

竖向受荷长短桩基础的位移分析方法

王伟¹, 杨敏¹, 王红雨²

(1. 同济大学 地下建筑与工程系, 上海 200092; 2. 宁夏大学 土木与水利工程学院, 宁夏 银川 750021)

摘 要: 提出一个竖向荷载作用下长短桩群桩基础中单桩的桩侧摩阻力分布函数表达式, 基于变形协调关系、桩体的物理方程和力的平衡关系, 推导出长短桩群桩基础中联系桩顶荷载和桩顶位移的刚度矩阵。该刚度矩阵可用以分析竖向受荷长短桩群桩基础的位移。应用该方法时, 桩体不需要划分单元, 而且对于不同长度的桩组成的群桩基础具有分析过程的不变性和最终刚度矩阵大小的不变性。将本方法与边界单元方法、有限单元方法进行了比较, 证实该方法是可行的, 且计算精度满足要求。

关键词: 长短桩; 群桩; 位移; 摩阻力

中图分类号: TU 473.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2005)11-1323-06

作者简介: 王伟(1977-), 男, 山东临朐人, 博士, 主要从事桩基础和边坡工程方面的研究。

Analytic method of pile displacement in long-short pile group subjected to vertical loading

WANG Wei¹, YANG Min¹, WANG Hong-yu²

(1. Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. College of Civil and Hydropower Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: Function with two undetermined coefficients was applied to characterize shear force along the piles in long-short pile group. Based on displacement compatibility relation, stress and strain equation and force equilibrium relationship of pile, the stiffness matrix relating force to displacement of pile top was deduced. This matrix could be used to analyze both displacement and shear force along the depth of piles in long-short pile group without discretization of the soil or piles. It was shown by comparison with boundary element method and finite element method that this method was feasible.

Key words: long-short pile; pile group; displacement; shear force

0 前 言

随着桩基础研究的进展和其应用范围的拓宽, 长短桩基础以其特有的优点在地基基础领域受到了越来越多的关注, 出现了长短桩组合桩基础^[1]和长短桩复合地基^[2]等一些新型的基础类型, 但长短桩基础的分析方法却显得较为落后。一般的桩基础分析方法主要针对等桩长、等桩径和等刚度材料属性的桩体组成的常规群桩基础, 目前尚无明确提出的可进行长短桩基础分析的方法。

尽管一些桩基方法经过扩展是可以进行长短桩基础分析的, 如 Butterfield 的边界单元法^[3]、Chow 的混合方法^[4]以及通用性较强的有限单元方法^[5]。但存在如下缺点: ①需要进行桩土体单元的划分。对于包含任意桩长的群桩基础, 为了保证分析的精度, 不同长度的桩需要划分不同数量的单元, 从而使得整个分析模型复杂化; ②运算量较大。由于划分了较多的单元计算量势必会增大; ③通用性受到限制。在有限单元

方法中针对不同的对象需分别建立分析模型, 模型的通用性较低。

本文基于 Randolph 的单桩分析结果, 并考虑群桩效应, 提出了一个长短桩基础中单桩的桩侧摩阻力函数关系式。根据此关系表达式, 结合弹性问题中的变形协调关系、物理方程和力的平衡方程, 推导出了长短桩群桩基础中联系桩顶荷载和桩顶位移的刚度矩阵关系式, 从而可以分析长短桩基础的桩顶位移。该方法不需要划分桩土体单元, 对于包含任意桩长的群桩基础具有分析形式不变性和最终刚度矩阵规模的确定性。可以进行均匀土体和土体模量随深度线性变化下长短桩基础的位移分析。

1 长短桩基础的分析

1.1 桩侧摩阻力函数关系式

收稿日期: 2004-11-25

Randolph (1978) 认为单桩的位移表达式近似为^[6]

$$w(z) = w_b \cosh[\mu(L-z)] \quad (1)$$

式中 z 为深度变量, $(0 \leq z \leq L)$; $w(z)$ 为单桩任意深度 z 处的位移; w_b 为桩端位移; L 为桩长; 系数 μ 可由以下公式确定^[6]:

$$r_m = 2.5 \rho L(1-\nu) \quad (2)$$

$$\xi = \ln(r_m/r_0) \quad (3)$$

$$\lambda = E_p/G_s \quad (4)$$

$$\mu = \sqrt{2\xi g\lambda}/r_0 \quad (5)$$

式中 ρ 为土体不均匀系数, 等于桩中间处土体模量与桩端处土体模量的比值, L 为桩长度, ν 为土体的泊松比, r_0 为桩半径, E_p 为桩体弹性模量, G_s 为土体剪切模量。

