

ラック形工具による転造歯車素材の割り切り

久野 精市郎

Dividing of Blanks for Rolling Gears by Rack Dies

In cold roll forming, gear teeth are generally formed from rotating gashed blanks between a pair of rack dies. The blanks used for rolling are smaller in diameter than the outside diameter of the finish part. And therefore, any variation in the diameter of the blank is magnified in variation in the outside diameter of the rolled part.

In this paper, the experiments were devoted to forming proper number of notches on the peripheries of the blanks, using the cold rack die system. The pinions (module $m=1.5$, 10mm tooth width) of 27 or 33 teeth were used, and the teeth gashes in each pinion blank were 1mm deep.

Owing to produce the accurate timing notches on the pinion blanks, several problems should be considered. For example, the expected dividing number and the notched shapes of the pinion blank are varied with the blank diameter, the length of the effective die teeth, crest curvature at the top flank, pressure angle of the rack dies and synchronized notching velocity etc.

From these experiments, the desirable shape of rack die and the outside diameters of the pinion blanks were able to be estimated.

1. まえがき

前報でも明らかにしたように¹⁾、ラック形方式で歯車を転造する場合は、自由駆動方式が有利である。しかし、このとき、素材を予定の歯数に正しく割り切ることが、まず第一に要求される。つぎに、ラック形工具は、転造中、素材の中心方向への移動はないので、その歯部は、割り切り部、押し込み部、正規工具部、逃げ部をもたねばならない。

ラック形方式の転造では、割り切りについての報告は見当たらないので、ここでは、まず一定の歯車要目について、適切な割り切りが行なえるような、諸条件を求めることを目的として実験を行なった。

割り切りの良否は、工具のピッチ πm と、素材の円周ピッチとの差、 Re の大きさに影響される。この量は、割り切り前の素材直径の値と、工具の押し込み量の値とによってきまってくる。しかし、素材外周の割り切りには、理論的には決められない多くの因子が含まれている。したがって、ここでは、それぞれの条件変化による実験により、個々の結果の状況を観察判断して、その条件を決定していくこととした。

まず、工具の長さ、移動速度、歯面の圧力角、歯先部の形などの条件による割り切りの状況から、その一定の条件を選定した。つぎに、種々の外径をもつ材料(A2B2)に対し、工具の押し込み量を一定とし、割り切り後の状況を観察して、最良の外径値を推定した。

さらに、材質 SNC21, S15CK について、上述の外径値を中心として、若干変化させた場合についての、同様な実験を行なった。その結果、一定の歯車要目の下において、正しい割り切りができる外径値を求めることが可能になった。

2. 条件

ここでは、従来から検討を進めている、高圧力角（基準圧力角 $\alpha_0=25^\circ$ ）、低歯歯車（歯末の丈0.8モジュール、歯元の丈1モジュール）の転造を目的とする。

しかし、素材の割り切りの良否は、その外径値が主な条件となるので、ここでの結果は、上の要目以外の歯車にも適用できる。

(1) 素材要目は、モジュール $m=1.5$ 、基準圧力角 $\alpha_0=25^\circ$ 、歯末の丈 $k_1m=0.8 \times 1.5=1.2\text{mm}$ 、歯元の丈 $1.25k_1m=1.5\text{mm}$ 、歯巾 10mm とした。歯数 z は 27, 33 (以下 $z_1=27$, $z_2=33$ とする) の 2 種とした。

z_1 では、ピッチ円直径 40.5mm 、製品外径 42.9mm 、ピッチ円周 $\pi m z_1=127.2\text{mm}$ である。素材の内径は 22mm とした。

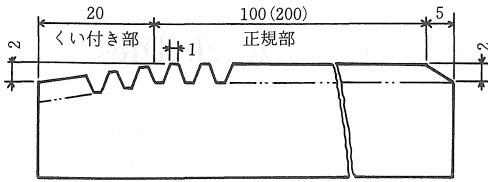
z_2 では、ピッチ円直径 49.5mm 、製品外径 51.9mm 、 $\pi m z_2=155.5\text{mm}$ である。素材の内径は 26mm とした。

