

2つの縦波超音波振動子による潤滑診断

超音波医・工活用研究室 1160033 岡添 大

1. 緒言

近年使用されている自動車や各種機械装置転がりやすべり軸受けでは、高効率化のために、微量な低粘度油により潤滑される傾向にあり、瞬時に過酷な潤滑領域に移行する可能性がある。このような転がり軸受けの安全で安心な運転を保証するためには、軸受け内部にある玉近傍の油膜形成状態の変遷の他、潤滑剤の性状変化等の重要な情報を取得し、軸受けの正確な寿命診断を正確に行うことが必要である。

本研究では、超音波法を用いた転がり軸受けの潤滑診断の可能性について、玉の入口と出口での超音波エコーの観測結果を基に評価できることを明らかにした¹⁾。本紙では、2つの縦波振動子により玉の入口と出口の同時観測を可能にする複合超音波探触子により油潤滑下での潤滑診断の可能性を検討した。

2. 測定原理と実験装置

図1は、実験装置の概略である。軸受け荷重 W は、単列深溝玉軸受け (6301) に、エアシリンダを用いて負荷し、負荷側となる外輪上部には、複合超音波探触子を取り付けられる。玉が振動子直下でない場合を基準エコー高さ h_0 とし、荷重などの影響で変化したエコー高さ h との比である、エコー高さ比 $H=h/h_0$ と定義し評価を行う。さらに、基準 ($H=1$) からの変化量をエコー高さ比変化量 $\Delta H=1-H$ と定義する。

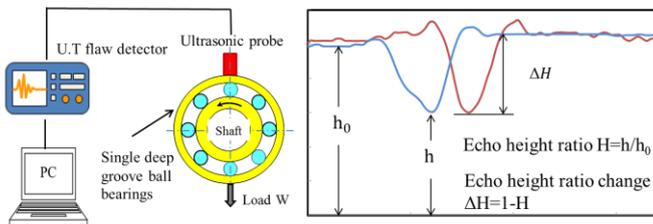


Fig.1 Schematic view of rolling bearing experiment equipment and ultrasonic evaluation method

図2には、使用した複合探触子と、それにより観測された波形の例を示してある。本探触子では、間隔をおいて配置された2つの縦波振動子 A と B の先端に、長さの異なる遅延材をそれぞれ取付け、観測を行う。2つの振動子距離は、3mm、円周方向長さ 2mm、軸方向長さ 5mm、周波数 5MHz を使用している。図2の右図は、各振動子単独での波形 (A は①、B は②) であり、それらを同時観測し、各振動子に対するエコー変化 (①と②) を、独立して観測が可能である。

図3には、枯渇状態 1cc とダフニターピンオイル 30cc (比重 0.87、粘度 0.0589) を使用した各場合のサンプル波形を示す。縦波振動子に近づくにつれて玉側への超音波の透過が生じ透過量が増加していき、反射量が減少するので、エコー高さ比 H は

減少していくことがわかる。また、両振動子間の中央での入口・出口側でのエコーの差を dH とし入口と出口でのエコー高さ変化量 $RH=dH/\Delta H$ と定義し、入口と出口での油膜形成量の違いを評価する。さらに、各波形の入口・出口での傾斜角の差を $\Delta\theta_{AB}$ とし、 $\Delta\theta_{AB}=\{(\theta_{A入口}-\theta_{A出口})+(\theta_{B入口}-\theta_{B出口})\}/\{(\theta_{A入口}+\theta_{A出口})+(\theta_{B入口}+\theta_{B出口})\}$ と定義し、評価を行う。また図3の右図から油が潤滑にある場合、入口側では、超音波の照射領域に油が十分に供給されており、反射エコーの波形の傾斜は緩やかになるが、出口側だと超音波の照射領域に十分に油が供給されていないため、反射エコーの傾斜は急になっていることがわかる。

図4では、軸受け内の回転数 N と荷重 W の変化によって、玉の入口・出口の油膜量の変化の概略図を示す。低荷重・低回転の場合、入口と出口の油膜形成状態の差はあまりない。しかし、回転数の増加に伴い、移動する玉によりかき分けられた油が、外輪転走部に戻る時間が不足することにより出口側に十分に潤滑油が供給されなくなる。このことにより、入口と出口の差が大きくなることもわかる。また高荷重になるにつれて、玉と外輪との接触面積が増加することにより、油が外輪に押しつけられる量が増えることによって、入口と出口の差が大きくなることもわかる。

