

# ショックアブソーバ性能の一解析法

宮部道夫・阿知波重春

## 1 はじめに

サスペンション系のショックアブソーバは、車体への荷重入力の高減、ばね上振動の高減、乗心地の向上に大きな働きを有するが、内在する摩擦と減衰力特性の非線形性のため、その特性把握は容易でない。ここでは減衰力特性の非線形性を等価線形化して評価する一方法を考える。

## 2 ショックアブソーバの近似特性

減衰力特性を一般に図2-1のように置く。即ちピストン速度の低い領域ではオリフィスによるピストン速度の2乗に比例する減衰力を発生し、高い領域ではリーフ弁が開いて殆どピストン速度に比例する減衰力を発生するとする。伸び側、圧縮側は各々異なった特性を持つ。

## 3 等価線形化

### 3.1 入出力の関係

記号を次のように定める。

ショックアブソーバの減衰力特性（図2-1）において

- $a$  : 圧縮側で2乗曲線から直線に変る点の速度, m/s
- $b$  : 同じく伸び側での点の速度, m/s
- $c$  : 圧縮側2乗曲線の係数,  $Ns^2/m^2$
- $d$  : 同じく伸び側での係数,  $Ns^2/m^2$
- $g$  : 圧縮側で減衰力の直線勾配,  $Ns/m$
- $h$  : 同じく伸び側での勾配,  $Ns/m$
- $A_0$  : ショックアブソーバ減衰力特性の Fourier 級数展開における初項, N
- $A_1$  : 同じく余弦基本波の係数, N
- $B_1$  : 同じく正弦基本波の係数, N
- $A_v$  : システムへの入力変位振幅, m

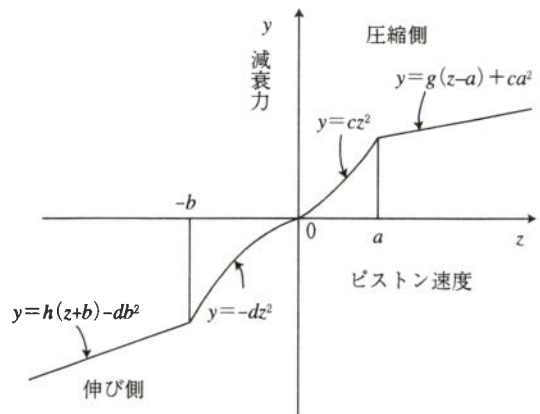


図2-1

- $A_z$  : ショックアブソーバのピストン速度入力振幅, m/s
- $c_e$  : 等価粘性減衰係数, Ns/m
- $k$  : サスペンションばねのばね定数, N/m
- $R$  : 振動系の定義振幅 (4・15), N/m
- $R_z$  : システムから見たショックアブソーバのピストン速度入力振幅, m/s
- $u$  : ショックアブソーバのピストン変位, m
- $v$  : システムへの入力変位, m
- $W$  : 減衰器が1サイクルに消費するエネルギー, J
- $y$  : ショックアブソーバが発生する減衰力, N
- $z$  : ショックアブソーバのピストン速度入力, m/s
- $\kappa$  : ショックアブソーバの等価ゲイン, Ns/m
- $\kappa'$  : システムから見たショックアブソーバの等価ゲイン, Ns/m
- $\zeta$  : 減衰係数比
- $\phi_1$  : 入力ピストン速度  $z$  が  $a$  点を越える時の位相角, rad
- $\phi_2$  : 同じく  $-b$  点を越える時の位相角, rad
- $\phi_R$  : 振動系の定義位相角 (4・16), rad
- $\phi_z$  : システムから見たショックアブソーバのピストン速度入力位相角 (4・20), rad
- $\omega$  : 加振角振動数, rad/s
- $\omega_0$  : システムの固有角振動数, rad/s

入力ピストン速度  $z(t)$  と出力減衰力  $y(t)$  の関係は次のように表せる。

入力を

$$z(t) = A_z \sin \omega t \tag{3・1}$$

として,  $\omega t$  の各域での出力  $y(t)$  は

$$\left. \begin{aligned} 0 \sim \phi_1 : & \quad y(t) = cA_z^2 \sin^2 \omega t \\ \phi_1 \sim \pi - \phi_1 : & \quad y(t) = g(A_z \sin \omega t - a) + ca^2 \\ \pi - \phi_1 \sim \pi : & \quad y(t) = cA_z^2 \sin^2 \omega t \\ \pi \sim \pi + \phi_2 : & \quad y(t) = -dA_z^2 \sin^2 \omega t \\ \pi + \phi_2 \sim 2\pi - \phi_2 : & \quad y(t) = h(A_z \sin \omega t + b) - db^2 \\ 2\pi - \phi_2 \sim 2\pi : & \quad y(t) = -dA_z^2 \sin^2 \omega t \end{aligned} \right\} \tag{3・2}$$

