

# 安定化要素制御による静圧軸受の特性改善

大住 剛, 森 美郎, 池内 健\*  
松本 幸生, 高瀬 博文, 中本 徹

## 1. 緒 言

静圧軸受の軸変位を比例、積分および微分要素等で電氣的演算を行なう調節器により制御することは、この軸受の静剛性および動剛性を高めるのに有効であった<sup>1)</sup>。一方、空気室と絞りからなる安定化要素を静圧軸受に使用することは、軸受ポケットへの流量の調節をおこなうことになり軸変位の特性を改善するのに有効であった<sup>2)</sup>。

そこで、安定化要素の機能をさらに高めるために、前述の調節器をこの安定化要素に利用することを考える。この場合、安定化要素の有効性を確実に調べるために、外乱に対しても比較的安定であり、一般的に、良く使用される固定絞り軸受にこの安定化要素を適用して検討する。

この場合、軸変位を安定化要素に帰還して特性を改善する場合と、変動荷重を安定化要素に帰還して特性を改善する二種類のタイプの安定化要素について述べることにする。

## 2. 基礎方程式

### 2.1 軸変位を安定化要素に帰還した場合(軸変位帰還型)

第1章で述べた主旨による軸受の概略を図1に示す。図は軸変位を帰還した場合である。油圧源から供給された鉱油は固定絞り(毛細管絞り)を通過して軸受ポケットに流入し、軸受すきまを通過して

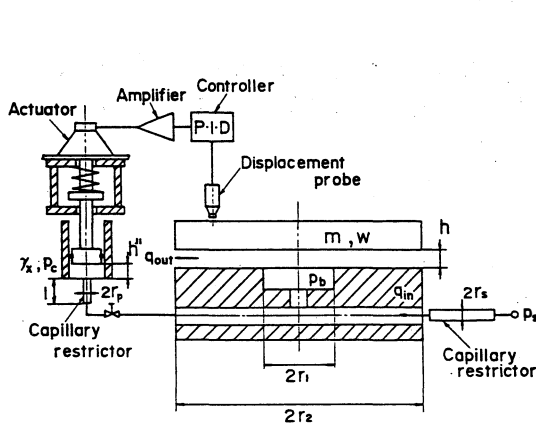


図1 軸受系の概略(軸変位帰還型)

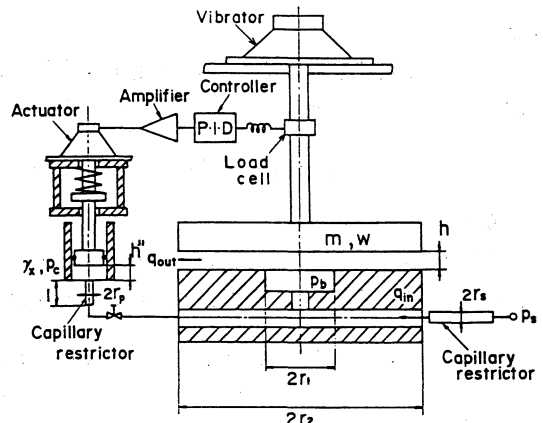


図2 軸受系の概略(変動荷重帰還型)

\* 京都大学工学部

外部へ流出する。この時、軸は定常に浮上する。軸に荷重変動が生ずると、軸変位を変位計で検出し、調節器で比例、積分、微分演算を行なってアクチュエーターを駆動する。その結果、ピストンが駆動して安定化要素内の油量をポケット内へ送り込むことになり、軸受すきまの変動を補償し軸受すきまを一定に保つことができる。以上のような軸受の軸変位特性を理論的に導くための基礎方程式を述べる。

荷重を  $w$ 、軸の質量を  $m$  とし、軸受すきまを  $h$ 、ポケット内圧力を  $p_b$  とする。また、軸受すきま部のスクイズ膜効果による力を集中定数化すると  $\lambda dh/dt$  となり<sup>3)</sup>、 $\lambda$  を粘性減衰係数とすると運動方程式は

