

# 建物—基礎—表層地盤連成系の振動解析に関する研究

—下方剛基盤の簡便な処理方法と相互作用係数の近似解の提案—

中川 恭次      若松 邦夫  
渡辺 清治      金子 正孝  
安井   讓

## Study on Analysis Method of Interaction System About Structure-Foundation-Soil Surface Layer

—Simple Method Excluding Lower Rigid Boundary Effects and  
Approximate Solutions of Interaction Coefficients—

Kyoji Nakagawa    Kunio Wakamatsu  
Seiji Watanabe    Masataka Kaneko  
Yuzuru Yasui

### Abstract

This report describes an analysis method for a structure-foundation-soil surface layer interaction system. This method includes two special features. One is the proposal of a simple method excluding lower rigid boundary effects, and the other is approximate solutions of interaction coefficients of a rigid circular disc on an elastic stratum. In this report the authors explain the above method and approximate solutions, and next analyze test data and observed earthquake responses using a dynamic model simulating a structure-foundation-soil surface layer system. Good correlations are found between calculated results and experimental or observed results.

### 概 要

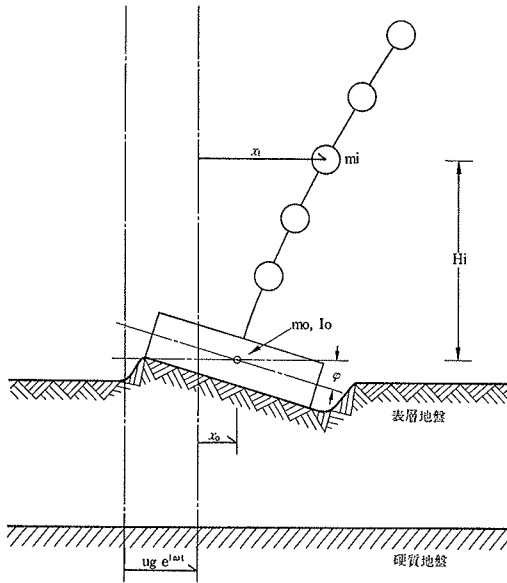
本報告は、建物—基礎—表層地盤連成系の振動解析手法について述べたものであって、本手法の特色は次の2点である。即ち、弾性表層地盤の基部に設定した剛基盤の悪影響を取り除くための簡便な手法を提案したこと、その手法を導入して弾性表層上の円形基礎の相互作用に関する係数の近似解を求めたことの2点である。この下方剛基盤の処理は、表層と下層の波動インピーダンス比に基づく外部粘性減衰を表層自身に与えることにより行なう。また、相互作用係数とは、基礎底面での動的ばねと、地震時に表層地盤から基礎底面に入射する地震力（連成外力）のことを指す。本報告では、先ず下方剛基盤の処理方法を説明し、続いて動的ばねと連成外力に関する近似解を示す。最後に、これらの近似解を用いて作成した建物—基礎—表層地盤連成系モデルで既往の実験・観測結果を解析し、本解析手法の妥当性を検討した。その結果、実験・観測値と計算値との良い対応が得られ、本解析手法の妥当性が示された。

### 1. 序

本報告は、建物—基礎—表層地盤連成系の振動解析手法について述べたものである。本法の特色は次の2点である。即ち、弾性表層地盤の基部に設定する剛基盤の影響を表層と下層の波動インピーダンス比に基づく外部粘性減衰を表層自身に与えることにより除去したこと、弾性表層上の円形基礎の底面での動的ばねと地震時に表層地盤から基礎底面に入射する外力に関する近似解を求め

たことの2点である。

さて、成層地盤上に立つ建物の地震時の挙動を解析するための手法には大別して2種類あるように思われる。一つは、波動理論を地盤に適用して基礎底面での動的ばねに関する理論解を求め、その解を建物モデルの基礎底面に接続する方法である<sup>1)2)</sup>。これらの解は積分の形で表現されるため、任意のパラメーターについて解の値を計算するにはかなりの労力を必要とする。他の一つは薄層要素法<sup>3)</sup>と呼ばれる方法である。この方法は F.E.M. と



図一1 建物—基礎—表層地盤連成系モデル

波動理論の長所をたくみに組み合わせた手法であって、F.E.M. モデルの横方向の境界を殆んど完全に処理したものである。この方法は根入れされた基礎のように波動理論解の誘導が困難な問題を取り扱うことができるなどの長所を持っているが、下方に剛な基盤を設定する必要があること、計算時間が長いこと等の欠点を有している。

ここで紹介する方法は近似理論であるが、上記の難点を回避して、簡単に建物—基礎—表層地盤連成系の地震応答解析ができるものである。即ち、相互作用に関する波動理論解が級数解で求まること、下方剛基盤を近似的に処理したこと、計算時間は薄層要素法に比べて格段に少ないこと等である。

