

灌注桩和搅拌桩联合支护在软土基坑工程中的应用

靳炎 冯少杰^(通讯作者)

北方工业大学, 北京 100144

[摘要]软土地基深基坑支护一直是岩土工程领域关注的难点问题,软土具有含水量大、高压缩性、强度低、承载力小,蠕变等特点,导致软土区域深基坑开挖问题复杂多变,基坑事故频发。文中以某基坑工程支护为例,综合考虑软土地基、周边既有建筑物、工期要求等影响条件,确定采用搅拌桩与灌注桩联合支护方式,并对支护结构进行了有限元数值模拟。结果表明,该支护结构能够充分利用搅拌桩墙成拱承压和灌注桩的抗弯、抗剪的性能,保证基坑工程安全,为同类工程应用提供了借鉴。

[关键词]软土地基;深基坑支护;搅拌桩;灌注桩

DOI: 10.33142/ec.v4i8.4278

中图分类号: TV223.2+2

文献标识码: A

Application of Combined Support of Cast-in-place Pile and Mixing Pile in Soft Soil Foundation Pit Engineering

JIN Yan, FENG Shaojie*

North China University of Technology, Beijing, 100144, China

Abstract: Deep foundation pit support in soft soil foundation has always been a difficult problem in the field of geotechnical engineering. Soft soil has the characteristics of large water content, high compressibility, low strength, small bearing capacity and creep, which leads to complex and changeable deep foundation pit excavation problems in soft soil area and frequent foundation pit accidents. Taking the support of a foundation pit as an example, considering the influence conditions such as soft soil foundation, surrounding existing buildings and construction period requirements, the combined support mode of mixing pile and cast-in-place pile is determined, and the finite element numerical simulation of the support structure is carried out. The results show that the support structure can make full use of the arch bearing of mixing pile wall and the bending and shear resistance of cast-in-place pile, so as to ensure the safety of foundation pit engineering, which provides a reference for the application of similar projects.

Keywords: soft soil foundation; deep foundation pit support; mixing pile; cast-in-place pile

引言

随着城市化不断发展,基坑深度越来越深,周边环境越来越复杂,施工基坑支护难度很大,基坑安全难以保证。在这种需求背景下,深基坑支护技术发展越来越快,各种新型支护技术便应运而生^[1,2]。现有基坑支护技术多为钢板桩、排桩、地下连续墙等支护方法。因此,设计安全可靠、经济合理的方案是基坑支护应该重点考虑的问题^[3]。特别是在水利工程中,基坑设计时应尽量减少对邻近建筑物的影响,保证其安全稳定,同时邻近建筑物荷载也会影响到基坑支护结构,影响基坑稳定^[4,5]。

本文在现有深基坑支护经验基础上,设计了一种搅拌桩和灌注桩联合成拱的深基坑支护方案,该结构能够充分利用搅拌桩墙成拱承压和灌注桩的抗弯、抗剪性能,使用搅拌桩墙成拱形布置挡土并作为传力结构,将土压力传至连拱支座处的灌注桩,由灌注桩利用自身的抗弯和抗剪能力承担最终的侧向土压力等荷载^[6,7]。该支护方式受力结构体系合理,能解决传统基坑支护安全性能较差、操作不便以及对周边建筑物安全影响较大等问题^[8],同时可以根据基坑挡土高度灵活调整撑梁位置及灌注桩间距,能适应更多施工环境,还可以作为永久挡土承压结构,节省工程投资^[9]。本文提出的基坑支护设计方法可作为同类软土地区基坑支护工程的提供参考。

1 基坑工程概况

1.1 项目基本信息

深基坑工程位于长江中下游亚热带季风气候区,大暴雨多发生在6月下旬至7月下旬,平原湖区常发生洪涝灾害。根据该地区综合规划要求,城区内排涝标准定为20年一遇24h暴雨24h排至控制水位,项目区内现状无相应的工程措施满足该规划标准,排水防涝工程设施存在一定程度的隐患。

根据工程地质勘察报告,施工区区内基岩主要为泥质粉砂岩、页岩、灰岩,为相对不透水层,也没有大的导水断

裂构造穿过。其地下水主要赋存于第四系覆盖层和基岩裂隙中。区内地下水比较简单,从地下水的赋存条件可分为孔隙潜水与裂隙水。主要不良地质体为填土和软土。在进行基坑设计时,基坑支护安全使用的年限为1年,基坑侧壁的安全等级为2级,基坑重要性等级为2级。

