

SMW工法桩在软土地区深基坑工程中的应用与研究

颜媛媛¹ 王涛²

(1. 南京理工大学紫金学院, 江苏南京 210046; 2. 江苏东合南岩土科技股份有限公司, 江苏南京 210036)

【摘要】 通过工程实例,对 SMW 工法桩在软土地区不同挖深基坑工程中的受力特性及性能进行了研究,分析了实测数据与计算数据存在差异的原因,提出了设计及施工过程中的优化建议与注意事项,为该类工程提供参考借鉴。

【关键词】 SMW 工法桩;软土;深基坑工程

【中图分类号】 TV 551.4

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2018.02.011

Application and Research of SMW Pile in Deep Foundation

Pit Engineering in Soft Soil Area

Yan Yuanyuan¹ Wang Tao²

(1. Zijin College, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210046, Jiangsu, China;

2. Jiangsu South & East Geotechnical Technology Co., Ltd, Nanjing 210036, Jiangsu, China)

【Abstract】 Based on engineering example, the mechanical behavior and performance of SMW piles in different excavated deep foundation pit in soft soil area are studied. Differences between measured and calculated values are analyzed. And the optimization suggestions and precautions during the design and construction are put forward. Reference for similar deep foundation pit is provided.

【Key words】 SMW pile; soft soil; deep foundation pit

0 引言

SMW 工法(型钢水泥土搅拌墙),是一种在连续套接的三轴水泥搅拌桩内插入型钢形成的复合挡土隔水结构。这种结构充分发挥了水泥土混合体和型钢的力学特性,在地下室施工完毕后,可以将 H 型钢从水泥土搅拌桩中拔出,达到回收与再次利用的目的。该法与常规的围护形式相比,不仅工期短,施工过程无污染,场地整洁干净,噪音小,而且可以节约大量社会资源,在软土地区基坑工程中得到大量应用^[1]。

本文从工程实例出发,研究探讨了 SMW 工法桩在软土地区深基坑中的应用,为类似工程提供借鉴参考。

1 工程概况

拟建造水池基坑形状为长方形,长×宽尺寸为 72 m×23 m。基坑北侧距离地下室底板约 3.4 m 外为厂区道路,道路宽 4.0 m,道路北 3.5 m 外为已建一号水池,该池体结构与拟建水池相同;东侧距离地下室底板约 3.2 m 外为已建二号池,该池基础埋

深约 2.0 m,其配套水泵基础紧靠坑边,对变形较为敏感;南侧及西侧场地开阔,基坑影响范围内无建筑物。拟建场地地坪相对标高约 -0.30 m。原结构开挖深度约 5.8 m,由于基坑底部存在淤泥质软弱土层,按设计要求需进行开挖换填处理(C15 毛石混凝土或级配砂石换填),经换填后基坑开挖深度约为 5.8~7.7 m,基坑开挖深度增加较多,且开挖深度差异较大,对基坑稳定性不利。(见图 1)

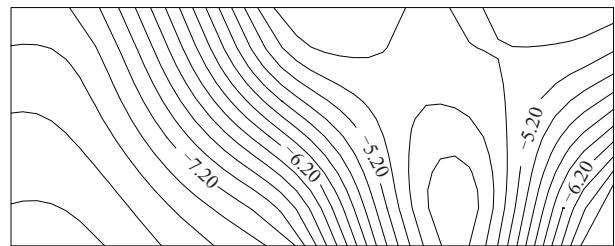


图 1 基坑坑底等深线图(换填边界 单位:m)

依据基坑规范要求,判定该基坑工程侧壁安全等级为二级,重要性系数为 1.0^[2]。基坑围护设计

土层参数见表 1。

表 1 基坑围护设计土层参数表

土层编号	土层名称	重度 /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	黏聚力 /kPa	内摩擦角 /($^{\circ}$)	水平 k_H /($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)
0	素填土	(19.0)	(15.0)	(8.0)	
1A	粉质黏土	19.1	27.0	14.0	1.52E-06
1B	淤泥质粉质黏土	17.6	10.0	12.5	1.75E-06
1B1	粉砂	18.7	0	30.0	1.75E-04
1C	粉质黏土	18.5	23.0	12.5	2.97E-06
1E	粉质黏土	19.5	45.0	15.0	4.28E-07

注:0 层素填土指标采用经验值

2 围护方案

2.1 支挡措施

采用 $\phi 850@600$ SMW 工法桩加一道 $\phi 609 \times 16$ 钢管水平支撑,内插 H 型钢采用 $700 \times 300 \times 13 \times 24$ 型。在不同的基坑围护段,H 型钢分别采用密插、插二跳一、跳插的插入方法。以东侧基坑围护段为例,该段基坑开挖深度 7.7 m,采用插二跳一的插入方法,H 型钢长度为 20 m,嵌固深度 11.8 m。(见图 2)

