

# ラック形工具による歯車の仕上転造法

— 精度の向上 (第2報) —

久野 精市郎

## Finish Roll Forming Gears by the Rack Die System

— Improvement of Tooth Accuracy (2nd Report) —

Seiichiro KUNO

ラック形工具により、ホブ切り後の歯車を仕上げ転造する。転造による内径寸法拡大と偏心誤差の製品精度に及ぼす関係から、前加工時の素材の許容精度を定めた。素材歯底の逃げミゾ部および転造代の種類などはそれぞれのホブによって与えた。結果の歯車の主要な精度項目の測定より、それらの条件の相互の状況を考察し、その一定の条件の下では、ほとんどの精度項がここで目的とした JIS 3 級の範囲に入ることを確かめた。

### 1. まえがき

第1報<sup>(1)</sup>では、転造前の素材歯車の歯面へ転造代を付ける場合のそれらの関係を求めた。

すなわち、素材歯部の圧力角と歯面各部の転造代の量との関係、およびホブのトンガリ巾とも関係する素材歯底部のミゾ巾について関係の式を示した。

この関係を考慮して、実験としては前加工後の両歯面の圧力角は同一とし、基準の値 $25^\circ$ とした。これにより、工具押込み量を与えて転造代を変更し、それと素材歯底部の逃げミゾの有無および量との関係から、各製品精度の変化の様子がわかった。またそれらの関係よりその一定の方向が明らかになった。

しかし、これら実験結果の示す製品精度はあまり良好ではなく、したがってその方向性が確かなものか否か、すなわち結果の製品精度の傾向が各条件の影響だけによるものかどうか、より高い精度の下で確認するの必要を生じた。また、製品精度としてもまだまだ不十分であり、より向上すべきものと思われる。

転造では、仕上げの場合でも相当大きな力が加わり、それによる素材の内径寸法拡大量は問題となるが、前報の実験結果では、主にこれが偏心量として作用し、全体の精度に影響を及ぼしているように思われる。そこで、精度をより向上させるために、これら内径寸法拡大について二・三の条件を検討し、それによる規定の素材条件を定め、転造後の製品精度を当面は JIS 3 級程度を目標にすることとして、前報と類似の実験を試みた。

### 2. 条件

素材の転造後の歯車要目は、基準圧力角 $25^\circ$ 、歯末の丈

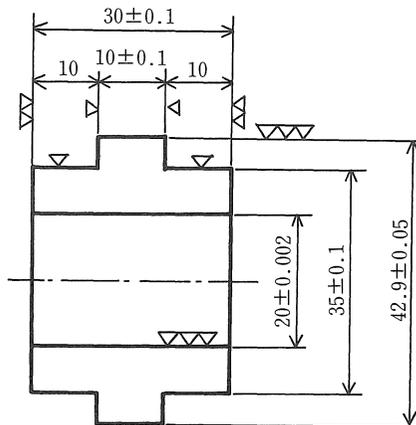


図1 素材の形状・寸法

表1 製品の規格と前加工時の許容値  
単位 ( $\mu\text{m}$ )

誤差 (許容値) の項目	JIS の精度等級				前加工時の値	
	1	2	3	4	許容値	目標値
単一ピッチ誤差	5	7	10	14	12	7
累積ピッチ誤差	19	28	39	55	25	15
歯形誤差	4	6	9	13	9	6
歯ミゾのフレ	14	19	28	39	20	10
素材の外周フレ	6	9	13	18	9	5
素材の側面フレ	7	9	13	19	9	5

0.8 m, 歯元の丈1 m, 全歯丈1.8 mの高圧力角・低歯歯車とした。モジュールは1.5, 歯数は27, 歯巾は10mmとし, その形状, 寸法は図1に示した。

旋削後の素材精度およびホブによる前加工後の精度は表1の目標値に近い値とした。素材条件の変更として, 歯ミゾ部の逃げの量を, 全歯丈1.8 mの部分よりさらに, 0, 0.2, 0.4mmと深くし, また, それぞれの場合の転造代を0.10, 0.13, 0.18mmと変化させた。これら歯部寸法の変更はそれぞれの専用ホブによって与えた。材質はS45Cとし, これを調質してかたさをHB200~230とした。

仕上げ転造の方法は, 従来からのラック形による自由駆動方式とした。素材は互に向い合った両側ラックの中心位置に設定した軸の廻りを自由に回転する。ラックは中心軸の位置を基準としてブロックゲージによって規定の位置に設定し, ピッチ線間の距離を正確に1.5×27mmとした。また, 素材歯車とかみ合う両側ラックの左右の相対位置は, 中心軸に取り付けた負転位の基準歯車によって設定した。

