

歯車歯形試験装置の一機構について

堀 込 泰 雄 *

A Mechanism of Involute Tester

Yasuo Horigome

1. 緒 言

インボリュート平歯車の歯形試験機として、以前から多くの機構が用いられている。歯形試験機を構造上より分類すれば、1) 基礎円板を必要とするもの、2) ピッチ円板を必要とするものおよび 3) 基礎円板またはピッチ円板を必要としないものの三種類がある。1)と2)では被測定歯車の寸法が変わるごとに、精度の高い基礎円板またはピッチ円板を製作しなければならない不便さがある。これに対し3)は構造がやや複雑で高価ではあるが、基礎円板またはピッチ円板を製作する煩わしさが少ないので、使用する立場からは、便利であるといえる。この方式にもさまざまな機構があり、多くの歯形試験機で用いられている⁽¹⁾⁽²⁾。

本研究では、上記3)の方式で歯形試験機に採用できる一機構を考案し、この機構を用いた簡単な歯形試験装置を試作して検討を試みた。本機構では、サインバーとブロックゲージで被測定歯車の寸法（基礎円直径）に見合った角度を設定することによって、測定範囲内における任意の寸法の歯車の歯形を測定することができる。以下にその機構と測定原理について説明し、実際に歯形を測定して得られた結果を示し、かつ本機構に生ずる誤差についての考察を述べることにする。

2. 原理および構造

基礎円板を用いた歯形試験機の機構に、図1に示される方式がある。すなわち、被測定歯車を同心に取付けた基礎円板を、固定された直定規の上でころがり運動させる。静止したインジケータの測定子を、直定規の上と同一平面上で測定すべき歯面に押し当てておけば、測定子の変位が歯形誤差としてインジケータに表われる。もちろんこの方式では、歯車の寸法が変われば、精密な基礎円板を取り替える必要がある。

被測定歯車にこれと全く同じ運動を、基礎円板を用いに行なわせるため、図2に示された構造の装置を考

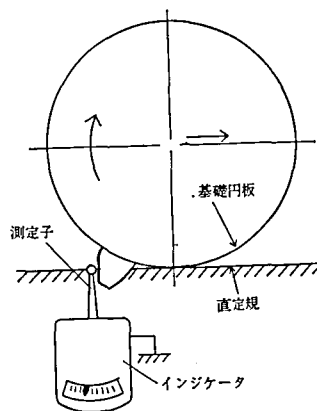
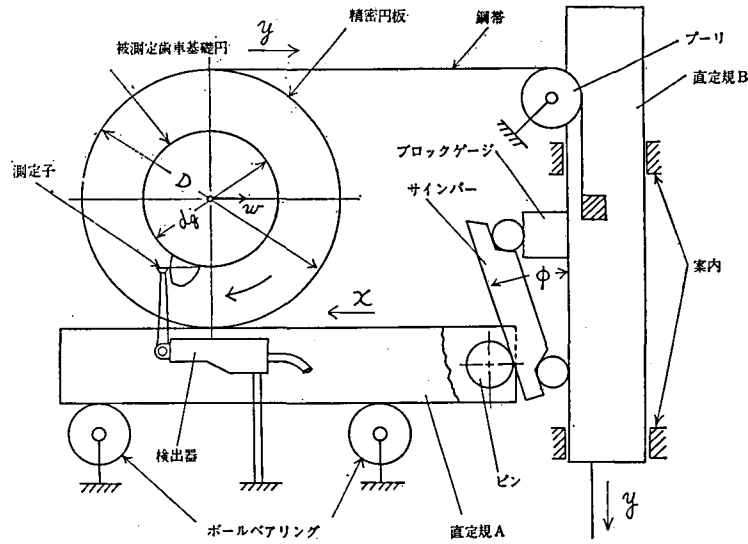


図 1 歯形誤差測定原理
(基礎円板を用いる場合)

案し試作した。図2において直定規Aは、4個のボールベアリングにより案内され、左右に軽く移動することができる。直定規Aには、被測定歯車を同心に取り付けた直径170,000mmの精密円板が、ころがり運動できるようにのっている。また精



装置の原理

図 2 装置の原理

密円板には、厚さ 0.05mm の鋼帯が巻きつけられている。鋼帯の他の一端は、偏心の少いプーリを経て、直定規Bに固定されている。直定規Bは案内により支持され、精密に上下にスライドする。今、直定規Bを下方へ動かせば、その移動量だけ鋼帯が引張られ、精密円板は直定規Aの上をころがりながら右方へ移動する。

直定規B上には、サインバーがブロックゲージによりある角度傾いて取り付けられている。サインバーの傾斜面は、直定規Aに固定させているピンに接しているため、直定規Bが下方へ動けばサインバーの傾斜面は直定規Aを左方へ押しやることになる。そこで、サインバーの角度を適当に作れば、図1の場合と全く同じ運動を被測定歯車に与えてやることができる。

