

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2016.04.22

基于 FLAC^{3D} 的双排桩-锚杆复合支护结构稳定性分析

李永靖¹, 陈通广¹, 郝连学², 闫宣澎¹

(1. 辽宁工程技术大学土木与交通学院, 辽宁 阜新 123000; 2. 阜新市公路管理处, 辽宁 阜新 123000)

摘要: 基坑开挖引起的坑壁侧移、基坑隆起、墙体破坏是工程重要灾害问题。因此, 选择恰当的支护形式是确保工程安全、提高工程质量、降低工程造价的关键。本文以某广场基坑支护项目为例, 采用双排桩-锚杆复合支护形式, 通过现场原位测试获得土体各项物理参数, 应用 FLAC^{3D} 有限差分软件模拟基坑开挖, 得到各开挖深度下支护结构的水平位移变化规律, 通过数值计算结果与工程监测数据对比分析, 验证了数值模型的合理性, 对基坑支护方案的优化具有一定的指导意义。

关键词: FLAC^{3D} 软件; 基坑工程; 双排桩-锚杆; 水平位移

中图分类号: P642

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2016)04-0130-05

The stability study of double row pile composite anchor supporting structure based on FLAC^{3D}

LI Yongjing¹, CHEN Tongguang¹, HAO Lianxue², YAN Xuanpeng¹

(1. College of Civil Engineering and Transportation, Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000, China; 2. Administration of Fuxin Highway, Fuxin, Liaoning 123000, China)

Abstract: Prone to pit wall lateral, after excavation of foundation pit uplift, the problem such as wall damage, therefore, choose the appropriate supporting form is to ensure that the engineering safety, the key to improve the engineering quality, reduce the project cost. Based on foundation pit supporting project, for example, a square-double row pile composite anchor supporting form, through the various physical parameters of soil field in-situ tests, FLAC3D finite element software to simulate the excavation, excavation depth is obtained under the horizontal displacement of retaining structure change rule, through comparing the results of numerical calculation and engineering monitoring data analysis, the rationality of the numerical model is verified, the optimization of foundation pit supporting scheme has a certain guiding significance.

Keywords: FLAC^{3D}; foundation pit engineering; double row pile-anchor; horizontal displacement

0 引言

目前, 城市用地“寸土寸金”, 对基坑工程开挖深度的要求与日俱增, 单一的支护结构已不能满足现阶段支护工程的需要, 双排桩-锚杆复合支护结构体系便应运而生, 因其控制水平位移效果更好, 故已较多的应用在侧移要求较高的基坑工程中^[1]。国内一些学者对

双排桩及锚桩支护结构进行研究并取得了一定成果, 史海莹^[2]提出, 随着基坑开挖达到极限平衡状态时, 开挖面以上前后排桩的土压力均可视为朗肯主动土压力。应宏伟等^[3]基于弹性地基梁理论, 优化了基于平面杆系的有限差分程序。廖智明等^[4]应用两种不同的计算理论来求解支护结构的内力。严薇和曾友谊^[5]为比较弹性地基梁法和有限元分析理论在分析

收稿日期: 2016-05-20; 修订日期: 2016-06-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51504125)

第一作者: 李永靖(1976-), 男, 山东烟台人, 教授, 博士生导师, 主要从事土木工程方面的教学和科研工作。E-mail: lyjsdyt@126.com

双排桩结构时的差异性,研究了桩锚复合支护体系在深基坑分部开挖过程中桩身内力及变形特征。张钦喜等^[6]结合工程现场监测数据,对土压力进行反演分析。采用数值计算手段解决工程问题已成为可能^[7-10]。本文结合工程实例,利用 FLAC^{3D}有限元软件对基坑开挖进行模拟分析,将数值模拟计算结果同工程实际监测数据对比分析,验证计算模型选择的合理性、数值计算过程的精确性。

1 工程概况

某广场基坑支护工程东侧为双排桩-锚杆复合支护结构,局部基坑开挖 12.8 m,采用旋挖钻机成孔灌注桩的施工工艺,前后排桩桩径均为 0.8 m,桩间距为 1.2 m,前后排距为 2.4 m,连系梁高度、宽度均为 0.8 m。锚杆层数为 3 层。该工程施工范围内地势平坦,地下水丰富,无特殊地质构造。地层分布如下:

