

超音波振動計を用いた縦型ポンプ診断

Vertical type pump diagnosis using an ultrasonic vibrometer

(株)東芝	日隈 幸治	Koji HIGUMA	Member
(株)東芝	尾崎 健司	Kenji OSAKI	
(株)東芝	渡部 幸夫	Yukio WATANABE	Member
(株)東芝	清水 俊一	Shunichi SHIMIZU	Member
東京電力(株)	山下 和彦	Kazuhiko YAMASHITA	
東京電力(株)	高柳 英彰	Hideaki TAKAYANAGI	

This paper introduces the simply applicable vibration diagnostic technique to a vertical type pump in nuclear power plants. This technique is the combination of simple shaft vibration measurement by an ultrasonic vibrometer and a rotor dynamics simulation. By using this technique, for vertical type pump, a simple and high-precision diagnosis is attained. It is expected that this technique has effect in cost reduction and improvement of reliability in nuclear power plants.

Keywords: Ultrasonic vibrometer, Vibration diagnosis, Rotor dynamics simulation, Condition based maintenance

1. 緒言

近年、我国の原子力発電所においても、状態監視保全 (CBM) の導入が進められており、特に横置き of 非重要回転機に対して、振動診断を基にしたCBMの導入が進んでいる。今後、信頼性を重視した保全計画導入が進められるに従い、CBMの対象機器は増加していくものと予想される。その中で、縦型ポンプに対しても、CBMを適用することにより、保守最適化の効果として、信頼性向上及び保守費低減等が期待されている。しかし、現状では、プラント現場に簡易に適用可能で、かつ十分な精度のある、縦型ポンプの振動診断手法は、ほとんど提案されていない。本稿では、この問題を解決するために開発した、超音波振動計による軸振動計測と振動応答解析の組み合わせによる新規の診断手法を紹介する。

2. 縦型ポンプ診断の課題と対応

一般に、振動診断では、診断の基準となる振動特性 (振動値や周波数特性等) を把握し、定期的に計測する振動データを比較して、回転体アンバランスや軸受故障等の異常について、徴候の検知や発生部位の評価等を行っている。しかし、縦型ポンプへの適用には、

以下の問題点がある。

<診断基準の把握が困難>

縦型ポンプでは、重力による軸受負荷がないことから、軸受に滑り軸受が使用されている場合、軸受特性が安定しないため、振動データがばらつきやすく、非線形自励振動が発生しやすいため、基準の振動特性が把握しにくい。

<測定及び診断が困難>

横型ポンプでは、軸受等の非回転部の振動加速度を測定することにより、比較的容易に、診断が可能である。しかしながら、縦型ポンプでは、通常運転中はアクセス不能な床下に、ポンプ本体が設置されているため、振動加速度の測定は難しい。また、非回転部の加速度の変化は、異常の発生に対して十分な感度がないため、測定データを基にした診断が難しい。

縦型ポンプの振動診断では、以上の問題を解決するために、非回転部の加速度よりも、異常の影響が顕著に現れる軸振動を直接測定することが不可欠である。しかし、従来の軸振動直接測定手法では、揚水管に穴加工を施した上で、センサヘッドを常設しなければならないため、実機適用が困難であるという問題点もあるため、この解決も必要であった。

本稿で紹介する診断手法は、新規に開発した超音波振動計を使用して、縦型ポンプの揚水管の外側から内

連絡先:日隈幸治、〒235-8523 神奈川県横浜市磯子区新杉田8、(株)東芝原子力電気計装設計部、電話: 045-770-2431、e-mail:koji.higuma@toshiba.co.jp

部の軸振動を簡易に直接測定することにより、縦型ポンプに対しても振動診断の適用を可能としている。さらに、軸振動計測と振動応答解析の組み合わせにより、軸受摩耗の定量診断や進展予測も可能としている。これらの手法を用いることにより、これまで困難であった縦型ポンプに対する振動診断を基にしたCBM適用を可能としている。以上の手法については、現在、実機における検証を実施している。

