

- 鉄道一般
- 車両
- 施設
- 電気
- 運転・輸送
- 防災
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

車軸軸受のフレッチング摩耗を防止する

鉄道車両の安定した走行に欠かせない車軸軸受の内輪と後ぶたの接触面でフレッチング摩耗が発生することがありますが、その発生機構は必ずしも明らかになっていないとはいえません。したがって、フレッチング摩耗を防止するためには、フレッチング摩耗の発生機構を把握する必要があります。ここでは、実物の車軸軸受を用いたフレッチング摩耗の再現試験の結果と内輪と後ぶたの間の接触面圧を測定した結果から、車軸軸受におけるフレッチング摩耗の発生機構について説明します。また、フレッチング摩耗の防止に向けた取り組みについても紹介します。

はじめに

車軸軸受(図1)は、車体重量によって作用するラジアル荷重と走行中の車両の揺れなどによって発生するアキシャル荷重を支える、鉄道車両の安定した走行に欠かせない機械要素です。車軸軸受がラジアル荷重を受けながら回転すると、車軸軸受が取り付けられている車軸は回転曲げによってたわみ、車軸軸受の内輪と後ぶたの接触面において“フレッチング摩耗”と呼ばれる微小な相対すべり運動による損傷が発生することがあります。フレッチング摩耗によって発生した金属粉が車軸軸受の内部に侵入すると、軸受を摩耗させたり、潤滑剤を劣化させたりするため、車軸軸受のフレッチング摩耗の防止が求められています。フレッチング摩耗を防止するためには、その発生機構を把握する必要がありますが、必ずしも明らかになっていないとはいえません。

ここでは、車軸軸受の内輪と後ぶたの接触

面で発生するフレッチング摩耗の発生機構¹⁾を明らかにするとともに、フレッチング摩耗の防止に向けた取り組み^{2)~4)}についても紹介します。

フレッチング摩耗の再現試験

車軸軸受のフレッチング摩耗を把握するために、実物の車軸軸受を用いてフレッチング摩耗の再現試験を実施しました。

フレッチング摩耗の再現試験に用いた軸受は、鉄道車両用車軸軸受に広く使用されているグリース密封形複列円すいころ軸受としました。車軸軸受は、2列の軌道面を有する外輪と、内輪、

