研究

歯車の歯みぞのふれ測定について*

内 山 弘**

On the Measurement of Runout of Gear Teeth

Hiroshi UCHIYAMA

Runout measurements are widely used because their results can be easily obtained. However, the meaning of information obtained from data of runout measurement is not always clear.

Purpose of the present paper is to make clear the meaning of runout. From analytical and experimental results, the following conclusions are derived.

(1) Runout is calculated using accumulated pitch errors on a right and the adjacent left tooth flank in a gear, namely from

$$f_{rn} = (F_{Ln} - F_{Rn}) / \tan \phi, \quad \phi = \pi / 2Z - \text{inv } \alpha_0 + \tan \alpha - 2x \tan \alpha_0 / Z$$

where F_{Ln} and F_{Rn} are accumulated pitch errors on both flanks, Z is the number of teeth, α_0 is standard pressure angle, α is pressure angle at the measuring point and x is coefficient of profile shift.

(2) Runout measurement is effective for determining the eccentricity and the errors resulting from the worm cyclic error in the gear generating machine.

(3) To obtain the worm cyclic error with high magnification, it is desirable to use a feeler diameter (d_B) estimated from the following equation,

$$d_B = d_g \cdot \{ \tan(\pi/2J + \alpha_0) - (\pi/2J - \pi/2Z + \tan \alpha_0 + 2x \tan \alpha_0 / Z) \}$$

where d_g is base circle diameter and J is number of waves in worm cyclic error.

1. まえがき

歯みぞのふれは測定がきわめて容易であり、特別の測定器を用意しなくても測定が行なえるために広く普及している。特にピッチ誤差や歯形誤差の測定が困難な小形歯車には両歯面かみあい試験とともに広く使用されている。しかしながら、これまでは歯みぞのふれの意味が必ずしも明確ではなかったように思われる。ここではその意味を明らかにし、歯みぞのふれ測定に際して注意すべきことがらを指摘し、さらに類似の測定法である両歯面かみあい試験やオーバピン法との関連について検討する。

2. 歯みぞのふれの表わすもの

歯みぞのふれは玉またはピンなどの測定子を歯みぞの両側歯面に接触させて歯みぞの幅の不同を測定子の歯車半径方向に対する変位として測定するものであるから、測定子が歯車の半径 r の点で歯面

に接するものとする、図1で歯 (Z) -(1)間の弧の長さを l_0 とおけば、歯(1)-(2)間の長さは

$$\Delta l_1 = l_0 + l_{R1} - l_{L1} = l_0 + (t + F_{R1}) - (t + F_{L1}) = l_0 + F_{R1} - F_{L1}$$

ここで $t = 2\pi r / Z$ 。他の歯間についても同様で

$$\Delta l_2 = l_0 + F_{R2} - F_{L1}$$

$$\vdots$$

$$\Delta l_n = l_0 + F_{Rn} - F_{Ln}$$

$$\vdots$$

$$\Delta l_z = l_0$$

歯 (Z) -(1)間の長さ、すなわち $l_0 = \Delta l_z$ を基準にすると他の歯間の長さは

$$\Delta l'_1 = F_{R1} - F_{L1}$$

$$\vdots$$

$$\Delta l'_n = F_{Rn} - F_{Ln}$$

図1 歯みぞのふれの説明

*原稿受付 昭和44年12月19日。昭和44年度精機学会秋季大会学術講演会（昭和44年10月11日）にて発表。

**正 会 員 東京工業大学精密工学研究所（東京都目黒区大岡山 2-12-1）

$$\dot{dl}_Z = 0$$

ここで F_{Ln} , F_{Rn} は図1の左図から明らかのように左右歯面の歯 (Z), (1) からの累積ピッチ誤差である。歯みぞのふれは歯みぞの幅が基準より大きいときに負と表示するので図の右図を参照して, n 番目の歯みぞのふれは

$$f_{rn} = -(F_{Rn} - F_{Ln}) / 2 \tan \phi$$

$$(\phi = \pi/2Z - \text{inv } \alpha_0 + \tan \alpha - 2x \tan \alpha_0/Z) \quad (1)^{1)}$$