ラックの材質はSKD11とし, 歯面研削後の表面硬度を, この材質としてはやや軟らか目のHRC55~58とした。工具のくい込み部(テーパ部)の長さは約100mm, 基準歯形の部分は約500mmで, 後者の区間では両側のラック共, 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。ラックの線方向の転造力は約2tに設定し, 線速度は約2.5m/min, 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. ニ・三の検討

仕上げ転造では, それに致るまでの素材の前加工の加工工程が長く, 一般にはそれぞれ取り付け機械が異なるため, 設定または加工の度に誤差が加算されやすい。また, 転造力による内径寸法の拡大, 歯の曲げなど精度劣下を受けやすい。これらのうち, 種々の誤差の原因となる最も大きな要素は, 偏心に原因するものと思われる。

#### 3・1 偏心の影響

誤差のない正しい歯車が偏心した場合, その値の各精度に及ぼす関係<sup>(2)</sup>を整理し, 与えられた条件の場合について検討する。

##### 3・1・1 ピッチ誤差

(1) 基準圧力角を $\alpha_0$ , 偏心量を $e$ とすれば, 累積ピッチ誤差の値 $F_t$ は正弦的に変化し, 最大・最小はそれぞれ $F_{t\max.} = (\tan\alpha_0 + \sec\alpha_0)e$ ,  $F_{t\min.} = (\tan\alpha_0 - \sec\alpha_0)e$ で, これらの差の最大値 $F_{tD\max.}$ は(1)となる。

$$F_{tD\max.} = 2e \sec \alpha_0 \quad (1)$$

また, 歯車中心を $O$ , 回転中心を $O'$ とし,  $OO'$ 軸と求める歯とのなす角を $\theta$ , 歯数を $z$ とすれば, 偏心による単一ピッチ誤差の値 $f_t$ は(2)となる。

$$f_t = 2e \sec \alpha_0 \cdot \sin(\pi/z) \cos(\theta - \alpha_0) \quad (2)$$

これが最大・最小となる位置は, 累積ピッチ誤差が最大となる位置に対して, 位相が90°だけずれており, 圧力角誤差が最大・最小となる歯の位置と一致する。したがって, 単一ピッチ誤差の最大値 $f_{t\max.}$ は(3)となり, 最大値と最小値との差 $f_{tD\max.}$ は(4)となる。

$$f_{t\max.} = 2e \sec \alpha_0 \cdot \sin(\pi/z) = F_{t\max.} \cdot \sin(\pi/z) \quad (3)$$

$$f_{tD\max.} = 4e \sec \alpha_0 \cdot \sin(\pi/z) \quad (4)$$

(2) 与えられた条件での偏心による累積ピッチ誤差の差の最大値 $F'_{tD\max.}$ は(5)となり, 単一ピッチ誤差の最大値と最小値との差 $f'_{tD\max.}$ は(6)となる。

$$F'_{tD\max.} = 2.207e \quad (5)$$

$$f'_{tD\max.} = 0.512e \quad (6)$$

また, 単一ピッチ誤差として平均値からの差を問題にする場合は, その値はほぼ $f'_{tD\max.}/2 = 0.26e$ となる。

#### 3・1・2 歯形誤差

(1) 歯形曲線上の圧力角を $\alpha$ とすれば, 基準圧力角 $\alpha_0$ に対するその部分の歯形曲線に垂直な方向の歯形誤差の値 $f_f$ は近似的に(7)となる。

$$f_f = 2e \sin\{(\tan\alpha - \tan\alpha_0)/2\} \cos(\theta - \alpha_0) \quad (7)$$

また, 歯形誤差が最大および最小となる角位置は $\theta = \alpha_0$ と $\theta = \alpha_0 + 180^\circ$ および $\theta = \alpha_0 + 90^\circ$ と $\alpha_0 + 270^\circ$ となる。

(2) 歯形誤差曲線は偏心のために一樣な傾きを生ずるが, この場合の歯元と歯先との間の最大誤差の関係を求める。与えられた条件での歯元の圧力角を $\alpha_1$ , 歯先の圧力角を $\alpha_2$ , 歯車中心から歯元, 歯先までの半径をそれぞれ $r_1$ ,  $r_2$ , ピッチ円半径を $r_0$ とすれば,  $r_1 = r_0 - 0.8m$ ,  $r_2 = r_0 + 0.8m$ ,  $\cos\alpha_1 = \cos\alpha_0/(1 - 1.6/z)$ ,  $\cos\alpha_2 = \cos\alpha_0/(1 + 1.6/z)$ より $\alpha_1 = 15^\circ 33'$ ,  $\alpha_2 = 31^\circ 10'$ となる。これより, 歯形誤差の最大値 $f'_f\max.$ は(8)となる。

