研 究

親ねじを用いる歯形測定機*

内 山 弘** 石 川 二 郎**

Involute Checker with Permanent Base Disk and
Two Precision Screws

Hiroshi UCHIYAMA, Jiro ISHIKAWA

The tester reported in this paper employs the permanent base-circle disk method and is designed for fine pitch gears. In making the linear travel of the feeler carrier equal to the circular travel at the base circle of the measured gear, the feeler carrier is linearly moved by a precision screw. The straight edge which rolls on the base-circle disk is separated from the feeler carrier and is driven by another precision screw. A gear train connects these precision screws having a speed ratio of d_g/D_s where d_g is the base diameter of the work gear and D_s is the diameter of permanent base disk.

The deviations from the true involute are registered by an electrical recording system. Some of fine pitch gears are measured by this tester.

1. 緒 言

モジュール $m=2\sim5$ 程度の一般工作機械用あるいは自動車用歯車のようないわゆる中形歯車を対象とした歯形測定機は多数製作され実用に供されている¹⁾。また歯数200枚以上、直径5mにもおよぶ船用減速大歯車のような大形歯車についてはきわめて簡単な測定法が考案され²⁾、高精度の測定機³⁾が製作されている。しかしながら $m=1$ 以下の計測器用歯車および船用減速小歯車、車輛用歯車 ($m=5\sim15$, 歯数200枚以下、直径0.5~1m程度)を対象とした歯形測定機ははなはだ少ない⁴⁾ というのが現状である。

最近筆者らは比較的モジュールの小さい歯車を対象とした2個の精密ねじを用いる基礎円調節式歯形測定法を考案し⁵⁾、基礎実験を行なった結果、ほぼ予期した成果が得られた。基礎円調節式とするための機構として従来種々の機構が採用されてきたが、高精度の運動が要求されるために精密な工作を必要とする部品が多く、問題となる場合も多い。ここに考案した方法は、精密な2個の親ねじを使用するのみで構造簡単であり、したがって測定機の誤差の原因を検討することも容易であるなどの特長がある。

2. 測定原理

昨今の工作技術の進歩はめざましく、主要な機械要素

*原稿受付 昭和43年9月30日。仙台地方講演会(昭和39年11月14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)

の一つであるねじもきわめて高精度のものが製作されるようになった。本測定法は高精度のねじを歯形測定機に使用するもので、その原理を図1に示す。基準円板 W_1 と同軸上に被測定歯車 W_2 を取付ける。直定規 E は精密ねじ S_1 により送りが与えられ、これにおしつけられた基準円板(直径 D_s)を回転する。一方基準円板と同角度回転する被測定歯車の基礎円(直径 d_g)接線にあたる位置には測定子 F が設定されていて、この測定子をのせている測定子台はもう一つの精密ねじ S_2 により送りが与えられる。歯形測定のためにはそれらの間に

$$l_1 = \phi \cdot \frac{D_s}{2} \quad l_2 = \phi \cdot \frac{d_g}{2} \quad (a)$$

図1 測定原理

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{d_g}{D_s} \quad (b)$$

の関係が必要である。ここで 2 個のねじのリードをいずれも p とし、回転角をそれぞれ φ_1, φ_2 とすると

$$l_1 = p \cdot \frac{\varphi_1}{2\pi} \quad l_2 = p \cdot \frac{\varphi_2}{2\pi} \quad (c)$$

式 (c) を式 (b) に代入して

$$\frac{d_g}{D_s} = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \quad (1)$$

そこでねじ S_1 と S_2 を、被測定歯車の基礎円の大きさにしたがって、式 (1) に示される回転角の関係を満足するように連結してやれば、測定子は被測定歯車の基礎円から創成されるインボリュート曲線上をたどることになり、歯形誤差は測定子の振れとして検出される。ここで 2 個のねじを換え歯車を用いて連結することにし、換え歯車 G_1, G_2 の歯数を z_1, z_2 とすると式 (1) は次のようになる。

$$\frac{d_g}{D_s} = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} = \frac{z_1}{z_2} \quad (2)$$

