

I-454

斜杭を有する群杭基礎構造物に対する地震応答解析手法の提案

清水建設(株) 正会員 若原 敏 裕 正会員 田 蔵 隆
 清水建設(株) 正会員 清水 勝 美 正会員 中 桧 新
 清水建設(株) 正会員 木 全 宏 之 正会員 古 川 禎 一

1. 概 説

筆者らは前報^{1)~3)}で上部工を質点ばね系モデルとし、杭・地盤系を3次元弾性波動論に基づく連続系モデルとした群杭基礎構造物の地震応答解析手法を提案した。本報は前報の提案手法を拡張し、斜杭が存在する場合の群杭基礎構造物に対する地震応答解析手法について検討したものである。

2. 解 析 理 論

図-1に示すように上部工を質点ばね系モデルとし、杭・地盤系を3次元弾性波動論に基づく連続系モデルとした群杭基礎構造物系モデルについて考える。動的サブストラクチャー法の理論に従い、ここではこれを図-2(a)(b)に示すような上部工モデルと杭・地盤系モデルに分割する。図-2(a)の上部工モデルに対する有効入力 $u_{pg} + u_g$ は、図-2(b)の杭・地盤系モデルにおいて、基盤からの入射波 u_g に対する杭頭部の応答として与えられる⁴⁾。上部工の水平変位を u_1 とし、フーチングの水平変位および回転角をそれぞれ u_0 および θ_0 と定義すると、有効入力 $u_{pg} + u_g$ に対する上部工モデルの振動方程式は次式のように書ける。

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} + \{F\} + \{P\} = \{0\} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $[M]$ 、 $[C]$ 、 $[K]$ は質量、減衰および剛性マトリックスであり、 $\{u\}$ 、 $\{\phi\}$ 、 $\{F\}$ 、 $\{P\}$ は変位ベクトル、有効入力ベクトル、地盤振動による杭の相対変位 u_{pg} に比例する復元力ベクトル、フーチングに作用する土圧ベクトルであり、それぞれ以下のように表される。

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & & \\ 0 & m_0 & \\ m_1 H_1 & 0 & J_0 + m_1 H_1^2 \end{bmatrix} \quad [C] = \begin{bmatrix} c_1 & & \\ -c_1 & c_1 & \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 & & \\ -k_1 & k_1 + K^{xx} & \\ 0 & K^{\theta x} & K^{\theta\theta} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\{u\} = \begin{Bmatrix} u_1 + u_0 \\ u_0 \\ \theta_0 \end{Bmatrix} \quad \{\phi\} = \begin{Bmatrix} u_{pg} + u_g \\ u_{pg} + u_g \\ 0 \end{Bmatrix} \quad \{P\} = \begin{Bmatrix} 0 \\ -P_e \\ 0 \end{Bmatrix} \quad \{F\} = \begin{Bmatrix} 0 \\ F_x \\ F_\theta \end{Bmatrix} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 m_1 、 m_0 、 J_0 は上部工の質量、フーチングの質量、フーチングの回転慣性であり、 H_1 は上部工の高さ、 k_1 、 c_1 は上部工のばね定数と減衰係数である。 K^{xx} 、 $K^{\theta x}$ 、 $K^{\theta\theta}$ は杭頭インピーダンスであり、これらはフーチングの埋設深さ H_1 を考慮して、以下のように与えられる。

$$K^{xx} = K_A^{xx}(\omega) + K_B^{xx}(\omega) \quad K^{\theta x} = K_A^{\theta x}(\omega) + K_B^{\theta x}(\omega) - (H_1/2) \{K_A^{xx}(\omega) + K_B^{xx}(\omega)\} \quad \dots\dots (4)$$

$$K^{\theta\theta} = K_A^{\theta\theta}(\omega) + K_B^{\theta\theta}(\omega) - (H_1/2) \{K_A^{\theta x}(\omega) + K_B^{\theta x}(\omega)\} + (H_1/2)^2 \{K_A^{xx}(\omega) + K_B^{xx}(\omega)\}$$

ここに、添字^xおよび添字^{\theta}はx軸方向のスウェイ成分およびy軸回り(時計回りの回転を正とした)のロッキング成分を表しており、添字_Aおよび添字_Bは3.で示すような、杭の軸変形および曲げ変形に対応する杭頭

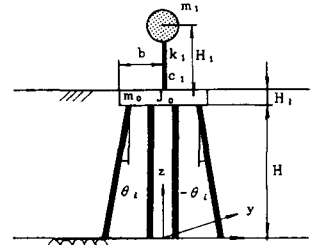


図-1 解析モデル

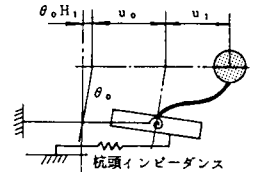


図-2 (a) 上部工モデル

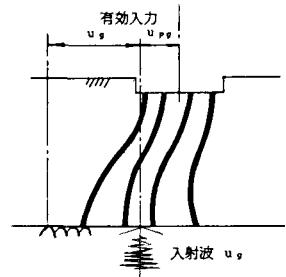


図-2 (b) 杭・地盤系モデル

インピーダンスを表している。 P_θ はフーチングを円筒剛体と仮定し、田治見式で与えられる地盤反力を埋設深さ H_1 で積分した合力によって求めたフーチング側面に作用する土圧⁵⁾である。また、 F_x および F_θ は、

$$F_x = K_A^{xx}(\omega) u_{pg}, \quad F_\theta = K_A^{x\theta}(\omega) u_{pg} - (H_1/2) K_A^{xx}(\omega) u_{pg} \quad \dots\dots\dots (5)$$

