

234 往復運動する転がり軸受の寿命について

Life of Oscillating Rolling Bearings

○ 山本 拓未 (東京電力)

正 黒木 雅彦 (東京電力)

正 吉野 伸 (東京電力)

Takumi YAMAMOTO, Tokyo Electric Power Company, 4-1 Egasaki-cho, Tsurumi-ku, Yokohama

Masahiko KUROKI, Tokyo Electric Power Company

Shin YOSHINO, Tokyo Electric Power Company

Key Words: Rolling Bearings, Oscillating, Bearing Life

1. 緒言

発電所などで使用される大型ファンのなかには、動翼の開度を変化させて風量を調整するものがある。この場合、動翼の遠心力を支え、かつ動翼をある範囲で往復運動させるため、スラスト型転がり軸受が使用されることがある。この転がり軸受（以下、動翼軸受と呼ぶ）に万一、故障が発生して動翼が動かなくなった場合、大型ファンの機能が損なわれてしまうため、動翼軸受の状態（劣化や損傷の程度）を把握しておく必要がある。しかし、大型ファン運転中に動翼軸受の状態を確認しようと考えた場合、動翼軸受自体が動翼とともに回転をしており、かつ大型ファンのケーシング内に収まっているため、通常の電動機や小型ファンのように軸受部の聴診や触手による確認という手法が採用し難い。また、動翼軸受が往復運動をするために一般的な軸受寿命式を適用することができず、動翼軸受の寿命を把握する上で難しい面がある。

一方、和泉⁽¹⁾や Li⁽²⁾らは、数 100cpm (cycle/min) 以上の揺動（往復）速度で微小角度を揺動運動させた場合のラジアル軸受のフレッチング摩耗について、検討を行っている。しかし、動翼軸受は 100cpm 未満の往復速度で往復運動するため、これらの知見をそのまま適用することは難しい。

そこで、高荷重下において、比較的遅い速度で往復運動する転がり軸受の寿命を把握する目的で、無潤滑状態における軸受試験を行った。本報では、往復運動している転がり軸受の寿命と往復角度の関係について報告する。

2. 試験内容

軸受試験は調心座金付き単式スラスト玉軸受 JIS53226X 相当品（内径 130mm, 外径 190mm）の廃却材を用いて行った。

今回製作した軸受試験機は、図 1 に示すように供試軸受の上部に支持軸受を設け、その上部より油圧ユニットで一定のスラスト荷重を負荷する方式であり、最大 100kN まで負荷できる。往復運動は、供試軸受の下側に設置した駆動モータにより実現し、試験の往復角度を 1 度～30 度の範囲、往復速度を 1.5cpm～60cpm の範囲で調整可能とした。軸受試験の終了条件は駆動モータの電流値から換算した供試軸受の往復運動に係わるトルク値の上昇であり、トルク値が予め設定された閾値を連続的に超えた場合に試験機を自動停止させた。

試験の条件は表 1 のとおりである。供試軸受の往復速度を 60cpm、スラスト荷重を 70kN とし、往復角度を 1 度～10 度まで 4 通りに変化させて試験を行った。N 数は、1 度が 5、2 度が 9、3 度と 10 度が 10 である。潤滑条件は無潤滑であり、内外輪の軌道面、玉や保持器ポケット部

などを洗浄液で洗浄した後、大気中で試験を行った。なお、試験機の負荷能力の範囲内で充分な高荷重下を実現するため、玉数を 4 球に数量調整した。仮に 4 球で定格荷重を見積もる⁽³⁾と、基本静定格荷重 117kN、基本動定格荷重 60kN 程度となる。また、表中のヘルツ接触圧力や接触幅は内輪と玉の接触部の概算値⁽³⁾である。

試験の手順は、試験開始前に手で内輪を微小揺動させて軽くならしを行い、次いで内輪の平行度を水準器で調整した後、所定の加圧荷重、往復速度、往復角度による試験開始とした。また、内輪と軸の摩擦を低減させる目的で内輪内面（軸と接触する内輪内径の面）にタービン油 VG32 を手で薄く塗った。この油量はごく微量であり、試験前後に目視確認したところ、内外輪軌道面、玉や保持器ポケット部への油の流入は認められなかった。