ここで Z は歯数, α_0 は基準圧力角, α は測定子接触点の圧力角, x は転位係数である。式(1)に示されるように歯みぞのふれは左右歯面の累積ピッチ誤差の差を歯車の半径方向に換算したものであり, したがって従来歯みぞのふれの測定はもっぱら偏心の測定と定義されていたけれども, むしろ累積ピッチ誤差の簡易測定法とみなすのが妥当と思われる。なお(1)式から歯みぞのふれの大きさは一般には ϕ の値により変化するので, 測定値には必ず使用測定子径あるいは測定子接触点の半径等を併記しなければならない^{2), 3)}。測定子径 ($d_B = 2r_B$) と歯面上の測定子接触点の半径 (r) あるいは接触点の圧力角 (α) との関係は図2からつぎのように求まる。

$$\left. \begin{aligned} r &= r_g / \cos \alpha \\ r_B / r_g &= d_B / d_g = \tan \{ \pi/2Z - \text{inv } \alpha_0 \\ &\quad + \tan \alpha - 2x \tan \alpha_0/Z \} - \tan \alpha \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

3. 各種累積ピッチ誤差と歯みぞのふれ

歯車加工法の種類や工作物の取付け誤差などにより歯車には種々の形状の累積ピッチ誤差が生じる。以下各種累積ピッチ誤差と歯みぞのふれの関係について検討する。

3.1 故意に大きなピッチ誤差を与えた場合

図3はマーク研削盤により故意に大きなピッチ誤差を与えて研削した歯車を用いて式(1)の関係を検討したものである。図において左右歯面の累積ピッチ誤差から算定した歯みぞのふれと実測の結果がきわめてよく一致して

図2 測定子と歯面の接触状態

図3 歯みぞのふれ測定例 (i)

いることがわかる。

3.2 全周を1周期とする累積ピッチ誤差のある場合

歯車が工作时あるいは測定時に偏心して取付けられたり, 歯車加工機の親ウォームホイールあるいは割出円板に偏心のあるときにこのような累積ピッチ誤差が生じる。まず正しい歯車が図4(a)に示すように e だけ図示の方向に偏心して取付けられると, 左歯面の累積ピッチ誤差は近似的に次式で表わされる。

$$F_{Ln} = r(\beta_2 - \beta + \xi + \eta), \quad \beta_1 \doteq \beta + e/r \cdot \tan \phi,$$

$$\xi \doteq e/r \cdot \sin(\phi - \beta)$$

$$\eta \doteq e/r \cdot \cos(\phi - \beta) \cdot \tan \alpha$$

$$\therefore F_{Ln} = e\{\tan \phi + \sec \alpha \cdot \sin(\phi - \phi)\} \quad (3.1)$$

右歯面についても同様に

$$F_{Rn} = e\{-\tan \phi + \sec \alpha \cdot \sin(\phi + \phi)\} \quad (3.2)$$

ここで $\phi = 2\pi(n-1)/Z$ 。したがってこの場合歯みぞのふれは式(3.1), (3.2)を式(1)に代入して

$$f_{rn} = e(1 - \cos \phi \cdot \cos \phi / \cos \alpha) \doteq e(1 - \cos \phi) \quad (4)^{4)}$$

図4(b)は式(3.1), (3.2)と式(4)との関係を示したものである。つぎにマーク研削盤において割出円板に

$$F_t = e_g \sin \theta_g \quad (\theta_g: \text{割出円板の回転角})$$

で表わされる割出誤差があるものとする。0°法により

図4 偏心した歯車の累積ピッチ誤差と歯みぞのふれ

研削された歯車には左右歯面に次式の累積ピッチ誤差が生じる。

$$\left. \begin{aligned} F_{Ln} &= e_g \cdot r/r_0 \cdot \{\sin(\phi + \varphi) - \sin \varphi\} \\ F_{Rn} &= e_g \cdot r/r_0 \cdot \sin \phi \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

(r_0 : ピッチ円半径)