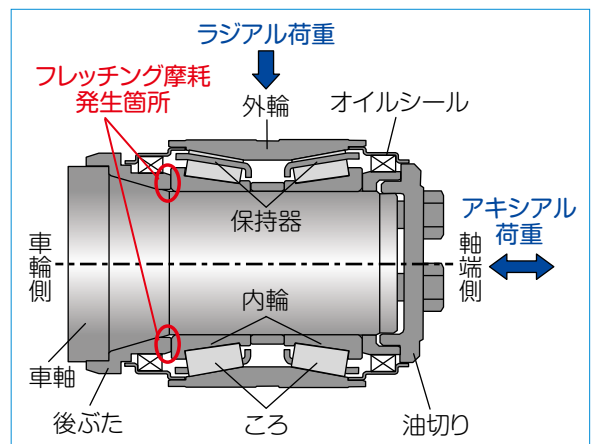


図1 車軸軸受の概略図

岡村 吉晃
Yoshiaki Okamura
材料技術研究部
潤滑材料研究室
主任研究員
【専門分野】 転がり軸受,
金属材料

鈴木 大輔
Daisuke Suzuki
材料技術研究部
潤滑材料研究室
研究員
【専門分野】 転がり軸受,
機械工学

深貝 晋也
Shinya Fukagai
材料技術研究部
摩擦材料研究室
副主任研究員
【専門分野】 車輪/レール
境界問題, トライボロジ

高橋 研
Ken Takahashi
材料技術研究部
潤滑材料研究室
副主任研究員
【専門分野】 転がり軸受,
機械工学

永友 貴史
Takafumi Nagatomo
材料技術研究部
潤滑材料研究室
室長
【専門分野】 転がり軸受,
金属材料

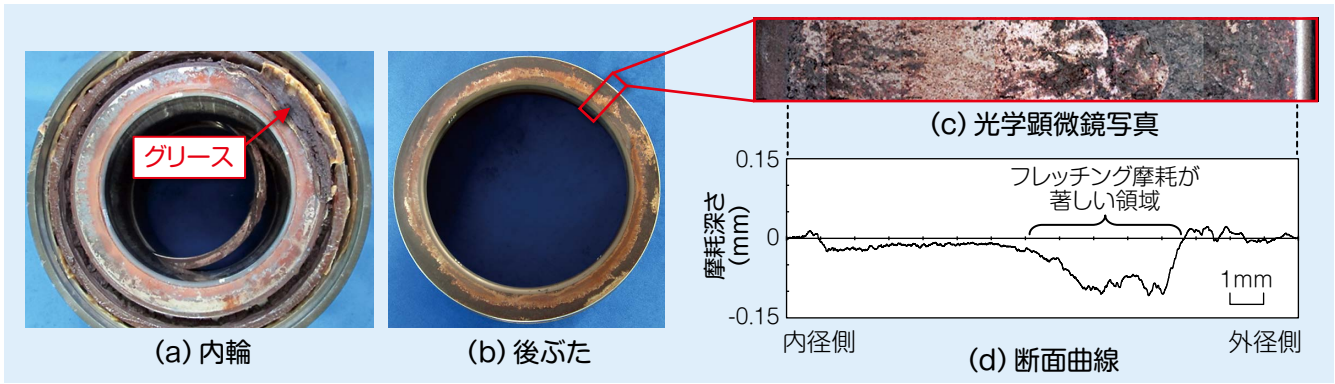


図2 再現試験後の内輪と後ぶたの接触面
出典：文献¹⁾より改編

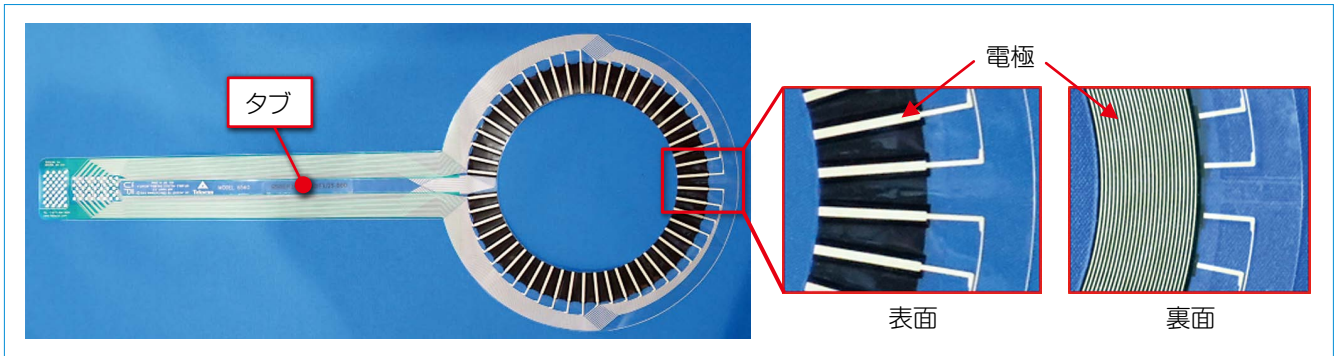


図3 フィルム式圧力センサー

ころおよび保持器が一体となった組立品、ならびにオイルシール、油切りおよび後ぶたによって構成されています。内輪と後ぶたは車軸に締めればめではめあわされていて、両者の接触面が円周方向に相対すべり運動を行うことはありません。

再現試験は鉄道総研が所有している車軸軸受耐久試験装置で行いました。試験方法は車軸軸受の性能試験方法について定められている日本鉄道車輛工業会規格 (JRIS J 0455) に、試験軸受に加える上下方向のラジアル荷重と軸方向のアキシャル荷重、ならびに回転速度は寿命計算方法について定められている同規格 (JRIS J 0453) に、それぞれ基づいて設定しました。

図2に再現試験後の内輪と後ぶたの各接触面の外観、および後ぶた接触面の断面曲線を示します。フレッチング摩耗粉は赤褐色の酸化鉄(Ⅲ) (α - Fe_2O_3) と一般にいわれているため、内輪と後ぶたの接触面でフレッチング

摩耗が発生し、摩耗粉が軸受内部に封入されたグリースに混入すると、グリースは赤褐色に変色します。図2(a)に示すように、再現試験後の後ぶたと接触していた内輪の接触面には赤褐色に変色したグリースが付着していたことから、内輪と後ぶたの接触面でフレッチング摩耗が発生したといえます。また、図2(b)に示す後ぶた接触面の光学顕微鏡写真(図2(c))と断面曲線(図2(d))から、後ぶた接触面のフレッチング摩耗は半径方向の外径側で著しく、最大摩耗深さは約0.1mmでした。なお、後ぶた接触面のフレッチング摩耗は円周方向のいずれの場所においても半径方向の外径側で著しい傾向にあることがわかりました。