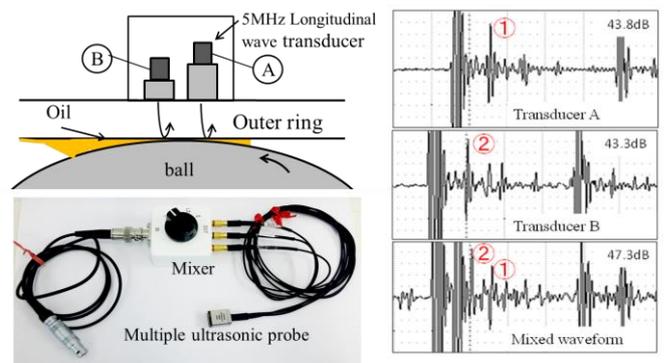


Fig.2 Multiple ultrasonic probe and reflection waveform

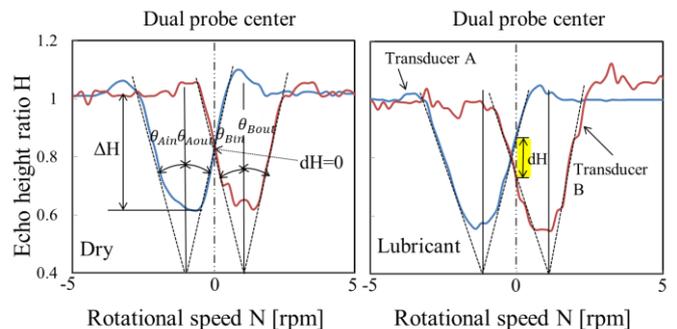


Fig.3 Behavior of H in composite ultrasonic probe

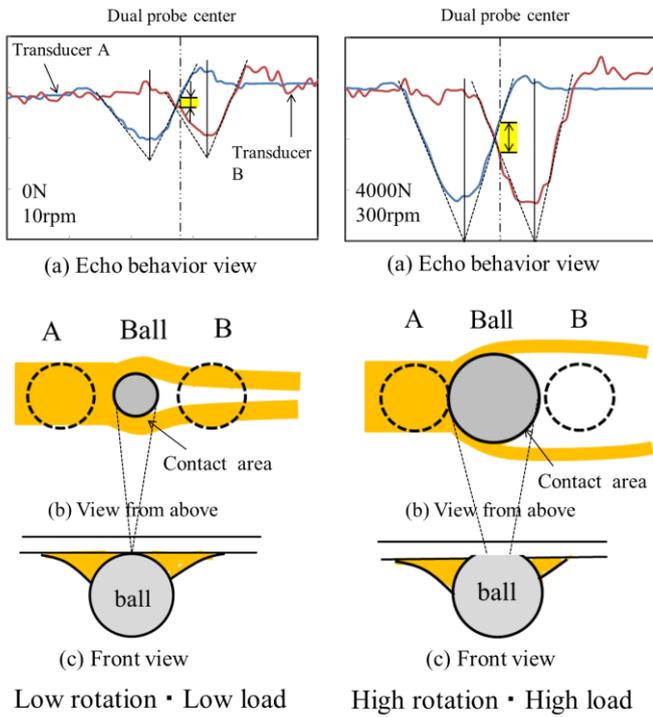


Fig.4 Lubrication condition schematic view inside the bearing

3.油潤滑下における潤滑診断

図5ではRHの枯渇・油潤滑での挙動である。油が潤滑されている場合、高荷重・高回転になるにつれて、玉出口での潤滑膜の形成状態が悪化しRHは大きな値を示す。これは、図4中の中図に示すように、低荷重・低回転の場合、入口と出口の油膜形成状態の差は、小さいのでRHは小さくなるが、回転数が増加していくことにより、移動する玉によりかき分けられた油が、外輪転走部に十分な潤滑膜を形成する時間が不足することにより、RHの値が大きくなる傾向を示している。また高荷重になるにつれて、玉と外輪との接触面積が増加することにより、油が外輪に押しつけられる量が増えることによって、入口と出口の差が大きくなり、RHも大きくなる。

図6には、図3中に示すような傾斜角差 $\Delta\theta_{AB}$ を表している。枯渇状態だと玉の入口・出口には初めから潤滑油がなく玉の入口と出口の反射波は油膜の影響がない。そのため、同じ反射波が反射してくることにより、傾斜角の違いはない。よって、 $\Delta\theta_{AB}$ の値は0となる。油が潤滑な場合、入口・出口における潤滑状態の差である、RHの場合と同様に、荷重や回転数の増加に伴い、入口側では、十分に供給され、出口側では外輪にかき分けられる量の増加や、戻り遅れの影響により差が大きくなり、入口側では、傾斜が緩やかなままであるが、出口側では高荷重・高回転になるにつれて、傾斜が急になり高荷重・高回転になるにつれて、傾斜角差 $\Delta\theta_{AB}$ の値が大きくなっていく。

