

円筒ころ軸受の保持器摩耗の経時変化測定

Measurement of change with time of cage wear of cylindrical roller bearings

鉄道総研（正）*鈴木 大輔

Daisuke Suzuki

Technical Railway Research Institute

1. はじめに

転がり軸受を軽荷重条件で使用した場合、保持器の摩耗が軌道面の疲労に比べて問題となることがある。鉄道車両の駆動モータ（主電動機）に組み込まれている転がり軸受はその一例で、基本動定格荷重の数%程度の軽荷重で使用されているため、軌道面の疲労によるはく離ではなく保持器の摩耗により軸受の交換を要する場合が多い。このような用途では、保持器摩耗の低減が重要である。摩耗を低減するためには、2物体の接触力の低減が有効であることから、筆者らは転動体と保持器の接触力を測定する方法を確立したうえで¹⁾、接触力を低減する手法²⁾を考案し、その実現を目指している。しかしながら、上記手法の評価や保持器の摩耗形態の把握には、回転試験前後の保持器の状態確認だけでは不十分であるため、試験中における保持器摩耗の経時変化を測定する必要がある。そこで本報では、鉄道車両用主電動機に使用される円筒ころ軸受（呼び番号：NU214）を対象として、回転試験中の保持器摩耗の経時変化を測定する方法の確立を試みた。

2. 試験方法

2.1 対象とした軸受

鉄道車両用主電動機に広く使用されている円筒ころ軸受（呼び番号：NU214、外径：125 mm、内径：70 mm、ころ数：16、基本動定格荷重：83500 N、内外輪およびころ材質：軸受鋼、保持器材質：高力黄銅）を対象とした。保持器は転動体案内であり、ころ以外と接触していない。また、2.2節にて説明する保持器摩耗の経時変化測定のため、外輪側面に切欠きを設けているが、軸受の正常な回転に影響しないことは確認済みである。

2.2 試験装置および試験条件

試験装置の模式図をFig. 1に示す。本装置は、試験軸受を主軸の両端に取り付け、振動させながらモータで回転させる構造であり、鉄道車両での使用環境を模擬できる装置である。試験荷重は調整用のばねにより与えられる。モータを除く試験部全体を電磁加振器により上下方向に加振し、車両走行時の振動を与えることができる。なお、試験軸受は2個取り付けることができるが、本試験において試験軸受は軸端側のみとした。試験は主電動機軸受の使用条件を模擬してTable 1に示す条件で行った。ラジアル荷重は一般的な主電動機の回転子の質量を参考に1軸受あたり922 Nとした。主軸の最高回転数は一般的な主電動機の最高回転数を参考に6100 min⁻¹とした。回転パターンは正・逆転を110 minずつとし、それぞれの回転終了後に10 minの停止時間を設けた。加減速時の速度変化は100 min⁻¹/sである。また、回転中のみ、試験部を加速度50 m/s²（片振幅）、周波数40 Hzで上下方向に加振した。軸受の潤滑は鉛油を基油、リチウム複合石けんを増ちょう剤とするグリースを用い、その給脂量は保持器摩耗を加速するため規定量の1/10である1 gとした。試験軸受においては外輪温度と振動加速度を測定した。なお、試験は外輪温度が急上昇し焼付きに至るまで継続することとした。

