

部分撥水スラスト軸受の発生圧力に及ぼす濡れ性調整領域の影響

1. 緒言

従来のスラスト軸受は表面に幾何学的な凹凸部を設けることによって、滑り方向のせん断流量を不連続性にする事で圧力を発生させ軸受を支持している。本研究では、平坦な面に撥水と親水処理を交互に施すことによって、撥水部で流体がスリップを起こし滑り方向のせん断流量が不連続になり、それにより圧力が発生し従来の軸受と同様に支持することができる。

ここでは、撥水部と親水部の間に弱撥水部を設けることによって得られる圧力と、計算によって求めた発生圧力を比較しスラスト軸受の濡れ性調整領域の影響を検討した。

2. 実験装置及び実験方法

図1に実験装置の概略を示す。軸受の材料はソーダガラス試験片(厚さ5mm, Ra=0.01 μ m, 外径40mm)、潤滑剤に精製水を使用した。上部に部分撥水を施した固定試験片を、下部に全面親水処理を施した回転試験片を設置した。なお、水滴の静的接触角が撥水部では約110°、弱撥水部では約70°、親水部では約10°とした。各領域はそれぞれ基本30°(図2参照)とし、圧力は試験片の半径13mmの位置で測定、そこでの滑り速度はV=0.15m/sとして測定した。

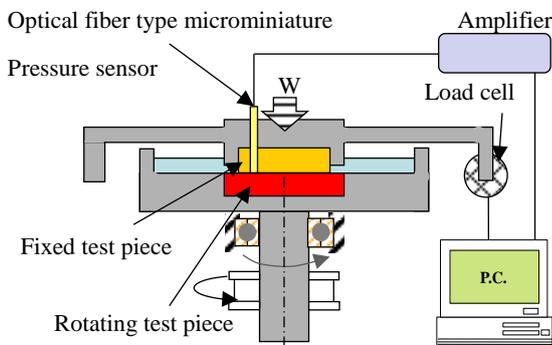


Fig. 1 Experiment equipment and Static contact angle

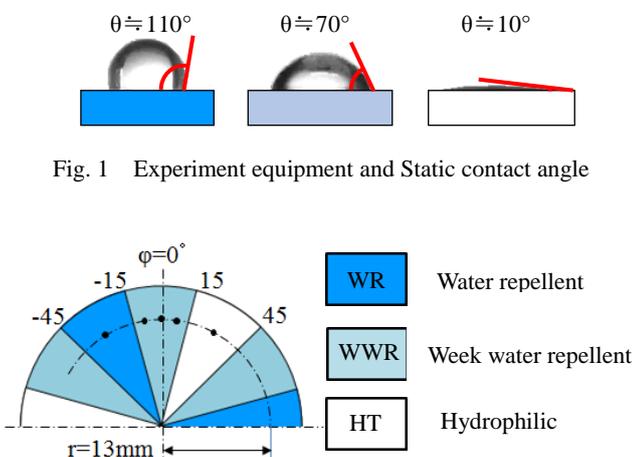


Fig. 2 Each region angle

3. 実験結果及び計算結果との比較考察

図3は荷重10Nと30Nの半径13mmの位置での圧力分布である。撥水部(-45°~15°)と弱撥水部(-15°~15°)、弱撥水部と親水部(15°~45°)のそれぞれ境界で圧力分布の変化が発生したことを示した。

また、圧力は弱撥水部と親水部の境界で最大となり、その後は減少した。弱撥水領域間では圧力の変化がほかの領域に比べ、緩やかになることも示した。

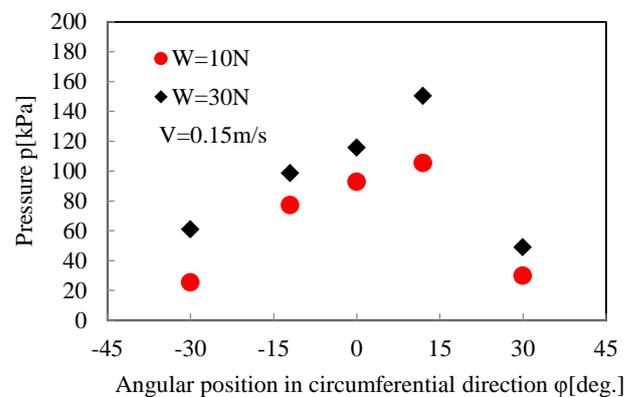


Fig. 3 Circumferential direction Pressure distribution

図4は弱撥水領域の角度を10°ごとに変えた場合の圧力変化を比較している。横軸は弱撥水領域の角度を示しており、W=10N、20N、30Nの3つのグラフを載せてある。弱撥水領域が狭まると発生圧力が低下した。また荷重が増えると最大発生圧力は大きくなることを示した。