## 2. 建物—基礎—表層地盤連成系の運動方程式

本章では、相互作用に関する係数—動的ばねと地震時に基礎底面に入射する地震力<sup>4)</sup>—が建物—基礎—表層地盤連成系の運動方程式の中でどの様に使われるかを見る。対象とする建物—基礎—表層地盤連成系モデルを図一1に示した。このとき運動方程式は次のようになる。

$$[m] \{\ddot{x}\} + [k] \{x\} = -[m] \{\ddot{u}_g\} \quad \dots\dots(1)$$

ここに、

$$[m] = \begin{pmatrix} m_0 & & & 0 \\ & m_1 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & m_n \\ & & & & I_0 \end{pmatrix}, [k] = \begin{pmatrix} k_{SS} & k_{S1} & k_{SR} \\ k_{1S} & k'_{1j} & k_{1R} \\ k_{RS} & k_{Ri} & k_{RR} \end{pmatrix} \quad \dots\dots(2)$$

$$\{\ddot{u}_g\}^T = \{[1 + E_s(i\omega)], 1, \dots, 1, -E_s(i\omega) \cdot s\} \cdot \ddot{u}_g \cdot e^{i\omega t}$$

$$\{x\}^T = \{X_0, X_1, \dots, X_n, \varphi\} \cdot e^{i\omega t}$$

上式中の各記号の意味は次の様である。m<sub>0</sub>: 基礎の質

量, m<sub>i</sub>: 上部質点の質量 (i=1, n), I<sub>0</sub>: 基礎の重心回りの質量回転慣性, k'<sub>ij</sub>: 基礎固定時の上部建家の剛性係数,  $\ddot{u}_g \cdot e^{i\omega t}$ : 基盤(下方硬質地盤)における入力加速度, E<sub>s</sub>(iω): 基礎底面へ表層地盤から入射する地震力, s: 基礎重心と基礎底面との距離, ω: 入力加速度の角振動数, i:  $\sqrt{-1}$ 。

また剛性係数[k]の要素のうち、基礎の並進と回転に関連する要素は次式から定められる。

$$\begin{aligned} k_{S1} &= k_{1S} = -\sum_{j=1}^n k'_{1j} \quad (i=1, n) \\ k_{R1} &= k_{1R} = -\sum_{j=1}^n k'_{1j} \cdot H_j, \quad (i=1, n) \\ k_{SR} &= k_{RS} = -K_s(i\omega) \cdot s \quad \dots\dots(3) \\ k_{SS} &= K_s(i\omega) - \sum_{i=1}^n k_{S1} \\ k_{RR} &= K_R(i\omega) + K_s(i\omega) \cdot s^2 - \sum_{i=1}^n k_{R1} \cdot H_i \end{aligned}$$

ここに、H<sub>i</sub>: 上部質点の基礎重心からの高さ (i=1, n), K<sub>S</sub>(iω): 基礎底面での並進振動に関する動的ばね, K<sub>R</sub>(iω): 基礎底面での回転振動に関する動的ばね。

(1)~(3)式に含まれる K<sub>S</sub>(iω), K<sub>R</sub>(iω), E<sub>S</sub>(iω), が波動理論を表層地盤に適用して求める相互作用に関する係数である。(1)式は下方硬質地盤に正弦波が入射したときのものであるが、任意の外乱に対する応答は F.F.T. を用いたフーリエ変換の手法により求めることができる。

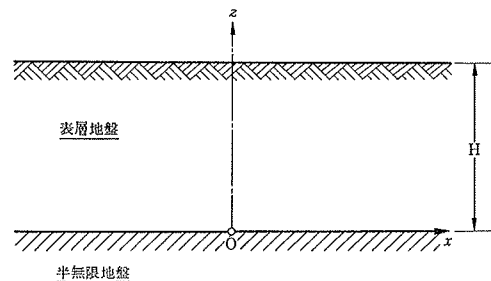
なお、起振機加振の場合は、(1)式の右辺を次の様におけばよい。

$$\{0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0, H_j e^{\theta}\}^T \cdot m_e r \cdot \omega^2 \cdot e^{i\omega t} \quad \dots\dots(4)$$

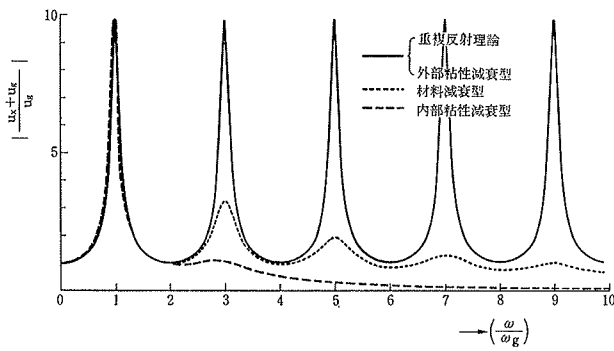
ここに、1の要素は起振機を設置した質点に対応し、H<sub>j</sub>e<sup>θ</sup>はその質点の基礎重心からの高さである。また、m<sub>e</sub>・rは起振機の偏心モーメントである。

## 3. 表層地盤の地震応答—下方剛基盤の近似的処理

建物が建つような場所の多くは、硬い地盤の上に軟らかい地盤がある場合が多い。この表層地盤と基礎との相互作用の問題を取り扱う際、しばしば下方硬質地盤を剛基盤と仮定する。この様に剛基盤と仮定したときは、下方地盤に逸散する波動の効果を等価的に処理するために



図一2 地盤モデル



図—3. a 表層地盤の増幅特性(地表面)