そこで基準円板の直径をある整数 D_0 に $\cos \alpha_0$ (α_0 は歯車の基準圧力角で 20° あるいは 14.5°) を乗じた $D_s = D_0 \cos \alpha_0$ のように選ぶことにすると、被測定歯車のピッチ円直径を d_0 として

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{d_g}{D_s} = \frac{d_0 \cos \alpha_0}{D_0 \cos \alpha_0} = \frac{d_0}{D_0}$$

となり換え歯車の歯数の選定が容易である。ただし被測定歯車の基準圧力角 α_0 には、JIS に規定されている 20° と以前から引続いて用いられている 14.5° の 2 種が現在使用されているので、ただ 1 枚の基準円板でこれらすべての歯車を測定するための換え歯車について検討する。換え歯車の変速比を i とし、基準円板の直径を $D_s = D_0 \cos 20^\circ$ に選ぶことにすると

- i) 被測定歯車のピッチ円直径 d_0 、圧力角 $\alpha_0 = 20^\circ$ のとき

$$i = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} = \frac{d_0 \cos 20^\circ}{D_0 \cos 20^\circ} = \frac{d_0}{D_0} \quad (3)$$

- ii) 被測定歯車のピッチ円直径 d_0 、圧力角 $\alpha_0 = 14.5^\circ$ のとき

$$i = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} = \frac{d_0 \cos 14.5^\circ}{D_0 \cos 20^\circ} = 1.03028120 \cdot \frac{d_0}{D_0}$$

歯数比 $34/33 = 1.03030303$ であるので上式に代入して

$$i = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} = \left(\frac{34}{33} - 0.00002183 \right) \cdot \frac{d_0}{D_0}$$

変形して

$$\varphi_2 = \varphi_1 \cdot \frac{34}{33} \cdot \frac{d_0}{D_0} - 0.00002183 \cdot \varphi_1 \cdot \frac{d_0}{D_0}$$

図 2 歯数比 34/33 の換え歯車使用による測定誤差

測定にあたっては上式の右辺第 1 項の関係をを用いることになるので、 φ_1 の回転角に対して φ_2 には次の誤差が生じることになる。

$$\Delta \varphi_2 = 0.00002183 \cdot \varphi_1 \cdot \frac{d_0}{D_0}$$

式 (a), (c) の関係を用いて整理すると

$$\Delta \varphi_2 = 0.00002183 \cdot \phi \cdot D_s \cdot \frac{\pi}{p} \cdot \frac{d_0}{D_0}$$

また $\Delta l_2 = \Delta \varphi_2 \cdot p / 2\pi$ であるから回転角誤差 $\Delta \varphi_2$ に対するねじ S_2 の進み量 (この値が測定誤差になる) は

$$\Delta l_2 = 0.00002183 \cdot \phi \cdot \frac{d_0}{D_0} \cdot \frac{D_s}{2}$$

図 2 はこの関係をグラフにしたものである。たとえばピッチ円直径 $d_0 = 50$ ($m=2, z=25, \alpha_0=20^\circ$) の歯車では $\phi \approx 31^\circ$ で 1 歯形の測定が完了するがこのとき図から $\Delta l_2 \approx 0.28 \mu$ となり、実用上無視しうる値である。したがって i をもとめるには歯数比 34/33 の歯車を用い次式によればよい。

$$i = \frac{34}{33} \cdot \frac{d_0}{D_0} \quad (4)$$

それ故に本測定法によればただ 1 枚の基準円板を換え歯車を用いて調整することにより被測定歯車の基礎円に等しい円板をいちいち用意することなく歯形の測定が可能である。また圧力角 $20^\circ, 14.5^\circ$ 用の 2 枚の基準円板を用意することにすれば 34/33 の歯車は不要になる。

3. 測定誤差の検討

$\Delta l_1, \Delta l_2$ をねじ S_1, S_2 の誤差、 $\Delta l_3, \Delta l_4$ をねじ S_1, S_2 が傾いて取付けられたための誤差、 Δ を換え歯車の回転角誤差、 D を基準円板の径の誤差による被測定歯車の回転誤差、 f_p を被測定歯車の歯形誤差とすると、本測定法の全ブロック線図として図 3 が得られ、測定子の振れ