(2) 割り切り工具歯先の破損防止のため、および力に対して変形がよく現れる軟質材として、素材は、耐食アルミニウム合金棒 2 種、A2B2 を主とした。

素材は、実験項目ごとに各々 3 個とした。これによ

て、ほぼ良好と思われる条件項目を確かめた後、ニッケルクロム鋼21種、SNC21、機械構造用炭素鋼22種、S15CKで確認の実験を行なった。

表1 工具の形と種類



(a) 正規部 100mm (b) 正規部 200mm

組 No.	圧力角	歯先の形	組 No.	圧力角	歯先の形
1	20°	角	7	20°	丸
2, 3		丸	8	30°	
4	30°	角	(注) 丸は0.3mmの丸面取り, 角は面取りせず。工具は両側に設定する2個で一組とした。		
5, 6		丸			

(3) 工具の材質はSKD11とし、加工後の熱処理硬度をH_RC60~65とした。その形状および種類を表1に示す。

歯先のとんがり巾は約1mmとし、歯先の角の面取りをしないもの(以後、先角という)と、0.3mmの丸面取りしたもの(以後、先丸という)、の2種とした。

工具圧力角に相当する歯の傾き角 α_0 は20°, 30°の2種とし、工具有効部分の長さ l は100mm, 200mmの2種とした。それぞれ、素材の両側に設定する2個を一組として、合計8組を製作した。

(4) 実験装置は、従来から使用している小形の転造盤とした。割り切り工具は油圧で駆動する。両側装置の連動は、これとは別に設定してあるラック・ピニオンによって行なう。素材は中心軸とは固定しない。したがって、連動装置とは無関係に自由に回転できる。素材外径値からの工具の押し込み量は常に一定とし、これを1mmとした。

割り切り速度は、それぞれ $v_1=0.6\text{m/min}$, $v_2=1.2\text{m/min}$, $v_3=1.8\text{m/min}$ の3種とした。

3. 実験項目および経過

3.1 一定外径

素材の外径値は、標準歯車の転造における実験値²⁾(z_1 では42.10mm, z_2 では51.15mm)で一定とした。素材はA2B2とした。

(1) 工具圧力角 $\alpha_0=20^\circ$ で、割り切り速度を変化させた。工具はNo.2(歯先は0.3mmの丸面取り)とし、素材の歯数は $z_1=27$, $z_2=33$, 速度は v_1 , v_2 , v_3 とした。素材は1項目について各3個(計18個)とした。

(2) $\alpha_0=30^\circ$ で、割り切り速度を変化させた。工具はNo.5(先丸)とし、素材の歯数は z_1 , z_2 , 速度は v_1 , v_2 , v_3 とした。素材は上と同様に各3個(計18個)とした。

(3) 割り切り速度を一定とし、工具歯先の面取りはなし、とした。工具はNo.1($\alpha_0=20^\circ$, 先角)およびNo.4($\alpha_0=30^\circ$, 先角)とし、歯数はそれぞれ z_1 , z_2 ; 割り切り速度は v_3 とした。素材は1項目について各3個(計12個)とした。

(4) 割り切り速度を一定とし、工具長さを変更した。(1)~(3)の工具長さ100mmに対し、ここでは約200mmとした。工具はNo.7($\alpha_0=20^\circ$, 先丸)とし、素材の歯数は z_1 , z_2 ; 速度は v_3 とした。素材は各3個(計6個)とした。