圧力分布測定

車軸軸受の内輪と後ぶたの間の接触面圧とフレッチング摩耗の発生状態の関係を調査するために、両者間の圧力分布をフィルム式圧力分布計測システ

ムを用いて測定しました。図3に圧力分布の測定に使用したセンサーを示します。センサー部の形状は内輪と後ぶたの接触面と同形状となる円環状に製作しました。センサーは2枚のポリエチレンテレフタレート (PET) 製シートで構成されており、加わる力の大きさに応じて電気抵抗値が変化する感圧導電性インクがそれぞれのシートに印刷されています。センサーの厚さは0.1mmです。本測定で使用したセンサーシート的一方の面には52本の電極が円周方向に6.80°間隔で、もう一方の面には25本の電極が半径方向に0.8mm間隔でそれぞれ印刷されており(図3赤矢印部)、これらの格子状に設けられた電極の交点が圧力の検出点となっています。すなわち、センサーの検出点は1300 (= 52 × 25) 点です。各検出点の電気抵抗値を計測することによって、発生した圧力の大きさと分布が得られます。

ラジアル荷重の大きさが圧力分布に

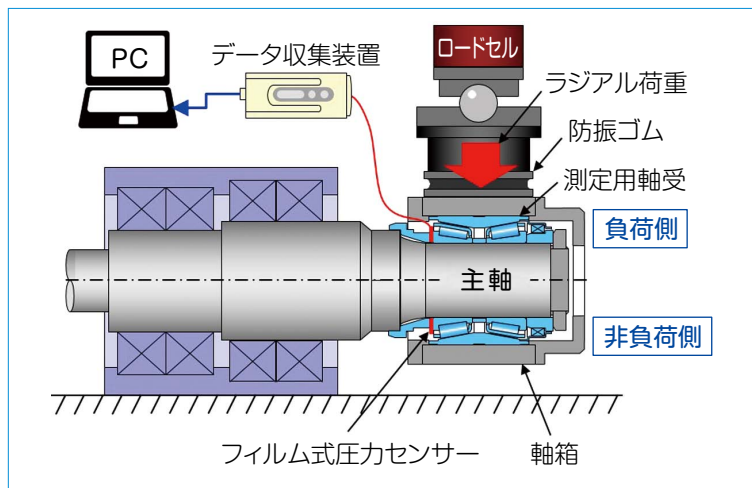


図4 測定概略図

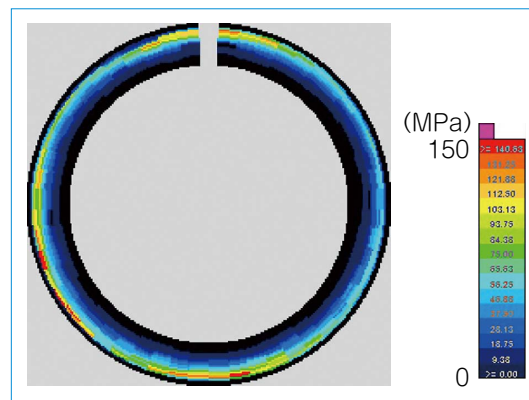


図5 圧力分布の測定結果
出典：文献¹⁾より一部改編

及ぼす影響を確認するために、内輪と後ぶたの間にセンサーを挿入した測定用軸受を試験装置の主軸に圧入した後、軸箱および防振ゴムを介して、ラジアル荷重を変化させながら圧力分布を測定しました(図4)。測定用軸受は、再現試験に使用した軸受と同じ呼び番号のものとししました。さらに、主軸の回転による接触面圧の変化を確認するために、主軸を手動で回転させながら圧力分布を測定しました。なお、測定用軸受がラジアル荷重を受ける面を負荷側といい、本測定の負荷側は鉛直方向の上側となります。

図5に、測定用軸受にラジアル荷重を加えずに測定した圧力分布を示します。センサーシートのタブの位置には検出点がないため、その位置の圧力は得られません(図3参照)。内輪と後ぶたの間の接触面圧は全周にわたって発生しており、とくに半径方向の外径側に高い接触面圧が認められます。

フレッチング摩耗の発生機構

ここでは、初めに車軸軸受の内輪と後ぶたの接触面における相対すべり運動について述べた後、両者間の圧力分布の測定結果と再現試験によって得られた後ぶた接触面のフレッチング摩耗との対応について考察します。

