

転造歯車の歯形寸法について

久野 精市郎

On the Tooth Proportion of Rolling Gear

Seiichiro KUNO

ラック型工具でインボリュート歯車を転造する際の歯丈と圧力角の適用範囲を求め、その有利性を示した。1モジュール当りの歯末の丈 $k=1.0\sim 0.7$ 、圧力角 $\alpha_0=20^\circ\sim 30^\circ$ で、カミアイ率、歯先巾、押し込み量による工具の変形等から転造に有利な寸法の範囲を示し、特に $k=0.8$ 、 $\alpha_0=25^\circ$ および 22.5° の歯形が有望であることを示した。

1. まえがき

歯車の転造はその生産性に意味があるが、製品精度には転造速度がおそく、一歯当りの押し込み量が小さい程好ましい。転造に要する力は相当大きなものであり、装置の剛性のもとより、このための歯面、特に工具歯先面に及ぶ影響は無視できないものとなる。したがって歯車の転造では全歯丈が低く、圧力角の大きい程有利である。

ここではラック型工具でインボリュート歯車を転造する場合にその機能を満足する範囲を求め、転造力との関係でその有利性を明らかにした。

2. 転造の容易さ

クラック型工具によるインボリュート歯車の転造でその範囲を圧力角は $\alpha=20^\circ\sim 30^\circ$ 、歯末の丈 h_k 、歯元の丈 h_f 、全歯丈 h として、 $h_f=1.25h_k$ 、 $h=h_k+h_f=2.25h_k$ とし、歯丈の範囲は $h_k=mk$ で1モジュール当りの歯末の丈 k を $k=1.0\sim 0.7$ とした。

転造されるピニオンのモジュール、歯数を一定とし、また工具のテーパ部分（押し込み部分）の形を一定とすれば、工具の一定線速度に対して歯丈の大きい程、単位時間当りの押し込み量が大きく、また工具圧力角の小さい程押し込み速度は大きい。すなわち転造しにくいことになる。

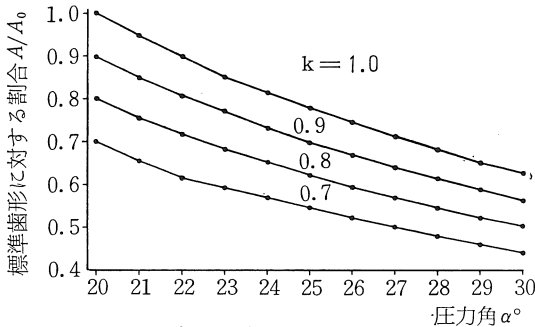


図1 転造の容易さ

Kを常数とすれば転造の困難さの程度は

$$A = Khc \cot \alpha \dots\dots\dots(1)$$

と表せ、Aの値が大きい程転造しにくくなる。

今 $\alpha_0=20^\circ$ 、 $h_0=2.25m$ の標準歯車に対して

$$A_0 = K_0 h_0 c \cot \alpha_0 \dots\dots\dots(2)$$

とし $K \div K_0$ とすれば標準歯車の転造に比べてその容易さの割合は A/A_0 となる。

3. カミアイ率

ピニオン型工具による転造ではカミアイ率は2以上が好ましいとされている⁽¹⁾。ラック型工具による場合は工具長さの制限により、必要なころがり回数との関連でピニオンの歯数およびモジュールに限界がある。したがって2以上のカミアイ率は望めない。すなわちラック型工具による転造では転造しやすい範囲で歯数は少なく、工具は短い方が有利であり、可能な範囲でこれを検討すべきである。

相手も同歯数のピニオンの場合、カミアイ率は基準圧力角 α_0 に対して

$$\epsilon_1 = (\sqrt{(1+2k)^2 - (\cos \alpha_0)^2} - \sin \alpha_0) / \pi \cos \alpha_0 \dots\dots(3)$$

また相手が標準ラックの場合は

$$\epsilon_2 = (\sqrt{(1+2k)^2 - (\cos \alpha_0)^2} - \sin \alpha_0 + k / \sin \alpha_0) / 2\pi \cos \alpha_0 \dots\dots\dots(4)$$

