

寄書

変動荷重を受けるスラスト気体軸受の圧力分布*

宮地隆太郎**, 須田 稔**, 原田正躬**
Ryutaro MIYAJI, Minoru SUDA, Masami HARADA

1. 緒 言

一般に、外乱の作用下における気体軸受では、潤滑膜としての気体膜の応答特性が軸受の性能を左右することが知られている。著者らは先に、軸に外乱が作用した場合の軸の応答特性を明らかにするために、軸に低周波域から高周波域(50~500 Hz)までの変動荷重を加え、軸受内に発生する変動圧力を測定した⁽¹⁾。しかし、そのために試作した実験装置では、スラスト荷重が小さく、給気圧力も常用圧力($P_s/P_a=5\sim6$)に比べて低く設定したために、給気孔入口と出口の圧力比が1に近くなった。そのため、給気孔を通過する気体の流量変化は、給気孔出口の微小変動圧力に対して線形とみなせない領域で行われた。従って、摂動法を用いた計算結果と実験値を比較した場合、かなりの相違がみられた。

本研究では、給気圧力を常用圧力に設定し、軸受剛性最大値の付近で実験を行えるような装置を試作し、

変動圧力分布を測定して従来行われている摂動法を用いた計算値と比較考察を行った。

2. 実験および計算結果

2.1 測定装置 図1に測定装置を示す。実験は、供試軸⑥の下端に自成絞り形とポケット形の静圧気体スラスト軸受を構成して行った。供試軸の寸法は、半径70 mmであり、ポケット形の場合、形成したポケットの半径と深さは、各々20 mmと0.5 mmである。また両者において、給気孔径と長さはいずれも、1.2 mmと1 mmである。

図において、圧力を検出するための圧力測定端子は、軸受面⑦の位置に組込まれ、軸受⑥を水平方向に移動させることによって、半径方向各位置における気体膜の圧力を測定することができる。供試軸⑥は、図示の静圧気体ジャーナル軸受⑤と直動玉軸受③によって支持されている。静荷重は、供試軸上部④に構成された静圧気体スラスト軸受によって加えられる。また、軸に対する変動荷重は、鋼球②を介して加振器①により加えられる。

軸変位は、供試軸の外周部に120°間隔に設置した3組の静電容量形変位計を用いて計測した。さらに、相対する供試軸端面と軸受面との平行度を $\pm 2.5\ \mu\text{m}$ 以内に確保するために、ねじ⑩($P=0.5$)によって調整した。この程度の平行度の場合、圧力分布の誤差は軸の外周部から10 mmの位置で約5%以内である。

図2に圧力測定端子を示す。図示のように、軸受す

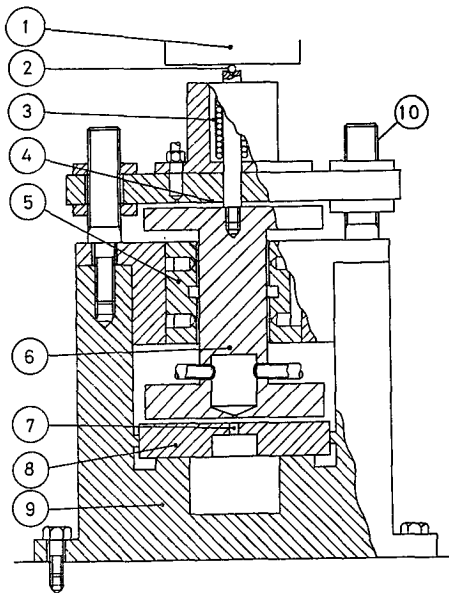


図1 実験装置

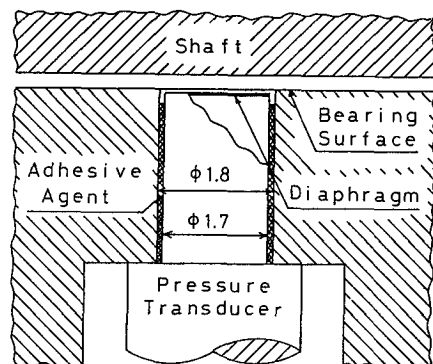


図2 圧力測定端子

* 昭和54年4月3日 第56期通常総会講演会において講演，原稿受付 昭和55年5月6日。

** 正員，埼玉大学理工学部（〒338 浦和市下大久保 255）。

きまの変動圧力をできるだけ正確に測定するために、測定端子の受圧面積を約 2.5 mm^2 に設定した。また、軸受面における圧力変化に対して、圧力変換器の応答特性を向上させるために、図示の受圧面をできるだけ軸受面に近接させ、軸受面と受圧面に形成されるすきまを $10 \sim 15 \mu\text{m}$ に設置した。なお、使用した圧力変換器の固有振動数は、約 500 kHz であり、実験時の加振周波数 $50 \sim 500 \text{ Hz}$ の測定に対し、十分対応させることができ、測定圧力 $100 \sim 700 \text{ kPa}$ の範囲で、