通常 $\varphi \doteq 2\alpha_0$ にとるので、この場合の歯みぞのふれは

$$f_{rn} = -2e_g \cdot r/r_0 \cdot \sin \alpha_0 / \tan \phi \cdot \sin(\phi/2 + \alpha_0) \cdot \sin(\phi/2) \quad (6)$$

これは式(4)と同様な曲線なので歯みぞのふれの最大値は

$$f_{rn} = 2e_g \cdot r/r_0 \cdot \sin \alpha_0 / \tan \phi \doteq 2e_g \cdot r/r_0 \cdot \cos \alpha_0 \quad (7)$$

また親ウォームホイールに偏心等により

$$F_l = e \sin \theta_W \quad (\theta_W: \text{ウォームホイールの回転角})$$

で表わされる累積ピッチ誤差があると、この歯切盤で加工された歯車の左右歯面にはつぎの累積ピッチ誤差が生じる。

$$\left. \begin{aligned} F_{Ln} &= e \cdot r/r_0 \cdot \{\sin(\phi + \theta + \varphi) - \sin(\theta + \varphi)\} \\ F_{Rn} &= e \cdot r/r_0 \cdot \{\sin(\phi + \varphi) - \sin \varphi\} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

ここで θ は図 5 に示すように、まず初めに実線で左右歯形を示す状態で点 P_L (左歯面の測定点) を切削してから、さらに回転して点線で歯形を示す状態で点 P_R (右歯面の測定点 P'_R) を切削するまでに歯車が回転する角度であり、次式で示される。

$$\theta = 2(\tan \alpha - \tan \alpha_0) + \pi/Z - 4x \tan \alpha_0/Z \quad (9)$$

φ は正弦曲線の位相角である。そこでこの場合の歯みぞのふれは

$$f_{rn} = -2e \cdot r/r_0 \cdot \sin(\theta/2) \cdot \sin(\phi/2 + \theta/2 + \varphi) \cdot \sin(\phi/2) / \tan \phi \quad (10)$$

これは角 θ 、すなわち測定子が歯面に接する半径、いいかえれば測定子径により値が変化する。特に $\theta=0$ の点で測定を行なえば式(10)は零になり、歯みぞのふれは現われない。

以上の検討から全周を 1 周期とする累積ピッチ誤差の中で式(3.1)、(3.2)と式(5)で示されるものは歯みぞのふれの測定から容易に求めることがわかる。そしてその

図 5 θ の説明

測定結果は歯数や測定子径にはほとんど影響されない。しかしながら式(8)で示される累積ピッチ誤差のあるときには測定子径により歯みぞのふれの値が種々変化して現われるので注意を要する。

3.3 全周に数個の周期の波を持つ累積ピッチ誤差のある場合

ホブ盤など一般の歯切盤の親ウォームに起因するウォーム周期誤差のあるときやホブあるいはビニオンカットに取付け偏心のあるときにこのような累積ピッチ誤差が生じる。まずホブ盤親ウォーム周期誤差について検討する。ウォーム周期誤差の波の数を J (ウォーム条数を Z_l 、ウォームホイール歯数を Z_w とすると $J = Z_w/Z_l$)、振幅を E とするとウォーム周期誤差によるホブ盤ウォームホイールの割出誤差は近似的に

$$F_l = E \sin J\theta_W$$

と表わすことができる。この振幅 E は切削歯車上ではウォームホイールと歯車の径の比により縮小または拡大される他、場合によってはホブ切れ刃の干渉により縮小される⁵⁾。したがって実際に歯車のピッチ円上に移された振幅を E_J とすると左右歯面の累積ピッチ誤差は

$$\left. \begin{aligned} E_{Ln} &= E_J \cdot r/r_0 \cdot \{\sin J(\phi + \theta + \varphi) - \sin J(\theta + \varphi)\} \\ E_{Rn} &= E_J \cdot r/r_0 \cdot \{\sin J(\phi + \varphi) - \sin J\varphi\} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

