

I-395 群杭基礎の有効入力動に関する基礎的研究

清水建設(株) (正) 田蔵 隆 (正) 若原 敏裕
(正) 清水 勝美 (正) 松崎 雅彦

1. まえがき

本報は群杭基礎の有効入力動に関して考察したものである。まず、理論上の定式化とそれに基づく数値解析例を示した。さらに、群杭基礎の道路橋橋脚に対して行った地震観測記録に基づく検討を行い、その結果について考察した。

2. 群杭基礎の有効入力動に関する理論的検討

単杭基礎の有効入力動 $u_p^{eff}(H, \omega)$ は、田治見⁽¹⁾による弾性波動論に基づく地震応答解(図1参照)、

$$u_p(z, \omega) = V \cdot F^*(z, \omega) + u_g \cdot G^*(z, \omega) \quad \cdots \cdots (1)$$

において、 $z = H$ としたときの右辺第2項で与えられる。すなわち、

$$u_p^{eff}(H, \omega) = u_g \cdot G^*(H, \omega) \quad \cdots \cdots (2)$$

であり、これは無質量のフーチングに杭頭が剛結されている杭基礎の地盤のせん断振動によって生じる杭頭変位を表している。ここに、 u_p は基盤に対する杭の相対水平変位、 z は杭先端から上方に定めた座標変数、 ω は加振円振動数、 u_g は基盤水平変位、 V は杭頭に作用する水平荷重、 $F^*(z, \omega)$ は杭頭水平荷重に対する杭・地盤系の複素剛性の逆数、 $G^*(z, \omega)$ は地盤のせん断振動による基盤変位 u_g に対する杭の相対変位の増幅係数である。なお、紙面の都合上、 $F^*(z, \omega)$ および $G^*(z, \omega)$ の両式の詳細は、参考文献(2)に譲る。群杭基礎の地震応答解 $u_p^q(H, \omega)$ は、次式のように定義できる⁽²⁾⁽³⁾。

$$u_p^q(H, \omega) = V \cdot F^{q*}(H, \omega) + u_g \cdot G^{q*}(H, \omega) \quad \cdots \cdots (3)$$

ここに、 $F^{q*}(H, \omega) = F^*(H, \omega) / (e^{f_N}(\omega) \cdot N)$ 、 $G^{q*}(H, \omega) = e^{g_N}(\omega) \cdot G^*(H, \omega)$ $\cdots \cdots (4)$ であり、 $e^{f_N}(\omega)$ 、 $e^{g_N}(\omega)$ はそれぞれ杭頭水平定常加振による群杭効率、地盤変形による群杭効率、 N は杭本数である。(3)式より、群杭基礎の有効入力動 $u_p^{q, eff}(H, \omega)$ は以下のように定義できる。

$$u_p^{q, eff}(H, \omega) = u_g \cdot e^{g_N}(\omega) \cdot G^*(H, \omega) \quad \cdots \cdots (5)$$

3. 数値解析例

本研究では、自然地盤地表部の加速度応答に対する群杭基礎の有効入力動(ここでは加速度応答で定義した)の比、これを杭基礎の有効入力動係数 $\eta(\omega)$ と称することにし、以下のように定義する。

$$\eta(\omega) = | \{ G^{q*}(H, \omega) + 1 \} / [(\omega/\omega_g)^2 \sum_{n=1}^{\infty} \{ 4 / (n\pi) \} (1/\xi_n^2) (-1)^{\frac{n-1}{2}} + 1] | \quad \cdots \cdots (6)$$

ここに、 $\xi_n = \sqrt{n^2 - (\omega/\omega_g)^2 + i 2 \zeta_n n^2 (\omega/\omega_g)}$ 、 $i^2 = -1$ 、 ω_g は地盤の1次固有円振動数である。 $\eta(\omega)$ が1.0であれば、群杭基礎の有効入力動が自然地盤地表部と同じ加速度応答を示すことを意味し、 $\eta(\omega)$ が1.0より大きい場合は有効入力動が自然地盤地表部の応答より大きくなることを表している。

数値解析例として、地盤の1次固有周期 T_0 と杭本数 N をパラメータとした場合の解析結果について示す。図2および図3は、それぞれ16本杭モデル(4列×4列)、64本杭モデル(8列×8列)に対する解析結果であり、 T_0 を0.5秒、1.0秒、1.5秒としたものである。また、杭配置は正方配列とし、杭径 $\phi = 600$ mm、肉厚 $t = 9$ mm、杭長 $l = 20$ m(=表層厚 H)、杭間隔はすべて $2.5 \phi (=1.5$ m)とした。地盤変形による群杭効率 $e^{g_N}(\omega)$ に対しては、静的な群杭効率 $e^{g_N}(\omega = 0)$ を適用した⁽⁴⁾。

これより地盤の固有周期 T_0 が0.5秒の場合、図示した周期領域において $\eta(\omega)$ はほぼ1.0であり、有効入力動と自然地盤地表部の応答に大きな差は発生しないことが分かる。しかし、固有周期 T_0 が1.0~1.5秒と地盤が軟弱になるに従い、短周期領域で $\eta(\omega)$ が1.0より小さくなる領域と $\eta(\omega)$ が1.0より大きくなる領域が現れる結果になっている。これは杭部と地盤部の振動に位相のずれが生じるためである⁽⁵⁾。