ほぼ完全な直線性が保証されている。

図3は、自成絞り形軸受について、給気孔の出口と入口の圧力比と流量の関係を示している。静荷重 530 N の場合、給気孔における圧力比は約 0.64 となり、実験において変動荷重を作用させた場合の出口圧力変化は、 $\pm 10 \sim 15 \text{ kPa}$ であった。従って、図示のように、給気孔出口圧力変化に対する流量変化の線形性は、ほぼ満足されていることがわかる。

2.2 実験結果および計算結果 供試軸面が正弦波状の変位を生じている場合、圧力波形は供試軸面の変位と同じく正弦波振動をしており、変動圧力 P_d は、

$$P_d = P_m \sin(\tau + \phi)$$

の形で表すことができる。

図4、5は、上述の実験装置による自成絞り形ラスト気体軸受の測定結果、および計算結果を示す。図4は、すきまが $32 \mu\text{m}$ 、図5は $60 \mu\text{m}$ の場合である。図(a)には、軸受面半径方向各位置における変動圧力の最大値を示し、同じく図(b)には、供試軸面変位と変動圧力の位相差を示した。これらの図において、実線は測定値を示し、破線は、レイノルズ方程式を解くにあたって等速運動を仮定した解法、一点鎖線は正弦波状の運動を仮定した解法⁽¹⁾による計算値を示す。図4、5の図(a)において、変動圧力の最大値

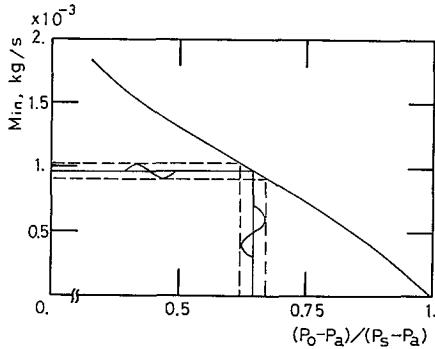
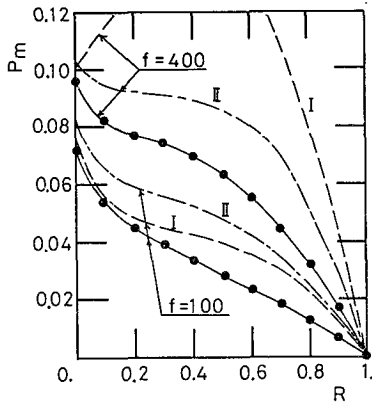
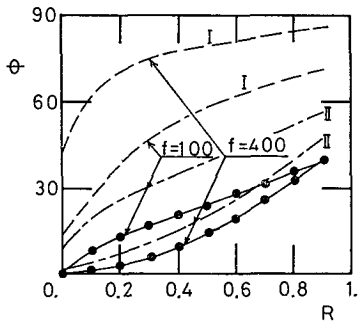


図3 給気孔出口圧力比と流入量の関係



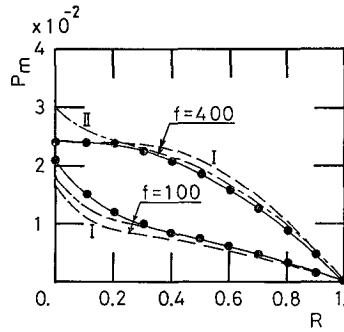
(a)



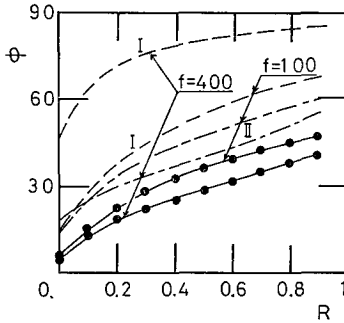
(b)

$h_0 = 32 \mu\text{m}$

図4 自成絞り形軸受の変動圧力分布



(a)



(b)

