

九州大学 工学部 正員 小坪 清真
九州工業大学 正員 高西 照彦

1. まえがき 著者等は前論⁽¹⁾において、各柱の直径がそれぞれ異なっており、しかもその配置が不規則であるような、空中部分を有する多柱基礎に対する横方向群杭効果を求める理論的解析法を示した。しかし、前論は「多柱基礎を構成する各柱の弾性変形曲線は、地表面においてその接線が地表面に対して垂直である」という仮定の下に導かれた近似的解析理論であった。本論では、上述のような仮定をすることなく、空中部分を有する多柱基礎の横方向群杭効果を求めることができるより厳密な一般性のある理論的解析法を示した。さらに、本論の解析法に従って2, 3の数値計算を行ひ、図-1に示すような多柱基礎について、その空中部分の長さが群杭効果に及ぼす影響を明かにした。

2. 解析理論 2.1. 解析上の仮定 (i) 柱は弾性体とし、鉛直でその下端は基盤に支持されており、上端は剛な頂板に剛結されている。柱断面は円形である。 (ii) 地盤は單一の弾性表層と基盤から成っている。 (iii) 表層地盤における上下変位は、水平変位に比べて小さいとしてこれを無視する。また、基盤との境界面においては変位は0、両者の間にはスリップは生じない。 (iv) 上層地盤と柱とは一体となって弾性変形をする。2.2. 地盤の変形曲線 多柱基礎の場合には単柱の場合と違つて、各柱は周辺地盤を介して相互に影響を及ぼし合うので、単柱の場合の地盤の変形曲線をそのまま柱本数だけ重ね合わせても、多柱基礎の場合の真の変形曲線を表わすことはできない。そこで本論では、次式に示すように、単柱の場合の地盤の変形を表わす解析解に未定係数を導入し、これを各柱についてすべて重ね合わせることによって、地盤中の任意点P(図-1参照)の変位を表わすこととした。いま柱を基準にとった場合の点Pの半径方向及び円周方向の変位は、各柱の半径を a_i 、未定係数を $A_i^x, A_i^y, B_i^x, B_i^y$ 等とすれば、次のように書くことができる。

$$U_p = U_{pi} + \sum_{m \neq i} U_{pm} = \sum_{k=1,3,5,\dots} \{ A_k^x(r_i) \cos \theta_i + A_k^y(r_i) \sin \theta_i \} \sin \frac{k\pi z}{2H} + \sum_{m \neq i} \sum_{k=1,3,5,\dots} [\{ A_k^x(r_m) \cos \theta_m + A_k^y(r_m) \sin \theta_m \} \\ \cdot \cos(\theta_m - \theta_i) - \{ A_k^y(r_m) \sin \theta_m - A_k^x(r_m) \cos \theta_m \} \sin(\theta_m - \theta_i)] \sin \frac{k\pi z}{2H} \quad (1)$$

$$V_p = V_{pi} + \sum_{m \neq i} V_{pm} = \sum_{k=1,3,5,\dots} \{ A_k^x(r_i) \sin \theta_i - A_k^y(r_i) \cos \theta_i \} \sin \frac{k\pi z}{2H} + \sum_{m \neq i} \sum_{k=1,3,5,\dots} [\{ A_k^x(r_m) \cos \theta_m + A_k^y(r_m) \sin \theta_m \} \\ \cdot \sin(\theta_m - \theta_i) + \{ A_k^y(r_m) \sin \theta_m - A_k^x(r_m) \cos \theta_m \} \cos(\theta_m - \theta_i)] \sin \frac{k\pi z}{2H} \quad (2)$$

$$\text{上式で, } A_k^x(r_i) = (1/\eta_i^k) [A_i^x K_1(\eta_i^k r_i) + A_i^y K_0(\eta_i^k r_i)] + A_i^x K_1(\eta_i^k r_i) \quad (3)$$

$$A_k^y(r_i) = (1/\eta_i^k) [A_i^x K_1(\eta_i^k r_i) + A_i^y K_0(\eta_i^k r_i) + A_i^y K_1(\eta_i^k r_i)] , \quad (x=x, y) \quad (4)$$

$$\eta_i^k = (\pi k/2)(a_i/H), \quad \eta_i^k = \sqrt{(1-2\nu)/2(1-\nu)} \eta_i, \quad \eta_i^k = \eta_i^r = r_i/a_i, \quad i=1, 2, \dots N \quad (5)$$