表層自身に減衰を与える方法がよく使われる。従来その減衰として材料減衰(歪比例型)とか内部粘性減衰(歪速度比例型)が用いられている<sup>3)5)</sup>。ここでは、表層地盤と下層地盤とのインピーダンス比に基づく外部粘性減衰を用いることにより剛基盤と仮定した悪影響を除去できることを示す。ここに外部粘性減衰とは表層地盤の基盤に対する相対速度に比例する減衰のことである。ここでは考え方をわかり易く説明するため、図—2に示した様な建物、基礎がない地盤モデルについて考える。即ち、半無限に広がった硬質地盤上に単一の弾性表層地盤が載っているとし、硬質地盤の下方から水平方向に振動する正弦波が入射してくる場合を考える。

いま、下層地盤を剛とし、外部粘性減衰を有する表層地盤に一次元の波動方程式を適用し、地表面の地震応答倍率を求めると次の様になる<sup>5)</sup>。

$$\frac{u_g + u_x}{u_g} = 1 + \left(\frac{\omega}{\omega_g}\right)^2 \cdot \frac{4}{\pi} \cdot \sum_{n=1,3,\dots}^{\infty} \frac{(-1)^{\frac{n-1}{2}}}{n \xi_n^2}$$

$$\xi_n^2 = n^2 - \left(\frac{\omega}{\omega_g}\right)^2 + i 2h_g^s \left(\frac{\omega}{\omega_g}\right) \quad \dots\dots(5)$$

ここに、 $u_x$ ：地表面の基盤に対する相対変位、 $u_g$ ：基盤における入力振幅、 $\omega_g$ ：表層1次の固有円振動数、 $h_g^s$ ：水平振動に関する外部粘性減衰定数。

(5)式から表層1次の共振点での応答倍率は近似的に次の様に表わされる。

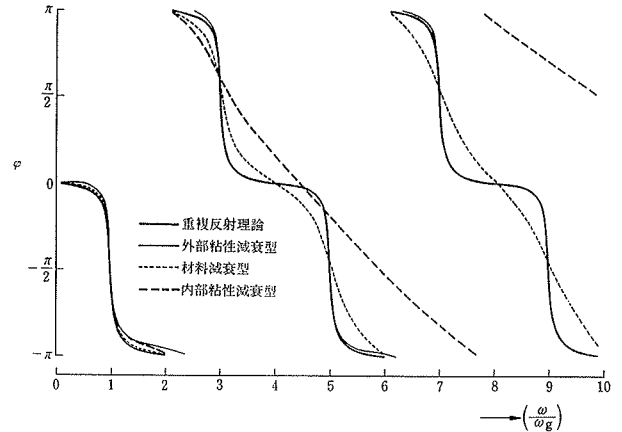
$$\left| \frac{u_g + u_x}{u_g} \right|_{\omega=\omega_g} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{1}{2h_g^s} \quad \dots\dots(6)$$

一方、下層地盤が弾性体の場合の応答倍率は、その波動インピーダンス比  $\alpha_s = (\rho \cdot C_T / \rho_b \cdot C_{Tb})$  を用いて  $1/\alpha_s$  で与えられる。従って  $h_g^s$  は次式によれば良い。

$$h_g^s = \frac{2\alpha_s}{\pi} \quad \dots\dots(7)$$

ここに、 $\rho$ ：表層地盤の単位体積あたりの質量、 $C_T$ ：表層地盤のS波の速度、 $\rho_b$ ：下層地盤の単位体積あたり質量、 $C_{Tb}$ ：下層地盤のS波の速度。

図—3に(5)式を用いて計算した地表面の増幅特性と位相特性を示した。同図中、重複反射理論とあるのは下方



図—3. b 表層地盤の位相特性(地表面)

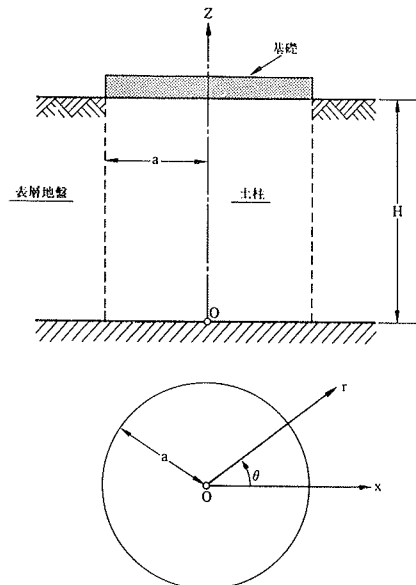
地盤を弾性体としたときの正解値である。同図には、内部粘性減衰および材料減衰を表層に与えた剛基盤—表層地盤系の応答倍率も示しておいた。外部粘性減衰によるものが最も良く正解を近似していることがわかって。なお、図—3の計算に用いた諸元の値は次の様である。  
 $C_T = 100 \text{ m/s}$ ,  $\rho = 0.163 \text{ ton} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ ,  $C_{Tb} = 900 \text{ m/s}$ ,  $\rho_b = 0.227 \text{ ton} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ 。