ここに

$$\left. \begin{aligned} \phi_1 &= \sin^{-1} \frac{a}{A_z} \\ \phi_2 &= \sin^{-1} \frac{b}{A_z} \end{aligned} \right\} \tag{3・3}$$

### 3・2 等価線形化

出力  $y(t)$  を Fourier 係数に展開し、その基本波で近似する記述関数を次に導く。

$$y(t) \doteq \frac{1}{2} A_0 + A_1 \cos \omega t + B_1 \sin \omega t \quad (3 \cdot 4)$$

$$A_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} y(t) d(\omega t) \quad (3 \cdot 5)$$

$$A_1 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} y(t) \cos \omega t d(\omega t) \quad (3 \cdot 6)$$

$$B_1 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} y(t) \sin \omega t d(\omega t) \quad (3 \cdot 7)$$

3・1節に従って各係数を求める。

$A_0$  :

$$A_0 = \frac{1}{\pi} \left\{ cA_z^2 \phi_1 - dA_z^2 \phi_2 - \frac{1}{2} cA_z^2 \sin 2\phi_1 + \frac{1}{2} dA_z^2 \sin 2\phi_2 + 2gA_z \cos \phi_1 - 2hA_z \cos \phi_2 \right. \\ \left. + (-ga + ca^2)(\pi - 2\phi_1) - (-hb + db^2)(\pi - 2\phi_2) \right\} \quad (3 \cdot 8)$$

これは非線形特性が対称のとき、 $a = b$ ,  $c = d$ ,  $g = h$ ,  $\phi_1 = \phi_2$  となり

$A_0 = 0$

となる。

$A_1$  :

$$A_1 = 0 \quad (3 \cdot 9)$$

$B_1$  :

$$B_1 = \frac{1}{\pi} \left\{ cA_z^2 \left( \frac{4}{3} - \frac{3}{2} \cos \phi_1 + \frac{1}{6} \cos 3\phi_1 \right) + dA_z^2 \left( \frac{4}{3} - \frac{3}{2} \cos \phi_2 + \frac{1}{6} \cos 3\phi_2 \right) \right. \\ \left. + gA_z \left( \frac{\pi}{2} - \phi_1 + \frac{1}{2} \sin 2\phi_1 \right) + hA_z \left( \frac{\pi}{2} - \phi_2 + \frac{1}{2} \sin 2\phi_2 \right) \right. \\ \left. + 2(-ga + ca^2) \cos \phi_1 + 2(-hb + db^2) \cos \phi_2 \right\} \quad (3 \cdot 10)$$

これは非線形特性が一本の直線であるときに、 $a = b = 0$ ,  $\phi_1 = \phi_2 = 0$ ,  $g = h$  となって

$$B_1 = gA_z = hA_z \quad (3 \cdot 11)$$

となる。次に圧縮側、伸び側が各々異なる勾配  $g$ ,  $h$  の半直線ならば、 $a = b = \phi_1 = \phi_2 = 0$  で、

$$B_1 = \frac{1}{2} (g - h) A_z \quad (3 \cdot 12)$$

となって出力側  $\sin \omega t$  の成分となる。

これは入力振幅  $A_z$  が閾値  $a$ ,  $-b$  を共に超えたときの計算である。そうでないときは、

$$a) a \leq A_z \leq b: \phi_1 = \frac{\pi}{2} \quad (3 \cdot 13)$$

$$b) a \geq A_z \geq b: \phi_1 = \phi_2 = \frac{\pi}{2} \quad (3 \cdot 14)$$

とすればよい。従って以上を纏めてこのシステムでは入力 (3・1) に対して出力は

$$y(t) = \frac{1}{2}A_0(A_z) + B_1(A_z)\sin \omega t \quad (3 \cdot 15)$$

となる。 $A_0$ は入力振幅  $A_z$  に依存する数で、定振幅入力時には定数となる直流成分である。 $B_1$ も振幅に依存し、入力の  $\sin \omega t$  分に対応する数であるから、定振幅入力時に  $B_1/A_z$  は振動部分の等価ゲインと見做される。

#### 4 振動システム

##### 4.1 系の構成

ショックアブソーバの非線形特性を調べるため、ばねと並列に配置してその分担質量  $m$  を支える構成図 4-1 を考える。

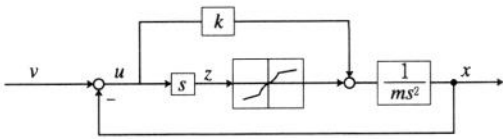


図 4-1

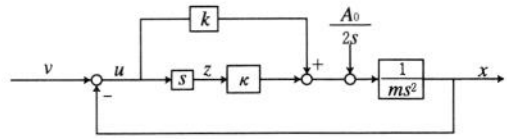


図 4-2

入力変位  $v$ 、質量  $m$ 、出力変位  $x$ 、ばね定数  $k$  としてショックアブソーバの非線形特性を配置する。これを 3 章に従って等価線形化すると図 4-2 のようになる。ここで

$$\kappa(A_z) = \frac{B_1(A_z)}{A_z} \quad (4 \cdot 1)$$

と置く。 $A_0$  も  $\kappa$  も振幅の 2 乗の項を含んで構成しているため、振幅依存性は  $a/A_z$ 、 $b/A_z$  のような単一の因子では律せられない。