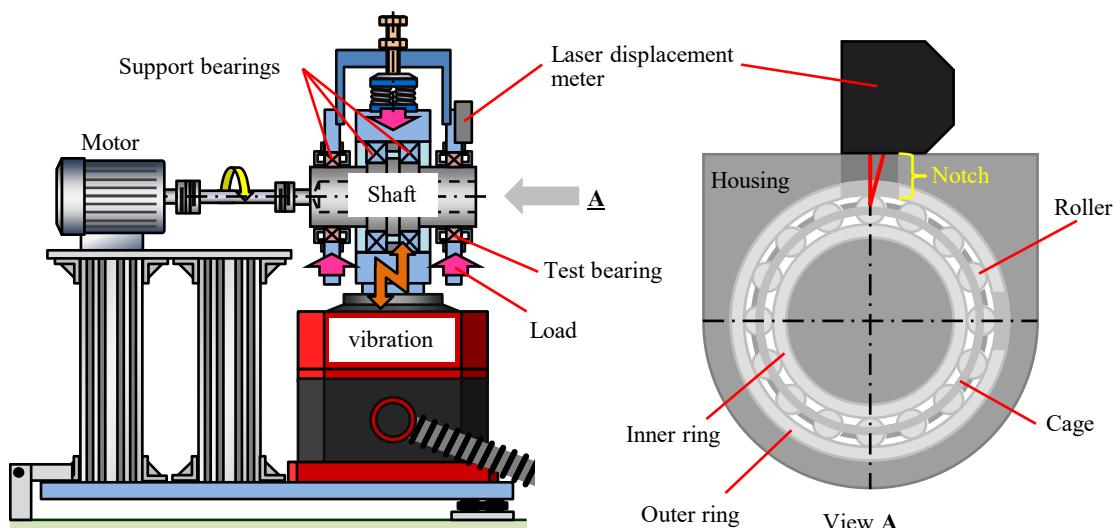


Fig. 1 Schematic of experimental apparatus

保持器摩耗が進行すると保持器ポケット部が拡大することで保持器の振れ回りが大きくなると考えられる。したがって保持器の振れ回りの経時変化を測定すれば、保持器摩耗の経時変化を知ることができる。そこで、Fig. 1 の試験装置を軸端側から見た図に示すとおり、保持器の半径方向の1軸の変位をレーザ変位計により非接触で測定することとした。これにより、保持器の運動を阻害することなく、その変位を測定することができる。レーザ変位計は試験軸受のハウジングに取り付けられ、レーザ光はハウジングおよび試験軸受外輪に設けられた切れをを通して保持器円環部に照射されている。この試験装置を試運転した際に得られた保持器の半径方向変位の時間変化の例を Fig. 2 に示す。保持器の半径方向の変位は正弦波状であり、その周期は保持器の回転周期である 0.023 s と一致している。これは、新品の保持器であっても保持器ポケット部ところの間にはすきまが設けられていることから、このすき間に応じて保持器が振れ回っているためと考えられる。保持器摩耗が進行すると、保持器の振れ回りが大きくなるため、保持器の半径方向の振幅が増加すると考えられる。そこで、本試験では 1 s 間ごとに Fig. 2 中に赤線で示したとおり、最大値と最小値の差を求める（以下、保持器の振幅という）、保持器の振幅を試験開始から終了まで記録することとした。

3. 試験結果

試験結果を Fig. 3 に示す。ここでは試験中の外輪温度、振動加速度（1 kHz のローパスフィルタ通過後）の実効値および 2.2 節で示した保持器の振幅をそれぞれ示している。また、保持器の振幅については測定値を灰色で示しているがその変動が大きいため、120 点のデータで移動平均を求め黒色で示している。焼付きに至るまでの総回転数は 2.2×10^8 回転であった。外輪温度および振動加速度とともに焼付きに至る直前まで安定して推移しており、焼付きの直前に急激に上昇している。一方、保持器の振幅は 1.4×10^8 回転程度までは安定して推移しているものの、 1.4×10^8 回転を超えると徐々に増加し、焼付きに至る直前に急激に減少している。このことから、 1.4×10^8 回転までは潤滑が安定し比較的摩耗が少ないが、 1.4×10^8 回転を超えたあたりから、ころと保持器の油膜切れによる固体接触が始まると徐々に摩耗が進行し焼付きに至ったと考えられる。また、焼付きの直前に保持器の振幅が急激に減少した原因は不明であるが、焼付きにより保持器の運動が拘束された可能性が考えられる。

以上のことから、レーザ変位計で保持器の振幅を測定することで、保持器摩耗の経時変化を測定できることが分かった。また、保持器の振幅が増加し始めた総回転数を得ることで、焼付きまで至らなくても焼付きに至る総回転数を予測したり、焼付きを温度や振動よりも早期に予知したりできる可能性が示唆された。

4. おわりに

レーザ変位計で保持器の振れ回りの振幅を測定することで、保持器摩耗の経時変化を測定する方法を確立した。また、この方法を用いてグリース量を少なくした軸受の保持器摩耗の経時変化を測定した結果、回転開始からある程度経過した時点で摩耗が発生し始め、焼付きに至ることが分かった。

文献

- 1) 鈴木・高橋・糸魚川・前川：円筒ころ軸受におけるころと保持器の接触力（ころと保持器のダイナミクスに着目した考察），日本機械学会論文集，88，911（2022）22-00153.
- 2) 鈴木・高橋：円筒ころ軸受における保持器の摩耗低減に関する検討，トライボロジー会議 2020 秋別府予稿集，G14.

Table 1 Experimental conditions

Radial Load	922 N/bearing
Rotational Speed	6100 min ⁻¹
Rotational pattern	Forward (110 min) ↓ Pause (10 min) ↓ Reverse (110 min) ↓ Pause (10 min)
Vibration	50 m/s ² (40 Hz)
Lubricant	Grease (1 g)

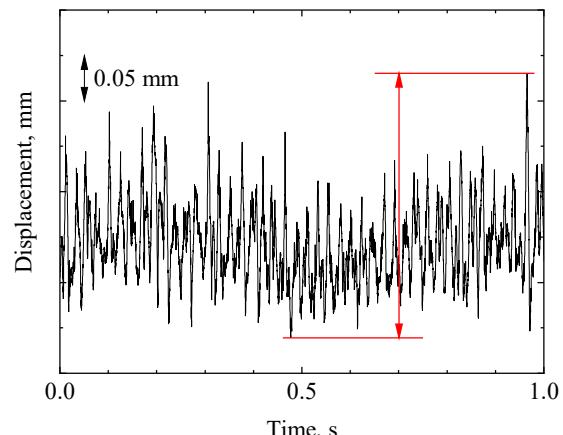


Fig. 2 Displacement of cage during commissioning

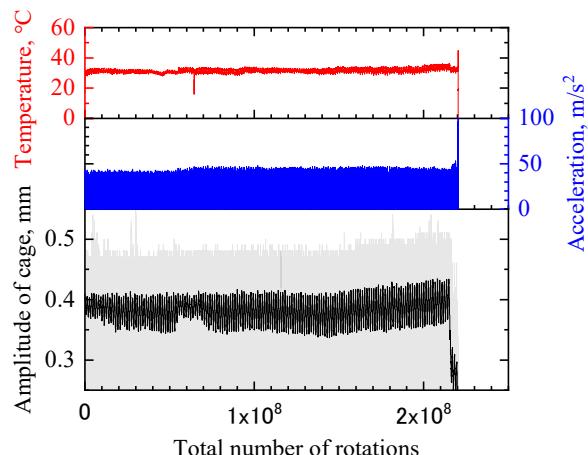


Fig. 3 Experimental results of test bearing