#### 4. 相互作用係数の近似解について

本章では、弾性表層上の円形基礎の動的ばねと基礎底面に入射する地震力に関する近似解の誘導を示す。下層地盤の影響は前章で提案した外部粘性減衰を表層地盤に与えることにより考慮する。ここでは基礎の水平振動についてのみ既述したが、回転ばねについても同様な要領で誘導可能であることを付記しておく。

##### 4.1. 仮定

図—4に示した様なモデルを考える。即ち、弾性表層



図—4 基礎—表層地盤モデル

地盤の地表面に剛な円形基礎が載っているとす。その表層地盤は基礎の底面と同じ半径を有する基礎直下の土柱と土柱を取り巻く表層地盤とからなっているとす。また、この表層地盤は剛な基礎に支持されているものとする。このモデルの理論解を求め。このとき仮定として以下の6項目を用いる。即ち、(1) 基礎は半径aの剛体とし、水平振動するものとする。(2) 基礎直下に想定した土柱はせん断振動するものとする。(3) 入力は基礎において水平方向正弦波  $u_g \cdot e^{i\omega t}$  とす。(4) 表層と下層のインピーダンス比に基づき減衰は外部粘性減衰として表層自身に含める(但し深さ方向のみ)。(5) 表層自身が有する減衰は材料減衰として考慮する。(6) 表層において上下変位は無視する。

4.2. 基礎方程式とその解

円筒座標を図一4の様子に設け、 $r, \theta$  方向の基礎に対する相対変位を  $u_r, u_\theta$  とす。いま、基礎がx方向にのみ振動するとき、表層に対して均質弾性体の波動方程式を適用すれば、次の様に書ける。

$$\left\{ (\lambda + 2\mu) + i(\lambda' + 2\mu') \right\} \frac{\partial}{\partial r} \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot u_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} \right\} - (\mu + i\mu') \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r u_\theta) - \frac{1}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \theta} \right\} = \left\{ \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} + \rho' \frac{\partial}{\partial t} - (\mu + i\mu') \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right\} u_r - \rho u_g \cos \theta \omega^2 \cdot e^{i\omega t}$$

$$\left\{ (\lambda + 2\mu) + i(\lambda' + 2\mu') \right\} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot u_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} \right\} + (\mu + i\mu') \frac{\partial}{\partial r} \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot u_\theta) - \frac{1}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \theta} \right\} = \left\{ \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} + \rho' \frac{\partial}{\partial t} - (\mu + i\mu') \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right\} u_\theta + \rho u_g \sin \theta \cdot \omega^2 \cdot e^{i\omega t}$$

.....(8)

ここに、 $\lambda, \mu$ : ラーメの定数、 $\lambda', \mu'$ : 材料減衰に関する係数、 $\rho'$ : 外部粘性減衰に関係する係数。

(8)式の斉次解と特解を求め、土柱と表層地盤との連続条件、土柱のせん断振動に関する釣合等を考慮することにより動的ばね  $K_S(i\omega)$ 、基礎底面へ入射する地震力(以後連成外力と呼ぶ)  $E_S(i\omega)$  を求めることができる。結果のみを記すと次の様である。

$$K_S(i\omega) = \mu \pi a^2 \left( \frac{2H}{\pi} \right)^2 \cdot \frac{H}{2} \cdot \frac{1}{F^*(H, \omega)}$$

$$E_S(i\omega) = \left( \frac{\omega_s}{\omega_g} \right)^2 \frac{G^*(H, \omega)}{F^*(H, \omega)} \cdot \frac{F^*(H, 0)}{F^*(H, 0)}$$

.....(9)

$$F^*(H, \omega) = \sum_{n=1,3}^{\infty} \frac{1}{n^2 + i2 \left\{ h_T \cdot n^2 + h_g^s \left( \frac{\omega}{\omega_g} \right) \right\} - \left( \frac{\omega}{\omega_g} \right)^2 + \xi_n^2 \Omega_n^*}$$

$$G^*(H, \omega) = \sum_{n=1,3}^{\infty} \frac{(\Omega_n^* + 1) \frac{4}{n\pi} (-1)^{\frac{n-1}{2}}}{n^2 + i2 \left\{ h_T \cdot n^2 + h_g^s \left( \frac{\omega}{\omega_g} \right) \right\} - \left( \frac{\omega}{\omega_g} \right)^2 + \xi_n^2 \Omega_n^*}$$

ここで、

$$\Omega_n^* = \frac{K_1(\eta_{Ln}^*) + K_1(\eta_{Tn}^*) \frac{2K_1(\eta_{Ln}^*) + \eta_{Ln}^* K_0(\eta_{Ln}^*)}{2K_1(\eta_{Tn}^*) + \eta_{Tn}^* K_0(\eta_{Tn}^*)}}{K_1(\eta_{Ln}^*) + \eta_{Ln}^* K_0(\eta_{Ln}^*) - K_1(\eta_{Tn}^*) \frac{2K_1(\eta_{Ln}^*) + \eta_{Ln}^* K_0(\eta_{Ln}^*)}{2K_1(\eta_{Tn}^*) + \eta_{Tn}^* K_0(\eta_{Tn}^*)}}$$

$$\eta_{Tn}^* = \xi_n \omega_g a / c_T^*, \quad \eta_{Ln}^* = \xi_n \omega_g a / c_L^*$$