- (1) 杂填土:由碎石、黏性土、炉灰渣等组成,结构松散,厚度 0.50~4.50 m。
- (2) 粉土夹粉质黏土:粉土为湿,中密状态,属高压缩性土,层顶埋深 0.50~3.80 m。
- (3) 粉质黏土与粉砂互层:粉质黏土与粉砂呈薄层互层状分布,层顶埋深 2.30~7.40 m。
- (4) 粉砂:灰色,呈饱和、稍密状态,层顶埋深 9.30~14.00 m。

2 建模计算

2.1 模型建立基本假定

- (1) 假定土体、灌注桩、灌梁、连系梁、锚杆均为均匀连续性材料。
- (2) 假定各层土体均为弹塑性材料,其弹性模量和泊松比不变。
- (3) 由于模拟参数的选择也充分考虑了地下水的影响,故在模型建立时不考虑地下水的影响。

2.2 计算模型及参数

实测土体及锚杆参数见表 1、表 2。

表 1 土体参数表

Table 1 Soil parameters table						
土层名称	深度 /m	密度 /(kg/m ³)	体积 模量 /MPa	剪切 模量 /MPa	粘聚力 /MPa	内摩 擦角 /(°)
杂填土	2	1470	6.7	2.5	3	5
粉土夹粉质黏土	4	1920	14.5	5.4	5	23
粉质黏土夹粉砂互层	6	1870	13.3	5.9	24	11
粉砂	8	1800	10.7	6.3	—	24

表 2 锚杆参数

Table 2 The parameters of the bolt

锚杆层数	位置深度/m	锚杆长度/m	自由段长度/m	锚固端长度/m	倾角/(°)	水平间距/m
1	2.5	18	10	8	15	1.2
2	6	18	10	8	13	1.2
3	9.5	21	14	7	25	1.2

2.3 建立模型

为了使模拟和实际工程开挖支护更为接近,本模型分四步开挖至基底,第一步开挖 3 m,随后立即施加锚杆预应力,求解至平衡状态后进行第二步开挖 3.5 m,依次进行第三、第四步开挖,在第三步开挖后施加最后一层锚杆预应力。本模型定义西北角点为坐标原点,基坑东西宽度方向为 X 方向,基坑南北长度方向为 Y 方向,基坑深度方向为 Z 方向,前后排桩均采用桩(pile)单元建立,排桩之间的冠梁及连系梁采用梁(beam)单元建立,锚杆采用(cable)单元建立。本模型四周采用“箱型”边界条件,约束法向位移,上部(Z=0)设定为自由面。土体模型建立后对其进行初始地应力平衡求解,模拟土体在自重应力的作用下沉降固结的过程,土体模型见图 1。本次数值计算采用莫尔-库伦本构模型进行分析。

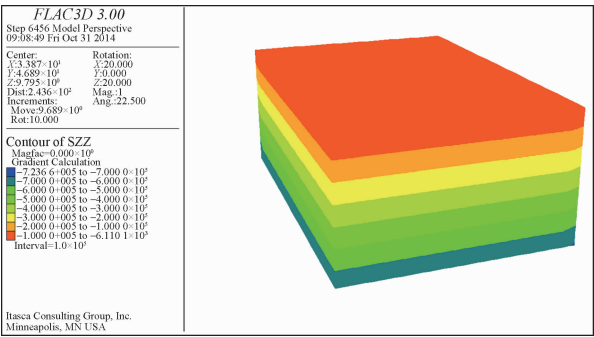


图 1 初始地应力平衡状态的土体模型

Fig. 1 Initial geostress equilibrium model of soil

3 有限元计算结果及分析

3.1 前后排桩水平位移对比分析

对前后排桩随开挖深度的水平位移变化进行对比分析得到(图 2):

- (1) 前后排桩桩顶水平位移几乎相同,说明该结构整体性较好,连系梁发挥较好协同作用。
- (2) 前排桩的最大水平位移处随着开挖深度的增加由中部向上移动,最终稳定在距桩顶 7 m 处,此时与后排桩最大水平位移差值约为 10 mm,说明桩顶连系梁和锚杆均对前排桩的侧移产生了很好的限制作用。

(3) 后排桩的最大水平位移发生在桩顶,随着开挖的进行逐渐减小直至趋于稳定,与单纯双排桩支护结构后排桩的变化规律相似,说明复合结构锚杆的作用对于后排桩侧移的影响不大。