図3と図4のグラフを比較すると弱撥水領域間を設けると、その領域での圧力勾配は緩やかになるが発生圧力は低下することが確認できた。

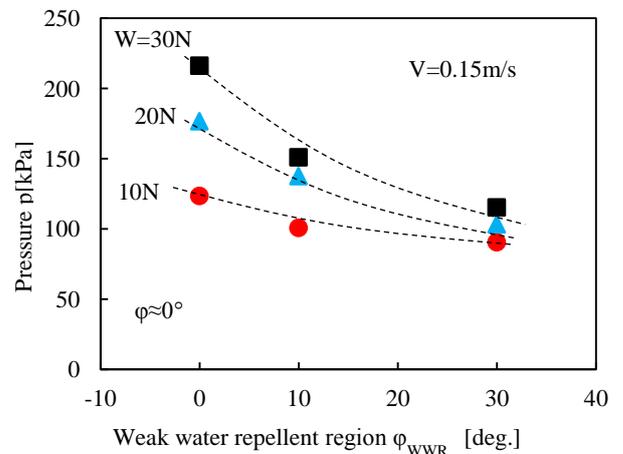


Fig. 4 Relationship between pressure ϕ_{WWR} deg. region

次に、濡れ性調整領域を計算によって求める方法を示す。

卒業論文要旨

撥水部壁面では図5のように流体がスリップ起こす事が分かっている。これを考慮して圧力分布を求める式を修正レイノルズ方程式と言い以下の式になる。

$$\frac{d}{dx} \left(\alpha_s h^3 \frac{dp}{dx} \right) = 6\eta U_d \frac{d}{dx} (\beta_s h)$$

(α_s 、 β_s は流量修正係数)

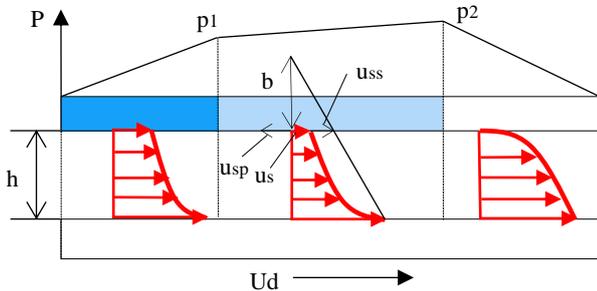


Fig.5 Fluid flowing between bearing

上式を用いて圧力の式を表すと次のようになる。

$$p = 6\eta U_d \frac{\beta_s h - \bar{h}}{\alpha_s h^3} x + c$$

(cは積分定数)

\bar{h} は $dp/dx=0$ のときの仮の膜厚である。

求めた圧力の式を用いて、 p_1 と p_2 、そして荷重Wを求めることができ、それぞれ以下の式になった。

$$p_1 = 3\eta U_d \frac{B}{h^2} \gamma_1 \frac{\{2\gamma_2 \alpha_3 (\beta_1 - \beta_2) + \gamma_3 \alpha_2 (\beta_1 - \beta_3)\}}{\gamma_1 \alpha_2 \alpha_3 + 2\gamma_2 \alpha_1 \alpha_3 + \gamma_3 \alpha_1 \alpha_2}$$

$$p_2 = -3\eta U_d \frac{B}{h^2} \gamma_3 \frac{\{\gamma_1 \alpha_2 (\beta_3 - \beta_1) + 2\gamma_2 \alpha_1 (\beta_3 - \beta_2)\}}{\gamma_1 \alpha_2 \alpha_3 + 2\gamma_2 \alpha_1 \alpha_3 + \gamma_3 \alpha_1 \alpha_2}$$

$$W = \frac{\pi^3 N R^4}{10 n^2} \left[\frac{\eta}{h^2} \gamma_1 (\gamma_1 + 2\gamma_2) \frac{\{2\gamma_2 \alpha_3 (\beta_1 - \beta_2) + \gamma_3 \alpha_2 (\beta_1 - \beta_3)\}}{\gamma_1 \alpha_2 \alpha_3 + 2\gamma_2 \alpha_1 \alpha_3 + \gamma_3 \alpha_1 \alpha_2} \right.$$

$$\left. - \frac{\eta}{h^2} \gamma_3 (2\gamma_2 + \gamma_3) \frac{\{\gamma_1 \alpha_2 (\beta_3 - \beta_1) + 2\gamma_2 \alpha_1 (\beta_3 - \beta_2)\}}{\gamma_1 \alpha_2 \alpha_3 + 2\gamma_2 \alpha_1 \alpha_3 + \gamma_3 \alpha_1 \alpha_2} \right]$$