ここに、Nは柱本数、 ν は上層地盤のポアソン比、Hは上層地盤の深さである。 $K_m(x)$ は第2種オーディン次のベッセル関数を表わす。2.3. 柱に作用する土圧 式(1), (2)を用いれば、各柱に作用する単位長さ当たりのX及びY方向の土圧は次式によつて与えられる。 $P_i^x(z) = \int_{-\pi}^{\pi} [\sigma_{pr} \cos \theta_i - \tau_{pr} \sin \theta_i] r_i = a_i d\theta_i$ (6)
 $P_i^y(z) = \int_{-\pi}^{\pi} [\sigma_{pr} \sin \theta_i + \tau_{pr} \cos \theta_i] r_i = a_i d\theta_i$ ---- (7)。ここに、 σ_{pr} , τ_{pr} は上層地盤中の点Pにおける垂直方向及びせん断応力を表わす。2.4. 柱の変形曲線 多柱基礎を構成する各柱の弾性変形を支配する微分方程式は、地中部においては $E_i I_i \frac{d^4}{dz^4} \{ \zeta_i^x(z) \} = P_i^x(z), \quad (x=x, y, \quad i=1, 2, \dots N) \quad (8)$

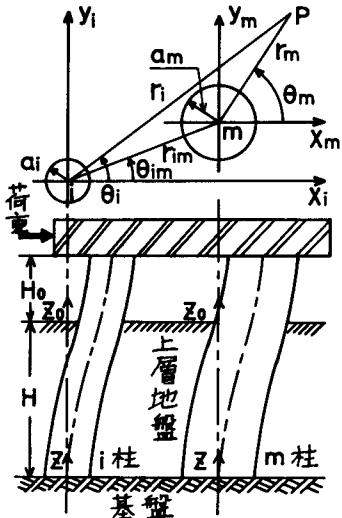


図-1 多柱基礎-地盤系

空中部分においては $E_i I_i \frac{d^4}{dz^4} \{ \bar{\xi}_i^x(z_0) \} = 0$, $(x=x, y, i=1, 2, \dots, N)$ ----- (9) と表わせる。ここに, $E_i I_i$ は柱の曲げ剛性, $P_i^x(z)$ は柱に作用する x 方向土圧で, 式(6)によって与えられる。また, Z_0 は図-1 に示すように地表面から上方へ計った距離である。上式の一般解はそれを次式のように表わせる。

$$\bar{\xi}_i^x(z) = \bar{A}_i^x(z/H)^3 + \bar{B}_i^x(z/H)^2 + \bar{C}_i^x(z/H) + \bar{D}_i^x + \sum_{k=1,3,5,\dots}^{\infty} \bar{Y}_i^x \cdot \sin(k\pi z/2H) \quad (x=x, y) \quad (10)$$

$$\bar{\xi}_i^x(z_0) = \bar{A}_i^x(z_0/H)^3 + \bar{B}_i^x(z_0/H)^2 + \bar{C}_i^x(z_0/H) + \bar{D}_i^x, \quad (x=x, y) \quad (11)$$

ここに, $\bar{A}_i^x, \bar{B}_i^x, \bar{C}_i^x, \bar{D}_i^x$ 等は各種の微分方程式及び境界条件によって定まる未定係数である。また, H_0 は図-1 に示すように, 柱の空中部分の長さである。

3. 群杭効果 多柱基礎がその頂板に x 方向の水平荷重をうけて, 単位の水平変位を生むるとき, 各柱の柱頭における x 及び y 方向のせん断力を Q_i^x, Q_i^y とする。他方, 柱の上下端において, 多柱基礎と全く等しい拘束条件を有する単柱が, 柱頭に水平荷重 Q_{0i} をうけて単位の水平変位を生むるとする。このとき多柱基礎の横方向群杭効果を次式によって定義する。 $e_N^x = \sum_{i=1}^N Q_i^x / \sum_{i=1}^N Q_{0i}$ ----- (12)