结合上述单桩的位移分布函数, 考虑到群桩效应, 存在以下群桩中的单桩的位移函数, 经过基于变分原理的群桩分析证明该函数作为位移分布函数是合理的^[7], 其表达式为

$$w_i(z) = x_i + y_i \cosh[\mu_i(L_i - z)] \quad (i=1, 2, \dots, np) \quad (6)$$

式中 $w_i(z)$ 为 i 桩深度 z 处的位移; x_i 和 y_i 为待定系数; np 为群桩中桩的数量; z 为深度变量; L_i 为群桩中 i 桩的长度; μ_i 为群桩中 i 桩的参数 μ 的大小。

根据 Randolph (1978) 单桩的桩侧摩阻力与桩身位移的关系, 基于式 (6) 可以提出以下形式的长短桩群桩基础中单桩的桩侧摩阻力函数关系式:

$$\tau_i(z) = \{x_i + y_i \cosh[\mu_i(L_i - z)]\} \frac{G_s}{\xi_i r_{0i}} \quad (7)$$

式中 $\tau_i(z)$ 为 i 桩深度 z 处的桩侧摩阻力, 其它各符号意义同前。

可以将式 (7) 中 $\frac{G_s}{\xi_i r_{0i}}$ 放到系数 x_i 和 y_i 中去, 从而将其简化为

$$\tau_i(z) = x_i + y_i \cosh[\mu_i(L_i - z)] \quad (8)$$

1.2 变形协调关系

Mindlin (1936) 弹性基本解^[8]是满足变形协调条件的的基本解之一, 通过该基本解在土体中的应用和桩上位移协调的条件, 可以间接使桩侧摩阻力函数关系式满足变形协调的条件。为了保证桩土体的位移协调条件, 可在群桩中单桩的两点积分 (式 (8) 近似为二次式) 的 Gauss 积分点处和桩端处令土体位移和桩体位移相等。

对于如图 1 所示的长短桩相互作用示意图, 图中 “*” 代表该桩的 Gauss 积分点位置。长短桩基础中第 n 根桩第 m 个 Gauss 积分点处土体的位移, 可由 Mindlin 基本解进行积分来求得。表达式如下:

$$w_{nm} = \sum_{i=1}^{np} \left(\iint_{S_i} f(z_{nm}, z) \tau_i(z) dS_i + \iint_{A_i} f(z_{nm}, z_{bi}) \sigma_{bi} dA_i \right) \quad (9)$$

式中 $n=1, 2, \dots, np$; $m=1, 2$; $f(c, z)$ 为半无限弹性体内 z 处单位荷载引起另一点 c 处位移的 Mindlin 基本解; S_i 第 i 根桩桩周柱面; A_i 为第 i 根桩桩端圆截面; $\tau_i(z)$ 为第 i 根桩深度 z 处的桩侧摩阻力; σ_{bi} 为第 i 根桩桩端应力; np 为群桩中总桩数; z_{nm} 为第 n 根桩第 m 个 Gauss 积分点纵坐标; z_{bi} 为第 i 根桩桩端纵坐标; σ_{bi} 为第 i 根桩桩端正应力。

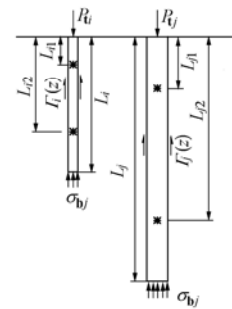


图 1 长短桩分析示意图

Fig. 1 Sketch of long-short pile group analysis

同理, 群桩中第 n 根桩桩端处土体的位移, 可由下式计算:

$$w_{bn} = \sum_{i=1}^{np} \left(\iint_{S_i} f(z_{bn}, z) \tau_i(z) dS_i + \iint_{A_i} f(z_{bn}, z_{bi}) \sigma_{bi} dA_i \right) \quad (10)$$

