621.822.2.033

多孔質静圧気体スラスト軸受の理論的研究*

森 美郎**, 矢部 寛***, 小野孝之****

The Theoretical Investigation on the Externally-Pressurized Thrust Gas-Bearing with Porous Bushing

by Haruo MORI, Hiroshi YABE, and Takayuki ONO

The thrust gas bearing with porous bushing has the advantage of better stability and larger load capacity.

In this paper, the bearing of this type is analyzed theoretically. The authors use "permeability" that identifies the characteristics of porous media, and they introduce "equivalent clearance" and "effective restricting lengths" of porous bushing so that the flow in the bearing with porous bushing may be considered as the two parallel flows.

The results of analysis coincided quantitatively and qualitatively with those of the experiments.

1. 緒 言

気体スラスト軸受において、気体を外部的に圧力上昇させて供給し、荷重をささえる形式の静圧軸受は、起動摩擦の小なること、動摩擦も適当なポケットを軸受内において設けることにより小ならしめうることなどの利点があげられる。しかしながらこの種のスラスト軸受では、ポケットは自励振動の原因となって作動の不安定をきたし、気体供給孔径を小さくすれば高い供給圧力あるいは大きな軸受すきまの条件のもとでは、圧力分布がいったん急激に減少し、つぎにふたたびある値に回復して分布曲線にくぼみを与える現象が観察され⁽¹⁾、またこのくぼみ部の発生は、負荷容量を減小し不安定性の原因ともなる。

そこで設計改良化をめざし、近時、軸受の負荷容量を増し安定性を向上させるために、軸受面を多孔質にすることが注目されるようになった。多孔質物質は無数の毛細管の網状構造から成っていると考えられ、これを通して圧縮気体が軸受全面に供給される。

このような多孔質気体軸受はその実用化がある程度進んでいるにもかかわらず、理論的解析はほとんどみられず、最近わずかにソ連において二、三の研究発表がみられるにすぎない⁽²⁾。しかしながらこれらの解析においては、多孔質物質中を半径方向(スラスト軸受

の場合)に流れる流れは考慮されていない。

本論文では、次のような仮定のもとに、円板形多孔質物質を用いたスラスト気体軸受の圧力分布および負荷容量を理論的に求め、あわせて実験結果と比較検討した。

仮 定

(1) 多孔質物質は浸透率 k で決定される均質な組成を有する。ここに、浸透率 k は多孔質物質内の流れに関する Darcy の法則により、つぎの式で定義される⁽³⁾。

$$w = -\frac{k}{\mu} \frac{\partial p}{\partial z} \quad \dots\dots\dots (1)$$

w : z 方向の流速

p : 圧力

μ : 気体の粘性係数

(2) 多孔質物質の厚さは、等価すきま h' なる仮想薄膜によっておきかえ得る。

多孔質物質内を半径方向(スラスト軸受の場合)に流れる流体の流量が、同じ外形をした h' なる仮想すきまを流体が流れる場合の流量と等しい場合、 h' を等価すきまとよぶことにする。そうすると

