

地中構造物の動的剛性と減衰の評価

神戸大学工学部 正員 ○高田至郎
神戸大学工学部 学生員 時政 宏

1. まえがき：前報⁽¹⁾では、弾性波動論を用いて、地中基礎構造物の一方に、波動を反射する境界壁を有する振動系が基盤より定常正弦波入力を受ける場合を解析し、動的剛性と減衰の増減について検討を加えた。その際、境界壁の存在によって周辺地盤の運動が拘束されることの影響は考慮されていなかった。すなわち、Fig. 1 に示すように、 B/a が小さい場合には剛性、減衰の増分とも値は小さく、 B/a の増大とともに境界壁のない半無限地盤の時の値に収束する傾向が見られ、構造物の近傍に境界壁がある場合には応答値が大きくなることが予測される。しかし、境界壁の近くでは地盤運動が拘束されるために、応答値が小さくなる可能性もあり、波動反射の影響と運動拘束による見掛け上の地盤剛性の増加を同時に考える必要がある。本文では、境界条件を検討することによって上述の問題点の検討を試みる。また、室内模型実験によって本解析の妥当性について検討する。なお、Fig. 1 における記号のうち、 ΔEI , Δh は構造物の動的剛性と減衰の増分、その他については Fig. 2 に示す。

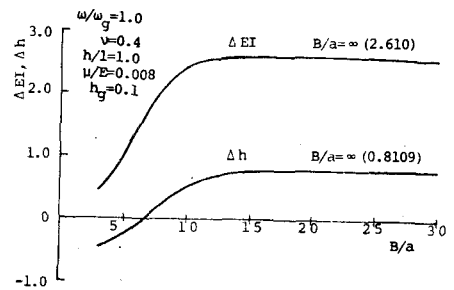


Fig. 1 Effects of B/a on ΔEI and Δh

2. 解析手法： ϕ_0 , ψ_0 を最初に構造物振動によって引き起こされる地盤内散乱波動の圧縮波、せん断波のポテンシャルとし、 ϕ_1 , ψ_1 を ϕ_0 , ψ_0 によって ($y = -B$ における境界壁での条件を満足するポテンシャルと考える。 ϕ_1 , ψ_1 のポテンシャルは半無限地盤の場合には、逸散波動としての効果をもつものであるが、本解析モデルでは、反射波動として構造物に対する入力エネルギーとなると同時に、境界近傍での地盤運動の拘束を表わすものである。Fig. 2 に示すように地盤層全体が振動することによって、強制外力項 $u_g e^{i\omega t}$ に対する地盤の相対変位は次式となる。

$$v_0 = - \sum_{m=1}^{\infty} \frac{2U_g}{\pi \alpha_m H} \left(\frac{\omega}{\omega_g \bar{\zeta}_m} \right)^2 \sin \alpha_m z \cdot e^{i\omega t} \quad (7)$$

ここに、 $\bar{\zeta}_m^2 = (\omega/\omega_g)^2 - (2m-1)^2(1 + i2\gamma\omega/\omega_g)$ である。
式(1)を積分表示することによって式(2)を得る。

$$v_0 = - \frac{4}{\pi} \frac{U_g}{\alpha_m H} \left(\frac{\omega}{\omega_g \bar{\zeta}_m} \right)^2 \int_0^{\infty} \frac{\sin kb \cos kx \cdot dk}{k} \sin \alpha_m z \cdot e^{i\omega t} \quad (2)$$

ただし、式(2)は $|x| < b$ で成立するものである。これより、 ϕ_0 , ψ_0 に対応する $y = -B$ での相対変位 u , v を直角座標系で表示すれば次式となる。

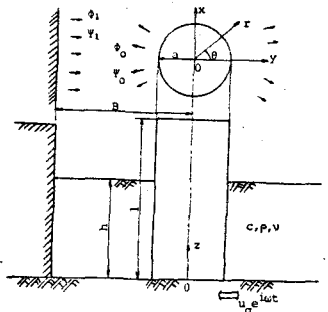


Fig. 2 Analytical Model

(1) 高田至郎：地中基礎構造物の動的剛性と減衰に及ぼす表層構造の影響，試験第4回地震工学研究発表会，1976

$$u = \frac{2i}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \sin \alpha_m z e^{i\omega t} \int_0^{\infty} \left(-\frac{e^{-\nu_k l}}{k_m} A_m + \frac{e^{-\nu_k l}}{k_m} B_m \right) k \sin kx dk, \quad v = v_0 + \frac{2i}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \sin \alpha_m z e^{i\omega t} \int_0^{\infty} \left(\frac{\nu_k e^{-\nu_k l}}{k_m} A_m - \frac{k^2 e^{-\nu_k l}}{k_m \nu_k} B_m \right) \cos kx dk \quad (3)$$

さらに、反射波動ポテンシャル、 ϕ 、 ψ による $y = -B$ での変位 $\bar{u}$ 、 $\bar{v}$ を次式で仮定する。

$$\bar{u} = \sum_{m=1}^{\infty} \sin \alpha_m z e^{i\omega t} \int_0^{\infty} (C_m - D_m) k \sin kx dk, \quad \bar{v} = \sum_{m=1}^{\infty} \sin \alpha_m z e^{i\omega t} \int_0^{\infty} (\nu_k C_m - \frac{k^2}{\nu_k} D_m) \cos kx dk \quad (4)$$