軸受の温度、大気温度や湿度は制御しておらず、試験は室内（室温 18℃～26℃、湿度 48～55%RH）で行った。

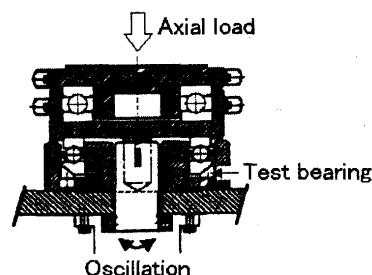


Fig.1 Test apparatus for bearing life assessment

Table 1 Test conditions

Test rolling bearing	JIS 53226X (used)
Number of balls	4
Axial load	70kN
Lubrication	Dry (atmosphere)
Oscillation speed	60 cpm
Amplitude of one oscillation cycle	1,2,3,10 (deg)
Hertz Max. contact stress	3.5GPa
Contact width(2a × 2b)	7.6mm × 1.2mm

3. 試験結果

横軸を往復回数、縦軸をトルク比（一定期間の最大のトルク値／試験機自動停止の設定トルク値）とした経時変化の例を図 2 に示す。往復角度 1 度のときのみ、全ての試験でトルク値の上昇が認められなかったため、途中で打ち切った。（図中、→表記）その他のときは、全てトルク値上昇に伴う試験機自動停止により試験を終了した。（図中、×表記）

図3に軸受試験後の内輪軌道面の摩耗例を示す。1度では転がり方向（周方向）中心部でほとんど摩耗していない固着域が認められるが、3度以上では中心部でも摩耗していることがわかる。また、摩耗は回転中心に対して中心側より外周側のほうが進んでいる傾向にあった。

図4に軸受試験の寿命試験結果を示す。図中の矢印は打切試験を意味する。また、図4から求めた往復運動する軸受寿命の推定値を表2に示す。表2において、L10は破損確率10%、L50は破損確率50%の寿命である。

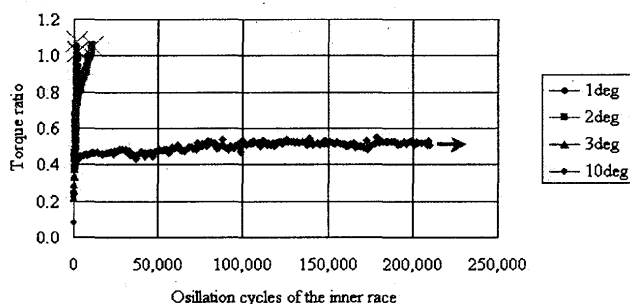


Fig.2 Torque ratio vs Oscillation cycles

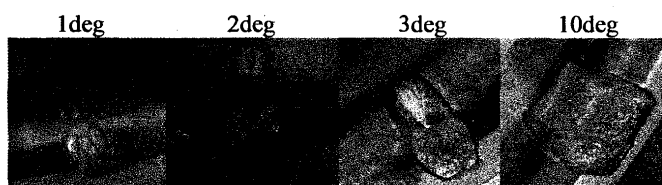


Fig.3 Inner race conditions after test

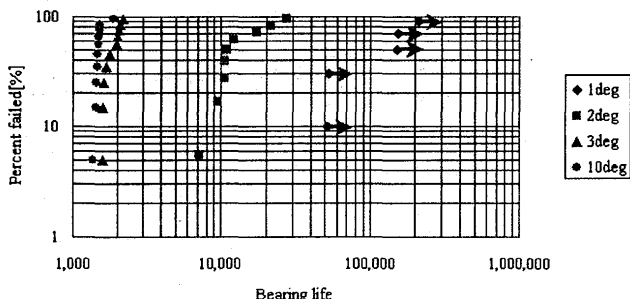


Fig.4 Life test results of oscillating rolling bearings

Table2 Estimated bearing life

Amplitude of oscillation (deg)	L10 (Cycles)	L50 (Cycles)
1	Non	Non
2	8,198	11,225
3	1,580	1,827
10	1,350	1,456

