# I-287　多柱基礎に対する横方向群杭効率の簡易計算法

九州大学　工学部　学生員　若原　敏裕
九州大学　工学部　正会員　小坪　清真
九州工業大学　　　正会員　高西　照彦

__1　まえがき__　著者らは前論[1][2]において，三次元弾性論を用いた多柱基礎の横方向群杭効率の理論的解析法を提案し，数値計算を行って，理論解と実験値が比較的よく一致することを示した。しかし著者らの導いた解析解に従えば，群杭効率を求めるのに，各項がベッセル関数で表わされる無限級数を計算することが必要であり，数値計算に多くの時間が，かかるのが欠点であった。そこで本論では，市販の関数電卓を用いて多柱基礎の群杭効率を簡単に求めることのできる実用的な近似計算の式を提案した。なお本論では，空中部分をもたない多柱基礎を考察の対象としている。

__2　解析理論__　図1に示す群杭に対して各杭の連結を断ち，たとえば，$i$杭の杭頭に$x$方向の単位水平荷重を加える。このときの$i$杭，$j$杭，$l$杭等の$x$方向水平変位を$\delta_{ii}^{xx}$，$\delta_{ji}^{xx}$等，$y$方向のそれを$\delta_{ii}^{yx}$，$\delta_{ji}^{yx}$等と表わす。いま，これらの値が既知であれば，群杭効率は次のようにして求めることができる。すなわちN本から構成された群杭の各杭の杭頭に，それぞれ$x$および$y$方向から水平荷重を加え，各杭の$x$方向の変位を1，$y$方向のそれを0にするのに必要な荷重を$Q_i^x$ $Q_i^y$($i=1,2\cdots N$)とすれば$Q_i^x$ $Q_i^y$は式(1)の連立一次方程式の解として求めることができる。また単杭の杭頭に単位水平荷重を加えたときの杭頭水平変位を$\delta_{i0}$とすれば，単杭の杭頭を1だけ変位させるのに必要な水平荷重$Q_{i0}$は式(2)で求まる。したがって$x$方向群杭効率は，式(3)より求まる。よって群杭効率を得るには，各杭に対する変位の影響係数$\delta_{ij}^{xy}$等と群杭を構成する各杭が単独杭として変形する場合の杭頭水平変位$\delta_{i0}$が求められればよいことになる。本論では，これらの値を簡単な近似関数を使って求めることにする。近似関数の変数として次の無次元パラメーターを選定した。(i)地盤のポアソン比$\nu$，(ii)杭長Hと杭径$d$の比$H/d$，(iii)地盤と杭の相対的な剛性の比$\alpha_0(=\frac{\pi}{64}\frac{\mu d^4}{EI})$，(iv)各杭中心軸間距離Lと杭径$d$の比$L/d$，(v)各杭の中心軸間方向角$\theta$。

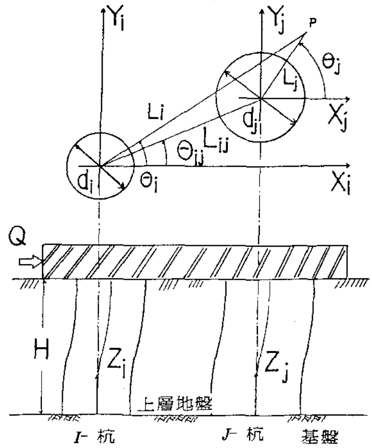


図 1

$$\begin{bmatrix} \delta_{11}^{xx} & \delta_{11}^{xy} & \cdots\cdots & \delta_{1N}^{xx} & \delta_{1N}^{xy} \\ \delta_{11}^{yx} & \delta_{11}^{yy} & \cdots\cdots & \delta_{1N}^{yx} & \delta_{1N}^{yy} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ \delta_{N1}^{xx} & \delta_{N1}^{xy} & \cdots\cdots & \delta_{NN}^{xx} & \delta_{NN}^{xy} \\ \delta_{N1}^{yx} & \delta_{N1}^{yy} & \cdots\cdots & \delta_{NN}^{yx} & \delta_{NN}^{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_1^x \\ Q_1^y \\ \vdots \\ Q_N^x \\ Q_N^y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad (1)$$