$h_0 = 60 \mu\text{m}$

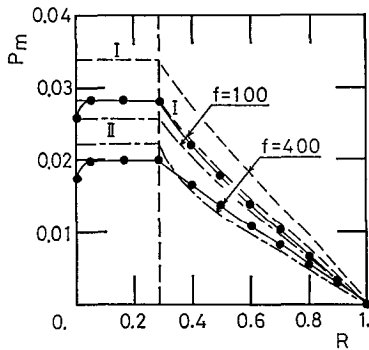
図5 自成絞り形軸受の変動圧力分布

は、加振周波数が高くなるに従い、半径方向の中央付近 ($R=0.3\sim 0.6$) において、曲線にふくらみが現れる。また、図 (b) について位相差を比較した場合、供試軸面の内周側 (給気孔付近) と外周側で加振周波数による相違は認められないが、図 4 (b) のすぎまがせまい場合、半径方向位置の中央付近で減少する傾向が認められる。このことは、加振周波数が高くなるにつれて、供試軸面の半径方向位置の中央付近では、粘性抵抗によって気体がとじ込められるためと考えられる。従って、中央付近では気体膜の圧力が増加し、変位と圧力の位相が近接するものと思われる。

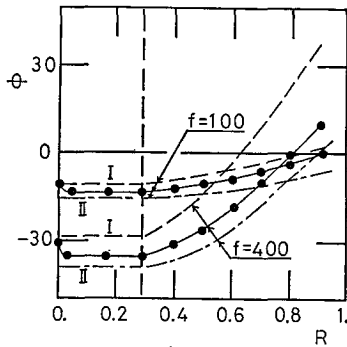
次に、これらの測定結果を解法 I と解法 II に従った計算値と比較すると、加振周波数が 50 Hz 程度では、両者間に比較的一致した傾向が認められた。100 Hz 以上になると測定値は、解法 II の計算値に一致する傾

向を示し、解法 I に従った計算値との間には、かなりの相違が認められた。このことは、解法上の仮定によるものと考えられる。上述の傾向は、図 6, 7 に示したポケット形軸受に対する測定結果も同様であるが、ポケットを形成したために、ランド幅が自成絞り形軸受よりもせまくなり、従って自成絞り形軸受ほど、供試軸面の中央における圧力の増加は認められない。

次に、上記の測定値を軸受面全面にわたって積分し、ばね定数と減衰係数に整理しなおした結果⁽²⁾について付言する。図 8, 9 は自成絞り形とポケット形軸受について、ばね定数と減衰係数を示している。同時に、解法 I と解法 II に従った計算結果も示した。図 8 は、自成絞り形の場合であり、測定結果は加振周波



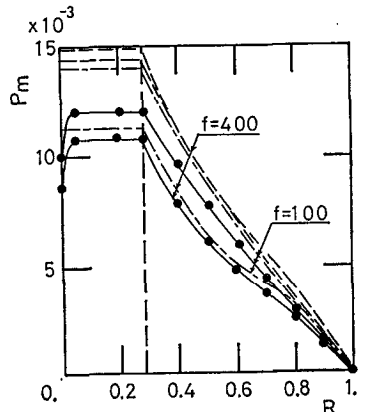
(a)



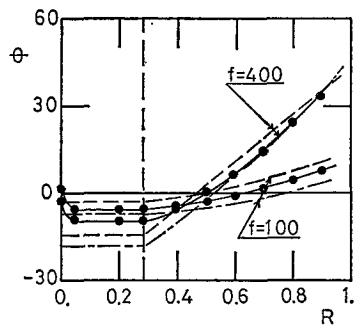
(b)

$h_0=66 \mu\text{m}$

図 6 ポケット形軸受の変動圧力分布



(a)



(b)

$h_0=80 \mu\text{m}$

図 7 ポケット形軸受の変動圧力分布

表 1

	解 法 I	解 法 II
レイノルズ方程式	$(H^3/R)(\partial/\partial R)\{PR(\partial P/\partial R)\}=\sigma(\partial PH/\partial \tau)$	
変 位 H	$1+\varepsilon(\tau)$	$1+\varepsilon \sin(\tau)$
圧 力 P	$P_0+P_1\varepsilon+P_2\varepsilon^2$	$P_0+P_1\varepsilon \sin(\tau)+P_2\varepsilon \cos(\tau)$
境界条件	$R=1: P_0=1, P_1=P_2=0$	$R=R_0: M_{in}=M_{out}$

