ボールねじのワイパ・シールに関する研究*

(第1報, 既存する実用ワイパの性能試験)

井 沢 実^{*1}, 下 田 博 一^{*1}, 松 田 和 也^{*2}

On a Dustproof Seal and Wiper for Ball Screws

(1st Report, Dustproof Performance of Several Wipers for Ball Screws)

Minoru IZAWA, Hirokazu SHIMODA, and Kazuya MATSUDA

The present report describes the results of experimental studies on the dustproof performances of several wipers for ball screws. All the wipers for the experiments used in the study have already been put into practical use. The results may be summarized as follows: (1) The dustproof performance of a metal wiper improves as its radial clearance is decreased. (2) If a resin wiper is assembled into a ball screw being lightly pressed against a screw shaft raceway, almost the same effect as a metal wiper is obtained in dustproof performance. (3) A brush wiper is improved in dustproof performance and its durability as compared with a felt wiper, but their contact friction torques become so large that they can no longer be disregarded as compared to the friction torque of a ball screw.

Key Words: Ball Screw, Dustproof Wiper, Dustproof Performance, Metal Wiper, Resin Wiper, Brush Wiper, Felt Wiper

1. 緒 言

ボールねじにおけるねじ精度は, 生産技術の発展に伴い近年ますます向上しつつあるが運転中の防塵技術に関しては十分に有効な手段が見当たらない現状である。しかしながら, 運転中のボールねじ内に塵埃が侵入すると軌道面の摩耗を促進させたり, 異常な振動や音響を生起してボールねじ本来の性能を劣化させるだけでなく, 時には破損に至る事例も多く見られる⁽¹⁾⁽²⁾。

本研究は, 従来より一般に使用されている接触形および非接触形ワイパの防塵性能試験を実施し, ボールねじの使用条件・使用環境との適合性について検討するとともに, これらの試験結果に基づいて防塵性能の優れたボールねじ用ワイパ・シールを開発することを目的としている。そこで本報では, まず接触形のワイパとしてフェルトおよびブラシワイパについて, また非接触形ワイパとして金属製および合成樹脂製ワイパについて防塵性能試験を実施した。また, 接触形ワイパに対しては発生摩擦トルクおよび温度上昇を併せて

測定するとともに, その耐久性について検討を行った。さらに, 非接触形ワイパに対しては塵埃の大きさと防塵効果との関係について検討したので, これらの結果について報告する。

2. 防 塵 性 能 試 験

2・1 試験用ボールねじと実験方法 試験用ボールねじの構成と主要寸法を図1に, またボールねじ諸元を表1に示す。図1において, 試験用ボールねじはオーバサイズ球により軽予圧を付与した2個のシングルナットから構成されており, 両ナットはねじ軸上でナットストロークに対応する間隔に配置されている。また, 試験用ワイパは両ナットの互いに対面する側に設置されている。そこで, 両ナット間のねじ軸軌道面上に所定量の塵埃を所定の重量比で混入したグリースを塗布し, ナットの回転を拘束した状態でねじ軸を往復回転すれば, 塵埃は両ナット間のねじ軸上に常に定着し, したがって一定の塵埃投与条件下において連続的な防塵性能試験を実施することができる。防塵性能試験において用いる塵埃試料は, FC切削粉を標準網目ふるい(JISZ 8801)を用いて選別し, ボールねじに対して通常用いられている金属ワイパの半径すきまの大きさを参考にして表2に示す大きさの異なる5種類

* 昭和62年4月3日 第64期通常総会講演会において講演, 原稿受付 昭和61年9月25日。

^{*1} 正員, 明治大学工学部 (〒214 川崎市多摩区東三田1-1-1)。

^{*2} 学生員, 明治大学大学院。

のものを作成した。試験条件としては、ねじ軸回転数を 750 rpm, ナットストロークを 108 mm に一定とし、塵埃は FC 切削粉 1.5 gf を対グリース重量比 50 % で投与することとした。また、ナット内に浸入した FC 切削粉重量の測定は、切削粉混入グリースを塩素系有機溶剤(トリクロロエタン)で溶解して回収後、両者を分離して行った。

2・2 試験用ワイパ 本実験では、非接触形ワイパとしては金属製および合成樹脂製ワイパを、また接触形ワイパとしてはブラシ製およびフェルト製ワイパを用いることにする。試作した 3 種類の金属ワイパの寸法とねじ軸軌道面に対する各部半径すきまを図 2 に示す。これら金属製ワイパの材質はリン青銅で、そのねじ部はいずれもねじ軸のねじ研削用砥石により成形した切削工具を用いてねじ切りを行い、(A)、(B)、(C) 3 種類のワイパに対してその半径すきまをそれぞれ、0.04 mm, 0.07 mm, 0.10 mm に仕上げた。また、ワイパには円周方向に 3 箇所の長穴が設けられており、ワイパ組付け時のすきま調整を容易に行うことができる。