$$Q_{i0} = 1/\delta_{i0} \qquad (2)$$

$$e_N^x = \sum_{i=1}^{N} Q_i^x \Big/ \sum_{i=1}^{N} Q_{i0} \qquad (3)$$

これらのパラメーターがそれぞれ単独に変化するとき，それが杭基礎の杭頭変位$\delta_{ij}^{xy}$等に及ぼす影響を，前論[1][2]の方法によって理論的に求め，その影響量をより高い精度で近似する。なるべく簡単な関数を各パラメーター毎に選んで，$\delta_{ij}^{xy}$等を，これらの関数の積の形で表わした。杭の上下端が$\delta_{ij}^{xy}$等に与える影響は，上記の近似関数中に含まれる係数を，それぞれ条件に応じて適当に選ぶことによって考慮することにした。ここでは次の4種類の場合を考えている。(i)上端回転拘束下端固定(F-F)　(ii)上端回転拘束下端ヒンヂ(F-H)　(iii)上端回転自由下端固定(H-F)　(iv)上端回転自由下端ヒンヂ(H-H)。

__3　単杭の杭頭変位の近似関数__　単杭に対する杭頭変位の近似関数を次に示す。

$$\delta_{i0} = \delta_0 \, \omega \, u_{\delta i} \cdot (1000 \times \alpha_{0i})^{v_{\delta i}} \qquad (i = 1, 2, \cdots N) \qquad (4)$$

ここで$\delta_0$は，$\nu=0.4$，$H/d=10$，$\alpha_0=1.0\times10^{-3}$のときの単杭の杭頭単位荷重に対する杭頭変位の厳密解であり，

$\omega$, $u_{si}$, $v_{si}$ は，次の通りである。各係数は表1に与える通りである。

$$\left.\begin{aligned}\omega &= W_1 + W_2\,\nu \\ u_{si} &= U_o\cdot U_s^{(0.1\times H/d_i-1)} \\ v_{si} &= V_s\cdot V_o^{(0.1\times H/d_i-1)}\end{aligned}\right\}\quad(5)$$

| | $\delta_o$ (cm) | W1 | W2 | Uo | Us | Vo | Vs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| F-F | $0.292\times10^{-4}$ | 1.4384 | -1.0993 | 0.9857 | 1.0416 | 1.0159 | -0.8052 |
| F-H | $0.292\times10^{-4}$ | 1.4384 | -1.0993 | 0.9962 | 1.0308 | 1.0048 | -0.8144 |
| H-F | $0.497\times10^{-4}$ | 1.4688 | -1.1811 | 0.9898 | 1.0049 | 1.0091 | -0.8382 |
| H-H | $0.497\times10^{-4}$ | 1.4688 | -1.1811 | 0.9913 | 1.0035 | 1.0076 | -0.8394 |

表 1

## 4 群杭の変位の影響係数の近似関数

まず，各杭の中心軸間距離と杭径との比 $L_{ij}/d_i$ を一定(=2)とした場合，杭本数をいろいろ変えて，前論[1][2]によって群杭効率 $e_N$ を求め，パラメーター $H/d_i$, $\alpha_{oi}$, $\nu$ の変化に対して，$\delta_{io}\cdot e_N/e_N$ ($\nu=0.4$, $H/d=10$, $\alpha_o=10^{-3}$) を計算し，これによく合う関数を $\delta_{gi}$ として式(6)のように表わした。

| | F-F | F-H | H-F | H-H |
|---|---|---|---|---|
| Ug | 1.0803 | 1.0718 | 1.0409 | 1.0395 |

表 2

$$\delta_{gi}=\delta_o\,\omega\,u_{gi}\,(1000\times\alpha_{oi})^{v_{gi}}\qquad(6)$$

ここに
$$\left.\begin{aligned}u_{gi} &= U_o\,U_g^{(0.1\times H/d_i-1)} \\ v_{gi} &= V_{gN}\,V_o^{(0.1\times H/d_i-1)}\end{aligned}\right\}\quad(7)$$
として，$U_g$ は表2に示す通りとし，$V_{gN}$ は式(8)に示した。

$$V_{gN}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(V_s-0.017\sqrt{n_i}\right)\qquad(8)$$

