

Analysis of Influence of Foundation Pit Excavation on Adjacent Pile Group Foundation

Peng Zhang¹ Tengyue Zhao¹ Lingyi Li¹ Yue Wang¹ Haiding Bian² Weiwei Yao²

1.Beijing Municipal Road&Bridge Co., Ltd., Beijing, 100045, China

2.College of Highway, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi, 710064, China

Abstract

Based on the foundation pit of the underground pipe gallery of Beijing Daxing International Airport in China, this paper studies the influence of adjacent pile group foundation with "row" under the foundation pit excavation. The distribution characteristics of displacement and bending moment of "row" pile foundation under different pile spacing and different pile number are discussed respectively, and the difference of mechanical response between single pile in pile group and single pile foundation at the same position is analyzed with emphasis. The results show that the larger the pile spacing is, the weaker the pile group effect is, the more the pile number is, the more obvious the pile group effect is, but the influence of pile number on pile group effect is not as obvious as that of pile spacing.

Keywords

foundation pit excavation; group pile foundation; adjacent pile foundation; pile group effect; numerical simulation

基坑开挖对邻近群桩基础的影响分析

张鹏¹ 赵腾跃¹ 李凌宜¹ 王月¹ 卞海丁² 姚伟伟²

1.北京市政路桥股份有限公司, 中国·北京 100045

2.长安大学公路学院, 中国·陕西 西安 710064

摘要

论文以中国北京大兴国际机场地下综合管廊的基坑工程为依托,对基坑开挖下邻近呈“排”群桩基础的影响进行了研究。分别探讨了不同桩间距、不同桩数存在时,群桩布置形式为呈“排”桩基的位移和弯矩分布特征,重点分析了群桩中单桩的力学响应与同位置处单桩基础的差异。研究表明,桩间距越大,群桩效应越弱;桩数越多,群桩效应越明显,但桩数对群桩效应的影响没有桩间距的影响明显。

关键词

基坑开挖;群桩基础;邻近桩基;群桩效应;数值模拟

1 引言

随着城市化进程的加速推进,地面资源消耗巨大、地面空间不足的问题增多。工程师们开始探索地下空间的建设,地下综合管廊也在积极建设中,为减少施工影响、节约土地,某些时候不得不将地下综合管廊下穿桥梁结构布置。届时,地下综合管廊基坑开挖时将引起周围土体发生位移变形,致使邻近既有桥梁的桩基产生附加应力和变形,严重时会影响上部结构的正常使用^[1-2]。近年来有大量学者对开挖作用下既有桩基的力学响应特征进行了研究^[3-6]。

随着上部结构功能的提升改变,上部结构对下部基础的要求也逐渐提高,使得群桩基础的使用频率得到了极大的提高,特别是在桥梁的下部结构中,为满足桥梁变形、强度、稳定性的要求,通常采用群桩基础来提高桩基础的承载力。群桩在水平荷载作用下的受力变形性状与单桩有很大不同,当群桩基础在水平方向承受荷载时,不仅单桩之间相互影响,而且承台对于桩基础的水平承载性状有着极其重要的影响。因此可以说,群桩基础的水平承载力是桩、土及承台共同作用的结果,是十分复杂的荷载传递及重分布的作用。因此很有必要研究基坑开挖对邻近群桩基础的影响。

【作者简介】张鹏(1981-),男,中国北京人,硕士,工程师,现任职于北京市政路桥股份有限公司,从事市政工程研究。

论文依托中国北京新机场地下综合管廊的基坑工程,探讨了桩间距、桩数对呈“排”群桩基础横向性状的影响,通

过论文研究,以期对邻近基坑开挖时桩—土—桩的相互作用机理有更加深入地了解,相关结论可供类似工程参考。

2 计算方案

2.1 桩基布置形式

在工程实践中,群桩基础在平面上可能有不同的排列组合方式,由于精力有限,不可能对多种排列方式下的桩基性状全部进行研究,因此论文对最基本的桩基分布形式呈排桩(各桩中心点的连线垂直于土体运动的方向)进行研究。

