

発電所実用ベアリングの余寿命評価のための残留応力測定

上坂 充¹⁾藤原 健¹⁾

Mitsuru UESAKA

Takeshi FUJIWARA

¹⁾ 東京大学

(概要)

本研究では、軸受の中でも最も一般的に使われている転がり軸受の1つである深溝玉軸受の転動体球を対象に、中性子線による回折を利用して、内部にかけての残留応力を測定し、物体内で起きている破壊・劣化現象を高精度に分析する。残留応力は部材の疲労を示す有力なパラメータであるが、実際の回転機器診断において測定されている外部から得られるパラメータ（軸受の劣化によって生じるノイズである Acoustic Emission(AE) 信号、振動加速度信号、及び軸受中の油膜内摩耗粒子数）と応力変化を複合させることでそれぞれのパラメータの相関を解明し、信頼度の高い診断手法の確立を目指すものである。

キーワード：残留応力測定、軸受、余寿命予測、中性子回折

1. 目的

本研究では軸受の中でも最も広く使われている転がり軸受(図1)の正確な余寿命評価の手法を検討した。高炭素クロム鋼製の転動体球は製造工程で表面に高周波焼入れを施されており強い圧縮応力を有している。そこで加速劣化試験により作成した異なる劣化度の軸受の回転部分である転動体球に対し放射線回折で表面から内部にかけての残留応力測定を行うことで、繰り返し応力による転動体の疲労破壊現象を残留応力の変化で捉え、Acoustic Emission(AE)法や油膜内摩耗粒子法などとの相関を考慮することで疲労メカニズムを解析し正確な余寿命予測の手法の確立を目指す。また、転動体の残留応力測定は従来あまり行われておらず、中性子線や放射光による測定で相補的に結果を議論する点も重要である。本研究では、従来よりも正確な軸受の余寿命評価のために、最終的には転動体の疲労曲線において現場で観測可能な事象と残留応力の相関を検証し、高精度な診断手法を確立することを目的とする。

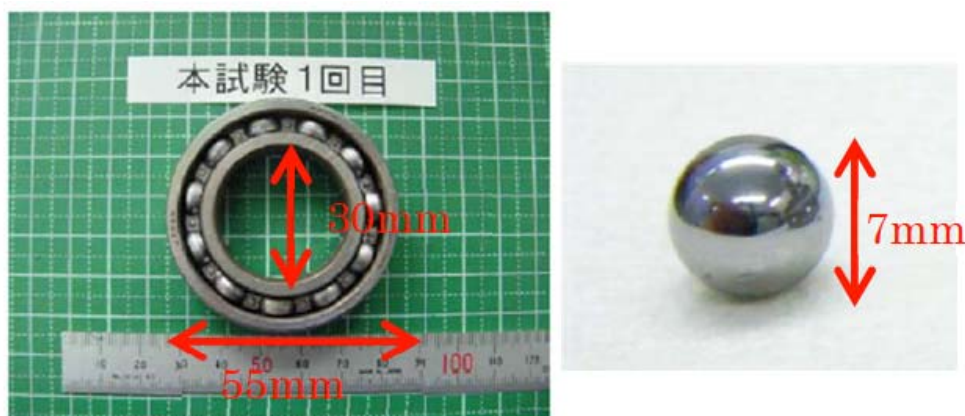


図1 試験片として使用した転動体

2. 方法

中性子線は物質に対し強い透過力を持っているので、実験室 X 線では測れない物質内部まで侵入し、その回折ピーク角度またはピークエネルギーを測定することで応力ひずみ状態を調べるこ

とができる。ビームサイズに依存する測定領域(ゲージ体積)内の平均値を求めている。エネルギー一回折角を固定し、他方の値を測定することで、Miller 指数で表される回折面における格子間隔 d を求められる。残留応力を計算するには Hooke 則から導かれる式(1)に示すように3方向の格子ひずみが必要である。本研究で使用した転動体のサンプルは、直径7mmの高炭素クロム鋼で、トライボテックス社による加速劣化プロセスを用いて、劣化度の違う3つの試験体を用意した。それぞれ New (新品)、AEpeak (Acoustic Emission の発生数がピークになった状態)、Broken (振動加速度信号がピークに達した直後の状態)の3つの試験体について内部の残留応力の分布状態を JRR-3 RESA の熱中性子線を用いて測定した。残留応力分布は球の周方向、径方向について測定し、ここではそれぞれ Hoop 方向、Radial 方向と呼ぶ。