したがって歯みぞのふれは

$$f_{rn} = -2E_J \cdot r/r_0 \cdot \sin(J\theta/2) \cdot \sin J(\phi/2 + \theta/2 + \varphi) \cdot \sin(J\phi/2) / \tan \phi \quad (12)$$

これは式(10)と同様に角 θ 、すなわち測定子径により値が変化する。 $\theta=0$ 、すなわち左右歯面同時切削点では歯みぞのふれは現われない。したがってホブと同じ圧力角のラック形片または円すいを用いて歯みぞのふれを測定したときにはこの種の誤差は検出されない。 $\theta=0$ に相当する歯面上の圧力角は式(9)から

$$\alpha_z = \tan^{-1}(\tan \alpha_0 - \pi/2Z + 2x \tan \alpha_0/Z) \quad (13)$$

その点に接する測定子径は式(13)を式(2)に代入して

$$r_B/r_g = d_B/d_g = \pi/2Z - 2x \tan \alpha_0/Z \quad (14)$$

また式(12)は $J=Z$ あるいは $J\theta/2 = \pi, 2\pi$ などのときには零になる。つぎに式(12)は $J\theta/2 = \pi/2$ のとき最大になり、この点に相当する歯面上の圧力角は

$$\alpha_W = \tan^{-1}(\pi/2J + \tan \alpha_0 - \pi/2Z + 2x \tan \alpha_0/Z) \quad (15)$$

その点に接する測定子径は

$$r_B/r_g = d_B/d_g = \tan(\pi/2J + \alpha_0) - (\pi/2J + \tan \alpha_0 - \pi/2Z + 2x \tan \alpha_0/Z) \quad (16)$$

したがって式(16)から計算される径の測定子を用いて歯みぞのふれを測定すればウォーム周期誤差を明確に求めることができる。ただし式(16)で求められる測定子径は歯数が多くなると歯みぞの外に出てしまい、その限界歯数は

図 6 ウォーム周期誤差検出倍率零の測定子径 ($J=16$ の場合) 図 7 ウォーム周期誤差検出倍率最大の測定子径 ($J=16$ の場合)

測定子がちょうど歯先円に接するときであるから、歯先円半径を $r_K = m(Z+2+2x)/2$ とするときその圧力角が式(15)で示される場合に相当するので

$$r_K \cos \alpha_W = r_g$$

$$\text{すなわち } \frac{m}{2}(Z+2+2x) \cos \alpha_W = \frac{m}{2} \cdot Z \cos \alpha_0$$

の関係から次式が求まる。

$$\begin{aligned} & \{(\pi/2J + \tan \alpha_0)^2 \cos^2 \alpha_0 - \sin^2 \alpha_0\} Z^2 \\ & - 2\{(\pi/2 - 2x \tan \alpha_0)(\pi/2J + \tan \alpha_0) \cos^2 \alpha_0 \\ & + 2(1+x)\} Z + \{(\pi/2 - 2x \tan \alpha_0)^2 \cos^2 \alpha_0 \\ & - 4(1+x)^2\} = 0 \end{aligned} \quad (17)$$

図 6 は式(14)、図 7 は式(17)の限界条件を入れて式(16)の関係を図示したもので $J=16$ の場合 (ミクロン型ホブ盤では $J=Z_W/Z_I=80/5=16$) である。図 8 は α を変えて f_{rn} を求めたもので、この例ではウォーム周期誤差の振幅と歯みぞのふれの関係はピッチ円上 (このとき測定子径は $d_B=1.5\phi$) では $f_{rn} \div 2.5E_f$ 、 $\alpha=18^\circ$ の点 (測定子径 $d_B=2\phi$ に相当する) では $f_{rn} \div 5E_f$ である。また $\alpha=23^\circ$ の点は前に述べた $J\theta/2=\pi$ の近傍で、したがって歯みぞのふれはきわめて小さい。なお図では $n=16$ までを示してあるが他は同じ値の繰返しとなる。図 9 は上で検討した例に相当する歯車の測定例であり、 $d_B=2\phi$ の測定子による歯みぞのふれの測定結果はウォーム周期誤差をき