3. 超音波振動計

図1は超音波振動計の原理と装置の写真である。本装置は、図1の左上の外観写真にあるように、超音波送受信器、超音波探触子、データ記録及び表示用の計算機からなり、右上の写真のように、超音波探触子を揚水管に取り付けて使用する。動作原理は、図1の下側に示すとおりである。まず、揚水管の外側から内部の回転軸に対して、一定周期で、超音波を発信し、反射された軸のエコー波を受信する。パルス発信周期毎に得られるエコー波受信時間の変動幅に液体中の音速を乗じれば、軸振動変位量となる。以上を繰り返し、パルス発信周期毎に求められる変位量を、時系列として処理することにより、測定対象の振動変位波形が復元される。

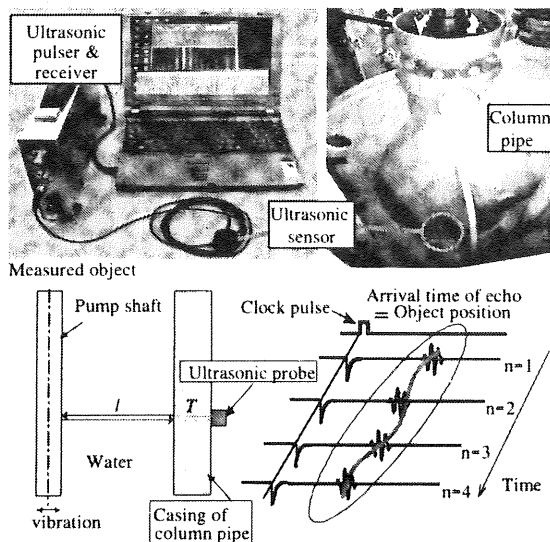


Fig. 1 Principle of vibration measurement

4. 診断

この超音波振動計により、縦型ポンプでも軸振動が簡易かつ高精度に測定できるため、振動診断適用が可能となる。一方、実機の点検報告書を調査し、劣化発生状況を詳細に分析したところ、縦型ポンプの点検周期を最適化する場合、特に海水ポンプにおいて、軸受摩耗がクリティカルとなることが判ったため、超音波振動計による軸振動測定と振動応答解析を組み合わせた定量診断手法を開発することとした。図2は開発した手法の概要であり、図3は振動応答解析に用いるモデルである。モデルは図3の左側に示すように、ケーシングや揚水管等の構造物モデルに対して、軸受は剛性と減衰特性を持つ軸受を介して回転軸モデルが支持される構成となる。以下に、手法の概要を示す。

1) 振動応答解析モデル作成

対象となるポンプの寸法、材質、軸受形状等の仕様をもとに振動応答解析モデルを作成する。

2) データベース作成

上記1)の解析モデルを用いて、軸受摩耗が発生した場合の振動の変化を振動応答解析より求め、軸受摩耗量対軸振動観測値のデータベースを作成する。図3の右側に示すように、軸受が摩耗した場合、剛性と減衰特性が低下するので、振動が変化する。

