ノート

波動歯車方式による低減速比・大型・精密減速機の開発

山田　昭博*　須貝　裕之**　福田　拓哉**　近　正道***　丸山　英樹*　田辺　寛****
渡邉　将幸*****　今川　豊*****

Development of Low Reduction Ratio, Large Size, Precision Reduction Gear Using Wave Gear System

YAMADA Akihiro*, SUGAI Hiroyuki**, FUKUDA Takuya**, CHIKA Masamichi***, MARUYAMA Hideki*,
TANABE Hiroshi****, WATANABE Masayuki***** and IMAGAWA Yutaka*****

1.　緒　　言

生産性向上には産業用ロボットの活用が必要であり，その需要は今後も増大すると予想されている。波動歯車減速機（図 1）は，フレックスギアと呼ばれる変形する歯車により，小型軽量でありながら大きな減速比を得られることや，回転伝達精度が良いことなどから産業用ロボットの関節駆動機構に使用されている。

本研究では，このような優れた特徴をもつ波動歯車減速機の適用分野を広げるため，大型・低減速比化を実現する新しい構造の減速機の開発を行った。波動歯車は原理上，減速比を小さくするためにはフレックスギア部分をより大きく変形させる必要がある。しかし，金属製の薄い円筒形状のフレックスギアでは変形を弾性範囲内におさえる必要があるため，これを超える大変形に対応できない。そこで，フレックスギアをチェーンのようなリンクギアに置き換えた方式を考案した（図 2）。ただし，この方式ではリンクギアを支持するフレックスベアリングが大きく弾性変形する。そこで本報ではフレックスベアリングに作用する応力についてコンピューターシミュレーション(CAE)を用いて解析を行い，減速機開発の基礎資料とした。

* 研究開発センター
　レーザー・ナノテク研究室
** 中越技術支援センター
*** 上越技術支援センター
**** 研究開発センター
***** SKG(株)

図 1　波動歯車減速機(現行機)

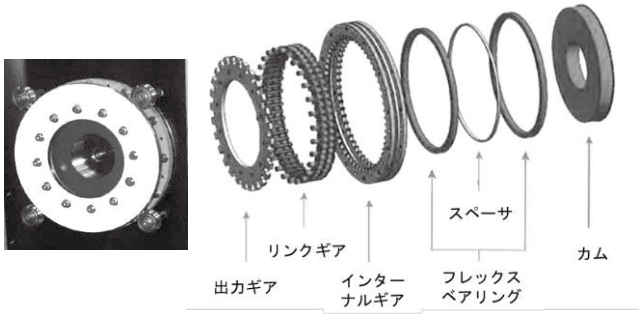

図 2　波動歯車減速機(新方式)

2.　CAE によるフレックスベアリングの評価

2.1　解析モデル形状及び計算方法

新規減速機の仕様として，外径を 160mm，減速比 1/20 を目標として開発を進めることとした。フレックスベアリングについては外径 107mm として設計した。なお，詳細寸法等はノウハウに関わるため非公開とする。転動体はローラーを用いたベアリングとし，解析に用いたモデル形状およびメッシュ形状を図 3 に示す [1)]。解析時間を短縮するため，ベアリングの上半分を解析対象とし，軸に直角な断面で半割として計算を行った。併せて，転動体にボールを用いたベアリングについても，比較のため同様に計算を行

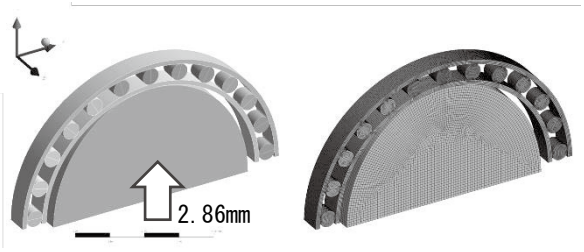

図 3　計算に用いたモデル形状（左）とメッシュ形状（右）

った。計算には Ansys Workbench2022R1 を用いた。

本モデルを用いて，初期状態で円形状の内輪に 1/20 の減速比となるように楕円形状のカムを 2.86mm 上部方向へ押し込んで変形させた（図 3 左図の矢印方向）。計算において，ベアリング切断面は上下方向への移動を拘束するとともに，ローラー等転動体と内外輪の摩擦係数は 0 に設定した。

2.2　解析結果

図 4 に対称面（中央断面）から見たローラーベアリング全体の変形前後の形状と相当応力分布を，図 5 に最大主応力分布を示す。内輪・外輪の長・短半径付近に高い応力が生じているのがわかる。特に内輪の長半径側の応力が最も高い。また，長・短半径の中間位置の応力は小さい。これは初期の正円形状からの曲率の変化によるものと考えられる。

図 4　ベアリング全体の変形前後の形状と相当応力分布

図 5　ベアリング内外輪の最大主応力分布

図 6 にローラーベアリングとボールベアリングの相当応力分布を示す。見やすくするため，転動体は非表示にしている。図には示さないが，転動体の形状の違いで接触部付近にわずかな違いはあるものの，全体的に概ね同じ応力分布となっている。応力値は内輪で約 800～1000MPa，外輪で約 700MPa と大きな値を示した。

(a) ボールベアリング　　(b) ローラーベアリング（比較）

図 6　ボールベアリングとローラーベアリングの相当応力分布（転動体は省略）

板厚を半分にした解析結果　　従来板厚(比較)

図 7　外輪の板厚と相当応力分布の関係

2.3　応力低減対策の検討

外輪にかかる応力低減を目的に，外輪の板厚を薄くした際の応力解析を試みた。

板厚を従来の半分にした際の解析結果を図 7 に示す。従来の相当応力の最大値が 692MPa であるのに対して，厚みを半分にしたものは 362MPa となり，ほぼ半減している。

なおデータは示さないが，疲労限界を評価する際に必要となる内外輪表面に生じる応力振幅の概算値を計算したところ，±900MPa から ±600MPa 程度まで低下し，疲労寿命を満足させる可能性があることが確認された。

2.4　減速機の試作及び評価機の改造

前節の解析結果等を考慮し，新規減速機の試作を行った。試作した減速機の写真を図 8 に示す。また従来保有していた減速機の評価装置では，大型減速機の評価が出来ないため，評価装置を改造後，各種性能評価を行い，特性を把握する予定である。

図 8　試作した減速機

3.　結　　言

(1) 低減速比・大型の波動歯車減速機の開発に向け，新規機構となるフレックスローラーベアリングの解析を行った。

(2) ベアリング内外輪の板厚を薄くすることで応力値の低減及び疲労寿命を満足させる可能性を見出した。

(3) 解析結果等を考慮し，新規減速機の設計から試作を行った。

参考文献

1) 曽根崎 龍一ほか, “玉軸受の剛性・接触応力の解析及び剛性測定装置の設計に関する研究”, 日本機械学会 中国四国学生会第 44 回学生員卒業研究発表講演会(2014).