図 8 測定点の違いによる歯みぞのふれの変化

わめて明白に現わしている。

またフェロース型歯切盤はカッタスピンドルにも親ウォーム歯車があるために、この場合の歯車に移される二つのウ

ォーム周期誤差による左右歯面の累積ピッチ誤差は二つのウォーム周期誤差の差となるから

$$\left. \begin{aligned} F_{Ln} &= E_W \cdot r/r_0 \{ \sin Z_W (\xi/Z + \theta + \varphi_1) - \sin Z_W (\theta + \varphi_1) \} \\ &\quad - E_s \cdot r/r_0 \{ \sin Z_s (\xi/Z_c + Z\theta/Z_c + \varphi_2) \\ &\quad - \sin Z_s (Z\theta/Z_c + \varphi_2) \} \\ F_{Rn} &= E_W \cdot r/r_0 \{ \sin Z_W (\xi/Z + \varphi_1) - \sin Z_W \varphi_1 \} \\ &\quad - E_s \cdot r/r_0 \{ \sin Z_s (\xi/Z_c + \varphi_2) - \sin Z_s \varphi_2 \} \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

ここで

図 9 歯みぞのふれ測定例 (ii)

図 10 フェローズ型歯切盤で歯切りされた歯車に現われる歯みぞのふれの計算例

E_W : ワークテーブルウォーム周期誤差の歯車ピッチ円上に移された振幅

E_s : カッタスピンドルウォーム周期誤差の歯車ピッチ円上に移された振幅

Z_W : ワークテーブルウォームホイール歯数

Z_s : カッタスピンドルウォームホイール歯数

Z_c : ピニオンカッタ歯数

φ_1, φ_2 : 位相角, $\xi=2\pi(n-1)$

そこで歯みぞのふれは

$$f_{rn} = -2 \cdot r/r_0 \cdot \{E_W \sin(Z_W \theta/2) \cdot \sin(\xi Z_W/2Z) \\ \cdot \sin Z_W(\xi/2Z + \theta/2 + \varphi_1) - E_s \sin(Z_s Z \theta/2Z_c) \\ \cdot \sin(\xi Z_s/2Z_c) \cdot \sin(\xi/2Z_c + Z \theta/2Z_c \\ + \varphi_2)\} \cdot \tan \phi \quad (19)$$

この場合も $\theta=0$ のときには歯みぞのふれは現われない。他の点では歯車の歯数とカッタの歯数の関係、あるいは位相角の関係で種々変化した歯みぞのふれが現われる。式(19)において $E_W=E_s=E'$, $\varphi_1=\varphi_2=0$ としたときの計算の一例を図 10 に示す。 E' がわずかに 1μ でおおよそ 10μ の歯みぞのふれが現われることがわかる。

つぎにホブに偏心 e_h がある場合には図 11 から、ホブの回転角を ω とすると

$$F_t = e'_h \tan \alpha_0, \quad e'_h = e_h \sin \omega$$

また Z_h をホブの条数とするとホブの回転角と歯車の回転角との間には $\omega = Z/Z_h \cdot \phi$ の関係があるので、これを

図 11 ホブの偏心と累積ピッチ誤差

図 11 ホブの偏心と累積ピッチ誤差

図 12 歯みぞのふれ測定例 (iii)

上式に代入して

$$F_t = e_h \tan \alpha_0 \cdot \sin \{2\pi(n-1)/Z_h\}$$

したがって歯車にはつぎの累積ピッチ誤差が生じる。

$$F_{Ln} = e_h \cdot r/r_0 \cdot \tan \alpha_0 \cdot [\sin \{2\pi(n-1)/Z_h + \varphi_h\} \\ - \sin \varphi_h] \quad (20)$$

ここで φ_h は位相角である。この場合には左右歯面の累積ピッチ誤差は絶対値が等しく符号は反対になるので、歯みぞのふれは

$$f_{rn} = -2e_h \cdot r/r_0 \cdot \tan \alpha_0 \cdot \sin \{\pi(n-1)/Z_h\} \\ \cdot \cos \{\pi(n-1)/Z_h + \varphi_h\} / \tan \phi \quad (21)$$

