

# スウェイとロッキングをする剛な地下室の振動について(その1)

中川 恭次  
安井 讓

## Sway-Rocking Vibration of Rigid Structure Embedded in an Elastic Stratum (Part 1)

Kyoji Nakagawa  
Yuzuru Yasui

### Abstract

The authors present theoretical solutions of not only rotation around the axis through center of gravity, but also swaying vibration of a cylindrical rigid body supported on a hard soil layer at its base plane and surrounded by a soft soil layer using the theory of three-dimensional wave propagation in an elastic surface layer. Using these solutions, dynamic effects of the surface layer on the structure are discussed. The dynamic effects are lateral resistance, radiation damping and input force from the side wall. Examples of calculations are given to clarify dynamic equivalence between inertia force of a rigid structure and forces acting on the embedded portion of the structure.

### 概 要

表層に3次元の波動理論を適用して、剛な地下室がスウェイとロッキング振動をする場合についての理論解を求めた。剛な地下室は円筒形で軟弱な表層を貫ぬいて下層の硬質地盤に支持されている。解析手法は田治見が用いた方法と全く同じである。本報告ではまずその理論解を示した。次に、表層が地下室に及ぼす動的な効果について考察した。動的な効果は次の3つに大別される。即ち、表層のばね効果、地下室の側壁から表層に逸散する減衰効果、表層土から側壁に入ってくる地震力の3つである。続いて、現実的なディメンジョンを有する剛構造物に対して数値計算を行ない地下部分に働らく力のやりとりを考察するための基礎的な資料を作成した。得られた結果は、地下部分を取り巻く表層地盤が地震時にどのように地下側壁に作用するかを推察するための有用な資料となるであろう。

### 1. 序

基礎を下層の硬質な地盤に支持させることは、上部構造体の耐震性と考える場合好ましいことであるといわれている。しかしながら、地下構造体の耐震性を考える場合には、地震時に表層と地下構造体とが相互作用することによって側壁に如何なる力が生じるかが問題になろう。

田治見は、円筒形の剛体を下層の硬質な地盤で支持され、その底面の中心線を回転軸としてロッキング振動する場合について、次の様な仮定のもとに、表層に3次元の波動理論を適用して、その理論解を求めている<sup>1)</sup>。即ち、1) 地盤は一層のみからなる弾性体で均一かつ等方性とする。2) 減衰はすべて内部減衰として取り扱おう。3) 上下動は無視する。4) 入力は一層硬質地盤において水平方向正弦波  $U_g \cdot e^{i\omega t}$  とする。

今回、同じ仮定のもとに、剛な地下室が重心回りの回転と同時に並進も行なう場合についての解を得た<sup>2)</sup>。

そこで、この解を示すとともに、この解を用いて、表層が剛な地下室におよぼす動的な効果についての傾向を考察した。表層の動的な効果は、次の3つに分けられる。即ち、1) 表層のばね効果、2) 地下壁から逸散する減衰、3) 側壁からの地震時入力、である。次いで現実的なディメンジョンを有する剛な地下室を想定して、地下部分にどのように力が作用するかについて考察を試みた。

### 2. 表層の動的な効果に関する理論解

解析に用いたモデルを図-1に示した。この場合の振動方程式は次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} m_0(\ddot{U}_s + \ddot{U}_g) + C_H(\dot{U}_s - s\dot{\phi}) + k_H(U_s - s\phi) &= P \\ I_G\ddot{\phi} + C_R\dot{\phi} - C_H(\dot{U}_s - s\dot{\phi}) + s + k_R\phi - k_H(U_s - s\phi) \cdot s &= M \end{aligned} \right\} (1)$$

ここに、PとMはそれぞれ、地下室が表層から受ける水平力と重心回りの回転モーメントである。他の諸記号については次の様である。m<sub>0</sub>;地下室の質量, I<sub>G</sub>;地下室の重心回りの質量慣性モーメント, k<sub>H</sub>;底面における水平ばね, k<sub>R</sub>;底面における回転ばね, C<sub>H</sub>;底面での水平振動の粘性減衰, C<sub>R</sub>;底面での回転振動の粘性減衰, U<sub>g</sub>;下層の硬質地盤の変位, U<sub>s</sub>;地下室の下層地質に対する相対変位, φ;地下室の重心回りの回転角。

