歯形誤差のうち、ピッチ点付近の凹凸などには、仕上げ転造後の歯車を、再度、逆回転方向で、ならし転造する方法が有効である。

しかし、ここでは、一度の仕上げ転造において、歯面の傾きを少なくし、このことから歯形誤差を減少する方法を検討した。

(3) 素材の材質はS45Cとし、調質後のカタサをHB 200~230とした。歯車要目は、基準圧力角 25° 、モジュール1.5、歯数27、 $k_1=0.8$ 、歯末の丈 $k_1m=1.2\text{mm}$ 、歯元の丈 $1.25k_1m=1.5\text{mm}$ 、全歯丈 2.7mm の高圧力角・低歯車とした。

(4) 素材の形は一定とした。歯巾は 10mm とし、両側に 10mm のボス部を設け、全体の巾を 30mm 、内径を 20mm とした。

旋削後、素材歯面の前加工を専用のホブで行ない、ホブ切り後の歯ミゾのフレの許容値を $20\mu\text{m}$ とした。

(5) ピッチ点における転造代は、両側歯面とも、 0.12mm で一定とした。ホブ切り時素材歯底部には、転造後の全歯丈 2.7mm に対して、さらに深さ 0.4mm の逃げミゾを設け、全歯丈を 3.1mm とした。

(6) 素材歯部の修正は、基準圧力角 25° に対して、D側(ドリブン側)は、 $-10'$ 、 $-20'$ 、 $-30'$ 、 $-40'$ 、F側(フォロワ側)は、 $+10'$ 、 $+20'$ 、 $+30'$ 、 $+40'$ とした。前加工用のホブは、歯厚に予定の転造代を見込み、全歯丈が 3.1mm で、 $\delta\alpha_0 = \mp 10'$ 、 $\mp 20'$ 、 $\mp 30'$ 、 $\mp 40'$ の歯が加工できるものとした。

(7) ラック工具は、材質をSKD11とし、歯面研削後の表面硬度をHRC 55~58とした。正規工具部の長さは約 500mm とし、この間の工具の単一ピッチ誤差は約 $5\mu\text{m}$ 、累積ピッチ誤差は約 $15\mu\text{m}$ である。この工具を素材歯車の両側に設定した。設定時の中心に対する前・後の相対位置はブロックゲージで、左右の相対位置は、基準の歯車で行なった。

(8) 転造方式は、従来からのラック形¹⁾による自由駆動とした。ラックの移動方向の転造力は約 20KN に設定した。また、転造時には切削油を使用し、転造時間は約 15 秒とした。

3. 圧力角と転造代

(1) 素材歯面の基準圧力角からの傾き量は、圧力角を変更して与える。この関係については、すでに一部述べた²⁾。変更後の素材歯面は、その圧力角による一様なインボリュート曲面であるとする。ピッチ点での転造代は 1.2mm としたが、それ以外の歯面では、圧力角の変化によ

表1 項目と記号

項目	D.F.	歯先	ピッチ点	歯元
加工後の製品半径		γ_k	γ_o	γ_r
正しい歯面の圧力角		α_k	α_o	α_r
仕上げ転造前の歯面 圧力角	D	α_{kd2}	α_{od2}	α_{rd2}
	F	α_{kf2}	α_{of2}	α_{rf2}
仕上げ転造後の歯面 圧力角	D	α_{kd1}	α_{od1}	α_{rd1}
	F	α_{kf1}	α_{of1}	α_{rf1}
円周方向の仕上げ転造代	D	s_{kd}	s_{od}	s_{rd}
	F	s_{kf}	s_{of}	s_{rf}
歯面方向の仕上げ転造代	D	δ_{kd}	δ_{od}	δ_{rd}
	F	δ_{kf}	δ_{of}	δ_{rf}
円周の転造代の部分を望む中心との角	D	β_{kd}	β_{od}	β_{rd}
	F	β_{kf}	β_{of}	β_{rf}
ピッチ点と各部との歯車中心に対する角	転造前	D	θ_{kd2}	θ_{rd2}
		F	θ_{kf2}	θ_{rf2}
	転造後	D	θ_{kd1}	θ_{rd1}
		F	θ_{kf1}	θ_{rf1}

