

多孔質静圧気体スラスト軸受の安定性改善について

春山 義夫, 塩澤 和章, 江幡 節男*

1. 緒 言

多孔質静圧気体軸受は軸受面を多孔質材料で作るその背面から給気するもので、大きな負荷容量や軸受剛性を有する反面、多孔質物質自体に存在する空洞のため動的安定性が悪く、設計に当たっては十分な配慮が必要である。

多孔質材料として一般によく用いられている焼結金属は機械加工によって表面に目詰まりを生じるが、これがかえってニューマチックハンマ不安定現象の発生防止に役立っている。しかしながら、近年、軸受材料として多孔性セラミックス材が用いられるようになってきており¹⁾、この場合には加工による表面目詰まりは生じなく、ニューマチックハンマが生じやすいという欠点がある。本論文では多孔質静圧気体スラスト軸受の安定性を改善するために多孔質面の背面に空気室を設けることを提案し、その効果を理論的に調べる。

2. 理論解析

本論文で扱う多孔質軸受は図1に示す形状であって、多孔質材料の外側に円環状の固体部、いわゆるつばを有しており、多孔質材料の背面に外半径 r_1 、内半径 r_2 、深さ h_c の円環状の空気室が設けられている。加圧気体は半径 r_s の給気孔より多孔質材料に送られ、多孔質表面から吹き出し軸受すきまを周囲へと流れ出るときの圧力によって負荷を支えるものである。

本報では、多孔質材料内の気体の流動に関しては、等価すきまモデル²⁾³⁾⁴⁾を用いて解析することとし、空気室内の圧力は場所によらず一様であり、気体は等温変化をするものと仮定する。また、多孔質材料の表面目詰まりはないものとする。

等価すきまモデルは、図2に示されるように、多孔質材料内の気体の流れを軸方向と半径方向に分け、

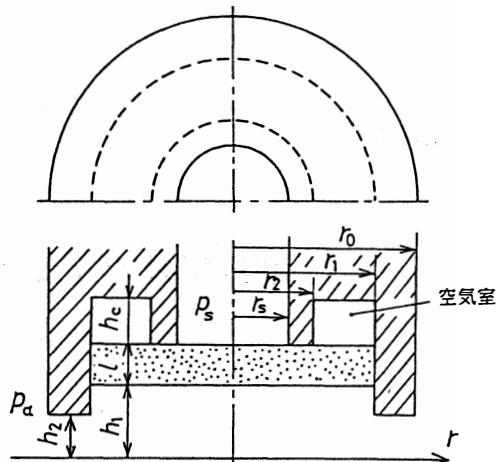


図1 多孔質静圧気体スラスト軸受の概略図

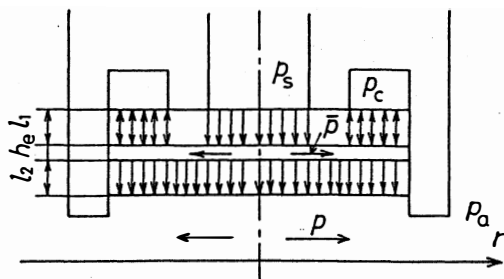


図2 等価すきまモデル

* 富山大学大学院

軸方向流れについては無数の毛細管内の流れで、また、半径方向流れについては仮想的な平行薄膜(等価すきま)内の流れで置き換えて考えるものである。等価すきま h_e は

$$h_e = \sqrt[3]{12k_0l} \quad (1)$$

で与えられる。ここに、 k_0 は多孔質材料の透過率である。修正レイノルズ方程式は次のように与えられる。

軸受すきま内：

$$\frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} \left[RH^3 P \frac{\partial P}{\partial R} \right] = \begin{cases} \sigma \frac{\partial(PH)}{\partial \tau} - J_1(\bar{P}^2 - P^2) & (0 \leq R \leq R_1) \\ \sigma \frac{\partial(PH)}{\partial \tau} & (R_1 \leq R \leq 1) \end{cases} \quad (2)$$