本次深基坑位于城区,周边存在大量居民楼,工业厂房等。基坑开挖深度约6.7~7.9m,开挖港道长450m,港道底宽6m,为平坡。港道底板高程13.50m,地面高程为19.50~20.80m,港道开挖需综合考虑周围房建因素影响及后期城市美观,在满足安全、经济的前提下,尽量减少征地范围并形成城市港道景观。深基坑平面示意图如图1所示。

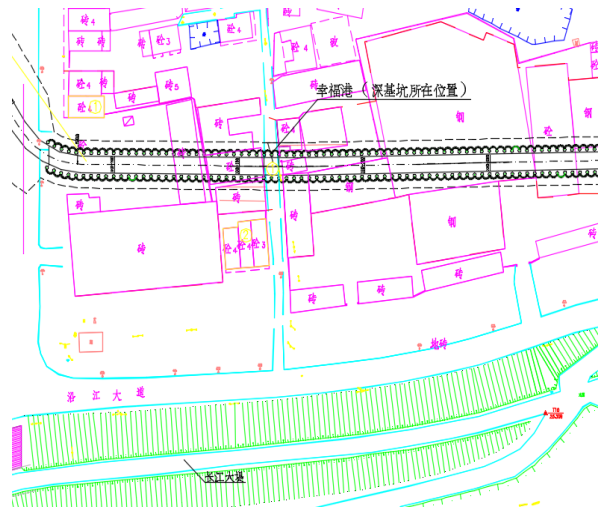


图1 深基坑平面示意图

1.2 基坑支护难点

本次基坑支护的特点及难度在于以下几个方面:

(1) 软土地基基坑支护施工

本次基坑支护为软土地基施工,软土含水量大、高压缩性、强度低、承载力小。一旦基坑支护设计和开挖方式不当,极易造成支护结构水平位移、坑底隆起、基坑周围路面或建筑物沉降过大,从而造成不可挽回的经济损失甚至基坑安全事故。

(2) 已有建筑物距离较近

本次深基坑工程所在位置距离已有的建筑物距离较近,最近处为7.5m,对变形控制要求较高,且临近建筑物荷载对基坑支护较为不利。

(3) 施工条件较差

本次深基坑工程位于城区,基坑支护需考虑噪声扰民、环境保护、水土保持等多方面因素影响,现有建筑物距离基坑距离较近,施工临时建筑物、临时道路布置较为困难,难以布置两侧道路。

2 灌注桩和搅拌桩联合支护方案

灌注桩和搅拌桩联合支护结构有以下特点^[9]:一是灌注桩和搅拌桩联合支护结构整体受力较为协调;二是灌注桩和搅拌桩联合支护结构是一个相对稳定的静定结构,整个支护结构能够保证较大的整体刚度和强度;三是灌注桩和搅拌桩联合支护结构会形成明显的土拱效应,从很大程度上优化传到侧向土压力;四是方便施工和机械挖土,能够从很大程度上提高施工效率,而且整个支护结构造价较低。五是软土地基基坑中,可以采用搅拌桩成拱作为止水帷幕的方式,既能够排除地下水的影响,还可以增强地下结构的稳定性^[5]。

本次支护设计综合考虑基坑深度、地层及地下水条件、基坑周边环境对基坑变形的承受能力及支护结构失效的后果、主体地下结构和基础形式及其施工方法、基坑平面尺寸及形状、支护结构施工工艺的可行性、施工场地条件及等因素,采用内撑式结构进行场地支护。基坑支护结构为钻孔灌注桩,深层三轴搅拌桩作为止水帷幕,内支撑采用钢筋混凝土形式,同时为了控制支护结构的水平位移、坑底土体的隆起,被动区域采用大直径水泥搅拌桩加固。

采用的基本模型如图 5 所示。其中的钢管支撑 1、钢管支撑 2 均为 400×12 （外径 \times 壁厚）型钢。边界条件为：底部固定，顶部自由，左右两侧、前后两侧均为法向零位移约束。