3) 実機データ採取

実機において、超音波振動計により、軸振動を測定し、上記2)のデータベースを参照し、軸振動測定値から軸受摩耗量を求める。

4) 軸受摩耗量推定と予測

上記3)を適切な周期で行った結果の傾向から、軸受摩耗量が交換基準に達する時期を予測し、次回点検時期を調整する。

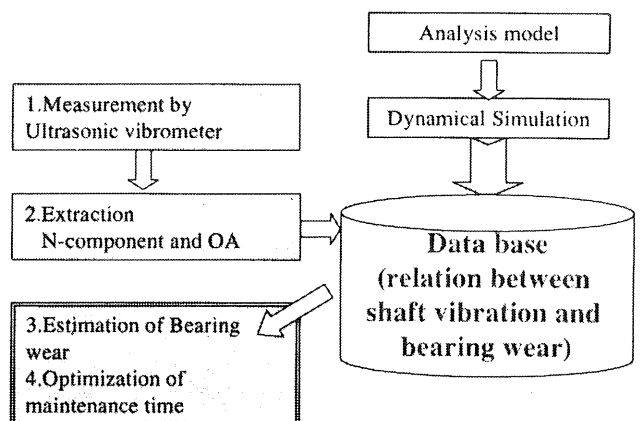


Fig.2 Outline of diagnosis

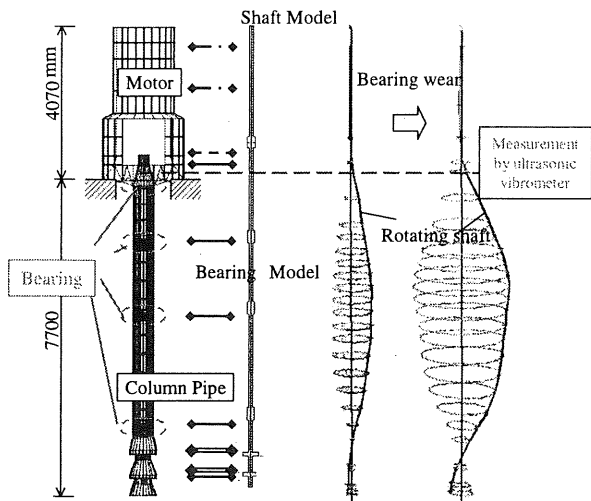


Fig.3 Vibration analysis model and bearing wear

以上の解析モデルと振動応答解析手法の検証のため、図4に示す実機相当のモックアップ試験装置を製作し、軸受摩耗加速試験を実施した。試験では、装置の試験ループに砂を混入し、軸受を摩耗させながら振動を測定し、試験装置で実測したと、振動応答解析で算出した軸受摩耗対軸振動が一致することを確認した。

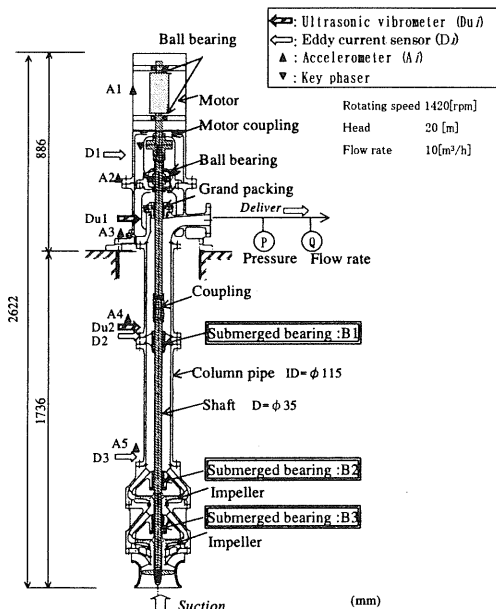


Fig.4 Outline of examination machine

図5は試験における軸受摩耗進展と振動推移の例である。本図の上段が超音波振動計による軸振動測定結果で、下段が軸受摩耗の実測値である。両者の変化傾向は、ほぼ一致しており、摩耗が進むに従って、非線形自励振動に対応する回転数の1/2の周波数成分(1

／2 N成分)が発生し、その後摩耗の進展速度が増加していることがわかる。図6は、この試験結果に対応する振動応答解析結果の例であり、軸受摩耗発生前後の軸各部の振動状況を表している。摩耗発生後は、軸振動のリサージュが2重になっているが、これは、上記の1／2 N成分に対応したものであり、解析でも実機で発生している非線形自励振動の発生が再現できることがわかる。図7は、軸受摩耗発生前後で、回転軸の、実測した軸振動振幅と、解析により求めた振幅を定量的に比較したものであり、縦軸が軸方向位置、横軸が振幅である。これより、本手法により、軸受摩耗対軸振動の特性を定量的にほぼ再現できることがわかる。なお、図7の右側のグラフは、実機で発生する組み立て誤差を考慮し、軸のカップリング部に曲がりが発生させた試験と解析の結果であり、これより、実機を想定した状況でも、本手法が有効であるといえる。

