滑り軸受油膜の負圧に関する研究*
(第 3 報, 負圧の発生が軸受の静特性に及ぼす影響)染 谷 常 雄^{*1}Negative Pressure in the Oil Film of Journal Bearing
(3rd Report, Influences of the Development of Negative Pressure
on the Static Characteristics of Bearing)Tsuneo SOMEYA^{*2}^{*2} Musashi Institute of Technology, Dept. of Mech. Eng.,
1-28-1 Tamazutsumi, Setagaya-ku, Tokyo, 158-8557 Japan

Taking into account the surface dilatational viscosity, influences of development of negative pressure including tensile stress on the static characteristics are studied for the oil film of journal bearing: When negative pressure develops in the oil film, the maximum oil film pressure remains almost unchanged. However, when negative pressure develops, the mean oil film pressure increases to some extent under light load, but decreases under heavy load, and the coefficient of friction decreases under light load, but increases under heavy load. When negative pressure develops, the semicircle-like orbit curve of the journal center under static load deforms perpendicularly to the load direction and towards the bearing outside. When negative pressure develops, the side flow rate can decrease by the amount of back flow caused by the negative pressure in the oil film. These results indicate that the state of operation of journal bearing can shift towards more dangerous range, when the negative pressure develops in the oil film.

Key Words: Tribology, Lubrication, Hydrodynamic Bearing, Oil Film Rupture, Negative Pressure, Load Capacity, Oil Flow, Coefficient of Friction, Journal Center Orbit, Surface Dilatational Viscosity

1. 緒 言

前 2 報⁽¹⁾⁽²⁾ では, 中央全周溝付真円軸受の油膜について, 油の表面粘性を考慮した気泡理論により負圧(張力を含む)の分布と負圧の発生条件および大きさを求めた。その結果, これらが軸心の偏心率 ε と 4 個の気泡因子および 4 個の軸受因子にさまざまな形で依存することがわかった。本報では, 上記の軸受について同理論により負圧の発生が軸受の負荷容量, 摩擦係数や潤滑油流量, 等の静特性値に及ぼす影響について検討する。図 1 に考察の対象とした軸受を, また以下に本報で使用した記号を示す。

記 号

- B : 気泡理論による計算 (2π 周期条件)
 BR : 気泡理論による計算 (レイノルズ条件)
 B' : 溝幅を差し引いた軸受有効幅
 C : 従来理論による計算 (気泡を考慮しないレイノルズ条件)

- D : 軸受の内径
 e : 軸心の偏心率
 N : 軸の毎分回転数
 p : 油膜圧力 (ゲージ圧)
 p_a : 大気圧 (絶対圧)
 $p_{\max}$: p の最高値 (ゲージ圧)
 $p_{\min}$: p の最低値 (ゲージ圧)
 p_s : 給油圧 (ゲージ圧)
 $\bar{p}$: 油膜の平均圧力, または軸受平均面圧
 $= W/B'D$
 Q : 負圧発生のない場合の無次元流出量
 Q' : 油の吸込みのない場合の無次元流出量

Fig. 1 Journal bearing with a circumferential oil groove and its coordinates

* 原稿受付 2000 年 6 月 5 日.

^{*1} 正員, 武蔵工業大学工学部 (〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1).

E-mail: someya@eng.me.musashi-tech.ac.jp

Q^* : 油の吸込みのある場合の無次元流出量

$\bar{Q}$: 無偏心時の周方向流量(両ランド分)

$$= r\omega\Delta r B'/2$$

r : 回転軸の半径

R_a : 大気圧下の気泡半径

Δr : 軸受の半径すきま $= D/2 - r$

W : 軸受荷重(鉛直下方)

Z : 曲線 B と曲線 C の高さの比 $= Y_B/Y_C$

α_a : 大気圧下のボイド率

β' : 軸受の有効幅径比 $= B'/D$

γ : 軸心の偏心角(水平軸基準)