3.2 外径値の変化

一定条件、工具圧力角 $\alpha_0=20^\circ$, 先丸, 長さ100mm, 速度 v_3 の下において、素材の外径値を変化させた。

(1) 素材の材質はA2B2とし、外径値の変化は6種、歯数は z_1 , z_2 とした。素材は1項目について各3個(計32個)とした。

(2) 素材の材質をSNC21, S15CKとし、外径値の変化は5種、歯数は z_1 , z_2 とした。素材は1項目について各2個(計20個)とした。

4. 結果および検討

4.1 盛り上りの状況

(1) 図1に盛り上りの説明の図を示した。

割り切り後、歯の側面にはみ出した量を旋削で取り除き、この部分を歯の端部とした。さらに、歯の中央まで旋削して、歯巾の半分を取り除き、その部分を歯の中央部とした。これを拡大投影して、その盛り上り状況を観察した。

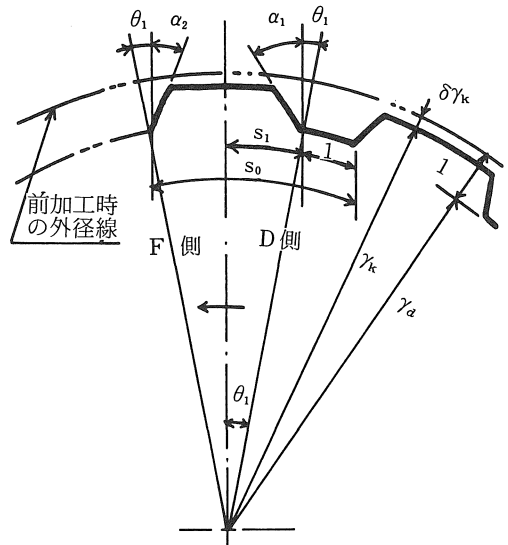
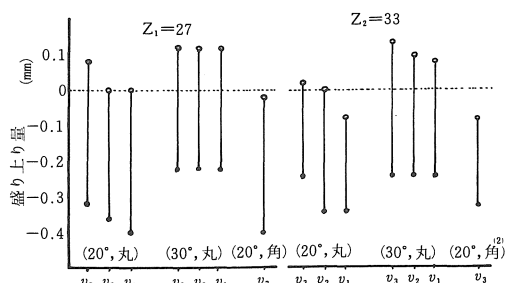


図1 盛り上りの状況 (歯直角断面)



(1) $v_1=0.6, v_2=1.2, v_3=1.8$ m/min 工具移動速度⁽¹⁾
 (2) 数字は工具圧力角, 丸は歯先0.3の丸面取り, 角は面取りせず。
 ○印: 歯の中央部における歯直角断面の切り口の最大値と, 前加工時の外径面との差 (加工後-加工前) の値,
 ●印: 歯の端部においての上と同様な差の値, 各点はそれぞれ5個の平均値を示す。
 条件: モジュール 1.5, 歯巾10mm, 材質A 2 B 2, 工具の押し込み量 1mm。

図2 割り切り歯の盛り上り量 (平均値)

歯は中央部で高く, 両端面はこれよりやや下っている。各断面の最高位置と, 割り切り前の外周位置との差の値をとって, 条件別に図2に示した。

(2) 速度別では, 一番早い v_3 のとき, 盛り上りがやや大きくなる様子がうかがえるが, 実験の範囲では, この差は非常に少ない。

圧力角別では, $\alpha_{01}=20^\circ$ では, 歯の中央部での最大値は, ほぼ転造前の値を保っている。 $\alpha_{02}=30^\circ$ では, 中央部の盛り上りがやや大きくなる。また, 端部でも, $\alpha_{01}=20^\circ$ のときに比べて, やや大きな値を保つ。

工具歯先を面取りしない, 先角の場合には, 面取りしたものに比べて, 盛り上り量はやや少なくなる。

(3) 3. 1項の(1), (2)より, 速度による変化, 圧力角による変化を比較検討した。その結果, 割り切り速度は $v_3=1.8$ m/min でよいことがわかった。圧力角は $\alpha_{01}=20^\circ$ がよいと思われる。