式中 z_{bn} 为第 n 根桩桩端坐标, 其它符号意义同前。

将桩侧摩阻力的函数关系式, 即式 (8) 代入式 (9) 和 (10), 得

$$w_{nm} = \sum_{i=1}^{np} \left(x_i \iint_{S_i} f(z_{nm}, z) dS_i + y_i \iint_{S_i} f(z_{nm}, z) \cosh[\mu_i(L_i - z)] dS_i + \sigma_{bi} \iint_{A_i} f(z_{nm}, z_{bi}) dA_i \right) \quad (11)$$

$$w_{bn} = \sum_{i=1}^{np} \left(x_i \iint_{S_i} f(z_{bn}, z) dS_i + y_i \iint_{S_i} f(z_{bn}, z) \cosh[\mu_i(L_i - z)] dS_i + \sigma_{bi} \iint_{A_i} f(z_{bn}, z_{bi}) dA_i \right) \quad (12)$$

式中 $\iint_{S_i} f(z_{nm}, z) dS_i$ 和 $\iint_{S_i} f(z_{bn}, z) dS_i$ 通过二维勒让德-高斯求积法求解。桩端应力引起的位移的计算可假定桩端应力为均匀分布, 即

$$\iint_{A_i} f(z_{nm}, z_{bi}) dA_i = r_i^2 \int \int f(z_{nm}, z_{bi}) \quad (13)$$

$$\iint_{A_i} f(z_{bn}, z_{bi}) dA_i = r_i^2 \int \int f(z_{bn}, z_{bi}) \quad (14)$$

当分析桩端阻力引起的自身桩端位移时, 即当式 (14) 中 $i=n$ 时, 位移大小由下式确定^[9]:

$$w = \frac{\delta(1+\nu)}{16E_{si}(1-\nu)} \left\{ (3-4\nu)r_i + (5-12\nu+8\nu^2)(R_i - z_i) + \frac{5-8\nu}{2} z_i^2 \left(\frac{1}{z_i} - \frac{1}{R_i} \right) + \frac{z_i}{2} - \frac{z_i^4}{2R_i^3} \right\}, \quad (15)$$

式中 $z_i = 2 \cdot L_i$, $R_i = \sqrt{z_i^2 + r_i^2}$, E_{si} 为土体的弹性模量, 其它符号意义同前。

当土体为非均匀土体时, 根据 Poulos (1979) 的结论^[10], Mindlin 基本解中土体的模量采用下式计算:

$$E_s = 0.5(E_{si} + E_{sj}). \quad (16)$$

式中 E_s 为非均匀土体中沉降计算采用的模量; E_{si} 为位移计算点处土体的模量; E_{sj} 为荷载作用处土体的模量。

将积分表达式 (11) 和式 (12) 表示为如下的矩阵形式:

$$[w]_{(np \times 3) \times 1} = [f]_{(np \times 3) \times (np \times 3)} [\alpha]_{(np \times 3) \times 1}, \quad (17)$$

式中 $[w]_{(np \times 3) \times 1} = \{w_{g11}, w_{g12}, w_{b1}, w_{g21}, w_{g22}, w_{b2}, L, w_{gnp1}, w_{gnp2}, w_{bnp}\}^T$, $[\alpha]_{(np \times 3) \times 1} = \{x_1, y_1, \sigma_{b1}, x_2, y_2, \sigma_{b2}, L, x_{np}, y_{np}, \sigma_{bnp}\}^T$, $[f]_{(np \times 3) \times (np \times 3)}$ 矩阵中各值可由式 (11) ~ (16) 确定。

1.3 桩身物理方程

桩身物理方程应用的目的是从桩身压缩的角度, 分析从桩顶至桩身某一深度处桩体的压缩量大小。桩身任意深度 z 处的桩身轴力大小为

$$p_i(z) = 2 r_i \int_z^{L_i} \tau_i dz + A_i \sigma_{bi}, \quad (18)$$

式中 $p_i(z)$ 为 i 桩深度 z 处的轴力, $\tau_i(z)$ 为 i 桩深度 z 处的侧摩阻力, A_i 为 i 桩的截面积, 其它符号意义同前。

