

ボールねじの検査技術の開発

Development of Measurement Method of the Ball Screw components

笹川 宏之 千葉 正伸 井口 信明

SASAGAWA Hiroyuki, CHIBA Masanobu, IGUCHI Nobuaki

1. 緒言

ボールねじ、ボールベアリング等のボールを用いた要素部品は、直接摺動させる場合に比べて摩擦抵抗が低減され効率が大きく改善される。しかしながら、精密部品であるため製造、検査の工程などにおいて熟練技能による計測や人間の感応的な評価に頼る場合が多い。

本開発において取り上げたボールねじについてはボールがナットと軸の間に組み込まれているがすきまが大きいと精密な位置決めが困難になり、逆に締めしろが大きいと摩擦抵抗が大きくなり装置の効率、寿命を低下させる。

このため高精度ねじの生産ラインにおいてはボール径が $1\mu\text{m}$ 単位で異なるボールを10種類用意し、最初に組み込んだボールの作動感覚により組み込むべきボールを判断するという選択嵌合を行っている。このラインの自動化を行うには、 μm 単位の測定を必要とするねじ軸有効径とナット有効径を自動で測定し、適合するボールを選択する計測手法の開発が必要になる。

現状ではねじ軸とナットに用いられているゴシックアーチ溝形状（図1に示す円弧を2つ用いた溝形状）を精度良く測定し、その計測結果からボールを選定することは非常に難易度が高い。このため、今回の開発においては、組み立てたボールねじの軸方向の荷重-変位特性の計測による評価装置の開発を行った。

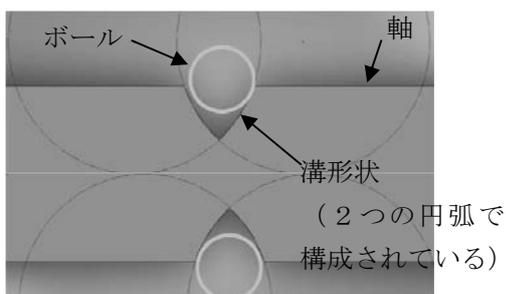


図1 ゴシックアーチの溝形状

2. 軸方向の荷重-変位特性の計測

2.1 テストピース

図2に今回用いたボールねじの形状を示す。仕様については下記のようにになっている。

・条数	1条
・リード	10 mm
・呼び径	20 mm
・実験に使用したボール径	
基準ボール径 $\phi 4.7625\text{ mm}$ に対し	
-6.0 μm	$\phi 4.7565\text{mm}$
-4.0 μm	$\phi 4.7585\text{mm}$
-2.1 μm	$\phi 4.7604\text{mm}$
-1.2 μm	$\phi 4.7613\text{mm}$
+0.1 μm	$\phi 4.7626\text{mm}$
+2.2 μm	$\phi 4.7647\text{mm}$

なお、軸とナットについては基準ボール径 $\phi 4.7625\text{ mm}$ で締めしろ約 $2\mu\text{m}$ のねじ軸とナットの組合せを用いた。

- ・ボールの循環機構 外付けチューブ方式

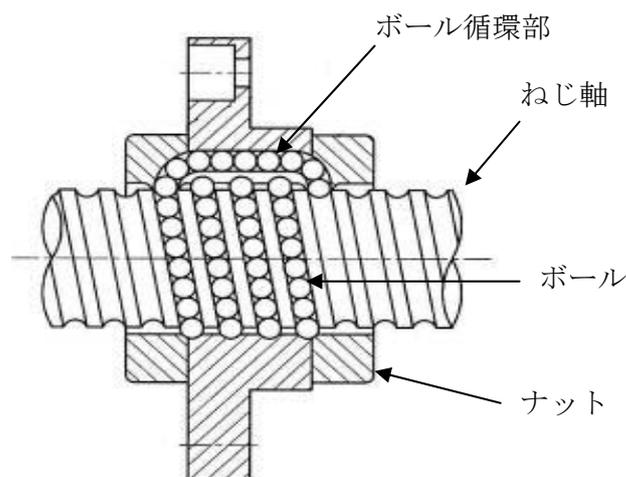


図2 サンプル形状

2.2 実験方法

図3に計測装置の概念図を示す。測定は、図3のように組立てられたボールねじのナット部を固定し、ねじ軸に対して軸方向に力を加えることで、軸方向の変位を計測することとした。

