

車軸軸受の性能を調べる

永友 貴史

材料技術研究部
(潤滑材料研究室 主任研究員)

高橋 研

同
(同 研究員)

岡村 吉晃

同
(同 副主任研究員)



ながとも たかふみ



たかはし けん



おかむら よしあき

はじめに

軸受(じくうけ)は、さまざまな機械を構成する機械要素の一つで、回転する軸を支えるための部品です。鉄道車両では、車軸をはじめ電車の主電動機や歯車装置、ディーゼル車両の減速機や推進軸などの車両を走らせるための装置に使われています。例として、新幹線電車の走り装置(台車)で軸受が使われているところを図1に示します。どの軸受も車両が安定して高速で走るためには欠かせないものです。なかでも車軸に使われている軸受(車軸軸受)は、トラブルが発生した時に、軸受が単に損傷するだけに留まらず、列車の安全な運行を妨げる恐れがありますので、高い信頼性と安全性を保つために、さまざまな性能が求められています。

ここでは、まず車軸軸受の仕組みを簡単に説明した後、車軸軸受に要求される性能とそれを調べる方法などについて述べます。

車軸軸受の仕組みと役割

車軸軸受には「転がり軸受」と「すべり軸受」の2つのタイプがありますが、現在では一部の貨車を除いて、ほとんどの車両に転がり軸受が使われています。貨車の車軸軸受

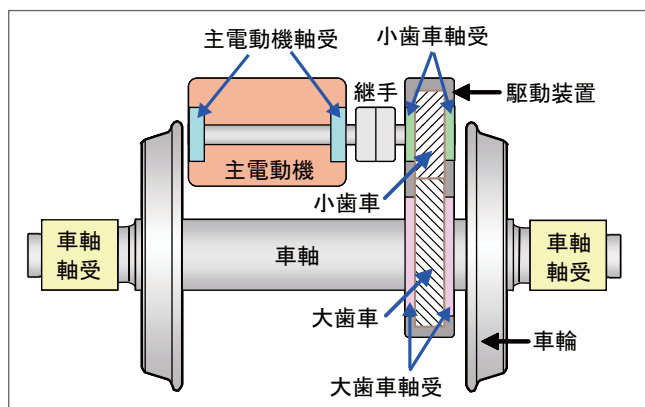


図1 軸受の使用箇所

に使われるすべり軸受は、平(ひら)軸受と呼ばれています。比較のために図2に両方の車軸軸受の例を示します。

どちらのタイプも、軸箱(ハウジング)と呼ばれるケースに収められています。転がり軸受では、内輪が車軸に、外輪が軸箱にはめてあり、その間を保持器によって等間隔に並べられた転動体(ころ)が転がります。これによって、車体重量などを支えながら車軸が回転できるようになっています。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。これらの軸受を構成している部品は金