$$md^2h/dt^2 + \lambda dh/dt - a_b p_b = -w \quad (1)$$

となる。ここで、 $a_b$  は有効軸受面積<sup>3)</sup>とする。

毛細管絞りを通過する流量  $q_{in}$  は

$$q_{in} = \pi r_s^4 (p_s - p_b) / (8\mu l) = c_f (p_s - p_b) \quad (2)$$

となる。ここで、 $c_f = \pi r_s^4 / (8\mu l)$  を流入流量特性数と呼ぶ。

軸受すきま部から軸受外へ流出する流量は

$$q_{out} = \pi h^3 p_b / \{ 6\mu l n (r_2/r_1) \} = c_b h^3 p_b \quad (3)$$

となる。ここで、 $c_b = \pi / \{ 6\mu l n (r_2/r_1) \}$  を、軸受すきま部の流出流量特性数と呼ぶ。

毛細管絞りとはピストンおよびシリンダからなる安定化要素に流入する流量  $q_c$  は

$$q_c = \pi r_p^4 (p_s - p_c) / (8\mu l_p) = c_c (p_s - p_c) \quad (4)$$

となり、 $c_c$  は安定化要素流量特性数である。

シリンダ内の容積変化は空気の圧縮による容積変化とピストンの移動による容積変化の和として与えられるので

$$q_c = \gamma_x dp_c/dt + a_b'' dh''/dt \quad (5)$$

となる。ここで、 $\gamma_x$  はシリンダ内空気の圧縮性率、 $a_b''$  はシリンダの断面積、 $h''$  はピストンの変位とする。

軸受流入流量と流出流の差は軸受すきま部に流入する流量  $a_b dh/dt$ 、絞りとポケット間の空気の圧縮による容積変化  $\gamma p_b/dt$  および安定化要素内の流入流量  $q_c$  の総和として表わされる。したがって、

$$q_{in} - q_{out} = a_b dh/dt + \gamma p_b/dt + q_c \quad (6)$$

となる。

安定化要素ピストン部の質量を  $m'$  とし、ピストン支持部のバネ定数を  $k_c$ 、ピストンとシリンダ壁間の粘性減衰係数を  $\lambda''$  とするとピストンの運動方程式は

$$m'd^2h''/dt^2 + \lambda'' dh''/dt + k_c h'' - a_b'' p_c = f - w'' \quad (7)$$

となる。

安定化要素ピストンの駆動力は軸変位の変動  $\Delta h$  に比例、積分又は微分に比例した駆動力の和と定常状態の力  $f_0$  の和として表わされるので

$$f = f_0 + \Delta f = (k_p \Delta h + k_i \int \Delta h dt + k_d \Delta h / dt) + f_0 \quad (8)$$

となる。

以上の八つの基礎方程式が成立する。そこで、基準状態からの微小変化を考え、線形化する。次に、定義した無次元量を使って各係数を無次元化し、ラプラス変換をおこない、変動荷重  $\Delta W$  を入力、軸変位  $\Delta H$  を出力とした伝達関数の形に整理すると

$$G(s) = \overline{\Delta H}(s) / \overline{\Delta W}(s) = -\frac{B_4 s^4 + B_3 s^3 + B_2 s^2 + B_1 s + B_0}{A_6 s^6 + A_5 s^5 + A_4 s^4 + A_3 s^3 + A_2 s^2 + A_1 s + A_0} \quad (9)$$

となる。ここで、分母、分子の各係数は表 1 に示す。

## 2.2 変動荷重を安定化要素に帰還した場合(変動荷重帰還型)

この型の軸受の概略は図 2 に示す。安定化要素への帰還は変動荷重を演算して駆動力を得ているため、式(8)は異なるが、他の基礎式は式(1)～式(7)と同じである。すなわち、式(8)の代りに

$$f = f_0 + \Delta f = -(k_p \Delta w + k_i \int \Delta w dt + k_d \Delta w / dt) + f_0 \quad (8')$$

となる。前節と等しい方法で伝達関数が求められ、式の次数は分母、分子とも式(9)と同じとなる。各係数は表 2 に示す。

|    |   |
|----|---|
| B1 | $M'' \Gamma \Gamma_x \rho^2$  |
| B2 | $\alpha \Gamma_x M'' \rho^2 + (\alpha \Gamma + \beta \Gamma_x) M'' \rho^2 + \Lambda'' \rho \Gamma \Gamma_x$   |
| B3 | $\alpha \Lambda'' \rho \Gamma_x + \rho \Gamma + M'' \alpha \beta \rho^2 + \Lambda'' \rho (\alpha \Gamma + \beta \Gamma_x) + K_c \Gamma \Gamma_x$  |
| B4 | $\alpha K_c \Gamma_x + \rho \beta + \alpha \rho + \alpha \beta \rho \Lambda'' + K_c (\alpha \Gamma + \beta \Gamma_x)$   |
| B5 | $K_c \alpha \beta$  |
| D1 | $MM'' \Gamma \Gamma_x \rho^2$   |
| D2 | $M (M'' \alpha \Gamma_x \rho^2 + M'' (\alpha \Gamma + \beta \Gamma_x) \rho^2 + \Lambda'' \rho \Gamma \Gamma_x) + M'' \Lambda \rho^2 \Gamma \Gamma_x$  |
| D3 | $M'' \Gamma_x \rho^2 + M (\Lambda'' \rho \alpha \Gamma_x + \Gamma \rho + M'' \alpha \beta \rho^2 + \Lambda'' \rho (\alpha \Gamma + \beta \Gamma_x) + K_c \Gamma \Gamma_x) + \Lambda (M'' \alpha \Gamma_x \rho^2 + M'' \rho^2 (\alpha \Gamma + \beta \Gamma_x) + \Lambda'' \rho \Gamma \Gamma_x)$  |
| D4 | $3M'' \Gamma_x \rho^2 + \Lambda'' \rho \Gamma_x + \alpha M'' \rho^2 + M (K_c \alpha \Gamma_x + \beta \rho + \alpha \rho + \Lambda'' \rho \alpha \beta + K_c (\alpha \Gamma + \beta \Gamma_x) + \Lambda (\Lambda'' \rho \alpha \Gamma_x + \Gamma \rho + M'' \alpha \beta \rho^2 + \Lambda'' \rho (\alpha \Gamma + \beta \Gamma_x) + K_c \Gamma \Gamma_x))$ |
| D5 | $3 (\Lambda'' \rho \Gamma_x + \alpha M'' \rho^2) + K_c \Gamma_x + \alpha \Lambda'' \rho + \rho + \rho \alpha K_c + K_c \alpha \beta M + \Lambda (K_c \alpha \Gamma_x + \beta \rho + \alpha \rho + \Lambda'' \rho \alpha \beta + K_c (\alpha \Gamma + \beta \Gamma_x))$  |
| D6 | $\alpha K_c + 3 (K_c \Gamma_x + \alpha \Lambda'' \rho + \rho) + \alpha \rho K_r + K_c \alpha \beta \Lambda$   |
| D7 | $3 \alpha K_c + \alpha \rho K_r$  |