なお、U<sub>g</sub>, U<sub>s</sub>, φ;の頭の・,・・はそれぞれ時間tに関する1階微分および2階微分を表わす。

本章では、PとMについての波動理論解を示す。序で述べた仮定のもとに、下層地盤に水平方向正弦波 U<sub>g</sub>・e<sup>iωt</sup>が入って来たとする。そのとき、地下室が、U<sub>s</sub>=U<sub>s</sub>・e<sup>iωt</sup>, φ=φ・e<sup>iωt</sup>で振動していると仮定して、表層に3次元の波動理論を適用すると、PとMは次の様に求めることができる<sup>2)</sup>。

$$\left. \begin{aligned} M &= -\alpha_1 k_R M_C \cdot \phi \cdot e^{i\omega t} - \alpha_2 \cdot k_H \cdot s^2 M_S \frac{U_s}{s} e^{i\omega t} - \gamma_1 m_0 s I_G \left( \frac{-U_g \omega^2}{s} \right) e^{i\omega t} \\ P &= -\beta_1 k_H P_S \cdot U_s \cdot e^{i\omega t} - \beta_2 \cdot k_H P_R \cdot U_s \cdot e^{i\omega t} - \gamma_2 \cdot m_0 \cdot m_E (-U_g \omega^2) e^{i\omega t} \end{aligned} \right\} (2)$$

ここに、

$$M_C = \tilde{M}_{C1} + i\tilde{M}_{C2} = \frac{\sum \xi_n^2 \frac{\Omega_n}{n^2} \left\{ \left( \frac{a}{s} \right) \left( \frac{2H}{\pi a} \right) \left( \frac{-1}{n} \right)^{\frac{n-1}{2}} \right\}^2}{\sum \Omega_n \left\{ \left( \frac{a}{s} \right) \left( \frac{2H}{\pi a} \right) \left( \frac{-1}{n} \right)^{\frac{n-1}{2}} \right\}^2}, P_S = \tilde{P}_{S1} + i\tilde{P}_{S2} = \frac{\sum \xi_n^2 \frac{\Omega_n}{n^2}}{\sum \Omega_n}$$

$$M_S = P_C = \tilde{P}_{C1} + i\tilde{P}_{C2} = \frac{\sum \xi_n^2 \frac{\Omega_n}{n^2} \left\{ \left( \frac{a}{s} \right) \left( \frac{2H}{\pi a} \right) \left( \frac{-1}{n} \right)^{\frac{n-1}{2}} \right\}}{\sum \Omega_n \left\{ \left( \frac{a}{s} \right) \left( \frac{2H}{\pi a} \right) \left( \frac{-1}{n} \right)^{\frac{n-1}{2}} \right\}} \quad (3)$$

$$I_E = \tilde{I}_{E1} + i\tilde{I}_{E2} = \frac{\sum \frac{\Omega_n}{n^2} \left\{ \left( \frac{a}{s} \right) \left( \frac{2H}{\pi a} \right) \left( \frac{-1}{n} \right)^{\frac{n-1}{2}} \right\}}{\sum \Omega_n \left\{ \left( \frac{a}{s} \right) \left( \frac{2H}{\pi a} \right) \left( \frac{-1}{n} \right)^{\frac{n-1}{2}} \right\}}, m_E = \tilde{m}_E + i\tilde{m}_{E2} = \frac{\sum \frac{\Omega_n}{n^2}}{\sum \Omega_n}$$

$$\alpha_1 = \frac{a^2 \mu \pi \left( \frac{2H}{\pi a} \right) \frac{s}{a} \frac{4s}{\pi}}{k_R} \sum \Omega_n \left\{ \left( \frac{a}{s} \right) \left( \frac{2H}{\pi a} \right) \left( \frac{-1}{n} \right)^{\frac{n-1}{2}} \right\}, \beta_1 = \frac{a \mu \pi \left( \frac{\pi a}{2H} \right) \frac{4}{\pi}}{k_H} \sum \Omega_n$$

$$\alpha_2 = \beta_2 = \frac{a^2 \mu \pi \left( \frac{\pi a}{2H} \right) \left( \frac{s}{a} \right) \left( \frac{4s}{\pi} \right)}{k_H \cdot s^2} \sum \Omega_n \left\{ \left( \frac{a}{s} \right) \left( \frac{2H}{\pi a} \right) \left( \frac{-1}{n} \right)^{\frac{n-1}{2}} \right\} \quad (4)$$

$$\gamma_1 = \frac{a^2 \mu \pi \left( \frac{\pi a}{2H} \right) \frac{s}{a} \frac{4}{\pi}}{m_0 \cdot s} \sum \Omega_n \left\{ \left( \frac{a}{s} \right) \left( \frac{2H}{\pi a} \right) \left( \frac{-1}{n} \right)^{\frac{n-1}{2}} \right\}, \gamma_2 = \frac{a \mu \pi \left( \frac{\pi a}{2H} \right) \frac{4}{\pi} \frac{1}{\omega_s^2}}{m_0} \sum \Omega_n \frac{\omega_s}{\omega_s^2} \quad (5)$$