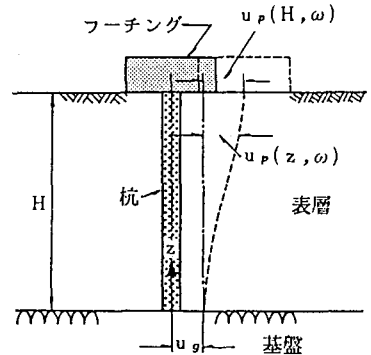


図1 杭基礎構造物の杭変位

4. 地震観測記録に基づく群杭基礎の有効入力動に関する考察

過去に実施した道路橋橋脚に対する地震観測記録に基づき、群杭基礎の有効入力動に関する考察を行う。地震観測の対象とした橋脚の基礎は8列×8列の群杭基礎である。表層厚Hは20mであり、地盤のせん断型の1次固有周期 T_a は1.4秒である。なお、地震観測の詳細は参考文献(2)に譲る。

図4は地震観測から得られた加速度記録に基づき、基盤に対する自然地盤地表部(図中破線)およびフーチング部(図中実線)の平均周波数伝達関数について示したものである。また、図5は図4の平均周波数伝達関数の両者の比をとったものである。

2. で述べたように、群杭基礎の有効入力動とは上部工が無く、無質量のフーチングに杭頭が剛結されている杭基礎の杭頭部の応答であることから、図5の曲線は有効入力動係数 $\eta(\omega)$ の定義に完全に合致したものにはなっていない。しかし、本橋脚下端を完全固定としたときの1次固有周期 T_1 はおよそ0.5秒であり、0.5秒より長い周期領域では同位相で振動する上部工の慣性力によって、フーチング部の応答は有効入力動以上となっているはずである。特に、地盤の1次固有周期 $T_a=1.4$ 秒付近ではその影響は顕著であると考えられる。一方、0.5秒以下の短周期領域では上部工の振動と有効入力動が逆位相となる状態が現れ、その周期領域でのフーチング部の応答は有効入力動以下になっているはずである。

図5の曲線の変化は図3に示した有効入力

動係数 $\eta(\omega)$ に対して、上記の現象を反映したものになっていると見ることができ、実現象として群杭基礎の有効入力動が自然地盤の応答より小さくなる部分と大きくなる部分が発生していると考えられる。

5. あとがき

短周期領域において、群杭基礎の有効入力動が自然地盤の応答より大きくなる部分が存在する。このことは今後の杭基礎構造物の耐震設計における留意点の一つであると考えられる。

6. 参考文献

- (1) 田治見：深い基礎を有する構造物の地震時応答について、第2回日本地震工学シンポジウム、1966年10月。
- (2) 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、1-4、土木学会論文集、第362号、1985年10月。
- (3) 田蔵、清水、若原：Seismic Observations and Analysis of Grouped Piles, Proceedings of the Symposium on Dynamic Response of Pile Foundations: Experiment, Observation and Analysis, ASCE, April, 1987.
- (4) 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、1985年6月。
- (5) 田蔵、若原、清水、松崎、岡内：群杭基礎構造物の有効入力動に関する研究、第22回土質工学研究発表会、1987年6月。

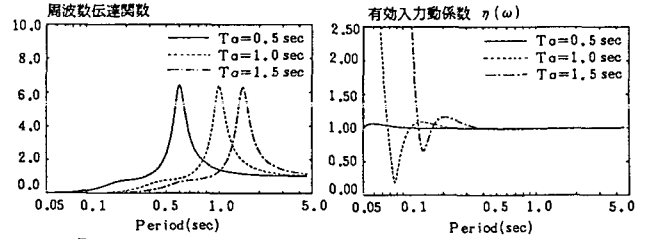


図2 群杭基礎(16本; 4列×4列)の有効入力動

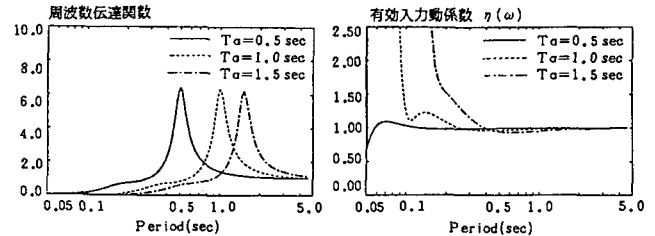


図3 群杭基礎(64本; 8列×8列)の有効入力動

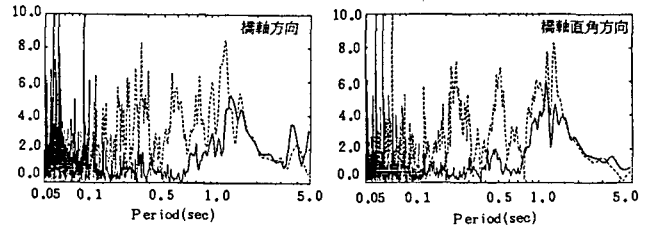


図4 地震観測記録による基盤に対する自然地盤地表部とフーチング部の平均周波数伝達関数

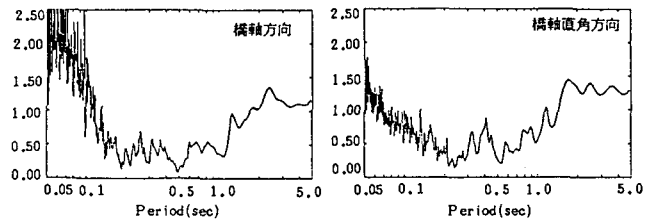


図5 自然地盤に対するフーチング部の周波数伝達関数