将桩侧摩阻力函数关系式 (式 (8)) 代入式 (18), 可得

$$p_i(z) = 2 r_i \left\{ L_i - \beta x_i + \frac{1}{\mu_i} \sinh [\mu_i (L_i - \beta) y_i] \right\} + A_i \sigma_{bi}, \quad (19)$$

任意深度 z 处的桩体压缩量为

$$\Delta w_{iz} = \int_0^z \frac{p_i(z)}{E_{pi} A_i} dz. \quad (20)$$

将式 (19) 代入式 (20) 可得

$$\Delta w_{iz} = \frac{2}{E_{pi} r_i} (L_i z - 0.5 z^2) x_i + \frac{2}{E_{pi} r_i} \frac{\cosh(\mu_i L_i) - \cosh[\mu_i (L_i - z)]}{\mu_i^2} + \frac{z}{E_{pi}} \sigma_{bi}. \quad (21)$$

对于群桩中第 i 桩, 该桩两个 Gauss 积分点和桩端处桩身的压缩量可由以下矩阵表示:

$$\begin{bmatrix} \Delta w_{i1} \\ \Delta w_{i2} \\ \Delta w_{bi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & & \\ & \Delta f_{3 \times 3} & \\ & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ \sigma_{bi} \end{bmatrix}, \quad (22)$$

式中 $[\Delta f_{3 \times 3}]$ 矩阵中各值可将对应的 Gauss 积分点和桩端的坐标代入式 (21) 分别求得。

对于整个群桩基础, 可以将式 (22) 扩充为以下矩阵形式:

$$[\Delta w]_{(np \times 3) \times 1} = [\Delta f]_{(np \times 3) \times (np \times 3)} [\alpha]_{(np \times 3) \times 1}, \quad (23)$$

式中 $[\Delta w]_{(np \times 3) \times 1} = \{\Delta w_{g11}, \Delta w_{g12}, \Delta w_{b1}, \Delta w_{g21}, \Delta w_{g22}, \Delta w_{b2}, L, \Delta w_{gnp1}, \Delta w_{gnp2}, \Delta w_{bnp}\}^T$, $[\alpha]_{(np \times 3) \times 1} = \{x_1, y_1, \sigma_{b1}, x_2, y_2, \sigma_{b2}, L, x_{np}, y_{np}, \sigma_{bnp}\}^T$, $[\Delta f]_{(np \times 3) \times (np \times 3)}$ 由群桩中各桩的 $[\Delta f_{3 \times 3}]$ 扩充而成。

1.4 力的平衡方程

根据桩的平衡方程, 可以得出桩侧摩阻力和桩端阻力与桩顶荷载的关系式, 将 $z=0$ 代入式 (19) 可得,

$$p_{ti} = p_i(0) = 2 r_i \beta \sinh(r_i \frac{1}{\mu_i}) \mu_i L_i y_i + r_i^2 \sigma_{bi}. \quad (24)$$

对于长短桩群桩基础可以形成以下矩阵的形式,

$$[T]_{np \times (np \times 3)} [\alpha]_{(np \times 3) \times 1} = [p_t]_{np \times 1}, \quad (25)$$

式中 $[\alpha]_{(np \times 3) \times 1} = \{x_1, y_1, \sigma_{b1}, x_2, y_2, \sigma_{b2}, L, x_{np}, y_{np}, \sigma_{bnp}\}^T$, $[p_t]_{np \times 1} = \{p_{t1}, p_{t2}, L, p_{tnp}\}^T$, $[T]_{np \times (np \times 3)}$ 可由式 (24) 的单桩分析扩充而成。

1.5 长短桩位移分析

群桩中桩顶的沉降应等于桩身某点的沉降加上该点至桩顶的桩体压缩量, 即

$$\begin{cases} w_{ni} + \Delta w_{ni} = w_{ti}, \\ w_{bi} + \Delta w_{bi} = w_{ti}, \end{cases} \quad (26)$$