図6にラジアル荷重を受けた車軸軸

受部の模式図を示します。車軸軸受にラジアル荷重が加わると、車軸はたわむため、非負荷側の接触面圧が負荷側より高くなります。さらに、負荷側の内輪は後ぶたに対して外径側に、非負荷側では内径側に相対的に変位すると考えられます。その結果、内輪と後ぶたの接触面では接線方向の相対的な変位が生じます。したがって、車軸が回転すると、内輪と後ぶたの接触面が半回転ごとに負荷側と非負荷側を通過するため、接触面は繰り返しの相対すべり運動を行い、フレッチング摩耗が発生します。ラジアル荷重が大きいと車軸のたわみは大きくなり、内輪と後ぶたの接触面の相対すべり量の振幅も大きくなると考えられます。

次に、車軸軸受におけるフレッチング摩耗の再現試験の結果、内輪と後ぶたの接触面にフレッチング摩耗が発生し、半径方向の外径側で著しくなることがわかりました(図2(d)参照)。また、内輪と後ぶたの接触面間の圧力分布を測定した結果、両者間の接触面圧の変化は半径方向の外径側で高くなっていました(図5参照)。そこで、摩耗形状と圧力分布の対応を確認するために、再現試験によってフレッチング摩耗が発生した後ぶた接触面の断面曲線を、両者間の圧力分布と比較します。

図7(a)にラジアル荷重70kNにお

ける圧力分布の測定結果を、同図(b)に再現試験によってフレッチング摩耗が発生した後ぶた接触面の断面曲線を示します。圧力分布の縦軸は非負荷側の接触面圧から負荷側の接触面圧を差し引いた値、すなわち接触面圧の振幅を表しています。後ぶた接触面のフレッチング摩耗が著しかった領域は接触面圧の振幅が大きかった箇所とほぼ一致しています。したがって、車軸軸受のフレッチング摩耗は接触面圧の振幅が大きい領域で著しくなると考えられます。

以上のことから、車軸軸受におけるフレッチング摩耗の防止策として、車軸のたわみを抑えることや内輪と後ぶたの接触面の相対すべり量の振幅を小さくすることが有効であると考えられます。

フレッチング摩耗防止に向けた取り組み

フレッチング摩耗を防止するためには、「設計の改善」と「適切な潤滑」、「材料の選択」の3つについて検討する必要がありますとされています⁵⁾。ここでは、「設計の改善」と「材料の選択」について検討した事例を紹介します。