$$f'_f\max. = 0.326e \quad (8)$$

#### 3・1・3 歯厚

(1) 歯厚の大きさは偏心方向の軸 $OO'$ とのなす角 $\theta$ が0, すなわち歯の中心線が偏心と一致する歯では最小となり,  $\theta = 180^\circ$ で最大となる。歯厚の増減量 $f_s$ の値は(9)となる。

$$f_s = \pm 2e/\cos\alpha_0 \cdot \sin(\alpha_0 - 90^\circ/z) \quad (9)$$

(2) 与えられた条件の場合の歯厚の増減量の値 $f'_s$ は(10)となる。

$$f'_s = \pm 0.815e \quad (10)$$

この場合, 歯厚の平均値としては偏心量 $e = 0$ のときと差はなくなるので, この値が小さい範囲では, 歯車の品

質の上からは歯厚の変化はさして問題にならないものと思われる。

### 3・2 検討

#### 3・2・1 前加工の精度

(1) 前報の前加工後の歯車素材の精度は、単一ピッチ誤差 $20\mu$ 以内(平均約 $15\mu$ )、歯ミゾのフレ $30\mu$ 以内(平均約 $22\mu$ )であった。これらの値をどの程度にすべきかはなかなか決定し難い問題である。

(2) 単一ピッチ誤差の値は転造条件によっては、転造後やや改善されるものもあるが、実験の各条件全体としては悪化の傾向にある。転造前の単一ピッチ誤差の値はほぼJISの4級程度であり、これらの結果からみて、この精度にやや問題があったように思われる。

(3) 歯ミゾのフレの値は転造後多少の差はあれ、全体として悪化の傾向にある。転造前の歯ミゾのフレの値はほぼ3級程度であり、この値も不十分であったと思われる。

(4) 前報の結果では、好ましいとしている転造代の量および歯ミゾ部の形の場合でも、転造後の内径拡大量は $10\sim 15\mu$ 程度と相当大きな値となった。

(5) ここでは当面はJIS 3級程度の製品歯車を製作することを目的とする。与条件の歯車要目の場合のJIS 1~4級の値、および今回の前加工後の素材精度の値を表1に示した。前加工後の許容値はほぼ3級に近いものであるが、目標値をこれの $\frac{1}{2}\sim\frac{1}{3}$ 程度においた。とくに結果の精度に大きく影響を及ぼすと思われる歯ミゾのフレおよび累積ピッチ誤差を厳しくし、これを達するための旋削後の外周・側面フレを一段と厳しくした。表1以外の素材の各寸法許容差などは図1に示した。

#### 3・2・2 偏心の影響

(1) 正しい歯車を偏心して取り付けた場合の計算結果の誤差と、これら偏心によって生じた(測定器上に現われた)値とは厳密には一致しないが、およその方向性は確かめられるであろう。また、内径拡大量をいくらに押えるべきか、の明確な根拠は得にくい。

(2) 偏心量として結果の精度に影響する項目には、旋削およびホブ切りによる前加工後の値 $e_H$ と転造による内径寸法拡大量に影響する値 $e_R$ とがある。 $e_H$ の値は、前加工時の歯車の歯ミゾのフレのほぼ $\frac{1}{2}$ に相当する量としてよいであろう。一方、転造前後の内径寸法をそれぞれ $d_1$ 、 $d_2$ とし、拡大量を $\delta d = d_2 - d_1$ (一般には $d_2 \geq d_1$ )とすれば、これによる偏心への影響量 $e_R$ は $e_R \leq \delta d / 2$ であり、これは $\delta d$ の $\frac{1}{2}$ よりは小さいが、ほぼ $\frac{1}{2}$ に近い値としてよいと思われる。したがって、全体の偏心量の値は $e_E \leq e_H + e_R$ で、結果の各精度に関係する値は高々この程度であろう。

(3) そこでこの内径拡大の影響がなければ2級程度の歯車が得られるものとし、この影響だけのために、これが3級に劣下すると仮定してみる。内径拡大による劣下の程度は、高々その程度に押えるべきと思われる。

与えられた歯車条件での2、3級の差は、単一ピッチ誤差 $3\mu$ 、歯形誤差 $3\mu$ 、歯ミゾのフレ $9\mu$ 、累積ピッチ誤差 $11\mu$ で、これらの誤差が偏心だけから生ずるとすれば、理論的にはそれぞれ $7.7; 4.9; 4.5; 5.0\mu$ となる。

(4) これらより、偏心誤差の増加は $4\mu$ 程度に、またその原因になると思われる内径寸法の拡大量は $8\mu$ 程度に押えたい。表1より、 $e_H$ の値を歯ミゾのフレの許容値と目標値との平均の半分程度とすれば $e_H \approx 8\mu$ となり、 $e_R = 4\mu$ より全体の最大許容偏心量 $e_E$ はほぼ $12\mu$ となる。