等価すきま内：

$$\frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} \left[R\bar{P} \frac{\partial \bar{P}}{\partial R} \right] = \begin{cases} \sigma J_4 \frac{\partial \bar{P}}{\partial \tau} + (J_2 + J_3)\bar{P}^2 - J_2 P^2 - J_3 P_s^2 & (0 \leq R \leq R_s) \\ \sigma J_4 \frac{\partial \bar{P}}{\partial \tau} + J_2(\bar{P}^2 - P^2) & (R_s \leq R \leq R_2) \\ \sigma J_4 \frac{\partial \bar{P}}{\partial \tau} + (J_2 + J_3)\bar{P}^2 - J_2 P^2 - J_3 P_c^2 & (R_2 \leq R \leq R_1) \end{cases} \quad (3)$$

上式において、無次元化は次の定義によっている。

$$\begin{aligned} P &= \frac{p}{p_a}, \quad \bar{P} = \frac{\bar{p}}{p_a}, \quad H = \frac{h}{h_0}, \quad H_r = \frac{h_e}{h_0}, \quad P_s = \frac{p_s}{p_a}, \quad P_c = \frac{p_c}{p_a}, \\ R &= \frac{r}{r_0}, \quad G_1 = \frac{2r_0^2}{l^2}, \quad G_2 = \frac{\lambda}{h_e}, \quad \sigma = \frac{12\mu\omega}{p_a} \left(\frac{r_0}{h_0} \right)^2, \quad \tau = \omega t, \\ J_1 &= \frac{G_1 H_r^3}{2}, \quad J_2 = \frac{G_1}{2}, \quad J_3 = \frac{G_1}{2}, \quad J_4 = \frac{G_2}{H_r^2} \end{aligned}$$

ただし、 h ：軸受のすきま、 p ：軸受すきま内圧力、 \bar{p} ：等価すきま内圧力、 h_0 ：代表軸受すきま、 p_a ：周囲圧力、 p_s ：給気圧力、 p_c ：空気内圧力、 ω ：代表円振動数、 t ：時間、 λ ：気孔率 である。

動特性の解析に当たっては、平衡状態まわりの微小な正弦波振動を考えて、軸受すきまおよび圧力を次のように置いて解析する。

多孔質部 ($0 \leq R \leq R_1$)：

$$\left. \begin{aligned} H_I &= 1 + \varepsilon e^{j\tau} \\ P_I &= P_{I0} + \hat{P}_{It} \varepsilon e^{j\tau} \\ \bar{P}_I &= \bar{P}_{I0} + \hat{\bar{P}}_{It} \varepsilon e^{j\tau} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

つば部 ($R_1 \leq R \leq 1$)：

$$\left. \begin{aligned} H_{II} &= H_n + \varepsilon e^{j\tau} \\ P_{II} &= P_{II0} + \hat{P}_{II t} \varepsilon e^{j\tau} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ただし、 $j = \sqrt{-1}$ 、 $H_n = h_{20}/h_{10}$ (h_{10} 、 h_{20} ：平衡状態における多孔質部およびつば部のすきま) である。

動的な圧力成分を解析的に求めることは困難であり、本報ではルンゲ・クッタ・ギル法により数値計算する。

軸受の剛性および減衰係数は、軸受反力の変位と同位相成分および変位速度と同位相成分により定義される。それぞれを、 $\pi r_0^2 p_a / h_0$ および $\pi r_0^2 p_a / (h_0 \omega)$ で無次元化した無次元剛性 K 、無次元減衰係

数 B は10個の無次元パラメータ $R_1=r_1/r_0$, $R_2=r_2/r_0$, $R_s=r_s/r_0$, G_1 , G_2 , H_n , P_s , H_r , H_c , σ (スクイーズ数)で整理することができる。なお、本報では、代表軸受すきま h_0 として平衡状態における多孔質部のすきま h_{10} をとる。

