

九州大学 工学部 正員 小坪 清真
九州工業大学 正員 高西 照彦

1. まえがき

著者等は前者¹⁾において、*feed-back* 理論による基礎地盤の地震応答解析法について論じ、2,3の計算例を示して、著者等の提案する解析法の有用性を確かめた。

本論は、同じく *feed-back* 理論を用いて図-1に示すような剛構造物-基礎地盤系の地震応答解析法について考察を行ったものである。なお本論では、図-1に示す系はその奥行方向の振動特性は一樣であると考えて2次元解析を行った。

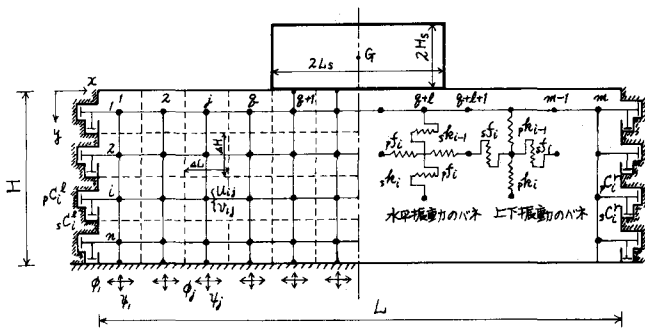


図-1 基礎地盤-剛構造物系の振動モデル

2. 解析の基本的考え方

一般の地盤はそれと各層の力学的性質が一樣な多層地盤で近似できると考える。まず、(1)本解法は、この多層地盤を多質点系に置換し、図-1に示す剛構造物-基礎地盤系に対する振動数および振動型を用いて、これを適当な次数までとって、その各振動型に適当な重みを掛けて加え合せて剛構造物および地盤内各点の変位を求めるいわゆる *modal analysis* の手法を用いる。つぎに、(2)この各振動型に対応する振動系に対する入力について考える。例えば多層地盤に対して適用される波動法の入力についてみれば、上層における加速度あるいは変位の一定割合がある一定の時間遅れをもって刻々基礎の入力に *feed-back* されていることが判る。したかつて前述の各振動系に対する入力についても同様に考えて、上層の各層における加速度の一定割合とある一定の時間遅れをもって刻々 *feed-back* することによって、各振動系に対する入力を補正し、その補正された入力を用いて刻々の応答計算を行えば、*modal analysis* の手法を用いて波の重複反射および屈折の現象を考慮した変位応答の近似値を得ることが出来る。図-1にみるように、その上部に剛体が存在する地盤部分と上部が自由表面である地盤部分については、勿論その入力に対する補正值 (*feed-back* すべき量) が異なる。この値に関する議論はオ5節で述べる。さらに、(3)地盤の水平方向の左右境界には図-1に示すように適当な *dash pot* を置いて、ここに到達した波はその全 *energy* を系外に逸散させるようにする。このようにすれば、水平方向に無限の広がりをもつ地盤の波動特性を図-1の系で近似的に表現できる。境界に設置する *dash pot* の減衰定数についてはオ6節に述べる。

3. 振動方程式

剛構造物および地盤内各点の相対変位は次式のように表わせる。

$$u_{ij} = \sum_{s=1}^n a_s U_{ijs}, \quad v_{ij} = \sum_{s=1}^n a_s V_{ijs}, \quad u_g = \sum_{s=1}^n a_s U_{gs}, \quad v_g = \sum_{s=1}^n a_s V_{gs}, \quad \theta_g = \sum_{s=1}^n a_s \theta_{gs} \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 u_{ij}, v_{ij} は質点 (i, j) の水平および上下方向変位、 u_g, v_g, θ_g は剛構造物の重心の水平、上下方向変位および回転角、 $U_{ijs}, V_{ijs}, U_{gs}, V_{gs}, \theta_{gs}$ はそれぞれ質点 (i, j) のオ s 次の水平、上下方向の振動型、

$$K_f = \begin{pmatrix} \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}$$

$$K_n = \begin{pmatrix} \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}$$