(4) 当基坑完成第二步开挖时,前排桩位移已经接近最大值,此时后排桩的侧移仍很小。直至基坑开挖至基底,后排桩的位移变化始终滞后于前排桩,说明前排桩先于后排桩发挥作用。

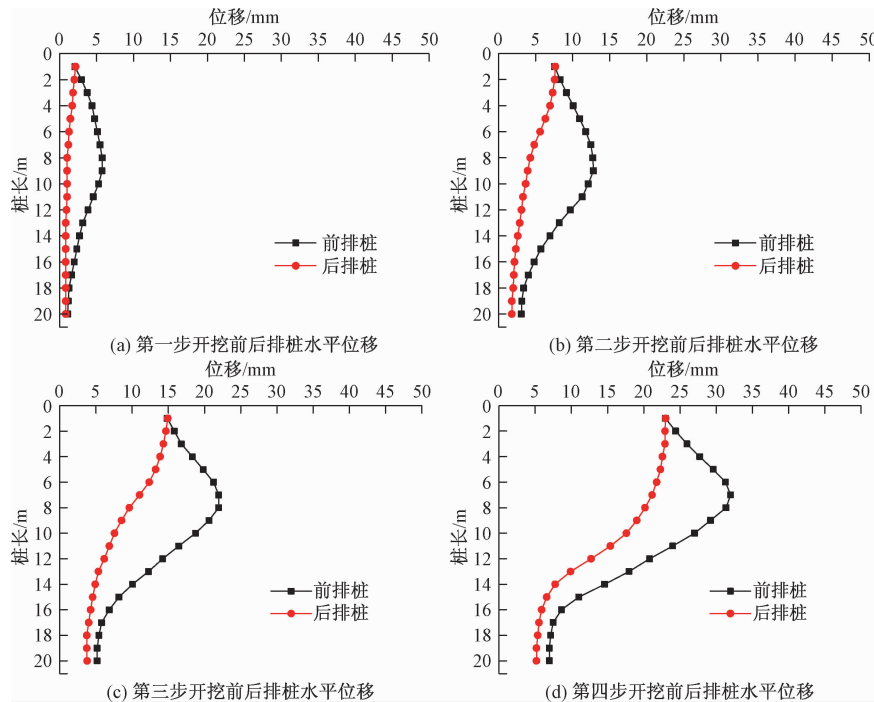


图2 分部开挖前后排桩水平位移

Fig. 2 Before and after the excavation of horizontal displacement of piles

3.2 支护结构内力分析

由图3可知,每步开挖后前排桩出现两次反弯点,第一次反弯点出现在桩顶以下2 m处,第二次反弯点出现在基底处。随着开挖深度的增加弯矩逐渐增大,变化幅度较为明显。从第四步开挖可以明显看出在每层锚杆位置附近,弯矩值发生了回缩,对于弯矩整体的改变较为明显,前两步开挖也可看出锚杆作用力对桩身弯矩的影响,对桩身受力性能的改善作用较为明显。

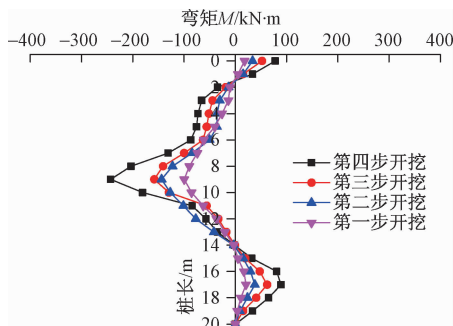


图3 前排桩分部开挖桩身弯矩图

Fig. 3 The front row pile excavation bending moment diagram

由图4可知,后排桩与前排桩不同,出现了三次反弯点。第一次反弯点同样出现在桩顶以下2 m处左右,第二次反弯点出现在桩中心位置,第三次反弯点出现在基底以上。每步开挖后弯矩逐渐增大,但幅度较为缓和,并没有发生回缩,说明锚杆的作用对支护结构的影响只作用在前排桩上。

