

○九州大学 学生員 五瀬伸吾

九州大学 正 員 小坪清真

九州大学 正 員 園田敏矢

1) まえがき

軟弱地盤中に築造されるケーソンや建築物などの重量構造物は地震時に水平並進振動と水平軸まわりの回転振動との連成するロッキング振動を行う。これらの構造物が杭で支持されている場合にはロッキング振動性状を解析するために杭頭の水平方向および鉛直方向復元力の特性を明確にする必要がある。復元力特性の群杭効果については水平方向に対しては多くの研究が見受けられるが、鉛直方向に対しては見当たらない。本研究では鉛直方向復元力の群杭効果について、模型実験を行うとともに理論的に解析して両者を比較した。

2) 実験装置および方法

実験に使用した杭は<図-1>に示すように、上下端を固定した外径12mm、長さ400mmのベークライトチューブを4本および9本の組杭にしたもので、側面の摩擦係数を増すために、細砂をニクワチューブ側面に突きつけたものである。杭間隔は縦横等間隔とし4本杭に対しては杭間隔を26, 72, 108, 132mmの4通り、9本杭に対しては杭間隔を18, 36, 54, 66mmの4通りとした。この杭を2.5m×1.5m×1mの振動箱の中央に設置し、乾燥砂を入れ、地表面の加速度を200gal、振動数10Hzで約50分間振動して締め固め高さ90cmの砂地盤を作った。つぎに<図-2>に示すように杭頭頂板上にロードセルを介してジャッキをセットし、<図-3>に示すように頂板の4隅にフルスケール0.25mmの差動型変位計を取り付け、鉛直荷重と杭頭の沈下量との関係を荷重を徐々に上げながら、オシロに記録した。最大荷重を20kgとし、同様の実験を1つの杭間隔に対して4～5回繰り返した。

3) 実験結果

<図-4,5>は4本杭および9本杭に対して杭間隔を変えた場合の荷重と変位との関係を示したものである。図から本実験の荷重の範囲では荷重と変位は比例し、杭側面には滑りを生じていないことがわかる。この直線の勾配から杭頭反力係数を求め、それを杭間隔 l と杭径 d との比 l/d を横軸にとり、群杭効果を求めた。実験値と理論値との比較を<図-6>に示す。図より、4本杭より9本杭が群杭効果は大きく、又、理論値より実験値が群杭効果は小さくなった。

群杭効果を表わすのに、一般に次の2種類の異った表現が用いられている。

(i) 単杭および群杭に単位の変位を生じさせるに必要な力をそれぞれ Q_0 、 Q_N とし群杭の杭本数を N とすれば、群杭効果は(1)式のようになる。

$$C_N = \frac{Q_N}{N Q_0} \quad (1)$$

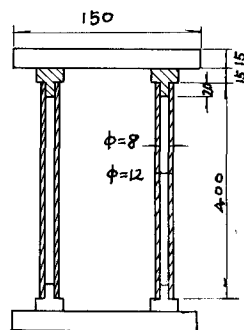


図-1

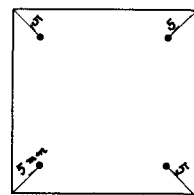
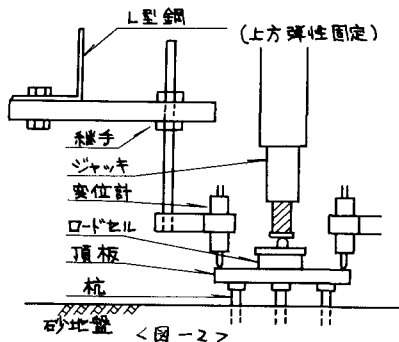


図-3

(ii) 杭に単位の力を加えたときの単杭と群杭のそれぞれの変位を δ_0 , δ_N とすれば, $e_N = \delta_0 / N \delta_N$ (2)

よって群杭効果を表わすことができる。本論文では(i)の方法を用いた。

4) 理論

軸対称地盤の振動方程式は次式で表わされる。

$$\frac{\rho}{g} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = (\lambda + 2\mu) \frac{\partial \Delta}{\partial r} + 2\mu \frac{\partial \omega_\theta}{\partial z} \quad (3)$$

$$\frac{\rho}{g} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = (\lambda + 2\mu) \frac{\partial \Delta}{\partial z} - \frac{2\mu}{r} \frac{\partial (r\omega_\theta)}{\partial r} \quad (4)$$