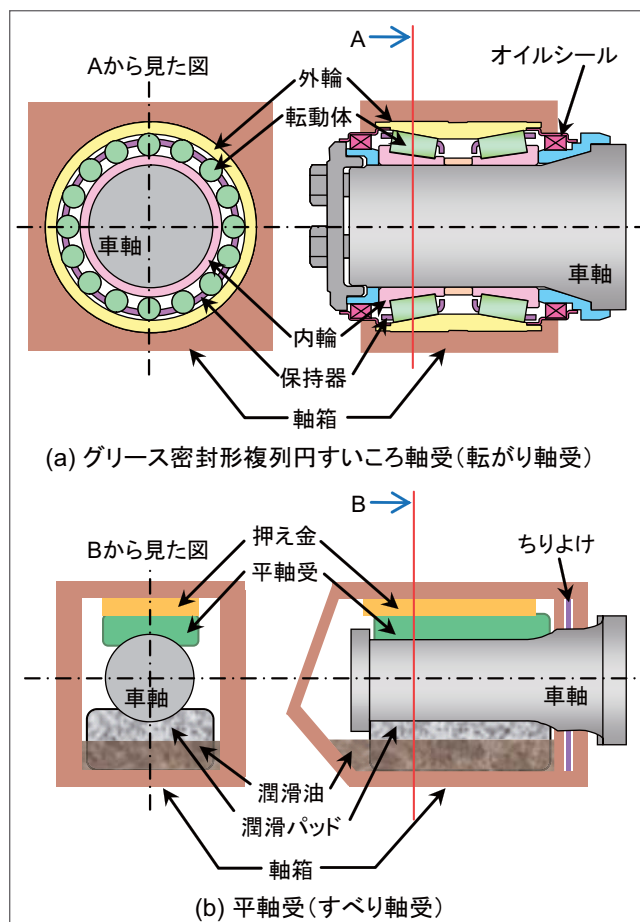


図2 車軸軸受の例

属材料でできていますが、これだけでは軸受はその機能を発揮できません。転がったりすべったりする部分に潤滑が必要で、グリースや油などの潤滑剤が使われます。潤滑剤は金属同士が直接接触しないように油膜をつくって摩擦を小さくし、摩擦による発熱や摩耗を防いでいます。また、潤滑剤が漏れたり、外から異物が入ったりするのを防ぐためにオイルシールなどの密封装置も必要です。

ここで、車軸軸受にはどのような荷重がかかるのか考えてみましょう。図3に示すように、車軸軸受には上下方向のラジアル荷重と左右方向（軸方向）のアキシアル荷重が働きます。ラジアル荷重は、車輪や車軸を除く車両の重量と乗客や貨物の重量に加えて、レールの継ぎ目やポイントを通過するときの衝撃的な力により生じます。一方のアキシアル荷重は車両が曲線を通過しているときの遠心力やポイントを通過するときの衝撃的な力により生じます。どちらの荷重も車両が走行しているときは、軌道の状態や走行速度の影響を受け絶えず変動しています。

車軸軸受に求められる性能

一般に軸受に求められる基本的な性能は、①回り始める際の抵抗が小さく、もちろん②回転中の抵抗も小さく、③滑らかに、④静かに精度よく回転することです。これらを前提に、どのような部品や機器でもそうですが、“いつまでもこわれずに使えて、しかも手入れがいらない、もしくは楽”、つまり⑤長寿命で、⑥メンテナンスフリーが加わります。そして、これらの性能を高速回転、大きな荷重などの厳しい使用条件下でも保てることが求められます。

車軸軸受に求められる性能にも、これらのことがあてはまるのですが、時代とともに変わってきています。

鉄道が走り始めた当初、車軸軸受には平軸受が使われており、19世紀に入って初めてドイツで転がり軸受が使われ、欧米で普及していきました¹⁾。日本で本格的に転がり軸受が使われたのは第二次世界大戦の後になります。平軸受は、特に車両が走り始める時の抵抗が大きく、軸受の異常発熱（焼付き）による事故も多かった上に、メンテナンスに手間がかかるなどの改善すべき問題がありました。転がり軸受はこれらの点で平軸受より優れており、特に発熱事故の減少に寄与し、その使用が拡大していきました。なお、すべての用途において、転がり軸受がすべり軸受より優れているわけではなく、求める性能や使用環境によって使い分けがされています。

その後、車軸用転がり軸受には現在に至るまで、在来線

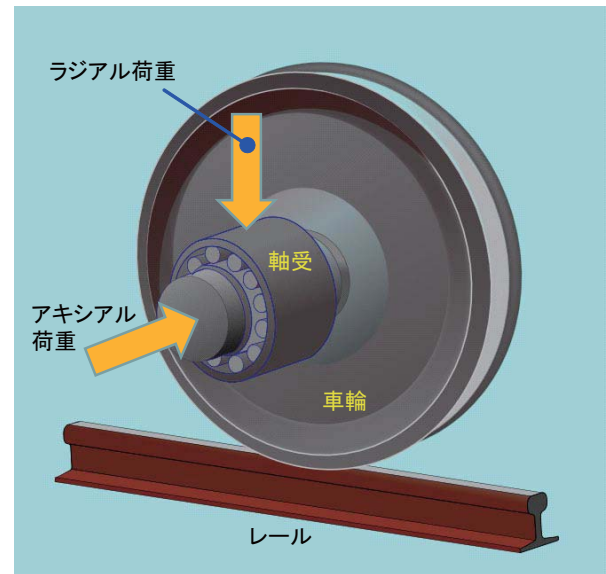


図3 軸受にかかる荷重

はもとより新幹線電車における高速化、軽量化、そしていっそうの信頼性向上やメンテナンスコスト削減を実現するための性能が求められてきました。高速化に対応するためには、軸受が高速で回転すると摩擦熱や潤滑剤の攪拌熱により軸受の温度が上昇するので、これをできるだけ低く抑えることや、潤滑剤や密封装置についても高速に耐えられるよう性能の向上が求められています。また、2002年に「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」が定められたことを受けて、安全性を確保した上でメンテナンスの内容や周期を適正化し、コストの削減を進めるために、長寿命化とメンテナンスフリー化がますます求められています。