(5) いま、偏心量がこれだけあるとして、これだけのために結果の精度へ及ぼす影響としては、単一ピッチ誤差約 $3\mu$ 、歯形誤差約 $4\mu$ 、累積ピッチ誤差約 $26\mu$ となる。すなわち、この値だけならそれらは2級以下の範囲であり、偏心誤差による影響の最悪の場合としては、この程度の値はやむをえないのではないと思われる。

(6) 転造の際に内径寸法が拡大するのに関係する項目にはつぎのものが考えられる。

I) 素材の形(歯巾、ボスの巾、ボスに対する歯の位置、ボスの肉厚、内径寸法など)

II) 歯部の形状(転造代の大きさ、歯底部逃げミゾの形と大きさ、モジュール、歯数、歯丈、圧力角、転位量など)

III) 素材の材質(材料の種類、硬度、熱処理など)

IV) 加工条件(ころがり回数、工具の設定誤差、工具の累積誤差、切り込み部の一歯当りの押し込み量、工具歯先部の形、潤滑など)。

(7) これらのうちで、前報との対比の上からI)、II)、IV)は前回と同一条件とし、一定の転造代とミゾ部の形(前報での推奨値)で、二・三の内径寸法拡大についての実験を試みた。このうちで、内径拡大量が規定の範囲に入る材質・硬度として、今回はS45C、調質、Hb200~230とした。

## 4. 実験結果および考察

### 4・1 単一ピッチ誤差

(1) 図2に歯ミゾの変化による値を、また図3には転造代の変化による値を示した。

これら各々の試料歯車の誤差線図の傾向としては、前報と同様であったので、ここではこの線図を省略し、それから得られた結果の値のみを記した。

### (2) 歯ミゾの影響

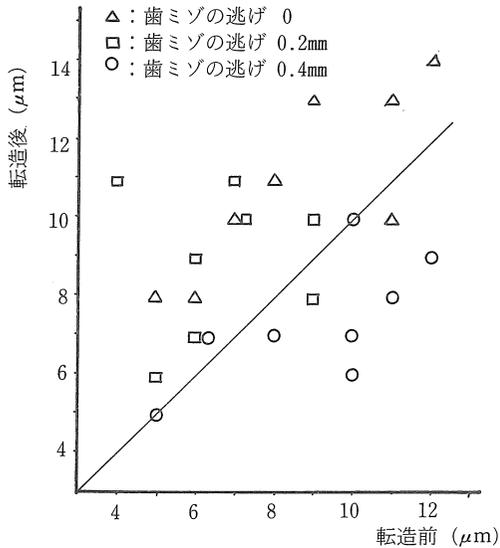


図2 単一ピッチ誤差 (逃げミゾによる変化)

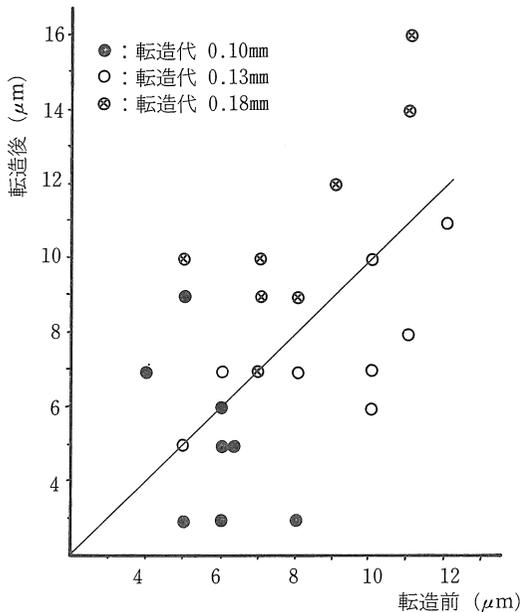


図3 単一ピッチ誤差 (転造代による変化)

I) 逃げ0.4mmでは、転造後わずかではあるが改善される傾向にある。この場合は、転造後の単一ピッチ誤差の値が6~10 $\mu$ 程度となり、ほぼ満足の結果となった。しかし、転造前・後の誤差の平均値の差は約1 $\mu$ 程度であり、はっきりした差は認められない。転造されることにより、一般には各精度項目共悪化される傾向にあるが、この場合は必ずしもその方向にはなく、これは仕上げ転造における大きな特長と思われる。

II) 逃げ0.2mmでは、転造後の値は前の値に比べて平均で約2.5 $\mu$ 悪化し、ばらつきの範囲は7~11

$\mu$ 程度となる。転造前の値が平均値で約7 $\mu$ と良かったためか、転造後の悪化が目につく。しかし、これらの値はJIS 3級程度であり、ほぼ満足の値である。