2.2 桩间距及桩数

为研究基坑开挖时桩间距对邻近群桩基础性状的影响,对两根桩的呈排桩采用了三种不同的中心距,这三种中心距分别为 2.5d、5d 和 7.5d (d 为桩径),分别代表实际的桩间距范围;在 2.5d 的桩间距下,对 2 根桩、3 根桩和 4 根桩的群桩进行计算,进一步研究桩数对基坑开挖时邻近群桩基础性状的影响。计算模型如图 1 所示。

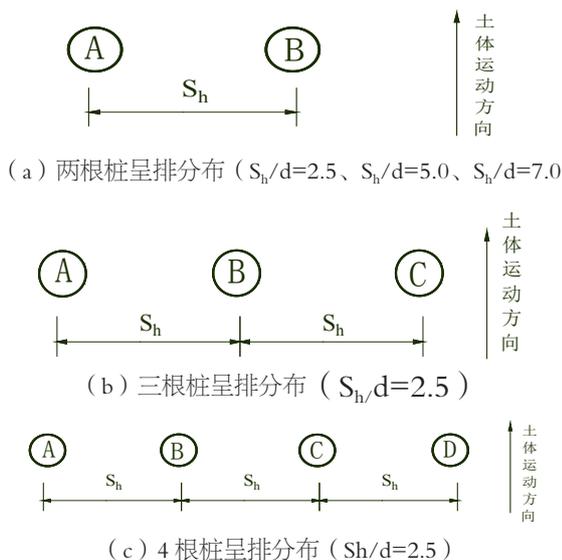


图 1 桩按排布置

2.3 计算模型尺寸及参数

论文计算所用单桩直径均为 1.5m、长度为 25m,桩基材料参数见表 1。论文分析所用承台均为高承台,在分析中仅起到固定、约束桩基的作用。承台边缘距边桩 1.5m,厚度取 1m,土体材料采用摩尔库伦本构模型,土体参数见表 2。

2.4 数值计算方法

论文通过利用 ABAQUS 有限元软件,对模型进行三维有限元计算,由于模型具有高度的对称性,故建模过程中取

一半模型进行分析,土体采用摩尔库伦模型,地应力平衡时采用导入 ODB 法。

表 1 桩基材料及尺寸

桩基材料	材料密度 ρ_w/kgm^{-3}	弹性模量 E/GPa	泊松比 μ	桩长 H/m	桩径 d/m
混凝土、钢筋	2000	30	0.2	20	1.5

表 2 砂土物理力学指标参数

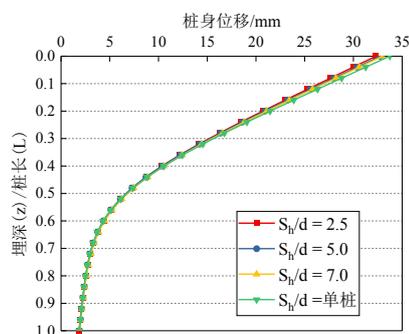
砂土密度 ρ/kgm^{-3}	弹性模量 E/MPa	泊松比 μ	内摩擦角 $\phi/^\circ$	黏聚力 c/kPa	侧压力系数 K_0
1800	50	0.3	28	0	0.40

3 呈“排”桩基的性状分析

3.1 桩间距的影响

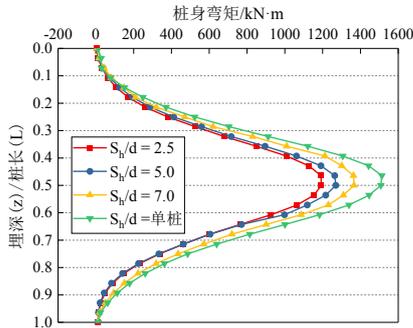
分别对桩间距为 2.5d (d 为桩径)、5d 和 7.5d 的三种自由桩头的群桩进行建模计算,研究桩间距对桩基性状及群桩效应的影响。由于群桩的对称布置,两桩的计算结果基本相同,因此只给出了平均结果。