- 今、精密円板の直径 : D
- 被測定歯車の基礎円直径 : d_g
- 直定規Bの移動量 (鋼帯の移動量と等しい。) : y
- 直定規Aの移動量 : x
- 精密円板の中心位置の移動量 : w
- サインバーの傾斜角 : ϕ

とする。

図2の被測定歯車に、図1の場合と全く同じ運動をさせるには、次の式を満足させなければならない。

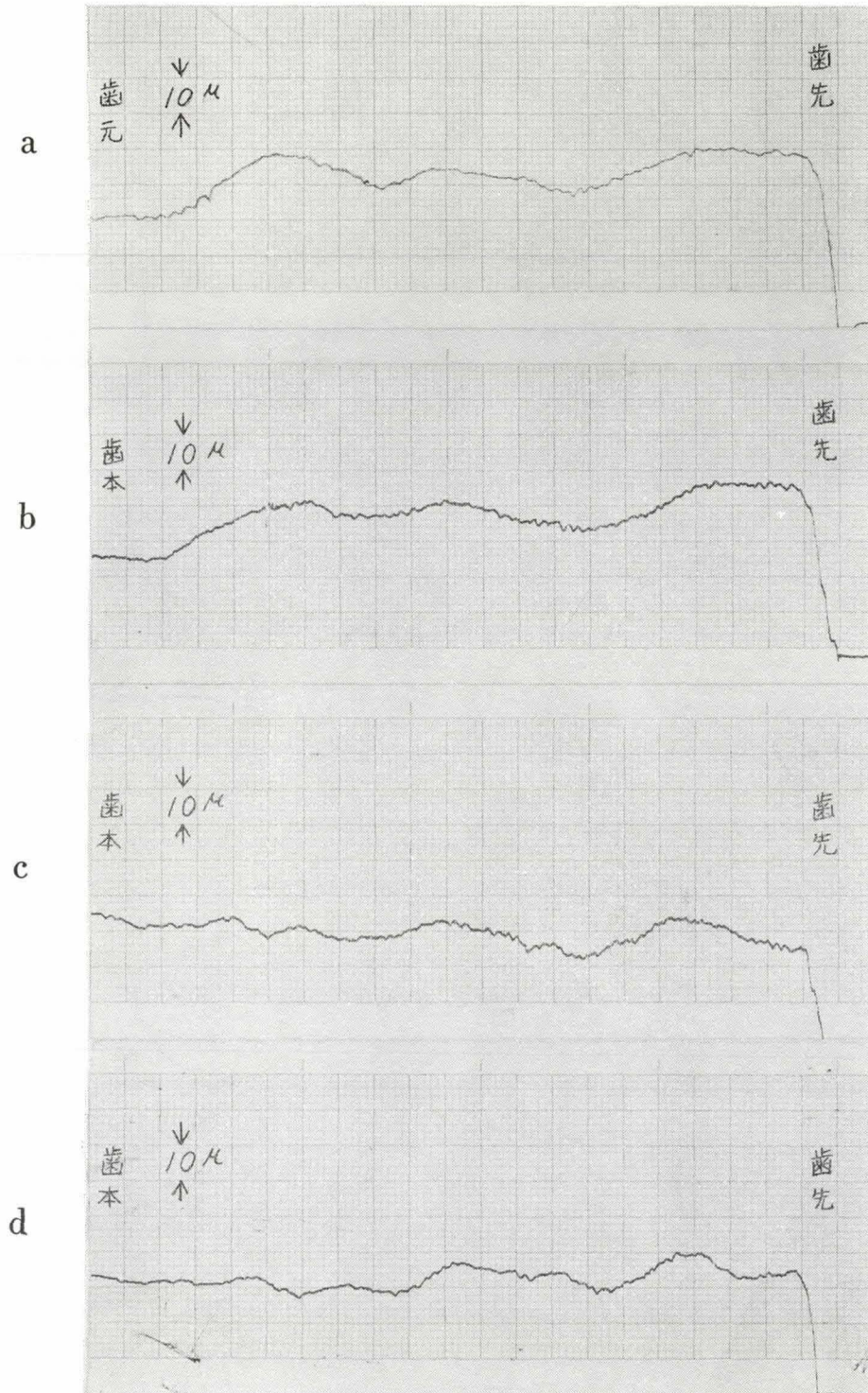


図 5 測定結果—歯形誤差記録線図
 被測定歯車 $m=3$ $z=30$ $\alpha_n=20^\circ$

3. 測定結果

図5は本装置を使用して得られた歯形誤差記録線図である。

被測定歯車は、 $m=3$ 、 $z=30$ 、 $\alpha_n=20^\circ$ のホブ切り歯車で、図5の測定結果で a 、 b 、 c 、 d はそれぞれ歯車中心に対して直角をなす4方向の位置にある歯面を測定したものである。

