

転がり軸受と潤滑剤の寿命と信頼性

永友 貴史
材料技術研究部
(潤滑材料 主任研究員)

曾根 康友
同
(同 研究室長)



ながとも たかふみ そね やすとも

はじめに

「軸受(じくうけ)」と言われて、すぐにイメージできる人は少ないことと思います。そこで、初めに軸受の構造とそれに使われている潤滑剤について簡単に述べます。その後、それぞれの寿命の考え方について説明し、信頼性を向上させ安全性を保つための取り組みについて紹介します。

軸受とは

軸受は、様々な機械を作る際に必要になる部品(機械要素)であり、鉄道車両だけでなく自動車や飛行機、自転車、洗濯機、換気扇、パソコンなど身の回りの多くの機械に使われています。直接目に触れることは少ないのですが、機械を効率良く、スムーズに動かすためにとても重要な役割を担っています。

その役割とは、文字通り「軸」を「受」けることです。少し説明を加えると、物の重量や物に加わる力を支えながら、軸の滑らかな回転運動を保つ機械要素と言えます。ですから、回転軸を持つ機械であれば、必ず軸受が使われているはずです。

軸受には図1に示す「転がり軸受」と「すべり軸受」の2つのタイプがあります。どちらのタイプも、ハウジングあるいは軸箱と呼ばれるケースに収められています。ハウジングには、車体の重量などが荷重となって加わります。転がり軸受では2つの輪の間に、複数の玉やころなどがはさ

まった構造になっています。ハウジングにはまっている外側の輪を外輪、軸とともに回転する内側の輪を内輪と呼びます。玉やころなどは総称して転動体と呼ばれ、これら他に、転動体を等間隔に配置する保持器があります。頭の中で軸を回してみてください。内輪は軸といっしょに回転し、静止している外輪と内輪の間を転動体がコロコロと転がる様子がイメージできますでしょうか。玉軸受ところ軸受の構造を図2に示します。外輪と内輪の転動体が転がる部分を特に軌道面と言います。一方、すべり軸受では軸受の内側を軸がすべりながら回転します。転がり軸受とすべり軸受と比べて、回転をし始める時の抵抗が格段に小さいなどの理由で、鉄道車両の走り装置(台車)では一部の古い貨車の車軸軸受を除いて、転がり軸受が使われています。そこで、これ以降、軸受とは転がり軸受のことをいうことにします。

軸受は車両のどこで使われているか

鉄道車両の走り装置では、軸受は図3に示す箇所で使われています。これらのうち特に車軸軸受は、列車が安全な走行をするために最も重要な部品の一つです。車両全体の重量や走行中の車両の揺れによる上下・左右方向の力を支える車軸軸受には、図4に示す複列の円すいころ軸受や、円筒ころ軸受などが使われています。主電動機(モータ)の回転軸の両端には玉軸受ところ軸受がそれぞれ使われています。主電動機の動力を車軸に伝えるための駆動装置に