III) 逃げ0では、平均して約2 $\mu$ 悪化しており、その値は8~14 $\mu$ の範囲である。転造前の値が平均で約9 $\mu$ とやや悪かったためか、転造後の悪化がそれほど目立たないが、それでもやや多い値である。

全体としては、やはり転造前の精度に応じて、転造後の値が影響される様子がうかがえる。転造前の単一ピッチ誤差を10 $\mu$ 以内にとどめれば、逃げミゾの深さは0.2~0.4mm程度でよいと思われる。

### (3) 転造代の影響

I) 転造代が少ないと転造後やや改善される傾向にある。0.10mmでは転造前の値が6 $\mu$ 前後と非常に良かったが、それにもかかわらず転造後3~7 $\mu$ 程度と改善される傾向にあるのは注目される。

II) 0.13mmでも転造後やや改善される様子がうかがえる。しかし、0.18mmでは転造後が平均値で約3 $\mu$ と悪化の傾向がはっきり出ており、その範囲も7~16 $\mu$ と相当大きくなる。0.13, 0.18共、転造前の値に応じて、転造後の値も相対的に大きくなっている様子がうかがえる。

### 4・2 歯ミゾのフレ

(1) 図4に歯ミゾによる影響を、図5に転造代による影響を示した。これら各々の試料歯車の誤差線図の傾向は前報と同様であったので、ここではこの線図を省略し、それから得られた結果の値のみを記した。

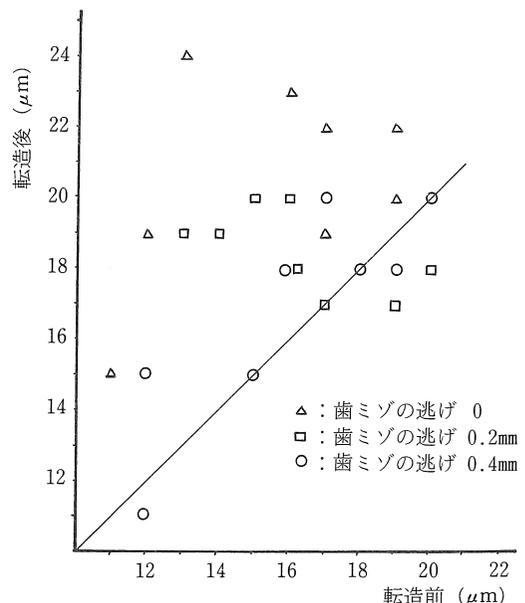


図4 歯ミゾのフレ (逃げミゾによる変化)

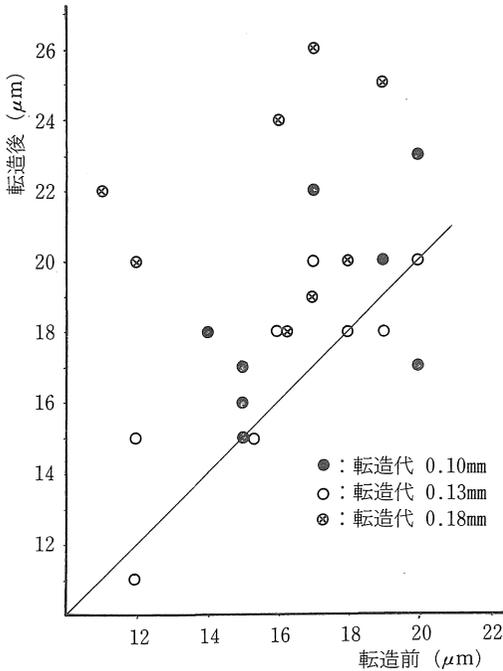


図5 歯ミゾのフレ (転造代による変化)

(2) 歯ミゾの影響

I) 逃げ0.4 mmでは、転造前・後の値はほぼその中心線にそってばらついている。それらは転造前の値15~20 $\mu$ が転造後もやはり15~20 $\mu$ 程度であり、あまり大きな差はない。しかし、転造後の値は転造前の値にほぼ比例しており、お互いに関係がある。

II) 逃げ0.2 mmでは、転造前の値にかかわらずほぼ一定の値にまとまっており、平均して約2 $\mu$ 悪化している。転造前の歯ミゾのフレの少ない13~16 $\mu$ の範囲でも、結果としてその効果が出ていない。しかし、転造後の値は17~20 $\mu$ 程度であり、まとまりも良く、これはJISの2級に近い範囲であり満足すべきものである。

III) 逃げ0では、転造前の値にほとんど関係なく、転造後は平均して約5 $\mu$ と大巾に悪化する。工具歯先が転造代の部分を押し込んで素材歯底部に無理に当り、そのための転造力の増大に影響されるものと思われる。