$$h' = \sqrt[3]{12kt} \quad \dots\dots\dots (2)$$

t : 多孔質物質の厚さ

(3) 多孔質物質内の気体の流れは、軸受面に平行な方向と垂直な方向に分離して考える。

(4) 軸受すきまと等価すきま内の圧力は異なるが、それぞれの内部では軸受垂直方向には変化しない程度に各厚さは薄いと考える。

* 昭和 38 年 4 月 3 日 第 40 期通常総会講演会において論文講演として講演、原稿受付 昭和 37 年 11 月 30 日。

** 正員、京都大学工学部(京都市左京区吉田本町)。

*** 准員、京都大学工学部。

**** 学生員、京都大学工学部。

(5) 多孔質物質から軸受すきまへの流入は、浸透率および仮想等価すきまと軸受すきま間の圧力差に比例し、多孔質物質の厚さに逆比例する。

(6) 多孔質軸受面において軸受面に添う流速は 0 である。

(7) 流体は非圧縮性として取扱う。流体の圧縮性を考慮せねばならぬときは

$$P = p^{(1+n)/n} \dots\dots\dots (3)$$

と置換えたとき、 P が非圧縮性流体に対する解にそのまま一致することにより⁽⁴⁾、容易に圧力分布解を求め得る。

(8) 軸の回転速度は圧力こう配による流体の流速に比して小さいと考え、これを無視する。

なお、本研究は昭和 37 年 5 月の潤滑に関する講演会で一部講演発表した⁽⁵⁾、その後の研究でより詳細な実験結果を得たのでここであらためて発表する。

2. 理 論 式

以下で解析を行なう多孔質物質を用いたスラスト気体軸受の構造を第 1 図に示す。

気体は気体供給孔から多孔質物質を通り、それと軸受によってつくられる軸受すきまにはいり、半径方向に流れて大気中に放出される。一部の気体は多孔質物質の中を半径方向に流れる。

第 2 図に示すように r 軸および諸元をとる。

軸受すきま内における圧力、および r 軸方向への平均流速を p , $\bar{u}$, 多孔質物質内での圧力および r 軸方向への平均流速を p' , $\bar{u}'$ とする。また多孔質物質から軸受すきまへの流速を q , 気体供給孔から多孔質物質への流速を q' とする。

半径方向への平均流速は

$$\bar{u} = -\frac{h^2}{12\mu} \frac{dp}{dr} \dots\dots\dots (4)$$

$$\bar{u}' = -\frac{k}{\mu} \frac{dp'}{dr} = -\frac{h'^3}{12\mu\eta t} \frac{dp'}{dr} \dots\dots\dots (5)$$

第 1 図

連続の条件により

$$2\pi r h \bar{u} = \int_0^r q \cdot 2\pi r dr \dots\dots\dots (6)$$

$$2\pi r t \bar{u}' = Q - \int_0^r q' \cdot 2\pi r dr \dots\dots\dots (7)$$

$$(r_0 \leq r \leq r_1)$$

$$= \int_0^r q' \cdot 2\pi r dr - \int_0^r q \cdot 2\pi r dr \dots\dots\dots (7)'$$

$$(0 \leq r \leq r_0)$$

ここに Q は流入流量である。また仮定により q , q' は

$$q = \frac{k}{\mu} \frac{p' - p}{\eta} = \frac{h'^3}{12\mu\eta t} (p' - p) \dots\dots\dots (8)$$

$$q' = \frac{k}{\mu} \frac{p_s - p'}{\eta'} = \frac{h'^3}{12\mu\eta' t} (p_s - p') \dots\dots\dots (9)$$

ここに p_s は供給圧力である。また η および η' は有効絞り長さで

$$\eta = ct \quad \eta' = c't \dots\dots\dots (10)$$

ただし c , c' は実験で求めるべきものであるが

$$c = c' = \frac{1}{2}$$

と考えてよいであろう。

(6) 式と (7) 式あるいは (7)' 式を加えると

$$2\pi r (h\bar{u} + t\bar{u}') = Q \quad (r_0 \leq r \leq r_1) \dots\dots\dots (11)$$

$$2\pi r (h\bar{u} + t\bar{u}') = \int_0^r q' \cdot 2\pi r dr \quad (0 \leq r \leq r_0)$$

$$\dots\dots\dots (11)'$$

(4), (5), (8) 式より $\bar{u}$, q を消去し、さらに r で微分すると

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dp}{dr} \right) = -\frac{h'^3}{h^3 \eta t} (p' - p) \dots\dots\dots (12)$$

(a) $r_0 \leq r \leq r_1$

(11) 式に (4), (5) 式を代入し、 $\bar{u}$, $\bar{u}'$ を消去し、さらに r で積分すると

$$\left. \begin{aligned} h^3 p + h'^3 p' &= C_1 - \frac{6\mu Q}{\pi} \log r \\ p' &= \frac{1}{h'^3} \left(C_1 - \frac{6\mu Q}{\pi} \log r - h^3 p \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (13)$$

ここに C_1 は積分定数である。(12) 式に (13) 式を代入して

第 2 図

$$\begin{aligned} \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dp}{dr} \right) &= \frac{h'^3}{h^3 \eta t} \left\{ \frac{h^3 + h'^3}{h'^3} p + \frac{6\mu Q}{\pi h'^3} \log r - \frac{C_1}{h'^3} \right\} \\ &\dots\dots\dots(14) \end{aligned}$$