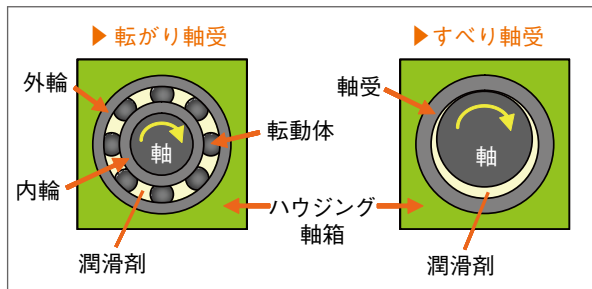


図1 軸受の種類

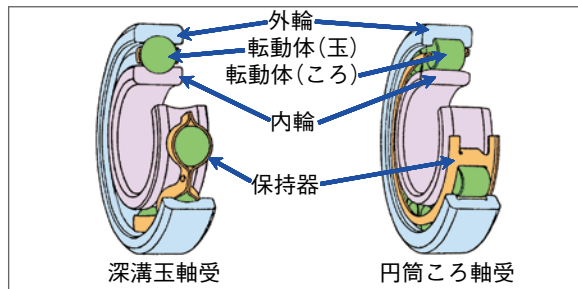


図2 転がり軸受の基本構造

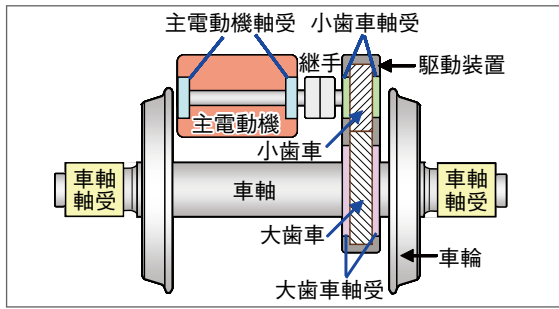


図3 軸受の使用箇所

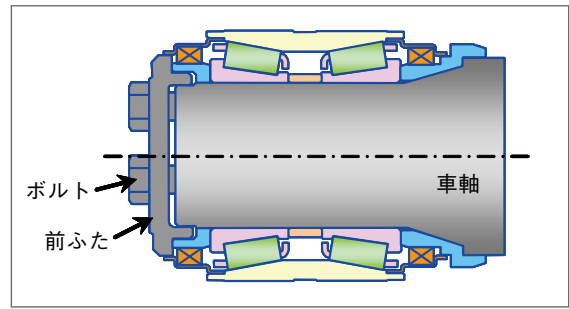


図4 車軸用複列円すいころ軸受

は大小2つの歯車があり、ここでは円すいころ軸受が使われています。

潤滑剤の役割

軸受を構成する部品のうち外輪や内輪、転動体は、摩耗したり、変形したりしないように、特殊鋼と呼ばれる非常に硬い金属でできています。しかし、いくら頑丈な材料でできていても、転動体が荷重を受けながら軌道面を転がると、金属同士が直接接触することで、それぞれが摩耗したり、摩擦熱で発熱したりしてしまいます。これらを防ぎ、転動体がスムーズに転がることができるように、潤滑剤は転動体と軌道面の間に入り込み、非常に薄い、十分な厚さの油膜となって、その役目を果たします。

軸受の潤滑剤として、液体状の潤滑油（以下、「油」といいます）と半固体（クリーム）状のグリースなどがあります。油は、石油を精製して作られる鉱油や化学合成によって作られる合成油などを主体とし、これに潤滑剤としての品質や性能を向上させるための添加剤を必要に応じて加えたものです。グリースは、油にそれを半固体状に保つための増ちょう剤と添加剤を加えたものです。

グリースは、取扱いや軸受から外に漏れないようにするための装置が簡単であること、また油を溜めておく場所がないことから、軸受の潤滑剤として広く使われています。しかし、軸受の使用条件が厳しい場合や、軸受と歯車などの他の部品と一っしょに潤滑する必要がある場合には油が使われます。鉄道車両では、高速で走る新幹線車両の車軸軸受で一部を除いて油が、在来線車両の車軸軸受にはグリースが使われています。また、主電動機軸受にはグリース、駆動装置の軸受には歯車の潤滑とともに油が使われています。

軸受の寿命

機械を長期間使っていると、軸受の損傷により機械が壊れてしまうことがあります。軸受の損傷には、転がり疲れによるはく離、焼付き、異常摩耗、割れ・欠け、かじり、圧痕、さび、電食、クリープなど多くの種類があります。これらのうち、はく離は軌道面や転動体の表面がうろこ状

にはがれてしまう現象です。これは外輪と内輪の間を転動体が転がる時に、転動体と軌道面の接触部が荷重を繰り返し受けることで材料が疲れを起こすためであり、軸受にとって避

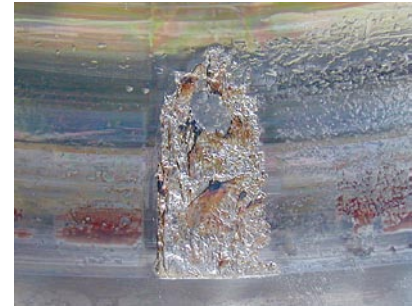


図5 はく離の例

けられない損傷です。そこで、これだけを軸受の“寿命”と呼んでいます。図5にはく離の例を示します。その他の損傷は軸受の選定や設計、製造、使い方、メンテナンスなどに起因することなので“故障”として区別しています。