ε : 軸心の偏心率 $= e/\Delta r$

η_l : 油の粘性係数

η' : 油の修正粘性係数 $= \eta_l/\phi^2$

κ : 油の表面粘性係数

μ : 軸受の摩擦係数

μ' : 軸受の摩擦係数比 $= \mu/\phi$

ν : 軸心の偏心角 $= -\gamma$

σ : 油の表面張力

ϕ : 軸受すきま比 $= \Delta r/r$

ω : 軸の回転角速度 $= \pi N/30$

軸の回転の向きおよび角度 γ と ν の正の向きは、反時計回りとする。

2. 検討方法と計算結果

ここでは、負圧の発生が軸受の静特性に及ぼす影響を検討する方法と、計算結果のグラフ表示について述べる。

2.1 検討方法 軸受の静特性値として、圧力の最高値 $p_{\max}$ 、軸受平均面圧 $\bar{p}$ 、摩擦係数比 μ' 、軸心の偏心角 ν 、無次元流出量 Q' および Q^* の6個を選ぶこととする。なお後述のように、負圧が発生しない場合には、 Q' および Q^* の代わりに Q を用いる。 $\bar{p}$ は、圧力 p の荷重方向成分の平均値で、軸受平均面圧に等しい。摩擦係数 μ の代わりに ϕ との比 μ' を選んだ理由は、 μ を表す式が ϕ を係数として含むことによる。軸心の偏心角 γ を図1に示すように軸の回転と逆向きに測ると、定義により負の値になるので、以下では正の値 $\nu = -\gamma$ について論じることとする。

Q' と Q^* は、負圧が発生した場合の油の流出量で、

それぞれ負圧によって生じる油の吸込みのない場合の、またはある場合の軸受両端からの流出量を無偏心時の周方向流量 $\bar{Q} = r\omega\Delta r B'/2$ で除して無次元化した流量を表す。軸受両端から流出した油が、両端から再び吸込まれない構造の軸受(大気開放、吸出し式等)では Q' が、吸込まれる構造の軸受(シール付き、油浴式等)では Q^* 、等が有効になると考えられる。また Q は、油膜に負圧が発生しない(油膜が破断している)場合の流出量を同様に無次元化した流出量を表す。このほかに軸受の特性値として、圧力の最低値 $p_{\min}$ があるが、これについては前報⁽²⁾で負圧の大きさとして論じたので本報では省く。

これら6個の軸受特性値に対して、偏心率 ε のほかに表1⁽¹⁾に示す4個の気泡因子 $R_a, \alpha_a, \sigma, \kappa$ と4個の軸受因子 β', p_s, η', N の値を最小値、標準値、最大値と変えて、その影響を調べた。最小値と最大値は、 β' と N については標準値の1/2倍と2倍とし、その他の因子については標準値の1/10倍と10倍とした。

主として計算は、周期条件を用いた気泡理論(Bと略記)と、レイノルズ境界条件を用いた従来理論(Cと略記)の二とおりを行った。後者は、気泡を考慮しておらず、また圧力の山の終端で圧力とそのこう配を同時に零とおく条件で、負圧の発生は許さない。したがって、3章と4章においてBとCの計算結果を比較するが、Bは負圧が発生した場合を、Cは発生しない(油膜が破断した)場合を想定している。なおBとCにより求めた圧力分布は、第1報⁽¹⁾でそれぞれ bubble と Conv と略記した圧力分布に相当する。本報では、このほかに一部で、参考としてレイノルズ条件を用いた気泡理論(BRと略記)の計算も行った。これらの計算方法(B, BR, C)と流量(Q', Q^*, Q)との関係をまとめると、Bにより求めた流量が Q' と Q^* であり、BR またはCにより求めた流量が Q である。

2.2 計算結果 まず負圧の発生を許さない両計算方法BRとCの違いを調べるため、8個の因子をそれぞれ表1の最小値と最大値に、また ε を0.2と0.8に変え、BRとCにより6個の軸受特性値を求めた。その結果、BRにおいて因子 α_a の値を変えた場合の軸受特性値の変化が、他の因子を変えた場合の変化に比べて最も大きいこと。また α_a 以外の7因子の値を変

Table 1 Bubble and bearing parameters

Parameter Value	Bubble parameter				Bearing parameter			
	$R_a [\mu\text{m}]$	$\alpha_a [-]$	$\sigma [\text{N/m}]$	$\kappa [\text{Ns/m}]$	$\beta' [-]$	$p_s [\text{MPa}]$	$\eta' [\text{Pa·s}]$	$N [\text{rpm}]$
Minimum	0.1	0.001	0.00244	0.785×10^{-4}	0.25	0.01	710.39	500
Standard	1	0.01	0.0244	0.785×10^{-3}	0.5	0.1	7103.9	1000
Maximum	10	0.1	0.244	0.785×10^{-2}	1.0	1	71039	2000