4. 考察

Rumbarger⁽⁴⁾は、往復運動する転がり軸受の疲れ寿命推定を行っており、スラスト玉軸受の場合、次に示す方法で往復寿命を推定できる。すなわち、最小往復角度を θ_{crit} 、フレッチング摩耗を生じるような極めて微小な往復角度を θ_{dith} とすれば、本試験のように θ_{dith} と θ_{crit} の間で往復運動している軸受寿命と往復角度には式(1)の関係が成り立つ。なお、 θ_{crit} は軌道面に局所的な凸凹が発生しないような内輪の最小移動角度であり、 θ_{dith} は式(2)で計算さ

れる。今回の場合、 $\theta_{crit}=180$ 度、 $\theta_{dith}=0.9$ 度である。

$$L \propto (180/\theta)^p, \quad p = 0.3 \times 3 = 0.9 \quad (1)$$

$$\theta_{dith} = \frac{720 \cdot b}{D_{pw} \cdot \pi} \quad (2)$$

L : 往復運動する軸受寿命

θ : 往復角度 (度)

b : ヘルツの接触楕円の短径 (mm)

D_{pw} : 玉のピッチ円直径 (mm)

さて、表2のL10を $180/\theta$ との関係としてプロットした結果が図5であり、2度～3度のとき $p=1.35$ 、3度～10度のとき $p=0.04$ となる。

ここで、回転する玉軸受の荷重係数は、式(1)で3としているが、岡本⁽⁵⁾は約5を得ており、幅があると考えられる。つまり、式(1)の p は0.9～1.5とばらつくことが想定され、往復角度2～3度のときはこの範囲に収まる。

以上から、無潤滑で往復運動する軸受に対して、往復角度1度は θ_{dith} にほぼ近く式(1)の範囲外の寿命であること、2度～3度は式(1)で寿命を推定できること、3度～10度は寿命に及ぼす影響に大差がないことがわかった。

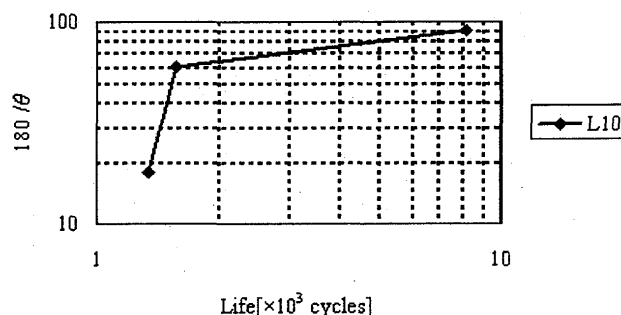


Fig.5 $180/\theta$ vs Life

5. まとめ

- (1) 動定格荷重を超える高荷重下において、低速で往復運動する無潤滑状態の軸受寿命に及ぼす往復角度の影響範囲は狭く、2～3度の範囲であった。
- (2) 今後、往復速度や一定速度下の往復角度と軸受寿命の関係を調査していく所存である。

6. 参考文献

- 1) 和泉直志,市丸和徳ほか:揺動下の転がり軸受のフレッチング摩耗,日本設計工学会研究発表講演会講演論文集,春季(1998),115～p.120.
- 2) Qijun Li,志摩政幸ほか:転がり軸受のフレッチング摩耗に関する研究(第4報),トライボロジスト,40,12(1995),1029～1036.
- 3) J.ブレンドライン,P.エッシュマンほか(吉武立雄訳):ころがり軸受実用ハンドブック,工業調査会(1996).
- 4) Rumbarger,J.H.:Simplification of Dynamic Capacity and Fatigue Life Estimations for Oscillating Rolling Bearings, ASME J. of Tribol., Vol.125, No.4, (2003), 868～870.
- 5) 岡本純三,藤昌夫ほか:玉軸受の寿命に対する荷重の指数について,トライボロジスト,第47巻,第10号, (2002), 758～788.