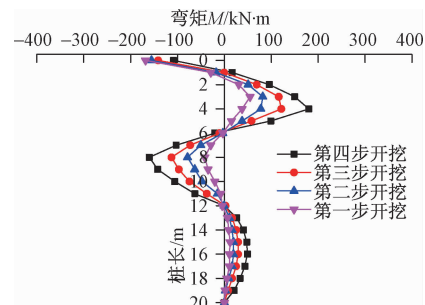


图4 后排桩分部开挖桩身弯矩图

Fig. 4 The back row pile excavation bending moment diagram

3.3 数值结果与工程监测数据对比分析

本工程双排桩复合支护结构施工区域内,施工单位在施工过程中每隔20 m间隔在前后排桩中分别布

设一根全长 20 m 的测斜管,对水平位移进行动态监测。

提取监测数据位于复合支护结构的中部区域,选取第二步开挖完成后和最终水平位移监测结果与模拟计算得到的结果进行对比分析(图 5、图 6)。

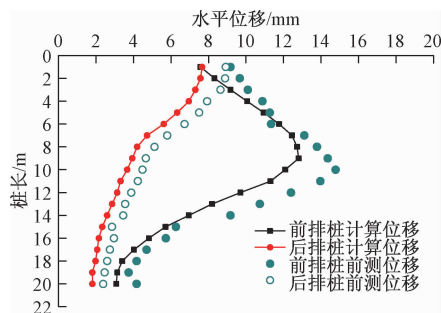


图 5 第二步开挖水平位移对比图

Fig. 5 Comparison of displacements of second step excavation

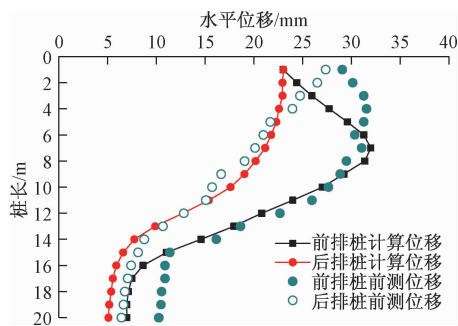


图 6 第四步开挖水平位移对比图

Fig. 6 Comparison of displacements of fourth step excavation

由图 6 可知,实际监测结果与模拟计算结果数值存在一定差距,但整体变化趋势相同,最大位移相差不足 10 mm,说明数值模拟结果具有较高的准确性,模型的建立和参数的选取较为合理。

前后排桩实际检测数据的初始位移值几乎相等,与模拟计算结果相符,但随着基坑开挖实际监测数据均略大于模拟计算结果,主要是由于模拟计算时假设基坑开挖立即进行预应力锚杆支护,而在实际工程中需要等面层达到一定强度后进行腰梁和锚杆的施工,待混凝土达到拉拔强度要求后才可施加预应力,一般需要 7~10 d 的间隔,在这个过程中土体仍在应力释放,产生位移,故实际水平位移略大于模拟计算水平位移十分合理。

图 7 为基坑东侧前排桩桩顶水平位移的监测值,其中监测点 N_1 位于基坑东北角, N_3 位于基坑东侧中部, N_2 位于 N_1 点与 N_3 点之间,提取各点在 120 天的施工周期内水平位移监测值绘制图 7。

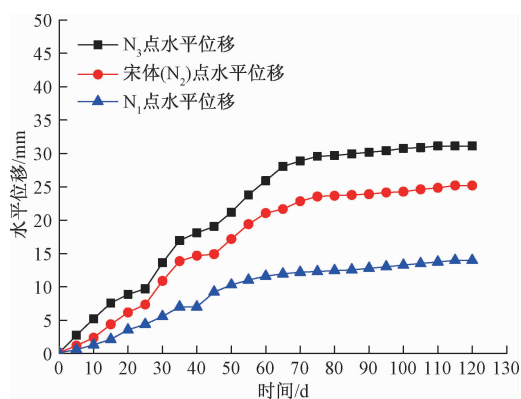


图 7 东侧前排桩桩顶水平位移监测值

Fig. 7 The eastern side of the front row pile top horizontal displacement monitoring value

由图 7 可知,基坑东侧前排桩桩顶的水平位移表现出非常明显的“空间效应”,东北角 N_1 点的水平位移约为 15 mm,中部区域 N_3 点的水平位移约为 30 mm, N_2 点位于上述两点中间,位移约为 25 mm。在基坑边角处的水平位移最小,随后逐步增大,到基坑中部达到最大值,并且增加的趋势越来越明显。产生这种现象的原因主要是基坑北侧支护结构给予了南侧边角处支护结构足够的协调变形作用,限制了其向北侧方向的位移。

在开挖周期的后 30 d,基坑顶部水平位移几乎不再变化,最大处约为 30 mm,这与模拟计算结果相接近,说明此时支护结构与土体间已达到平衡状态。在基坑开挖阶段,在图 7 中可明显看出,位移曲线出现了两次突变点,正对应实际工况中第一层、第二层锚杆的施工,可见前两层锚杆对于桩顶水平位移的控制起到了一定作用,第三层锚杆距顶部较远,影响效果不明显。