図 3 本測定法のブロック線図

図 4 ねじの累積リード誤差

F_f は次式であらわされる.

$$F_f = \frac{p\varphi_1}{2\pi} \cdot \left(-\frac{d_g}{D_s} - i \right) + \left(\Delta l_1 \cdot \frac{d_g}{D_s} - \Delta l_2 \right) - \Delta \cdot \frac{p}{2\pi} + \left(\Delta l_3 \cdot \frac{d_g}{D_s} - \Delta l_4 \right) + D \cdot \frac{d_g}{2} + f_p \quad (5)$$

ここでは歯形誤差の測定が目的なので $F_f = f_p$ であることが望ましい, そこで式(5)右辺各項の大きさについて検討する.

(1) 第1項について 前章に述べたごとく被測定歯車の基礎円径と基準円板の径の比に等しい歯数比の換え歯車を用いれば明らかに消去される. また式(4)によるような場合でも, 図2に示したごとくきわめて小さな値である.

(2) 第2項について ねじの累積リード誤差を次式のように仮定する.

$$\Delta l_i = k_1 \varphi_i + k_2 \sin \varphi_i \quad (6)$$

ここでは φ_i ねじの回転角でねじの進み量を l_i , ピッチを p とすると $\varphi_i = l_i \cdot 2\pi/p$ である. 式(6)の右辺第2項はリードのよろめきを示す項であり, この誤差は一般にきわめて小さく, その上適当な取付方法によれば除去も可能である⁹⁾. また後で述べるように, 取付偏心のある換え歯車でねじを駆動すると, 1リードを1周期とするよろめきを生ずることになるが, その値は非常に小さく無視できる. したがってここではざん進性の累積リード誤差のみについて考える. 式(6)から

$$\Delta \varphi_i = k_1 \varphi_i = k_1 l_i \cdot \frac{2\pi}{p} = k l_i \quad (7)$$

そこでまずねじ S_1 と S_2 に図4に示すような同じ大きさと符号の誤差があると $\Delta l_2 = \Delta l_1 \cdot l_2/l_1 = \Delta l_1 \cdot d_g/D_s$ の関係があるのでこの項は消去される. またねじ S_1 のみに誤差のあるときにはこの項は $\Delta l_1 \cdot d_g/D_s$ になり, $d_g = D_s$ のときねじの誤差 Δl_1 がそのまま残り, $d_g < D_s$ のときにはその比に縮小される. またねじ S_2 のみに誤差のあるときには d_g, D_s の大きさに関係なく Δl_2 になる. 以上の検討からねじの誤差は, 共に同じ大きさと符号であることが望ましい.

(3) 第3項について 2個の換え歯車を媒介歯車を介

図 5 換え歯車のかみあい状態

して直接連結する場合の歯車の誤差について検討する. 簡単のために歯車3個の場合について考える. 歯車のかみあい状態は図5に示すように, 媒介歯車 G_3 (歯数 z_3) を駆動車として, ねじ S_1 に取付けた歯車 G_1 (歯数 z_1) とねじ S_2 に取付けた歯車 G_2 (歯数 z_2) を同時に回転するものとする. G_1 歯車の有する累積ピッチ誤差 (ピッチ円上の角度で表示) を $\Delta \omega_1$ とし, G_2, G_3 歯車のそれをおのおの $\Delta \omega_2, \Delta \varphi$ とすると G_1 および G_2 歯車の回転角誤差 $\Delta l_1, \Delta l_2$ は

$$\Delta l_1 = \Delta \omega_1 + \Delta \varphi \cdot \frac{z_3}{z_1}, \quad \Delta l_2 = \Delta \omega_2 + \Delta \varphi \cdot \frac{z_3}{z_2} \quad (8)$$