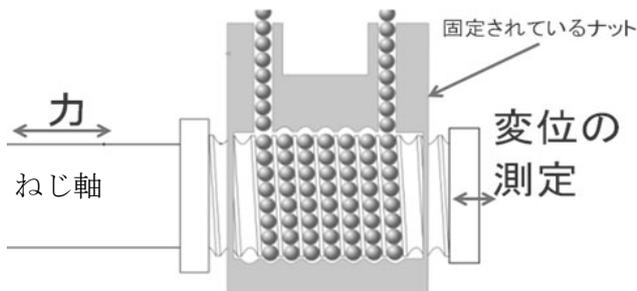


図3 計測装置の概念図

製作した計測装置を図4に示す。駆動部はサーボモータにより1軸テーブルを用いて直線方向の変位を発生させた。なお、この測定装置はボールねじ軸の片端でねじ軸にかかる荷重を測定しもう一方の軸端でねじ軸の軸方向の変位を計測する構造である。計測の荷重は最大で50N程度であり、ナット固定部、ねじ軸など、剛性面ではサブミクロンからサブサブミクロンのオーダーでの影響に納まっている。

今回、計測機器としては以下のものを使用した。

変位センサ : SONY DK812 ALR5/
 (表示部は SOYN LT30)
 ロードセル (KYOWA LTZ-50)
 サーボモータ 三菱 HC-PQ033
 サーボモータアンプ三菱 MR-C10A1
 分解能 4000p/rev)
 コントローラ 三菱シーケンサ FX2N+1PG

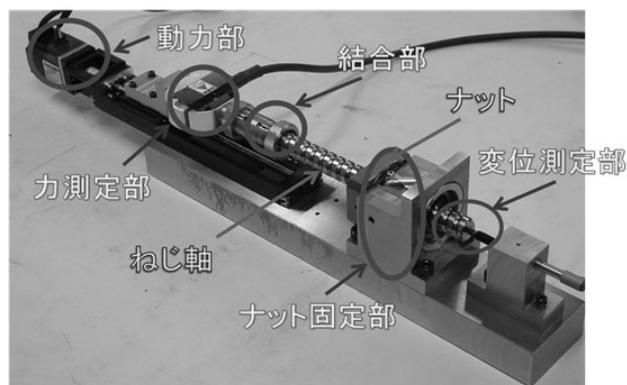


図4 計測装置

実験方法としてはナットを固定した状態でねじ軸を軸線方向に変位させ、荷重データと変位データを測定、その後、逆方向に変位させ1往復のデータを取得した。

2.3 実験結果

実験結果を整理するにあたり、軸方向の0点が決まらないのでデータから次のように算出した。変位と荷重の読み取り値を図5のようにグラフ化した後、明らかにあたっている部分即ち、グラフの上部の引張りの弾性変形領域と下部の圧縮の弾性変形領域の間の中央の点を変位の0点とした。

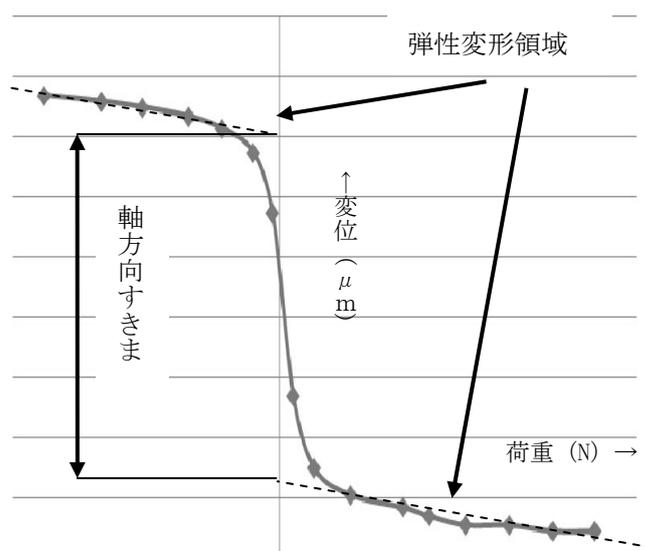


図5 軸方向の原点の算出

実験の結果について、今回実験に使用したボールのうち、径の最も小さいボール(ボール径φ4.7565mm)を組み込んで、荷重を圧縮から引張りまで1往復させた場合の結果を図6に示す。横軸に軸方向荷重、縦軸に軸方向の変位をとっている。このグラフより荷重が0N付近で変位が大きく変化することがわかる。この変位の大きな変化分がボールと溝間のすきまと考えられる。なお、軸とナットについてはボールを設計上の設計標準値に比較的近いものを用いている。