つぎに, 3. 1の(3)より, 工具歯先は先丸とし, $\alpha_{01}=20^\circ$ にすべきことがわかり(4)からは, 工具の長い場合には, 素材に位相のずれのわずかの影響が敏感に現れることがわかった。長い工具では, 両側の位相の厳密さ, および素材外径値の許容範囲の狭さが要求される。

したがって, 実験での最良の素材外径を求める場合には, ある程度の長さは有効であるが, 一度外径が決定された後の実際の割り切り (転造) では, 短い方が有利となる。

4. 2 歯の傾き量

(1) 歯車を転造することを前提としての割り切りでは, 割り切り後の素材歯底円直径 $2r_d$ は, 一般に, 転造後のピッチ円直径 mz にほぼ近い値となる。したがって, 割り切りされた歯の歯元の圧力角は, 理論的には工具圧力角に近似の値となるはずである。

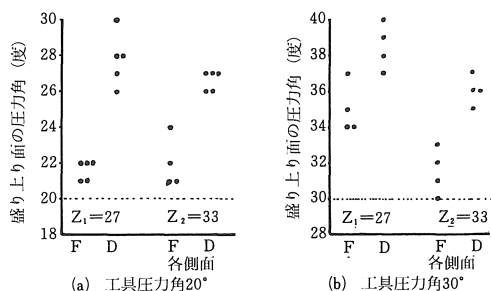
しかし, 割り切り後の, 実際の歯面圧力角は, これよりやや大きな値となった。また, 力を受ける側の歯面, D (Driven) 側では, その反対側の歯面, F (Follower) 側より, やや大きな値となった。

(2) 図1に示す, 歯すじ方向の断面を拡大投影して, その平均的な傾き角 α_1, α_2 を測定した。D 側, F 側の実際の圧力角 α_D, α_F は, それぞれ $\alpha_D = \alpha_1 + \theta_1, \alpha_F = \alpha_2 + \theta_1$ となる。

s_1, s_0 を図1に示すような値とすれば, 工具の歯先巾は 1 mm であるから, $s_0 = 2\pi r_d/z, s_1 = (s_0 - 1)/2, 2r_d \approx mz$ となり, θ_1 は(1)となる。

$$\theta_1 = s_1/r_d = (\pi/z) - (1/2r_d) \approx (\pi - 1/m)/z \dots\dots\dots (1)$$

θ_1 の値は $z_1=27, z_2=33$ では, それぞれ $10^\circ 30', 8^\circ 40'$ である。この α_D, α_F の変化を図3に示した。



(a) 工具圧力角 20° (b) 工具圧力角 30°
 D: Driven側歯面, F: Follower側歯面を示す。
 条件: モジュール1.5, 歯巾10mm, 材質A 2 B 2, 工具押し込み量 1mm, 工具の移動速度 1.8m/min

図3 割り切り歯の傾き量 (平均値)

(3) 図3より, $\alpha_{01}=20^\circ$ のとき, D 側および F 側の歯面圧力角の平均値 α_{Dm}, α_{Fm} の平均は, それぞれ $(\alpha_{Dm} + \alpha_{Fm})/2 = 24.7^\circ, (z_1=27); 24.1^\circ, (z_2=33)$ となる。また, $\alpha_{02}=30^\circ$ では, 同様に $36.8^\circ, (z_1=27); 33.6^\circ, (z_2=33)$ となった。

ここでの目的の $\alpha_0=25^\circ$ の転造工具が入るための, 素材のミゾの角度としては α_{01} のときはやや小さすぎ, α_{02} では明らかに大きすぎる。実験の範囲内からは, 割り切り工具の圧力角は, $20^\circ + 2^\circ$ がよいと思われる。

4. 3 外径値とスリップ量

(1) 割り切り工具の歯先のピッチ間距離は πm であるが, それに接する素材外周の円ピッチ (厳密には弦ピッチ) は, その直径の値により, これとは異った値となる。この差の量 R_e をスリップ量³⁾とする。