この記録された歯形誤差線図では、1目盛が 2μ に相当し、歯形のプロフィールの全ぼうを十分表わしているし、かつ歯面の細かな凹凸もある程度記録されていることがわかる。

ただ、本機構の欠点として、かみあい線の長さ（歯形誤差線図の横軸）の拡大率が、被測定歯車の基礎円直径の大小によって変わることがあげられる。拡大率は次のように計算される。

被測定歯車の中心の移動速度： u_1
 記録紙の送り速度： u_2
 直定規Bの速度： v とすれば、(1)式より

$$u_1 = \frac{dw}{dt} = \frac{d_g}{D+d_g} \cdot \frac{dy}{dt} = \frac{d_g}{D+d_g} \cdot v$$

ゆえにかみあい線の長さの拡大率 E は、

$$E = \frac{u_2}{u_1} = \frac{D+d_g}{d_g} \cdot \frac{u_2}{v} \quad (4)$$

本実験では、 $u_2=10\text{mm/sec}$
 $v=4.87\text{mm/sec}$

ゆえに(4)式より $E=6.18$

拡大率 E を一定にするため、 u_2 または v を無段に変速できるようにしておくのも、欠点を補う一方法であろう。

4. 誤差についての考察

4-1 直定規Bの真直度誤差による影響について

図6は直定規Bとサインバーを模型的にかいたものである。図を簡単にするため、直定規Bは直線BB、サインバーは三角形DEFで表わすことにする。直定規Bの案内面がその真直度誤差のため、運動の途中で θ だけ傾斜し、正しい位置BBに対して $B'B'$ の位置になったとする。当然サインバーも三角形DEFより三角形 $D'E'F'$ の位置に動く。直定規Aに固定してあるピンがP点で接触していれば理想であるが、 θ 傾斜したために P' で接触することになる。したがってこのとき直定規Aの送り誤差 Δx_1 は、次式で与えられる。

$$\Delta x_1 = OP \sin \theta \cdot \tan(\phi + \theta) = h \sin \theta \cdot \tan(\phi + \theta)$$

ここに θ は微小であるので、

$$\Delta x_1 \approx h \tan \phi \cdot \theta \quad (5)$$

上式より、誤差は直定規の案内面よりサインバーの傾斜面における接触点までの距離 h 、サインバーの傾斜角 ϕ の正切および直定規Bの真直度誤差 θ radに比例することがわかる。

本装置において θ を測定したところ

$$\theta = 4 \times 10^{-6} \text{rad}$$

であった。最悪の場合を考慮し、

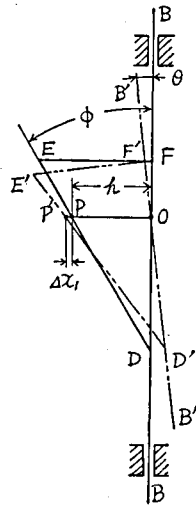
$$\phi = 45^\circ$$

$$h = 100 \text{mm}$$

としても、 $\Delta x_1 = 0.4 \mu$ で誤差としての影響は極めて小さいといえる。

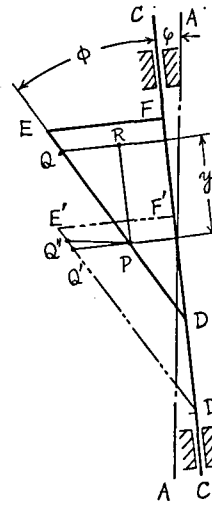
4-2 直定規Aと直定規Bとの直角度誤差による影響について

図7において、直定規Aに対して直角な方向をAAとし、実際に直定規



直定規Bの真直度誤差による影響

図 6



直定規Aと直定規Bとの直角度誤差による影響

図 7

Bを組立てた場合これと ϕ だけ傾斜してCCの方向に向いて作動するものとする。直定規Bが y だけ下方に移動すれば、サインバーの位置は三角形DEFが三角形D'E'F'に移動することになる。直定規Aに固定してあるピンは最初P点で接触している。直定規Bが y だけ動けばピンの接触点はQ'になる。したがって直定規Bの動きPQ'は次式となる。

$$PQ' = y \tan \phi \cdot \frac{\cos \phi}{\cos(\phi + \phi)} \approx y \tan \phi (1 + \tan \phi \cdot \phi) \tag{6}$$