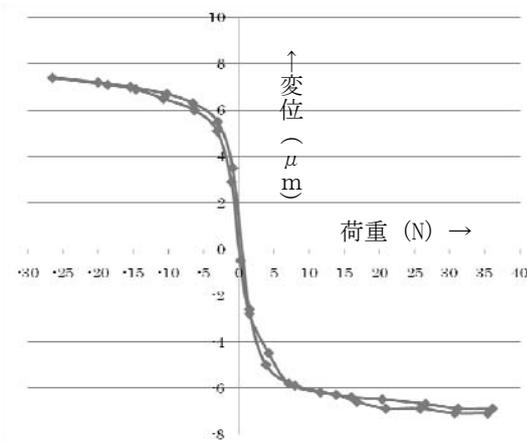


図6 ボールねじの荷重と変位の関係 (ボール径φ4.7570mm仕様)

次に、ボール径の変化による影響をみるため、同一のねじ軸、ナットを使用し、径の異なるボールを組み入れた場合の計測を行った。実験結果を図7に示す。

入れたボール径は標準(設計標準値)より小さい(すきまが生じる方向)以下の3種である。

- 1 ボール径φ4.7585mm
- 2 ボール径φ4.7604mm
- 3 ボール径φ4.7613mm

すきまが小さくなるにつれて0点付近におけるすきまの影響は見られなくなりグラフは直線に近くなる。

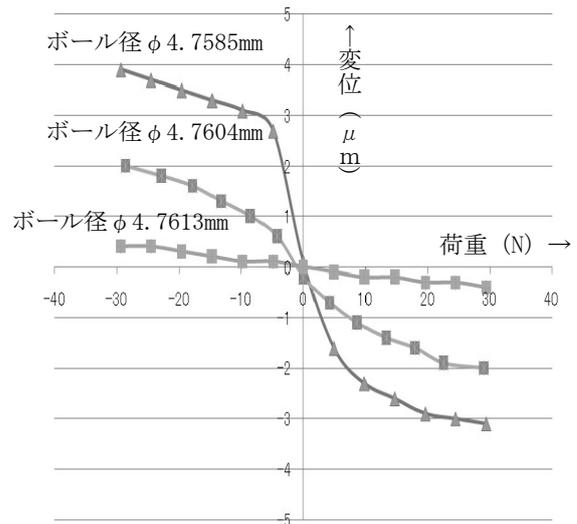


図7 組み込みボール径を変化させた場合の荷重と変位曲線に対する影響

次に、すきまがなく、締めしろのある場合の状況をみるため、ボール径が標準より大きいものを組み込み、剛性の変化を確認した。

軸方向の変位が小さいので縦軸(変位量)を図7より拡大して結果を図8に示す。

ボール径は以下のものを用いた。

- 1 ボール径φ4.7613mm
- 2 ボール径φ4.7626mm
- 3 ボール径φ4.7647mm

この結果により、締めしろが大きくなるほど傾きが変わり剛性が高くなっていることが確認される。

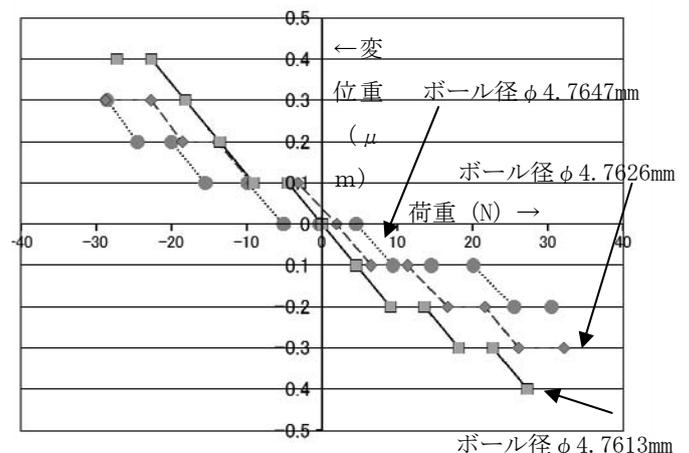


図8 ボール径と荷重の関係 (ボール径が標準～大きいもの)

