

软土地区群桩效应影响因素的有限元分析

苑利飞,鹿群,杨海勇

(天津城建大学 天津市软土特性与工程环境重点实验室,天津 300384)

摘要:针对天津滨海地区软土地基,利用有限元软件 MIDAS 进行群桩效应的影响因素分析,讨论了在不同桩长、桩径、桩距以及不同桩数等情况下群桩效应系数以及承台底土分担荷载比例的变化规律。研究发现群桩效应系数随桩长、桩径和桩数的增加减小,桩距对群桩效应系数影响很小,承台底土分担的荷载比例随着桩距和桩径的增加而增大,随着桩长和桩数的增加而减小。

关键词:软土;有限元;群桩效应

中图分类号:TU473.1

文献标识码:A

Finite element analysis of effect of pile group in soft soil area

YUAN Li-fei, LU Qun, YANG Hai-Yong

(Tianjin Key Laboratory of Soft Soil Characteristics and Engineering Environment, TJCU, Tianjin 300384, China)

Abstract: Based on the soft soil foundation of Tianjin Binhai New Area, the change of pile group effect coefficient in different pile length, pile diameter, pile spacing and different number of pile were analyzed by using the finite element software MIDAS. The result shows that the pile group effect coefficient decreases as the increase of the pile length, pile diameter and pile number. The pile spacing has little effect on the pile group effect coefficient. The load ratio shared by the soil under the cushion cap increases as the pile spacing, the pile diameter decreases and as the pile length, pile number increases.

Key words: soft soil; finite element; pile group effect

桩基础在现代工程中运用越来越广泛,在实际的桩基工程中,除了少量大直径单桩基础以外,一般都是群桩基础^[1]。群桩基础在传递上部荷载时由于承台的存在使其工作机理与单桩不同,荷载通过承台传递给桩和桩周土,各个桩之间通过桩周土产生相互影响,来自桩和承台的竖向力最终在桩端平面形成了应力的叠加,从而使桩端平面的应力水平大大超过单桩,应力扩散的范围也远远大于单桩,这些方面影响的综合结果就是使群桩的工作性状与单桩有很大差别^[2],这种差别通过群桩效应系数 η 来反映。本文对可能影响群桩效应系数的因素如桩长、桩径、桩距和桩数进行了研究。由于研究对象为复合桩基,所以必须要考虑到承台底土对桩基础的影响,本文根据计算

结果提取了在不同情况下各基桩的承载力,计算出了各种情况时的承台底土分担荷载的比例并得出了其变化规律。

对于群桩基础来说可以分为两种:一种是由端承桩组成的群桩基础,上部荷载大部分由桩身直接传到桩端,承台所受荷载近似等于各单桩承载力之和,即: $\eta=1$ 。第二种就是由摩擦桩组成的群桩,大部分荷载由桩侧阻力传递到桩侧土层中,对于一般的低承台群桩,承台将分担一部分荷载,群桩承载力将不等于各单桩承载力之和^[3],其群桩效应系数可能大于1也可能小于1。由于天津地区多为软土,因此,本文研究对象为摩擦型群桩,土体参数取自天津市滨海新区软土层。

表1 材料属性与特性参数

Tab1. Material properties and feature parameters

	密度 /kN·m ⁻³	粘聚力 /kPa	内摩擦角 /°	弹性模量 /kPa	泊松比	剪切刚度 /kN·m ⁻³	法向刚度 /kN·m ⁻³
粘土	17.5	8	1.7	2 650	0.4		
粉土	20.4	27.8	16.8	13 050	0.35		
桩	24			2e7	0.2		
承台	24			2e7	0.2		
桩与粘土摩擦		8	1.7			1e3	1e5
桩与粉土摩擦		27.8	16.8			1e3	1e5