$$\Omega_n = \frac{4 \cdot K_1(\eta_{Ln}) \cdot K_1(\eta_{Tn}) + \eta_{Tn} K_1(\eta_{Ln}) \cdot K_0(\eta_{Tn}) + \eta_{Ln} K_1(\eta_{Tn}) \cdot K_0(\eta_{Ln})}{K_1(\eta_{Ln}) + \eta_{Ln} K_0(\eta_{Ln}) + K_1(\eta_{Tn}) + \eta_{Tn} K_0(\eta_{Tn}) - K_1(\eta_{Ln}) K_1(\eta_{Tn})} \quad (6)$$

$$\sum_{n=1,3,5}^{\infty} \Omega_n = \Omega_n |_{\omega=0}, \xi_n^2 = n^2 - \left( \frac{\omega_s}{\omega_g} \right)^2 + i2h_g \left( \frac{\omega_s}{\omega_g} \right), \omega_s = C_T \frac{\pi}{2H}$$

h<sub>g</sub>;表層地盤の減衰定数, i=√-1, η<sub>Tn</sub>=ξ<sub>n</sub>  $\frac{\pi a}{2H}$ , η<sub>Ln</sub>=η<sub>Tn</sub>  $\frac{C_L}{C_T}$

a;地下室の半径, s;地下室の重心高さ, H;表層地盤の厚さ,

C<sub>T</sub>= $\sqrt{\frac{\lambda}{\rho}}$ , C<sub>L</sub>= $\sqrt{\frac{\lambda+\mu}{\rho}}$ , ρ;表層地盤の単位体積質量, λ, μ;Lameの定数, m<sub>0</sub>;地下室によって排除された土の質量, K<sub>0</sub>(Z), K<sub>1</sub>(Z); Modified Bessel Function.

さて、(2)式をみるとわかるように、(2)式の右辺の第1項と第2項は表層の拘束効果にあたる。(3)式に示すように、拘束効果は複素数で表わされるから、側壁から逸散する減衰効果も含んでいる。また ω/ω<sub>g</sub>=0のとき M<sub>C</sub>, P<sub>S</sub>, M<sub>S</sub> は1となるように規準化してあるから α<sub>1</sub>k<sub>R</sub>, β<sub>1</sub>k<sub>H</sub>, β<sub>2</sub>k<sub>H</sub> は表層の静的なばね定数にあたる。更に α<sub>1</sub>, β<sub>1</sub> は底面でのばね k<sub>R</sub>, k<sub>H</sub> を基準とした場合、

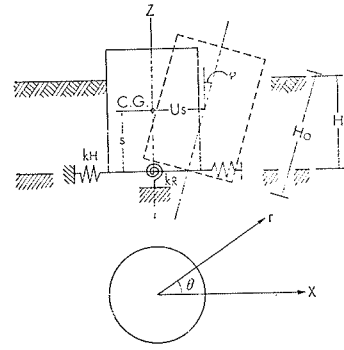


図-1 解析モデル

何倍のばね効果を表層が有しているかの倍率を示す。

(2)式の右辺の第3項は、表層から地下側壁に入ってくる地震力にあたる。(2)式の I<sub>E</sub>, m<sub>E</sub> もまた ω/ω<sub>g</sub>=0のとき1になるように規準化してあるから、γ<sub>1</sub>m<sub>0</sub>s, γ<sub>2</sub>m<sub>0</sub>a は、周期無限大の単位の正弦波加速度が下層硬質地盤に入射して来たとき表層から側壁が受ける地震力にあたる。従って、γ<sub>1</sub>, γ<sub>2</sub> は、地下室が排除した土柱が受ける静的震度にあたることになる。

### 3. 表層の動的な効果についての数値計算例

数値計算に先立って、いくつかの仮定を設けてパラメーターの整理を行なう。

まず、底面でのばね, k<sub>H</sub>, k<sub>R</sub> をそれぞれ一様分布と三角形分布と仮定する。即ち

$$k_H = \frac{2\pi\mu_b}{2-\nu_b} a, \quad k_R = \frac{\pi\mu_b a^3}{2(1-\nu_b)} \quad (7)$$

ここに、ν<sub>b</sub>;下層地盤のポアソン比 =  $\frac{1-2 \left( \frac{C_{TB}}{C_{LB}} \right)^2}{2 \left\{ 1 - \left( \frac{C_{TB}}{C_{LB}} \right)^2 \right\}}$