* K_p, K_p' は K_s, K_s' に おいて添字 s を添字 p に 変えればよい。

$$f_p = \begin{pmatrix} p_1 & 0 \\ 0 & p_m \end{pmatrix}$$

$$f_s = \begin{pmatrix} s_1 & 0 \\ 0 & s_m \end{pmatrix}$$

$$K_s = \begin{pmatrix} s k_1 & -s k_1 & 0 & \dots & \dots & \dots \\ -s k_1 & s k_1 + s k_2 & -s k_{n-1} & \dots & \dots & \dots \\ 0 & -s k_{n-1} & s k_{n-1} + s k_n & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}$$

$$K_p = \begin{pmatrix} p k_0 + p k_1 & -p k_1 & 0 & \dots & \dots & \dots \\ -p k_1 & p k_1 + p k_2 & -p k_{n-1} & \dots & \dots & \dots \\ 0 & -p k_{n-1} & p k_{n-1} + p k_n & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}$$

$$K_f = \begin{pmatrix} s k_0 & 0 & -s k_0 H s l \\ 0 & s k_0 l & s k_0 \sum_{i=1}^n (x_{p_i} - x_q) \\ -s k_0 H s l & s k_0 \sum_{i=1}^n (x_{p_i} - x_q) & s k_0 H s l + s k_0 \sum_{i=1}^n (x_{p_i} - x_q)^2 \end{pmatrix}$$

$$K_s' = \begin{pmatrix} -s k_0 & 0 & s k_0 H s \\ 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}_m$$

$$K_p' = \begin{pmatrix} 0 & -p k_0 & -p k_0 (x_{p_i} - x_q) \\ 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}_n$$

上式中、 c_i^2 等は図-1 に示すように地盤の水平方向の境界における dashpot の減衰定数を表わす。
 s_i, k_i 等は図-1 に示すようなバネのバネ定数である。 n は剛構造物と接する質点の数、 x_{p_i}, x_q はそれぞれ図-1 に示す座標軸の原点から質点 (i, p_i) まで、および剛構造物の重心までの距離である。

さて、(5) 式において $C=0, F=0, \tilde{x} = \tilde{X} \sin \omega t$ ----- (6)

とすれば $(-\omega^2 M + K_f + K_n) \tilde{X} = 0$ ----- (7)

したがって、振動数方程式は次の行列式で与えられる。

$$|K_f + K_n - \omega^2 M| = 0 \text{ ----- (8)}$$

つぎに、各次数に対する振動型は (8) 式を満足する各 ω_i の値に応じて、(7) 式を満足する \tilde{X}_i として求めることができる。

さらに、基礎盤上の右角が水平方向に単位長の静変位をした時の各角の弾性変位は、(5) 式において、 $C=0, F=0$ とおき、列ベクトル F の要素中、 $p_n=1, p_i=0, q_i=0$ ($i=1, 2, \dots, k-1, k+1, \dots, m$) とし、すなわち、次式を解いて \tilde{x} を求めればよい。 $(K_f + K_n) \tilde{x} = F (p_n=1)$ ----- (9)

5. 入力波動 $\tilde{x}(t), \tilde{y}_n(t)$ について

図-1 において、その上部が自由表面である場合の入力波動に対する補正量については、既に前著⁰¹⁾ で詳しく述べた。その上部に剛構造物が存在している場合の入力波動に対する補正量に関する議論については、紙数の関係でここには述べない。

6. 減衰定数について

基礎地盤の水平方向の境界に設置した dashpot の減衰定数は次のように考えてその値を決めた。すなわち、この境界を透過する縦波および横波の1波長当りの全 energy が、そこに設置された dashpot によって 1 cycle 当りに失われる energy に等しくなるようにその減衰定数の値を定めた。例えば $p_i c_i^2$ は $p_i c_i^2 = \frac{\sigma}{2} S C_p$ と表わせる。 σ : 断面積、 C_p : 縦波の速度。

7. 数値計算

数値計算結果については講演時発表の予定である。

(1): 小坪・高西 「Feed-Back系による地盤振動の反射屈折現象の表現」