

地震応答解析における構造物基礎のモデル化について

京都大学工学部 正員 後藤 尚男
 京都大学工学部 正員 土岐 憲三
 京都大学大学院 学生員 ○吉原 進

1. はしがき

基礎工周辺の地盤の挙動は、松代群衆地震の観測結果でも報告されたとおり¹⁾、構造物の影響を強く受け、構造物の振動に類似したものとなる。また地盤の質量作用については、この取り扱いに多くの問題点があるが、筆者の1人が、近似的に質量を基礎工に付加して、この動的作用を解析する簡便法を提案したことがある。²⁾一す、構造物と地盤とを構成される振動系の解析的な取り扱いにおいては、連続な弾性体中にある剛体として考えられているが³⁾、これらはいずれも構造物底面に回転中心を有するような動揺振動に限られており、並進運動を伴う場合の境界条件を満足するような解は得られるに至っていない。そこで本研究においては、剛体基礎と地盤とを構成される不連続線型系に置換して、このような振動系の並進動揺振動を明らかにしようとした。

2. 構造物基礎のモデル化と運動方程式

ここでは基礎工と地盤の相互作用を重視するため、上部工は一応考慮外に置く。また基礎については、ウエル・ケーソンのような形式のものを対象とし、これを完全な剛体として取り扱う。図-1に示すように、地盤を仮想的な縦横の線で分割して出来るブロックの集合体であるとみなす。この各ブロックをそれぞれ1個の質点に置換し、この質点に1個のブロックの土の水平方向の剛度とせん断剛度を表わすバネ(バネ定数はそれぞれ k_i , f_i)と、土に減衰を表わすダッシュポット(c_i)とを取り付けて、図-2に示す振動系にモデル表示する。また剛体はその底部に回転中心を有するものとし、図に示した諸係数を用いると、この力学モデルの対

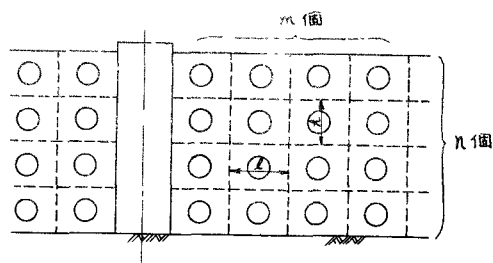


図-1

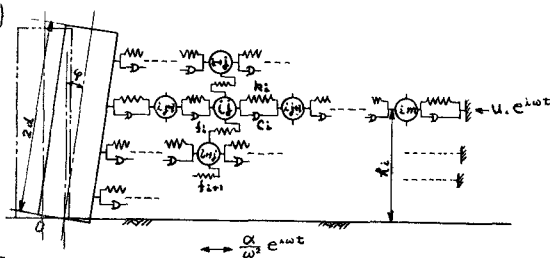


図-2 力学モデル

対変位に関する振動の運動方程式は式(1)で表わされる。なお上記のバネ定数および減衰係数はおののおの次式で与えられるものと考え

$$k_i = E_i r_i / l, \quad f_i = G_i / k_i, \quad c_i = 2\sqrt{W k_i} \cdot \zeta_i$$

ここに E_i , G_i , ζ_i は第 i 層のブロックの地盤のヤング率, せん断弾性係数および減衰定数である。

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + [K + f]x = F \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 $n = m = 3$ の場合を例にとると、