3. 計算結果と考察

図3から図5は空気室を設けることが無次元剛性 K および無次元減衰係数 B に与える影響を調べたものである。図中、実線は空気室を設けた場合の、一点鎖線は空気室がない場合の値を示している。図3, 4は横軸に軸受すきま比 $H_r=h_e/h_0$ をとり、パラメータとして空気室の無次元深さ $H_c=h_c/h_0$ および無次元給気圧力 $P_s=p_s/p_a$ をとっている。これらの図に見られるように、空気室を設けることによって剛性は少し低下し、減衰係数は H_r の小さい領域では低下するが H_r の大きい領域で増加している。すなわち、軸受すきまの小さい領域で動的安定性が改善されていることがわかる。図3より、空気室の深さ H_c のちがいによる K , B の差はあまり大きくはないことが分かる。図4より、給気圧力 P_s のちがいによる K の差はあまり大きくはないが、 B についてはかなり大きく、 H_r の小さい

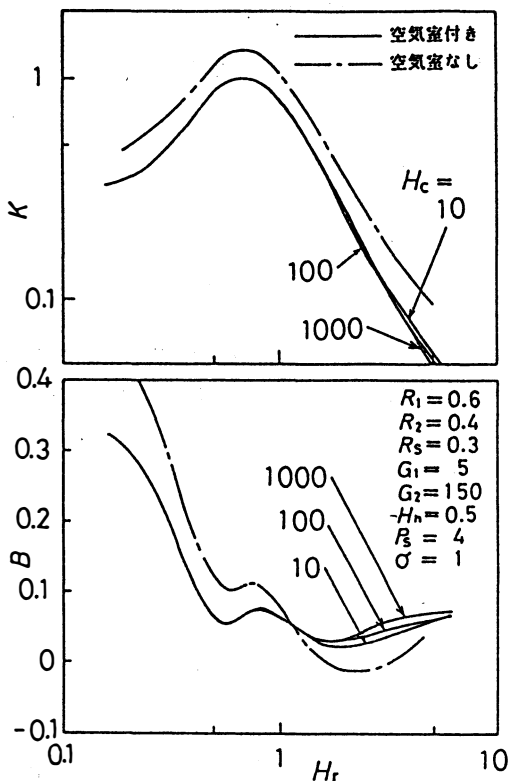


図3 剛性、減衰係数に及ぼす空気室の影響

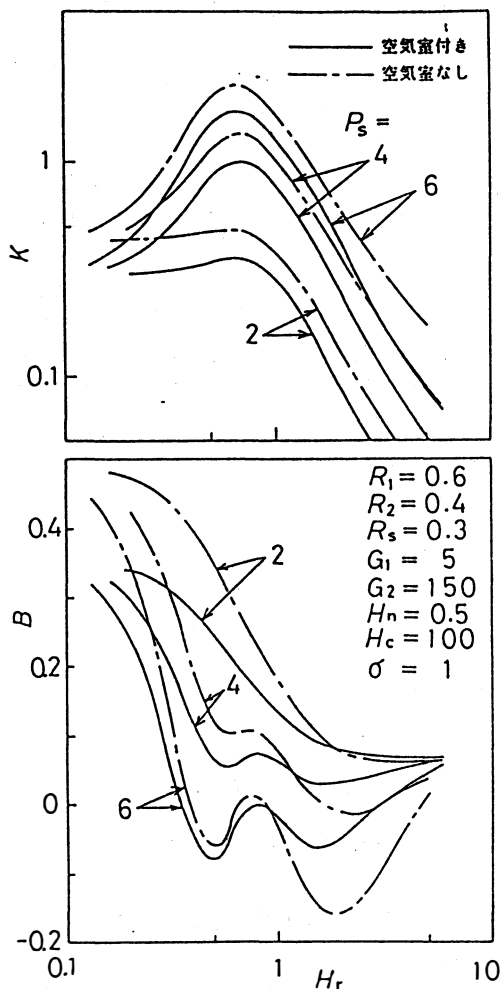


図4 剛性、減衰係数に及ぼす空気室の影響

領域では P_s が低いほど、 H_r の大きい領域では P_s が高いほど影響が大きいことがわかる。図5はスキーズ数 σ を横軸にとって示したものである。空気室を設けることによって σ の比較的小さい領域で減衰係数が増加していることがわかる。