式(3)において、 $k_m = \omega g \sqrt{z_m / \nu_k}$ 、 $\beta_m = \omega g \sqrt{z_m / \nu_k}$ 、 $\nu_k^2 = k^2 - k_m^2$ 、 $\nu_k^2 = k^2 - \beta_m^2$ であり、 ν_k, ν_k は地盤内での縦波、横波の速度を示す。ここで、境界壁($y = -B$)で相対変位がゼロの条件 $u + \bar{u} = 0$ 、 $v + \bar{v} = 0$ に式(3)、(4)を代入すれば、地盤運動拘束の影響を導入することができる。これより、定数 C_m 、 D_m が未知定数 A_m 、 B_m を含んだ形で決定されることになる。前報⁽¹⁾で式(7)に対応するポテンシャルは次式となる。

$$\phi = \sum_{m=1}^{\infty} \left[A_m H_1^{(2)}(k_m r) + \left\{ A_m a_m + B_m b_m + \frac{2\omega g (\omega \sqrt{z_m})^2}{\alpha_m H_1^{(2)}(\alpha_m z_m)} e_m \right\} J_1(k_m r) \right] \sin \alpha_m z \sin \theta e^{i\omega t}$$

$$\psi = \sum_{m=1}^{\infty} \left[\left\{ A_m c_m + B_m d_m + \frac{2\omega g (\omega \sqrt{z_m})^2}{\alpha_m H_1^{(2)}(\alpha_m z_m)} f_m \right\} J_1(\beta_m r) + B_m H_1^{(2)}(\beta_m r) \right] \sin \alpha_m z \cos \theta e^{i\omega t} \quad (5)$$

なお、係数 $a_m \sim d_m$ は前報⁽¹⁾と同一であり、 e_m, f_m は次式が与えられる。

$$e_m = \frac{4}{k_m \pi} \int_0^{\infty} \frac{\nu_k \nu_k e^{-\nu_k l}}{k^2 - \nu_k^2} \frac{\sin kb}{k} dk, \quad f_m = -\frac{4i}{k_m \pi} \int_0^{\infty} \frac{k^2 e^{-\nu_k l}}{k^2 - \nu_k^2} \frac{\sin kb}{k} dk \quad (6)$$

なお、以下の解析手法については前報⁽¹⁾と同様であり、本文では省略する。また、Fig. 1に対応する数値計算結果については講演時に示す。

3.室内模型実験：Fig. 3のようなモデル化のもとに模型実験を行なった。相似律については、検討を行なった結果、模型の寸法、構造物および地盤の材料を考慮し、長さ比 $L_p/L_m = 100$ 、密度比 $\rho_p/\rho_m = 1.8$ 、弾性定数比 $E_p/E_m = 10,000$ なる値を用いた。

地盤材料としてはアクリルアミド系グラウト割(日東SS 30R、 $E_s = 0.24 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\rho_s = 1.0 \text{ g/cm}^3$)、構造物材料としてはシリコンゴム($E_p = 30 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\rho_p = 1.5 \text{ g/cm}^3$)を用いた。なお反射波の影響を軽減するため、ケイ酸ソーダ(水ガラス)の緩衝帯をつくり、モデル無限地盤の実現を図った。計測装置は、振動台に加速度計を設置し、入力加速度を測定し、構造物には加振方向にひずみゲージをろ点に、また頂部には加速度計を取り付け入力加速度一定の際のひずみおよび加速度の応答を測定した。実験は定常加振とし、境界壁の位置を変え、構造物および地盤の応答の相違を調べた。

Fig. 4は、境界壁の位置を変えた際の構造物頂部の加速度応答である。その他の考察の結果は講演時に述べる。

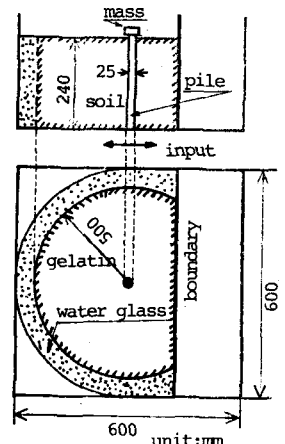


Fig. 3 Experimental model

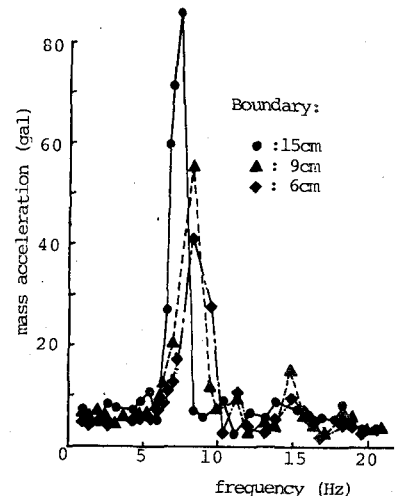


Fig. 4 Resonance curves