

超音波法による EHL 膜厚さ測定の可能性

トライボロジー研究室

田中 啓司

1. 緒言

自動車などに用いられる転がり軸受では、球と軌道面は高速で回転し、かつ高荷重が加わる。このとき、球と軌道面の間は、極めて狭い領域に荷重が集中して高い圧力が生じ、潤滑油が高粘度化し、2面が弾性変形を起こすことで油膜厚さが保持される EHL(弾性流体潤滑)状態となる。そのときの膜厚は数十 nm から数 μm という非常に薄い膜が形成されることが知られている。

こうした膜厚の測定法として、鋼球と光学ガラスに対して光干渉法が用いられてきたが、実機における EHL 膜は、鋼と鋼の組み合わせ面間で生じることが主であるため、光学的な手法での測定は不可能である。

そこで本研究では、非透光性材である鋼をも伝播する超音波を用いて鋼と鋼の組み合わせ面間での EHL 膜厚の測定を試みた結果について述べる。

2. 測定原理

図 1 左側に示すように、超音波探触子から発信された超音波は鋼円板底面で反射し、一部は透過して潤滑油膜内で多重反射する。ここでは鋼円板が空気と接している場合の円板底面からの反射波の波高値を基準値 h_0 により、EHL 状態にある円板の底面からの反射と潤滑膜内での多重反射波の干渉波の波高値 h を標準化した、エコー高さ比 $H = h/h_0 \times 100[\%]$ により EHL 膜厚の推定を行う。このエコー高さ比 H は、そこでの膜厚 L 、潤滑油の密度 ρ 、音速 c によっても異なるが、 c 既知の場合は、膜厚 L により一意的に決まる。

3. 実験装置

図 1 右側には、実験装置の構成を示す。厚さ 5mm の鋼製の回転円板に潤滑油を介在させた 1 インチ鋼球を純転がりさせ、荷重を負荷した場合に形成される EHL 膜を超音波測定する。潤滑油にはダフニーターピンオイル 100(DN100)を使用し、膜厚測定には公称中心周波数 50MHz、超音波照射領域 0.4mm の点焦点型超音波探触子を用いた。

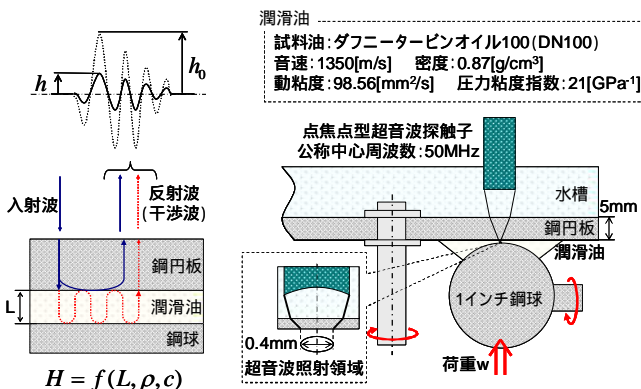


図 1. 測定原理および実験装置

4. 実験結果および考察

図 2 に $w=200\text{N}$ のときエコー高さ比 H の測定結果を示す。転がり速度が 100mm/s から 400mm/s と高くなるにつれ、EHL 部中央でのエコー高さ比は高くなっている。100mm/s では、中央部付近でエコー高さ比はほぼ平らになっており、400mm/s と油の持ち込み量が多いとき、入口に対して厚膜が形成されるような右下がりのエコー高さ比が見られる。この H を用い、式(1)より EHL 部中央膜厚を推定する。

$$L = \frac{c_2}{2\pi f} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{4H^2}{(Z_{12} - Z_{21})^2 - H^2(Z_{12} + Z_{21})^2}} \right) \quad (1)$$

$Z_{12}=Z_1/Z_2$, $Z_{21}=Z_2/Z_1$, $Z = \rho c$: 音響インピーダンス
 ρ : 密度 c : 音速 f : 周波数

$w=200\text{N}$ のとき図 3 の油膜形状の模式図より、油膜が入口と出口で差があまりないため、平均膜厚と中央膜厚がほぼ同じであり理論値と一致する。 $w=100\text{N}$ では入口の油膜形状が中央膜厚に比べ厚くなることで、入口での厚膜の影響から平均膜厚が中央膜厚より大きく推定される傾向が確認できる。

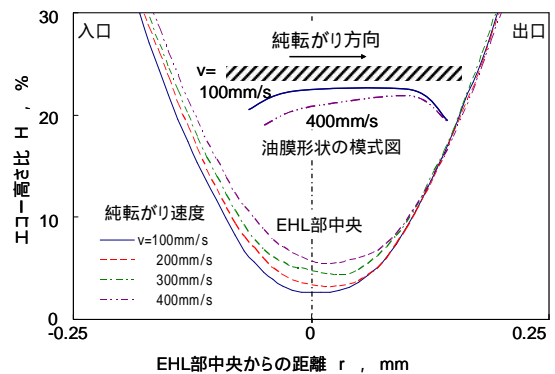


図 2. $W=200\text{N}$ でのエコー高さ比 H の測定例

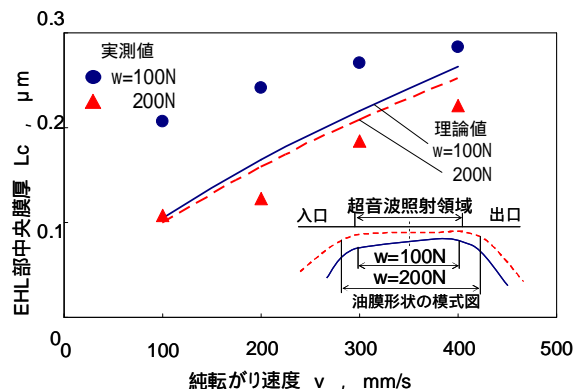


図 3. 純転がり速度と EHL 部中央膜厚の関係

5. 結言

$w=200\text{N}$ では図 3 の油膜形状の模式図より、油膜はほぼ平行であり入口と出口の差があまりないために、中央も平均もほぼ同じになるために理論値と一致する。