如图 2 所示,展示了土体侧向流动时,不同间距及单桩的桩身位移曲线和弯矩曲线。图 (a) 为桩身侧移与桩身埋置深度的关系曲线,可以发现不同间距下群桩的水平位移相差不大,各组群桩的位移曲线和单桩的位移曲线非常相似,桩身最大侧移在桩头处,另外可以发现群桩的位移曲线均小于单桩的位移曲线,且这种差距主要体现在桩身 1/3 以上部分(约开挖面之上),特别指出由于桩直径及刚度较大,使得这种差距较小。如图 (b) 所示,在桩身弯矩曲线中,不同间距的桩身弯矩曲线在形状上均与单桩桩身弯矩非常相似,包括桩身最大弯矩的位置。与单桩弯矩曲线相比较,不同间距的桩身弯矩值均变小,容易发现随着桩间距的增加桩身弯矩也逐渐变大,另外可以发现,弯矩随着桩间距的变化主要集中在桩身中部位置,最大弯矩也出现在桩身中部位置处。



(a) 桩身侧移

图 2 桩间距对桩基性状的影响

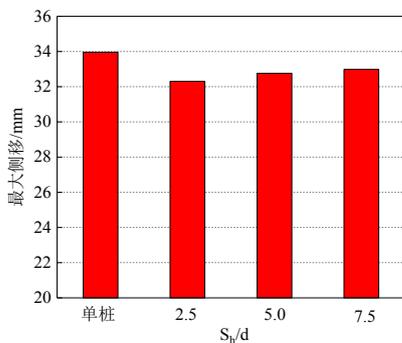


(b) 桩身弯矩

续图 2 桩间距对桩基性状的影响

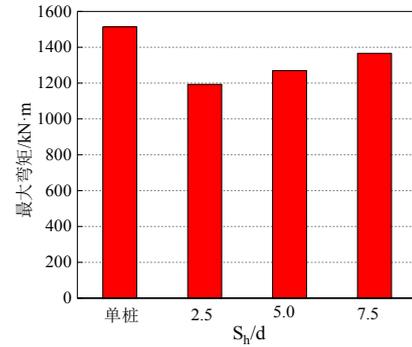
将桩间距与桩径归一化, S_h/d 作为横坐标, 分析桩身最大侧移、最大弯矩与桩间距的关系, 如图 3 所示。由图 (a)、(b) 可见, 无论桩身最大侧移还是最大弯矩, 不同桩间距的群桩基础均小于单桩基础, 并且最大位移和最大弯矩均随着桩间距的减小而变小, 尤其是最大弯矩从 1515kN (单桩) 减小到 1197kN (桩间距为 2.5d)。说明排桩之间存在一定的相互影响, 两根桩共同阻碍桩后土体的位移, 使得桩基的位移和内力均变小, 且桩间距越小越明显。

为进一步量化分析呈排群桩之间的相互影响作用, 计算相同位置处单桩的位移和受力, 和群桩中的每一根单桩进行比较, 然后利用位移和弯矩为特征的群桩效应系数进行分析这种群桩之间的影响作用。如图 4 所示, 图 (a) 和 (b) 分别为以位移和弯矩为特征的群桩效应系数与桩间距的关系。可知, 以位移和弯矩为特征的群桩影响系数都小于 1, 且均随着桩间距的增大而变大, 表明群桩效应随着桩间距的增加而变弱。由于桩基刚度较大, 群桩效应对于位移的影响较小, 群桩效应系数均在 0.95 以上, 对于弯矩值, 可以明显看到, 群桩系数与桩间距呈线性正相关的关系, 当桩间距为 2.5 时, 群桩效应系数为 0.78 左右, 桩间距为 7.5 时, 群桩系数增长为 0.9 左右, 说明桩间距对于群桩效应影响较大。