$$\xi_n^2 = n^2 - \left( \frac{\omega}{\omega_g} \right)^2 + i \left\{ 2h_g^s \left( \frac{\omega}{\omega_g} \right) + i2h_T \cdot n^2 \right\},$$

$$\omega_g = c_T \pi / (2H), \quad c_T^* = c_T \sqrt{1 + i2h_T},$$

$$c_L^* = c_L \sqrt{1 + i2h_L}, \quad c_T = \sqrt{\mu / \rho}, \quad c_L = \sqrt{(\lambda + 2\mu) / \rho}$$

$$h_T = \mu' / (2\mu), \quad h_L = (\lambda' + 2\mu') / \{2(\lambda + 2\mu)\},$$

$$h_g^s = \rho' / (2\rho \omega_g), \quad \omega_s^2 = \text{Real} \cdot \{K_S(0)\} / m_0$$

$K_0(x), K_1(x)$ : Modified Bessel Function  
 $m_0$ : 円形基礎の質量

4.3. 厳密解と近似解との比較

本節では前節で誘導した近似解の数値計算を行ない既往の厳密解との比較を行なう。比較に先立ち、動的ばね  $K_S(i\omega)$  を次の様に表わしておく。

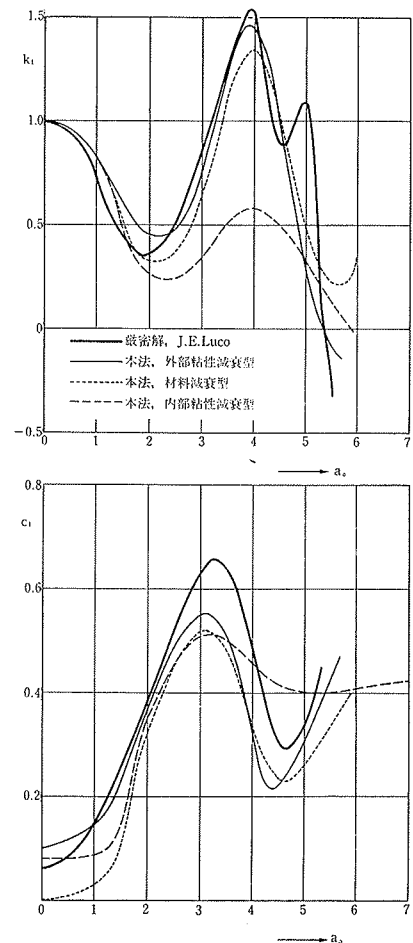
$$K_S(i\omega) = K_{S0} (1 + 2i\beta_1) (k_1 + ia_0 c_1) \quad \dots\dots\dots(10)$$

ここに、 $a_0 = a\omega / c_T, K_{S0} = \text{Real} \{K_S(0)\},$   
 $\beta_1 = \text{Imag} \{K_S(0)\} / [2 \text{Real} \{K_S(0)\}].$

上の $\beta_1$ は、

表層地盤の材料減衰が零の場合、零となる。また、(10)式の  $k_1, c_1$  を夫々、ばね係数、粘性減衰係数と呼ぶことにす。厳密解との比較はこの  $k_1, c_1$  について行なう。 $K_{S0}$  については既にその図表が計算されており<sup>3)</sup>、それらを利用すれば良い。

比較すべき厳密解として J. E. Luco の解<sup>2)</sup> を用いる。J. E. Luco は表層地盤上



図一5 厳密解と近似解との比較

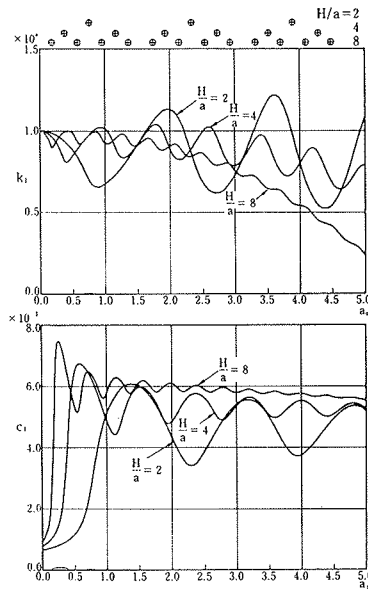
の円形基礎の動的ばねについて計算式を誘導し数値計算を行なっている。下方硬質地盤は弾性体としている。図一5に Luco の結果と近似解とを比較したものを示した。同図には参考のため、波動インピーダンス比に基づく剛基盤処理用の減衰として外部粘性減衰のかわりに内部粘性減衰および材料減衰を用いたものについても併記しておいた。 $k_1$ ,  $c_1$ とも外部粘性減衰型によるものが最も良く厳密解を近似していることがわらう。なお、この Luco のモデルでは、諸パラメーターの値は次の様である。即ち、表層のポアソン比  $\nu=0.3$ , 下層のポアソン比  $\nu_b=0.25$ , S波のインピーダンス比  $\alpha_s=0.340$ , P波のインピーダンス比  $\alpha_p=0.367$ ,  $H/a=1$  である。従って近似解の計算では,  $H/a=1$ , 表層のポアソン比  $0.3$ ,  $h_g^s=2\alpha_s/\pi=0.217$  とした。