以上のことより、多孔質体背面に空気室を設けることによって、減衰係数が負の値をとりやすい、軸受すきまおよびスキーズ数が小さい領域での動的安定性を改善できることが期待できる。

4. 結 言

多孔質静圧気体スラスト軸受の多孔質体背面に空気室を設けることによって、比較軸受すきまが小さく、スキーズ数も小さい領域で軸受の安定性を改善できる可能性があることを示した。

参考文献

- (1) 河島・十合：昭和63年度精密工学会春季大会講演前刷，35，(1988)。
- (2) 森・矢部・小野：日本機械学会論文集，29—205，1466，(1963)。
- (3) 佐藤・森：潤滑，22—2，101，(1977)。
- (4) 矢部・北浜・森：潤滑，26—1，49，(1981)。

(1989年10月25日 日本潤滑学会第34期全国大会(富山)で発表)

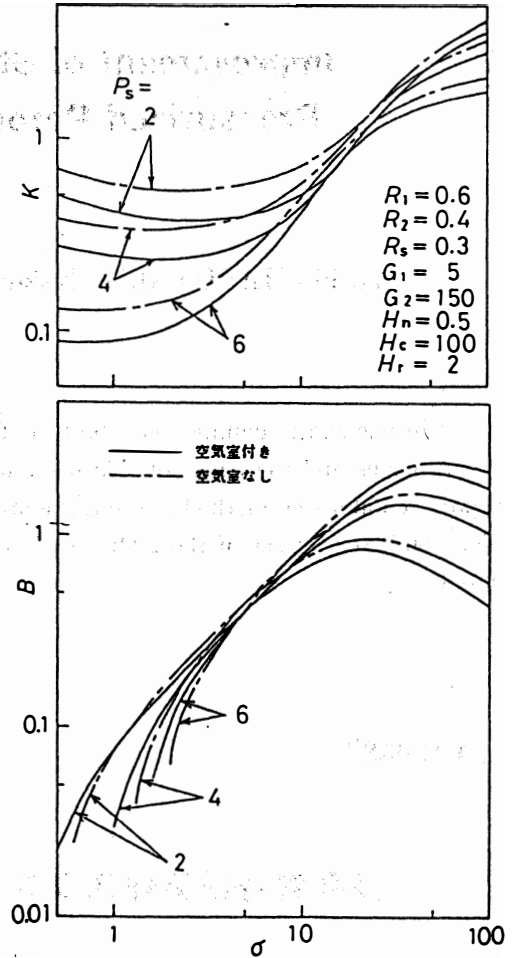


図5 剛性，減衰係数に及ぼす空気室の影響

Improvement of Stabilization of Externally Pressurized Porous Thrust Gas Bearings

Yoshio HARUYAMA, Kazuaki SHIOZAWA and Setsuo EBATA

The pneumatic hammer instability is frequently observed in externally pressurized porous gas bearings and the cause of this instability is the compressibility of operating gas. In this report, a stabilizing method to use a pneumatic capacitance stabilizer is presented and analyzed. The stabilizing effect of the stabilizer is remarkable when the bearing clearance is relatively small.

[英文和訳]

多孔質静圧気体スラスト軸受の安定性改善について

春山 義夫, 塩澤 和章, 江幡 節男

多孔質静圧気体スラスト軸受は気体の圧縮性に起因するニューマチックハンマ不安定現象を生じやすい。本研究では、軸受の安定性を改善するために安定化要素として空気室を設けることを提案し、その効果を理論的に調べた。安定化要素による安定化の効果は比較的軸受すきまのせまい領域で現れた。