

フォイル軸受に適用した粘弾性体の硬度が軸受性能に及ぼす影響の評価 Evaluating the Effect of Viscoelastic Material Hardness on Foil Bearing Performance

東海大・院（正）*平山 桃也 東海大・工（正）落合 成行 東海大・院（非）田中 天琉

Toya Hirayama*, Masayuki Ochiai*, Teru Tanaka*

*Tokai University

1. 諸 元

気体軸受は、摺動面に極めて薄い気体膜を形成することで流体潤滑状態とし、回転軸を非接触で支持する流体軸受の一種である。潤滑剤には、潤滑油よりも粘度が低い気体を用いられ、潤滑油を用いる他の流体軸受と比較して摩擦損失が小さい。くわえて、給油装置などといった付帯設備が不要であり、メンテナンスフリーであることや小型化が容易であることが特長として挙げられる。一方で、流体自体での減衰が期待できず、減衰性能に劣るといった課題がある。以上の背景から、近年フォイル軸受が注目されている。

図 1 に、フォイル軸受で最も代表的なバンプフォイル軸受の概略図を示す。同軸受は、回転軸との摺動面となり、平坦な金属薄板からなるトップフォイル、それを背面から弾性支持し、支持構造としての役割を果たすバンプフォイルおよびフォイルが収まる軸受ホルダの 3 つの要素から構成されている。また、回転軸およびトップフォイル間の隙間はくさび状となっており、軸の高速回転時にはくさび作用により動圧が発生する。それにより、回転軸を非接触で支持する状態となる¹⁾。軸の高速回転時には、荷重に応じてトップフォイルおよびバンプフォイルが変形し、擦れ合うことによってクーロン摩擦によるエネルギー散逸が発生し、振動抑制に効果を発揮する。近年では、マイクロガスタービンや電動ターボチャージャーなどといった高速回転運動を必要とする機械への応用が期待されているが、製品化を実現するためには、より高い減衰性能が求められるなどのさまざまな課題がある。

そこで、支持構造に粘弾性体を適用した粘弾性フォイル軸受が提案されている²⁾。粘弾性体は、変形時に分子鎖などの内部摩擦によりエネルギーを散逸させる効果があり、フォイル軸受の支持構造に適用することで、同軸受の減衰性能向上が期待できる。しかし、先行研究では粘弾性体の硬度が軸受性能に及ぼす影響の評価がなされていない。そのため、本研究では、粘弾性体の硬度が粘弾性フォイル軸受の静的特性に及ぼす影響を実験的に評価した。

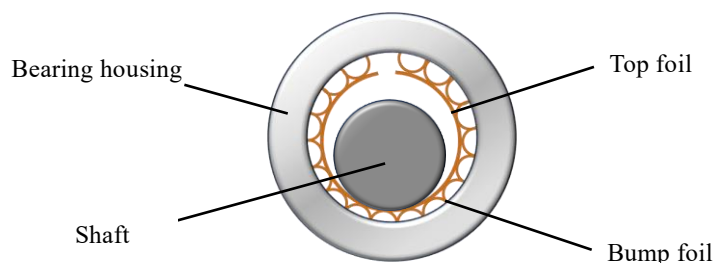


Fig. 1 Schematic diagram of bump foil bearing

2. 実験装置

2.1 試験軸受

表 1 に試験軸受諸元を、図 2 に試験軸受を示す。同図(a)に示したバンプフォイル軸受のトップフォイルおよびバンプフォイルには、リン青銅板を使用し、同図(b)に示した粘弾性フォイル軸受の支持構造には、10°、30°、50°（シヨア硬さ A）、厚さ 3 mm のシリコンゴムシートを使用した。また、同図に示した軸受ハウジングには、側面の 90 deg ごとにねじ穴があいており、治具を用いて渦電流式変位計の設置が可能である。

2.2 実験装置

図 3 に実験装置の概略図を示す。本実験装置では、試験軸受がタイラップによって吊り上げられており、エアシリンダで荷重の調節を行う。また、荷重の測定はエアシリンダ試験軸受間に設置されているロードセルを用いて行う。なお、回転軸の軸径は 35 mm とした。

Table 1 Specifications of the test bearings

Parameters	Bump foil	Viscoelastic foil
Bearing housing outer diameter, mm	65	68
Bearing housing inner diameter, mm	40	43
Bearing housing axial length, mm	35	
Top foil thickness, mm	0.1	
Hight of support structure, mm	1.75	3
Hardness(Shore A), °	10, 30, 50	