$Z_h=1$ のときには歯みぞのふれは現われない。 $Z_h=2$ のときには φ_h により歯みぞのふれが現われないときと e_h の $4r/r_0 \tan \phi$ 倍に現われるときがある。図 12 は $Z_h=5$ の例であり、ホブ 1 回転ごとにきわめて明りょうに歯みぞのふれが現われている。ピニオンカッタに偏心のある場合も同様にカッタ 1 回転を 1 周期とする歯みぞのふれが現われる。

3.4 左右歯面に同じ累積ピッチ誤差のある場合

成形歯切りあるいは成形研削法により加工された歯車またはマージ 15° 法により研削された歯車は、その加工法上各歯の割出しが不連続のため、値は小さいけれども多数の不規則な波からなる累積ピッチ誤差を有している。しかしながら、この場合常に歯みぞの幅は一定という特徴があるために、いいかえれば $F_{Ln}=F_{Rn}$ であるために歯みぞのふれは現われない。

以上各種累積ピッチ誤差と歯みぞのふれとの関係について検討したものをまとめると、

(1) 3.2 で検討したように偏心量を適確に求めることができる。そしてその値は測定子径には影響されない。

(2) ウォーム周期誤差は測定子径により検出倍率が変わる。ウォーム周期誤差の有無を知りたいときには式(16)による径の測定子を用いて測定を行なえばよい。

(3) 多条ホブあるいはピニオンカッタの取付け偏心も、みい出すことができる。

4. オーバピン法と歯みぞのふれ

ピンまたは玉を歯みぞに入れて測定を行なう点では、オーバピン(玉)法と歯みぞのふれはまったく同じである。したがって歯みぞのふれを有する歯車をオーバピン

図 13 オーバピン(玉)法の説明

図 14 オーバピン法による測定例

法で測定すれば、測定する歯みぞにより測定値に違いがでることは当然予想される。ここでは、このオーバピン測定値の変動について検討する。図13において歯 $(Z)-(1)$ 間に入れた玉の歯車の中心からの距離を a_0 とおくと、このときのオーバピン測定値は

$$Y_1 = \{a_0 + r_B(1/\cos \beta - 1)\} \cos \beta \\ + \{a_0 + f_r(z-1/2) + r_B(1/\cos \beta - 1)\} \cos \beta \\ = \{2a_0 + 2r_B(1/\cos \beta - 1) + f_r(z-1/2)\} \cos \beta$$

ここで $\beta = \pi/2Z$ 。したがって歯 $(n)-(n+1)$ とに相当するオーバピン測定値は

$$Y_n = \{2a_0 + 2r_B(1/\cos \beta - 1) + f_{rn} + f_{r(n+Z+1/2)}\} \cos \beta$$

それ故 Y_1 を基準にしたときの測定値の変動は

$$\Delta Y_n = \{f_{rn} + f_{r(n+Z+1/2)} - f_{r(z-1/2)}\} \cos \beta \quad (22)$$

歯数が偶数の場合には $\beta = 0$ において

$$\Delta Y_n = \{f_{rn} + f_{r(n+Z/2)} - f_{r(Z/2)}\} \quad (23)$$

測定値には本来偏心の影響は入らないので、各測定値に変動があれば、主な原因としてウォーム周期誤差が考えられる。この測定には、ウォーム周期誤差の影響しない式(14)で求まるような小さい径の玉は使用できない場合が多いので、測定結果にはウォーム周期誤差の影響が入りやすく、その上場合によってはウォーム周期誤差が歯みぞのふれのときの2倍に現われることがある。図14は