μ<sub>b</sub>;下層地盤のせん断剛性, C<sub>Tb</sub>;下層地盤の横波速度 C<sub>Lb</sub>;下層地盤の縦波速度

また、表層土の単位体積質量 ρ の下層地盤の土の単位体積質量 ρ<sub>b</sub> に対する比はインピーダンス比 α (= ρC<sub>T</sub>/ρ<sub>b</sub>C<sub>Tb</sub>) を用いて次式で表わされるとする。

$$\frac{\rho}{\rho_b} = \begin{cases} 2(1-\alpha), & (\alpha \leq 0.5) \\ 1, & (\alpha \geq 0.5) \end{cases} \quad (8)$$

以上の仮定と、m<sub>a</sub>=ρπa<sup>2</sup>Hを用いると、α<sub>i</sub>(i=1, 2), β<sub>i</sub>(i=1, 2), γ<sub>i</sub>(i=1, 2)を表わす(4)式の右辺のうち、Σの前の定数は次の様に表わされる。

$$\alpha_1 \sim 4(1-\nu_b) \alpha^2 \frac{\rho_b}{\rho} \left( \frac{H}{a} \right) \left( \frac{s}{H} \right)^2, \quad \beta_1 \sim (2-\nu_b) \alpha^2 \frac{\rho_b}{\rho} \left( \frac{a}{H} \right)$$

$$\alpha_2, \beta_2 \sim \frac{2-\nu_b}{4} \alpha^2 \frac{\rho_b}{\rho} \left( \frac{a}{H} \right), \quad \gamma_1, \gamma_2 \sim \frac{8}{\pi^2}$$

従って上記各係数が関係しているパラメーターは次

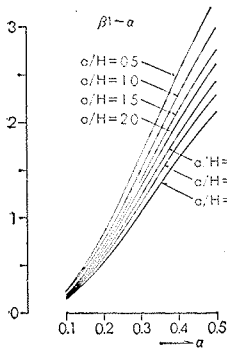


図-2

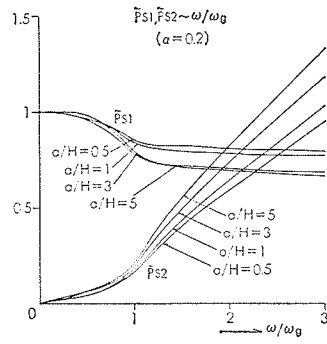


図-3

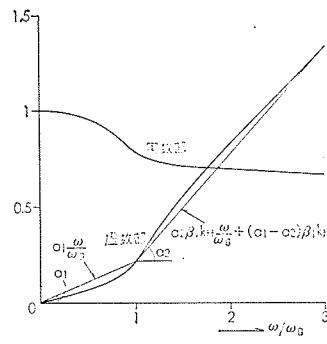


図-4

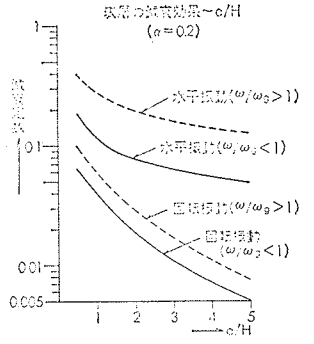


図-5

の様である。

$$\alpha_1 \sim \left\{ \frac{a}{M}, \frac{S}{H}, \alpha, \frac{C_T}{C_L}, \frac{C_{Tb}}{C_{Lb}} \right\},$$

$$\beta_1 \sim \left\{ \frac{a}{M}, \alpha, \frac{C_T}{C_L}, \frac{C_{Tb}}{C_{Lb}} \right\}$$

$$\alpha_2, \beta_2 \sim \left\{ \frac{a}{H}, \frac{S}{H}, \alpha, \frac{C_T}{C_L}, \frac{C_{Tb}}{C_{Lb}} \right\}$$

$$\gamma_1 \sim \left\{ \frac{a}{H}, \frac{S}{H}, \frac{C_T}{C_L} \right\} \quad \gamma_2 \sim \left\{ \frac{a}{H}, \frac{C_T}{C_L} \right\}$$

また表層地盤に与えるべき減衰  $h_g$  はインピーダンス比  $\alpha$  を用いて  $\frac{2\alpha}{\pi}$  で与えられるから、拘束効果の動的な各項に関するパラメーターは次の様である。

$$M_\phi, M_S, I_E \sim \left\{ \frac{a}{H}, \frac{S}{H}, \alpha, \frac{C_T}{C_L}, \frac{\omega}{\omega_g} \right\}$$

$$P_S, m_E \sim \left\{ \frac{a}{H}, \alpha, \frac{C_T}{C_L}, \frac{\omega}{\omega_g} \right\}$$