注：記号の中の2は仕上げ転造前を、1は仕上げ転造後を示す。

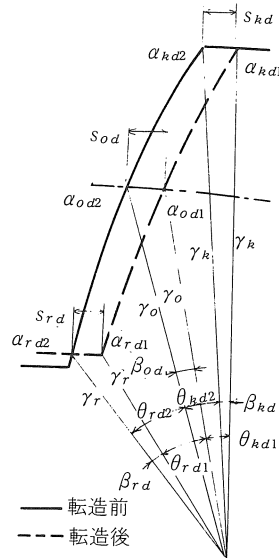


図1 転造代の関係 (D側歯面)

って増減する。

ここで使用する記号を表1に、これらの関係の一部を図1に示す。

(2) 素材のD側, F側歯面加工用のホブの基準圧力角を, それぞれ $\alpha_{0d2}, \alpha_{0f2}$ とする。これは, 仕上げ転造前の素材の圧力角でもある。

仕上げ転造後は, 素材の両歯面とも基準圧力角 ($\alpha_0 = 25^\circ$) になるものとすれば, このときのピッチ点での転造代は, 式(1)となる。

$$\delta_{0d} = \gamma_0 \beta_{0d} \cos \alpha_{0d1}, \quad \delta_{0f} = \gamma_0 \beta_{0f} \cos \alpha_{0f1} \quad \dots\dots\dots(1)$$

同様に, 歯先部, 歯底部でのみかけの転造代の値は, 式(2), (3)となる。

D側

$$\left. \begin{aligned} \delta_{kd} &= \gamma_k \beta_{kd} \cos \alpha_{kd1} = \gamma_0 \cos \alpha_{0d1} (\beta_{0d} + \theta_{kd1} - \theta_{kd2}) \\ \delta_{rd} &= \gamma_r \beta_{rd} \cos \alpha_{rd1} = \gamma_0 \cos \alpha_{0d1} (\beta_{0d} - \theta_{rd1} + \theta_{rd2}) \end{aligned} \right\} \dots\dots(2)$$

F側

$$\left. \begin{aligned} \delta_{kf} &= \gamma_k \beta_{kf} \cos \alpha_{kf1} = \gamma_0 \cos \alpha_{0f1} (\beta_{0f} + \theta_{kf1} - \theta_{kf2}) \\ \delta_{rf} &= \gamma_r \beta_{rf} \cos \alpha_{rf1} = \gamma_0 \cos \alpha_{0f1} (\beta_{0f} - \theta_{rf1} + \theta_{rf2}) \end{aligned} \right\} \dots\dots(3)$$

(3) 素材のD側の歯先および歯元の転造代の, ピッチ点での値との差は, 式(1), (2), から式(4)となり, F側のそれは, (1), (3)から式(5)となる。

$$\left. \begin{aligned} \Delta \delta_{kd} &= \delta_{kd} - \delta_{0d} = \gamma_0 \cos \alpha_{0d1} (\theta_{kd1} - \theta_{kd2}) \\ \Delta \delta_{rd} &= \delta_{rd} - \delta_{0d} = -\gamma_0 \cos \alpha_{0d1} (\theta_{rd1} - \theta_{rd2}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta \delta_{kf} &= \delta_{kf} - \delta_{0f} = \gamma_0 \cos \alpha_{0f1} (\theta_{kf1} - \theta_{kf2}) \\ \Delta \delta_{rf} &= \delta_{rf} - \delta_{0f} = -\gamma_0 \cos \alpha_{0f1} (\theta_{rf1} - \theta_{rf2}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