ここで、入口と出口の差RHと、傾斜角差 $\Delta\theta_{AB}$ は、荷重Wと回転数Nの増加に伴い値が増加することがわかった。図7には、油膜形成状態に大きく影響を及ぼしている回転数Nと荷重Wの積 ($300\text{rpm}=1,4000\text{N}=1$ とする) $W*N[N*rpm]$ とし、WNを横軸にとり、縦軸の値は、油膜形成状態に影響を及ぼしている、RHと $\Delta\theta_{AB}$ の実験値を縦軸にとっている。入口と出口に同じ量だけ油量が供給されている状態から、枯渇状態に移行する過程

をまとめたものである。図7中に示す実線と破線は、回帰解析によって定めた近似線によって定めている。図7から、傾斜角 $\Delta\theta_{AB}$ やRHの値が大きくなるにつれて、枯渇状態に近づいていくことがわかり、入口と出口の傾斜角の差、入口・出口のエコーの差RH等の変化によって、玉の入口・出口の油膜形成状態の変遷を確認することができ、高荷重・高回転になるにつれて油膜形成状態は、悪化しているということがわかる..

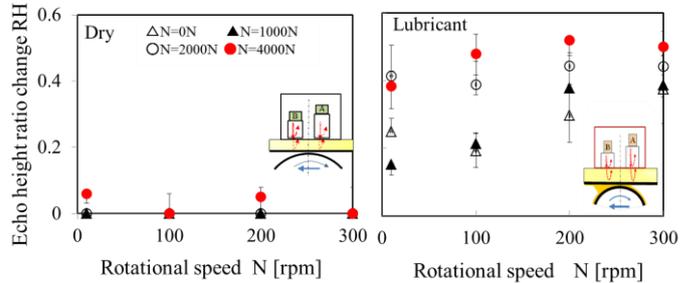


Fig.5 Behavior of echo difference RH

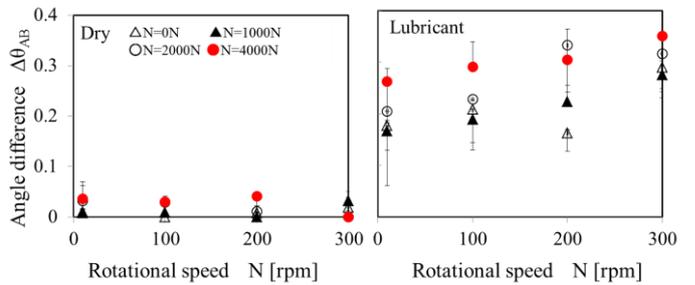


Fig.6 Relation of rotation speed and angle difference $\Delta\theta_{AB}$

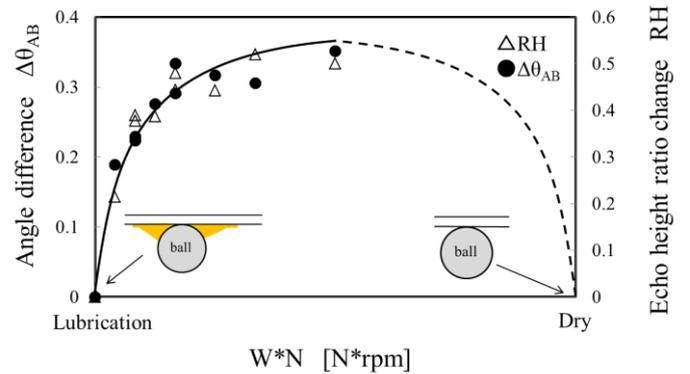


Fig.7 Relationship between product of load and rotational speed and lubrication condition

4.結言

玉の入口・出口の同時観測を可能とする異なる遅延材を有した2つの縦波振動子をもつ、複合超音波探触子によって、転がり軸受の入口・出口の潤滑状態評価の可能性を確認した。また、負荷荷重と回転速度との相関値によって、潤滑状態の変遷も確認できた。

参考文献

1)Motoshige KOMATSU and Akitoshi TAKEUCHI.An Attempt of Inhibition of Oil Film Rupture in Start Process of Sliding with the trapped oil film, International Tribology Conference, Tokyo 2015