となる。これらの関係は図2に示す。これよりカミアイ率の範囲は

$$\epsilon \geq 1.1 \dots\dots\dots(5)$$

を考慮する。

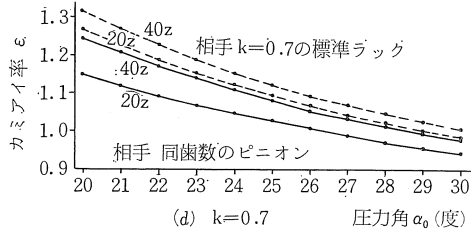
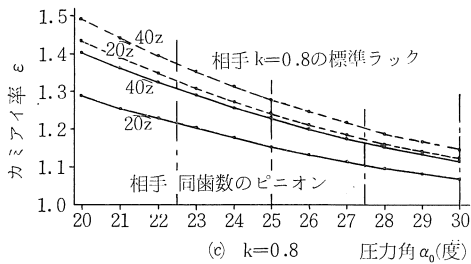
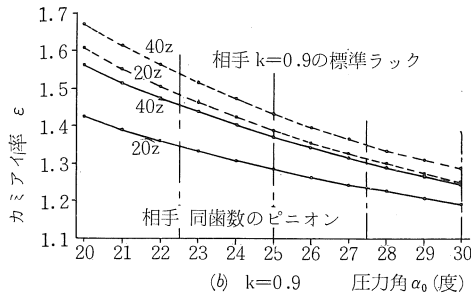
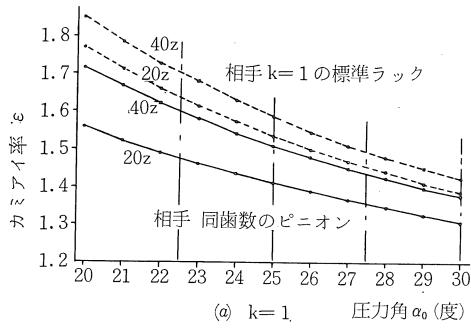


図2 カミアイ率の変化

4. 歯先のとんがり巾

歯車の歯先巾はその強さの上からある値は必要である。ピニオンのバックラッシュ等に要する歯厚減少量を無視すれば工具の歯先巾は単位モジュール当り

$$h_{t1} = \pi/2 - 2.5 \tan \alpha_0 \dots\dots\dots(6)$$

となる。またピニオンでは基礎円上の歯みぞ角を

$$\chi = \pi/2 - 2 \operatorname{inv} \alpha_0$$

$$\alpha_t = \cos^{-1} \{ z \cos \alpha_0 / (z + 2k) \}$$

とすれば図3の σ は $\sigma = 2\pi/z - \chi - 2 \operatorname{inv} \alpha_t$ となる。したがって単位モジュール当りの歯先巾は

$$h_{t2} = (z + 2k) (\pi/2z + \operatorname{inv} \alpha_0 - \operatorname{inv} \alpha_t) \dots\dots(7)$$