えた場合の影響はわずかであること、また BR と C の計算結果はほぼ同じであること、がわかった。

そこで、すべての因子を標準値とし、最も影響の大きい α_a の値のみを変えた場合の BR の結果を C の結果と合わせて図 2 に示す。図 2 の左側の各図には、縦軸に各軸受特性値を、横軸に ε を、曲線パラメータに α_a をとった。また α_a による特性値の変化を見やすくするため、図 2 の左側の図について横軸と曲線パラメータを入れ替えた図を右側に示した。その図で、 α_a の値を変えた場合の BR の点と C の点を線で結んで

Fig. 2 Bearing characteristics calculated by BR and C for all parameters of standard values except α_a

Fig. 3 Bearing characteristics calculated by B and C for all parameters of standard values

あるが、これは単にこれらの点と同じ値の ε に属することを示すものである。後出の図 3 および図 6 についても同様である。

このほか、図 2 の左側で一部の図には、曲線 C から最も離れている曲線 $\alpha_a=0.1$ (BR) と曲線 C の高さ Y の比 $Z=Y_{\alpha_a=0.1(BR)}/Y_c$ をあわせて示した。図 2 (e) は、(d) に示す ε と ν の関係を極座標表示したもので、垂直下方に静的荷重を受けた軸の中心の軌跡(浮上曲線)を表す。図 2 (k) は、図 2 (e) の左上部を拡大したものである。図 2 より、本計算の範囲では、 $p_{\max}$, $\bar{p}$, μ' および Q' の BR と C の差が最大で約 3.4~6% であった。このように、両者の計算結果はあまり差が大きいいため、以降の計算では、BR は省略し、B と C の計算のみを行った。

図 3 は、8 個の因子をその標準値に固定した場合について、 ε の値を変えて軸受特性値の変化を B と C の計算法により求めた結果である。図 2 と同様に左右の図は、横軸と曲線パラメータを入れ替えたものである。また左側の一部の図には、曲線の高さの比 $Z=Y_B/Y_c$ も示した。図 3 (k) は、図 3 (e) の一部を拡大したものである。

図 4 と図 5 は、8 個の因子が 6 個の軸受特性値に及ぼす影響を B と C で求めた結果を示す。すなわち、図 4 では ε を横軸にとり、軸受特性値を縦軸にとり、4 個の気泡因子を曲線パラメータにとった。各列の図の縦軸の変数は、図の最上段に示した。同様に、各行の図の曲線パラメータは、左端の凡例に示した。この曲線パラメータに選んだ各気泡因子の値は、表 1 に示す最小値、標準値および最大値とし、ほかの 7 個の因子はその標準値に固定した。図 5 は、同じく横軸 ε による軸受特性値の変化を 4 個の軸受因子(曲線パラメータ)に対して示す。図 4 と図 5 において曲線が重なって区別がつかない場合が多いので、両図の横軸 ε と曲線パラメータを入れ替えたものをそれぞれ図 6 と図 7 に示す。図 2~7 において、流量の図には、 Q' , Q^* のほかに Q も示した。また図 2~7 には、 $\varepsilon=0.2\sim 0.8$ の範囲のみの結果を示したが、計算は必要に応じて 0.8 より大きな ε でも行った。また以下の検討において曲線がほぼ重なるため変数の大小が不明確な場合には、数値により変数の大小を調べた。以下の検討結果は、選んだパラメータの値の範囲(表 1)においてのみ保証される。

3. 負圧の発生が軸受の静特性に及ぼす影響(8 因子が標準値の場合)

ここでは、8 個の因子を表 1 の標準値に固定して、 ε

Fig. 4 Bearing characteristics calculated by B and C, ϵ as abscissa (influences of 4 bubble parameters) Fig. 5 Bearing characteristics calculated by B and C, ϵ as abscissa (influences of 4 bearing parameters)

 Fig. 6 Bearing characteristics calculated by B and C, ε as parameter (influences of 4 bubble parameters)