結局、表層が地下室におよぼす動的な効果は、5つの無次元パラメーターによって決まることになる。今回は、 $a/H$  と  $\alpha$  によって表層の動的な効果がどのように変化するかをみることにして、他のパラメーターは次の様に仮定する。即ち

$$\frac{S}{H} = 1, \quad \frac{C_{Tb}}{C_{Lb}} = \frac{C_T}{C_L} = 0.5$$

以上の仮定のもとに行なった数値計算結果について以下に述べる。

### 3.1. 表層が地下室におよぼすばね効果と減衰効果

図-2に  $\beta_1$  のインピーダンス比  $\alpha$  と半径の層厚に対する比との関係を示した。  $\alpha$  が大きくなる程、また  $\frac{a}{H}$  が小さくなる程、  $\beta_1$  の値は大きくなっている。  $\alpha_1, -\alpha_2$  についても同様な傾向を有する結果が得られている。

図-3に表層が地下室におよぼす拘束効果のうち動的な効果を表わす項についての  $\alpha=0.2$  のときの計算結果の1例を示した。横軸は振動数比  $\frac{\omega}{\omega_g}$  である。実数部はばね効果を表わし、虚数部は減衰効果を表わす。

ここに挙げた  $\tilde{P}_{S1}$  については、  $\frac{\omega}{\omega_g}$  が大きくなる

につれて、ばね効果は静的な値から減少していくことがわかる。また、その傾向は、  $a/H$  が大きい程、顕著であることがわかる。

次に減衰効果を表わす虚数部の考察を行なう。ここでは、  $\tilde{P}_{S2}$  についての考え方を示し、  $\tilde{M}_{\phi 2}$  についてはその結果のみを示す。図-4に示す様に  $\tilde{P}_{S2}$  を2つの直線で近似する。ここに、  $a_1, a_2$  はそれぞれ  $\frac{\omega}{\omega_g} \leq 1, \frac{\omega}{\omega_g} \geq 1$  の範囲の直線の勾配である。このとき、  $\beta_1 k_H \tilde{P}_{S2}$  は次の様に表わされる。

$$\beta_1 k_H \tilde{P}_{S2} = \begin{cases} a_1 \beta_1 k_H \frac{\omega}{\omega_g} \\ a_2 \beta_1 k_H \frac{\omega}{\omega_g} + (a_1 - a_2) \beta_1 k_H \end{cases} \quad (9)$$

上式の形から  $\frac{a_1}{\omega_g} \beta_1 k_H$  および  $\frac{a_2}{\omega_g} \beta_1 k_H$  は粘性減衰に相当することになる。上式に含まれる粘性減衰効果の傾向をわかり易く表現するために、臨界減衰との比をとってみる。この場合の臨界減衰  $C_{CH}$  は  $2\sqrt{m_0 k_H (1 + \beta_1)}$  で与えられるから、  $\frac{\omega}{\omega_g} \leq 1$  の範囲の減衰定数  $h'_{H1}$  および  $\frac{\omega}{\omega_g} \geq 1$  の範囲の減衰定数  $h'_{H2}$  は次式で求められる。

$$h'_{Hi} = \frac{1}{2} \left( \frac{\omega_H}{\omega_g} \right) a_i \frac{\beta_1}{\sqrt{1 + \beta_1}}, \quad (i=1, 2) \quad (10)$$

ここに、  $\omega^2_H = k_H / m_0$  である。

同様に重心回りの回転に関する減衰定数  $h'_{R1} \left( \frac{\omega}{\omega_g} \leq 1 \right), h'_{R2} \left( \frac{\omega}{\omega_g} \geq 1 \right)$  は次式で与えられる。

$$h'_{Ri} = \frac{1}{2} \left( \frac{\omega_H}{\omega_g} \right) a_i \frac{\alpha_1 \left( \frac{e_0}{i_0} \right)}{\sqrt{1 + \alpha_1 + \left( \frac{S}{e_0} \right)^2}}, \quad (i=1, 2) \quad (11)$$

ここに、  $i_0^2 = \frac{I_G}{m_1}, e_0^2 = \frac{k_R}{k_H}$  である。

$\frac{\omega_H}{\omega_g}, \frac{e_0}{i_0}, \frac{S}{e_0}$  と  $\frac{a}{H}, \alpha$  との関係は後述する第4章での仮定に従った。この様な仮定のもとに  $\alpha=0.2$  として求めた減衰定数を  $\frac{a}{H}$  に対してプロットしたものが図-5である。水平振動に関する減衰定数の方が回