α_1 、 β_1 、 α_2 、 β_2 、 α_3 、 β_3 はそれぞれ各領域での流量修正係数で

$$\gamma_1 = \frac{B_1}{B}, \gamma_2 = \frac{B_2}{B}, \gamma_3 = \frac{B_3}{B} \text{である。}$$

p_1 と p_2 に実験の条件を入れ、実験結果と比較したグラフは図6のようになる。

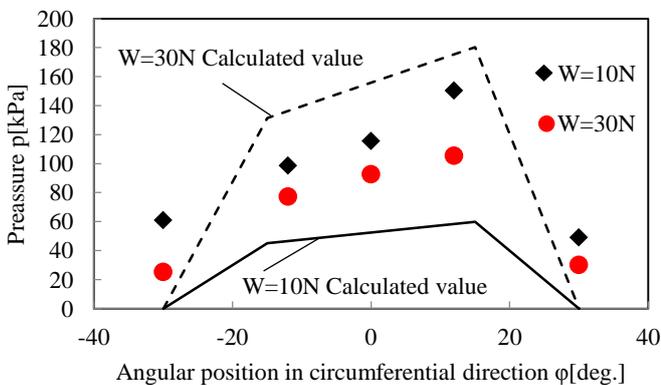


Fig.6 Circumferential direction pressure distribution

図7は入口の撥水部のスリップ長さbを0.03、0.05、0.1 μ mと変えた時の膜厚と荷重の関係をグラフにしたものである。

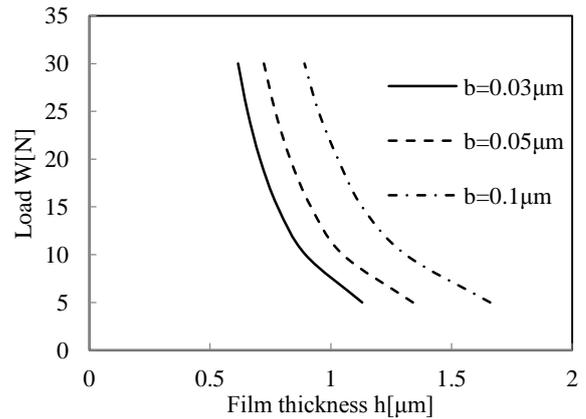


Fig.7 Relationship between load and thickness

図8は計算値によって求めた弱撥水領域の角度を変えることで得られた圧力分布である。

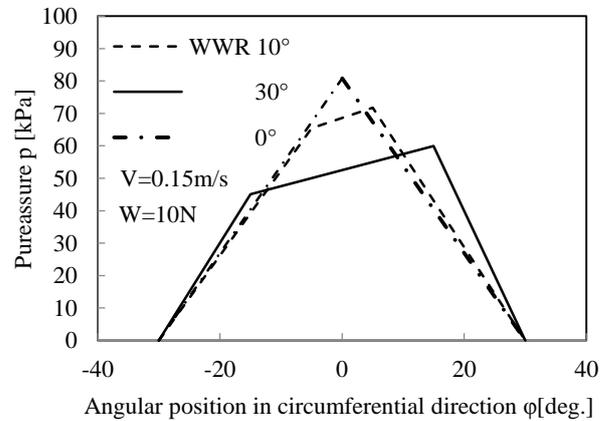


Fig.8 Circumferential direction Pressure distribution

計算結果から弱撥水領域を多く設けることで、発生圧力は減少する。また、スリップ量が大きくなると膜厚が厚くなった。

また図6より実験結果と計算結果のグラフがW=10Nでは実験結果の圧力が高いが、W=30Nでは計算結果の圧力が高くなった。これは計算で求めた場合、膜厚が0.1 μ m変わると圧力が約20kPa変化するため、実験では計算によって得られる膜厚の変化ほど変化していないため圧力の変化も減少したと思われる。

4. 結言

弱撥水領域を設けることで、圧力変化を小さくすることができ、軸受としての安定性は増すと考えられる。しかし、領域をとりすぎた場合、発生圧力が小さくなり荷重を支持する能力は低下すると考えられる。また、計算値からは領域の条件を変えた場合の圧力や膜厚の変化の傾向はわかるが、計算値から求まる膜厚の微小な変化は実験値と異なる可能性があると考えられる。

5. 参考文献

(1) 竹内彰敏, 木原航 : 日本設計工学会四国支部 平成26年度研究発表講演会 講演論文集 p3-4 部分撥水スラスト軸受の圧力測定 N