となる。これらの関係は図4に示す。この値は2モジュールの歯車で最小1mm程度は必要であり、したがってこ

これらの範囲を

$$h_{t1}, h_{t2} \geq 0.5 \dots\dots(8)$$

とする。



図3

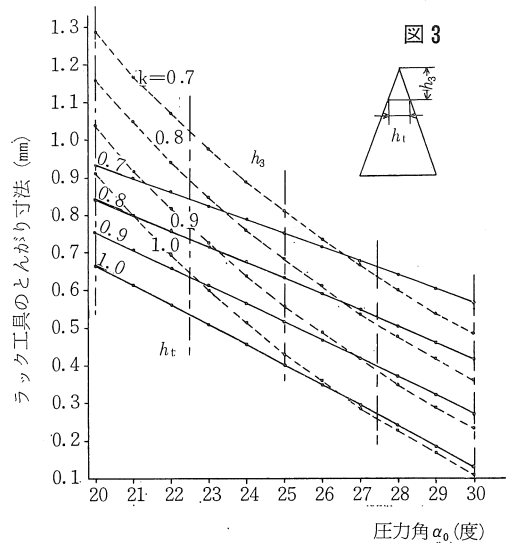


図4—I ラック工具のとんがり巾 h_{t1} 、とんがり高さ h_{t2}

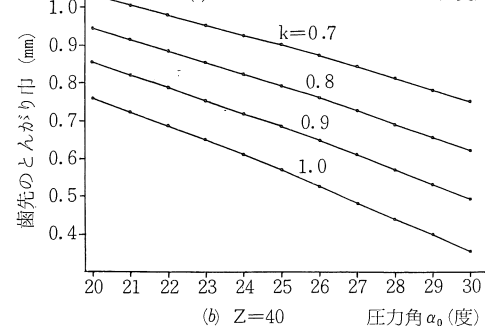
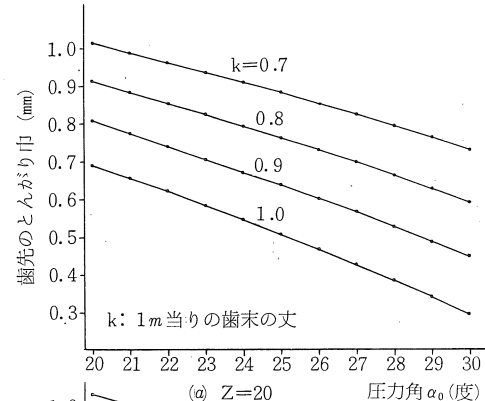


図4—II ピニオン歯先のとんがり巾

5. 転造に作用する力

ラック型工具によって転造する際に生ずる接線力および背力は、工具歯先がピニオンの歯底円位置、すなわち $d_t = Z - 2.5k$ に達した時が最大となる⁽²⁾。このときの転造に作用する背力の原因となる工具と素材の接触面積 S_n 、接線力の面積 S_t はその計算式⁽³⁾より求められる。またこの S_n 、 S_t より背力の値 N 、接線力の値 T は素材のブリネル硬度 H_B の関係で次式で表されている⁽³⁾。

$$\left. \begin{aligned} N &= (1.5S_n + 0.3S_t \tan \alpha_0) H_B \\ T &= (1.5\mu S_n + 0.3S_t) H_B \end{aligned} \right\} \dots\dots(9)$$

これより単位モジュール当り、一歯当りの押し込み量が $i=0.1, 0.2$ の場合についてこの S_n 、 S_t を求め、装置の摩擦数を $\mu=0.2$ とし $N=X \cdot H_B$ 、 $T=Y \cdot H_B$ とした時の X 、 Y を求め、その1例を表(1)に示した。転造素材が決まれば H_B から T が求まる。この値が工具歯先の曲げに作用する力となる。

表 1 $z=30$ の時の i と X 、 Y

i	α_0	20	20	22.5	25	27.5
	k	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8
0.1	X	1.10	1.37	1.24	1.10	0.96
	Y	0.25	0.30	0.28	0.25	0.22
0.2	X	1.22	1.49	1.38	1.26	1.13
	Y	0.30	0.35	0.33	0.31	0.28

6. 工具のたわみ

ラック型工具の歯を図5のような片持はりと考えた場合の単位歯巾当りのたわみ量 δ はつぎの式で求められる。⁽⁴⁾

$$\delta_1 = \frac{T}{E \cos \alpha_0} \left\{ \frac{12 \ell^3}{h_0^3} \left(1.5 - \frac{a}{2\ell} \right) \left(\frac{a}{\ell} - 1 \right) + \log \left(\frac{\ell}{a} \right) \right\}$$

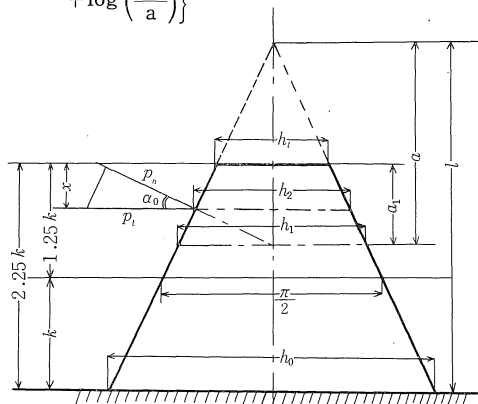


図5 ラック型工具

$$\delta_2 = \frac{4T(\ell - a)(1 + \nu)}{E \cos \alpha_0 (h_1 + h_0)}$$

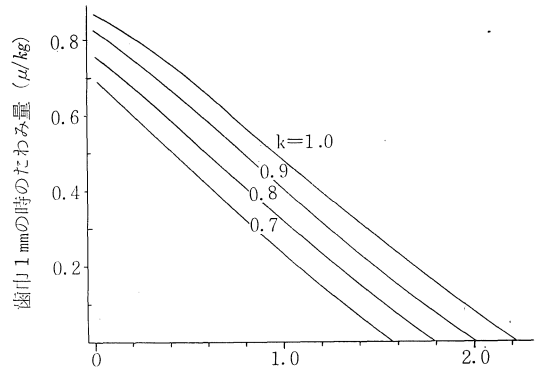
$$\delta = |\delta_1| + |\delta_2| \dots\dots(10)$$