(2) 工具の歯先部と当たっている部分の素材半径を r とすれば, 割り切り歯数 z では,

$$R_e = \pi m - 2r \tan(\pi/z) \text{ となる。} z_1=27 \text{ の割り切り後の歯底円半径を } r_1, \text{ スリップ量を } R_{e1} \text{ とし, } z_2=33 \text{ のそれを } r_2, R_{e2} \text{ とする。}$$

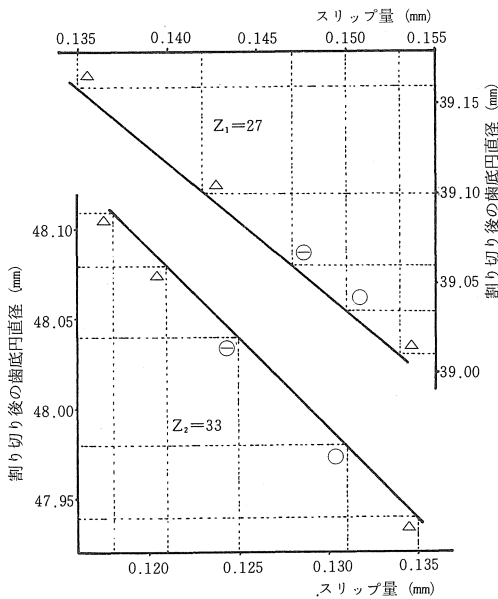
(3) 素材外径 $2(r+1)$ mm, (工具の押し込み量 1 mm)のおよその値を求めため, 外径値の大きな範囲で実験した。材質 A2B2, 歯巾10, 割り切り速度 v_s , 工具有効部長さ100mm, 工具圧力角 20° とした。

割り切り後の歯部の状況 (予定の歯数, 歯のピッチ, 盛り上り, 歯巾の不足またはミゾ部の近すぎなど)を観察した。これより, 非常によいもの, 良いもの, やや良いと思われるもの, わるいもの, の順にそれぞれ, ○, ⊖, △, ×印で表わし, その結果を表2に示した。

表2 素材外径と割り切りの結果

(a) 歯数 27			(b) 歯数 33		
歯底円直径 $2r_d$	スリップ量 R_e	結果	歯底円直径 $2r_d$	スリップ量 R_e	結果
40.28	0.004	×	49.19	0.005	×
39.26	0.120	×	48.26	0.104	×
39.10	0.142	△	48.14	0.116	△
39.01	0.153	△	48.04	0.125	⊖
38.10	0.259	×	47.13	0.212	×
37.10	0.376	×	46.13	0.308	×

(1)良否を, ○:最良, ⊖:良, △:やや良, ×:不良で示す。
条件:モジュール1.5, 歯巾10mm, 材質A2B2, 工具の押し込み量1mm



結果の良否を, ○:最良, ⊖:良, △:やや良, ×:不良で示す。
条件:モジュール1.5, 歯巾10mm, 工具押し込み量1mm, 工具圧力角 20° , 工具の移動速度1.8m/min

図4 スリップ量と割り切りの良否

(4) 前項での結果より, 素材外径値のおよその値は判明した。そこで, 割り切りに対する実験の諸条件は, 前と全く同様とし, その外径値を中心として, さらに細かい範囲の外径値を選んで再度実験を行なった。それらの結果の良否を, スリップ量との関係で図4に示した。

(5) つぎに, 前項で得られた最良外径値の近辺により, 材質 SNC21, S15CK, での割り切りを行なった。その結果, A2B2 での外径値とほぼ同じ値のものが, この場合も最良という結果になった。