##### 4.2 応答

出力の応答を見るには  $A_0$ 、 $\kappa$  を確定する必要がある。それにはこの非線形要素への入力状況を知らねばならない。図 4-2 より、

$$x(s) = \frac{\kappa s + k}{ms^2 + \kappa s + k} v(s) + \frac{1}{ms^2 + \kappa s + k} \frac{A_0}{2s} \quad (4 \cdot 2)$$

$$u(s) = v(s) - \frac{\kappa s + k}{ms^2} u(s) - \frac{1}{ms^2 + \kappa s + k} \frac{A_0}{2s} \quad (4 \cdot 3)$$

即ち

$$u(s) = \frac{ms^2}{ms^2 + \kappa s + k} v(s) - \frac{ms}{(ms^2 + \kappa s + k)^2} \frac{A_0}{2} \quad (4 \cdot 4)$$

$$z(s) = su(s) = \frac{ms^3}{ms^2 + \kappa s + k} v(s) - \frac{ms^2}{(ms^2 + \kappa s + k)^2} \frac{A_0}{2} \quad (4 \cdot 5)$$

ここで入力  $v$  を下式のように置く。

$$v(t) = A_v \sin \omega t \quad (4 \cdot 6)$$

非線形要素への入力  $z$  は

$$z(s) = \frac{ms^3}{ms^2 + \kappa s + k} \frac{A_v \omega}{s^2 + \omega^2} - \frac{ms^2}{(ms^2 + \kappa s + k)^2} \frac{A_0}{2} \quad (4 \cdot 7)$$

上式右辺第2項は  $\kappa \neq 0$  のとき Laplace 変換の最終値定理より  $t \rightarrow 0$  で消滅するが、時間応答を見て置く。

$$f_{z0}(s) \triangleq \frac{ms^2}{(ms^2 + \kappa s + k)^2} \frac{A_0}{2} \quad (4 \cdot 8)$$

$$\frac{k}{m} \triangleq \omega_0^2 \quad (4 \cdot 9)$$

$$\zeta \triangleq \frac{\kappa}{2m \omega_0} = \frac{\kappa}{2\sqrt{mk}} \quad (4 \cdot 10)$$

と置けば、

$$f_{z0}(t) \triangleq \mathcal{L}^{-1} f_{z0}(s) = \frac{A_0}{2m} e^{-\zeta \omega_0 t} \left[ \left\{ \frac{\zeta^2 \omega_0^2}{2(\sqrt{1-\zeta^2} \omega_0)^3} + \frac{t}{2\sqrt{1-\zeta^2} \omega_0} \right\} \sin(\zeta \omega_0 t) + \frac{\omega_0^2 (1-2\zeta^2)}{2(1-\zeta^2)^2 \omega_0} t \cos(\zeta \omega_0 t) \right] \quad (4 \cdot 11)$$

となって、定常状態では非線形入力  $z$  への直流分  $A_0$  への寄与はない。

次に  $z$  の周波数応答を見る。

$$v(j\omega) = A_v e^{j\omega t} \quad (4 \cdot 12)$$

$$z(j\omega) = A_z e^{j(\omega t + \phi_z)} \quad (4 \cdot 13)$$

とすれば、過渡状態を経た後で (4・5) から

$$z(j\omega) = \frac{-jm\omega^3}{-m\omega^2 + k + j\kappa\omega} A_v e^{j\omega t} \quad (4 \cdot 14)$$

ここで

$$R \triangleq \sqrt{(-m\omega^2 + k)^2 + (\kappa\omega)^2} \quad (4 \cdot 15)$$

$$\phi_R \triangleq \tan^{-1} \frac{\kappa\omega}{-m\omega^2 + k} \quad (4 \cdot 16)$$

と置いて、(4・12)、(4・13) より

$$\frac{z(j\omega)}{v(j\omega)} = \frac{m\omega^3}{R} e^{-j(\frac{\pi}{2} + \phi_R)} \quad (4 \cdot 17)$$