上式の各記号はつぎのようにきめた、

- E : ヤング率
- ν : ポアソン比
- x : 歯の頂上より力の作用点までのきより
- h_2 : 力の作用点の所の歯の中
- a_1 : 法線力の作用線と歯の中心線との交点から歯の頂上までのきより
- a : 同上の交点から三角形の頂点までのきより
- h_1 : 同上の交点を含む部分の歯の中
- ℓ : 歯底より三角形の頂点まできより
- h_0 : 歯底の中

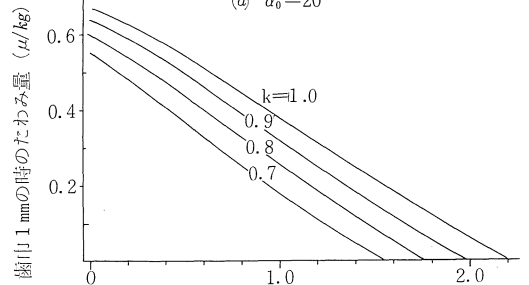
したがってこれらの値はつぎのようになる。

$$h_t = \pi / 2 - 2.5k \tan \alpha_0$$



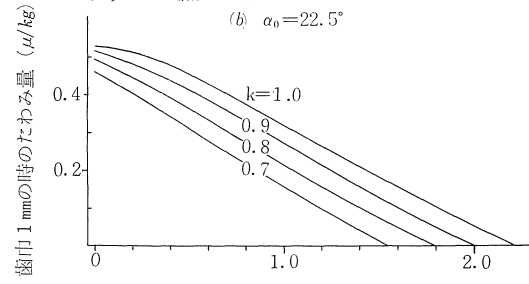
ラック工具の頂点より荷重点までのきより (mm)

(a) $\alpha_0 = 20^\circ$



ラックの頂点から荷重点までのきより (mm)

(b) $\alpha_0 = 22.5^\circ$



ラック工具の頂点より荷重点までのきより (mm)

(c) $\alpha_0 = 25^\circ$

図6 ラック工具のたわみ量

$$\begin{aligned}
 h_0 &= \pi/2 + 2k \tan \alpha_0 \\
 \ell &= \pi \cot \alpha_0 / 4 + 1.25k \\
 h_2 &= \pi/2 - 2(1.25k - x) \tan \alpha_0 \\
 a_1 &= x + h_2 \tan \alpha_0 / 2 \\
 h_1 &= h_2 \sec^2 \alpha_0 \\
 a &= h_1 \cot \alpha_0 / 2
 \end{aligned}$$

これらの式による計算結果の一例を図6に示す。ラック工具の押し込み部分（テーパ部分）の傾き角を β とすれば、工具の一歯の高さの差は $H_1 = \pi m \tan \beta$ となり、歯数 Z の歯車を転造する時の工具一歯当りの押し込み量は一般に $H_2 = \pi m z \tan \beta / 2$ となる。この押し込み量より転造工具の素材との接触面積 S_n, S_t が求まり、また式(9)より転造力がわかる。これらと図6より各々の場合の工具のたわみの様子がわかることになる。

7. 考 察

(1) 歯車の転造は歯丈が低く、圧力角の高い程容易であるが機能的限界がある。カムアイ率は1.1以上は必要であり、例えば歯数20の同歯数のピニオンとの噛み合いでカムアイ率を1.15以上とすればそれは図7(a)の斜線のない範囲となる。

歯先のとがり巾は、その値を一義的に決めることは困難である。しかしこれが大きすぎると転造背力が大きくなり、くい込みにくくなって装置や素材に無理を生ずる。また少なすぎると歯先の焼入れ硬化等により破損しやすく、変形によりピニオンの精度にも影響する。この

値は経験的には $1.2 \geq h_t \geq 0.5m$ が適当と思われる。検討の範囲では工具の歯先巾 $h_{t1} <$ ピニオンの歯先巾 h_{t2} である。したがって $h_{t1} \geq 0.5m$ の範囲は図7(b)の斜線以外の部分となる。

これらの共通領域は図7(c)で、この範囲で転造の容易さの程度をその順に番号1, 2, 3……で示した。以上によりラック型工具によるインボリュート歯車の転造では $\alpha_0 = 25^\circ$ 歯末の丈 $k = 0.8$ が最もよいことになる。また図7(c)の範囲でこの近辺の数字の少ない

$k = 0.8, \alpha_0 = 24^\circ; k = 0.8, \alpha_0 = 23^\circ; k = 0.7, \alpha_0 = 21^\circ$ 等が好ましい。