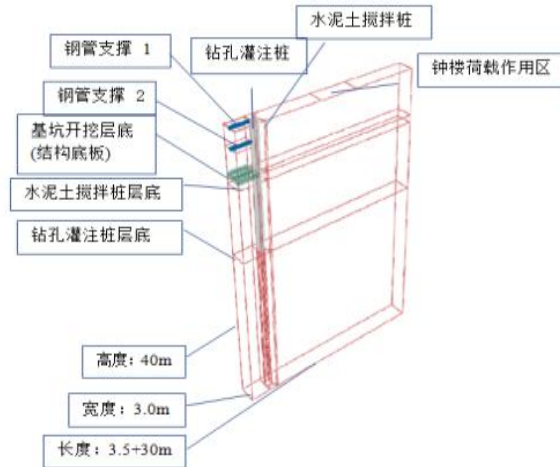


图 5 基本几何模型

3.2 数值模拟结果分析

根据基坑开挖的工序及其特点，对本次基坑开挖支护进行分步骤计算，计算结果如表 1 所示；应力、应变及位移图如图 6~图 8 所示。

表 1 7.9m 基坑施工过程中的极值及位置

结构	广义力	最大值	位置
钻孔灌注桩	弯矩(MN·m)	0.9173	距桩顶 10.0m
	剪力(MN)	0.6469	距桩顶 4.44m
	轴力(MN)	0.4106	距桩顶 7.26m
	最大侧移(mm)	41.9	桩底
第一道支撑	轴力(kN)	325.3	全长
	第二道支撑	轴力(kN)	1278
底板(2.5m宽)	弯矩(kN·m)	214.9	跨中
	剪力(kN)	129.3	跨中
	轴力(kN)	701.0	全长
水泥土搅拌桩	最大拉应力(kPa)	64.12	顶部角点
	最大压应力(kPa)	255.5	桩底

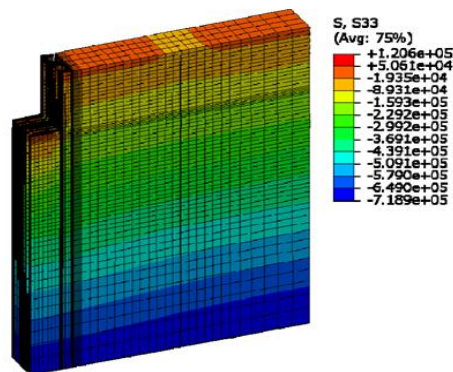


图 6 开挖 7.9 米后土体的竖向应力场 (Pa)

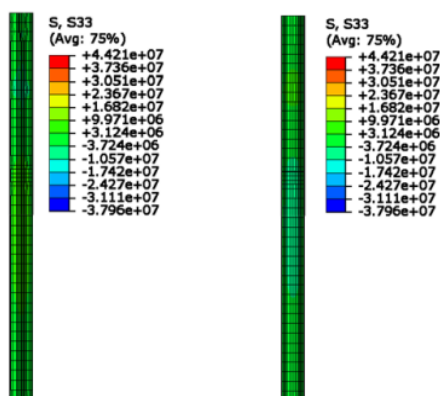
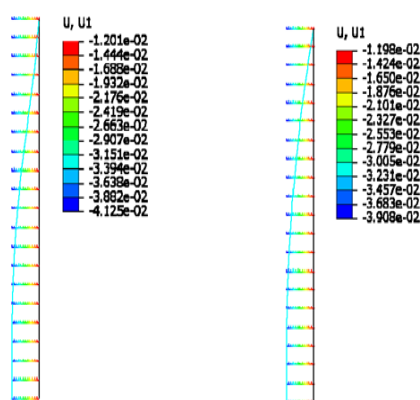


图 7 开挖到坑底灌注桩的轴向应力场 (Pa)



a) 开挖到坑底 b) 拆除第二道支撑

图 8 钻孔灌注桩位移图 (m)

通过统计数据可以看出, 7.9m 深基坑时, 钻孔灌注桩的最大弯矩为 $0.9173\text{MN} \cdot \text{m}$ (距桩顶 10.0m), 最大剪力为 0.6469MN (距桩顶 4.44m), 最大轴力 0.4106MN (距桩顶 7.26m); 混凝土搅拌桩的最大压应力值是 255.5kPa 左右; 钢支撑的最大轴压力为 1278kN (第二道支撑), 不会失稳。