$$M = \begin{bmatrix} M_1 & & & & & \\ & W & & & & \\ & & W & & & \\ & & & W & & \\ & & & & W & \\ & & & & & W \\ 0 & & & & & & 0 \end{bmatrix} \quad K = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^3 k_i k_i^2 & -k_1 k_1 & -k_2 k_1 & -k_3 k_1 & & & \\ -k_1 k_1 & 2k_1 & & & & & \\ & & 2k_2 & & & & \\ & & & 2k_3 & & & \\ & -k_1 & -k_2 & 2k_1 & -k_1 & & \\ & & -k_2 & 2k_2 & -k_2 & & \\ & & & -k_3 & 2k_3 & -k_3 & \\ 0 & & & & & & 0 \end{bmatrix} \quad f = \begin{bmatrix} 0 \\ f_1 - f_1 \\ -f_1 f_1 f_1 - f_2 \\ -f_1 f_1 f_1 \\ f_1 - f_1 \\ -f_1 f_1 f_1 - f_2 \\ 0 \\ f_1 - f_1 \\ -f_1 f_1 f_1 - f_2 \\ -f_1 f_1 f_1 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^3 C_i k_i^2 & -C_1 k_1 & -C_2 k_1 & -C_3 k_1 & & & \\ -C_1 k_1 & 2C_1 & & & & & \\ & & 2C_2 & & & & \\ & & & 2C_3 & & & \\ & -C_1 & -C_2 & 2C_1 & -C_1 & & \\ & & -C_2 & 2C_2 & -C_2 & & \\ & & & -C_3 & 2C_3 & -C_3 & \\ 0 & & & & & & 0 \end{bmatrix} \quad F = \begin{bmatrix} -M_d \ddot{u}_0 - \sum_{i=1}^3 C_i k_i \dot{u}_0 - \sum_{i=1}^3 k_i k_i u_0 \\ k_1 u_0 + C_1 \dot{u}_0 \\ k_2 u_0 + C_2 \dot{u}_0 \\ (k_3 + f_3) u_0 + C_3 \dot{u}_0 \\ 0 \\ 0 \\ f_2 u_0 \\ k_1 u_1 + C_1 \dot{u}_1 \\ k_2 u_2 + C_2 \dot{u}_2 \\ k_3 u_3 + C_3 \dot{u}_3 \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} \varphi \\ x_{11} \\ x_{21} \\ x_{31} \\ x_{12} \\ x_{22} \\ x_{32} \\ x_{13} \\ x_{23} \\ x_{33} \end{bmatrix}$$

r : 回転中心まわりの回転2次半径, u_0 : 基礎層よりの変位入力 = $\alpha \omega^2$ α : 入力加速度

F の項の $u_1, u_2, \dots$ は m 列目の質点に与えられる, 地盤の変位応答量である。図-2 の基礎工を取り除いたモデルにおいて, 同一層内の質点間には相対変位が存在しないと仮定すれば, 式 (2) で表わされることになる。

$$M_d \ddot{u} + f_d u = F_d \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 $n = 3$ の場合を例にとると、

$$M_d = \begin{bmatrix} m & & \\ & m & \\ & & m \end{bmatrix} \quad f_d = \begin{bmatrix} f_1 & -f_1 \\ -f_1 & f_1 + f_2 & -f_2 \\ -f_2 & f_2 + f_3 \end{bmatrix} \quad F_d = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ f_1 u_0 \end{bmatrix} \quad U = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix}$$

次に地盤の質量を無視した基礎の運動方程式は式 (3) で表わされる。

$$M_1 \ddot{\varphi} + \sum_{i=1}^3 C_i k_i^2 \dot{\varphi} + \sum_{i=1}^3 k_i k_i^2 \varphi = -M_d \ddot{u}_0 + \sum_{i=1}^3 C_i k_i (\dot{u}_1 - \dot{u}_0) + \sum_{i=1}^3 k_i k_i (u_1 - u_0) \quad \text{----- (3)}$$

すなわち、式は図-1, 2において、第1列のみを考慮した場合に対応するので、本研究で取り扱う式 (1) は、こうした従来の方法に、さらに地盤の横方向のなかりと導入したものであるといえる。

3. 数値計算例

$n = m = 3$, $M = 5.8 \text{ kg sec}^2/\text{cm}$, $W = 1.8 \text{ kg sec}^2/\text{cm}$, $l = R = 10 \text{ m}$, $d = 20 \text{ m}$, $r = 23 \text{ m}$, $\alpha = 200 \text{ gal}$, $k_1 \sim k_3 = 1000, 2000, 3000 \text{ kg/cm}$, $f_1 \sim f_3 = 100, 200, 300 \text{ kg/cm}$, $C_1 \sim C_3 = 0$ のときの共振曲線の一例を図-3に示す。なお数値計算は京都大学電子計算機とDC-1を用いたが、その他の数値計算結果および考察は講演時にゆずる。

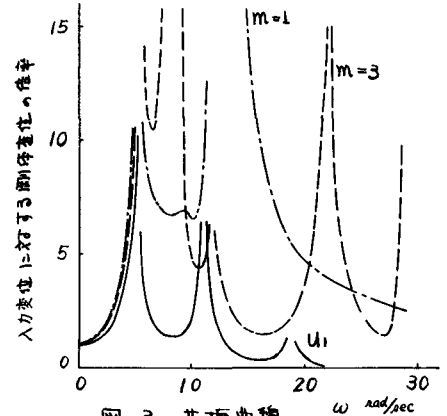


図-3 共振曲線

[参考文献] 1) 佐藤士雄・横山・奥田 初音石田; 京大防災研究所年報第10号 A 別刷, B8 41.

2) 佐藤・西頭; 土木学会論文集, 第83号, B8 37.7.

3) 田中忠; 日本地震工学会シンポジウム講演集, 1966.