表 1 伝達関数の係数(軸変位帰還型)

|    |   |
|----|---|
| B1 | $M'' \Gamma \Gamma_x \rho^2$  |
| B2 | $M'' \rho^2 (\Gamma \alpha + \Gamma_x \beta') + \Lambda'' \Gamma \Gamma_x \rho$   |
| B3 | $M'' \alpha \rho^2 \beta' - M'' \alpha^2 \rho^2 + \Lambda'' \rho (\Gamma \alpha + \Gamma_x \beta') + \Gamma \Gamma_x K_c + \Gamma \rho - \alpha \rho K_r$   |
| B4 | $\Lambda'' \alpha \rho \beta' - \Lambda'' \alpha^2 \rho + K_c (\Gamma \alpha + \Gamma_x \beta') + \rho \beta' - \alpha \rho K_r$  |
| B5 | $\alpha K_c (\beta' - \alpha) - \alpha \rho K_r$  |
| D1 | $MM'' \Gamma \Gamma_x \rho^2$   |
| D2 | $M (\Lambda'' \Gamma_x \Gamma \rho + M'' \rho^2 (\Gamma \alpha + \Gamma_x \beta')) + \Lambda M'' \Gamma \Gamma_x \rho^2$  |
| D3 | $M (\Gamma \Gamma_x K_c + M'' \alpha \rho^2 \beta' + \Lambda \rho (\Gamma \alpha + \Gamma_x \beta')) + \Gamma \rho - M'' \alpha^2 \rho^2 + \Lambda (\Lambda'' \Gamma \Gamma_x \rho + M'' \rho^2 (\Gamma \alpha + \Gamma_x \beta')) + M'' \Gamma_x \rho^2$   |
| D4 | $M (K_c (\Gamma \alpha + \Gamma_x \beta') + \Lambda'' \alpha \rho \beta' - \Lambda'' \alpha^2 \rho + \rho \beta') + \Lambda (\Gamma \Gamma_x K_c + M'' \alpha \rho^2 \beta' + \Lambda \rho (\Gamma \alpha + \Gamma_x \beta')) + \Gamma \rho - M'' \alpha^2 \rho^2 + \rho (\Lambda'' \Gamma_x + M'' \rho (3 \Gamma_x + \alpha))$ |
| D5 | $M \alpha K_c (\beta' - \alpha) + \Lambda (K_c (\Gamma \alpha + \Gamma_x \beta') + \Lambda'' \alpha \rho \beta' - \Lambda'' \alpha^2 \rho + \rho \beta') + \Gamma_x K_c + \rho (3M'' \alpha \rho + \Lambda'' (3 \Gamma_x + \alpha) + 1)$  |
| D6 | $\Lambda \alpha K_c (\beta' - \alpha) + K_c (3 \Gamma_x + \alpha) + 3 \rho (\Lambda'' \alpha + 1)$  |
| D7 | $3 \alpha K_c$  |

表 2 伝達関数の係数(変動荷重帰還型)

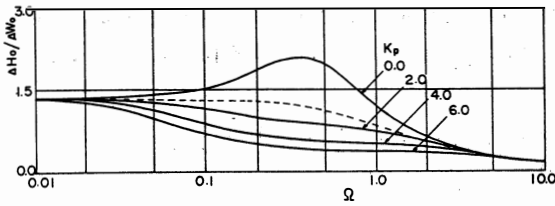


図 3(a)  $\Delta H_0/\Delta W_0$  におよぼす  $K_p$  の影響

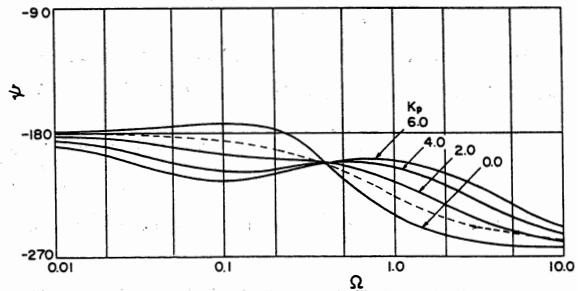


図 3(b)  $\Psi$  におよぼす  $K_p$  の影響

### 3. 数値計算とその考察

本章では軸変位の周波数応答およびインディシャル応答におよぼす各演算要素の影響について述べる。数値計算に使用した係数は次のようである。

$$M = 3.30 \times 10^{-6}, \quad M'' = 1.79 \times 10^{-6}, \quad \Lambda = 6.8 \times 10^{-1}, \quad \Lambda'' = 5.0 \times 10^{-5}, \\ \Gamma = 0.5, \quad \Gamma_x = 3.0, \quad \beta = 4.0, \quad \alpha = 4.0, \quad K_c = 1.0$$