したがって

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dp}{dr} \right) - \alpha_0^2 p = B \log r + C \dots\dots(14)'$$

$$\alpha_0 = \sqrt{\frac{h^3 + h'^3}{h^3 \eta t}}, \quad B = \frac{6\mu Q}{\pi h^3 \eta t}, \quad C = \frac{C_1}{h^3 \eta t}$$

(14)' 式を解くと

$$\begin{aligned} p &= EI_0(\alpha_0 r) + FK_0(\alpha_0 r) \\ &\quad - \frac{6\mu Q}{\pi(h^3 + h'^3)} \log r + \frac{C_1}{h^3 + h'^3} \dots\dots\dots(15) \end{aligned}$$

ここに I_0, K_0 はベッセル関数である。

一方 (13) 式において p および p' はつぎの境界条件を満足しなければならない。

$$r=r_1 \quad \text{で} \quad p=p'=0 \dots\dots\dots(16)$$

したがって

$$C_1 = \frac{6\mu Q}{\pi} \log r_1$$

これらの関係および (15) 式を (13) 式に代入し、 p および p' はつぎのように表わされる。

$$p = EI_0(\alpha_0 r) + FK_0(\alpha_0 r) + \frac{6\mu Q}{\pi(h^3 + h'^3)} \log \frac{r_1}{r} \dots\dots\dots(17)$$

$$\begin{aligned} p' &= -\frac{h^3}{h'^3} [EI_0(\alpha_0 r) + FK_0(\alpha_0 r)] \\ &\quad + \frac{6\mu Q}{\pi(h^3 + h'^3)} \log \frac{r_1}{r} \dots\dots\dots(18) \end{aligned}$$

(b) $0 \leq r \leq r_0$

(9) 式および (11)' 式より q' を消去し, (4), (5) 式を用いて $\bar{u}, \bar{u}'$ を消去し, これを r で微分し整理すると

$$\frac{d^2 p'}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dp'}{dr} - \frac{1}{\eta t} (p' - p) + \frac{1}{\eta' t} (p_s - p') = 0 \dots\dots\dots(19)$$

(19), (12) 式はつぎのように書きなおせる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dp'}{dr} \right) &= A'^2 p' - B'^2 p - C' \\ \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dp}{dr} \right) &= D'^2 (p - p') \end{aligned} \right\} \dots\dots(20)$$

$$A'^2 = \frac{1}{\eta t} + \frac{1}{\eta' t}, \quad B'^2 = \frac{1}{\eta t}, \quad C' = \frac{p_s}{\eta' t},$$

$$D'^2 = \frac{h'^3}{h^3 \eta t}$$

(20) 式を解くと, p, p' は

$$\begin{aligned} p' &= N_1 I_0(\alpha_1 r) + N_2 I_0(\alpha_2 r) + N_3 K_0(\alpha_1 r) \\ &\quad + N_4 K_0(\alpha_2 r) + p_s \dots\dots\dots(21) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p &= M_1 I_0(\alpha_1 r) + M_2 I_0(\alpha_2 r) + M_3 K_0(\alpha_1 r) \\ &\quad + M_4 K_0(\alpha_2 r) + p_s \dots\dots\dots(22) \end{aligned}$$

$$\alpha_i = \sqrt{\frac{A'^2 - D'^2 \pm \sqrt{(A'^2 - D'^2)^2 + 4(B'^2 - A'^2)D'^2}}{2}} \dots\dots\dots(23)$$

また N_j, M_j の間にはつぎの関係がある。

$$\frac{M_j}{N_j} = \frac{A'^2 - \alpha_i^2}{B'^2} \dots\dots\dots(24)$$

ただし添字は $i=1$ のとき $j=1, 3, i=2$ のとき $j=2, 4$ である。

境界条件の一つとして

$$r=0 \quad \text{で} \quad \frac{dp}{dr} = \frac{dp'}{dr} = 0 \dots\dots\dots(25)$$