 Fig. 7 Bearing characteristics calculated by B and C, ε as parameter (influences of 4 bearing parameters)

の値を変えて、負圧が発生する場合(B)と、しない場合(C)の軸受特性の違いを調べる。

(1) 全体的傾向(図3)

6個の静特性値 $p_{\max}$, $\bar{p}$, μ' , ν , Q' および Q^* のうち、BとCの差が最も大きいのは、偏心角 ν である。また静特性値のうちで μ' は、B, C いずれの場合も ε の増加とともに単調に減少するが、他の5個は単調に増加する。したがって、例えば軸受面圧 $\bar{p}$ を大きくすると、当然 ε と $p_{\max}$ は増加するが、流量 Q' , Q^* も増加し、 μ' は減少する。

(2) $p_{\max}$ に及ぼす影響

$p_{\max}$ は、BとCの差はほとんどなく、両場合とも ε とともに急増する [図3(a), (g)]。したがって、同一の ε において比較すると、 $p_{\max}$ の値は負圧発生の有無にほとんど依らない。

(3) $\bar{p}$ に及ぼす影響

図3(b)でBとCの曲線は、ほぼ $\varepsilon=0.74$ で交さしており ($Z=1$)、交点より左側ではBがCより高く、Zは大よそ $\varepsilon=0.5$ で最大 (ほぼ $Z=1.26$) となるが、右側ではBがCより低い。したがって、低荷重下 ($\varepsilon=0.5$ 前後) で負圧が発生すると負荷容量 $\bar{p}$ はやや増加するが、高荷重下では逆に低下する。

(4) μ' に及ぼす影響

図3(c)で曲線BとCは、ほぼ $\varepsilon=0.7$ で交さしており ($Z=1$)、交点の左側ではBがCよりやや低く、その相対差はほぼ $\varepsilon=0.5$ で最大となる (ほぼ $Z=0.83$)。交点の右側ではBがCより高い。したがって、低荷重下 ($\varepsilon=0.5$ 前後) で負圧が発生すると摩擦係数はやや減少するが、高荷重下では逆に増加する。

(5) ν に及ぼす影響

軸心軌跡の図3(e)において、曲線Bは曲線Cより顕著に右側に寄っている。すなわち負圧が発生すると、しない場合に比べて偏心角 ν が減少する [図3(d), (j)]。結果、軸心の浮上曲線は荷重と直角方向に、かつ軸受の外側に向かって大きく膨らむ [図3(e), (k)]。したがって、負圧が発生すると油膜の自励的励振力が増加することになる。

(6) Q' と Q^* に及ぼす影響

図3(f)と図3(1)において、Bで求めた流量 Q' は、Cで求めた流量 Q よりわずかながら小さく、その差は ε の増加とともに増加する。しかし、 $\varepsilon=0.8$ でもその差は約2.7%と小さい。したがって、負圧が発生しても、軸受端からの吸込みがなければ (Q')、油の流出量は負圧が発生しない場合 (Q) とほぼ同じである。一方Bで求めた流量 Q^* は、吸込みを考慮してあるので、吸込み分だけ Q' より小さい。

したがって、軸受端から流出した油が再び吸込まれ得るような軸受では、負圧が発生すると流出量は負圧が発生する前の Q から Q^* に減少する。この減少割合は、 ε の増加とともに増加するが、例えば $\varepsilon=0.8$ では、無次元流出量は約 $Q=1.58$ から $Q^*=1.08$ へと約32%減少する [図3(f)]。

4. 負圧の発生が軸受の静特性に及ぼす影響 (8因子が標準値以外の場合)

ここでは、4個の気泡因子と4個の軸受因子の値を1個ずつ表1の標準値から最小値と最大値に変えて、また ε の値を変えて、負圧が発生する場合(B)と、しない場合(C)の軸受特性値の違いを調べる。

(1) 全体的傾向(図4~7)

6個の静特性値 $p_{\max}$, $\bar{p}$, μ' , ν , Q' および Q^* のうち、 ν のみが気泡因子 R_a , α_a および κ に大きく依存し (σ への依存度は大きくない)、また ν の値はBとCの差も大きい (図4, 6)。一方、6個の静特性値は、一部の例外を除くと軸受因子 β' , p_s , η' および N に大きく依存する (図5, 7)。いずれにしても、負圧発生の有無による軸受特性の違いについて3章の(1)~(6)で述べた結果は、8因子の値を標準値から変えても、程度の差はあるが大よその傾向は変わらない。