ここで $\Delta = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r u) + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2}$, $\omega_\theta = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial r} \right)$

u, w は r, z 方向の変位, λ, μ はラメの定数

a) 地盤変形の近似解

半径方向変位 u を無視し, $u=0$ とおく。これは地盤を定際より硬く評価することになる。(4)式より,

$$\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{\lambda + 2\mu}{\mu} \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} - \frac{\rho}{g} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0 \quad (5)$$

となる。 z 方向の変形をフーリエ級数で展開し, (5)式を解くと(6)式のようになる。

$$w = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} A_n K_0(k_n r) \sin \frac{n\pi z}{2H} e^{i\pi t} \quad (6)$$

K_0 : 変形 Bessel 関数

$$k_n = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\mu} \left(\frac{n\pi}{2H} \right)^2 - \frac{\rho p}{g\mu}}$$

次に杭の縦振動の方程式は次式で示される。

$$\frac{w_0 A}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = EA \frac{\partial^2 y}{\partial z^2} + g_1(z) + g_2(z) \quad (7)$$

ここで $g_1(z)$ を z の級数に展開する。 $g_1(z)$ は杭頭に働くとして

$$g_1(z) = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{2P}{H} (-1)^{\frac{n-1}{2}} \sin \frac{n\pi z}{2H} e^{i\pi t} \quad (8)$$

又, $g_2(z)$ は次式で示される。

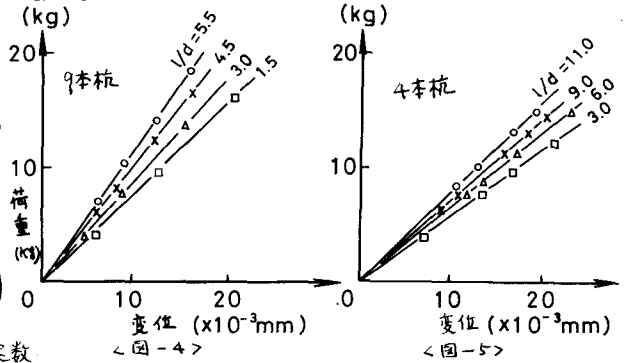
$$g_2(z) = \pi d G \left(\frac{\partial w}{\partial r} \right)_{r=r_0} \quad (9)$$

(6)(7)を用いて N 本の杭頭が同一変形をするものとして杭頭変位 y は次式となる。

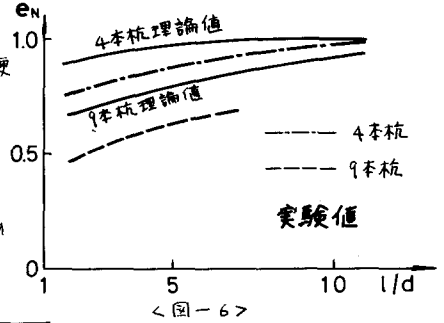
$$y = \frac{PH}{EA} \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{\left\{ K_0(k_n r_0) + \sum_{i=1}^{N-1} K_0(k_n l_i) \right\} e^{i\pi t}}{\left[\left\{ n^2 - \frac{4w_0 H^2 p^2}{\pi^2 g E} \right\} \left\{ K_0(k_n r_0) + \sum_{i=1}^{N-1} K_0(k_n l_i) \right\} + \frac{8GH^4}{\pi EA} k_n(r_0) \left\{ K_1(k_n r_0) - \sum_{i=1}^{N-1} K_1(k_n l_i) \right\} \right]} \quad (10)$$

又, 任意配列群杭の場合の荷重分担率を理論的に求めることができる。

9本杭 $l/d = 9.0$ の場合の荷重分担率を右図に示す。



<図-4>



<図-5>

w_0 : 杭の単位重量 E : ヤング率
 A : 杭の断面積 H : 杭長
 $g_1(z)$: 杭に働く軸方向外力
 $g_2(z)$: 杭周面地盤反力
 G : 地盤の剛性率
 p : 外力の角速度

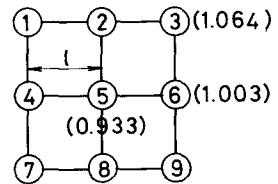


図-7 荷重分担率