#### 3.1 軸変位帰還型の場合

表 1 の係数を使って、式(9)より周波数応答およびインディシャル応答が求められる。

##### 3.1.1 周波数応答

###### (1) 比例要素の影響

比例要素の定数  $K_p$  の影響を図 3 は示す。図(a)の軸変位振幅  $\Delta H_0/\Delta W_0$  は周波数  $\Omega$  が約 0.05 以上では、 $K_p$  の増加により減少しているが、それ以下では  $K_p$  の影響を余り受けない。

また、安定化要素を付加しピストンをバネにより支持するこの軸受の構造では、安定化要素がない場合に比べて、軸変位が大きくなり、剛性が低下すると考えられるので、安定化要素のない場合の計算結果を点線で図中に示した。 $K_p = 0.0$  ではこの曲線より  $\Delta H_0/\Delta W_0$  が大きく特性が悪くなることがわかる。しかし、 $K_p$  が 2.0 以上になると  $\Omega \approx 0.1$  以上で  $\Delta H_0/\Delta W_0$  が小さくなり、 $K_p$  の付加は特性の改善に有効であることがわかる。

図 3 (b) は位相を示すが  $\Omega$  の増加により  $-180^\circ$  から  $-270^\circ$  の位相遅れとなる。

###### (2) 積分要素の影響

図 4 は積分演算要素の比例定数  $K_i$  の影響を示す。 $\Delta H_0/\Delta W_0$  特性を示す図(a)では、 $K_i$  の増加により周波数  $\Omega$  が約 0.01 ~ 0.5 では  $\Delta H_0/\Delta W_0$  が減少する。しかし、 $(\Delta H_0/\Delta W_0)_{max}$  は  $K_i = 0.0$  の場合とほぼ同程度でありそれを与える  $\Omega$  は増加している。従って、 $K_i$  の付加は周波数の低い所から広い範囲にわたって  $(\Delta H_0/\Delta W_0)$  を減少させ得ることができ、 $K_i$  の有効性がわかる。

図 4 (b) はこの場合の位相を示すもので  $\Omega$  の増加により  $-180^\circ$  から  $-270^\circ$  へ減少するが、 $K_i$  の増加により  $-180^\circ$  より大きくなり最大値を持つ特性を示す。

###### (3) 微分要素の影響

周波数の影響を受け易い  $\Omega = 0.5 \sim 5.0$  では、微分要素の比例定数  $K_d$  は  $\Delta H_0/\Delta W_0$  に多少影響を