表 1 ボールねじ諸元

Shaft diameter	25mm
Lead	6mm
Ball diameter	3.175mm
Conformity factor	0.566
Contact angle	45°
Material	shaft AISI4150HV nut SCM420
Hardening	shaft Induction heating nut Carburizing
Hardness	shaft HRC 58.5~ nut HRC 60~

図 1 試験用ボールねじの構成と主要寸法

樹脂ワイパの寸法、形状は図 3 に示すようで、材質としてはポリテトラフルオロチレン (PTFE) 樹脂、およびポリアセタール (POM) 樹脂のものを作成した。樹脂ワイパの場合、金属ワイパと比較して加工精度がかなり劣るので、ワイパの 1 箇所には割りを入れ、止めねじを用いて半径すきまを調整できる構造とした。ただし、実際にワイパをボールねじに組付ける際は、そのすきま測定が困難であるため、ワイパをねじ軸軌道面にわずかに接触させ、その際の接触摩擦トルクを機械効率が 90 % で、荷重が基本動定格荷重 (6.67 kN) の 1/3 として求めた摩擦トルクの 5 % になるように調整を行った。

ブラシワイパおよびフェルトワイパの寸法・形状はそれぞれ図 4 および図 5 に示す。両者のワイパ内径はそれぞれ、23 mm, 23.5 mm で、いずれも外径 25 mm のボールねじに対して最も一般的に用いられているも

表 2 FC 切削粉の分類

Mesh (JISZ8801)	FC chip diameter (mm)
100以上 ~ 200超えず	0.179 以上 ~ 0.089 超えず
48 ~ 100	0.358 ~ 0.179
35 ~ 48	0.505 ~ 0.358
20 ~ 35	1.015 ~ 0.505
14 ~ 20	1.435 ~ 1.015

図 2 金属ワイパの寸法とねじ軸軌道面に対する各部のすきま

のである。ただし、フェルトワイパの場合は内径だけを22 mmに変化したものを作成し、内径寸法の差異による影響も調べることにした。

3. 実験結果と考察

ねじ軸回転数5万回転における5種類のFC切削粉に対する非接触形ワイパの防塵性能の試験結果を図6に示す。図中の縦軸はFC切削粉の投与量に対する浸入量比を表す。これより、金属ワイパの場合、当然のことながら半径すきまの小さいほうが防塵効果が優れ、またPTFE樹脂ワイパの場合は金属ワイパ(B)、(C)の場合とほぼ同様な防塵効果が得られた。また、これらの非接触形ワイパはいずれも14~20メッシュ以上の大きな塵埃に対しては極めて効果の大きいことが確かめられた。なお、金属ワイパおよび以下に述べる他のワイパに対する防塵性能試験において、実験結果の再現性は十分に良好であった。

次に、樹脂ワイパの材質をPOM樹脂に変え、48~100メッシュのFC切削粉に対する防塵効果を調べたところ、塵埃のナット内浸入量はPTFE樹脂ワ

イパの場合と比較して2.2倍に増大する結果となった。これは、POM樹脂ワイパの場合、その摩擦係数が大きく、したがって同じ接触摩擦トルクをもつPTFE樹脂ワイパと比較してねじ軸軌道面への押付け力が低下するためと考えられる。

100~200メッシュのFC切削粉を投与した場合の接触形ワイパにおけるねじ軸回転数と防塵性能の関係を図7に示す。これより、ブラシワイパのほうがフェルトワイパよりも防塵効果が大きく、しかも運転時間の経過に伴う変化が少なく、耐久性にも優れていることがわかる。また、フェルトワイパの場合は、ワイパ内径を小さくすると防塵効果は若干良化するのがわかる。次に、以上述べた接触形ワイパにおけるねじ軸回転数と接触摩擦トルクの関係を図8に示す。同図に示す摩擦トルクはボールねじで発生する摩擦トルクを除外して求めたワイパだけに起因するトルク値を表す。ここで、一例としてブラシワイパの接触摩擦トルクを機械効率90%、荷重が基本動定格荷重の1/3のボールねじにおける摩擦トルクと比較すると、前者は後者の約30%の値に相当し、接触形ワイパの使用はボールねじの駆動性能に対してかなり大きな影響を及ぼすものと考えられる。また同図より、いずれのワイパにおいても運転時間の経過に伴い接触摩擦トルクは減少しており、このような現象はブラシワイパにおいては毛のへたり、またフェルトワイパにおいてはねじ軸形状に対するなじみにより生じられたものと考えられる。ただし、図8に示したフェルトワイパの摩擦トルク値はいずれも塵埃浸入量測定後、すなわちワイパの洗浄に伴ってその形状が幾分回復した後の測定値を表している。そこで、内径22 mmのフェルトワイパの運転開始後、ねじ軸1万回転ごとの接触摩擦トルクを求めると図9の結果が得られる。これより、フェルトワイパのねじ軸形状に対するなじみ効果は3万回転程度でほぼ飽和状態に達するのがわかる。しかしながら、