転振動に関するものより大きいこと、 $\frac{a}{H}$ が大きくなる程これら2つの振動モードに関する減衰効果は大きくなること等がわかる。

3.2. 表層が地下室側壁におよぼす入力効果

図-6に静的震度にあたる  $\gamma_1$  と  $\gamma_2$  を  $\frac{a}{H}$  に対してプロットしたものを示した。2つの定数とも、 $\frac{a}{H}$ が大きくなるにつれて双曲線的に小さくなっていることがわかる。図-7に入力効果を表わす効果のうち、動的な項の1例として、 $m_E$  について、 $\alpha$ をパラメータとし  $\frac{a}{H}=2$  の場合の計算結果を示した。横軸は  $\frac{\omega}{\omega_g}$  である。図-8には、 $m_E$  の絶対値と位相差を示した。位相差については  $m_E$  の実部と虚部から定まる位相差から  $\pi$  を差し引いている。これは、(2)式の  $P$  を表わす式の右辺の第3項に-がついていることに対応する。従ってこの位相差は地下室が受ける水平地震力の入力加速度に対する位相差を表わすことになる。図-8の倍率のピーク値と図6の静的震度を掛け合わせたものが、下層地盤に正弦波が入射して来たときの動的な震度になる。この値を求めて、 $\frac{a}{H}$  に対してプロットしたものが図-9である。重心回りの振動に関する値も示してある。 $\frac{a}{H}$  が大きくなる程動的震度は小さくなることわかる。

4. 地下室が受ける水平力について

下層地盤に正弦波  $U_g \cdot e^{i\omega t}$  が入射してきたとき、スウェイとロックングをする地下室が受ける力のやりとりを明らかにするためには、まず、(1)式において  $\varphi = \varphi e^{i\omega t}$ ,  $U_s = U_s \cdot e^{i\omega t}$  とし、(2)式を(1)式に代入して、 $\varphi$  と  $U_s$  に関する連立方程式を解く必要がある。この様にして求めた  $\varphi$  と  $U_s$  を用いて、地下部分に働らく諸力の相互関係を明らかにするための諸量を計算することができる。ここでは水平力のみに着目することとし、重心回りの回転モーメントについての考察は後の機会に譲ることとした。

地下部分に働らく水平力のやりとりをみるための指標として次の様な諸量を選んだ。

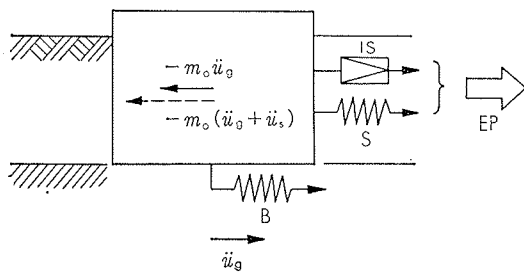


図-10

$$\left. \begin{aligned} \frac{EP}{MA} &\equiv \frac{P}{-m_0(-U_g \omega^2)} \\ \frac{S}{IS} &\equiv \frac{-\beta_1 k_H P_S \cdot U_S - \beta_2 k_H P_\varphi \cdot U_S}{-\gamma_2 m_a m_E (-U_g \omega^2)} \\ \frac{IS}{EP} &\equiv \frac{-\gamma_2 m_a m_E (-U_g \omega^2)}{P} \\ \frac{B}{EP} &\equiv \frac{-k_H (U_S - S \cdot \varphi)}{P} \\ \frac{B}{S} &\equiv \frac{-k_H (U_S - S \cdot \varphi)}{-\beta_1 k_H P_S \cdot U_S - \beta_2 k_H P_\varphi \cdot U_S} \\ \frac{A-MA}{MA} &\equiv \frac{-m_0(-U_g \omega^2 - \omega^2 U_S)}{-m_0(-U_g \omega^2)} \end{aligned} \right\} (12)$$

ここに、IS; 側壁からの地震入力、S; 側壁土による拘束力、B; 底面のばねによる抵抗力、EP; 側壁に作用する全土圧 (=IS+S)、MA; 慣性力、A-MA; 絶対加速度による慣性力

なお、上記各記号の正の向きを図-10に示した。

(12)式を無次元量で表わすと表層の動的な効果を評価するために必要であったパラメータの他に新しく次の様なパラメータが必要になる。即ち、 $\frac{m_0}{m_a}$ ,  $\frac{\omega H}{\omega_g}$ ,

