

I-396 動的相互作用を考慮した群杭基礎構造物の加速度応答スペクトル

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について検討したものであり、加速度応答スペクトル算定のための理論式とそれに基づく数値解析例を示した。

2. 群杭基礎構造物の加速度応答スペクトル算定のための理論式

上部工を質量 m_1 、減衰係数 c_1 、ばね定数 k_1 の1質点ばねモデルとした場合の群杭基礎構造物(図1参照)の地震時応答は、次式によって与えられる⁽¹⁾。

$$u_1 = \frac{1 + G^{**}(H, \omega)}{[1 - F^{**}(H, \omega) \omega^2 m_0] \Omega_1 - F^{**}(H, \omega) (k_1 + i \omega c_1)} u_g \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$u_0 = \frac{F^{**}(H, \omega) (k_1 + i \omega c_1) + [F^{**}(H, \omega) \omega^2 m_0 + G^{**}(H, \omega)] \Omega_1}{[1 - F^{**}(H, \omega) \omega^2 m_0] \Omega_1 - F^{**}(H, \omega) (k_1 + i \omega c_1)} u_g \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 u_1 および u_0 は上部工およびフーチングの相対水平変位、 H は表層厚、 ω は加振円振動数、 u_g は基盤水平変位、 m_0 はフーチングの質量、 $\omega_1^2 = k_1/m_1$ 、 $2h_1\omega_1 = c_1/m_1$ 、 $\Omega_1 = -1 + i2h_1(\omega_1/\omega) + (\omega_1/\omega)^2$ である。また、 $F^{**}(H, \omega)$ は杭頭水平荷重に対する杭基礎・地盤系の杭頭複素剛性の逆数であり、 $G^{**}(H, \omega)$ は地盤のせん断振動によって生ずる杭頭の相対水平変位の増幅係数である。なお、これらの詳細は参考文献(2)に譲る。

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は、(1)式および(2)式において上部工の固有周期 $T_1 = 2\pi\sqrt{m_1/k_1}$ をパラメータとして、 $|\ddot{u}_1 + \ddot{u}_0 + \ddot{u}_g|_{\max}$ を計算することにより求めることができる。

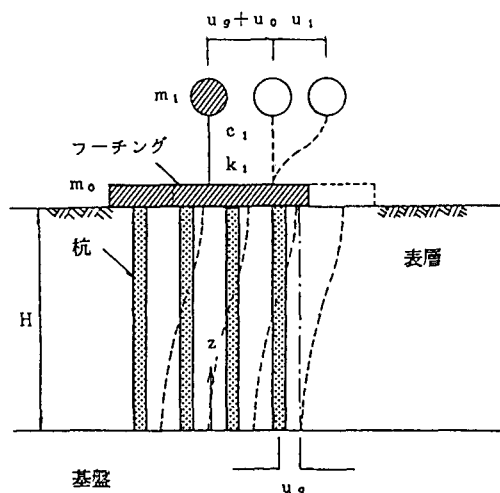


図1 群杭基礎構造物の地震時応答

3. 数 値 解 析 例

最大加速度を100galとしたEL-CENTRO波のNS成分入力による計算結果を図2および図3に示す。図2は地盤の1次固有周期 T_a が0.5秒の場合の結果であり、図3は $T_a = 1.0$ 秒の場合の結果である。図中には杭本数 N を9本(3列×3列)、16本(4列×4列)、36本(6列×6列)、64本(8列×8列)とした場合の解析結果が示してある。なお、解析上の杭の諸元は、外径 $\phi = 600$ mm、肉厚 $t = 9$ mm、杭長 $\ell = 20$ m(=表層厚 H)であり、杭間隔はすべて $2.5\phi (=1.5$ m)である。また、 $m_1 = 205 \text{ t} \cdot \text{sec}^2/\text{m}$ 、 $m_0 = 83 \text{ t} \cdot \text{sec}^2/\text{m}$ とした。

比較のために杭基礎が存在しない場合、つまり自然地盤の状態に対する加速度応答スペクトルも破線で示した。なお、これらの計算において、杭頭水平荷重による群杭効率 $e^*_N(\omega)$ および地盤変形による群杭効率 $e^g_N(\omega)$ に対しては、それぞれ小坪ら⁽³⁾⁽⁴⁾の理論に基づく静的な群杭効率を適用した。