(3) 転造代の影響

I) この場合も全体として、転造前の歯ミゾのフレの値の大きいほど、転造後の値も大きくなり、お互いに関係があるように思われる。転造代が0.10および0.13 mmでは、転造後の値は、前の値とほぼ同じか、またはやや悪化する程度である。平均値はそれぞれ2 $\mu$ 、1 $\mu$ 悪化し、ばらつきの範囲は15~23 $\mu$ 、15~20 $\mu$ となった。歯ミゾのフレの値としてはほぼ満足すべき値である。

II) 0.18 mmでは、転造後の値は明らかに悪化する。

平均値で約5 $\mu$ 悪化し、転造代の量が多すぎるものと思われる。

4・3 歯形の変化

(1) 逃げミゾの変化による影響として図6に、また転造代による影響として図8に、それぞれ転造後の歯形誤差の値を示した。これら各々の試料歯車の誤差線図の傾向としては前報と同様であったので、ここではこの線図を省略し、それから得られた結果の値のみを記した。

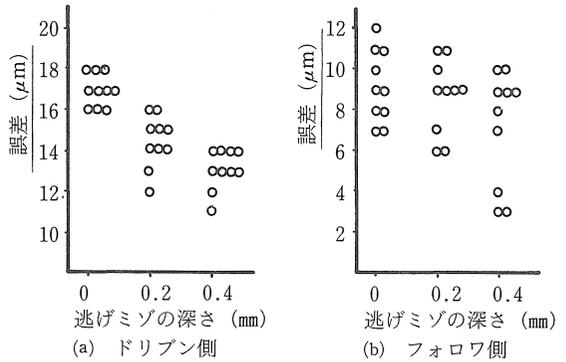


図6 転造後の歯形誤差 (逃げミゾによる変化)

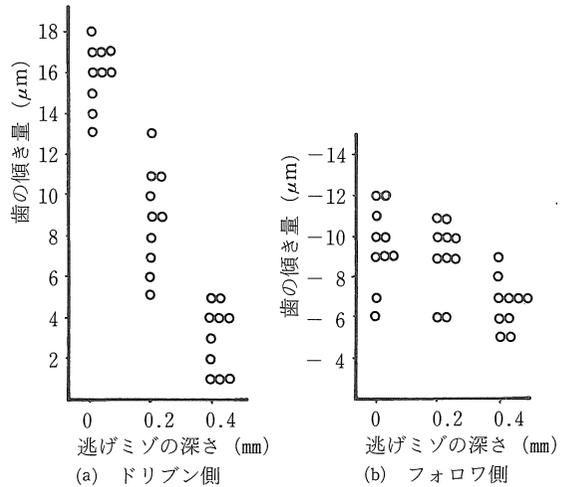


図7 転造後の歯の傾き量 (逃げミゾによる変化)

歯形誤差線図の上で歯元の位置に相当する所を原点とし、この点から歯先へ向って直線を引き、この直線が誤差曲線となす面積を上下にほぼ二等分させるようにする。しかして、この直線と歯先先端部をなす曲線との交点をとり、この点から原点を通る水平線に下した垂線の長さをもって“歯の傾き量”とした。この傾きの量の逃げミゾによる影響を図7に、また転造代による影響を図9に、それぞれ結果の値を示した。転造前の歯形誤差の値は平均して約6 $\mu$ 程度である。

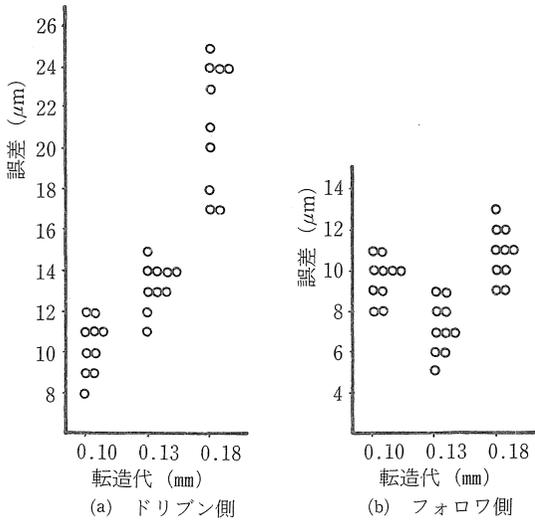


図8 転造後の歯形誤差 (転造代による変化)