即ち

$$z(j\omega) = R_z e^{j(\omega t + \phi_z)} \quad (4 \cdot 18)$$

ここに

$$R_z(A_z, A_v, \omega) = \frac{m\omega^3}{R} A_v \quad (4 \cdot 19)$$

$$\phi_z(A_z, \omega) = -\left(\frac{\pi}{2} + \phi_R\right) \tag{4 \cdot 20}$$

である。

一方或る周波数において (4 \cdot 19) を成立せしめるべき等価ゲイン  $\kappa'$  は

$$\kappa' = \frac{1}{\omega} \sqrt{\left(\frac{m\omega^3 A_v}{R_z}\right)^2 - (-m\omega^2 + k)^2} \tag{4 \cdot 21}$$

である。

### 4. 3 非線形要素の確定

入力として (4 \cdot 5) が印加されたとき、非線形要素への入力振幅  $A_z$  を確定しなければならない。(4 \cdot 21) においてシステムから見た非線形要素入力振幅  $R_z$  は、当初に仮定した  $A_z$  に等しくなるべき性質の量だから、

$$\kappa'(A_z, A_v, \omega) = \sqrt{\left(\frac{m\omega^3 A_v}{A_z}\right)^2 - (-m\omega^2 + k)^2} \tag{4 \cdot 22}$$

従って、或る一定の入力状態  $(A_v, \omega)$  の下で  $A_z$  を確定するには、 $\kappa(A_z)$  (4 \cdot 1) の曲線と、上式の  $\kappa'(A_z)$  の曲線の交点の  $A_z$  を求めるか、或は  $A_z$  を初めに適当な値から出発して繰返し計算を行い、

$$A_z \doteq R_z(A_z, A_v, \omega) \tag{4 \cdot 23}$$

又は

$$\kappa(A_z) \doteq \kappa'(A_z, A_v, \omega) \tag{4 \cdot 24}$$

が成立する  $A_z$  を求める。

$A_z$  が求まれば、この  $(A_v, \omega)$  の下で  $A_0$  (3 \cdot 8),  $B_1$  (3 \cdot 10) が求まる。こうして非線形要素の特性値  $\kappa$ ,  $A_0$  が確定する。

### 4. 4 出力の応答

変位出力  $x$  は (4 \cdot 2) で与えられる。

直流成分入力  $\frac{A_0}{2}$  による出力への寄与  $f_{x0}$  は定常状態において

$$f_{x0}(t = \infty) = \frac{A_0}{2k} \tag{4 \cdot 25}$$

となる。ばね力と平衡する変位である。

(4 \cdot 2) の右辺第 2 項の直流分による時間応答は

$$f_{x0}(s) \triangleq \frac{1}{ms^2 + \kappa s + k} \frac{A_0}{2s} \tag{4 \cdot 26}$$

$$f_{x0}(t) = \mathcal{L}^{-1} f_{x0}(s) = \frac{A_0}{2m} \left[ -\frac{1}{\omega_0^2} e^{-\zeta \omega_0 t} \cos(\sqrt{1-\zeta^2} \omega_0 t) + \frac{1}{\sqrt{1-\zeta^2} \omega_0^2} e^{-\zeta \omega_0 t} \sin(\sqrt{1-\zeta^2} \omega_0 t) + \frac{1}{\omega_0^2} \right] \quad (4 \cdot 27)$$

$t \rightarrow \infty$ では(4・25)になる。

一般のショックアブソーバでは、圧縮側減衰力は伸び側よりも低く設定されるから  $A_0$  は負である。従ってこの値は正弦波路を定速進行する車体の沈下量に相当することになる。

変位出力  $x$  の周波数応答  $x(j\omega)$  を下のように置く。

$$x(j\omega) = e^{j(\omega t + \phi_0)} + \frac{A_0}{2k} \quad (4 \cdot 28)$$

(4・2) より

$$x(j\omega) = \frac{\sqrt{k^2 + (\kappa\omega)^2} \cdot A_v}{\sqrt{(-m\omega^2 + k)^2 + (\kappa\omega)^2}} e^{j(\omega t + \phi_0 - \phi_R)} + \frac{A_0}{2k} \quad (4 \cdot 29)$$

ここで  $\phi_0, \phi_R$  は次式で表される。

$$\phi_0 \triangleq \tan^{-1} \frac{\kappa\omega}{k} \quad (4 \cdot 30)$$

$$\phi_R \triangleq \tan^{-1} \frac{\kappa\omega}{-m\omega^2 + k} \quad (4 \cdot 31)$$

## 5 実験例

### 5.1 ショックアブソーバデータの例

実験の都合で選んだショックアブソーバを基に、その近似モデル図2-1による数値をばね上質量  $m$  と共に表5-1に示す。圧縮側、伸び側の各減衰力はピストン速度  $A_z \approx 0.3 \text{ m/s}$  で1:2と分け、固有振動数  $f_n$  が1.5Hzのばね定数に対して減衰係数比  $\zeta$  が0.4になるようにした。