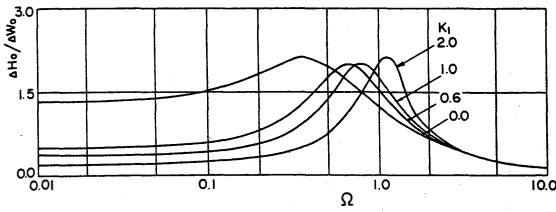


図4(a)  $\Delta H_0/\Delta W_0$ におよぼす $K_i$ の影響

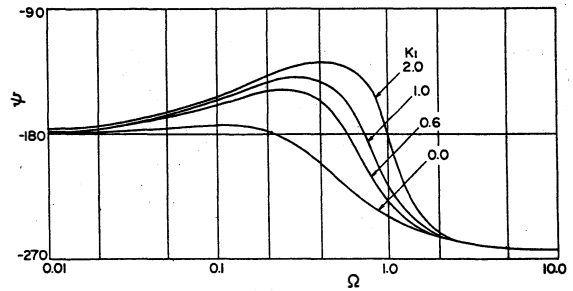


図4(b)  $\Psi$ におよぼす $K_i$ の影響

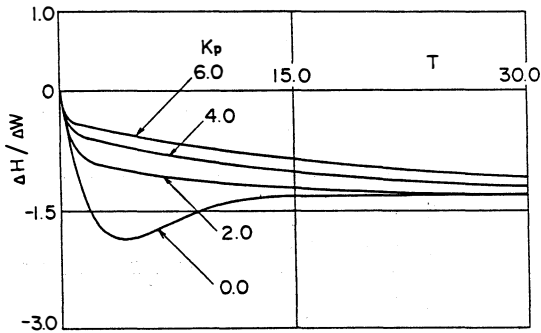


図5  $\Delta H/\Delta W$ におよぼす $K_p$ の影響

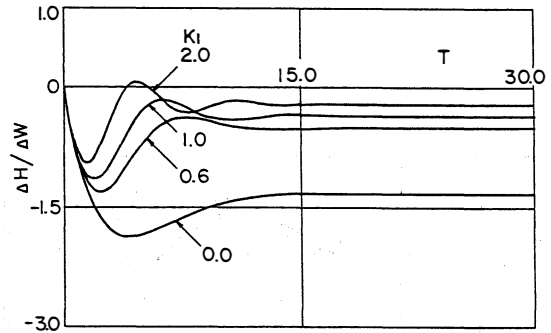


図6  $\Delta H/\Delta W$ におよぼす $K_i$ の影響

およぼすが、それ以外ではほとんど影響がないので図は省略する。

### 3.1.2 インディシャル応答

図5はインディシャルにおよぼす $K_p$ の影響を示す。 $K_p = 0.0$ ではオーバーシュートを起こす特性が $K_p$ の増加により、オーバーシュート量がなくなるが定常値に達する時間も長くなる。

図6は $K_i$ の影響を示す。 $K_i$ が増加すると振動周期が小となり定常値が減少する。ただし、これは安定化要素のピストン駆動に制限がない場合の計算結果である。しかし、試験軸受では、機構上、ピストンの駆動が停止するため、 $\Delta H/\Delta W$ の最終値は $K_i = 0.0$ と同じ値に戻るため、過渡的なオーバーシュートを押えるためのみに $K_i$ は有効である。

## 3.2 変動荷重帰還型の場合

表2の係数を式(9)に代入して、周波数応答およびインディシャル応答を求める。

### 3.2.1 周波数応答

#### (1) 比例要素の影響

図7は比例要素の定数 $K_p$ による影響である。 $K_p$ の増加につれて $\Omega \approx 0.1$ 以上は $\Delta H_0/\Delta W_0$ は減少するが $K_p = 6.0$ では再び増加する。これは第3.1節の軸変位帰還型では見られなかった計算結果である。また、 $\Omega \approx 0.1$ 以下ではほとんど $K_p$ の影響を受けない。これは、軸変位と無関係に荷重を帰還しているために、変位に対応した帰還ができていないためと考えられる。特に周波数の低い所では(0.01~0.05)、図3に比べて特性改善がなされないのはそのためと思われる。

#### (2) 積分要素の影響

図8は積分要素の比例定数 $K_i$ の影響を示す。 $K_i$ が0.6では、 $\Omega$ の低い所で $\Delta H_0/\Delta W_0$ は著しく減少している。さらに、 $K_i$ を増加すると $\Delta H_0/\Delta W_0$ は再び増加する。

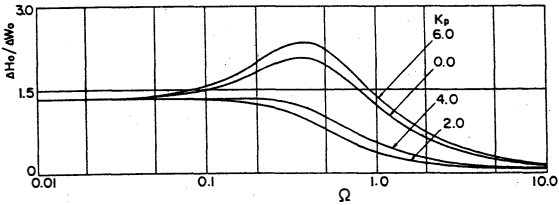


図7  $\Delta H_0/\Delta W_0$ におよぼす  $K_p$  の影響

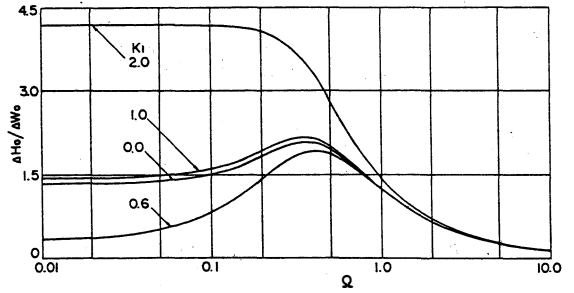


図8  $\Delta H_0/\Delta W_0$ におよぼす  $K_i$  の影響

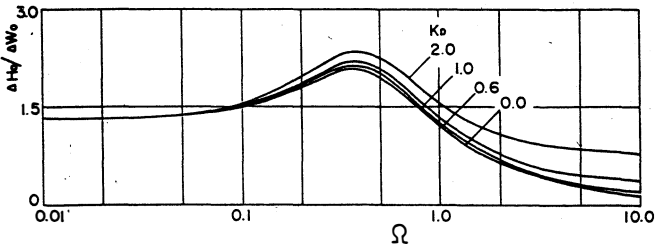


図9  $\Delta H_0/\Delta W_0$ におよぼす  $K_d$  の影響

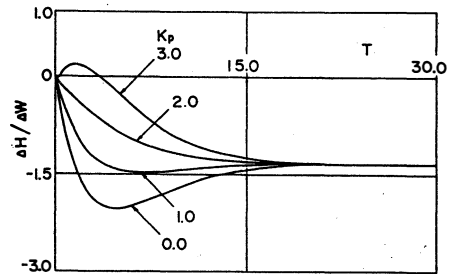


図10  $\Delta H/\Delta W$ におよぼす  $K_p$  の影響

### (3) 微分要素の影響

図9は微分要素の比例定数  $K_d$  の影響を示す。周波数の影響を受け易い  $\Omega \approx 0.5$  以上では  $K_d$  の増加により  $\Delta H_0/\Delta W_0$  が大きくなり、 $K_d$  は効果的ではない。