3. 軸方向のすきまからのボール径の選定について

軸方向のすきまはナットの内径とボールと軸外形の間で図9のような状況にあると考えられる。

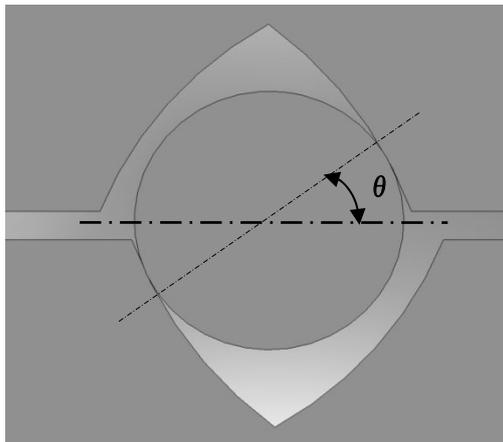


図9 ボールねじ内部のボールのあたり状況の概念図

設計上は45度の方向で接触させているため、計測した軸方向すきまとボールとナット及び軸のゴシックアーチの円弧部とのすきまの関係は図10のようになる。

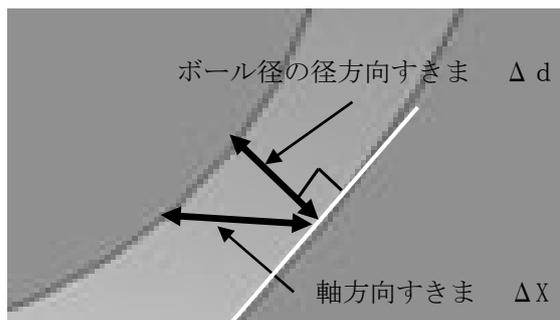


図10 軸方向すきまとボールの径差の関係

この場合、すきまを Δx とし、求めるボール径までの差を Δd とし、締め代を $\Delta \rho$ とした場合次の式で表すことができる。

$$\Delta d = 1/2 \cdot \Delta X \cdot \cos \theta + \Delta \rho \quad - (1)$$

(今回はよく用いられる $\theta = 45$ 度を使用)

製品として出荷する適合ボール径は

$$\text{適合ボール径} = \text{評価したボール径} + \Delta d \quad - (2)$$

となる。

なお、 $\Delta \rho$ についてはボールねじの仕様により、精度重視の場合は大きくし、効率重視の場合は小さくする)

4. 結言

- 1) ボールねじの軸方向すきまの測定を本文のような装置を製作することにより行い、目的に合わせて μm の精度でボール径の違いによる軸方向すきまを計測することができた。これにより、ボールねじメーカーは感応評価に頼ることなく式(2)により、出荷するボール径を選定することができる。(今回の選定手法で得たボール径はボールねじメーカーの技術者の感応評価でも高精度ボールねじの出荷基準を十分に満たしている)
- 2) 締め代があるボールねじについては、今回の測定精度ではデータの分解能の面で十分とはいえないが、結果としては接触面積が大きい(締め代が大きい)場合の剛性が高くなるという一般的傾向と一致しているので信頼性はあると考えられる。このため更に高精度のサブミクロン以下の分解能を持った変位計を用いて測定すれば、締めしろの値を算出できるものとする。
- 3) 今回の手法でボールねじの生産ラインにおける自動計測は可能であるが、実際にねじ軸長さの異なる各種ボールねじへの対応を考えた場合、計測に対するねじ軸の重量の影響、装置の大型化や、自動化のコストの増大などが考えられる。これに対し、計測装置の構造面からは、軸直角方向のすきま測定を行えば、ねじ軸長さの影響が少なく、構造的にも簡単になり、コストも低く抑えられる。このため、さらに構造を変えて軸直角方向のすきま計測装置を製作する予定である。