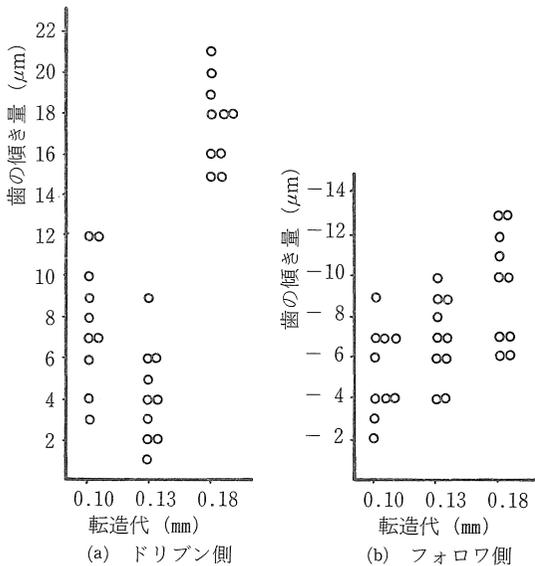


図9 転造後の歯の傾き量 (転造代による変化)

## (2) 歯ミゾの影響

I) 歯形誤差の値は、ドリブン側では歯ミゾの量により明らかな差となる。逃げの量が0.4 mmの場合が最も誤差が少なく、それが0になるにつれてほぼ直線的に増加する。逃げの量0に対して、0.2 および 0.4 mmの効果が認められる。しかし、逃げの量がさらに大きくなると歯が弱くなることもあり、限界があろう。また、最良の逃げ0.4 mmの場合でも誤差の値は10~14 μmの範囲であり、相当多い。これについては今後さらに検討する必要がある。

II) フォロワ側では、逃げミゾの値によりやや差が認められる程度であり、大きな変化はなく、誤差の値は平均値としては7~9 μmで割合安定している。また、逃げ0.4 mmの場合は、ばらつきの範囲は3~10 μm程度でありほぼ満足すべき値である。

III) 歯全体の傾きの量は、ドリブン側では逃げミゾの値による傾向は、歯形誤差の値の傾向とよく似ており、ミゾの値に対してほぼ直線関係にある。逃げの量0.4 mmでは他に比べてその効果ははっきり出ており、傾きの量の平均値は約3 μm、ばらつき巾は1~5 μmと非常に少なくなる。

IV) フォロワ側では、歯が転造方向と逆向きにやや倒れているが、その値はいずれもわずかである。この場合もやはり逃げミゾの値に対してほぼ直線関係にある。0.4 mmのときが最も少なく、平均約7 μm、ばらつきの範囲5~10 μmであり、この程度ならほぼ満足すべき値である。

## (3) 転造代への影響

I) 歯形誤差の値は、ドリブン側では転造代の量に応じて明らかに増加の傾向にある。0.18 mmでは急増し、ばらつき巾も大きくなる。歯形誤差のためには、転造代の量は少ないほどよいが、あまり少ないと転造の意味はない。歯巾の有効部分に様な盛り上りを認める程度の転造代は必要であり、それには0.13 mm程度は要するものと思われる。しかし、結果の値より、転造代の量は歯形のためには、0.13 mmを越えないようにもすべきである。

II) フォロワ側では、各場合とも誤差の値は大差はないが、0.13 mmの場合が最少になった。フォロワ側としては、ある程度の転造代があった方がよいのか、また、これが少なくて結果の誤差の値がより悪化した原因は何か、この点はまだ不明である。

III) 歯全体の傾きの量は、ドリブン側では転造代が0.13 mmの場合は非常に少なく、平均値は約4 μm、ばらつき巾は1~9 μmと安定している。0.18 mmになると誤差曲線は急に大きく傾いている。転造代のこの範囲では、結果として生ずる誤差の値と共に、仕上げ転造には相当無理であることがわかる。また、転造代が少ない場合でも、傾きの量としてはやや生じているが大差はない。

IV) フォロワ側では、転造代の量と共に負でやや増加の傾向にはあるが、大きな差は認められない。転造代0.13 mmで平均値は約7 μm、ばらつき巾は4~10 μmであり、転造代の値としてはここまでを最大と考えたい。