(2) $p_{\max}$ に及ぼす影響

$p_{\max}$ は、気泡因子 R_a , α_a , σ および κ の値にはほとんど依存しない [図4(a)~(d), 図6(a)~(d)]。一方 $p_{\max}$ は、B, C のいずれの場合も軸受因子 β' , p_s , η' および N に大きく依存し、これらの値とともに大幅に増加する (図5(a)~(d), 図7(a)~(d))。また $p_{\max}$ は、 ε および気泡因子と軸受因子の値によらず、BとCでほとんど同じ値である [図4(a)~(d), ~, 図7(a)~(d)]。したがって、3章の(2)で述べたように、同一の ε において $p_{\max}$ の値が負圧の発生によりほとんど変化しないという傾向は、気泡因子と軸受因子の値に依らない。

(3) $\bar{p}$ に及ぼす影響

$\bar{p}$ は、 ε が大きいとき ($\varepsilon \geq 0.8$) を除くと、4個の気泡因子にはほとんど依存しない [図4(e)~(h), 図6(e)~(h)]。一方 $\bar{p}$ は、B, C いずれの場合も p_s 以外の軸受因子には大きく依存し、 ε が大きいほど、 β' , η' および N の増加とともに大幅に増加する (図5(e)~(h), 図7(e)~(h))。BとCによる $\bar{p}$ の値を比較すると、8個の因子の値に依らず、 ε が大きいとき (大よそ $\varepsilon < 0.7 \sim 0.8$) には、BがCよりやや大きい [図4(e)~(h), ~, 図7(e)~(h)]。しかし、それ以上の ε ではBがCより小さく、またその差

は ε が大きいほど大きい (図示省略)。

したがって、3章の(3)で述べたように、低荷重下で負圧が発生すると負荷容量 $\bar{p}$ がやや増加し、高荷重下では逆に低下すると言う結果は、気泡因子と軸受因子の値によって程度の差はあるが、その大よその傾向は変わらない。

(4) μ' に及ぼす影響

μ' は、 ε が小さい所では α_a に多少依存する。すなわち、 $\varepsilon=0.2$ のとき、 α_a を 0.001 から 0.1 に増加すると、 μ' は約 79 から約 75 に減少する [図 6(j)]。しかしこの例外を除くと、 μ' は、気泡因子 R_a, α_a, σ および κ にほとんど依存せず、また B と C による μ' の値も軸受因子の値が同じであれば、ほぼ同じである [図 4(i)~4(l), 図 6(i)~(l)]。

一方、 μ' に及ぼす軸受因子 β', p_s, η' および N の影響について調べると、まず β' の増加とともに μ' は B, C いずれの場合も同様に減少し、その度合いは ε が小さいほど大きい [図 5(i), 図 7(i)]。次に μ' は、 p_s と N を変えたときに、B ではほぼ一定であるのに反し、C では ε が小さいときに p_s を小さくすると急増し、また N の増加とともにやや増加する [図 7(j), (l)]。また μ' は、 ε が大きい場合 (大よそ 0.8 以上) を除くと、B, C いずれでも η' の増加とともに増加するが、特に ε が小さい場合、C で求めた μ' の η' 増加による増加の度合いが大きい [図 7(k)]。

したがって、 ε と p_s が小さく、 η' と N が大きい場合に負圧すると (B), μ' は比較的大幅に低下する [図 7(j), (k), (l)] : 例えば $\varepsilon=0.2, p_s=0.01$ MPa (他の因子の値は表 1 の標準値) のとき、 μ' は負圧発生によりほぼ 119 から 79 に低下する [図 7(j)]。このように ε が大きくないとき (大よそ $\varepsilon < 0.5 \sim 0.8$) の μ' は、B のほうが C より小さい [図 5(i)~(l), 図 7(i)~(l)]。しかし ε が大きい場合の μ' は、B のほうが C より大きい。両者の差は、気泡因子の大きさにより ε の増加とともに増加する場合と、ある値の ε で最大値に達した後減少する場合とがある (図示省略)。

