

卒業論文要旨

ジャーナル軸受の超音波潤滑診断

システム工学群

医工先進検査システム研究室 1200097 道家 匠郎

1. 緒言

近年の自動車エンジンの摺動面は、燃費の向上や潤滑油の節約のために微量な低粘度油で潤滑されている。そのため、ハイブリット化やアイドルストップ等による高効率化を実現する過程で、摺動面はより過酷な潤滑状態におかれる傾向にあり、例えば油の枯渇や固体接触部での油膜破断に伴う潤滑状態の悪化が懸念される。そのため、運転中の潤滑状態の定量的な評価がこれまでも増して重要となってきている。

本研究では、軸受の摺動面に何らの加工も施さずに、潤滑膜の厚さや油膜破断そして固体接触状態を把握可能な超音波法での潤滑状態の評価を試みている。ここでは、エンジンのコンロッド大端部にあるジャーナル軸受の潤滑診断用に開発した、クランクピン軸挿入型超音波探触子の基礎特性の把握を目的とし、静荷重下での潤滑状態評価の可能性について検討した。

2. 測定原理・方法

図1に実験装置の概略を示す。本実験では、軸挿入型超音波探触子に加え、図2に示すように、45°の角度を隔てて、軸受外周に配置した3つの超音波探触子による測定も併せて行った。そして両者の比較から、軸挿入型探触子での潤滑評価の妥当性を確認している。

例えば、軸受外周に設置した探触子から入射された超音波の一部は、薄い潤滑膜内で多重反射を繰り返す。潤滑膜部からの反射波の振幅(エコー高さ h)は膜厚に依存するため、エコー高さでの膜厚測定が可能となる。また、軸と軸受が接触する混合潤滑状態になると、固体接触領域の真実接触点を通じて軸側に透過する超音波の量が増すため、反射波のエコー高さは低下する。

軸挿入型探触子でのエコー高さ h についても軸と軸受の関係が逆になることはあるが、ほぼ同様である。ただし、探触子と軸円筒内面での2回の反射波の中央に、潤滑面からの反射波が位置するよう、超音波伝搬用の油膜厚さと軸円筒の肉厚を調整してある。軸挿入型の探触子では、荷重方向を $\theta=0^\circ$ とし $0^\circ, \pm 15^\circ, \pm 30^\circ, \pm 45^\circ, \pm 90^\circ, \pm 135^\circ, \pm 180^\circ$ での潤滑状態の診断を行った。なお、 $\theta=0^\circ, \pm 45^\circ$ については軸受に設置した探触子での潤滑評価も併せて行っている。

Principle of ultrasonic Probe (shaft)