表2 计算方案

Tab.2 Computing solutions

类型	桩长/m	桩径/m	桩距	桩数	承台宽度/m
单桩	12/16	0.4/0.6			
桩长的影响	12/16	0.4	3D	4	2
桩径的影响	12	0.4/0.6	3D	4	2/3
桩距的影响	12	0.4	3D/4D/5D	4	2/2.5/3
桩数的影响	12	0.4	3D	4/9/16	2/3.5/4.5

1 模型建立及参数选取

1.1 模型建立

对于复合桩基来说,一般是由于桩周土体首先破坏而影响构(建)建筑物的使用功能,此时,桩与承台本身尚处于弹性变形阶段。因此,对群桩基础进行有限元分析时桩与承台采用线弹性的本构模型。土体和承台采用实体模型,桩采用线单元。土体分为上下两层,上层土为粉质粘土,下层土为粉土,深度都为10 m。承台采用正方形,承台厚度为1 m。土体边界条件底部为固定支撑,土体侧面约束为垂直侧面方向约束。模型见图1。

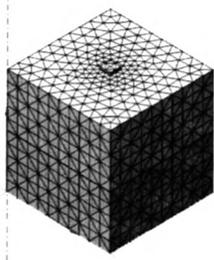


图1 土体模型及网格划分

Fig1. Soil model and grid partition

1.2 数值计算参数

数值参数计算见表1。

2 有限元方案及成果分析

2.1 计算方案的选择

为了分析桩长、桩径、桩距和桩数对群桩效应

系数的影响,本文分别选取了四种计算方案,计算方案见表2。

2.2 群桩效应系数的计算

计算时,单桩极限承载力取沉降曲线中陡降点所对应的荷载为单桩极限承载力。对于群桩基础,由于沉降曲线没有陡降点,取群桩沉降60 mm对应的荷载为群桩极限承载力。群桩中基桩的承载力取桩顶所受的荷载。按下列公式分别计算群桩效应系数 η 和承台底土分担的荷载比例 n 。

$$\eta = \frac{\text{群桩中基桩的极限承载力}}{\text{单桩极限承载力}}$$

$$n = \frac{\text{承台底面受到的竖向力} - \text{基桩承载力之和}}{\text{承台底面受到的竖向力}}$$

2.3 有限元分析

桩长的影响。当桩长分别为12 m和16 m时各桩的极限承载力如表3,群桩极限承载力与沉降位移的关系曲线如图2。由表3可知:(1)随着桩长的增加,承载力 Q 有了显著的增加,这是由于桩与土的接触面积增大使得桩侧摩阻力增加,从而提高了群桩的极限承载力。但是荷载效应系数 η 却由1.02减小至0.95,即随着桩长的增长,群桩效应系数逐渐减小。原因是桩长的增加使得单桩极限承载力也相应的提高,且其提高幅度大于群桩极限承载力的提高幅度,因此导致群桩效应系数减小。(2)当桩长由12 m增加至16 m时,承台底土分担的荷载比例 n 由0.31减小至0.28。这说明随着桩长的增加承台底土发挥的作用在减

小,而桩发挥的作用是增加的。

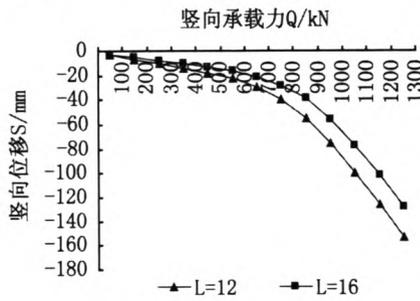


图2 桩长不同时Q-S曲线

Fig.2 Q-S curves of different pile lengths

表3 桩长不同时各桩的极限承载力

Tab.3 The pile's ultimate strength of different pile length

桩长/m	单桩极限承载力/kN	群桩极限承载力/kN	基桩承载力/kN	η	n
12	157	920	160	1.02	0.31
16	188	1 000	178	0.95	0.28