#### 3.2.2 インディシャル応答

図10は  $K_p$  の影響を示す。 $K_p = 1.0 \sim 2.0$  の間に整定時間を最小とする値が存在することがわかる。 $K_i$  については安定化要素のピストンのストロークに限界があり、使用不可能であることは図6で述べたと同様である。また、 $K_d$  は根本的な特性の改善ができなく有効とは云えない。

第3.1節と第3.2節を比較すると、変動荷重帰還型は時間遅れを見込んだ変位が起こらない初期の変動帰還であり、変位変動帰還型より良好となることを期待したが、周波数の低い所では両者の位相は同じであるので差異がない。また、周波数がそれより大きい範囲では変位の位相も帰還する変位帰還型が有効であることがわかった。

## 4. 実験と実験結果

第3章の計算結果を検討し、理論計算の妥当性を確かめるために図11に示す装置によって実験をおこなう。圧油源から一定圧  $p_s$  に制御された圧油が毛細管絞りを通過して試験軸受ポケットに供給される。軸受は円形であり、軸受がその上に乗っている。ポケットへ供給された鉱油は軸受と軸のすきまから軸受外に流出する。軸は静圧気体軸受で支持され、実験の周波数範囲では十分軸が荷重方向と平行に動くことを確かめた。ポケットに接続した安定化要素は毛細管絞りとピストン、シリンダより

構成され空気と油を蓄え得る。

軸変位又は変動荷重を検出し調節計に入力し、電力増幅してアクチュエータを駆動してそれに接続された安定化要素ピストンを駆動する。その結果、安定化要素内の油が調節され軸変動を補償する流量がポケットへ供給される。

軸に取り付けた電磁石に発振器から増幅器を通して、軸を正弦波状又は矩形波状に加振することにより変動荷重を与え、周波数応答およびインディシャル応答を調べる。

図12は軸変位帰還型の場合の比例要素  $k_p$  の影響を示す。振幅  $\Delta h_0$  を示す図(a)では、 $k_p$  の増加につれ振幅が減少している。しかし、周波数の低い 0.01Hz 以下では影響を受けない。

図(b)は位相を表わす。周波数の増加により  $-180^\circ$  から  $-270^\circ$  に位相が変化する。 $k_p$  の増加によりその変化が緩やかとなる。

図(a)、図(b)とも計算と実験値はよく一致しており、 $k_p$  の付加により特性が改善できることがわかる。

図13は軸変位帰還型の場合の積分要素  $k_i$  の影響を示す。 $k_i$  の増加により、周波数の低い所では振幅  $\Delta h_0$  は減少するが、ほぼ 0.08~0.1Hz 近傍に極値を持ち、その周波数は増加する。 $\Delta h_0$  の極値は計算結果ではほとんど同じとなる。

位相を示す図(b)では、周波数の増加により  $-180^\circ \sim -270^\circ$  へ変化するが実験値は計算結果とほぼ一致している。

図14は変動荷重帰還型の場合の比例要素  $k_p$  の影響を示す。 $k_p$  の増加により振幅は減少している計算結果の特徴を実験は良く表わしている。

図15は積分要素  $k_i$  の増加により周波数の低い所での振幅は減少する。

以上の図12~図15の実験結果は計算結果と良く一致することより、理論計算の誘導は妥当であったと考えられる。従って、計算結果から最適値を求め、その条件で設計し、使用することで特性の改善が可能となる。