また, 各柱の荷重分担率は $s_i^x = Q_i^x / \sum_{i=1}^N Q_{0i}$ ----- (13) と表わすことができる。なお, 柱頭のせん断力は $Q_i^x = -(6E_i I_i / H_0^3) \bar{A}_i^x$ ----- (14)

4. 境界条件 前節までに導入した未定係数 $\bar{A}_i^x, \bar{A}_i^y, \bar{Y}_i^x$ 等は, 次に示すような境界条件を用いてこれを定めることができる。(i) 各柱について, その柱周面上の各点の変位は, それに接する地盤の変位に等しくなければならぬ。しかし, この境界条件を厳密に満足するように, 未定係数を定めるこことは非常に煩雑である。そこで, 本論では, 各柱の横断面の中心点を代表点として選び, この点において地盤と柱との変位が等しいという条件を採用することとした。(ii) 各柱の上下端における拘束条件を満足すること。すなわち, 柱下端が固定の場合は変位と回転角を 0, ヒンジの場合は変位とモーメントを 0 とすればよい。柱上端においては, (i) 柱頭は普通頂板に剛結されるのでその回転角を 0 (即ち荷重方向 (x 方向) の柱頭水平変位を 1, y 方向の変位を 0) とおく。(iii) 地表面において, 空中部分と地中部分の柱が連続の条件を満足すること。(iv) 柱は変位した後もその断面は凹形を保つこと。以上の境界条件を満たすように未定係数 $\bar{A}_i^x, \bar{A}_i^y, \bar{Y}_i^x$ 等を定めればよい。未定係数の数は柱 1 本につれて 22 個あるから, N 本柱から構成された多柱基礎に対しては $22N$ となるが, 適当な計算手法を用いれば柱本数の 2 倍の未知数に関する $(2N \times 2N)$ 行列の積, 和, 逆行列を $k = 1, 3, 5, \dots$ について計算するだけによることになる。各柱の直徑や曲げ剛性が等しく, その上柱配置に対称性があれば, 計算で取扱う未定係数の数を $2N$ よりさらに少くすることができる。

5. 数値計算結果及び考察 本論の方法に従って, 直径の等しい 2 本柱から構成された多柱基礎の群杭効果を求めた。数値計算に際しては, 地盤のせん断弾性係数 M と柱の曲げ剛性 EI の比に比例する無次元量 $\alpha_0 (= \pi d^4 M / 64EI)$, 地盤の深さと柱径の比 H/d , 柱の中心軸間距離と柱径との比 l/d のいろいろの値について, 柱の空中部分の長さと柱径との比 H_0/d の変化が多柱基礎の群杭効果に与える影響を求めた。このとき, ホアソン比 ν は 0.45, また, 柱下端は基盤とヒンジ結合しているとした。計算結果の一例を図-2(a), (b) に示した。圖から, H_0/d が大きくなると群杭効果の値 e_2^x, e_2^y はいずれも急速に 1 に近づくことがわかる。また, e_2^x と e_2^y とを比べると, 他の条件が等しい場合には $e_2^x < e_2^y$ である。

(1) 小坪・富山: 多柱基礎の群杭効果と荷重分担率, 土木学会西部支部研究発表会講演論文集, 昭. 53. 2.

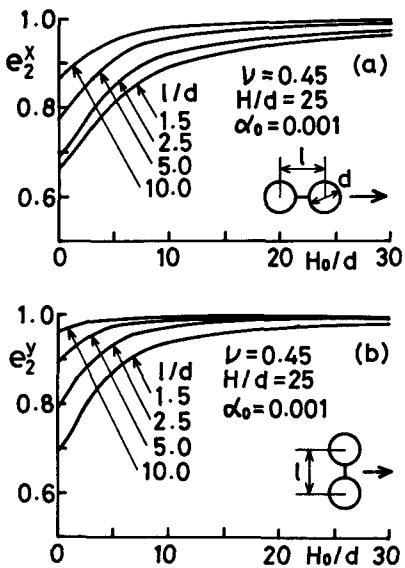


図-2 多柱基礎の群杭効果

ここに, N は柱本数である。
によって求めることができます。