いずれにしても、 μ' は 8 個の因子の値に依らず ε が小さい間は B が C より小さく、 ε が大きいと B が C より大きい。したがって、3章の(4)で述べた結果、すなわち低荷重下で負圧が発生すると μ' は減少し、高荷重下では増加すると言うことは、気泡因子と軸受因子の値によって程度は変わるものの、傾向は大よそ同じである。

(5) ν に及ぼす影響

4章の(1)で述べたように、 ν は 6 個の軸受特性値

のうち、気泡因子の影響を最も強く受ける。また ν は、B と C の差も大きい。すなわち、 ν は R_a と α_a が大きいほど大きく、また σ と κ が大きいほど小さい。またこれらの気泡因子の影響は、 ε が大きいほど大きい [図 4(m)~(p), 図 6(m)~(p)]。一方、 ν は軸受因子の影響も大きく受ける。すなわち、B, C いずれの場合も、 ν は β', η' および N の増加とともに増加し、 p_s の増加とともに減少する。また ν は、8 因子の値によらず ε とともに増加する [図 4(m)~(p), 図 5(m)~(p)]。

B と C による ν の値を同一の値の ε において比較すると、 ε が比較的小さく、したがって ν の値が小さい場合をおおよそ除けば、気泡因子と軸受因子の値によらず、 ν は B が C よりはるかに小さい [図 4(m)~(p), ~, 図 7(m)~(p)]。したがって、3章の(5)で述べたこと、すなわち軸心軌跡が負圧発生により軸受外側方向に大きく膨らむと言う傾向は、8 個の因子が標準値の場合だけでなく、因子の値が変わっても変わらない。

(6) Q' と Q^* に及ぼす影響

軸受端での吸込みを無視して B により求めた流出量 Q' は、 ε が大きい場合に α_a の影響を多少受けるが、これを除くと、気泡因子の影響はほとんど受けない。すなわち、 $\varepsilon=0.8$ の場合に α_a を 0.001 から 0.1 に増加すると、 Q' は約 7.4% 減少するが、他の場合には、 Q' の変化は少ない。また Q' の値は、同じ軸受因子に対し C で求めた Q とほぼ等しい [図 4(q)~(t), 図 6(q)~(t)]。

一方、 Q' と Q の値は、軸受因子の値に大きく影響を受けるが、互いにほぼ等しい。すなわち Q' と Q は、 β', η' および N が小さいほど、また p_s が大きいほど、また ε が大きいほど、大幅に増加する [図 5(q)~(t), 図 7(q)~(t)]。このように、 Q' と Q は ε および因子の値に依らず互いにほぼ等しい [図 4(q)~(t), ~, 図 7(q)~(t)]。一方吸込みを考慮した流出量 Q^* は、 Q' より常に小さく、両者の差は ε が大きいほど大きい [図 4(u)~(x), ~, 図 7(u)~(x)]。

以上より、3章の(6)で述べたことは、因子が標準値以外の場合でも当てはまる。すなわち、因子の値に依らず、油膜に負圧が発生しても、軸受端からの吸込みがなければ (Q')、流出量は負圧が発生しない場合 (Q) とほぼ同じである。一方、油の再吸込みが可能な場合 (Q^*) には、負圧が発生すると流出量はその分だけ減少する。

5. 結論とその考察

5・1 結論 中央全周溝付真円軸受について、油の表面粘性を考慮した気泡理論により、油膜に負圧(張力を含む)が発生した場合に、軸受の静特性が受ける影響について一影響因子を表1の範囲で変えることにより一検討した。

その結果：

(1) 圧力の最大値 $p_{\max}$ は、気泡因子にはほとんどよらず、軸受因子に大きく依存する。また $p_{\max}$ は、負圧が発生してもほとんど変化しない。

(2) 軸受平均圧力 $\bar{p}$ は、気泡因子には大きく依存しないが、 p_0 以外の軸受因子に大きく依存する。また $\bar{p}$ は、低荷重下で負圧が発生するとやや増加するが、高荷重下では逆に減少する。その減少の度合いは、 ε が大きいほど大きい。