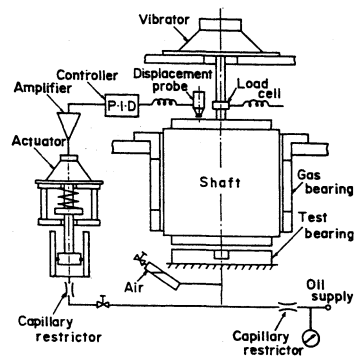


図11 実験装置の概略

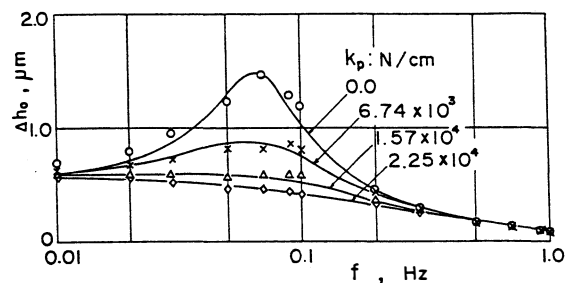


図12(a)  $\Delta h_0$  におよぼす  $k_p$  の影響

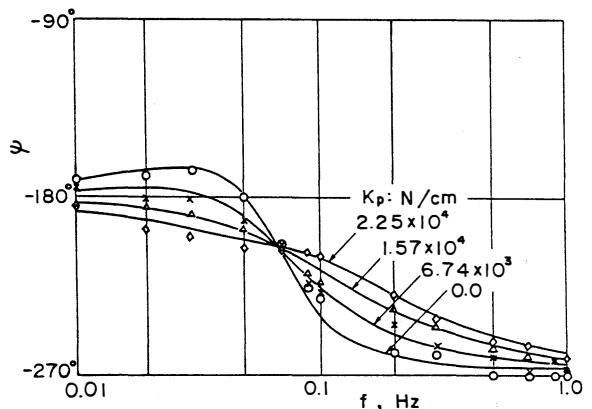


図12(b)  $\phi$  におよぼす  $k_p$  の影響

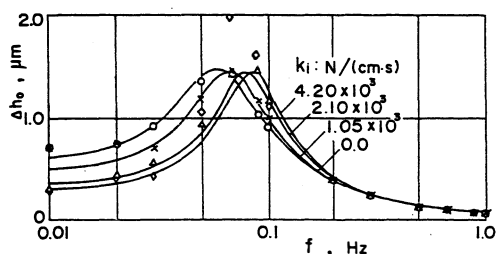


図13(a)  $\Delta h_0$ におよぼす  $k_i$  の影響

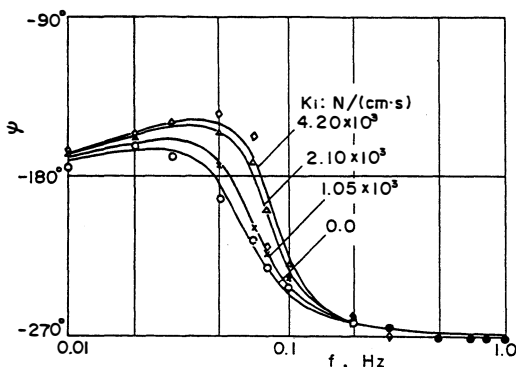


図13(b)  $\psi$ におよぼす  $k_i$  の影響

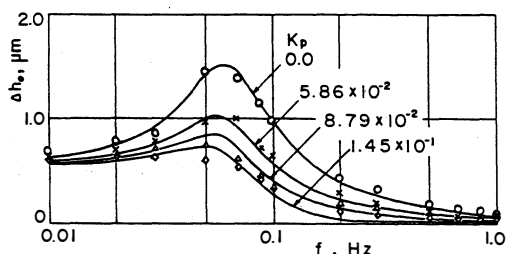


図14  $\Delta h_0$ におよぼす  $k_p$  の影響

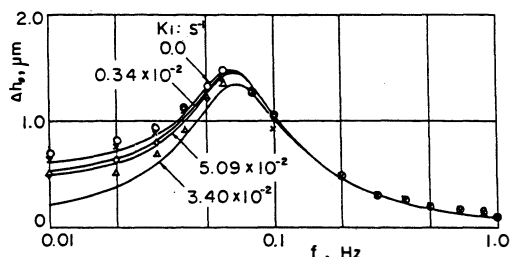


図15  $\Delta h_0$ におよぼす  $k_i$  の影響

## 5. 結 論

安定化要素を積極的に制御することにより安定化要素の性能を高めて、軸受の特性を改善することを試みた。その結果、次の結論を得た。

軸変位帰還型安定化要素においては

- (1) 比例演算要素を使用することにより、周波数の低い所では特性の改善はできないが中間周波数、特に最大値を持つ周波数近傍において著るしく特性の改善ができる。
- (2) 積分演算要素を使用することにより、低周波数で著るしく振幅を減少させることができる。
- (3) 微分演算要素の使用は特性の改善に効果的でない。

変動荷重帰還型安定化要素においては

- (1) 比例演算要素を使用することにより、軸変位帰還型の場合と同じ特徴を持った特性改善ができるが、軸変位帰還型より劣る。
- (2) 積分演算要素を使用することにより、軸変位帰還型の場合と同様、周波数の低い所で振幅を著るしく減少させ得る。ただし、最適値が存在する。

以上二つのタイプの安定化要素による特性改善を試みたが、軸変位帰還型の方が変位の変動を検出しているため、変位特性は変動荷重帰還型より優れていることがわかった。また、固定絞軸受は、本来、安定な特性を有しているが、油中に気泡を有することが多く、この場合は変位特性に極値が存在し著るしく特性が悪くなる。この場合は、提案した方法によって最大値をなくすることができるため有効であることがわかった。本実験に協力下さった富大大学院生・本田繁君に感謝します。