式中 w_{ti} 为群桩中第 n 桩桩顶位移。

将基于变形协调关系的式 (17) 和基于物理方程的式 (23) 代入式 (26), 可得

$$[w_t]_{(np \times 3) \times 1} = [g]_{(np \times 3) \times (np \times 3)} [\alpha]_{(np \times 3) \times 1}, \quad (27)$$

式中 $[w_t]_{(np \times 3) \times 1} = \{w_{t1}, w_{t1}, w_{t1}, w_{t2}, w_{t2}, w_{t2}, L, w_{tnp}, w_{tnp}, w_{tnp}\}^T$, $[\alpha]_{(np \times 3) \times 1}$ 含义同前, $[g]_{(np \times 3) \times (np \times 3)} = [f]_{(np \times 3) \times (np \times 3)} + [\Delta f]_{(np \times 3) \times (np \times 3)}$, 可参见式 (17) 和 (23)。

由式 (27) 得到

$$[h]_{np \times (np \times 3)} [w_t]_{(np \times 3) \times 1} = [\alpha]_{(np \times 3) \times 1}, \quad (28)$$

式中 $[h] = [g]^{-1}$ 。

引入力的平衡方程, 根据式 (25) 和式 (28) 可以得到群桩中桩顶荷载和桩顶位移之间的关系表达式

$$[k]_{np \times (np \times 3)} [w_t]_{(np \times 3) \times 1} = [p_t]_{np \times 1}, \quad (29)$$

其中, $[k]_{np \times (np \times 3)} = [T]_{np \times (np \times 3)} [h]_{(np \times 3) \times (np \times 3)}$ 。

根据 $[w_t]$ 的三次重复的特性 (见式 (27)), 可以将式

(29) 中的 $[k]$ 进行化简, 即每三列相加化为一列, 从而形成

$$[k]_{np \times np} [w_t]_{np \times 1} = [p_t]_{np \times 1} \quad (30)$$

式 (30) 为联系长短桩基础中桩顶荷载和桩顶沉降的刚度矩阵, 由此可以根据基础中所受的竖向荷载来求解桩基础的沉降。

2 比较与验证

2.1 等桩长结果比较

等桩长的桩基础是长短桩基础的一种特殊情况, 因此长短桩基础的分析方法首先应该可以分析等桩长的桩基础。为了验证本文方法的正确性, 将本文方法与 Butterfield 的边界单元方法^[3]进行了比较。以下群桩基础除作特别说明外均为刚性高承台下的群桩基础。

对于均匀土体中的单桩和具有对称性特性的 2 桩、3 桩和 4 桩等群桩基础 (桩间距 $s = 5r_0$, r_0 为桩半径, 土体泊松比为 0.5), 当桩为刚性桩和一般压缩性桩 ($\lambda = \frac{E_p}{G_s} = 6000$) 时, 随桩的长径比的变化群

桩的等效刚度 $\frac{P_t}{G_s r_0 w_t}$ 的变化如图 2, 3 所示。

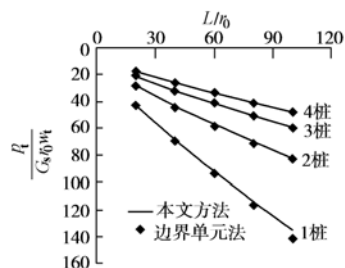


图 2 刚性桩群桩中各桩刚度比较

Fig. 2 Load-settlement ratio of piles for rigid pile groups

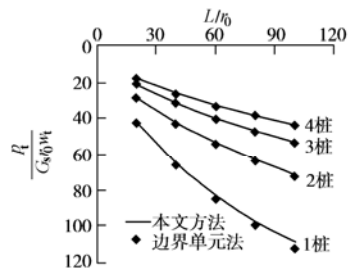


图 3 压缩性群桩中各桩刚度比较

Fig. 3 Load-settlement ratio of piles for compressible pile groups

对于均匀土体中 3×3 群桩, 桩间距 $s = 5r_0$, 土体泊松比为 0.5。为了表达的方便将群桩中各桩进行编号, 角点处桩为 #1, 各边中点处桩为 #2, 中心点处桩为 #3。当群桩中各桩采用刚性桩和一般压缩性桩