3. 研究成果

図 2,3 は測定で得られたベアリングの残留応力分布である。

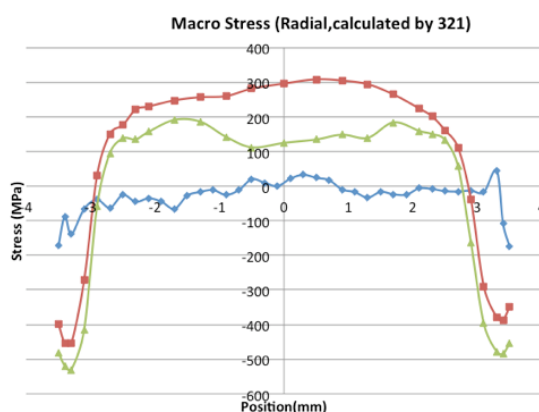


図 2 Radial 方向残留応力分布

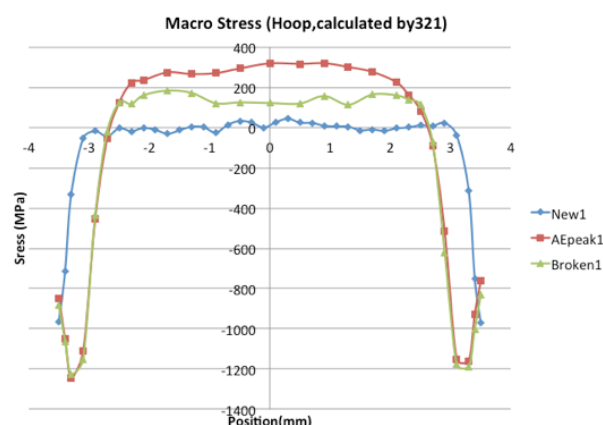


図 3 Hoop 方向残留応力分布

得られた応力分布は中心に対称であることから、測定結果の信憑性は高い。また、New の表面には hoop 方向に強い圧縮応力が存在している。これはピーニングによる表面硬化処理の効果と判断できる。New の内部では無ひずみ値と仮定した中心とほぼ変わらず応力値がゼロであり、その仮定が非常に本試料の応力系に適していることを示している。また、hoop、radial 両方向で、劣化により圧縮のピークが表面から 0.3mm あたりに発生していることが観測された。そして、hoop、radial 両方向で、劣化により表面近傍が圧縮になったため、内部(約-2.7~2.7mm)で引張に変化している。AE と Broken サンプル内部に出ている引張の差異があり、New から AEpeak にかけて一旦内部の引張が上昇し、Broken でまた内部の引張が減少に転じているについては興味深い現象であり、破壊メカニズムの解明に繋がる可能性がある。

4. 結論・考察

従来の単色 X 線による回折測定では軸受の表面のみの残留応力の変化を調べることができなかった。中性子は測定領域の分解能は低いながらも内部の応力分布の変化及び残留応力を測定可能で

放射光は高分解能で表面から内部にかけて当試料を分析可能結果としては各手法で当試料の応力・ひずみ状態は十分に測定可能であるため、今後は位置決めや無ひずみ値の正確な測定に注意し、複数手法の相補的な利用及び比較対照を行い転動体の残留応力測定を進めていく。現在 RESA-1 と SPring-8 で新たに実験を予定している。

5. 引用(参照)文献等

山本智彦, 可搬型高エネルギー X 線源の原子力保全応用, Dissertation(2010)

Paul S. Prevéy, X-ray Diffraction Residual Stress Techniques, American Society for Metals, 380-392(1986)

秋庭義明, 新しい光源による応力評価 中性子回折による応力測定, J. Soc. Mat. Sci Japan, Vol54, No. 7, pp. 780-790(2005)

菖蒲敬久, 柴野純一, 回折法による材料評価の新しい展開 高エネルギー放射光による応力測定, J. Soc. Mat. Sci Japan, Vol58, No. 11, pp. 948-954(2009)