図2および図3より、地盤の1次固有周期 T_a より長い周期領域では、杭基礎・地盤系の動的相互作用を考慮した場合の加速度応答スペクトルと自然地盤に対する計算から求める加速度応答スペクトルは一致するが、1次固有周期 T_a より短い周期領域では杭基礎・地盤系の動的相互作用を考慮した場合の方が大きな応答値を与える結果になることが分かる。また、両図より、杭本数が少ないほど加速度応答スペクトルのピークは短周期側に移行することが分かる。このことは上部工が地盤と連成系を成すことによって、上部工の固有周期が伸びることに起因しており、その理由は以下のとおりである。

両図における自然地盤に対する加速度応答スペクトルとは、自然地盤地表部での加速度応答に基づいて計算した加速度応答スペクトルである。つまり、この計算結果は下端を完全固定とした1質点ばね系モデル(1次固有周期 $=T_1$)に地盤地表部の加速度応答を入力して得られたものであり、この場合1質点ばね系モデルと地盤は連成系を成さず、上部工の固有周期 T_1 の伸びがないモデルになっている。一方、杭本数が9本から64本の群杭基礎モデルでは1質点ばね系モデルの上部工と群杭基礎・地盤系は連成系を成しており、上部工モデルの固有周期 T_1 が連成系を成すことにより、固有周期が T_1 から $T_1 + \Delta T_N$ に伸びたモデルになっている。杭本数 N が少ないほど ΔT_N は大きくなり、このことが両図に示すように杭本数が少ないほど加速度応答スペクトルのピークを短周期側に移行させた原因になっている。

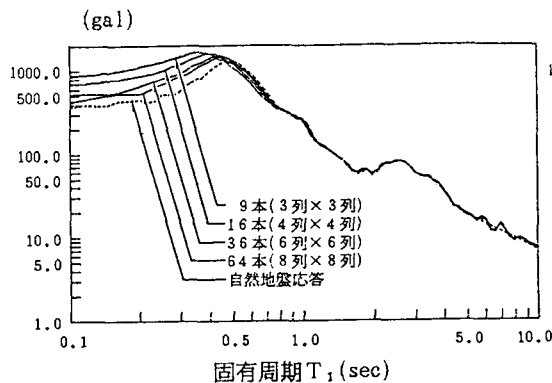


図2 杭本数の変化による動的相互作用を考慮した加速度応答スペクトル(地盤の1次固有周期 $T_a=0.5$ sec)

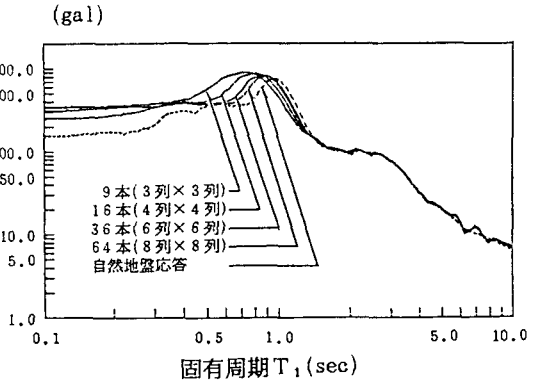


図3 杭本数の変化による動的相互作用を考慮した加速度応答スペクトル(地盤の1次固有周期 $T_a=1.0$ sec)

4. あとがき

杭基礎・地盤系の動的相互作用を考慮することによって加速度応答スペクトルのピークは、動的相互作用を考慮しない場合の加速度応答スペクトルのピークより短周期側に移行するという結果が得られた。このことは今後の杭基礎構造物の耐震設計法を考える上での重要な検討事項の一つであると考えられる。

5. 参考文献

- (1) 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。
- (2) 田蔵、若原、清水、松崎：群杭基礎構造物の有効入力動に関する基礎的研究、第42回土木学会年次学術講演会、1987年9月。
- (3) 小坪、高西、鳥野、園田：多柱基礎の荷重分担率と群杭効果、土木学会論文報告集、第312号、1981年12月。
- (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。