#### 4.4. 近似解のパラメトリック・スタディ

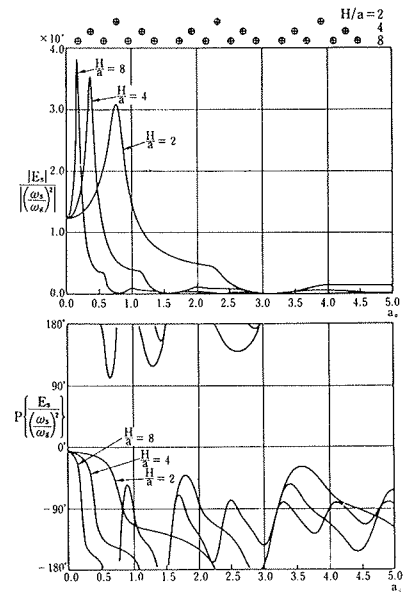
本節では、近似解を用いて行なったパラメトリック・スタディの1部を示す。回転振動については紙面の都合上割愛する。

図一6は層厚比  $H/a$  の影響をみるために作成した図である。図一6 a が  $k_1$ ,  $c_1$  に関するものであり, 図一6 b は連成外力  $E_s(i\omega)$  の絶対値と基礎入力加速度に対する位相差を示したものである。横軸はいずれも無次元振動数  $a_0$  である。これらの図中の(⊕)は表層の固有振動数を示す。図一6の計算では表層地盤の材料減衰を5%, ポアソン比を  $1/3$ , 外部粘性減衰を10%としている。 $k_1$ ,  $c_1$ には成層地盤特有の波打ちが見られる。この波打ちは  $H/a$  が大きくなるにつれて小刻みになる傾向は既往の研究<sup>1)2)3)</sup>と同様である。一方, 連成外力の方は表層の1次の固有振動数のところで大きなピークを生じる。基礎底面を通じて表層地盤から入射する地震力の表層地盤の高次振動による影響は無視して良さそうであることがわかる。

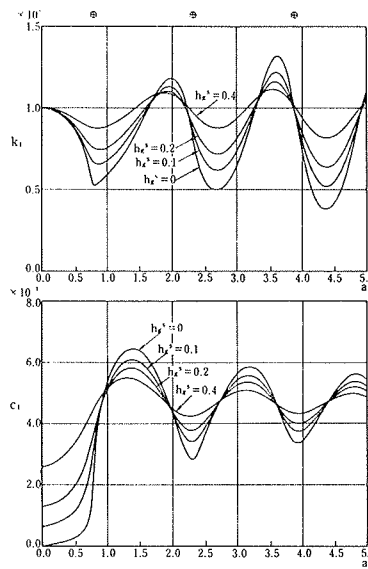
図一7は表層地盤と下層地盤との波動インピーダンス比が相互作用係数に及ぼす影響をみるために作成した図である。この計算では  $H/a$  を2, ポアソン比を  $1/3$ , 表



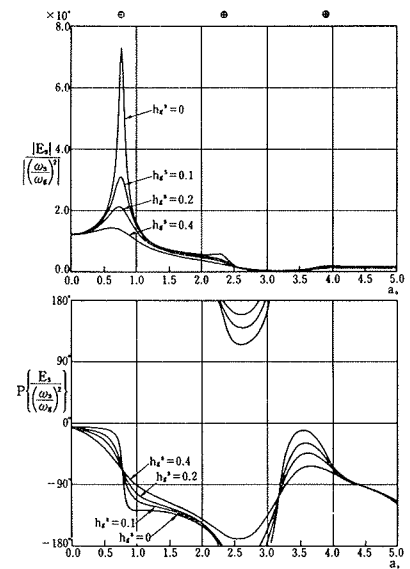
図一6. a 層厚の影響 ( $k_1, c_1$ )



図一6. b 層厚の影響 (連成外力)



図一7. a インピーダンス比の影響 ( $k_1, c_1$ )



図一7. b インピーダンス比の影響 (連成外力)

層地盤の材料減衰を5%としている。図一7 a は  $k_1$ ,  $c_1$  に関する図である。図一7 a から次のようなことがわかる。即ち, 波動インピーダンス比が大きくなるにつれて,  $k_1$ ,  $c_1$  の波打ちの振幅が小さくなる—また表層の1次の固有振動数より低い振動数範囲の  $c_1$  の値が大きくなる。図一7 b は連成外力に関する図である。当然のことながら, 波動インピーダンス比が大きくなるにつれて, 表層1次でのピークは小さくなっている。なお, インピーダ

ンス比が零の場合でも表層1次での共振点でのピークが無限大になっていないのは表層地盤に与えた材料減衰の影響によるものである。

5. 既往の実験・観測結果との比較

本章では、近似解を用いたモデルで既往の実験観測結果を解析し、近似解の妥当性をみる。既往の実験・観測結果として秋野他による「相互作用を考慮した建家と地盤との動的挙動に関する研究(その1~その3)<sup>6)</sup>」を用いる。