(3) 摩擦係数比 μ' は、気泡因子にはあまり依存せず、軸受因子に大きく依存する。また μ' は、低荷重下で負圧が発生すると減少するが、高荷重下では増加する。

(4) 6個の軸受特性のうち負圧発生によって最も影響を受けるのは、軸心の偏心角 ν である。すなわち、負圧が発生すると同一の偏心率 ε において ν は大きく減少する。その結果、負圧が発生すると軸心の浮上曲線は、荷重と直角方向に、かつ軸受の外側に向かって大きく膨らむ。したがって、軸受油膜の励振力が増加する。

(5) 負圧が発生した場合に軸受端からの油の再吸込みがないとして計算した流出油量 Q' は、気泡因子にはあまり依存せず、軸受因子に大きく依存する。また Q' は軸受油膜に負圧が発生しないと仮定した条件で求めた流出量 Q とほぼ等しい。一方、負圧による軸受端からの再吸込みを考慮した流出量 Q^* は、再吸込み量だけ Q' より小さい。したがって、油膜に負圧が発生しても、軸受端部からの再吸込みがなければ、流出量は負圧が発生しない場合とほぼ同じである。また油の再吸込みが可能な場合には、流出量はその分だけ減少する。減少の度合いは、 ε が大きいほど大きい。

(6) 上記(2)と(3)の結果は、高荷重時に負圧が発生すると、また(4)と(5)の結果は、荷重の大小にかかわらず負圧が発生すると、軸受の作動状態が危険側に移ることを意味する。

5・2 考察 次に、5・1節結論の項目(1)～(5)について考察する。

(1) 油膜の正圧発生域では、気泡は収縮し、気泡と油の二相流体はほぼ油だけの単相流体と同等になり、したがって正圧分布や、その最大値 $p_{\max}$ 等は油の粘度(一定値)をはじめとする軸受因子により決まってしまう、気泡因子にはほとんど依らない。他方、負圧発生域では、気泡は膨張し、油膜内のボイド率は増加し、油膜は真の二相流体となるので、その粘度および密度が変化する。したがってこの負圧発生域では気泡に直接関係する気泡因子が圧力分布等を左右する。このように主に正圧は軸受因子に、負圧は気泡因子に左右される。

(2) 前半2行については上記(1)と同様な理由による。すなわち、通常油膜の正圧は負圧より絶対値が大きいから軸受全周にわたる平均圧力 $\bar{p}$ は主として正圧域の圧力分布によって、したがってこれを支配する軸受因子によって左右される。後半については、低負荷時に軸心が鉛直下方荷重 W (図1)に対し直角(水平)方向に偏心し、その結果負圧が回転軸を鉛直上方に引き上げる方向に(正圧が軸を下から押し上げる方向と同じ方向に)働くため、 $\bar{p}$ は負圧発生により増加する。一方高負荷時には、軸心がほぼ荷重方向に偏心し、負圧が回転軸を逆に引き下げる方向に働くため、 $\bar{p}$ は負荷発生により減少する。

(3) 油膜の平均圧力 $\bar{p}$ とせん断力は油膜の正圧発生域でほとんど決まり、したがって摩擦係数 μ も正圧を支配する軸受因子でほぼ定まってしまう、気泡因子にはあまり依存しない。

(4) 発生負圧があまり大きくない場合に軸心の浮上曲線は、ほぼ半円を描くことが知られている [図2(e)]。しかし負圧が大きくなると、回転軸は負圧により上方に引っ張り上げられ、力の釣り合い条件により軸心浮上曲線は軸受の外側に膨らむ。

(5) 軸受端からの油の流出量は、主に正圧発生油膜領域からの流出量として決まるので、正圧を支配する軸受因子でほぼ定まってしまう、気泡因子にはあまり影響を受けない。ただし、負圧が発生して油の吸込みが生じると、当然その分だけ正味の流出量は減少する。

文 献

- (1) 染谷常雄, 滑り軸受油膜の負圧に関する研究(第1報, 負圧発生モデルと諸因子が圧力分布に及ぼす影響), 機論, 66-650, C(2000), 3489-3496.
- (2) 染谷常雄, 滑り軸受油膜の負圧に関する研究(第2報, 負圧の発生条件と負圧の大きさ), 機論, 66-650, C(2000), 3497-3503.