軸受に使われている潤滑剤は、使用中に少しずつ性質が変化して、劣化が進み、やがて当初の性能を発揮できなくなります。潤滑剤が劣化し、転動体と軌道面などの接触部において十分な油膜を保てなくなると、金属同士の接触が起こり、摩擦や摩耗によって発熱します。そうすると、最終的には軸受が焼き付いて、回転できなくなります。この場合の焼付きを潤滑寿命と呼ぶことがあります。潤滑寿命は転がり疲れによる寿命よりも一般に短く、転がり疲れによる寿命に至る前に、潤滑剤は何度か新しいものに交換されます。このようなことから、やはり軸受そのものの寿命は転がり疲れによる寿命ということになります。

軸受の寿命の値は計算することができるようになっていきます。ただし、同じサイズの軸受を同じ条件で寿命試験を行っても、寿命値は大きくばらつくため、信頼度90%の値として求めます。つまり、軸受の寿命は、同一使用条件において、総数の90%がはく離を起こさずに回転できる値として、“軸受が耐えうる荷重”と“軸受が受ける荷重”の比をもとにして計算され、その方法はISOで規格化されています。現実には、計算によって求めた寿命と実際の寿命の間に差があることもあり、実状に合うように計算方法の改正作業が進められてきました¹⁾。最新の規格は2007年に発行されています。しかし、残念ながら、ある1個の軸受そのものの寿命を計算できるまでには至っていません。

信頼性向上のための取り組み

鉄道車両の高速化や軽量化、メンテナンスの省力化などの各技術の進歩には、鉄道車両を構成する部品や装置の信頼性を向上させ、安全性を確保してきたことが大きく寄与しています。軸受やそれに使われている潤滑剤も鉄道車両の高速で安全な輸送に貢献しています。軸受のトラブルが車両の走行に及ぼす影響は大きいので、これまでも潤滑剤を含めた軸受の設計・製造・メンテナンスには、とりわけ注意が払われてきました。近年においては、鉄道車両のさらなる高速化やメンテナンス周期の延伸など、軸受や潤滑剤の使用条件がますます厳しくなる中で、軸

受の寿命を延ばし故障を少なくするなど、今以上に信頼性の向上が求められています。ここでは、それに対するいくつかの取り組みについて簡単に紹介します。

(1) 車軸軸受に作用する荷重を推定する

使用中の軸受に実際に作用する荷重を知ることができれば、軸受や軸箱などのより適切な設計にそれを反映し、軸受の寿命を延伸できる可能性があります。また軸受の寿命を精度良く知ることができると考えています。走行する車両の車軸軸受に加わる荷重は、軌道や速度などの走行条件が影響して絶えず変動しています。しかし、実際にどのような荷重がどれくらいの大きさで車軸軸受に作用するのかは詳しく分かっていません。そこで、実際に走行する車両の車軸軸受に作用する荷重を、車輪に作用する輪重と横圧のデータから推定する方法を開発しました。図6に示すように、車輪とレールの間に作用する力のうち上下方向の力を輪重、左右方向の力を横圧といいます。これらの値と車軸軸受に作用する上下方向のラジアル荷重、軸方向のアキシャル荷重の関係を荷重やモーメントの釣り合いから求めることができます。図7に車軸軸受に作用するラジアル荷重の推定例を示します。一定の荷重ではなく変動していることが分かります。