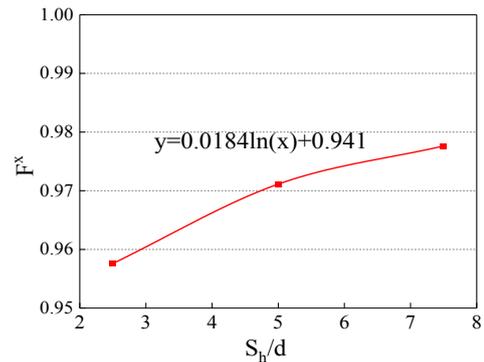
(a) 桩身最大侧移

图 3 桩间距对桩基性状的影响

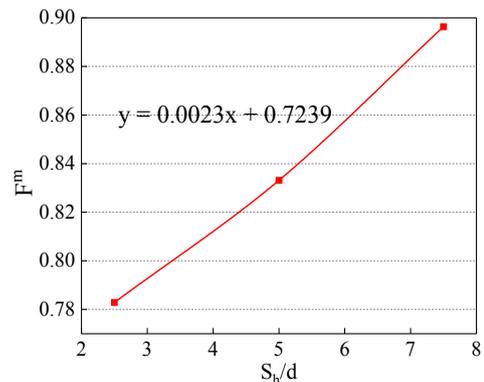


(b) 桩身最大弯矩

续图 3 桩间距对桩基性状的影响



(a) F^x



(b) F^m

图 4 群桩效应系数与桩间距的关系

3.2 桩数的影响

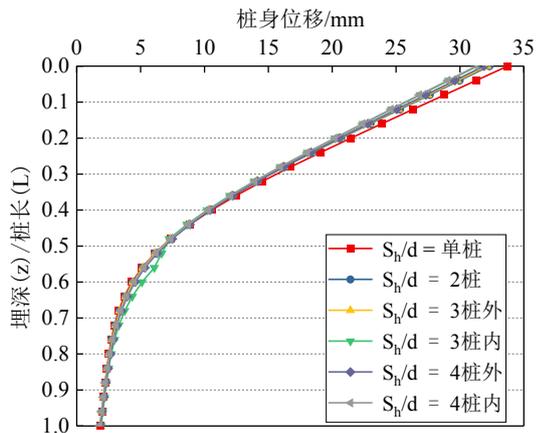
通过对桩间距为 2.5d, 桩数为 2、3、4 的群桩进行建模计算 (桩头为自由桩头), 研究桩数对桩基在水平方向性状及群桩效应的影响, 由于桩基分布具有对称性, 取一半模型进行分析, 根据桩基分布关系, 将桩基分为外桩 (靠边缘的桩基) 和内桩 (靠中心的桩基) 两种。

不同桩数时, 桩基的位移和弯矩沿桩深的分布规律如图 5 所示。可以发现桩数不同时, 各群桩的位移和弯矩相差不大,

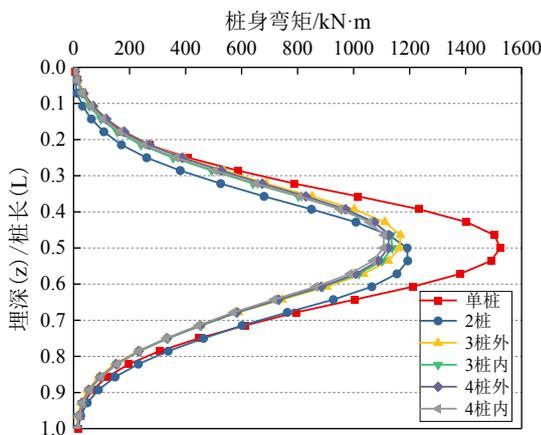
但均小于单桩的侧移和弯矩，桩基最大位移、最大弯矩的位置也和单桩一致。

提取桩基的最大位移及最大弯矩，如图 6 所示。可以发现，随着桩数的增加，桩身最大侧移和最大弯矩值均呈减小的趋势，这可能是由于相邻桩基之间共同承担了土体位移带来的土压力，使得群桩中每根单桩所承受的土压力减小的结果。另外，如图中所示，对比三根桩和四根桩的内桩、外桩，可以发现内桩的侧移和弯矩均略大于外桩，表明呈排桩基中，内桩受到更多的桩与桩之间的相互作用，使得内桩分担到土体位移带来的附加应力更小。需要指出，对比上一节，可以发现这种桩数对群桩效应的影响似乎要小于桩间距对群桩效应的影响^[7-8]。

以最大位移和最大弯矩为特征的群桩效应系数与桩数的关系如图 7 所示，群桩效应系数和桩数呈负相关，其与桩数的拟合公式如图中所示。对于以弯矩为特征的群桩效应系数小于以位移为特征的群桩效应系数，桩数对群桩效应系数的影响不是特别明显。