図3 樹脂ワイパの寸法・形状

図4 ブラシワイパの寸法・形状

図5 フェルトワイパの寸法・形状

上述したフェルトワイパにおけるなじみ効果は図7の結果から明らかなように、防塵性能に対してはあまり反映されておらず、したがって摩擦トルクの減少傾向はねじ軸形状に対するなじみ効果よりもむしろ、ねじ軸外周面との接触部におけるへたり効果による影響が大きいものと考えられる。すなわち、フェルトワイパ

図6 非接触形ワイパの防塵性能

図7 接触形ワイパにおけるねじ軸回転数と防塵性能の関係

図8 接触形ワイパにおける走行回転数と接触摩擦トルクの関係

のなじみ効果にはおのずから限界があり、したがってフェルトワイパの内径寸法の縮小はあまり有利な手段とはいえない。

ボールねじ単体およびボールねじにブラシあるいはフェルトワイパを取付けた場合の、運転時間に対するねじ軸およびナットの温度変化状態を図10に示す。これより、いずれの場合も温度上昇は運転開始後約3時間で飽和し、その際のブラシおよびフェルトワイパに起因して生じる温度上昇を求めると、それぞれ5°Cおよび9°Cとなった。

次に、防塵性能試験においてナット内に浸入したFC切削粉のSEM像を観察したところ、図11(a), (b)に示す結果を得た。このように、ナット内に浸入した切削粉の大半は扁平に圧延されるか、あるいは渦巻状に引き延ばされており、明らかに球と軌道間にかみ込まれた状況が認められる。これより、ナット内に浸入した塵埃がボールねじの摩耗や性能劣化に対して大きな影響を及ぼすことは明白であり、ボールねじにおける防塵対策の必要性があらためて確認される。

図9 フェルトワイパ (内径 22 mm) における走行回転数と接触摩擦トルクの関係

図10 ボールねじおよびワイパの接触に起因する温度上昇

(a)

(b)

図 11 ナット内に浸入した FC 切削粉の SEM 像

4. 結 言

現在実用に供されている各種ワイパの防塵性能試験を実施するとともに、その発生摩擦トルクおよび耐久性について検討した。結果を要約すると次のとおりである。

(1) 金属ワイパはその半径すきまが小さいほど、防塵効果は大きくなる。

(2) 合成樹脂ワイパはねじ軸軌道面にわずかに接触させて用いると、半径すきまが 0.07 mm の金属ワイパとほぼ同程度の防塵効果が得られる。また、材質として摩擦係数の小さい PTFE 樹脂を用いると接触圧力を増大することができ、したがって防塵効果も増大する。

(3) ブラシワイパは防塵効果が大きく、しかも運転時間の経過に伴う性能変化が少なく耐久性に優れるが、接触摩擦トルクがかなり大きく、通常の使用状態のボールねじにおいて発生する摩擦トルクの約 30 %

にも達する。

(4) 通常の内径をもつフェルトワイパは、ブラシワイパと比較して、接触摩擦トルクは低減できるが、運転時間の経過に伴う性能劣化が著しい。

(5) フェルトワイパにおいてその内径を縮小すると防塵効果は若干良くなるが、接触摩擦トルクは著しく増大する。

(6) ブラシおよび上述したフェルトワイパの接触摩擦に起因する温度上昇は、本実験条件の場合それぞれ 5°C および 9°C であった。

終わりに臨み、試験用ボールねじとワイパを製作、提供下さった黒田精工(株)に対し、深く感謝の意を表する次第である。

文 献

- (1) Jirō, H, Sueo, K and Mizuho, N, *NSK Bearing Journal*, No. 634 (1973), 1.
- (2) 井沢・下田・並松, 昭和 60 年度精機学会春季大会講演論文, (昭 60-3), 415.