ゆえに ϕ のために生ずる直定規Bの送り誤差を Δx_2 とすれば、

$$\Delta x_2 = PQ' - PQ \approx y \tan^2 \phi \cdot \phi \tag{7}$$

試作した装置で ϕ を測定したところ、

$$\phi = 1 \times 10^{-4} \text{rad}$$

$$y = 30 \text{mm}, \phi = 45^\circ \text{ とすれば,}$$

$$\Delta x_2 = 3 \mu$$

4-3 サインバーの傾斜角誤差による影響について

サインバーの傾斜角誤差を $\Delta \phi$ 、そのために生ずる直定規Aの送り誤差を Δx_3 とすれば、(6)式を ϕ で微分し $\Delta \phi$ を乗じて次式を得る。

$$\begin{aligned} \Delta x_3 &= y \sec^3 \phi (1 + 2 \tan \phi \cdot \tan \phi) \Delta \phi \\ &\approx y \sec^2 \phi \cdot \Delta \phi \end{aligned} \tag{8}$$

(8)式より Δx_3 は ϕ が大となる程増加する。また $\Delta \phi$ 自身も ϕ が大となる程大きくなるので、 Δx_3 はますます大きくなる可能性がある。

いま、仮りに $\Delta \phi = 5 \times 10^{-5} \text{rad}$ $\phi = 45^\circ$ $y = 30 \text{mm}$ とすれば、

$$\Delta x_3 = 3 \mu \text{ となる。}$$

4-4 装置の総合誤差

本装置に生ずる誤差の原因として、4-1~4-3まで検討してきた。その他の原因としては、直定規と精密円板との転動のスリップ、精密円板の工作誤差、測定子位置の誤差等があげられるが、いずれも測定誤差に与える影響は十分小さいので省略する。したがって直定規Aの送り誤差 Δx は、

$$\Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3$$

ただし4-1で検討したように、 Δx_1 は十分小さいのでこれを無視すれば、

$$\Delta x \doteq \Delta x_2 + \Delta x_3 = y(\tan^2\phi \cdot \varphi + \sec^2\phi \cdot \Delta\phi) \tag{9}$$

Δx は直定規Aの送り誤差であるが、測定子の歯面に接している位置での誤差を ε とすれば、

$$\varepsilon = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{d_g}{D}\right)\Delta x = \frac{1}{2}y\left(1 + \frac{d_g}{D}\right)(\tan^2\phi \cdot \varphi + \sec^2\phi \Delta\phi) \tag{10}$$

これが本機構に生ずる誤差であるが、被測定歯車の大小によって生ずる誤差が変化する。そして、 d_g が小さい方が誤差は大きい。仮に $d_g=0$ とすれば、 $\phi=45^\circ$ で、 ε は最大となり、

$$\varepsilon_{max} = \frac{1}{2}y(\varphi + 2\Delta\phi) \tag{11}$$

4-2, 4-3で検討したように、 $\phi=45^\circ$ のとき、本装置に生ずる誤差は、 $\Delta x_2=3\mu$, $\Delta x_3=3\mu$ であるので、 $\varepsilon_{max}=3\mu$ となる。

このことを確かめるために、次のような実験を行なった。 $\phi=45^\circ$ にセットし、直定規Bを下方に送り歯車の中心軸の動きを最小目盛 1μ のインジケータで測定した。その結果を図8に示す。これによれば $\varepsilon_{max}=1.5\mu$ であり、本装置の歯形誤差測定の精度は十分高いことがわかる。

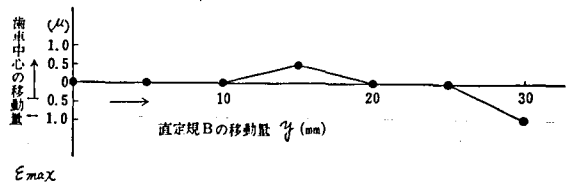


図8 $\phi=45^\circ$ の場合、直定規Bの動きに対する歯車中心の移動量

5. 結 言

以上のことをまとめると、

- (1) 本機構により、精密円板直径より小さい基礎円直径をもつ任意の歯車の歯形誤差を測定することができる。
- (2) 電気マイクロメータとレコーダの併用により、歯形誤差記録線図をかかせることができる。
- (3) かみあい線の長さ(歯形誤差記録線図の横軸)の拡大率は、被測定歯車の基礎円直径によって変り、(4)式によって計算できる。
- (4) 本装置で測定する際に生ずる誤差の主な原因は、直定規Aと直定規Bとの直角度誤差およびサインバーの傾斜角誤差である。測定結果の誤差は(10)式で与えられる。
- (5) 基礎円直径 d_g が小さい程、同じ値の y に対して誤差は大となる。試作した装置で $d_g=0$ の場合、 $y=30\text{mm}$ の範囲で測定値に与える誤差は 1.5μ であり、十分小さいことを確かめた。

おわりに本装置の試作には、本校機械工学科齊藤光邦講師はじめ機械工場の方方を煩わせたこと、また試作から実験に至るまで市川和男君に並ならぬ御努力を願ったことを付記し、感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 仙波：歯車第2巻
- (2) 会田：歯車便覧
- (3) 小熊：日本機械学会誌，69—566（昭41—3），299