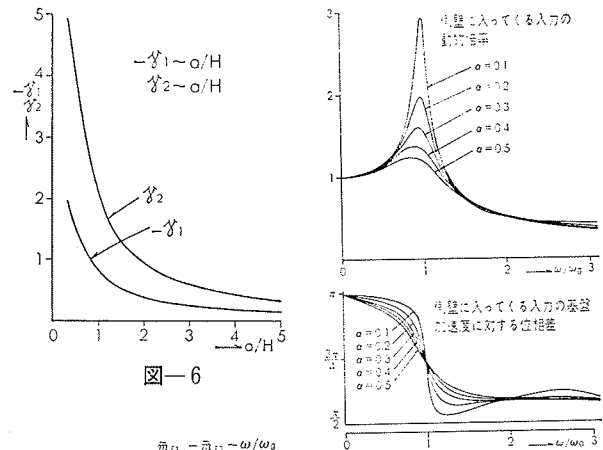


図-6

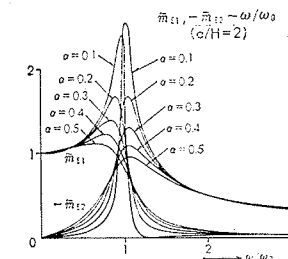


図-7

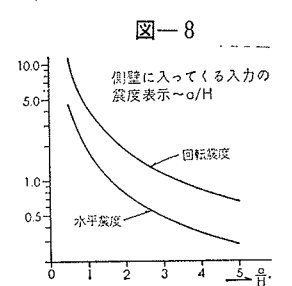


図-8

図-9

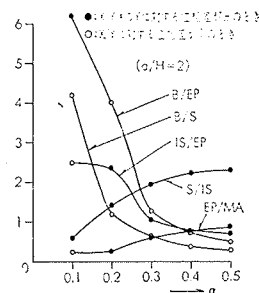


図-11

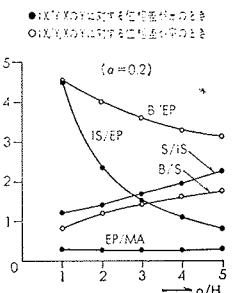


図-12

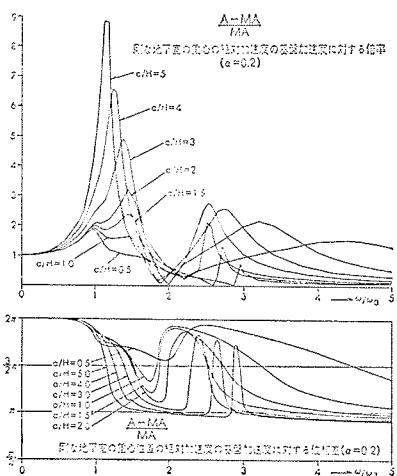


図-13

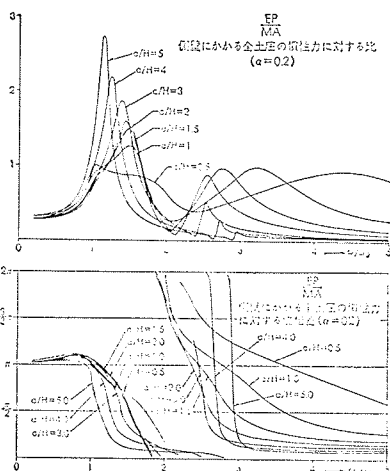


図-14

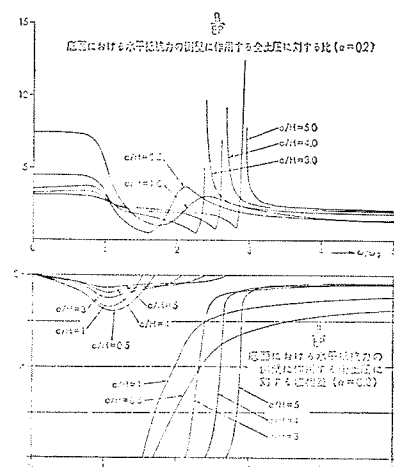


図-15

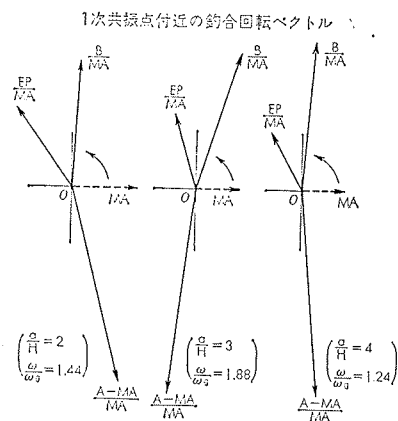


図-16

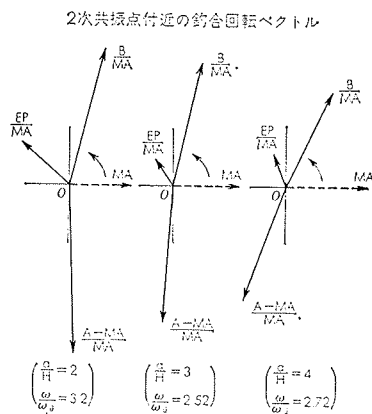


図-17

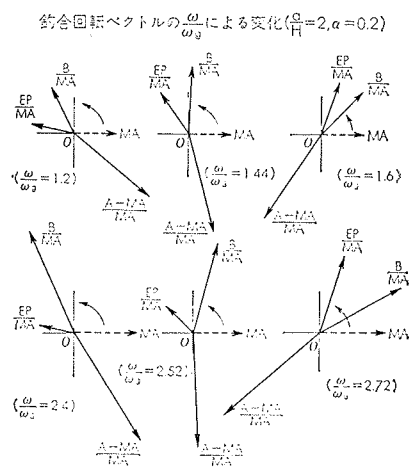


図-18

$h_H, \frac{S^2}{i_0^2}, \frac{S^2}{e_0^2}, \frac{C_0^2}{i_0^2}$  の諸元である。ここに、 $\omega_H^2 = \frac{kH}{m_0}$ ,  $h_H = \frac{C_H}{2\sqrt{m_0 kH}}$ ,  $i_0^2 = \frac{I_G}{m_0}$ ,  $e_0^2 = \frac{k_R}{k_H}$ ,  $C_0^2 = \frac{C_R}{C_H}$  である。今回は、 $h_H = 0, \frac{C_0^2}{i_0^2} = 0$  と仮定した。更に、 $\frac{\omega_H}{\omega_g}, \frac{S}{e_0}$  については、次の様に表現できる。

$$\left(\frac{\omega_H}{\omega_g}\right)^2 = \frac{8}{(2-\nu_b)\pi^2} \cdot \frac{m_a}{m_0} \cdot \frac{H}{a} \cdot \frac{1}{\alpha^2} \cdot \frac{\rho}{\rho_b}$$

$$\left(\frac{S}{e_0}\right)^2 = \frac{4(1-\nu_b)}{2-\nu_b} \left(\frac{H}{a}\right)^2 \left(\frac{S}{H}\right)^2$$

$a/H$	$s^2/e_0^2$	$\omega_H/\omega_g$	$\omega_1/\omega_g$	$\omega_2/\omega_g$