本報は昭和62年11月3日、機械学会北陸信越支部地方講演会(富山)での発表論文に加筆したものである。



記 号

| 有 次 元 量   | 無 次 元 量   |
|---|---|
| $a_b$ : 有効軸受面積 $\pi(r_2^2 - r_1^2) / \{ 2 \ln(r_2/r) \}^3$  | $K_p$ : $k_p h_0 / (a_b^n p_s)$ (表 1)             |
| $a_b''$ : 安定化要素ピストン有効受圧面積   | $k_p a_b / a_b''$ (表 2)                           |
| $c_b$ : 軸受すきま部の流量特性数  | $K_i$ : $\{ k_i h_0 / (a_b^n p_s) \} t_b$ (表 1)   |
| $c_f$ : 安定化要素絞りの流量特性数   | $k_p a_b t_b / a_b''$ (表 2)                       |
| $c_c$ : 固定絞りの流量特性数  | $K_d$ : $\{ k_d h_0 / (a_b^n p_s) \} / t_b$ (表 1) |
| $h$ : 軸受すきま   | $k_d a_b / t_b$ (表 2)                             |
| $h''$ : 安定化要素油容積高さ  | $M$ : $m q_0^2 / (a_b^3 p_s h_0)$                 |
| $k_c$ : ピストン支持部のバネ定数  | $M''$ : $m'' q_0^2 / (a_b^3 p_s h_0)$             |
| $k_p$ : 比例演算要素の定数   | $P_b$ : $p_b / p_s$                               |
| $k_i$ : 積分演算要素の比例定数   | $P_c$ : $p_c / p_s$                               |
| $k_d$ : 微分演算要素の比例定数   | $S$ : $d/dT = t_b s$                              |
| $m$ : 軸の質量  | $T$ : $t/t_b$                                     |
| $m''$ : 安定化要素可動部の質量   | $\alpha$ : $c_f p_s / q_0$                        |
| $p_b$ : 軸受ポケット内圧力   | $\beta$ : $1 / \{ P_{b0} (1 - P_{b0}) \}$         |
| $p_c$ : 安定化要素空気室内圧力   | $\beta'$ : $\alpha + \beta$                       |
| $p_s$ : 供給圧力  | $\Gamma$ : $\gamma p_s / (a_b h_0)$               |
| $q_c$ : 安定化要素への流入流量   | $\overline{\Delta H}$ : $\Delta H$ のラプラス変換        |
| $q_{in}$ : 軸受流入流量   | $\overline{\Delta W}$ : $\Delta W$ のラプラス変換        |
| $q_{out}$ : 軸受流出流量  | $\Lambda$ : $\lambda q_0 / (a_b^2 p_s)$           |
| $r_1$ : 軸受ポケット半径  | $\Lambda''$ : $\lambda'' q_0 / (a_b^2 p_s)$       |
| $r_2$ : 軸受外周半径  | $\rho$ : $t_b'' / t_b$                            |
| $r_3$ : ピストン半径  | $\Omega$ : $\omega t_b$                           |
| $r_p$ : 安定化要素絞りの内径/2  |   |
| $r_s$ : 毛細管絞り内径/2   |   |
| $t$ : 時間  |   |
| $t_b$ : 軸受の時定数, $a_b h_0 / q_0$   |   |
| $t_b''$ : 安定化要素時定数, $a_b'' h_0'' / q_0''$   |   |
| $w$ : 軸荷重   |   |
| $w''$ : 安定化要素可動部重量  |   |
| $\gamma$ : 軸受ポケット空気室の圧縮性率   |   |
| $\gamma_x$ : 安定化要素空気室の空気の圧縮性率   |   |
| $\lambda$ : 軸受すきま部の油膜の粘性減衰係数<br>$1.5\pi\mu(r_2^2 - r_1^2) \{ r_2^2 + r_1^2 - (r_2^2 - r_1^2) / \ln(r_2/r_1) \} h_0^3$ |   |
| $\lambda''$ : ピストンとシリンダ壁間の油の粘性減衰係数  |   |
| $\mu$ : 油の粘度  |   |

$\Delta$ は微小変動量を，添え字 0 は基準状態値を表わす。

参 考 文 献

- (1) 大住 剛, 森 美郎, 池内 健, 高瀬博文: 潤滑, 32, 4 (1987)
- (2) 大住 剛, 森 美郎, 池内 健, 梶谷克人: 潤滑, 29, 2 (1984)
- (3) 森 美郎, 池内 健, 高田秀希: 潤滑, 20, 9 (1975)

## Improvement of Characteristics of Externally Pressurized Bearing by Controlling Stabilizer

Tsuyoshi OHSUMI, Haruo MORI, Ken IKEUCHI  
Yukio MATSUMOTO, Hirofumi TAKASE, Toru NAKAMOTO

To improve the characteristics of an externally pressurized bearing, the usage of a stabilizer is very effective.

To increase its function further and to improve the characteristics of the bearing, it is tried to use the controller which has a proportional, an integral and a differential operator. In this case, the displacement of shaft and the variation of load are used as an input signal to control the stabilizer.

As the result, this stabilizer is useful to improve the characteristics of the externally pressurized bearing.

### 安定化要素制御による静圧軸受の特性改善

大住 剛, 森 美郎, 池内 健\*  
松本 幸生, 高瀬 博文, 中本 徹

静圧軸受の特性改善に安定化要素は有効である。この安定化要素の機能をさらに高めるために、比例、積分、微分演算要素を持つ調節器を使ってこの安定化要素を制御して、軸受特性を改善することを試みた。この場合、制御入力として軸変位と荷重変動を使用した。

その結果、この安定化要素は軸受の動特性改善に有効であることがわかった。

(1988年10月31日受理)