4 结论

对深基坑支护进行数值计算,得到以下主要结论:

(1) 前后排桩在桩顶处位移大小相等,连系梁发挥了良好的协调变形作用,前排桩最大水平位移出现在桩身中下部,后排桩最大水平位移发生在桩顶,后排桩位移变化始终滞后于前排桩,说明前排桩先于后排桩发挥作用。

(2) 前排桩弯矩在锚杆作用位置发生明显回缩,锚杆起到改善支护结构受力及协调结构变形的作用,后排桩对前排桩的拉锚作用显著。

(3) 在坑壁中部区域应较边角处适当增加支护结构的刚度和嵌固深度以控制中部区域较大的结构变

形,而在基坑边角处可适当减小,从而使双排桩-锚杆复合支护结构的设计更加优化。

参考文献:

- [1] 林洁. 紧邻建筑物深基坑支护结构受力性状研究 [J]. 建筑科学, 2014(30):119-124.
LIN Jie. Adjacent to deep foundation pit supporting structure mechanical properties research [J]. Building Science, 2014(30):119-124.
- [2] 史海莹. 双排桩支护结构性状研究 [D]. 浙江大学, 2010.
SHI Haiying. Retaining structure with double-row piles character study [D]. Zhejiang University, 2010.
- [3] 应宏伟, 初振环, 李冰河, 等. 双排桩支护结构的计算方法研究及工程应用 [J]. 岩土力学, 2007:1145-1150.
YING Hongwei, CHU Zhenhuan, LI Binghe, et al. The calculation method of double-row piles supporting structure research and engineering application [J]. Rock and Soil Mechanics, 2007:1145-1150.
- [4] 廖智明. 百仕达花园基坑支护优化设计与数值模拟 [D]. 吉林大学, 2007.
LIAO Zhiming. Blackstone of foundation pit supporting design and numerical simulation of garden [D]. Jilin University, 2007.
- [5] 严薇, 曾友谊, 王维说. 深基坑桩锚支护结构变形和内力分析方法探讨 [J]. 重庆大学学报, 2008(3):344-348.
YAN Wei, ZENG Youyi, WANG Weishuo. Deep foundation pit deformation of the pile anchor supporting structure and internal force analysis method discussed in this paper [J]. Journal of Chongqing University, 2008(3):344-348.
- [6] 张钦喜, 樊绍峰, 周予启. 深基坑桩锚支护侧土压力反分析及数值模拟 [J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(S1):3214-3220.
ZHANG Qinxì, FAN Shaofeng, ZHOU Yuqi. The pile anchor supporting of deep foundation pit lateral earth pressure against analysis and numerical simulation [J]. Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(S1):3214-3220.
- [7] 杜东宁, 张向东, 杨逾, 等. 辽宁沈阳东森基坑工程支护结构设计施工监测分析 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2013, 24(3):72-77.
DU Dongning, ZHANG Xiangdong, YANG Yu, et al. In shenyang, liaoning province in eastern monitoring analysis of foundation pit engineering design and construction of supporting structure [J]. Chinese Journal of Geological Hazard and Prevention and Control, 2013, 24(3):72-77.
- [8] 龚士良, 叶为民, 陈洪胜, 等. 上海市深基坑工程地面沉降评估理论与方法 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2008, 19(4):55-60.
GONG Shiliang, YE Weimin, CHEN Hongsheng, et al. Shanghai evaluation theory and method of ground settlement in deep foundation pit engineering [J]. Chinese Journal of Geological Hazard and Prevention, 2008, 19(4):55-60.
- [9] 左秉旭, 李兆斌. 排桩锚杆联合支护结构在深基坑工程中的应用 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2008(3):155-157.
ZUO Bingxu, LI Zhaobin. Pile and anchor combined support structure in deep foundation pit engineering application [J]. Chinese Journal of Geological Hazard and Prevention and Control, 2008(1):155-157.
- [10] 张向东, 张成. Adina 在基坑支护结构稳定分析中的应用 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2014, 25(4):114-118.
ZHANG Xiangdong, ZHANG Cheng. Application of adina in the foundation-pit excavation and the deformation control [J]. The Chinese of Geological Hazard and Control, 2014, 25(4):114-118.