既存の後ぶたを用いて車軸軸受を車軸に圧入すると、内輪と後ぶたの間の接触面圧が外径側で高くなること

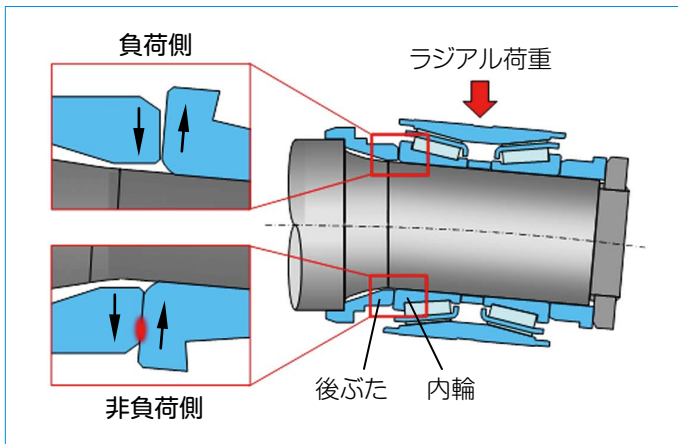


図6 車軸のたわみの模式図

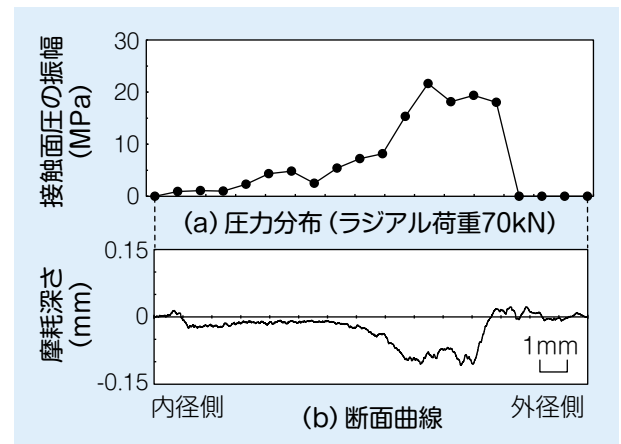


図7 圧力分布と断面曲線の比較

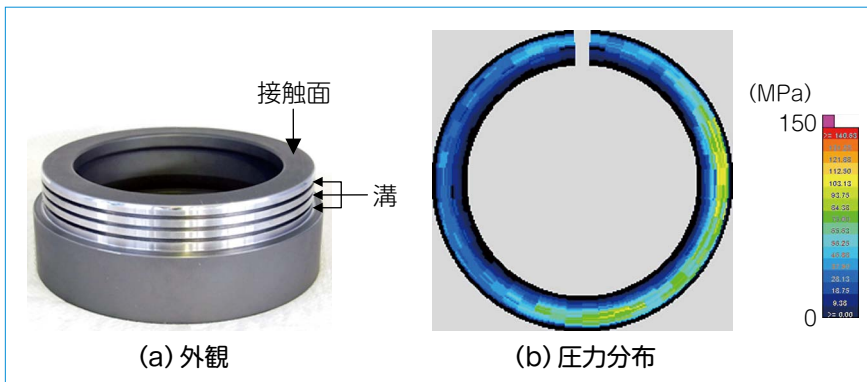


図8 試作した後ぶた
出典：文献²⁾より改編

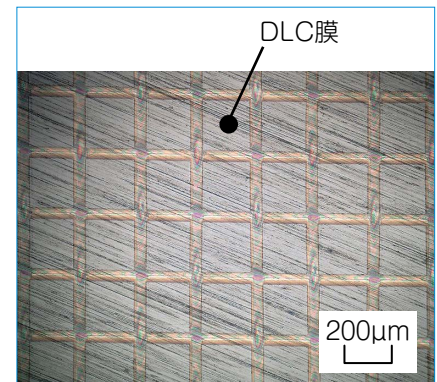


図9 セグメント構造DLC膜

かりました。そこで、設計改善の観点から、図8 (a) に示すように、既存後ぶたのオイルシールしゅう動面に円周方向の溝を設けて後ぶたの剛性を低下させることで、接触面圧への後ぶたの変形の影響を抑制し、図8 (b) に示すように、半径方向にできるだけ均一な圧力分布が得られる後ぶたを試作しました。設計改善による効果を確認するため、実物の車軸軸受を用いて車軸軸受耐久試験装置で回転試験を行ったところ、試作後ぶたのフレッチング摩耗が既存後ぶたよりも低減することを確認しました²⁾。

次に、材料選択の観点から、後ぶた接触面を硬質膜で被覆することを検討しました。その結果、フレッチング摩耗を防止するためには、摩擦係数が低いことに加え、密着性が高く、後ぶたの変形に追従できる硬質膜で接触面を被覆する必要があることがわかりまし

た³⁾。そこで、一辺が約200μmの正方形のセグメント構造をもつダイヤモンドライクカーボン (DLC) 膜 (図9) で接触面を被覆した後ぶたを試作しました。この材料選択による効果を確認するため、実物の車軸軸受を用いて回転試験を行ったところ、後ぶた接触面をセグメント構造DLC膜で被覆すると、フレッチング摩耗の防止に効果があることを確認しました⁴⁾。

おわりに

車軸軸受のフレッチング摩耗の発生機構について説明するとともに、フレッチング摩耗の防止に向けた取り組みについて紹介しました。今後、後ぶたに「設計の改善」と「材料の選択」の組み合わせを検討することによって、車軸軸受のフレッチング摩耗のさらなる防止策の開発に努めていきます。

RRR

文献

- 岡村吉晃, 深貝晋也, 鈴木大輔, 高橋研, 梅原大樹, 永友貴史: 鉄道車両用車軸軸受のフレッチングに及ぼす接触面圧の影響, 日本機械学会論文集, Vol.82, No.834, 15-00523, 2016
- 岡村吉晃, 鈴木大輔, 深貝晋也, 高橋研, 永友貴史: 鉄道車両用車軸軸受の内輪と後ぶたの接触部におけるフレッチング摩耗低減に関する検討, 日本機械学会論文集, Vol.84, No.859, 17-00324, 2018
- 岡村吉晃, 鈴木大輔, 高橋研, 永友貴史, 宇都宮裕: 鉄道車両用車軸軸受のフレッチング摩耗の硬質被膜による抑制効果, 鉄と鋼, Vol.104, No.6, TETSU-2017-088, 2018
- 岡村吉晃, 生駒一樹, 鈴木大輔: 車軸軸受のフレッチング摩耗防止に対するセグメント構造DLC膜の効果, 第24回鉄道技術・政策連合シンポジウム (J-RAIL2017), S2-8-6, 2017
- 志摩政幸: フレッチング抑止対策, 機械の研究, Vol.66, No.5, pp.363-370, 2014