通过分析基坑深度变化与灌注桩的弯矩、剪力、轴力的变化情况, 能够得出随着基坑深度的增加, 灌注桩的弯矩、剪力、轴力极值都将继续变大的一般规律。对于一般的软土基坑而言, 采用灌注桩与搅拌桩联合支护结构, 可以随着深度的增加, 通过合理布置支撑位置, 调节灌注桩间距等保证基坑安全。

4 结论

本文以某工程深基坑支护设计为例, 总结了工程特点及软土地基基坑支护的特点及难点支护设计中存在的技术难点, 再结合工程勘察报告和实际情况, 设计基坑支护结构方案, 并对其进行了数值模拟分析, 结论如下:

(1) 某工程深基坑优选可采用灌注桩与水泥搅拌桩联合对称成拱的支护方式。混凝土搅拌桩、灌注桩支护顶高程为 19.50m , 拱圈直径为 3m , 水泥搅拌桩桩径 0.5m , 桩长 7.8m , 成墙厚度 0.3m ; C30 钢筋砼灌注桩位于拱圈两端, 桩径 1.2m , 桩长 18m , 灌注桩顶部和桩身中部均利用 $\phi 400$ (壁厚 12mm) 钢管进行对撑支护, 渠道完工基坑回填至所需高程后钢管对撑拆除。

(2) 灌注桩、搅拌桩、支撑杆强度满足安全需要。通过 ANSYS 软件进行深基坑有限元分析, 7.9m 深基坑时, 钻孔灌注桩的最大弯矩为 $0.9173\text{MN} \cdot \text{m}$ (距桩顶 10.0m), 最大剪力为 0.6469MN (距桩顶 4.44m), 最大轴力 0.4106MN (距桩顶 7.26m); 混凝土搅拌桩的最大压应力值是 255.5kPa 左右; 钢支撑的最大轴压力为 1278kN (第二道支撑), 灌注桩、搅拌桩、钢支撑均不会失稳。

(3) 随着基坑深度增加, 灌注桩的弯矩、剪力、轴力极值都将继续变大, 对于一般软土基坑而言, 采用灌注桩与搅拌桩联合支护结构, 可以随着深度的增加, 通过合理布置支撑位置、调节灌注桩间距等保证基坑安全。

[参考文献]

- [1] 吉明军, 勇跃山. 我国深基坑支护技术发展展望[J]. 建筑技术, 2018, 49(6): 573-577.
- [2] Bin Li. The influence of different pile foundation types on deformation characteristics of foundation[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, 242(6): 55-56.
- [3] Wei Hu, Nie Qingke, Huang Baoshan, et al. Investigation of the strength development of cast-in-place geopolymer piles with heating systems[J]. Journal of Cleaner Production, 2019(8): 123-125.
- [4] 孙晓阳, 周军红. 复杂地质条件下基于变形控制的深基坑支护设计与施工优化[J]. 施工技术, 2012(7): 44-48.
- [5] 李鑫. 局部软弱地层条件下 CFG 桩复合地基特性分析[J]. 广东土木与建筑, 2021, 28(5): 54-58.
- [6] 吕恒柱, 侯善民, 徐从荣. 百米高层住宅刚性桩复合地基桩型选择及案例分析[J]. 建筑结构, 2021, 51(8): 90-96.
- [7] 李栋, 唐昌意, 黄伟洪, 等. 滨海超深软土刚性桩复合地基工作性能研究[J]. 地下空间与工程学报, 2021, 17(1): 255-262.
- [8] 池跃君, 宋二祥, 陈肇元. 刚性桩复合地基沉降计算方法的探讨及应用[J]. 土木工程学报, 2003, 36(11): 19-23.
- [9] 池跃君, 宋二祥, 高文新, 等. 刚性桩复合地基承载及变形特性试验研究[J]. 中国矿业大学学报, 2002(3): 24-28.
- [10] Zhao Cheng, Sritharan Sri. Side Shear Strength of Preformed Socket Connections Suitable for Vertical Precast Members[J]. Journal of Bridge Engineering, 2019, 24(5).
- 作者简介: 冯少杰 (1982-), 高级实验师, 硕士, 毕业于北方工业大学, 研究方向为岩土工程; 靳炎 (1996-), 北方工业大学在读硕士研究生, 专业为岩土工程。
- 基金项目: 国家重点研发计划项目“设施危险监控与滑坡早期预警标准研究”(2018YFF0213304); 国家自然科学基金(41772335)、(51774184)、北方工业大学高水平特色大学重点科学研究方向(2020-2025)。