(2) 振動・音で軸受の異常を検知する

万一、軸受に異常が発生した場合、なるべく早く見つけることができれば、大きな事故を未然に防ぐことができま

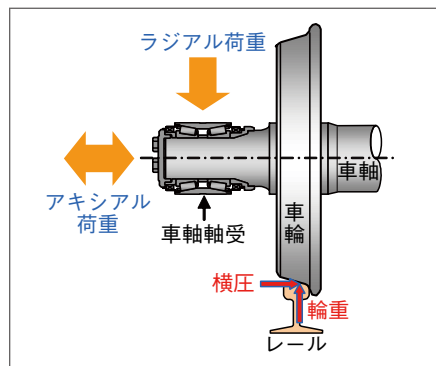


図6 輪重・横圧と軸受荷重

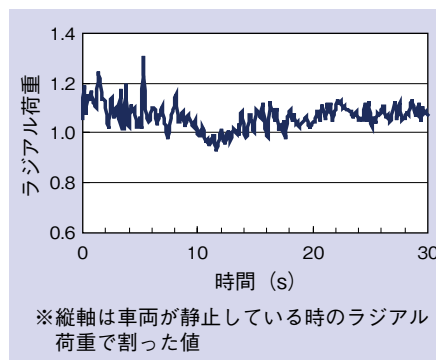


図7 ラジアル荷重の推定例

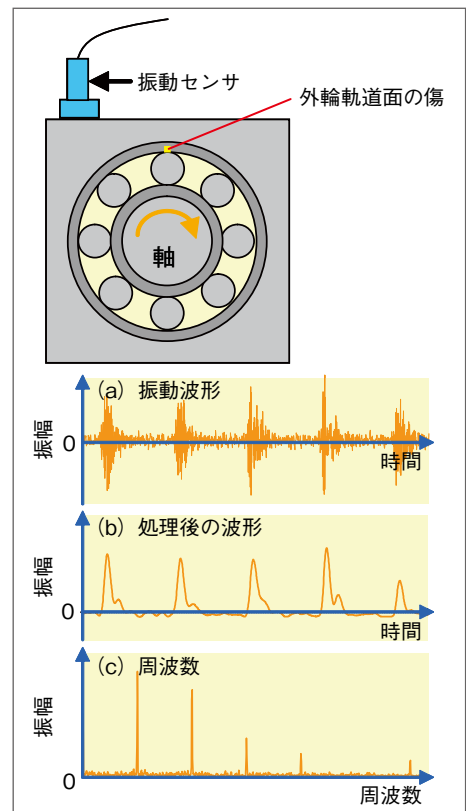


図8 軸箱振動の解析例

す。軸受に異常が発生すると、通常とは違う大きな振動や音が出たり、温度が高くなって発熱したりします。ですから、走行する車両の軸受の振動や音、温度を測っておけば、軸受の異常を検知できる可能性があります。図8に外輪の軌道面に傷がある場合に測定された軸箱の振動を解析した例を示します。(a)はその時の振動波形です。軌道面の傷のあるところを転動体が通過するたびに衝撃が発生し、大きな振動が現れています。これだけでも異常の有無は分かるのですが、より精密に異常の有無を判定するために、どれくらいの周期で大きな振動が現れているか調べることができます。これによって、軸受のどの部分に傷があるのかを知ることができます。そのために、(a)の振動波形にある処理をすると、(b)に示すように転動体が傷を通過する際の波形が際立ちます。さらに、周波数解析すると(c)に示すように、(b)の波形が含んでいる周波数を知ることができます。この周波数は軸の回転数と軸受の諸寸法から求められ、傷の位置が外輪か内輪かなどによって違ってきます。周波数解析によって求めた周波数とそれぞれの傷の周波数を比べることで、傷のある位置を判断することができます。

以上のように軸箱の振動を直接測定するか、あるいは地上からマイクを使って音を測定することによって、軸受のどこに異常があるのかを知ることは原理的には可能です。判定が困難な場合もありますので、確実に異常の有無を見

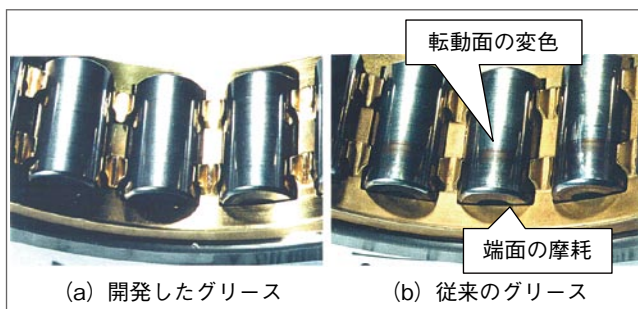


図9 試験後の試験軸受の外観

分けるために測定や解析の仕方にさまざまな工夫をしながら開発を進めています。

(3) 潤滑寿命を延ばす

転がり軸受が転がり疲れ寿命に至るまで故障することなく性能を発揮するには、適正な潤滑が必要です。そこで、潤滑剤の性能向上や、潤滑剤をより効果的に使用するための取り組みを進めています。