を用いると, $I_1(0)=0, K_1(0)=\infty$ であることに注意すれば

$$N_3 = N_4 = M_3 = M_4 = 0 \dots\dots\dots(26)$$

以上により, 圧力分布はつぎのようになる。

$$p' = N_1 I_0(\alpha_1 r) + N_2 I_0(\alpha_2 r) + p_s \dots\dots\dots(27)$$

$$p = M_1 I_0(\alpha_1 r) + M_2 I_0(\alpha_2 r) + p_s \dots\dots\dots(28)$$

流量 Q はつぎのようにして求められる。

$$\begin{aligned} Q &= \int_0^{r_0} q' \cdot 2\pi r dr \\ &= \int_0^{r_0} \frac{h'^3}{12\mu\eta't} 2\pi r (p_s - p') dr \\ &= -\frac{\pi h'^3}{6\mu\eta't} \left\{ \frac{N_1 r_0}{\alpha_1} I_1(\alpha_1 r_0) + \frac{N_2 r_0}{\alpha_2} I_1(\alpha_2 r_0) \right\} \\ &\dots\dots\dots(29) \end{aligned}$$

未知係数 N_1, N_2 (または M_1, M_2), E および F を決定するための境界条件は

$$\left. \begin{aligned} \text{(i)} \quad r=r_1 \quad \text{で} \quad p=p'=0 \\ \text{(ii)} \quad r=r_0 \quad \text{で} \quad p'_{(18)} = p'_{(27)} \\ \text{(iii)} \quad r=r_0 \quad \text{で} \quad p_{(17)} = p_{(28)} \\ \text{(iv)} \quad r=r_0 \quad \text{で} \quad \frac{dp'_{(18)}}{dr} = \frac{dp'_{(27)}}{dr} \\ \text{(v)} \quad r=r_0 \quad \text{で} \quad \frac{dp_{(17)}}{dr} = \frac{dp_{(28)}}{dr} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(30)$$

ただし添字は式の番号を示す。

ところで以上の五つの条件の中, (iv) と (v) は独立ではない。よって N_1, N_2, E および F の決定には, (i), (ii), (iii) および (iv) あるいは (v) の境界条件を用いればよい。

これらより得られる係数を用いて圧力分布の形を決定できる。

さらに負荷容量はつぎのようにして求められる。

$$\begin{aligned}
 W &= \int_0^{r_1} p \cdot 2\pi r dr \\
 &= \int_0^{r_0} \{M_1 I_0(\alpha_1 r) + M_2 I_0(\alpha_2 r) + p_s\} 2\pi r dr \\
 &\quad + \int_{r_0}^{r_1} \left\{ E I_0(\alpha_0 r) + F K_0(\alpha_0 r) \right. \\
 &\quad \left. + \frac{6\mu Q}{\pi(h^3 + h'^3)} \log \frac{r_1}{r} \right\} 2\pi r dr \\
 &= 2\pi r_0 \left\{ \frac{M_1}{\alpha_1} I_1(\alpha_1 r_0) + \frac{M_2}{\alpha_2} I_1(\alpha_2 r_0) \right\} + \pi r_0^2 p_s \\
 &\quad + \frac{2\pi E}{\alpha_0} \{r_1 I_1(\alpha_0 r_1) - r_0 I_1(\alpha_0 r_0)\} \\
 &\quad - \frac{2\pi F}{\alpha_0} \{r_1 K_1(\alpha_0 r_1) - r_0 K_1(\alpha_0 r_0)\} \\
 &\quad + \frac{12\mu Q}{h^3 + h'^3} \left\{ \frac{r_1^2}{4} - \frac{r_0^2}{2} \log \frac{r_1}{r_0} - \frac{r_0^2}{4} \right\} \\
 &\quad \dots\dots\dots (31)
 \end{aligned}$$

① 多孔質軸受金属, ② 上部平板, ③ 下部平板,
④ リング, ⑤ パッキン, ⑥ 給気用ニップル,
⑦ 圧力測定用ニップル

第 3 図

第 4 図

3. 多孔質軸受材料の浸透率

多孔質物質の浸透率はわれわれが上で仮定したようには一定ではない。浸透率は軸受すきま圧力およびレイノルズ数の関数であるとも報告されている⁽⁶⁾。浸透率はこのように変化するから、上の理論式の計算に用いるべき浸透率の値は実際の軸受と同じ作動条件（すなわち、同じ圧力、レイノルズ数）で測定した値を用いねばならない。