ここで各歯車の累積ピッチ誤差を取付偏心によるものと仮定し, 偏心量をそれぞれ e_1, e_2, e_3 とし, 偏心の位相角をそれぞれ ξ_1, ξ_2, ξ_3 とすると

$$\Delta \omega_1 = \sin(\varphi_1 + \xi_1) \sec \alpha_0 \cdot \frac{2e_1}{mz_1}$$

$$\Delta \omega_2 = \sin(\varphi_2 + \xi_2) \sec \alpha_0 \cdot \frac{2e_2}{mz_2}$$

$$\Delta \varphi = \sin(\varphi + \xi_3) \sec \alpha_0 \cdot \frac{2e_3}{mz_3}$$

とあらわすことができる. 図5のように歯車 G_1 と G_2 との間に角 θ の位相のずれがあることを考慮して (8) 式を整理すると

$$\left. \begin{aligned} \Delta_1 &= 2\{e_3 \sin(\varphi + \xi_3) + e_1 \sin(\varphi_1 + \xi_1)\} \frac{\sec \alpha_0}{mz_1} \\ \Delta_2 &= 2\{e_3 \sin(\varphi + \xi_3 + \theta) + e_2 \sin(\varphi_2 + \xi_2)\} \frac{\sec \alpha_0}{mz_2} \end{aligned} \right\} (9)$$

一例として $e_1=50\mu$, $e_2=10\mu$, $e_3=10\mu$ で $m=0.5$, $z_1=z_2=240$, $\alpha_0=20^\circ$ の換え歯車について近似的に各値の最大値をとって計算すると $\Delta_1=0.0021 \text{ rad} \approx 7'$, $\Delta_2=0.0008 \text{ rad} \approx 2.5'$ となる. この値を用いてリード $p=1 \text{ mm}$ のねじの場合についてこの項を計算すると最大に見積って 0.9μ となる. 一般には偏心量をもっと小さくできるのでこの値は十分小さくすることができる.

(4) 第4項について ねじが正規の方向から角 γ 傾いて取付けられたとき, 移動量 l に対しておよそ $l\gamma^2/2$ の誤差を生じるが γ を $10'$ 以内にとどめればその値は $l=100 \text{ mm}$ に対して 0.5μ 以下であり, したがってこの項はきわめて小さい値になる.

(5) 第5項について 基準円板の直径に ΔD_s の誤差があるとき D は $-\Delta D_s \cdot 2l_1/D_s^2$ であり, たとえば $D_s=60$, $l_1=6$, $d_g=30$, $\Delta D_s=-0.01$ (各 mm) のときこの項は

図6 基礎実験装置

0.5μ になる.

以上の検討により, 2個のねじの選択に注意すれば F_f と f_p の差を十分小さくすることができ実用上十分な精度で歯形を測定することができる.

4. 基礎実験

以上述べたことがらを確認するために基礎実験を行った. 実験に使用した装置は, 中形歯車用の歯形試験機 (浜井-5LD型) に付属品を取付けたもので, 全体の写真を図6に示す. 2個の精密送りねじとしてマイクロメータヘッド (TESA, 測定範囲 25 mm , リード $p=1 \text{ mm}$, 最小目盛 1μ) を使用し, 測定子には差動変圧型検出器 (東京精密デルタミニコム EDT-LB) を使用した. マイクロメータヘッドの精度測定は万能測長機 (Carl Zeiss UHM) で行ない, その結果は図7に示すように2個のねじ共にリードのよろめきは認められず, 同傾向のざん進性累積リード誤差が認められるのみである. 2個のねじはマイクロメータヘッドのつまみ部分にアルミニウム製換え歯車を取付け, 図5のように連結された. そこでまず同諸元の換え歯車 G_1, G_2 ($m=0.5$, $z_1=z_2=240$, $\alpha_0=20^\circ$) に偏心量 $e_1=50\mu$, $e_2=10\mu$, 媒介歯車 G_3 ($m=0.5$, $z_3=80$, $\alpha_0=20^\circ$) に $e_3=10\mu$ を与えて, 図8(a)に示す方法で作動試験を行なった. その結果が同図(b)であり, 前章で検討したごとく換え歯車の偏心誤差およびねじの誤差の影響は認められない. つぎに, $m=3$, $z=13$, $\alpha_0=20^\circ$, 転位係数 $x=0.31$ の平歯車の歯形を従来の基礎円板方式と本法により測定した. 図9がその結果である. 本法の測定手順を述べると使用の基準円板は, $D_s=58.5 \cos 20^\circ=54.972$ であり, 被測定歯車の基礎円直径は $d_g=36.648$ であるから $i=d_g/D_s=2/3$ になり, 換え歯車の歯数を $z_1=160$, $z_2=240$ に選ぶ. つぎに直定規端面と測定子先端の間隔を図10に示すように, $D_a=(D_s-d_g)/2$