### 5.2 等価ゲイン $\kappa$ の決定

図5-1に等価ゲインに  $\kappa(A_z)$  を入力速度振幅  $A_z$  に対して示す。これに対して、システム入力振幅  $A_v$  を0.01m一定としたとき、(4・22)に

表5-1

種類 \ 係数	$a \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$b \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$c \frac{\text{Ns}^2}{\text{m}^2}$	$d \frac{\text{Ns}^2}{\text{m}^2}$	$g \frac{\text{Ns}}{\text{m}}$	$h \frac{\text{Ns}}{\text{m}}$	$m \text{ kg}$	$k \frac{\text{N}}{\text{m}}$
計算モデル	0.07	0.08	16098	16655	574.7	1434	140	12435

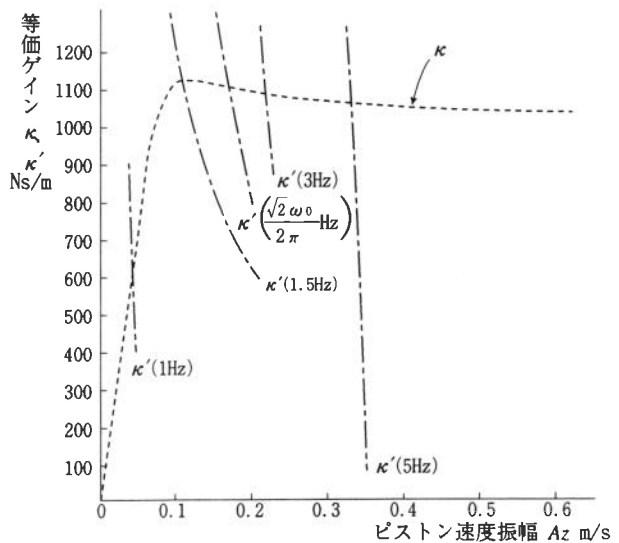


図5-1

よる  $\kappa' (A_z, A_v, \omega)$  の曲線を各加振々動数に対して書き込む。

両曲線の交点がこの  $(A_v, \omega)$  の状態下で作動している非線形要素への入力振幅と等価ゲインを示す。

### 5.3 システムの出力応答

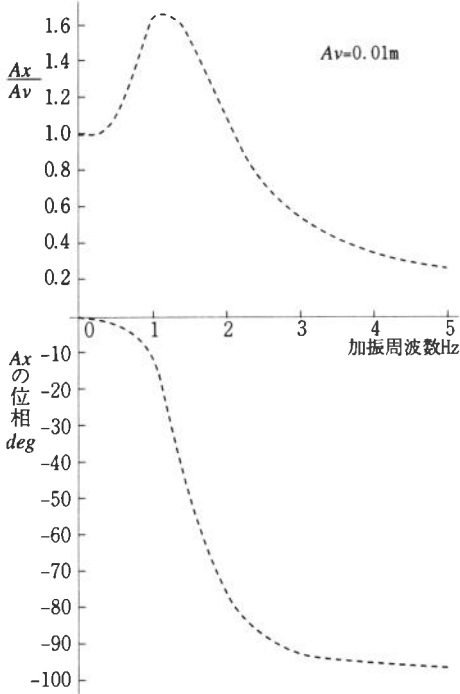


図 5 - 2

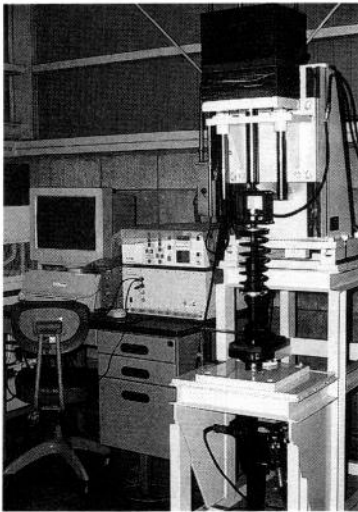


写真 5 - 1

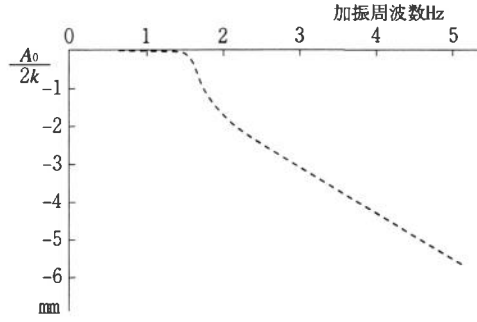


図 5 - 3

非線形要素入力振幅  $A_z$  が決まれば、直ちに (4・29) から変位出力  $x$  が求まる。