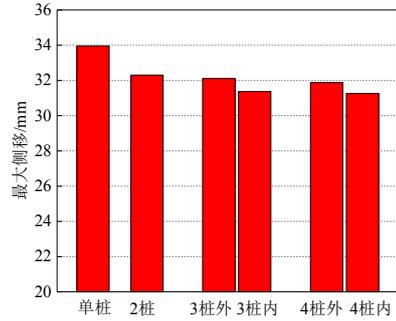


(a) 桩身侧移

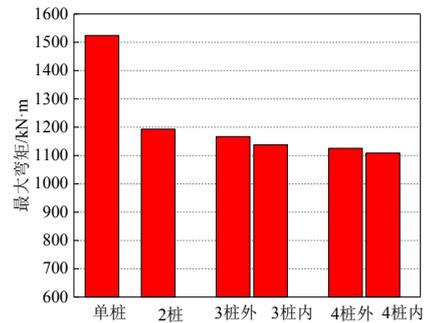


(a) 桩身弯矩

图 5 桩数对桩基性状的影响

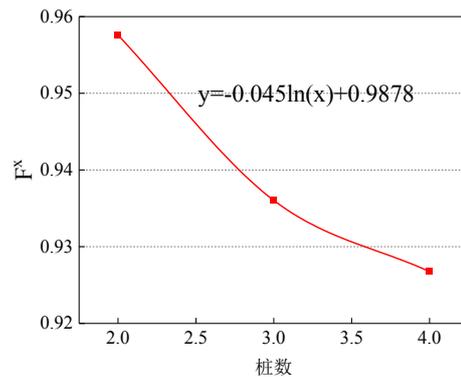


(a) 桩身最大侧移

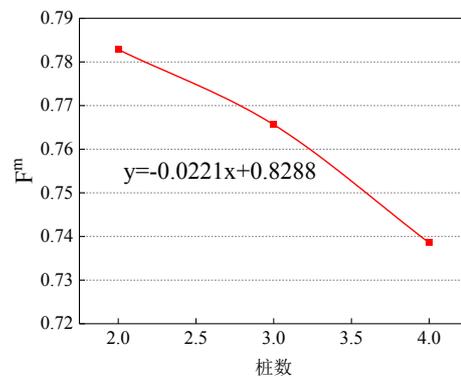


(b) 桩身最大弯矩

图 6 桩数对桩基最大性状的影响



(a) F^x



(b) F^m

图 7 群桩效应系数与桩数的关系

4 结语

为探讨基坑开挖时邻近群桩基础的力学响应,论文以中国北京新机场地下综合管廊下穿共构桥梁工程为依托,分析了桩间距、桩数对群桩基础横向性状的影响,对邻近基坑开挖时呈“排”群桩基础之间的相互作用机理有更加深入的了解。通过论文分析,得到以下结论:

第一,桩间距越大,群桩效应越弱。

第二,桩数越多,群桩效应越明显,桩数对群桩效应的影响不如桩间距的影响明显。

参考文献

- [1] 钱七虎. 建设城市地下综合管廊,转变城市发展方式[J]. 隧道建设,2017(6):6-13.
- [2] 鹰远. 地下综合管廊应建成城市动脉[N]. 云南日报,2019-11-7(12).
- [3] 官天培. 深基坑开挖对既有隧道竖向位移及桥梁桩基侧移的影响研究[D]. 武汉:华中科技大学,2019.
- [4] 童立元,李洪江,刘松玉,等. 基于静力触探试验的基坑开挖卸荷单桩水平承载力损失预测研究[J]. 岩土工程学报,2018,41(3):501-508.
- [5] 梁发云,姚国圣,陈海兵,等. 土体侧移作用下既有轴向受荷桩性状的室内模型试验研究[J]. 岩土工程学报,2010,32(10):1603-1609.
- [6] 徐代宏,张哲凌,刘成禹. 基坑开挖与临近横向推力桩基础的相互影响研究[J]. 施工技术,2018,47(S1):96-100.
- [7] 赵歆,路明月,段贤明. 基坑开挖中群桩受力及变形性状的三维有限元分析[J]. 土工基础,2016,30(4):476-480.
- [8] 王明珉,孙广宇,朱立刚,等. 深基坑开挖引起的桩基承载力损失和桩身附加拉力简化计算方法[J]. 建筑结构,2019,49(22):53-58.