($\lambda = 6000$) 时, 随着桩的长径比的变化, 各桩的等效刚度的变化分别如图 4 和图 5 所示。比较结果证明本文方法与边界单元法结果吻合性较好。

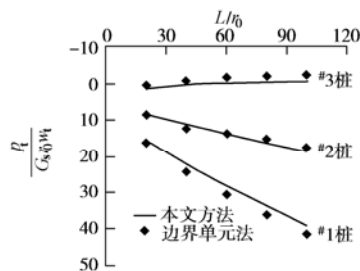


图 4 3×3 刚性桩群桩中各桩刚度比较

Fig. 4 Load-settlement ratio of piles for 3×3 rigid pile groups

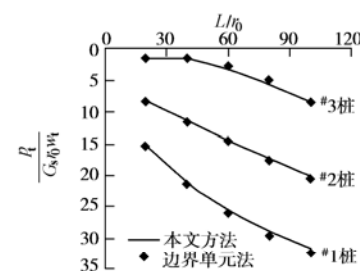


图 5 3×3 压缩性桩群桩中各桩刚度比较

Fig. 5 Load-settlement ratio of piles for 3×3 compressible pile groups

2.2 变桩长结果比较

为了比较变桩长群桩基础下本文方法解的准确性, 采用三维线弹性有限元计算结果与之进行比较。采用 ANSYS 有限元分析软件进行分析, 桩体采用三维杆单元, 土体采用八节点六面体单元, 无接触面单元。有限元模型的范围在竖向取两倍的长桩桩长, 水平方向取 2.5 倍的长桩长度^[6,11]。模型底面采用全自由度约束, 侧面采用法向约束。

在进行比较分析之前, 分析了采用上述有限元模型进行群桩分析的精度问题。取一柔性板下的 3×3 群桩基础, 各参量与前一部分的 3×3 压缩性群桩基础相同, 桩体的泊松比取 0.2。等桩长基础下有限元方法解和本文方法解的比较见图 6。对于等桩长群桩基础, 由前一部分“等桩长结果比较”可知本文方法和边界单元方法的结果非常吻合, 而图 6 表明本文方法与有限元方法相比规律相同但数量上有一定差异。从而可得出在本文选取的计算模型条件下有限元解答给出的规律是正确的, 但给出结果的数量值仅供参考。

首先分析了均匀土体中两根长度不相同的桩组成的桩基础 (桩间距 $s = 5r_0$, r_0 为桩半径, 土体泊松比为 0.3, 桩的泊松比取 0.2), 桩土刚度比 $\lambda = 6000$ 。令双桩之一为 #1 桩, 另一根为 #2 桩。当 #2 桩长度分别为 $20r_0$ 和 $60r_0$ 时, 随 #1 桩长度变化两根桩的等效刚度

$\frac{P_t}{G_s r_0 w_t}$ 的变化曲线如图 7 和图 8 所示。

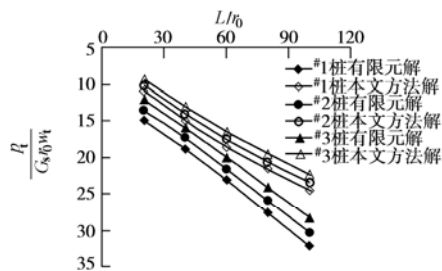


图 6 3×3 群桩基础中两种分析方法的结果比较

Fig. 6 Comparison of load-settlement ratio of 3×3 pile groups analyzed with two methods

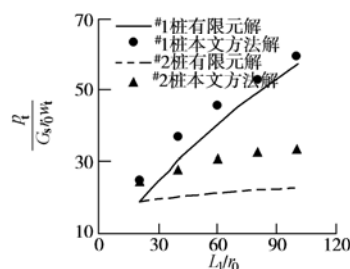


图 7 不等长双桩基础中各桩刚度比较 ($L_2 = 20r_0$)

Fig. 7 Load-settlement ratio of piles for two-pile groups with different depths ($L_2 = 20r_0$)