5.1. 実験・観測の概要

図-8に模型試験体と地盤の概要図を示した。

同図に見られるように、G.L. -6.6mまでがその下方に広がる地盤(玉石混り砂利)に比べて軟らかい赤土(関東ローム層)である。

模型試験体の基礎は平面4m×4m、高さ2.15m、根入れ深さ(基礎側壁の一面のみ)は1.2mである。上部構造は3層構造物の同一設計のもの2基を基礎上に並列に建設したものである。

起振機実験は次の様にして実施している。起振機は、図-8のB棟の屋階に据えつけ、偏心モーメントは、64 kg・cmを用いている。

地震観測は図-8に示した測点で実施している。測定はすべて加速度で記録している。

5.2. 解析モデル

解析モデルを図-9に示した。モデル化に必要な諸定数を表-1~3に示した。表-1の静的ばね、 $K_s(0)$ 、 $K_R(0)$ は実験値から定めたものである。表-2の地盤に関する諸定数はすべて実験値から定めたものである。また、

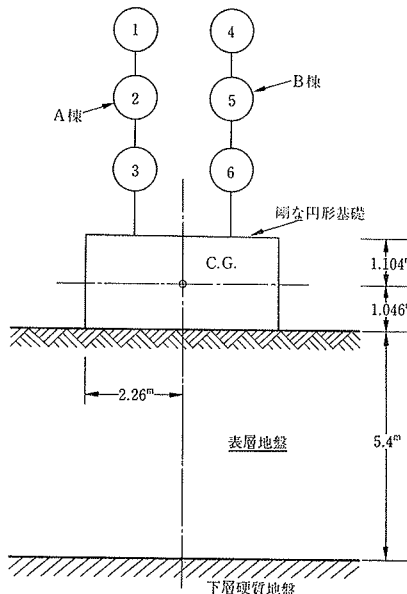


図-9 解析モデル

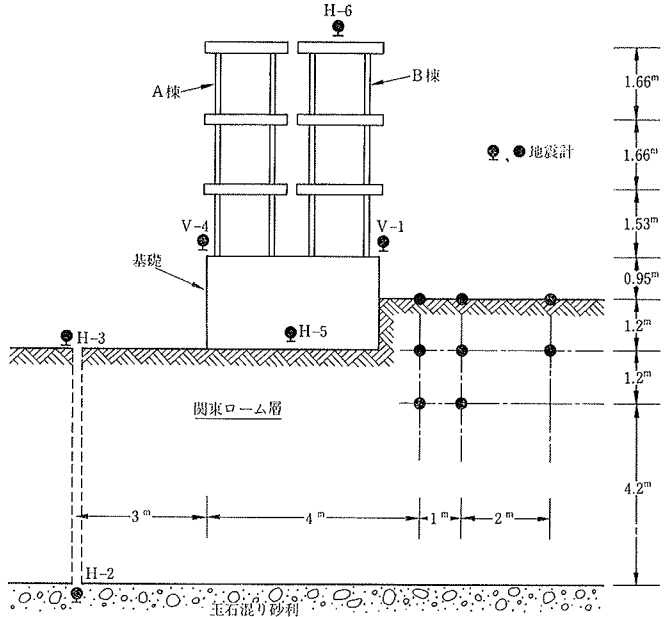


図-8 模型試験体の概要

表-3の減衰定数についてもすべて実験値<sup>6)7)</sup>から定めたものであるが、 $h_r = h_L$ としたことは仮定である。同表中の $h_g^v$ は上下動に関する外部粘性減衰であってP波の波動インピーダンス比 $\alpha_p$ を用いて $2\alpha_p/\pi$ から定めたものである。

5.3. 実験・観測結果の解析

まず、起振機実験結果の解析結果について述べる。図-10に上部建家屋階の共振曲線について、実験値と計

記号	mo 質量 (ton・s <sup>2</sup> /m)	K <sub>so</sub> 水平ばね (ton/m)	I <sub>o</sub> 質量回転慣性 (ton・s <sup>2</sup> ・m)	K <sub>ro</sub> 回転ばね (ton/radi)
値	4.573	28,768	10,991	134,380

表-1 基礎および地盤に関する諸定数

	H 層厚 (m)	C <sub>r</sub> S波速度 (m/s)	C <sub>t</sub> P波速度 (m/s)	$\rho$ 単位体積質量 (ton・s <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
表層地盤	5.4	143	380	0.122
下層地盤	—	466	2,100	0.214

表-2 地盤に関する諸定数

上部建家 h	表層地盤			
	材料減衰		外部粘性減衰	
	$h_r$	$h_L$	$h_g^s$	$h_g^v$
0.2	4	4	11.1	6.6

表-3 減衰定数

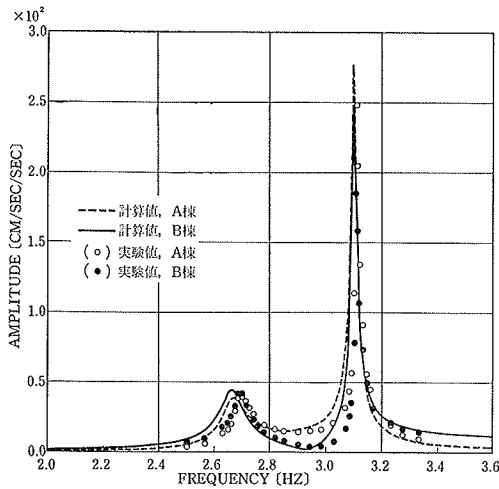


図-10 建家屋階の共振曲線の比較

算値を比較したものを示した。共振時のピーク値、A棟とB棟との相対関係等について実験値と計算値は良く一致していると言えよう。

次に、地震観測結果について考察する。入力波形(G.L. -5.4 m, 測点 H-3) を図-11に示した。この地震波は1975年6月29日に採取されたものである。図-12に観測記録と応答計算値とを対応させたものをしめた。図-12 a が基礎底部での波形であり、図-12 b がB棟屋階での波形である。特に基礎の波形は良く一致している。