以下では、軸受とは転がり軸受のことをいいます。

軸受の寿命

軸受の寿命は、その性能を表す一つの指標になります。

内外輪の間を転動体が転がることにより、これらの材料が繰り返し荷重を受けて疲労（転がり疲れ）が蓄積されると、材料の表面がうすくはがれる“はく離”という損傷が発生します。これは避けることのできない損傷ですので、はく離の発生は寿命を意味します。その他の圧痕や電食など損傷は適切な対策により防ぐことができますので、故障と呼び、寿命とは区別されます。また、潤滑剤が劣化することで焼付きが起こることがありますが、これは潤滑寿命といい、これも区別しています。以上のことから、軸受の寿命とは、正常な使用のもとで生じる転がり疲れの限度と言えます。

車軸軸受の寿命計算

軸受の寿命 L は、“軸受が耐えうる荷重 C ”と“軸受にか

かる荷重 P' の比に補正係数 $a_1 \sim a_3$ をかけた次式で計算できるので²⁾、設計時に軸受の寿命を予め調べるができます。

$$L = a_1 a_2 a_3 \left(\frac{C}{P} \right)^3 \quad (\text{単位: } 10^6 \text{ 回転})$$

一般に軸受の寿命は信頼度90%の寿命として求めます。信頼度90%の寿命とは、例えば100個の軸受のうち90個がはく離を起こさずに達成できる寿命のことです。車軸軸受の寿命も信頼度90%の寿命として求めます。

車軸軸受の寿命計算方法は規格³⁾になっていますので、詳しい説明はそちらに譲ります。ここでは車軸軸受の寿命を求める際の上の計算式の扱いについて、大まかに説明します。 a_1 は90%を超える信頼度の寿命を求めるための係数ですが、ここでは信頼度90%の寿命を求めるので1とします。 a_2 と a_3 はそれぞれ特殊な材料、特殊な使用条件を用いる際に1以外の数字を入れます。 C は専門用語では基本動定格荷重といい、軸受の形式と寸法によって決まる値ですが、軸受メーカーのカタログなどから得られます。 P は車両の重量やばね下質量、走行速度をもとに見積もられます。このようにして求められる寿命は 10^6 回転を単位としていますが、鉄道車両ではその値に車輪の円周長さをかけて距離(例えばkm)を単位として表します。

車軸軸受の性能試験方法

寿命計算はあくまで計算上の検討ですが、実際に実物の車軸軸受を回転させて試験を行う性能試験方法についても規格があります⁴⁾。この試験では、回転試験中は軸受の温度を、試験後は軸受を分解して、各構成部品や潤滑剤の状態を調べます。詳しくは本規格を参照いただくとして、ここでは大まかに試験要領を紹介します。

この試験では、実物大の軸受を試験装置に取り付け、ラジアル荷重とアキシアル荷重を負荷させて、所定の運転パターンで回転させます。試験は、ならし運転と性能試験によって構成されており、ならし運転をした後に性能試験を行うことになっています。試験中は、外輪表面温度や雰囲気温度、軸箱表面温度などを常に測定しておき、定められた温度条件を満たさなくてはなりません。

ならし運転では、図4(a)の運転パターンに従って軸受を回転させ、各ステップにおいて外輪の上昇温度(外輪表面温度から雰囲気温度を差し引いた値)の変化が2時間あたり5K以内に収まるまで運転を続け、次のステップに移ります。