入力に対する出力の振幅比  $A_x/A_v$ , 位相角を図 5 - 2

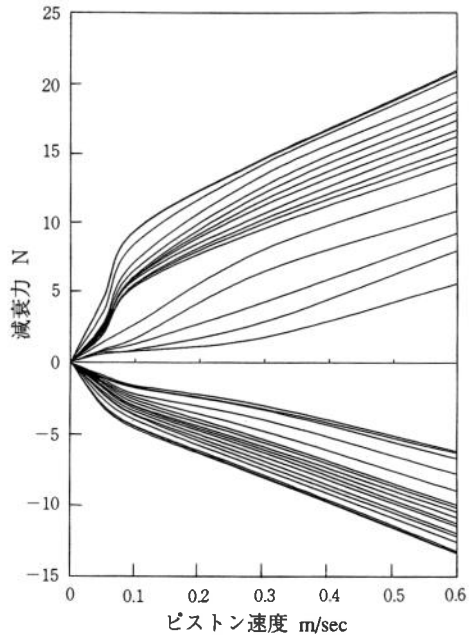


図 5 - 4



に示す。

ばねは固有振動数 $f_n$ が1.5Hzに設定してある。

$\sqrt{2} \omega$ に相当する2・121 Hzで振幅比は線形固定要素の場合と同じように1.0になっている。

合理的な結果であり、この方法の有効性を示すと考えられる。

次に直流分によるサスペンション系の沈降量を図5-3に示す。固有振動数を越えてからは、加振振動数と共に増加していく様子が分かる。

#### 5.4 実験例

写真5-1に示すような実験装置により加振実験を行った。供試ショックアブソーバの特性図を図5-4に示す。これは減衰力がソフトからハードへと広域にモード変更が可能なタイプである。表5-2にソフトとハードの両モードについて数値化モデルを示す。

##### 1) ソフトモードの場合

出力変位の周波数応答を実験値と線形化計算値について図5-5に示す。両者は低振動数域で少し離れるが、固有振動数を挟んで広域でよく合致している。

低振動数域ではピストン速度が低くて、2乗近似域にあるため、実際よりも低い減衰力で計算している。即ち減衰係数 $\zeta$ が低く、出力の変位振幅が上ったためと解される。

位相角については、実験例を欠くが、適当な値と考えられる。

表5-2

係数種類	$a \frac{m}{s}$	$b \frac{m}{s}$	$c \frac{Ns^2}{m^2}$	$d \frac{Ns^2}{m^2}$	$g \frac{Ns}{m}$	$h \frac{Ns}{m}$	$m \text{ kg}$	$k \frac{N}{m}$
ソフト	0.07	0.08	21754	13324	741.5	242.2	140	22457
ハード	0.07	0.08	73960	133200	1770	2337		