これまで在来線車両の多くの車軸軸受には、鉱油を主体とするグリースが用いられてきました。これに対し、新たなグリースが開発されています。熱や酸化劣化に対する耐久性の向上を目的として鉱油と合成油を配合し、増ちょう剤には、金属分を含まず酸化劣化を促進しにくいと言われる材料を適用したことを主な特徴とするグリースです²⁾。小型の軸受を用いた寿命試験では、このグリースは従来のグリースと比較して2倍近い潤滑寿命を示しました。また、実物大の車軸軸受を用いた試験機による試験では、どちらのグリースも現在の定期検査周期である走行距離に相当する回転を達成しましたが、従来のグリースでの試験後に軸受に見られた図9のような変色や摩耗が、このグリースでの試験時には見られず、潤滑寿命に対して余裕があることがわかりました。

グリースをより効果的に使う工夫も進んでいます。主電動機で転がり軸受を覆っているフタ部には、軸受の潤滑寿命を向上させるため、軸受に接する部分にグリースを充てんするスペースが設けられています(このスペースをグリースポケットとよびます)。主電動機を組み立てる時には軸受内とともにここにもグリースを充てんします。ところが、定期検査時に解体してみると、軸受に付着したグリースには新品と比べて色や硬さの変化があり、軸受を潤滑する役割を果たしてきたことがうかがわれるのに対し、グリースポケットに充てんしたグリースには目立った変化がなく、潤滑剤としての役割を果たしていないように思われることがありました。そこで、グリースの流れに着目して調べたところ、グリースポケットのグリースも徐々に軸受内へ流れ込んでいることがわかりました。この結論を受け、グリースが軸受内へより円滑に供給されるよう、グリース

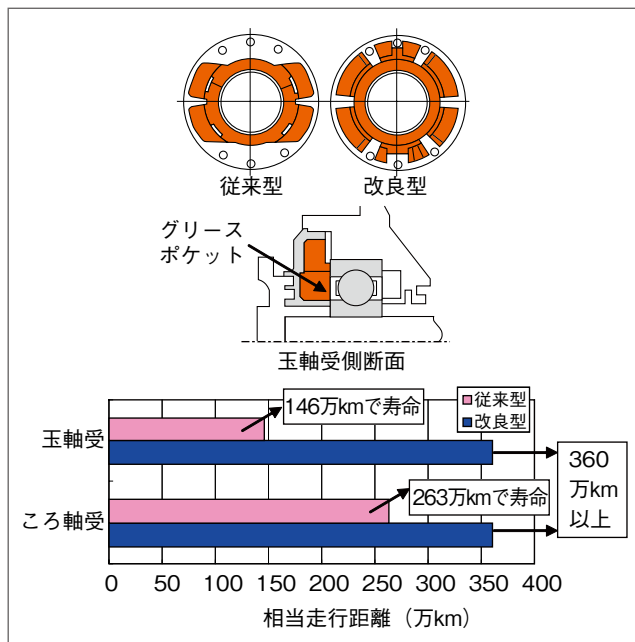


図10 グリースポケットの形状と潤滑寿命

ポケットの形状を検討しています。グリースの流路を確保するよう改良した、図10に示すようなグリースポケットにより、実物大の新幹線用主電動機軸受を用いた試験機による試験では、潤滑寿命が大きく向上しています³⁾。

新たなグリースの導入やグリースを有効活用する研究開発の深度化、さらにこれらの技術の組み合わせにより、潤滑寿命を向上させ、転がり軸受の信頼性を長期にわたって確保できるものと考えています。

おわりに

軸受の歴史は古く、紀元前650年頃には、重い荷物の下にころを入れて運んでいたようですし、現在の軸受に近い部品のスケッチがレオナルド・ダ・ビンチによって残されています。ずっと前から、こんなものがあればいいの思いから、今日の軸受が開発されるに至ったのだと思います。軸受は日常生活の中では、けっして目立つことはありませんが、本稿により、少しでも軸受の役割への理解が深まれば幸いです。鉄道車両も軸受のおかげで効率よく、高速で走ることができます。使用条件がますます厳しくなる中で、より信頼性を向上できるよう取り組んでいきたいと思いません。**RRR**

文献

- 1) 佐田隆：転がり軸受の寿命計算に関する国際規格の動向，トライボロジスト，Vol.52，No.3，pp.210-215，2007
- 2) 細谷，鈴木，中村，曾根：在来線車両用高性能車軸軸受グリースの開発，鉄道総研報告，Vol.14，No.3，pp.25-30，2000
- 3) 日比野・細谷・中村：主電動機グリースポケットの改良と寿命延伸効果，鉄道総研報告，Vol.22，No.4，pp.11-16，2008