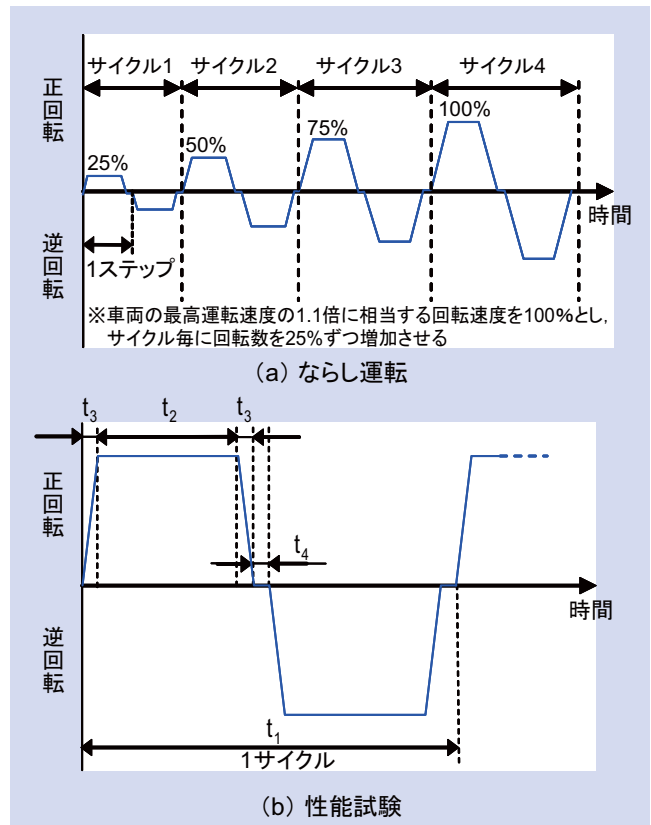


図4 ならし運転および性能試験の運転パターン

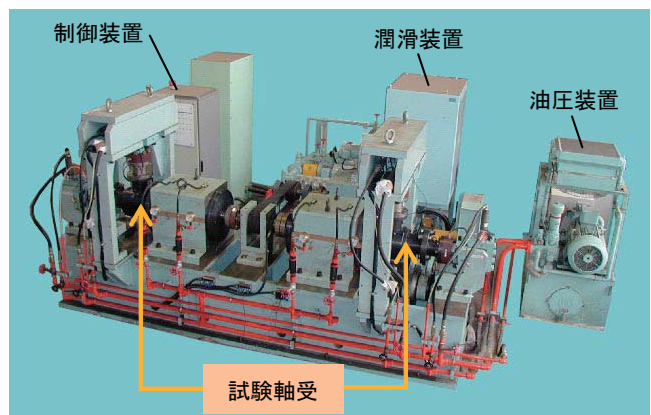


図5 性能試験が行える車軸軸受耐久試験装置

性能試験では、図4(b)の時間 $t_1 \sim t_4$ が定められたサイクルを繰り返して、受渡当事者間で定めたサイクル数に達するまで運転を続けます。試験中の外輪の上昇温度は、グリース潤滑方式では、最初の10サイクル中は80K以下、以降においては70K以下を、油浴潤滑方式では、100K以下を満たさなくてはなりません。

以上に示した性能試験を行える試験装置の一例を図5に示します。これは鉄道総研が所有している車軸軸受耐久試験装置で、ラジアル荷重とアキシアル荷重、軸受をはめる軸の回転数はそれぞれ最大で200kN、150kN、3000rpmです。

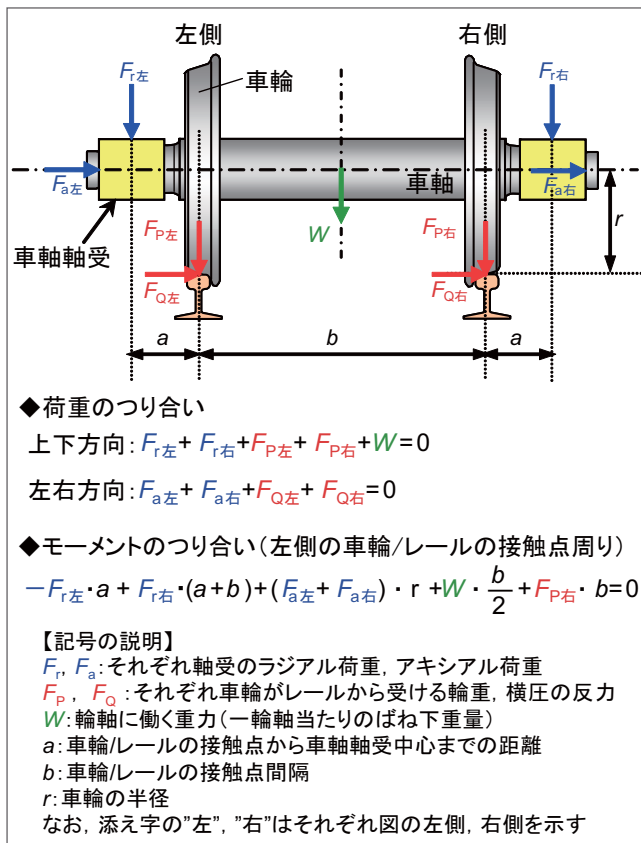


図6 輪軸に働く荷重とモーメントのつり合い

車軸軸受にかかる荷重の推定法⁵⁾

使用中の軸受に実際にかか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、それらの性能向上に役立てることができるとも思われます。