桩径的影响。当桩径分别为 0.4 m 和 0.6 m 时各桩的极限承载力如表 4,群桩极限承载力与沉降位移的关系曲线如图 3。由表 4 可知:(1)桩径增大,承载力提高,群桩效应系数 η 由 1.02 减小至 0.80。即随着桩径的增大,群桩效应系数逐渐减小。原因是桩径的增大使得桩土接触面增大,桩侧摩阻力增加,从而使得群桩的极限承载力提高,但其提高幅度小于单桩极限承载力的提高,因此群桩效应系数减小。(2)当桩径由 0.4 m 增大至 0.6 m 时,承台底土分担的荷载比例 n 由 0.30 增大至 0.32,原因是桩径的增大,承台面积也相应增大,从而使得承台与土的接触面积增大,承台底土分担的荷载比例会随之增大,桩分担的比例随之减小。

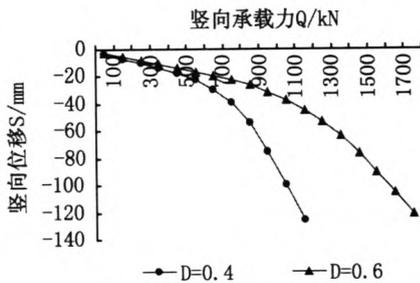


图3 桩径不同时Q-S曲线

Fig.3 Q-S curves of different pile diameters

表4 桩径不同时各桩的极限承载力

Tab.4 The pile's ultimate strength of different pile diameters

桩长/m	单桩极限承载力/kN	群桩极限承载力/kN	基桩承载力/kN	η	n
0.4	157	920	160	1.02	0.30
0.6	254	1 170	202	0.80	0.32

桩距的影响。当桩距分别为 3D、4D 和 5D 时

各桩的极限承载力如表 5,群桩极限承载力与沉降位移的关系曲线如图 4。由表 5 可知:当桩距分别为 3D、4D 和 5D 时,承载力逐渐增大,群桩效应系数 η 分别为 1.019、1.015 和 1.023。即随着桩距的增大,群桩效应系数几乎不变。原因是随着桩距越大,群桩相互影响越小,群桩中各桩工作性状越接近于单桩,群桩效应越不明显。随着荷载的增加,桩侧阻不断向下发展,侧阻所引起的应力叠加会越来越严重,其中桩距越小的群桩,应力叠加越严重,桩周土体变形越大,群桩中基桩的承载力也就越小。当桩距分别为 3D、4D 和 5D 时承台底土分担的荷载比例 n 分别为 0.31、0.34 和 0.39,说明随着桩距的增大,承台底土分担的荷载比例是增加的。因此,适当的增大桩距可以提高承台底土分担荷载的比例,提高土体承受上部荷载的利用率,从而提高群桩的极限承载力。

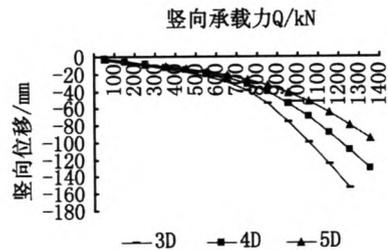


图4 桩距不同时Q-S曲线

Fig.4 Q-S curves of different pile Spacing

表5 桩距不同时各桩的极限承载力

Tab.5 The pile's ultimate strength of different pile spacing

桩长/m	单桩极限承载力/kN	群桩极限承载力/kN	基桩承载力/kN	η	n
3D	157	920	160	1.019	0.31
4D	157	975	158	1.015	0.34
5D	157	1 044	162	1.023	0.39

桩数的影响。当桩数分别为 4 根、9 根和 16 根时各桩的极限承载力如表 6,群桩极限承载力和竖向位移的关系曲线如图 5。由表 6 可知:当桩数分别为 4 桩、9 桩和 16 桩时,群桩效应系数 η 分别为 1.02、0.89 和 0.79。即随着桩数的增多群桩效应系数逐渐减小。原因是群桩中桩数越多,桩侧摩阻力产生的应力叠加越严重,桩周土体变形越大,从而使得群桩中基桩相应的承载力降低,群桩效应系数减小。当桩数分别为 4 根、9 根和 16 根时承台底土分担的荷载 n 分别为 0.31、0.18 和 0.13,说明随着桩数的增多,承台底土分担的荷载比例是减小的。