以上の考察から、近似解を用いた解析手法の妥当性が得られたと考える。今後、本解析手法を用いて、建物-基礎-表層地盤連成系の耐震設計のための知見を得るための研究を進めたい。

## 6. まとめ

本報告の内容をまとめると次の様である。

- (1) 下方に設定する剛基礎の影響を取り除くための簡便な方法を提案した。
- (2) (1)を利用して弾性表層上の円形基礎の動的ばねおよび連成外力の近似解を誘導した。
- (3) 上記近似解を用いた建物-基礎-表層地盤連成系モデルで実験・観測結果を解析した結果、実験値と計算値は良い対応を示した。

## 参考文献

- 1) 小堀, 鈴木: Foundation Vibrations on a Viscoelastic Multilayered Medium, III-J.E.E.C., (1970)
- 2) J. E. Luco: Impedance Functions for a Rigid Foundation on a Layered Medium, Nuclear Engineering and Design, 31, (1974)

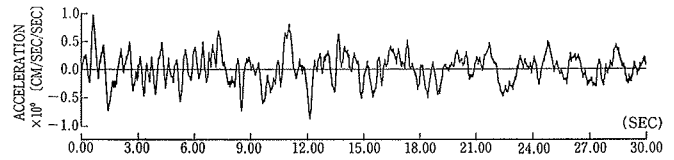


図-11 入力加速度波形 (G.L.-5.4 m)

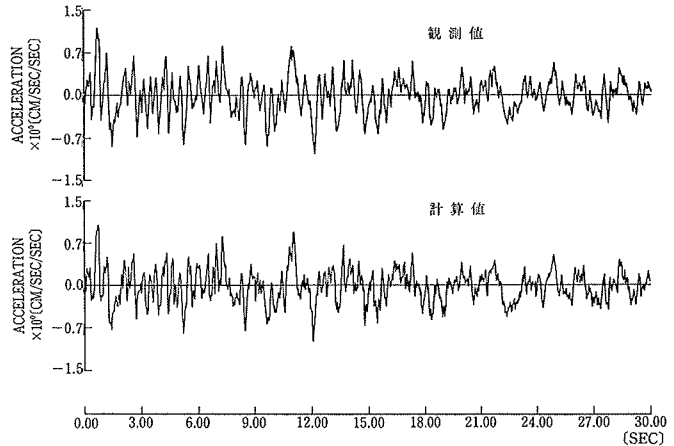


図-12.a 応答加速度波形の比較 (基礎)

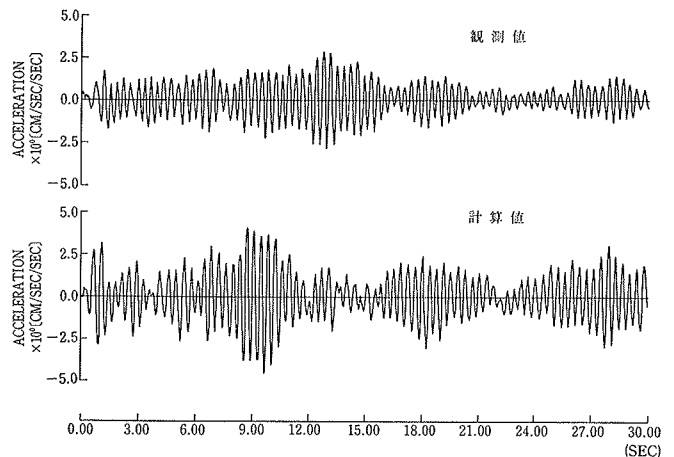


図-12.b 応答加速度波形の比較 (建家屋階)

- 3) E. Kausel, J. M. Roésset: Dynamic Stiffness of Circular foundations, EM6, ASCE, (December 1975)
- 4) S. A. Shau: Radiation and Scattering from a Rigid Inclusion in an Elastic Medium, Journal of Applied Mechanics, (June 1967)
- 5) 田治見: Dynamic Analysis of a Structure Embedded in an Elastic Stratum, IV-W.C.E.E., (1969)
- 6) 秋野, 中川, 伊藤, 安井, 若松, 金子: 相互作用を考慮した建家と地盤との動的挙動に関する研究 (その1~その3), 日本建築学会東海大会学術講演梗概集, (昭和51.10)
- 7) 斎藤, 後藤, 木村: 小さなヒズミ領域における粘性土の動弾性係数, 大林組技術研究所報, No. 10, (1975)