第3図は浸透率測定装置である。加圧された気体を多孔質物質と側壁で構成された空間に送込む。多孔質材料の下面はパッキンでおおわれているから、気体は

第 5 図

① ロータ, ② ステイター, ③ ライナ, ④ 多孔質軸受金属, ⑤ ダイアルゲージ, ⑥ 荷重用アーム, ⑦ 鋼球
⑧ 荷重受ざら, ⑨ スリーブ, ⑩ 取付用アーム, ⑪ 調整ねじ, ⑫ ニップル(a: 空気供給用, b: 圧力測定用)

第 6 図

多孔質材料中を半径方向に流れる。

この場合は上の理論で、軸受すきま h が 0 になった極限の場合に相当し、したがって供給圧力 p_s および流量 Q を知れば、それより浸透率 k は

$$k = \frac{\left\{ 1 + \frac{1}{\eta' t} \frac{r_0}{\alpha} \frac{I_1(\alpha r_0)}{I_0(\alpha r_0)} \log \frac{r_1}{r_0} \right\} Q}{\frac{2\pi}{\mu \eta'} \frac{r_0}{\alpha} \frac{I_1(\alpha r_0)}{I_0(\alpha r_0)} p_s} \quad \dots (32)$$

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{\eta' t}}$$

(a)

(b)

で求めることができる。

実験に用いた多孔質物質の浸透率の測定結果を第 4 図に示す。

4. 実験結果との比較

4.1 圧力分布測定装置 多孔質静圧気体スラスト軸受の圧力分布を測定し、負荷容量を知るための実験装置をブロック線図で示したものが第 5 図である。浸透率測定装置と同様な径路により空気を流す。

実験装置本体の詳細を第 6 図に示す。

実験した軸受のおもな諸元はつぎのとおりである。

軸受 外 径 $2r_1 = 60 \text{ mm}$

空気供給孔径 $2r_0 = 10 \text{ mm}$

多孔質軸受メタル厚さ $t \approx 5.1 \sim 5.2 \text{ mm}$

スラスト面に送られる空気は、空気供給孔より、ロータ下面の多孔質軸受メタルを経て軸受面に出る。軸受面任意の位置の圧力は、ステイターを微動送りねじで水平移動させ、ステイター中心にあけられた水銀マノメータおよびブルドン管圧力計に通ずる 0.2 mm 径の穴を軸受面任意の位置にもってくることににより測定される。

ロータはライナとの接触による影響を受けぬために、この部分を空気軸受形式にし、両者の接触をさせた。金属接触の有無は検流計によって確かめた。

荷重は荷重受ざら上中心に寄せられた小鋼球を一点としてアームを介してばねばかりにより与えられ

(c)

る。浮上がり量測定用ダイヤルゲージは荷重受ざら上に設置する。

軸受面とステイターの間の平行度がたいせつであるが、これは工作時ロータと軸受面の直角度を十分出すようにすることはもちろんであるが、さらにステイターを移動台の上に細目ねじによる三点支持でささえ調節した。

4.2 実験結果 実験に用いた多孔質軸受材料の特性を第1表に示す。

ところで β として

$$\beta = \frac{h'}{h} = \frac{\sqrt[3]{12kt}}{h} \dots\dots\dots (33)$$

h : 軸受すきま

h' : 等価すきま

で定義される値をパラメータとして用いれば、圧力分布や負荷容量は β のみによって決定され、 h および h' には直接には関係しない。

各多孔質軸受メタルに対して、同じ β の値で測定した圧力分布の測定結果の一例を第7図(a),(b),(c)に示す。図中、実線が理論曲線である。ただし理論値は $\eta=\eta'=0.5t$ として計算されたものである。

各図において、実験値と理論値は、定性的にも定量的にもよく一致していることがわかる。

β の値の小さいとき、たとえば第7図(a)の $\beta=0.6275$ の場合において、空気供給孔付近で、実験値と理論値の間にやや差異がみとめられるが、これは有効絞り長さ係数 c, c' が0.5よりややずれるためであろうと思われる。

第8図(a),(b),(c)は荷重を一定にし供給圧を変化させたときの浮上がり量の変化を示す。

軸受は、その荷重に対応するある一定の供給圧力以上で浮上がり、それ以上に圧力をあげると、最初の浮

第 1 表

メタル	材 質	粒 径	浸 透 率	等価すきま	厚 さ
I	銅系焼結合金	10 μ	$7.09 \times 10^{-9} \text{cm}^2$	35.1 μ	5.11mm
II	"	5 μ	4.35 "	30.0 μ	5.20mm
III	"	20 μ	9.73 "	39.0 μ	5.11mm