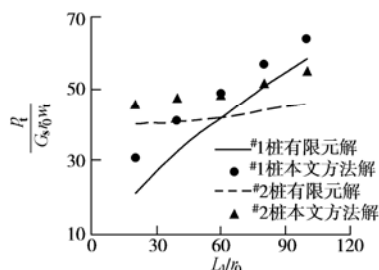


图 8 不等长双桩基础中各桩刚度比较 ($L_2 = 60r_0$)

Fig. 8 Load-settlement ratio of pile for two-pile groups with different depths ($L_2 = 60r_0$)

然后分析了一均匀土体中 5 根桩组成的群桩基础, 其中 4 根桩位于边长 $12r_0$ 的正方形角点处, 第五根桩位于正方形的中心点, 土体泊松比为 0.3, 桩的泊松比取 0.2, 桩土刚度比 $\bar{\epsilon} = 6000$ 。当角桩长度为 $100r_0$ 时, 随中心桩长度的变化, 角桩和中心桩的等效刚度 $\frac{P_t}{G_s r_0 w_t}$ 的变化曲线见图 9。与之相类似, 当中心点桩长度为 $100r_0$ 时, 随角桩长度的变化, 角桩和中心桩的等效刚度 $\frac{P_t}{G_s r_0 w_t}$ 的变化曲线见图 10。

最后分析了土体模量随深度线性增大条件下 5 根桩组成的群桩基础, 除了土体参数不同外, 其他条件与上述均匀土体中 5 桩基础相同。桩土刚度 $\lambda = E_p/G_{sTop} = 6000$, G_{sTop} 为土体桩顶处的剪切模量, 土体模量随深度增大率为 $0.01G_{sTop}m^{-1}$ 。当角桩长度为

$100r_0$ 时, 随中心桩长度的变化, 角桩和中心桩的等效刚度 $\frac{P_t}{G_s r_0 w_t}$ 的变化曲线见图 11。与之相类似, 当中心点桩长度为 $100r_0$ 时, 随角桩长度的变化, 角桩和中心桩的等效刚度 $\frac{P_t}{G_s r_0 w_t}$ 的变化曲线见图 12。

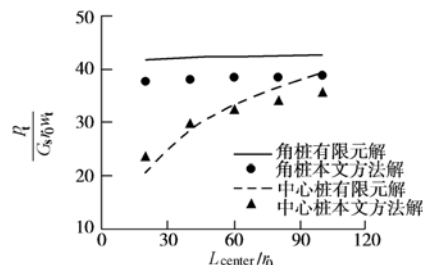


图 9 均匀土中五桩基础各桩刚度比较 ($L_{corner} = 100r_0$)

Fig. 9 Load-settlement ratio of piles for five-pile groups in homogeneous soil ($L_{corner} = 100r_0$)

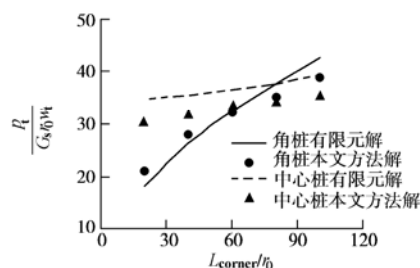


图 10 均匀土中五桩基础各桩刚度比较 ($L_{center} = 100r_0$)

Fig. 10 Load-settlement ratio of piles for five-pile groups in homogeneous soil ($L_{center} = 100r_0$)

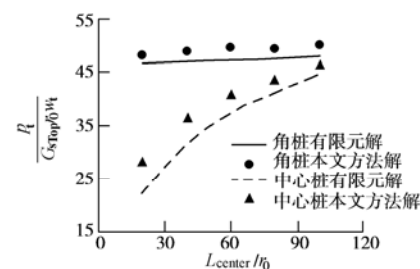


图 11 不均匀土中五桩基础各桩刚度比较 ($L_{corner} = 100r_0$)

Fig. 11 Load-settlement ratio of piles for five-pile groups in nonhomogeneous soil ($L_{corner} = 100r_0$)