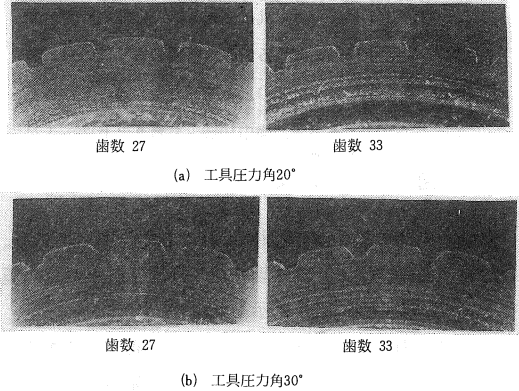
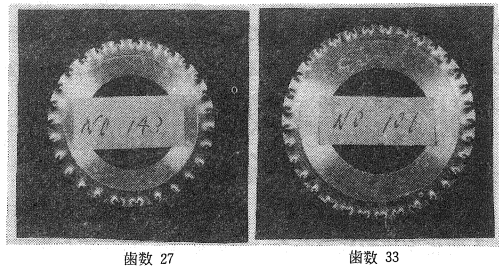
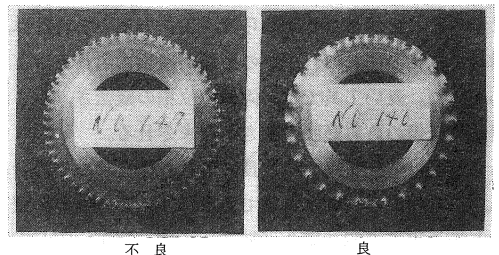


図5 割り切り歯の断面



材質A2B2, 工具押し込み量1mm, 圧力角 20°

図6 正確な割り切り歯の側面



材質SNC21, 工具押し込み量1mm, 圧力角 20° , 歯数27

図7 割り切りの良否

(6) 実験結果の一部として, 割り切り歯の断面形状を図5に, 正確に割り切れた素材の側面形状を図6に示した。材質はいずれも A2B2 である。また, 割り切りの良否を比較する結果の一部として, 材質 SNC21 について,

表3 正確に割り切れる歯底円直径の値

(mm)			
歯 数	歯底円直径	歯 数	歯底円直径
24	34.56	30	43.52
25	36.04	31	45.03
26	37.54	32	46.53
27	39.03	33	47.98
28	40.57	34	49.55
29	42.02	35	51.06

条件：モジュール1.5，歯巾10mm，工具押し込み量1mm

その一例を図7に示した。

(7) 工具などの割り切り条件が一定なら，歯車素材の予定歯数への割り切りは，その際に生ずるスリップ量と一定の関係があるものと思われる。そこで， $z_1=27$ ， $z_2=33$ の R_e の値から，その近辺の歯数について，比例的に外径値を求めて表3に示した。この範囲では，その値により，予定の歯数が割り切れるものと思われる。

5. 結 論

(1) 割り切り工具は，なるべく短かい方がよい。長いと，位相のずれなどを生じ，正確な割り切りが困難になる。

(2) 工具歯先は丸面取りをしておくといよい。盛り上りなど，割り切りが円滑になる。

(3) 割り切りの結果は，その速度にはほとんど関係しない。ここでは，一番速い1.8m/minで十分である。

(4) 工具圧力角は，できるだけ小さい方がよい。その方が，歯巾全体に，一様に盛り上る。

(5) 割り切り歯の圧力角は，工具圧力角よりやや大きくなる。また，F側よりD側でより大きくなる。

(6) $\alpha_0=25^\circ$ の高圧力角歯車を転造する場合の，割り切りの際の工具圧力角は，約 22° でよい。

(7) 最良な割り切りを得るための素材外径値は，素材の材質には影響しない。

(8) 1.5m27z，33zの歯車を転造する際の素材外径(割り切り外径)の値が明らかになった。

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，精機学会講演論文集，(1977) 453
- 2) 久野精市郎：ラック型工具による歯車の冷間転造，愛工大研究報告No.7 (1972)，197
- 3) 久野精市郎：冷間転造歯車についての二・三の実験，愛工大研究報告No.6 (1971)，147

(受理 昭和57年1月16日)