第 8 図

上がり量の変化は大きく、ある値の供給圧力以上ではほぼ直線的に変化している。

なお、この図において一点鎖線で示した曲線は、自励振動のおこり始める点の軌跡である。ただしこの点は、外乱を与えたとき自励振動の起る点であり、外乱を与えない時は、振動は測定圧力範囲内では起らなかった。

また安定範囲は浸透率が大となるにつれて増している。これは多孔質物質が減衰作用を有しているためで

(a)

(b)

(c)

第 9 図

あろうと思われる。

第 9 図 (a), (b), (c) は供給圧力を一定にし、荷重を変化させたときの浮上がり量の変化を示す。

第 10 図は $1/\beta$ (軸受すきまに対応) と負荷容量の関係を示す。図中、実線は理論曲線である。

実験結果はだいたい理論値と一致しているが、 $1/\beta$ が大きいとき実験値は理論値より大きくなり、 $1/\beta$ が小さいときは実験値は理論値より小さくなる。これは前にも述べたごとく、有効絞り長さ係数 c, c' が一定ではなく、 β の関数であることに原因するものと思われる。

5. 結 言

以上の研究によって、多孔質静圧気体スラスト軸受の圧力分布、負荷容量の理論式が明らかになった。すなわち、多孔質物質の特性は浸透率 k によって支配されると考えられ、等価すきま h' 、有効絞り長さ η' および η の導入によって、多孔質静圧気体スラスト軸受の問題が基本的な二層の並列流れとしてはあくされた。

圧力分布および負荷容量の実験を行なった結果、理論と実験とは定性的、定量的に良く一致することがわかった。

なお、実験結果の観察より、多孔質物質を用いた場合、圧力分布には負圧発生は認められず、したがって負荷容量、安定性ともに良好であった。

なお、有効絞り長さ η および η' については、だいたい $0.5t$ と考えてよいが、なお今後の検討の余地がある。

第 10 図

文 献

- (1) 森, 機械学会論文集, 26-169 (昭 35-9), 1 249.
 (2) С.А. Шейнберг и В.Г. Шустер, Станки и Инструмент, No. 11 (1960), 23.

- (3) P.C. Carman, *Flow of Gases through Porous Media*, (1956), Butterworths Scientific Publication.
 (4) 佐々木・森, 機械学会論文集, 27-181 (昭 36-9), 1 448.
 (5) 森・ほか, 日本潤滑学会潤滑に関する講演会前刷, (昭37-5), 8-1.
 (6) W.A. Gross, *Gas Film Lubrication*, (1962), 300, John Wiley and Sons, Inc.

討 論

〔質問〕 第7, 8, 9 図のデータに食違いがある。たとえば第7 図(a) メタルI のデータは第8 図(a), 第9 図(a) より得られるものと相違している。

(青 木 弘)

〔回答〕 たしかに第7, 8, 9 図の間にはデータに誤差がある。第7, 8, 9 図は同じデータを引直したのではなく, それぞれ独立に実験を行なったため一部, 相互間に多少の実験誤差があることが考えられる。実験方法としては第7 図に対してはそのデータの重要性から, 特に注意を払って実験を行なったものであって, したがって実験誤差もあまりないはずである。一方第8, 9 図のデータは連続的に浮上がり量を測定したものであって, その際のダイヤルゲージの動きの不正確さ等が誤差の原因をなしているのではないと思われる。参考のため第7 図より得られるデータを第10 図にプロットすると付図1のごとくなり(図中の二重丸印)第8, 9 図より得たデータよりもむしろ理論曲線に近いことがわかる。

〔質問〕 (1) 多孔質メタルのたわみは問題にならないか。

(2) 多孔質メタルの外周面をふさいでここからの

気体の漏れを防いだほうが有効ではないか。

(平野富士夫)

〔回答〕 (1) 気体軸受は比較的低い荷重の場合を対象にするものであるし, またわれわれが取扱った形式の軸受では多孔質円板の背面を金属円板に密着させているので, 変形も非常に拘束されており, 多孔質物質のたわみは問題にならないと思う。