表 1 歯みぞのふれ測定と両歯面かみあい試験との比較

測定方法 誤差項目	歯みぞのふれ測定	両歯面かみあい試験
検出できる誤差	歯車の偏心 工具の取付偏心 (1条ホブは除く) マージ研削盤の割出誤差 (0°法の場合) ウォーム周期誤差	歯車の偏心 工具の取付偏心 マージ研削盤の割出誤差 (0°法の場合) 圧力角誤差
検出できない誤差	圧力角誤差 左右歯面まったく同じ累積ピッチ誤差	ウォーム周期誤差 左右歯面まったく同じ累積ピッチ誤差
検出できるが量的関係を決められない誤差	左右歯面まったく不規則な累積ピッチ誤差	左右歯面全く別個の累積ピッチ誤差あるいは歯形誤差

測定の一例であり、歯車は図9に歯みぞのふれを示したものと同一である。式(23)による歯みぞのふれからの計算値と実測値とはかなりよく一致している。この例からも明らかのようにオーバピン測定値はウォーム周期誤差あるいは多条ホブまたはビニオンカットなど工具偏心の影響を受けやすいので、数カ所で測定を行ない、それら誤差の影響を考慮する必要がある。

5. 両歯面かみあい試験との比較

歯みぞに基準片を入れて歯車半径方向に対する変位を求める点においては歯みぞのふれ測定と両歯面かみあい試験は類似であるけれども、歯みぞのふれが各歯みぞから一つの情報しか得られないのに対して両歯面かみあい試験の場合には歯面全体に接するために、きわめて多数の情報が得られるという違いがある。最近両歯面かみあい試験で検出する誤差が明らかにされた⁶⁾ので、それとこれまで検討した歯みぞのふれとを比較対照したのが表1である。歯車の偏心はいずれの測定でも検出するが、目立った相違点としては両歯面かみあい試験は、1歯面にかかわる誤差、すなわち圧力角誤差や一条ホブの偏心による歯形誤差を検出するのに対し、歯みぞのふれは数歯にまたがる誤差、すなわちウォーム周期誤差を検出することがあげられる。

6. む す び

以上歯みぞのふれ測定とそれに関連することがらについて検討した結果をまとめるとつぎのようになる。

(1)歯みぞのふれは左右歯面の累積ピッチ誤差から合成して求めることができる。したがって歯みぞのふれは、いわゆる個別誤差ではなく、むしろ両歯面かみあい誤差の特殊な場合に相当する。

(2)歯車の偏心量およびウォーム周期誤差の測定には有効である。特に偏心のみが問題となるような高精度歯車には適している。

(3)JIS⁷⁾では測定子はピッチ円上に接するものを使用するように規定しているけれども、ウォーム周期誤差のある歯車では歯数により測定値が大きく変わるので、JISの規定は不適当である。偏心量のみを求めたい場合には、式(14)による測定子径を用いるのが望ましい。

(4)ウォーム周期誤差を検出したい場合には式(16)による測定子径を用いるのが望ましい。

(5)オーバピン測定値もウォーム周期誤差等の影響を受ける。

(6)両歯面かみあい試験と比較し、長所短所を明らかにした。

終りにご指導いただいている東工大精密工学研究所石

川二郎教授、富井正男博士に感謝申上げる。また面倒な数値計算をお願いした長田秀治氏にお礼申上げる。

文 献

- 1) $(\pi/2Z - \text{inv } \alpha_0)$ は数表が作製されている J. Peters: Kreis-und Evolventen-Funktionen, Fred. Dümmers Verlag, Berlin und Bonn (1937) 199.
- 2) 仙波正荘: 歯車, 2 日刊工業新聞社, (1966) 391.
- 3) 新莊謙一: 歯ミゾに入れた玉の出入り, 歯車工業³²(1957) 28.
- 4) 次の文献に同様の結果が示されている。和栗 明, 他 5 名: 歯車の設計と製作, 日本機械学会 (1956) 189.
- 5) 石橋 彰: 循環誤差の歯形精度におよぼす影響, 日本機械学会論文集 ²⁸, 187 (1962-3) 350.
- 6) 富井正男: 歯車の 2 歯面かみあい試験について, 日本機械学会論文集 ³⁵, 272 (1969-4) 890.
- 7) JIS B 1702 (1960) 平歯車およびハスバ歯車の精度および B 1752 (1962) 平歯車およびハスバ歯車の測定方法.