ここで, 各式の θ の値は式(6), (7)で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \theta_{kd1} &= \text{inv} \alpha_{kd1} - \text{inv} \alpha_{0d1} & \theta_{kf1} &= \text{inv} \alpha_{kf1} - \text{inv} \alpha_{0f1} \\ \theta_{rd1} &= \text{inv} \alpha_{0d1} - \text{inv} \alpha_{rd1} & \theta_{rf1} &= \text{inv} \alpha_{0f1} - \text{inv} \alpha_{rf1} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(6)$$

$$\left. \begin{aligned} \theta_{kd2} &= \text{inv} \alpha_{kd2} - \text{inv} \alpha_{0d2} & \theta_{kf2} &= \text{inv} \alpha_{kf2} - \text{inv} \alpha_{0f2} \\ \theta_{rd2} &= \text{inv} \alpha_{0d2} - \text{inv} \alpha_{rd2} & \theta_{rf2} &= \text{inv} \alpha_{0f2} - \text{inv} \alpha_{rf2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(7)$$

(4) 一般に, 素材のピッチ点での転造代の値と, 各歯部の転造代との差の値は, 転造前・後の, その部分の圧力角を $\alpha_{d2}, \alpha_{d1}; \alpha_{f2}, \alpha_{f1}$, とすれば, それは式(8)となる。

$$\left. \begin{aligned} \Delta \delta_d &= \gamma_{gd1} \{ (\text{inv} \alpha_{d1} - \text{inv} \alpha_{0d1}) \\ &\quad - (\text{inv} \alpha_{d2} - \text{inv} \alpha_{0d2}) \} \\ \Delta \delta_f &= \gamma_{gf1} \{ (\text{inv} \alpha_{f1} - \text{inv} \alpha_{0f1}) \\ &\quad - (\text{inv} \alpha_{f2} - \text{inv} \alpha_{0f2}) \} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(8)$$

(5) ここでの実験の条件, $m = 1.5, \alpha_0 = 25^\circ, k_1 = 0.8$, 歯末の丈0.8m, 歯元の丈1 m, 歯数27, 修正角度 $\delta\alpha_0 = \mp 10' \sim \mp 40'$ の場合の, 式(4), (5)による値を, 表2に示した。

4. 結果および検討

4.1 修正0での結果³⁾

(1) 転造後の歯面は, 一般に図2に示す方向に傾く。転造後の歯面が, 正しい歯形の実質側に入ったものを(-)の傾き, とし, 外に出たものを(+の)傾きとする。

表2 みかけの転造代 (μm)

ホブの修正量 $\delta\alpha_0$ (分)	D側歯先 δ_{kd}	D側歯元 δ_{rd}	F側歯先 δ_{kf}	F側歯元 δ_{rf}
干 10	125	107	112	133
干 20	132	94	105	146
干 30	139	81	98	158
干 40	146	68	91	171

注: $\delta_{0d} = \delta_{0f} = 0.12\text{mm}$; D側, $\delta_o - \delta\alpha_o$; F側, $\delta_o + \delta\alpha_o$

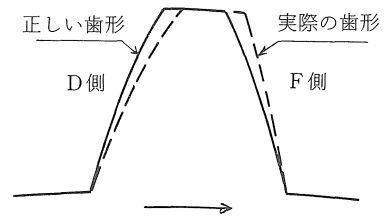


図2 傾きの方向

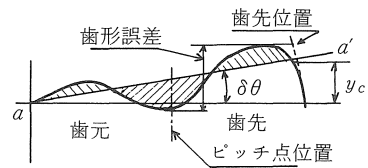


図3 試験機に現れた歯の傾き

(-)の場合, 転達された歯面の圧力角は, (+)側となり, (+)の傾きのときは, その歯面圧力角は(-)方向である。

(2) 測定値は, 歯の90°方向の4個所のD側およびF側を測定し, その平均を1個の歯車の平均値とし, さらに, それを3個の歯車について平均したものとした。

このときの歯形誤差は, D側で約20 μm , F側で約10 μm となり, 平均的な歯の傾きは, D側で約12', F側で約13'である。

4.2 歯の傾き

(1) 4.1項での傾きの値は, 図3に示す $\delta\theta$ の値である。ここでの直線 a-a' は, これと誤差線図で囲まれる上, 下の面積を, ほぼ二等分する線とした。このときの傾き角 $\delta\theta$ (倍率は実際値に換算) を歯の傾き角とし, この線と歯先位置曲線との交点の高さ y_c の値を, 歯の傾き量とした。