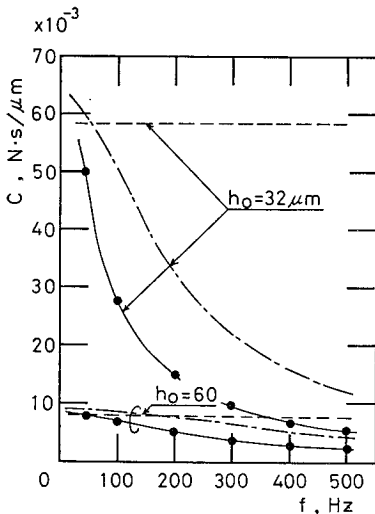
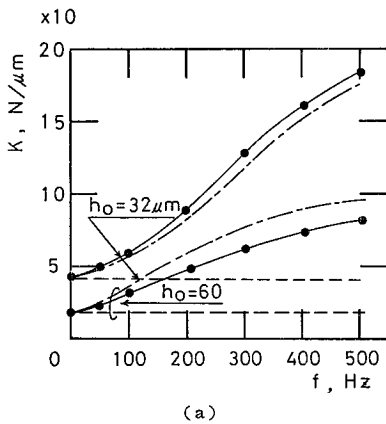
数が高くなるに従って、ばね定数は増加するが減衰係数は減少することを示している。これは、加振周波数が高くなると、ランド部中央領域において気体がとじ込められ、この気体は供試軸面変位に対して同位相の変動圧力となるので、ばね定数は増加し、減衰係数は減少するものと考えられる。また、これらの測定結果と、計算結果との間には、解法Ⅰの場合、加振周波数に依存せず一定値を示すが、これは軸が軸受面に対して等速度で変位することを仮定しているためである。解法Ⅱに従った計算結果では、図示のように比較的良好一致がみられた。図9は、ポケット形の場合であり、加振周波数との関係を調べると、加振周波数が高くなるに従って、ばね定数は減少し減衰係数は増加する。ポケット形スラスト気体軸受では、ポケットの深さがばね定数、減衰係数におよぼす影響はきわめて複

雑であることが知られている⁽⁹⁾。本実験では、ポケットの深さが深く（すきまの7~9倍）スクイズ数が低い範囲（ $\lambda=0.01\sim 0.1$ ）で行っている。このような範囲において、上記測定値と解法Ⅱによる計算結果との間には、ほぼ一致した傾向が認められ、両者間の相違は、15~20%であった。

自成絞り形とポケット形スラスト気体軸受のばね定数と減衰係数について比較してみると、自成絞り形の場合、ばね定数・減衰係数ともに、測定値よりも計算値の方が高く見積もられる。しかし、ポケット形の場合、ばね定数は軸受すきまが大きくなると、計算値の方が測定値よりも高くなる傾向にあるが、減衰係数については、測定値の方が計算値よりも高くなる。

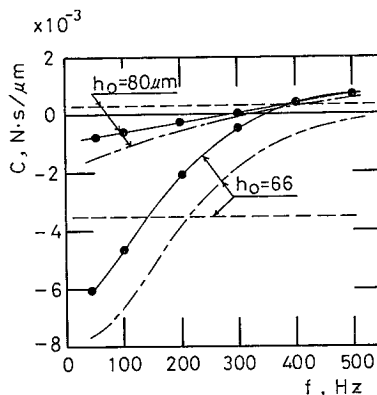
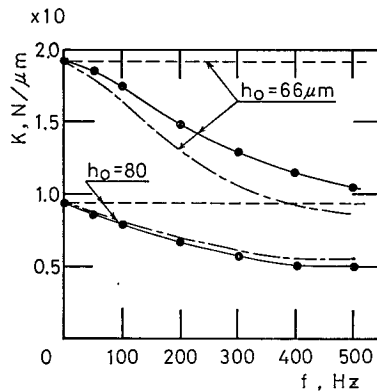
3. 結 言

絞り出口の圧力変化に対する流入量変化が一定となる領域において、正弦波状の加振周波数（50~500 Hz）の外乱が軸に作用した場合、気体膜に生じる変動圧力を測定し、計算値と比較した結果、次のような結論を



$(p_s - p_a)/p_a = 4$
 $r_r = 70 \text{ mm}, r_o = 0.6 \text{ mm}$

図8 自成絞り形軸受のばね定数と減衰係数



$(p_s - p_a)/p_a = 4, r_r = 70 \text{ mm}, r_p = 20 \text{ mm}$
 $r_o = 0.6 \text{ mm}, h_p = 0.5 \text{ mm}$

