

I-492

地盤と群杭基礎構造物の動的相互作用を考慮した加速度応答スペクトルに関する考察

清水建設（株）技術研究所 正会員 若原 敏裕
 清水建設（株）技術研究所 正会員 田蔵 隆
 清水建設（株）技術研究所 正会員 清水 勝美

1. ま え が き

本報は、地盤と群杭基礎の動的相互作用を考慮した加速度応答スペクトルについて検討したものであり、従来動的解析を実施することにより求められていた群杭基礎構造物の地震時応答に及ぼす動的相互作用の影響に関して、本提案手法に基づくパラメータ解析から明らかにした。

2. 動的相互作用を考慮した加速度応答スペクトル

図1に示すような1質点ばね系にモデル化された上部構造物を有する群杭基礎構造物を考えることにする。弾性波動論に基づき単杭の地震応答について導かれた田治見の式¹⁾を群杭基礎に応用すると、基盤入力変位 u_g に対する上部構造物の絶対応答変位 $u_1 + u_0 + u_g$ は以下のように表される²⁾。

$$u_1 + u_0 + u_g = \frac{H_1^*(\omega/\omega_1, h_1) \{1 + G^{G*}(H, \omega)\} u_g}{1 - \omega^2 M \cdot F^{G*}(H, \omega) \{\mu_1 H_1^*(\omega/\omega_1, h_1) + \mu_0\}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 u_1 および u_0 は上部構造物およびフーチングの水平変位であり、 m_1 、 m_0 をそれぞれ上部構造物およびフーチングの質量とすれば、上式において、 $M = m_1 + m_0$ 、 $\mu_1 = m_1/M$ および $\mu_0 = m_0/M$ である。また、 $H_1^*(\omega/\omega_1, h_1)$ は、固有円振動数 ω_1 、減衰定数 h_1 として求められる1質点ばね系モデルに対する周波数伝達関数を表し、 $F^{G*}(H, \omega)$ および $G^{G*}(H, \omega)$ は、群杭基礎の杭頭水平荷重に対する杭頭複素剛性の逆数および基盤変位 u_g に対する地盤のせん断振動による杭頭相対変位の増幅係数であり、それぞれ3次元弾性波動論より求めることができる³⁾。

地盤と群杭基礎構造物の動的相互作用を考慮した加速度応答スペクトルは、(1)式において、上部構造物の固有周期 $T_1 = 2\pi/\omega_1$ をパラメータとして、最大絶対加速度応答 $|\ddot{u}_1 + \ddot{u}_0 + \ddot{u}_g|_{\max}$ を計算することによって求めることができる。

3. 数 値 解 析 例

数値解析の対象とした群杭基礎は、図2に示すような16本(4列×4列)、36本(6列×6列)および64本(8列×8列)の3種類の群杭基礎であり、いずれも杭径 $\phi = 600\text{mm}$ 、肉厚 $t = 9\text{mm}$ の鋼管杭である。杭間距離 L はすべて 2.5ϕ とし、杭長は $l = 20\text{m}$ (=表層厚 H) とした。また、上部構造物およびフーチングの質量は、 $m_0 = m_1 = 150\text{tf} \cdot \text{s}^2/\text{m}$ とした。図3は数値解析結果の一例として示したもので、地盤の卓越周期 T_g を1.0秒、地盤および上部構造物の減衰定数を $h_g = 0.10$ および $h_1 = 0.05$ とし、基盤での入力最大加速度を100ガルとしたEL-CENTRO波N成分に対する加速度応答スペクトルである。なお、図中の破線は自然地盤状態の地表部で得られる加速度応答波形に基づく加速度応答スペクトルである。

図3の結果より、地盤の卓越周期 T_g より長い周期1.3秒以上の周期領域では、動的相互作用を考慮した加速度応答スペクトルと自然地盤地表部の応答から求まる加速度応答スペクトルはほぼ一致するが、周期1.3秒より短い周期領域では異なった特性を示すことが分かる。たとえば、地盤の卓越周期付近の加速度応答スペクトルのピークは、杭本数 N が少ない場合ほど短周期側に移行す

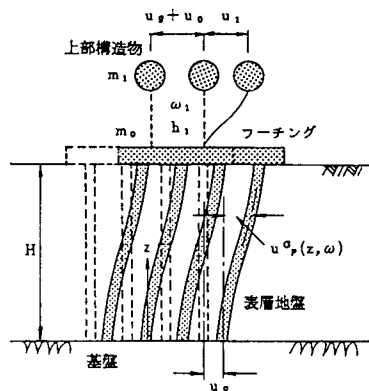


図1 群杭基礎構造物の地震時応答

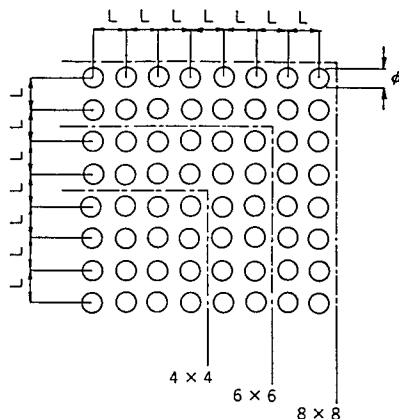


図2 数値解析に用いた群杭基礎の杭配置

るとともにピーク値は増加し、また、 T_1 が0.5秒以下の周期領域では、自然地盤地表部の応答に基づく加速度応答スペクトルが、自然地盤応答の周波数特性を反映した形で変動しているにもかかわらず、動的相互作用を考慮した場合の加速度応答スペクトルは、ほぼ一定の応答値を与える結果になっている。これらのことは、動的相互作用の影響により上部構造物と群杭基礎・地盤系が連成系を成していることに起因するものと考えられる。

