803 波動歯車装置の同時かみあい歯における荷重分布の測定法

Measuring Method of Load Distribution of Strain Wave Gearing in Simultaneous Meshing Teeth

○正 杉本 信行 (宇部高専)
正 清沢 芳秀 (ハーモニック)

正 専徳 博文 (山口大)
正 張 新月 (ハーモニック)

Nobuyuki SUGIMOTO, Ube National College of Technology, 2-14-1, Tokiwadai, Ube, Yamaguchi

Hirohumi SENTOKU, Yamaguchi University, 2-16-1, Tokiwadai, Ube, Yamaguchi

Yoshihide KIYOSAWA, Harmonic Drive Systems Inc., Hotaka, Minamiazumi, Nagano

Xin-Yue ZHANG, Harmonic Drive Systems Inc., Hotaka, Minamiazumi, Nagano

Key words : Gear, Strain Wave Gearing, Simultaneous Meshing Teeth, Load Distribution, Measurement

1. 緒 言

波動歯車装置は薄肉で柔軟な外歯車を変形させながら内歯車と強制的にかみあわせるので、同時かみあい歯数が多く、その分モジュールを小さくできるという、強度面における大きな特徴がある。しかし、波動歯車装置の同時かみあい歯数の実態に関する研究としては、幾何学的なかみあいシミュレーションから求めた筆者らの研究⁽¹⁾がある程度で、実験や実測に基づいた報告は見あたらない。これは、波動歯車装置のモジュールがあまりにも小さいため、歯元にひずみゲージを貼るといったこれまでの測定手法が適用できないためと思われる。

そこで本研究では、小モジュール歯車を有する波動歯車装置を対象として、そのかみあい歯面における歯面荷重の大きさや分布状態が実測できる新たな測定方法を考案したので、その測定方法や検証結果について報告する。

2. 提案する歯面荷重の測定方法

2・1 供試波動歯車装置の諸元 歯面荷重を測定しようとする波動歯車装置は、もっとも一般的なカップ型で、高速軸側からみたモデルを図1に、また主な歯車諸元を表1に示す。通常、ウエーブジェネレータ(WG)のだ円カム軸を高速軸、薄肉カップの開口部側外周に歯切りされたフレキシブルスプライン(FS)を低速軸、厚肉内歯車のサー

Fig. 1 Model figure of strain wave gearing

Table 1 Specifications of strain wave gearing

Reduction ratio	128	
Output torque	370 N·m	
Tooth profile	Involute	
Type of gear	Spur gear	
Module	0.397	
Pressure angle	30°	
Number of teeth	Flexible spline	256
	Circular spline	258

キュラスプライン(CS)を固定した減速機として使用される。

2・2 測定原理 ここで提案する歯面荷重の測定には、センサとしてひずみゲージを用いる。しかし、それを歯元に貼ることはできないので、図2に示すように、歯切り前のCS母材の円環部外周から半径方向内側へ埋め込んだピンAの胴部に貼り付ける。このひずみ検出ピンは、呼び径φ5、勾配1/50のテーパピンで、CSを歯切りするとひずみ検出ピンの端面にも歯が生成されることになる。

このような特殊CSを歯切りした後、このひずみ検出ピンをCSから取り出し、ピンの端面に歯切りされた数枚の歯のうち、中央付近の1枚の歯のみを残して、他の歯のすべてを削り落とした後、元の位置に戻す。このとき、ひずみ検出ピンの脱着による位置決め再現性を図るために、図2に示すCS円環部の横から打ち込んだ2本のテーパピンBが、ひずみ検出ピンAの胴部のくぼみに圧入されるようになっている。

図3(a)は1枚の歯のみになったひずみ検出ピンをCSに埋め込んだ状態の断面モデル、また図3(b)は実際のひずみ検出ピンの写真である。ひずみ検出ピンのX-X断面は正方形に加工されており、各面にゲージ長0.3mmのひずみゲージを1枚ずつ、計4枚貼り付けている。これらのひずみゲージのリード線は、ひずみ検出ピン胴部に加工した側溝に沿って、CSの外部に取り出している。