図7 マイクロメータヘッドの精度測定結果

図 8 作動精度試験法と試験結果

図 11 小形歯車用歯形測定器

図 9 従来機と本法による測定結果

=9.162 に定める。さて図 9 (a) は従来機によるもの、(b) は本法によるもので、従来機の測定子が円すい形、本法の測定子が 3ϕ の玉形であるため、細かい凹凸に多少の相違のあることを除けば 2 者はきわめてよく一致している。また同図 (b) に見られるごとく、測定値の再現性も良好である。

5. 小形歯車用測定機と測定結果

基礎実験において満足すべき結果が得られたので、図 11 に示す小形歯車用の測定装置が製作された。ねじおよび誤差検出用の測定子は、基礎実験において用いたものと同じである。ただし測定子先端は、小形歯車用に加工した図 12 に示すものと取替えてある。また測定圧はおよそ 25g である。基準円板は被測定歯車の圧力角 20° および 14.5° 用に $D_{s1}=60 \cos 20^\circ=56.380$, $D_{s2}=60 \cos 14.5^\circ=58.090$ の 2 枚用意してある。この装置は図 11 に見られるように基準円板を直定規に対して、2 個の玉軸

図 10 測定子設定位置

図 12 測定子先端形状

図 13 中形基礎円調節式試験機と本測定器による測定結果

図14 歯形測定例

受を介して後方より直接押しつける方法を用いているので、回転軸に無理な力が働かない。

図13は本測定機および中形歯車用の基礎円調節式歯形試験機（大阪精密 GC-4 H 型）による歯形測定結果であり、(a), (b) 両図とも上が従来機（測定子は円すい形）、下が本測定機によるもので2者はかなりよく一致している。図14は本測定機により円周上約90°おきに測定した種々の小形歯車の歯形測定例であり、(a) はサーボモーター用歯車、(b), (c) は一般の市販歯車である。

6. 結 言

2個の精密ねじと換え歯車を用いて、基礎円を調節する

方式の歯形測定法およびそれに基づいて製作した小形歯車用歯形測定機について述べた。これまでの基礎円調節方式の試験機では、各部に非常に高精度を要するのに比し、ここに述べた方法による測定機は構造がきわめて簡単であり、換え歯車の精度は低くてよく、取扱いも容易であるなどの特長があることがわかった。

おわりに協力いただいた浜井産業中川五郎、田中義一両氏、有益な助言をいただいた東京工大精密工学研究所富井正男氏に感謝申上げる。

文 献

- 1) 歯車精度専門委員会：歯車に関する検査機器の調査報告，精密機械，27 (1961) 41.
- 2) 会田俊夫，寺内喜男，平松 誠：大形歯車用簡易歯形検査機について，精密機械，20 (1954) 258.
- 3) 石川二郎，林 輝：大型歯車の精度測定について，精密機械，29 (1963) 35.
- 4) 小熊辰照，鈴木充男：超小型の歯車の歯形測定法，応用機械工学，5 (1964) 119，歯車便覧編集委員会，歯車便覧，日刊工業新聞社 (1962) 1077，斎藤 博，石川二郎，林輝：円弧基準式歯形検査機の製作（小歯数歯車用），日本機械学会北陸信越支部講演論文集 No. 1 (1967-5) 44.
- 5) 特許第 512780 号
- 6) 山本 晃，倭 周蔵，伊佐正司，川村長治，熊谷一郎：自動記録式親ねじリード測定器の研究と試作，精密機械，28 (1962) 698.