図3における自然地盤に対する加速度応答スペクトルとは、下端を完全固定とした1質点ばね系モデル(固有周期 $=T_1$)に地表部の加速度応答を入力して得られる加速度応答スペクトルである。この場合1質点ばね系モデルと地盤は連成系を成さず、固有周期 T_1 には群杭基礎・地盤系との連成振動による固有周期の伸びは発生しない。一方、杭本数 N が16本から64本の群杭基礎モデルに対する加速度応答スペクトル(図中実線)では、1質点ばね系モデルの上部構造物と群杭基礎・地盤系は連成系を成しており、固有周期 T_1 が連成系を成すことによって T_1 から $T_1 + \Delta T_N$ に伸びた状態になっている。

図4は固有周期の伸び ΔT_N と固有周期 T_1 との関係について表したもので、これより、連成振動による固有周期の伸び ΔT_N は杭本数 N が少ないほど大きく、また、上部構造物の固有周期 T_1 が短くなるほど ΔT_N は増加する傾向にあることが分かる。以下、図4の検討結果に基づき、図3に示される動的相互作用を考慮した加速度応答スペクトルの特徴について考察を行う。

図4は固有周期の伸び ΔT_N と固有周期 T_1 との関係について表したもので、これより、連成振動による固有周期の伸び ΔT_N は杭本数 N が少ないほど大きく、また、上部構造物の固有周期 T_1 が短くなるほど ΔT_N は増加する傾向にあることが分かる。以下、図4の検討結果に基づき、図3に示される動的相互作用を考慮した加速度応答スペクトルの特徴について考察を行う。

自然地盤に対する加速度応答スペクトルのピークは、地盤の卓越周期 T_g に一致する固有周期 T_1 で生じるが、動的相互作用を考慮した加速度応答スペクトルのピークは、連成系の固有周期 $T_1 + \Delta T_N$ と地盤の卓越周期 T_g が一致する固有周期すなわち T_g よりも ΔT_N だけ短周期側に移行した固有周期 $T_g - \Delta T_N$ で生じることになる。また、固有周期 T_1 が0.5秒以下の周期領域における連成系の固有周期 $T_1 + \Delta T_N$ は、 T_1 の減少に伴う ΔT_N の増加分を考慮すれば、 T_1 の変化に比べ微小な変化傾向しか示さず(たとえば杭本数 $N=36$ 本の場合、 $T_1=0.5$ 秒の時 $\Delta T_N=0.15$ 秒、 $T_1=0.1$ 秒の時 $\Delta T_N=0.35$ 秒であり、 $T_1 + \Delta T_N$ の範囲は0.45~0.65秒である)、したがって0.5秒以下の周期領域における動的相互作用を考慮した加速度応答スペクトルの値にも大きな変化はなく、一定の応答値をとるものと考えられる。

4. あとがき

地盤と群杭基礎構造物の動的相互作用の影響による上部構造物の固有周期の伸び ΔT_N が加速度応答スペクトルに及ぼす影響について考察した。その結果、動的相互作用を考慮した上部構造物の加速度応答スペクトルのピークは、上部構造物と群杭基礎・地盤系が連成系を成すことによって、自然地盤地表部の応答に基づく加速度応答スペクトルより短周期側に移行し、そのピーク値は増加することが分かった。このことは上部構造物の応答が現在の応答スペクトル法で得られる値よりも大きくなることを意味するものであり、杭基礎の耐震安全性を検討する上で留意すべき問題であるといえよう。

<参考文献>

- (1) 田治見 宏：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) 田蔵、若原、清水、松崎：杭基礎・地盤系の動的相互作用を考慮した加速度応答スペクトル、第19回地震工学研究発表会、1987年6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/I-4、1985年10月。

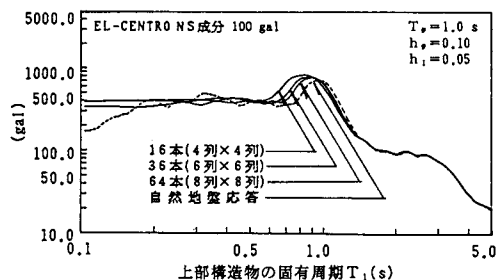


図3 杭本数の変化による動的相互作用を考慮した加速度応答スペクトル

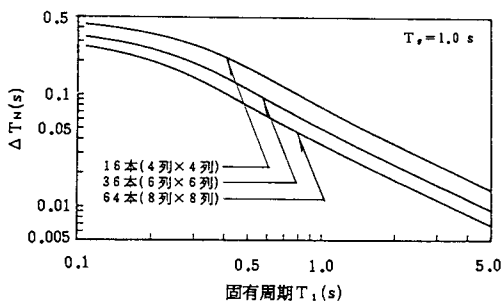


図4 上部構造物の固有周期 T_1 と連成振動による固有周期の伸び ΔT_N との関係