(a) Bump foil (b) Viscoelastic foil

Fig. 2 Test bearings and Shape of foil

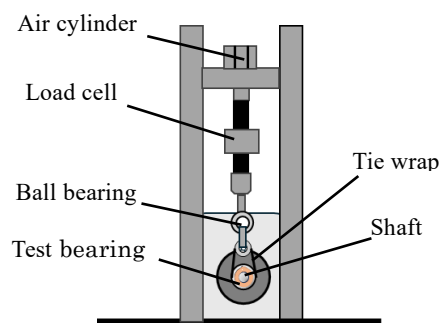


Fig. 3 Schematic diagram of equipment

3. 実験方法

本研究では，試験軸受における定常状態の減衰性能を評価するため，静特性評価実験を実施した．はじめに，治具を用いて，軸受ホルダに渦電流式変位計を設置し，ロードセル下部品の重力をキャンセルするためにエアシリンダで 8 N 荷重を加え，その地点をゼロ点とした．その後，エアシリンダに流入する空気量を制御し，荷重の調節を行う直流安定化電源の電圧値を操作し，各荷重下での軸と軸受の変位を測定した．本実験では，負荷荷重による静特性の変化を評価することを目的として 5 N, 10 N, 15 N, 20 N をそれぞれ中心点として測定を行った．それぞれの中心点から ± 2.5 N の範囲で加荷重と除荷重を 5 回繰り返した．このとき，渦電流式変位センサから出力される電圧値とロードセルの荷重をリアルタイムで同時に収録しており，校正値を用いて電圧値を変位に変換し，力変位のグラフとした．このグラフの加荷重時および除荷重時の軌跡の差から，ループ面積を算出し，その値をヒステリシスロスとした．

4. 実験結果

図 4 に各試験軸受の負荷荷重に対するヒステリシスロスを示す．同図より，荷重 5 N において粘弾性体の硬度が低いほどヒステリシスロスが大きくなることわかる．これは硬度が低いほど変形しやすく，内部摩擦によるエネルギー散逸が起こりやすいためであると考えられる．一方で，荷重 10 N 以上では，各軸受におけるヒステリシスロスの大きな差異は見受けられなかった．その理由として，荷重が増加するにつれて支持構造の剛性が増大し，変形しにくくなったことで内部摩擦が発生しにくくなったことが考えられる．

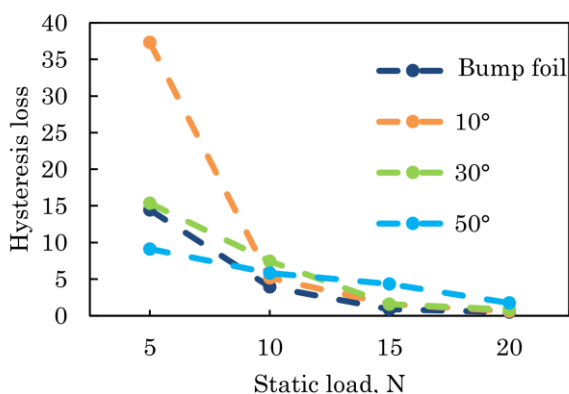


Fig. 6 Static load - Hysteresis loss

5. 結 言

本研究では，粘弾性体の硬度がフォイル軸受の軸受性能に及ぼす影響を評価する事を目的に，硬度を変更した粘弾性フォイル軸受における静特性評価を実験的に行った．得られた知見を以下に示す．

1. 粘弾性フォイル軸受の支持構造には，硬度 10°, 30°, 50°(shore A)のシリコンゴムシートを使用した．粘弾性フォイル軸受においては 5 N の負荷荷重において硬度が低いほどヒステリシスロスが大きい．その要因として，低硬度の粘弾性体は変形がしやすく，内部摩擦により比較的大きなエネルギー散逸が発生したことが挙げられる．
2. すべての試験軸受で負荷荷重の増加に伴って，ヒステリシスロスが減少した．これは荷重の増加によって支持構造の剛性が増大したことが原因として考えられる．

参考文献

- 1) P. Samanta, N.C. Murmu, M.M. Khonsari: The evolution of foil bearing technology, Tribology International, Vol. 135 (2019) pp. 305-323.
- 2) Y. Hou, L.Y. Xiong, C.Z. Chen: Experimental Study of a New Compliant Foil Air Bearing with Elastic Support, Tribology Transactions, 47 (2004) pp. 308-311.