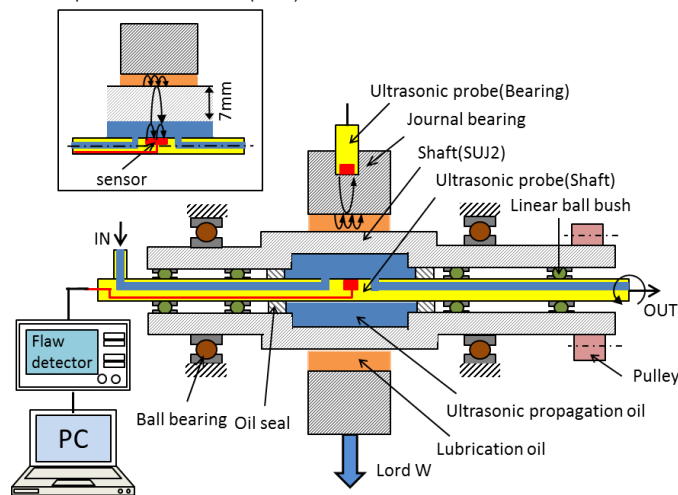


Fig.1 Experimental device

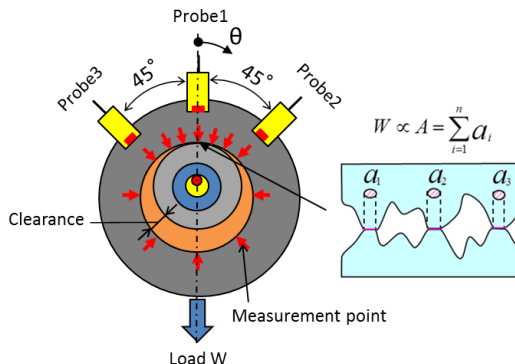


Fig.2 Measurement point

3. 較正曲線の取得

前述のように、油膜厚さ S は、潤滑面からの反射エコー高さ h により推定されるため、予め S と h の関係を求めておく必要がある。例えば、軸受取付型探触子1~3については、軽い鉛直荷重($W \approx 5N$)を負荷した状態で軸受を θ 方向に回転させて回転角度 θ と h の関係を求めた。一方軸挿入型探触子については、軸受と軸を静止させた状態で、軸内の探触子を $\theta=0^\circ \sim 360^\circ$ 回転させて、同関係を求めている。

軸と軸受間がドライ(油膜無し)な状態でのエコー高さ h_0 で規格化したエコー比 $H(=h/h_0)$ と θ の関係は図3(a)

のようになる。 $\theta = 0^\circ$ または 360° では、軸と軸受は軽微な固体接触下にある。そこでの H は探触子によって異なっているが、使用した4個の探触子のいずれにおいても、 $\theta = 180^\circ$ の最大膜厚位置に近づくに従い、増加している。これらの結果を H の最大変動幅 ($\theta = 0^\circ$ と $\theta = 180^\circ$ での H の差) を1とするように標準化したエコー比 H_s と、軸と軸受の幾何学的な膜厚 $S = C_r(1 - \cos\theta)$ を使用した軸受の半径隙間 ($C_r = 25\mu\text{m}$) で規格化した無次元膜厚 S_n との関係に表し直したものが図3(b)である。これらの関係は、探触子によらない一本の曲線で表される。以後、これを較正曲線として無次元膜厚の推定を行う。

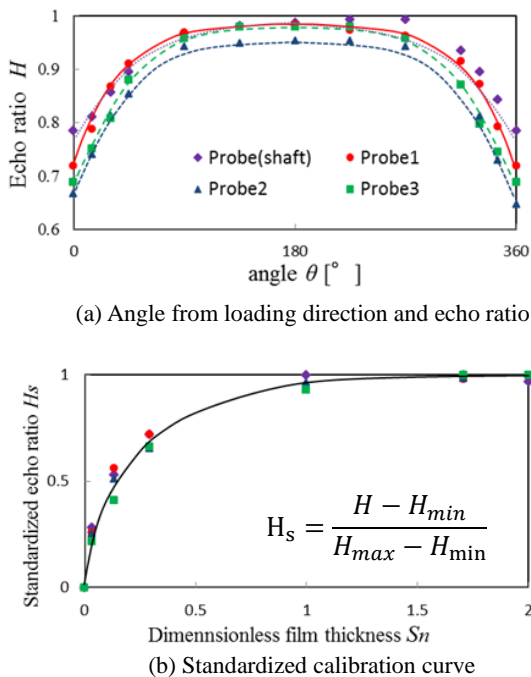


Fig.3 Calibration curve

4. 軸挿入型探触子での潤滑評価の可能性

軸挿入型ならび軸受取付型の両探触子の基礎特性の比較を目的として、①軸を静止(0rpm)させた状態で $W=0\sim 600\text{N}$ の鉛直荷重を負荷した際の $\theta=0^\circ$ (荷重方向位置)でのエコー比 H の変化、②全荷重を流体膜で支持する流体潤滑領域から、荷重の一部を固体接触部で支持する混合潤滑領域にわたる広い領域での潤滑状態の評価のために行った低回転速度(10rpm)下でのエコー比 H の挙動の違いの有無や特徴について、 $\theta=0^\circ$, $\pm 45^\circ$ 位置でのエコー比 H の観測結果を基に検討した。