である。

3. 杭頭インピーダンス

$K_A^{xx}(\omega)$ 、 $K_B^{xx}\dots$ は図-3に示す杭の軸変形モデルおよび曲げ変形モデルに対して与えられる杭頭インピーダンスである。軸変形モデルとは杭の軸方向の変形だけを許したモデルであり、曲げ変形モデルとは杭の曲げ変形だけを許容したモデルである。 $K_A^{xx}(\omega)$ 、 $K_B^{xx}\dots$ は以下のように与えられる⁴⁾。

$$\left. \begin{aligned} K_A^{xx}(\omega) &= e_{NA}^{xx} \sum_{i=1,2}^N N_i^u(H, \omega) \sin \theta_i \\ K_A^{x\theta}(\omega) &= -e_{NA}^{x\theta} \sum_{i=1,2}^N N_i^u(H, \omega) \ell_{xi} \cos \theta_i \\ K_A^{\theta\theta}(\omega) &= e_{NA}^{\theta\theta} \sum_{i=1,2}^N N_i^\theta(H, \omega) \sin \theta_i \\ K_A^{\theta x}(\omega) &= -e_{NA}^{\theta x} \sum_{i=1,2}^N N_i^\theta(H, \omega) \ell_{xi} \cos \theta_i \\ K_B^{xx}(\omega) &= e_{NB}^{xx} \sum_{i=1,2}^N Q_i^u(H, \omega) \\ K_B^{x\theta}(\omega) &= -e_{NB}^{x\theta} \sum_{i=1,2}^N M_i^u(H, \omega) \\ K_B^{\theta\theta}(\omega) &= e_{NB}^{\theta\theta} \sum_{i=1,2}^N Q_i^\theta(H, \omega) \\ K_B^{\theta x}(\omega) &= -e_{NB}^{\theta x} \sum_{i=1,2}^N M_i^\theta(H, \omega) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

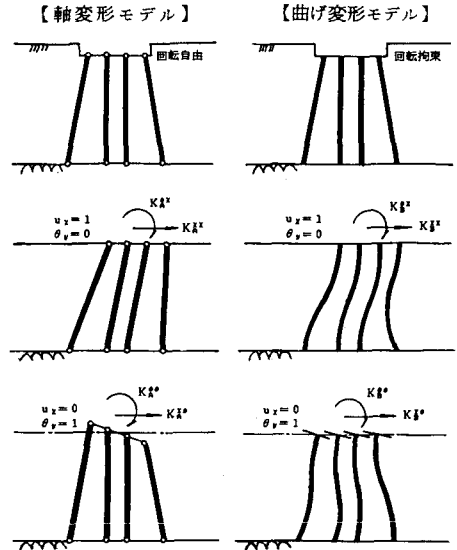


図-3 杭の軸変形および曲げ変形モデル

ここに、 N_i 、 Q_i 、 M_i はそれぞれ杭頭の軸力、せん断力および曲げモーメントであり、添字 u および添字 θ は図-3に示すように、杭頭における変位条件($u_x=1$ あるいは $\theta_y=1$)に対応する成分を表している。また、 e_{NA}^{xx} 、 $e_{NB}^{xx}\dots$ は杭頭インピーダンスの各要素に対応する群杭効率であり、 N は杭本数である。

4. 有効入力

杭・地盤系の振動において、基盤から単位振幅を有する調和波が入射した場合の基盤変位に対する単杭の杭頭相対変位の増幅率を $G^*(H, \omega)$ と書くことにする。さらに、地盤振動によって生じる単杭と群杭の杭頭変位の差異が群杭効率 e_{pg} によって表されるとすることにより⁶⁾、群杭基礎の地盤振動による杭頭変位、すなわち有効入力 $u_{pg} + u_g$ は以下のように定義できる⁷⁾。

$$u_{pg} + u_g = \{e_{pg} \cdot G^*(H, \omega) + 1\} u_g \quad \dots\dots\dots (7)$$

5. あとがき

本報で示した提案手法の有効性は、橋脚基礎杭の地震観測記録に基づく地震応答解析によって検討しており、別報でその内容を報告している⁸⁾。なお、本研究において、九州大学 小坪清真教授、鳥野 清助教授、九州工業大学 高西照彦教授からご指導を賜った。記して深謝の意を表す次第である。

参考文献

- (1) 田蔵、中松、清水、若原：上部工の振動特性を考慮した杭基礎構造物の地震応答解析手法、第12回土木学会関東支部技術研究発表会、1985年3月。
- (2) 田蔵、中松、清水、木全、古川、若原：基礎杭の地震時挙動を支配する外的要因の定量的検討、第18回地震工学研究発表会、1985年7月。
- (3) 大平、田蔵、中松、清水：軟弱地盤中の基礎杭の地震時挙動特性に関する研究、土木学会論文集、第362号/1-4、1985年10月。
- (4) 田蔵、中松、清水、木全、古川、若原：斜杭を有する群杭基礎構造物の地震応答解析手法、第21回土質工学研究発表会、1986年6月。
- (5) 多賀、飯場：地震時の杭体の受ける変位・応力性状、第19回土質工学研究発表会、1984年6月。
- (6) 若原、大平、小坪、高西、鳥野：地盤変形による群杭効率の解析的研究、九州大学工学集報、第58巻第3号、1985年6月。
- (7) 大平、田蔵、若原、小坪、高西、鳥野：斜杭を有する杭基礎構造物の地震応答解析法、九州大学工学集報、第59巻第1号、1986年1月。
- (8) 若原、田蔵、中松、清水、木全、古川：斜杭を有する群杭基礎構造物の地震時挙動特性、土木学会第41回年次学術講演会、1986年11月。