## 4・4 歯厚の変化

(1) 歯面の転造代の部分が転造後どのように減少したかを、また歯厚の値として調べ図10に示した。ま

た、仕上げ転造後の歯車を、装置・工具は最初に設定したままの状態再度転造（ならし転造）を行い、そのときのまたぎ歯厚の値を図11に示した。

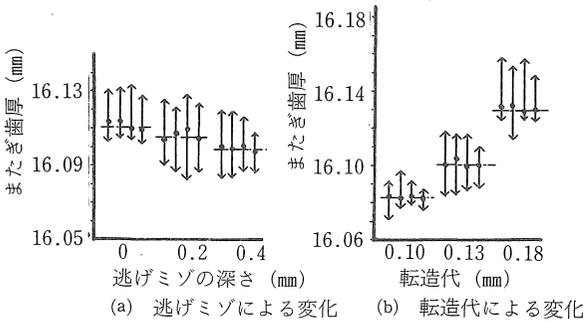


図10 歯厚の変化（転造後の平均値とばらつき巾）

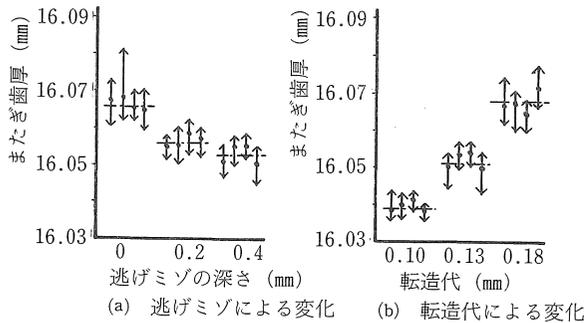


図11 歯厚の変化（ならし転造後の平均値とばらつき巾）

(2) 歯ミゾの影響

I) またぎ歯厚の値は歯ミゾの逃げの量によって若干影響され、その値が深くなると歯厚も少しずつ減少する。すなわち、逃げ0に対して逃げが0.2および0.4mmでは平均値でそれぞれ約4 $\mu$ 、13 $\mu$ と減少した。

II) この場合のまたぎ歯厚の理論値(16.048mm)と転造後の値との差は、逃げミゾ0、0.2、0.4mmに対して平均値でそれぞれ+64、+60、+51 $\mu$ となった。転造代の取りきれてない残りの量はこの値のほぼ $\frac{1}{2}$ であり、したがって最初の値0.13mmに対して転造された量はそれぞれ0.100、0.102、0.106mmとなる。これらより、この実験では転造量は全体にやや不足の感がある。しかし、これらの値は工具の設定位置、両側工具の位相誤差およびころがり回数などによっても変化する値である。

(3) 転造代の影響

歯厚の値は転造代の量により明らかに異り、その量によって相対的に決ってくる。理論値と転造後の値との差は、転造代がそれぞれ0.18、0.13、0.10mmの場合に、平均でそれぞれ+81、+52、+34 $\mu$ となった。したがって、転造された量はそれぞれ0.134、0.106、0.081mmとなり、これらは与えられた転造代の量に対してほぼ8割程度の値である。

(4) ならし転造の影響

I) 転造後の歯厚がやや大き目であったので、さらにならし転造を試みた。ラックの有効部分は約500mmであり、素材は1回目の転造で約4回転し、ならし転造により計、約8回転がったことになる。

II) ならし転造後の歯厚の平均値は逃げミゾ0.2および0.4mmの場合はほぼ理論値に近い値になった。また、転造代については、0.10mmのものでは、ならし転造によりやや減少しすぎとなり、0.13mmではほぼ理論値に近く、0.18mmではならし転造後でもなお転造代の部分が十分取り切れてない、という結果になった。

歯厚の問題にていては、装置および工具などの設定条件と共にならし回数も含めて、規定の歯厚を得るための条件の検討をさらに進める必要がある。また、ならし転造による各製品精度の変化の状況およびその効果などについては今後に報告の予定である。

5. 結論

(1) 前加工の素材歯車の精度は、結果の製品精度に関係をもつ。この誤差は少ないほど良いが、転造後3級程度の歯車を得るためには、前加工後の精度はほぼ表1の値でよいことが確かめられた。

(2) 偏心の原因となる転造による内径寸法拡大の許容値は8 $\mu$ 程度にすべきで、一般には4~5 $\mu$ 程度が望ましい。また、一定の歯車要目に対しては、転造に先立ってこれを得るための素材の形・材質などを決める必要がある。

(3) 歯底部の逃げミゾは0.2mmではやや不足であり、0.4mmかまたはこれよりやや少な目(0.3~0.4mm)の程度が良い。これは転造代の量、ならし回数とも関係するが、少なくとも転造後、このミゾが埋め切らないことが必要な条件となる。

(4) 転造代の量は0.13mmか、またはこれよりやや少な目の0.10~0.13mmの程度が良い。これは少なすぎても、また多すぎてもよくなく、仕上げ転造には望ましいほぼ一定の値がある。

(5) 一定条件の下では、仕上げ転造の製品精度として、ほぼ3級程度の歯車が得られる。しかし、ドリブ側側の歯形誤差の値のみはこの規定の範囲内に入らず、この項については、今後別の検討を要する。

参考文献

(1) 久野精市郎：ラック形工具による歯車の仕上転造法、精度の向上（第1報）、愛工大研究報告No. 13（1978）77。  
 (2) 仙波正荘：歯車、第2巻、375、日刊工業新聞社、東京、1961。