図4に双方の探触子での H の挙動を示してあるが、それらの傾向はほぼ一致しており、軸挿入型探触子であっても、従来の軸受取付型探触子と同様に、正確な潤滑状態の評価が可能であることが分かる。例えば、 $N=10\text{rpm}$ の場合には、Probe1(10rpm)や $0^\circ(10\text{rpm})$ の結果が示すように、低荷重下での厚い流体膜の介在を示す H_s 高い状態から、荷重に伴う薄膜化により固体接触が始まる点での H まで低下する。この状態でさらに荷重を増すと固体接触部での荷重の支持割合が大きくなるため H は徐々に全荷重を固

体接触部で支持する $W=600\text{N}$ での H に向けて漸近する。また Probe2(-45°)と Probe3(45°)の位置での無次元膜厚の挙動も、軸挿入型、軸受取付型の双方でほぼ一致している。なお、図5は図4の無次元膜厚を縦軸 Probe2(-45°)、横軸 Probe3(45°)の関係で表したものである。

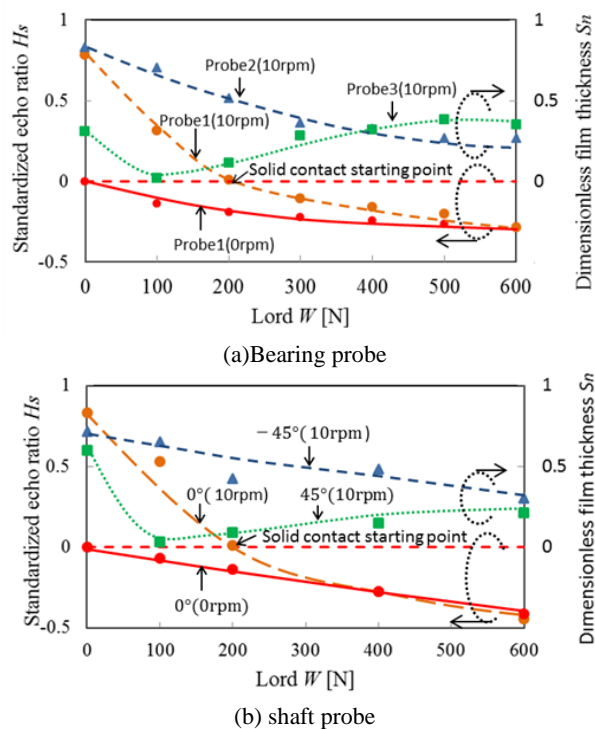


Fig.4 Standardized echo ratio behavior with load W

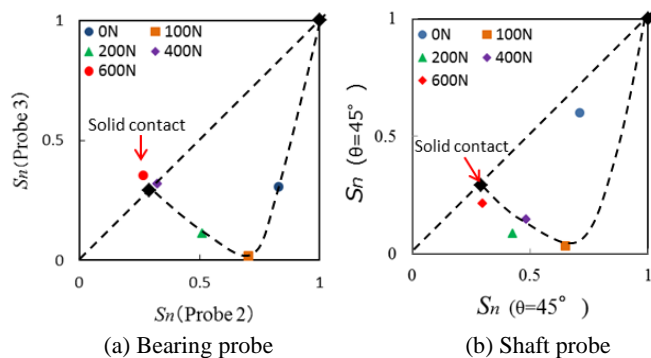


Fig.5 Dimensionless film thickness

5. 結言

軸挿入型探触子より得られたデータは軸受取付型探触子のものとほぼ同じ傾向を示しており、軸挿入型探触子での潤滑評価の可能性が明らかになった。

6. 参考文献

- 1) 竹内彰敏, “転がり軸受面での供給不足と枯渇過程の超音波観測”, 日本機械学会論文集, (2012)
- 2) Akitoshi Takeuchi “Invensation on lubrication of piston pin in real engine block with ultrasonic technique”, *Lubrication science* 2011;23:331-336