これまでに紹介した寿命計算や性能試験に使った荷重の値は、軸受に常時かかっている荷重(静荷重)をもとに、過去の経験から走行中の変動分(動荷重)を上乗せしたものです。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かかるのかは詳しく分かっていません。しかし、走行する車両の車軸軸受にかかる力を直接測定することは困難です。そこで、実際に走行する車両の車軸軸受にかかる荷重を、車輪に働く輪重・横圧のデータから推定する方法について検討しました。

輪軸に働く車軸軸受の荷重と輪重・横圧のつり合いと、これらの荷重が働いているときのモーメントのつり合いを図6に示します。車輪とレールの間に働く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。図の上から下向きの荷重を正、左から右向きを正とし、図での力は全て正方向の矢印で示してあります。図中に示した荷重とモーメントのつり合いの式から、輪重・横圧(F_P と F_Q)と各寸法がわかれば、車軸軸受にかかる荷重 F_r と F_a を算出

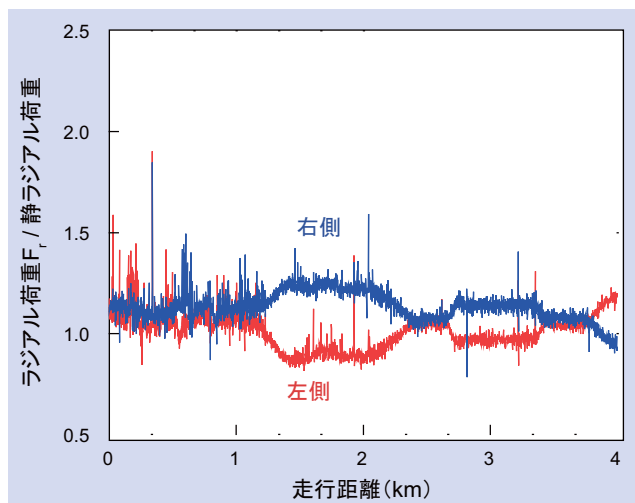


図7 車軸軸受のラジアル荷重の推定例

できます。

実際に測定された輪重・横圧のデータから車軸軸受にかかるラジアル荷重を推定した例を図7に示します。図の縦軸は、推定したラジアル荷重(図6中の F_r)を、車両が静止しているときに車軸軸受にかかるラジアル荷重(静ラジアル荷重)に対する割合で示してあります。推定した車軸軸受に作用するラジアル荷重は静ラジアル荷重の約1.1倍を中心に変動しており、瞬間的に静ラジアル荷重の2倍程度のラジアル荷重が発生していることがわかります。このような衝撃的な荷重は、分岐器通過時などに発生すると考えられます。また、ラジアル荷重が平均値を中心として左側と右側で増減している箇所は、曲線を通る際に車体に遠心力が働くためと考えられます。

おわりに

車軸軸受は、基本的な構造は変わることがないまま、これからもなおいっそうの性能向上が求められていくと考えられます。本稿が、車軸軸受ならびにその性能について読者の理解の一助となれば幸いです。[RRR]

文献

- 1) 大山忠夫：鉄道の起源と車両用軸受の変遷(2), KOYO Bearing Journal, No.161, p.65, 2002
- 2) 日本工業規格JIS B 1518-1992：転がり軸受の動定格荷重及び定格寿命の計算方法
- 3) 日本鉄道車輛工業会規格JRIS J 0453：2009：鉄道車両－車軸軸受の定格寿命計算方法
- 4) 日本鉄道車輛工業会規格JRIS J 0455：2009：鉄道車両－車軸軸受の性能試験方法
- 5) 高橋研他：輪重・横圧を利用した車軸軸受に作用する荷重の推定法, 鉄道総研報告25(1), p.33, 2011