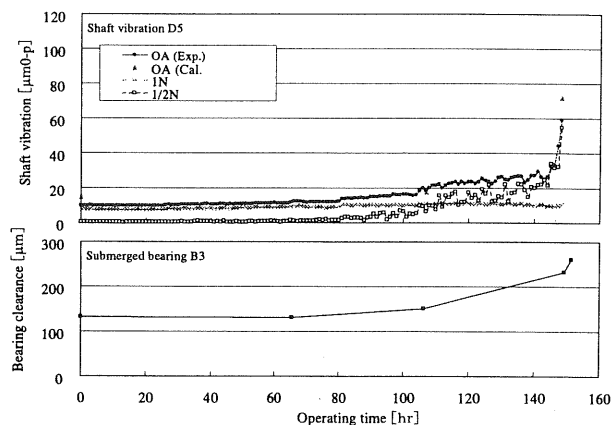


Fig.5 Example of mock-up examination

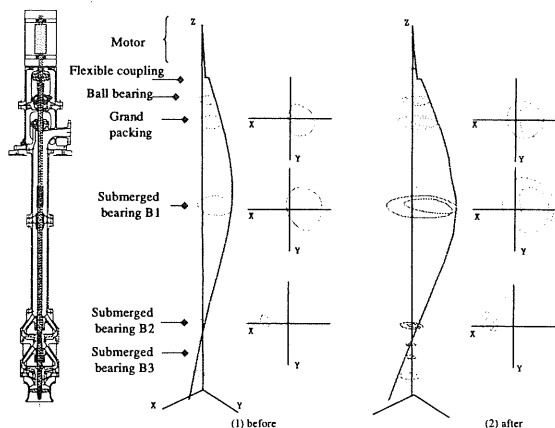


Fig.6 Example of simulation

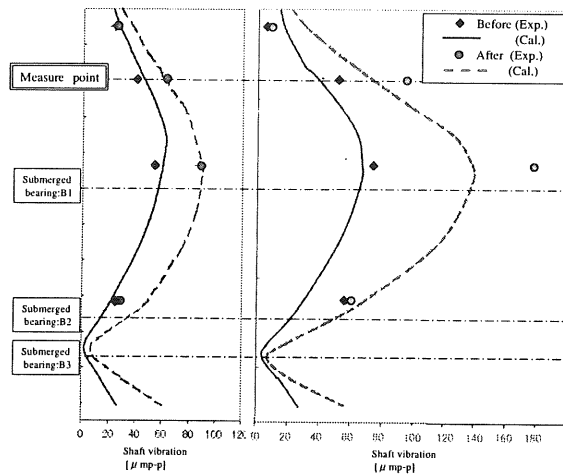


Fig.7 Comparison of shaft vibration between analysis results and test results

5. 実機における検証

診断手法の実用化のためのフィールド試験を、実機の縦型ポンプを対象として、実施中である。

まず、実機において超音波振動計によるデータ採取が可能であることを検証し、その後、定期的にデータ採取を継続している。この測定と並行して、対象ポンプの振動モデルを作成し、振動応答解析により、軸振動対軸受摩耗のデータベースを構築した。図8は、このデータベースの例である。この図では、軸振動振幅の軸方向の分布であり、横軸の左端がモータ最上部、右端がポンプのインペラ先端であり、縦軸は軸の各位置の軸振動振幅を表している。ここでは、パラメータとして、軸受隙間（摩耗量）を新品軸受の初期値から取替え基準到達までの4段階に変化させて解析を実施しており、それぞれの状態での振幅の分布を示している。したがって、実測値（図中の▲と■）とこの図を照合することにより、軸受摩耗量の推定を可能としている。今後、次回の分解点検まで、データ採取を継続し、振動測定結果から推定される軸受摩耗と、分解点検にお

いて実測される軸受摩耗を比較することにより実用化が可能であることを検証する。

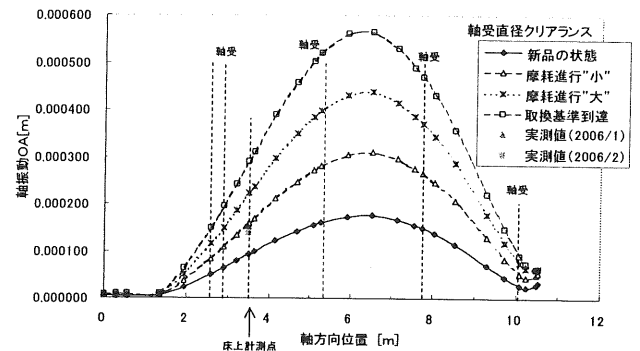


Fig.8 Example of database (relationship between vibration and bearing wear)

5. 結言

本稿では、縦型ポンプのCBMに適用可能な振動診断手法を紹介した。本手法の実用化は、プラントの信頼性向上と保守費低減への寄与するものと期待される。現在、本手法の実用化を目的に、実機を対象としたフィールド試験を実施中であり、良好な結果を得ている。今後も、データの蓄積を進め診断精度の向上を図っていく。

参考文献

- [1] 尾崎健司他、”縦型ポンプの監視診断装置の開発”、D&D2002, 210 (2002)
- [2] 尾崎健司他、”海水ポンプの監視診断装置の開発”、D&D2004, 197 (2004)