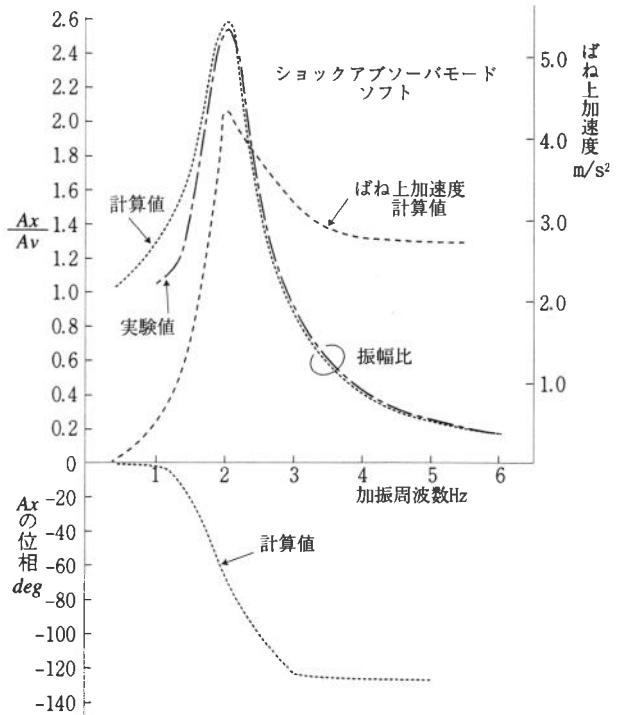


図5-5

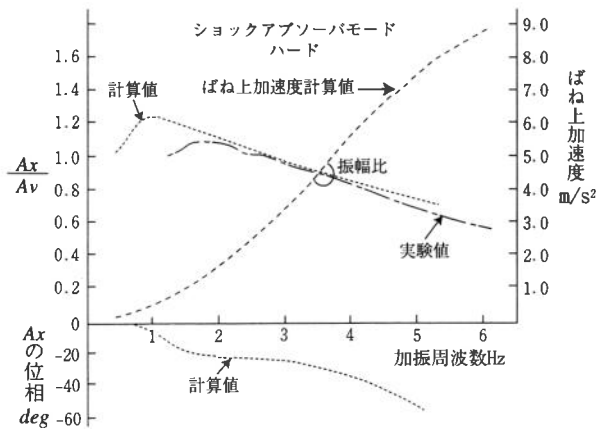


図5-6

2) ハードモードの場合

図5-6に同じく出力の周波数応答を示す。減衰力が強くなると、固有振動数以降では振幅比がソフトモードの場合より上る。

この場合でも、低振動数域では2乗近似のため減衰係数比 $\zeta$ が低くなり、振幅比は計算値の方が高く出る傾向がある。

然し全体として実験値と計算値は良く合致していると思われる。

6 考 察

等価線形化の意味、極低振動数域の問題を中心に考察する。

6.1 Fourier 級数入力比例項の係数  $B_1$

$B_1(3.10)$  について考える。ピストンの変位  $u$  を次のように置けば、その速度  $z$  が決まる。

$$u = -\frac{A_z}{\omega} \cos \omega t \tag{6.1}$$

$$z = \dot{u} = A_z \sin \omega t \tag{6.2}$$

1 サイクル中の損失仕事を  $W$  とすれば、減衰力を  $y$  として

$$\begin{aligned} W &= \oint y du = 2 \frac{cA_z^3}{\omega} \int_0^{\phi_1} \sin^3 \omega t d(\omega t) + 2 \int_{\phi_1}^{\frac{\pi}{2}} \left\{ g(A_z \sin \omega t - a) + ca^2 \right\} \frac{A_z}{\omega} \sin \omega t d(\omega t) \\ &\quad + \frac{dA_z^3}{2\omega} \int_{\pi}^{\pi+\phi_2} \sin^3 \omega t d(\omega t) + 2 \int_{\pi+\phi_2}^{\frac{3\pi}{2}} \left\{ h(A_z \sin \omega t + b) - db^2 \right\} \frac{A_z}{\omega} \sin \omega t d(\omega t) \tag{6.3} \\ &= \frac{2cA_z^3}{\omega} \left( \frac{1}{12} \cos 3\phi_1 - \frac{3}{4} \cos \phi_1 + \frac{2}{3} \right) + \frac{2gA_z^2}{\omega} \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2} + \frac{1}{4} \sin 2\phi_1 \right) + 2(-ga + ca^2) \frac{A_z}{\omega} \cos \phi_1 \\ &\quad + \frac{2dA_z^3}{\omega} \left( \frac{1}{12} \cos 3\phi_2 - \frac{3}{4} \cos \phi_2 + \frac{2}{3} \right) + \frac{2hA_z^2}{\omega} \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\phi_2}{2} + \frac{1}{4} \sin 2\phi_2 \right) + 2(-hb + db^2) \frac{A_z}{\omega} \cos \phi_2 \tag{6.4} \end{aligned}$$

等価粘性減衰係数  $c_e$  はこの  $W$  を用いて計算すると

$$c_e = \frac{\omega}{A_z^2 \pi} W = \frac{B_1}{A_z} = \kappa \tag{6.5}$$

即ち高調波を省略したにも拘らず、 $B_1/A_z$  として得られる等価ゲイン  $\kappa$  は等価粘性減衰係数  $c_e$  に等しくなっている。これがこの手法の安定な忠実度を高めていると考えられる。

6.2 低振動数域

オリフィス抵抗を速度2乗形にした。然し低  $Re$  数域では速度に比例する粘性流、他に摩擦もあり実際より減衰力を低めに見積ることになった。図6-1にハードモード時の  $\kappa$  とこれに交差する  $\kappa'$  を示す。ピストン速度の極低速域を拡大して図6-2に示す。速度2乗域では