(2) ご指摘のとおり, 多孔質物質の端面をふさいでここからの気体の漏れを防いだほうが, 確かに気体消費量は減少し負荷能力は増す。われわれはこのような場合に対しても理論を確立したが, このほうが計算がかなり複雑になり, また一方われわれの研究が, 多孔質物質を用いた気体軸受の静特性の基礎的研究を目的としたので, 実用的見地からすればややはなれるかも知れないが, より計算の容易な端面開放の場合について研究を行なった。なお多孔質物質の端面を閉じた場合の理論の概略を述べると次のようになる。

圧力分布の形としては $r_0 \leq r \leq r_1$ の範囲では (15), (13) 式がそのまま成立し, $0 \leq r \leq r_0$ の範囲では (27), (28) 式がそのまま成立する。境界条件としては多孔質物質の端面を閉じてあることにより,

付 図 1

付 図 2

(16) 式の代りに

$$r=r_1 \text{ で } p=0 \dots\dots\dots(16)'$$

および

$$\int_0^{r_1} q \cdot 2\pi r dr = Q$$

(7) 式を用いて整理すると

$$\left(\frac{dp'}{dr}\right)_{r=r_1} = 0 \dots\dots\dots(34)$$

したがって未知係数 N_1, N_2, E, F および C_1 の決定に用いるべき境界条件は (30) 式の (i) の条件の代りに (16)' 式および (34) 式を用いねばならない。負荷容量は圧力を積分することによって容易に求め得る。参考として多孔質物質の厚さは実験に用いたものの値と異なるが、端面を閉じた場合と開いた場合の理論圧力分布の比較の一例を付図 2 に示しておく。負荷容量は両者に対して、

$$\text{端面を閉じた場合} \quad W/p_s \cdot \pi r_1^2 = 0.283$$

$$\text{端面を開いた場合} \quad W/p_s \cdot \pi r_1^2 = 0.203$$

である。

〔質問〕 スラスト方向の浮上りを測定されたがこの浮上りが傾くことは考えられないか (この気体スラスト軸受を使った場合に発生するラジアル荷重はどんな程度か)。

(富 安 浩)

〔回答〕 実験装置 (第 6 図) を見ればわかるようにロータ部 [第 6 図 ①] はジャーナル空気軸受形式で ③ のライナに保持されている。したがってスラスト軸受による軸の傾きに対する剛性のほかにこのジャーナル空気軸受の、傾きに対する剛性がかなり大きく、

実験に際して軸が傾くことは考えられない。また理論的にはラジアル荷重はないはずだが、軸が傾いて保持されている場合などには、軸の自重によるラジアル方向の分力が多少あることも考えられる。しかしながらラジアル荷重はいずれにしろ非常に小さく、軸受の傾きに対する剛性によって十分ささえ得る程度であろうと思われる。

〔質問〕 実用的見地から次の質問をいたします。気体軸受を実現するためには、少ない気体消費量で高い剛性あるいは負荷能力を得ることがきわめて必要であると考えられるが、この点本論文で取扱っている軸受は、在来の気体軸受に比べてどのようなものであると考えてよいか。

(可児日登志)

〔回答〕 高い軸受剛性あるいは負荷能力を持ち、安定性の良好な気体軸受を得るためには、適当な絞り作用を持つ多数の気体供給孔を、供給圧力をできるだけ保持するように配置設計しなければならない。

本論文で取扱ったような多孔質物質を用いた気体軸受では、その構造からわかるように多数の気体供給孔の代りに多孔質円板を用い、そうすることによって軸受の気体膜圧力の高い部分を非常に大きくすることができ、したがって負荷能力は高まる。また多孔質物質が振動に対して減衰作用をすると考えられ、安定性も向上する。したがってこの形式の軸受は気体消費量は増し、また多孔質物質の加工に多少の問題点はあるが、軸受性能からいえば非常に良好な気体軸受が期待できると考える。

29 巻 202 号 (昭 38-6) 正誤表

執筆者名	ページ	欄	行	誤	正
吉沢武男 他 金子孝治郎	1081	第 7 図	図説	厚板とかたさ差異	板厚とかたさ差異
	1090	右	11	$K = \phi - \tan \phi$	$K = \phi - \tan \phi$
	1091	第 3 図		一部を右図にかえる
	1098	第 9 図		一部を右図にかえる