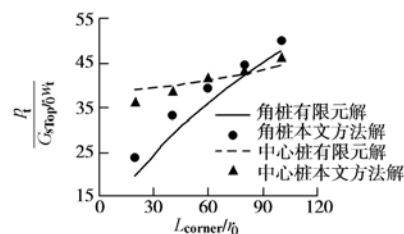


图 12 不均匀土中五桩基础各桩刚度比较 ($L_{center} = 100r_0$)

Fig. 12 Load-settlement ratio of piles for five-pile groups in nonhomogeneous soil ($L_{center} = 100r_0$)

通过上述均匀土中和非均匀土中长短桩群桩基础位移结果的比较分析,本文方法得出的结论与有限元方法的解答数量上略有差异,但分布规律是一致的。同时还可得出随着群桩基础组成桩数的增加,本文方法与有限元方法计算结果的差异逐渐减小。

3 结 论

对于均匀土体和模量随深度线性变化土体中长短桩基础的位移分析,本文方法与边界单元方法结果较吻合,与有限元方法结果规律相同,数量上略有差异。从而可确定文中提出的桩侧摩阻力分布函数是合理的,可以采用该方法分析长短桩基础中各桩的位移。该方法无需划分桩体单元,而且对于不同长度的桩组成的桩基础具有分析过程和形成刚度矩阵大小的不变性,处理较方便且计算量相对较小。同时本文方法为桩基础和桩筏基础的变刚度调平优化设计提供了一个基础条件。

参考文献:

- [1] 杨 敏,王 伟,杨 桦. 嵌岩长桩下长短桩桩基础设计的初步探讨[A]. 地基基础技术发展与应用[C]. 北京:知识产权出版社,2004:105-112.
- [2] 葛忻声,龚晓南,张先明. 长短桩复合地基有限元分析及设计计算方法探讨[J]. 建筑结构学报,2003,24(4):91-96.
- [3] Butterfield R, Banerjee P K. The elastic analysis of compressible piles and pile groups[J]. Geotechnique, 1971,21(1):43-60.
- [4] Chow Y K. Analysis of vertically loaded pile groups[J]. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 1986,(10):59-72.
- [5] Liang Fayun, Chen Longzhu, Shi Xuguang. Numerical analysis of composite piled raft with cushion subjected to vertical load[J]. Computers and Geotechnics, 2003, 30:443-453.
- [6] Randolph M F, Wroth C P. Analysis of deformation of vertically loaded piles[J]. Journal of the Geotechnical Engineering(ASCE), 1978,104(12):1465-1488.
- [7] 王 伟,杨 敏. 基于变分原理的群桩位移计算方法[J]. 岩土工程学报,2005,27(9):1072-1076.
- [8] Mindlin R D. Force at a point in the interior of a semi-infinite solid[J]. Physics, 1936,7:195-202.
- [9] Poulos H G, Davis E H. Pile Foundation Analysis and Design[M]. John Wiley and Sons, New York, 1980.
- [10] Poulos H G. Settlement of single piles in nonhomogeneous soil[J]. Journal of the Geotechnical Engineering Division, 1979,105(5):627-641.
- [11] Prakoso W A, Kulhawy F H. Contribution to piled raft foundation design[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2001,127(1): 17-24.

《岩土工程学报》稿件远程处理系统开通

经过多方的努力,《岩土工程学报》稿件远程处理系统已投入使用,该系统包括作者投稿、作者查稿、专家审稿和编辑远程四个功能块。作者、审稿人和编辑可以通过登陆网址:<http://www.cgejournal.com>, 分别点击各功能块来完成相应的功能。作者可以通过该系统填写个人信息、设置用户名和密码以及上载投稿稿件的 WORD 文档,并且还可以随时查询稿件的审理进程。审稿人可以根据收到稿件审稿单上的用户名和密码

登陆,然后评审相应的稿件并填写审阅意见。《岩土工程学报》稿件远程处理系统的开通将给广大读者、作者和编辑部的工作带来方便,并提高稿件处理效率,欢迎广大读者使用本刊稿件远程处理系统进行投稿、查询稿件,也欢迎我刊审稿人使用本系统完成审稿。为了更好地改进我们的工作,欢迎您在使用本系统过程中提出宝贵的意见和建议。

(本刊编辑部)