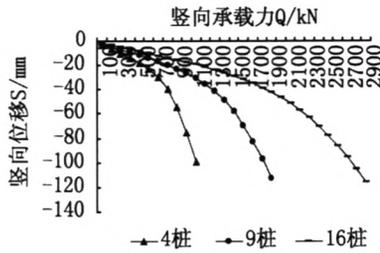


图5 桩数不同时Q-S曲线
Fig.5 Q-S curves of different pile number

表6 桩数不同时各桩的极限承载力

Tab.6 The pile's ultimate strength of different pile number

桩长/m	单桩极限承载力/kN	群桩极限承载力/kN	基桩承载力/kN	η	n
4 桩	157	920	160	1.02	0.31
9 桩	157	1 531	140	0.89	0.18
16 桩	157	2 268	124	0.79	0.13

3 结论

- 1) 群桩效应系数随桩长、桩径和桩数的增加减小,桩距对群桩效应系数影响很小。
- 2) 承台底土分担的荷载比例随着桩距和桩径的增加而增大,随着桩长和桩数的增加而减小。

(上接第49页)

以忽略不计,最大剪应力也十分小,应力水平远低于设计值。

2)通过模拟得出的地连墙径向变形基本一致,由于施工现场的复杂性以及施工过程中维护结构受力的复杂性,有限元软件无法完全一致,故相较于实测值其结果偏小。

3)通过模拟值、理论计算值和实测值的对比可以发现,虽然三种结果都显示地连墙的径向变形符合一级基坑的要求,然而理论计算值的结果明显大于实测值,证明通过传统力学理论的计算,其结果相对保守。

参考文献:

[1] 吕江宏,俞季民.考虑分级开挖的深基坑支护计算

因此适当增加桩距和桩径可以提高承台底土分担荷载的比例,充分发挥土的作用,从而提高群桩极限承载力。

参考文献:

[1] JGJ94-94, 建筑桩基技术规范[S].
 [2] 刘金砺. 粉土中钻孔群桩承台-桩-土的相互作用特性和承载力计算[J]. 岩土工程学报, 1987, 9(6): 1-15.
 [3] 胡汉兵. 竖向荷载下桩-土-承台共同作用特性研究[D]. 武汉: 武汉大学, 1999.
 [4] 王月香. 竖向承载复合桩基群桩效应及其效率研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2002.
 [5] 汤斌, 陈晓平. 群桩效应有限元分析[J]. 岩土力学, 2005, 26(6): 299-302.
 [6] 刘金砺. 竖向荷载下的群桩效应和群桩基础概念设计若干问题[J]. 土木工程学报, 2004, 37(1): 78-83.
 [7] 陈鹏. 竖向荷载作用下群桩效应模拟研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.
 [8] GANDHI, SHAILESH R. Group effect on driven piles under lateral load[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 1997(8): 65-79.
 (责任编辑 刘存英)

[J]. 长江科学院院报, 1998, 15(3). 65-64.
 [2] 刘红军, 贾永刚. 深基坑支护设计的弹性抗力有限元法[J]. 青岛海洋大学学报, 1999, 29(2). 43-48.
 [3] 胡伟. 软土地层地铁车站深基坑开挖围护结构稳定性数值模拟分析[D]. 成都: 西南交通大学, 2005.
 [4] 王世杰. 基坑支护技术及其在福州地区的工程应用[D]. 上海: 同济大学, 2004.
 [5] 秦志伟. 地铁车站深基坑支护结构变形有限元模拟与监测分析[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2011.
 [6] 邹晓琴. 地铁车站基坑开挖数值模拟[D]. 武汉: 华中科技大学, 2009.
 [7] 闫爱田. 黄土地区深基坑支护的有限元分析[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2010.
 (责任编辑 刘存英)