(2) 工具の変形について、一例としてピニオンの歯数30、一歯当りの押し込み量 $i = 0.1, 0.2$ について計算した。まず表(1)のX, Yより素材のブリネル硬度を $H_B = 200$ として接線力および背力を求めた。つぎにこの接線力が工具歯先付近（頂上より約0.1の点）およびピッチ点付近に作用する場合のたわみ量を求めて表2に示した。

表2 Z=30の時のiとたわみ量 μ

i	α_0	20	20	22.5	25	27.5
	k	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8
0.1	歯先	42	43	32	23	18
	ピッチ点	20	19	14	10	8
0.2	歯先	50	49	38	28	23
	ピッチ点	24	22	17	12	10

同じ圧力角に対しては転造力は一歯当りの押し込み量が同じであれば低歯歯車の方がやや高くなる。これは歯先のとがり巾 h_t によるものと思われる。しかしたわみ量は殆ど変化がない。

同一の歯丈で圧力角が変化する場合は h_t が減少するためくい込みやすくなり、理論的なたわみ量は減少する。しかし h_t を少なくすることには限界があり、このための傷害についてもなお検討の余地がある。

$k = 0.8, \alpha_0 = 22.5^\circ$ および 25° の工具のたわみ量は標準歯車の工具に対して歯先でそれぞれ約75%, 55%, ピッチ点付近で約70%, 50%になる。

したがって当然その割合いで製品精度にやい影響を与えると考えられる。なお、低歯歯車では一歯当りの工具押し込み量も標準歯車に対して少なくできるはずであり、その効果はより大きくなる。

しかし $k = 0.8, \alpha_0 = 25^\circ, \alpha_0 = 22.5^\circ$ 程度にしても一歯当りの押し込み量が $0.1mm$ の工具のピッチ点付近でなお 10μ 程度の変形がある。これは当然ピニオンにも生じており、この値は精密級歯車の歯形誤差に対してなお大

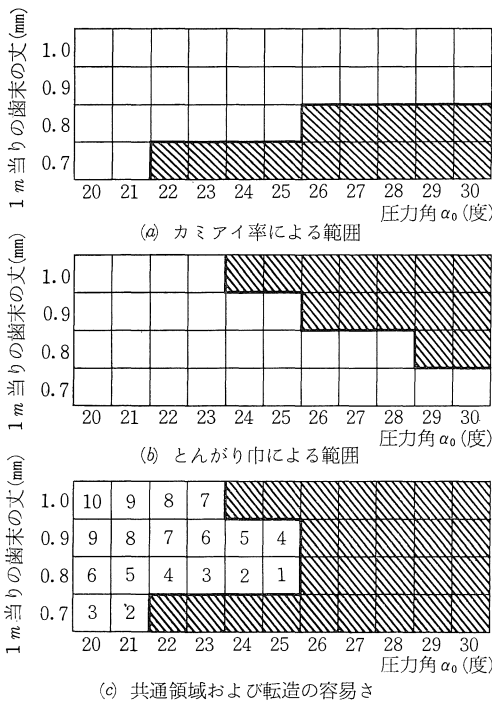


図7 転造可能歯車の範囲

きすぎと思われる。それらの対策としては歯形の検討の他に歯面の修正等の考慮も必要になるであろう。

8. 結 論

- (1) ラック型工具によりインボリュート歯車を転造する際の、歯の寸法の有利な範囲は1モジュール当りの歯末の丈 $k=0.9$ では圧力角 $\alpha_0=25^\circ$; $k=0.8$ では

$\alpha_0=22^\circ\sim 25^\circ$; $k=0.7$ では $\alpha_0=20^\circ\sim 21^\circ$ である。

- (2) これらのうちで特に $k=0.8$, $\alpha_0=25^\circ$ が最も有望であり、これについて $k=0.8$, $\alpha_0=22.5$ 程度のものが推奨できる。
- (3) これらの歯形でも転造力による工具の変形はなお相当大きく、より精度の向上には別の考慮も必要である。

参 考 文 献

- | | |
|------------------------|-------------------|
| (1) 槌 川 武 男：機械学会論文集 | 27,175 (1961) 329 |
| (2) 久 野 精市郎：愛工大研究報告 | 7 (1972) 197 |
| (3) 久 野 精市郎：精械学会秋期大会前刷 | (1972) 104 |
| (4) 仙 波 正 荘：歯車第3巻日刊工業 | (1961) 604 |