$$W = \frac{4}{3} (c+d) \frac{A_z^3}{\omega} \tag{6.6}$$

$$c_e = \frac{4}{3\pi} (c+d) A_z \tag{6.7}$$

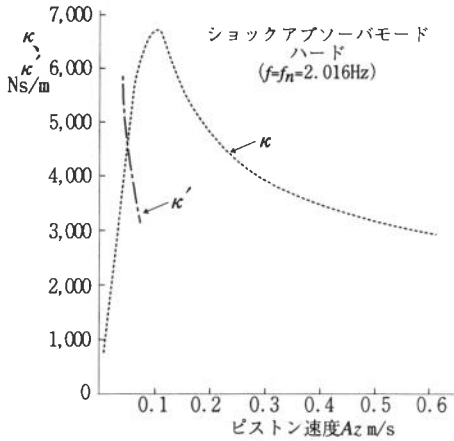


図 6-1

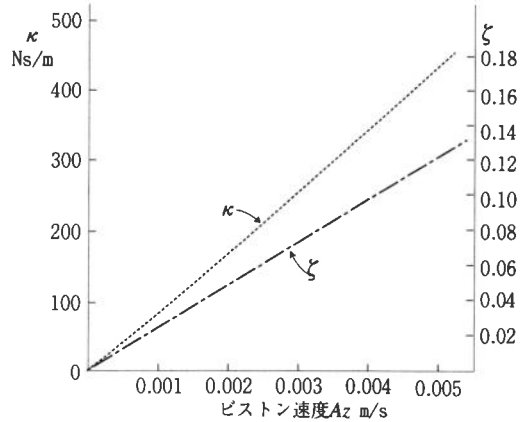


図 6-2

∴

$$\zeta = \frac{2}{3\pi} \frac{c+d}{\sqrt{mk}} A_z \quad (6 \cdot 8)$$

を得、これを付記する。低 $\zeta$ が振幅増加の原因であることが判る。モデル化に当っては、摩擦の等価粘性を含めた速度比例項を付加するのが良い。

## 6. 2 振幅依存性

ショックアブソーバの等価ゲインは入力振幅に依存するため、その決定には、非線形要素の持つ固有の依存振幅値と、実際にその時システムとして発生する振幅とをマッチさせねばならない。このため繰返し計算が各入力振幅、振動数に対して必要になる。この場合非線形要素入力の変位振幅 $A_z$ とこれを基に一巡して帰って来る同位置での振幅 $R_z$ を等しくする方法と、またこれとは別

に等価ゲイン $\kappa$ とシステムから来る等価ゲイン $\kappa'$ とを等しくする算法が考えられる。

実際の計算で、 $A_z \sim R_z$ 間では曲線勾配が似てきた場合に解の収束が悪い。図 5-1 或いは図 6-1 に示したように $\kappa'$ は $\kappa$ に鋭く交差しており、この間の繰返し計算が効率的である。また両曲線の形状から、このシステムでは跳躍現象は起らない。

システム入力振幅 $A_v$ の影響を見るため、 $A_v$ を 0.01m と 0.02m にした場合、変位振幅の伝達率をハードモードの例で図 6-3 に比較する。入力振幅が倍増するとピストン速度も呼応して上ってくるので、 $\kappa$ の特性図から見られるように等価ゲイ

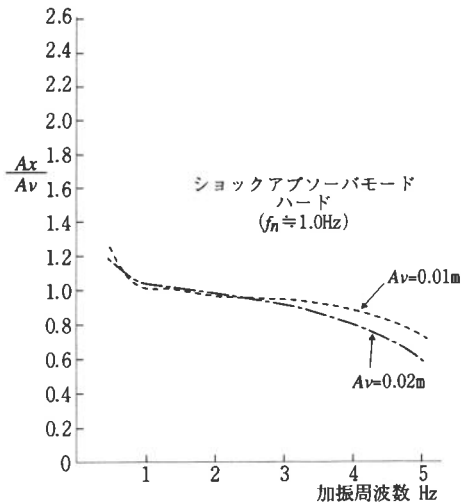


図 6-3

ン即ちダンピング係数は低下する。従ってこのような傾向の強くなる高振動数域では、振幅伝達率の低下が見られる。

### 6.3 高調波

この手法では高調波を省略するが、実際の振動システムでは減衰が大きく、その影響は殆ど見られない。十分に実用性のある手法といえる。

## 7 結 語

サスペンション系に使われるショックアブソーバの非線形特性に注目して、振動波形の評価を Fourier 級数展開による等価線形化の手法を用いて行った。対象が非対称なゼロメモリ形非線形要素であるため、等価ゲインの方に直流分を生ずる。

実験との照合は良好である。ピストン速度の低い低周波数領域で、オリフィス用に速度 2 乗抵抗モデルを用いると、減衰力を過小評価することになる。しかし実用面では問題でない。

ショックアブソーバは操縦性安定性の見地から低ピストン速度域でも大きい減衰力が必要であり、乗心地の面からは高ピストン速度域でも低い減衰力が必要なことがある。何れにせよショックアブソーバに内在する摩擦力は不可避であるが、有害である。乗心地の質の面からは振動波形も重要であるので、今後こうした面も考慮して精確な特性把握と、走行安全性の面からのシステム制御に意を用いていきたい。

この研究では供試品とその特性について、カヤバ工業株式会社 自動車技術研究所の高瀬孝次氏に特にお世話になりました。ここに厚く謝意を表します。

### 参 考 文 献

- 樫木義一, 砂原善文; 自動制御工学Ⅱ, 養賢堂, 1977
- 森口繁一, 宇田川 銈久, 一松信; 岩波数学公式Ⅰ, Ⅱ, 1987
- 近藤次郎; ラプラス変換とその応用, 培風館, 1977
- 谷口修 (代表); 振動工学ハンドブック, 養賢堂, 1981
- 自動車技術会; 自動車技術ハンドブック②, 自動車技術会, 1991
- 宇野高明; 車両運動性能とシャシーメカニズム, グランプリ出版, 1994