(2) (1)では, 傾き量が, 実際の歯の傾きの様子より, やや少な目に現れている。図3では, 歯底部からピッチ

点付近までの傾きはほとんどなく、ピッチ点付近から急増している。

誤差曲線が先上りの場合（F側の特徴）は、歯底部よりピッチ点までの傾きはほぼ0で、ピッチ点より歯先部までの傾きは、平均のほぼ2倍とみなされる。

先下りの場合（D側の特徴）は、歯底部よりピッチ点までの傾きは、平均のほぼ2倍、ピッチ点より歯先部までの傾きは、ほぼ0とみなされる。

(3) 以上から、実際には、平均傾き角 $\delta\theta$ より、多く傾いている部分は相当ある。とくに、先上りの(+)側誤差は、カムアイ上の問題も多い。4・1項での値からは、歯先部の傾き角 $\delta\theta_a = 20'$ と考えられる。

この考えに基づいて、実験値を再調査した結果、その平均値は $\delta\theta_a = 20' \sim 25'$ であった。これらにより、素材歯面の修正値を求めるための調査の手順を表3に示した。

4・3 結果および検討

(1) 図5に、仕上げ転造前、後のD側およびF側の基準値 ($\alpha_0 = 25'$) からの傾きの様子を示した。また、図6には、仕上げ転造前の素材歯面の傾きを、ほぼ10'ずつに区分した場合の、転造後の変化を示した。

(2) これらの結果は、明らかな傾向を示している。しかし、これらは、転造前のD側歯面の傾きを基準として整理し、転造後のD側歯面の傾きの変化をみたものである。

F側の歯面についても、全く同様に、F側の傾きを基に整理し、そのF側の変化を示した。

(3) 転造前のD側歯面の傾きを基準として、転造後のF側歯面をみた場合には、転造後のF側は、必ずしもD側が(+)になった分だけ(-)になっているとは限らない。傾向としては(-)にはなるが、そのばらつきは大きく、一定していない。

これは、F側の傾きを基準として、D側の変化をみた場合も、同様に大きくばらつく。

前加工時の歯面修正には、正確を期したが、實際上、素材の左右歯面を正確に $\pm 10'$ ……と加工することは困難である。上のばらつきの原因は、転造前の素材歯面が、

例えば $-10'$ 、 $+15'$ (逆の場合もある) と変化しているためと思われる。

しかし、前加工精度と、結果の精度との相関々係は、より精度の向上のためには、今後検討を要すると思われる。

(4) 図5、6から明らかなように、修正0および30'では不可である。実際には $\pm 40'$ の場合も行なったが、明らかに不具合なことが判明したので、結果の図は省略し

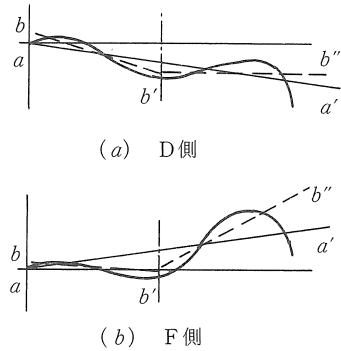


図4 代表的な誤差の形と歯の傾き

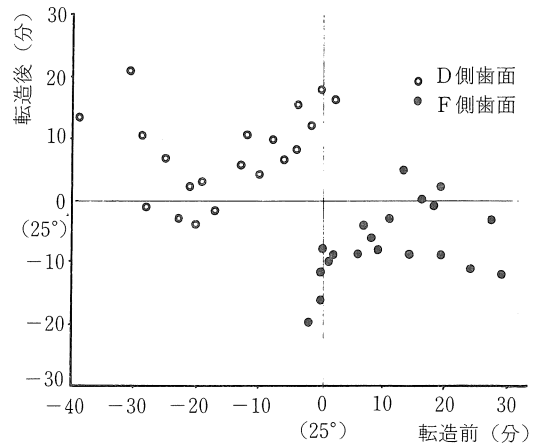


図5 転造前後の歯の傾き(1)

表3 歯の傾きと歯面修正 (分)