0.5	6.40	3.18	0.720	3.93
1	1.6	2.25	0.989	2.86
2	1.59	1.59	1.21	2.35
3	1.30	1.30	1.16	2.43
4	0.100	1.13	1.06	2.67
5	0.064	1.01	0.972	2.91

表-1

数値計算にあたっては、3章で用いた仮定のほかに次の様な仮定を用いた。即ち  $\frac{a}{H}$  をパラメーターとして  $\alpha = 0.2, \frac{m_0}{m_a} = 1.5, \frac{S^2}{i_0^2} = 0.5$  とした。表-1に、 $\frac{a}{H}$  を変化させたときの  $\frac{\omega_H}{\omega_g}, \frac{S^2}{e_0^2}$ , および表層がない場合の1次及び2次の固有角振動数  $\omega_i (i=1, 2)$  の  $\omega_g$  に対する比を示した。

この様な仮定のもとに行なった数値計算結果を図-11~図-18に示した。図-11と図-12は、下層地盤が周期無限大の加速度でもって正弦振動していると想定した場合の水平諸力の比率と位相関係を示したものである。図-11は  $\frac{a}{H} = 2$  として  $\alpha$  を変化させた場合で、図-12は  $\alpha = 0.2$  として  $\frac{a}{H}$  を変化させた場合である。

図-13, 14, 15はそれぞれ、 $\frac{A-MA}{MA}, \frac{EP}{MA}, \frac{B}{EP}$  の絶対値と分母に対する分子の位相差を示したものである。

また図-16~18は、図-13~15を用いて、地下部分

に働らく力を釣合い回転ベクトルを用いて示したものである。

## 5. まとめ

表層地盤がスウェイとロッキングをする剛な円筒形地下室におよぼす動的な効果についての波動理論解を示した。更にその解を用いて、動的な効果を、1)ばね効果、2)逸散減衰効果、3)入力効果の3つに分けて考察した。また、地下室に働らく水平諸力の関係を明らかにするための資料を作成した。

今回は、求められた解の解釈が主となった。今後の

課題としては、地下部分に働らく諸力の様子を更に明らかにしていくこと、底面に減衰を与えて、応答の絶対量を問題に出来るようにすること等が挙げられる。

## 参考文献

- 1) H. Tajimi; Dynamic Analysis of a structure Embedded in an Elastic Stratum, IV-WCEE
- 2) K. Nakagawa, Y. Yasui; Sway-Rocking Vibration of Rigid Structure Embedded in an Elastic Stratum, V-WCEE, 1973, Rome