図9 ポケット形軸受のばね定数と減衰係数

得た。

た摂動法を用いた計算を行うことにより、10~20%の精度で求めることができる。

(1) 圧力分布について、測定値と計算値を比較すると、両者間の相違は約 20% 程度となる。

(2) 圧力分布の測定値より、ばね定数と減衰係数を求め、計算値と比較すると、両者間の相違は 10~20% となるが、定性的傾向は一致する。

(3) 上記結果より、軸受特性は、従来行われてき

文 献

- (1) 宮地・ほか2名, 機論, 43-372 (昭 52), 3170.
- (2) 佐藤・森, 機論, 41-347 (昭 50), 2189.
- (3) 佐藤・森, 機論, 42-363 (昭 51), 3643.

47 卷 413 号 C 編 (昭 56-1) 正 誤 表

執 筆 者 名	ペー ジ	欄	行	誤	正
田 村 英 之 ほか	1		脚注	(㊦ 870-11 大分市大	(㊦ 870-11 大分市大字且野原 700)
	2	式(6)		$\equiv \sum_m C_m^0 e^{jm\theta} = 0$	$\equiv \sum_m C_m^0 e^{jm\theta} = 0$
	〃	式(13)		$\sum_{n=1}^N \frac{\partial W_n}{\partial z_n} \Big _0 \bar{z}_n$	$\sum_{n=1}^N \frac{\partial W_n}{\partial z_n} \Big _0 \bar{z}_n$
	3	式(16)	3 段め	$\frac{\partial F}{\partial x''} \Big _0 = \sum_{m'} \dot{C}_m^{21} e^{jm'\theta}$	$\frac{\partial F}{\partial x''} \Big _0 = \sum_{m'} C_m^{21} e^{jm'\theta}$
	〃		下12	エルミート行列	エルミート行列
	4	式(28)	8 段め	誤 $(A_{n-1} J A^1 + A_{n+1} J^1) / 2 (B_{-n-1} J^1 + B_{n+1} J^1) / 2$ $(A_{n-2} J^1 + A_{n+1} J^1) / 2 (B_{-n-2} J^1 + B_{n+2} J^1) / 2$ 正 $(A_{n-1} J^1 + A_{n+1} J^1) / 2 (-B_{n-1} J^1 + B_{n+1} J^1) / 2$ $(A_{n-2} J^1 + A_{n+1} J^1) / 2 (-B_{n-2} J^1 + B_{n+2} J^1) / 2$	
	5	左	下 4	倍精度実数を用い、	倍精度実数)を用い、
	7	右	18	で近似され。	で近似され、
	〃	〃	下15	(0~20-0)	(0~2 ⁰ -0)
	9	左	下10	マルチと題も	マルチと
斑 目 春 樹 藤 田 勝 久	〃	〃	下 9	副	副題も
	10		脚注	* 昭和 54 年 4 月 3 日	* 昭 55 年 4 月 3 日
	21	式(8)		$(\partial^2 \Phi / \partial t^2$	$(\partial^2 \Phi / \partial t^2$
	〃	式(10)		$\Phi = \sum_{k=0}^{\pi} \bar{z}_k$	$\Phi = \sum_{k=1}^{\pi} \bar{z}_k$
	〃		下 8	円周方向を k 次、	円周方向 k 次、
	〃	式(12)	1 段め	$\lambda_i = i + \frac{1}{2} \pi$	$\lambda_i = \left(i + \frac{1}{2} \right) \pi$
	22	式(16)		$\sum_{k=0}^{\pi} \bar{z}_k$	$\sum_{k=1}^{\pi} \bar{z}_k$
	23		16	u, v, w を液体圧	u, v, w と液体圧
	24	式(31)	2 段め	$K_c = \{\bar{\psi}\}_e^T \dots$	$K_c = \{\bar{\psi}\}_e^T \dots$
	27	表 3	表中	H/R	h/R
新 井 典 久 ほか	52	右	6	図 19(b)	図 20(b)
	53	右	下15	はよく一致している	よく一致している
	56	右	22	考えられるところである	考えられることである
梅 澤 清 彦 ほか	58	式(1)		$e^{j\omega t}$	$e^{j\omega t}$
	61	図 7	図説	2 kgf/m	2 kgf·m
	〃	8			
	64	文献(1)	}	U. and	u.
〃	(2)				
多 川 則 男 ほか	104	左	下 2	十等分割	10 等分割
	107	文献(4)		Chu, T. T.,	Chu, T. Y.,