歯面	平均的な歯の傾き	歯先部の傾き	歯元部の傾き	歯の傾きのバラツキ範囲	歯形誤差 (μm)	誤差の傾きへの換算量(1)	歯面修正の範囲
D側	-10 ~-15	± 0	-15 ~-20	-5 ~-20	+15 ~+20	-26	-10 ~-40
F側	+10 ~+15	+15 ~+20	± 0	+5 ~+15	+5 ~+10	+13	+5 ~+30

注(1): 歯形誤差が歯先部に生じたとした場合の値 (実際にはもう少し大きな値となる)

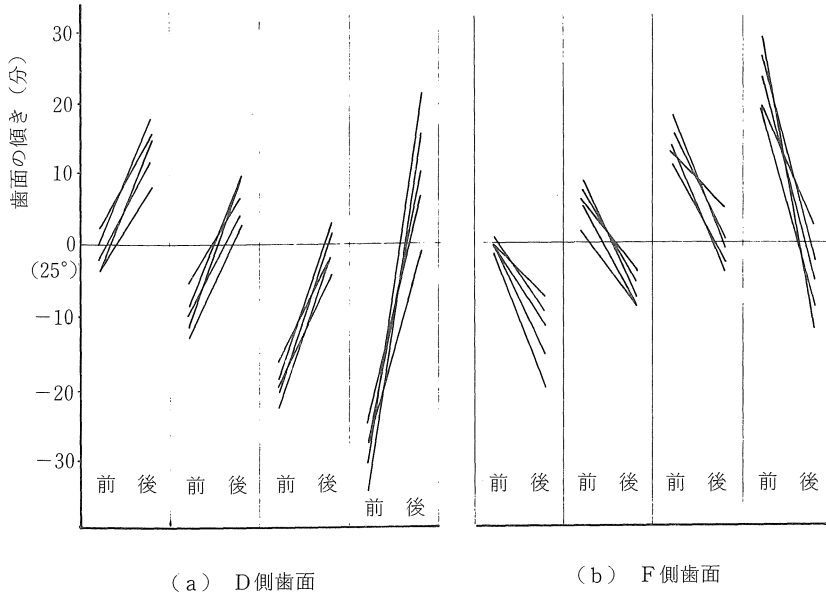


図6 転造前後の歯面の傾き(2)

た。

D側では、転造前が $-20'$ 程度、F側では、 $+15' \sim +20'$ 程度のものが、仕上げ転造後、ほぼ予定の圧力角に近くなる。したがって、前加工時の修正量は $\pm 20'$ 程度が有効と思われる。

(5) ラック工具の歯面を修正することは容易ではないが、前加工時の素材圧力角を変更して、傾けておくことは、割り合い簡単なので、仕上げ転造に先立っての、この考慮は有効である。

ただ、この傾きの量は、2の(1)にもあるように、種々の転造条件で異なるので、規定した条件ごとに、あらかじめ、その修正量を求めておく必要があると思われる。

4. 結 論

- (1) 前加工時の素材圧力角を、とくに修正してない場合($25^\circ \pm 0'$)には、仕上げ転造により、素材歯面は $\pm(10' \sim 15')$ の転造方向への傾きを生ずる。
- (2) 前加工時の素材歯面を、これとは逆向きに、 $\pm(15'$

$\sim 20')$ 修正しておくことにより、転造後の歯面の傾きは $\pm(0 \sim 5')$ 程度におさまる。

(3) 修正素材の、転造によって傾けられる量は、修正しないものより若干多い。仕上げ転造における歯の傾き量の若干のばらつきは避けられないものと思われる。

(4) 平均的な傾きの改善は、修正しない場合に比べて $10'$ 程度であるが、傾きの大きい歯先(F側)、歯元(D側)での改善は、ほぼ $20'$ 程度となる。これは歯形誤差では約 $15\mu\text{m}$ に相当する。

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) 7
- 2) 久野精市郎：ラック型工具による歯車の仕上げ転造法 (第1報)、愛工大研究報告No.13 (1978), 77
- 3) 久野精市郎：ラック型工具による歯車の仕上げ転造法 (第2報)、愛工大研究報告No.14 (1979), 37
(受理 昭和60年1月30日)