Fig. 2 Process of production of special CS

(a) Model Figure

(b) Photograph

Fig. 3 Strain detection pin

図3(a)において、ひずみ検出ピンの端面の歯がFSの歯とかみあい、歯面荷重Wを受けると、Wの円周方向成分の力により、①と③のひずみゲージによる2ゲージ法で曲げひずみが、またWの半径方向成分の力により、②とその背面にある④のひずみゲージによる2ゲージ法で圧縮ひずみが同時計測できるようになっている。

3. 本測定法の検証と考察

図4に示すような負荷試験装置を用いて、低速軸に取り付けられたアームの先端におもりを吊り下げ、高速軸を一歯分のかみあい角度回転させていく都度、ひずみ検出ピンから出力される圧縮ひずみと曲げひずみの同時測定を行った。

図5は測定した圧縮ひずみ分布の一例で、横軸にCSの

Fig. 4 Model figure of load test equipment

Fig. 5 Measurement result of compressive strain

Fig. 6 Measurement result of flexural strain

歯番号、縦軸に圧縮ひずみを取り、両者の関係を示している。ここで、横軸にとったCSの歯番号0の歯とは、WGの長軸上にある歯のことで、負の歯番号は長軸が通過する前、正の歯番号は長軸が通過した後の歯を意味する。すなわち、図5は長軸が通過する前の50枚の歯と、長軸が通過した後の80枚の歯に生じる圧縮ひずみの分布を表している。同様に、図6は曲げひずみの測定結果例であり、図5、図6ともに、200N・mの負荷トルクを与えた場合について示した。

測定されたひずみの最大値は、図5に示した圧縮ひずみの場合で20 μ ひずみ程度、図6に示した曲げひずみでは70 μ ひずみ程度とあまり大きくはないものの、その分布を考察するには十分であり、また複数回の測定に対しても再現性のある結果が得られることを確認した。

ひずみの分布状態は、図5に示した圧縮ひずみの場合では、長軸が通過する前の歯番号-10付近の歯から徐々に大きくなり、長軸が通過した直後の歯番号1の歯で最大となっている。その後、歯番号10の歯付近ではほぼ0となり、長軸付近の歯を中心として、長軸の通過前と通過後の歯に生じるひずみの分布の形がほぼ対称となることが伺える。

ところが、図6の曲げひずみの場合では、長軸が通過する前の歯である歯番号-10付近の歯から-2の歯の間で一旦-の曲げひずみが生じ、その後+の曲げひずみが急激に増加して歯番号3の歯で最大ひずみが発生するといった奇妙な現象が伺える。

-の曲げひずみとは、本来外部負荷によるかみあい歯面に生じる歯面荷重とは逆向きの力、すなわち背歯面にも荷重が作用していることを意味する。反対向きの負荷トルクを与えた場合の測定からも同様な傾向が得られたことから、-のひずみが生じる理由がひずみ検出ピンの取付け誤差によるものではない。考えられる理由としては、長軸付近のFSはWGのだ円カムにより変形曲率がもっとも大きく変化するところで、そのためFSの歯の隣接ピッチが大きく異なって両歯面のかみあいが生じるためと推察される。この両歯面のかみあいの存在が、波動歯車装置のバックラッシを小さくすることに大きく貢献しているものと思われる。

なお、背歯面からの歯面荷重がひずみ検出ピンの歯に作用しても圧縮ひずみは生じるので、図5には両歯面かみあいによる圧縮ひずみも含んでいることになる。したがって、図6に示した曲げひずみの+のひずみが生じている歯に着目し、同時かみあい歯数について考察すると、かみあいに属する歯は歯番号-3から+13の歯の17枚程度であると言える。また、長軸が通過する前の歯より、長軸が通過した後の歯の方が多くかみあいに属していることが考察されるが、これは負荷によってFS開口部が半径方向外側へふくらむような変形^②をするためと思われる。

今後、圧縮ひずみや曲げひずみと歯面荷重の関係を明らかにしていく予定である。

4. 結 言

- ① 小モジュール歯車を有する波動歯車装置に対し、歯面荷重の大きさや分布状態が実測できる新たな測定方法を提案し、その有効性を示した。
- ② 波動歯車装置には、両歯面のかみあいが存在する。

参考文献

- (1) 杉本・他4名, 機論, 58-551, C(1992), 2232.
- (2) 杉本・他5名, 機論, 56-530, C(1990), 2732.