$n_i$ は $i$ 杭を中心とし $L_{ij}/d_i\leqq4$ であるような $j$ 杭の本数である。

次に，$L_{ij}/d_i$ および各杭間の方向角 $\theta_{ij}$ の影響を考慮して，各杭に対する変位の影響係数を次式のように表わした。

$$\left.\begin{aligned}&\text{載荷杭}\quad \delta_{ii}^{xx}=\delta_{ii}^{yy}=\delta_{gi}\,(1-A_1\cdot A_2^{\,l_{ii}}) \\ &\qquad\qquad \delta_{ii}^{xy}=\delta_{ii}^{yx}=0 \\ &\text{非載荷杭}\quad \delta_{ij}^{xx}=\delta_{gi}\,(B_1\cdot B_2^{\,l_{ij}}+C_1C_2^{\,l_{ij}}\cos2\theta_{ij}) \\ &\qquad\qquad \delta_{ij}^{yy}=\delta_{gi}\,(B_1\cdot B_2^{\,l_{ij}}-C_1C_2^{\,l_{ij}}\cos2\theta_{ij}) \\ &\qquad\qquad \delta_{ij}^{xy}=\delta_{ij}^{yx}=\delta_{gi}\,(C_1\cdot C_2^{\,l_{ij}}\sin2\theta_{ij})\end{aligned}\right\}\quad(9)$$

($i=1,2,\cdots N$, $j=1,2,\cdots N$)

$l_{ij}=L_{ij}/d_i$，とくに $L_{ii}$ は，載荷方向で一番近い位置にある杭までの距離としている。

$\delta_{ii}^{xx}$ としては，それぞれ $i$ 杭とその周辺杭中の杭との間の相互作用のみを考慮したときの変位の影響係数を計算し，その最小の値を採用した。

式(9)の中の各係数の値は表3に示す通りである。

| | 杭上端回転拘束 | | 杭上端回転自由 | |
|---|---|---|---|---|
| | L/d ≤ 4 | L/d > 4 | L/d ≤ 4 | L/d > 4 |
| A1 | 0.0699 | 0.0209 | 0.0349 | 0.0054 |
| A2 | 0.3655 | 0.5295 | 0.3402 | 0.7016 |
| B1 | 0.7591 | 0.3990 | 0.1536 | 0.3211 |
| B2 | 0.7108 | 0.8255 | 0.6663 | 0.8145 |
| C1 | 0.0979 | 0.1213 | 0.1262 | 0.1212 |
| C2 | 0.9724 | 0.9044 | 0.8933 | 0.8773 |

表 3

以上により，各パラメーター $H/d_i$, $\alpha_{oi}$, $\nu$, $L_{ij}/d_i$ 杭本数及び杭配置が与えられれば，各杭に対する変位の影響係数 $\delta_{ij}^{xy}$ 等が定まるので，これを用いて式(1)(2)(3)より，多柱基礎の群杭効率を求めることができる

計算結果の一例を，図2，3に示す。

図から，近似解と前論の理論解とは，比較的よく一致していることがわかる。

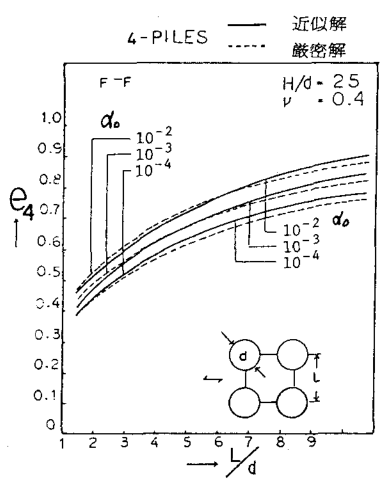


図 2

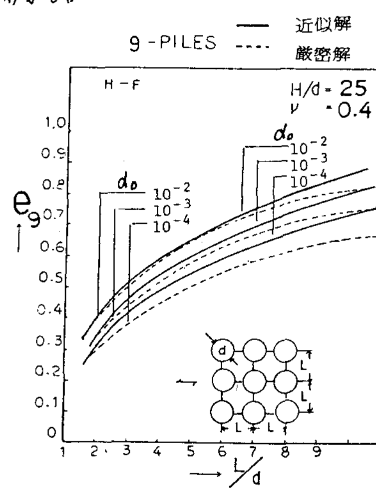


図 3


参考文献

(1) 小坪清真・高西照彦「不規則な配置をもつ杭径の異なる群杭に対する横方向群杭効果の解析」土木学会論文報告集 No 277, 1978, 9

(2) 小坪清真・高西照・鳥野清・園田敏矢「多柱基礎の横方向荷重分担率と群杭効果」土木学会論文報告集 No 312, 1981, 8