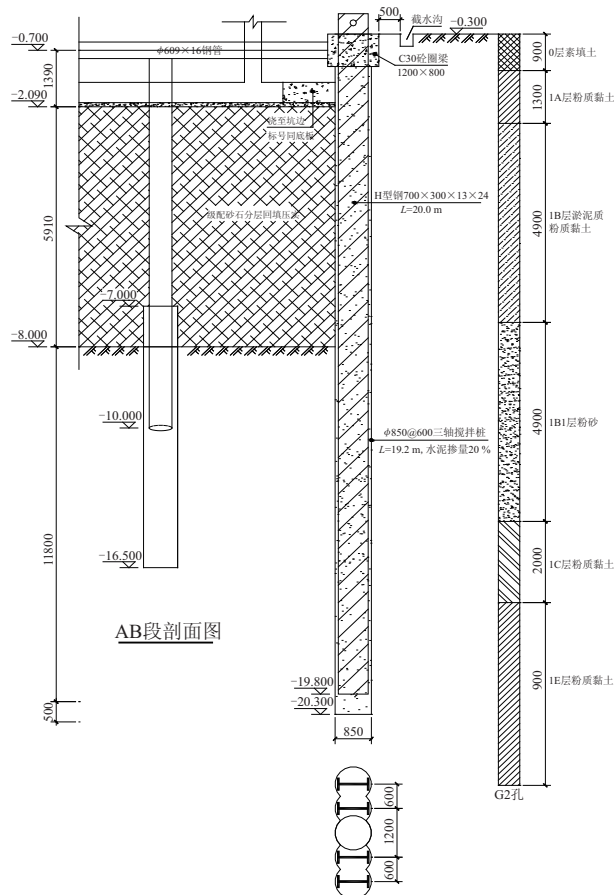


图 2 基坑东侧典型围护剖面图

2.2 降排水措施

外围 SMW 工法桩采用 $\phi 850@600$ 三轴水泥搅拌桩,可兼做截水帷幕,因此不需采取额外的挡水措施。坑内共布置 8 口降水管井,管井底标高为 -18.30 m ,最大降水深度 -13.10 m 。管井成孔直径 $\phi 800 \text{ mm}$,井管采用外径 360 mm 成品水泥管,滤料为中粗砂砾。坑外设置 4 口水位观测井,密切监测坑内外的地下水位变化情况。

2.3 水平支撑体系

水平支撑体系中内支撑与冠梁必须形成稳定的结构体系,有可靠的连接,满足承载力、变形和稳定性等要求。(见图 3)

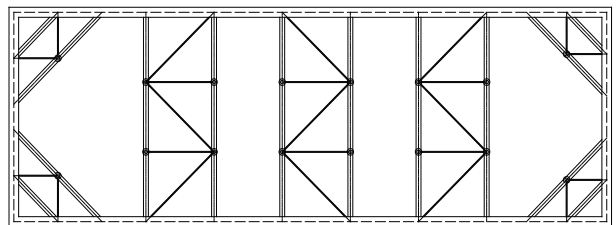


图 3 钢支撑平面布置图

针对该基坑工程特点,借鉴类似工程经验,采用一道水平钢支撑,主撑及角撑均采用 $\phi 609 \times 16$ 钢管,连系梁采用 I 28a 工字钢。钢支撑与桩顶混凝土冠梁中心标高一致。

2.4 竖向支撑体系

为承担水平支撑的自重及其上部的施工荷载,抵御支撑在坑外主动土压力下产生的沉降和隆起,改善支撑的受力情况,提高支撑的竖向稳定性,在支撑节点位置处设置竖向立柱,立柱采用 $\phi 425 \times 10$ 钢管,立柱桩采用 $\phi 800$ 钻孔灌注桩,桩长 11.5 m 。钢管立柱插入立柱桩内不少于 2.5 m 。

3 围护结构的计算分析

3.1 计算模式

围护桩与内支撑体系共同作用,构成复杂的空间受力体系。为简化计算,通常做法是将围护桩和支撑体系先考虑共同作用,然后再分别进行计算。

围护桩计算,工程上通常采用单元法,即以单根桩作为计算单元,考虑桩间距宽度范围内的主动土压力及被动土压力,以此进行计算并得到桩体内力、变形及支撑对围护桩的反力等设计参数。

支撑体系承受基坑周围土体传来的荷载,通过围护桩传递,作用在冠梁/围檩上。其量化结果即为支撑反力^[3]。

3.2 围护桩单元计算

采用理正深基坑软件 7.0 进行围护桩单元计算,计算时选用竖向弹性地基梁法(m法)。

施工荷载:基坑周边一般施工荷载取 20 kPa;东侧已建二号池基底附加荷载经计算取 40 kPa;北侧道路荷载取 25 kPa;出土口荷载取 30 kPa。

0 层素填土、1B1 层粉砂采用水土分算,其余土层均采用水土合算。坑外水位深度取地表下 1.0 m,坑内水位取坑底以下 1.0 m。以东侧基坑围护段为例,计算结果见图 4。

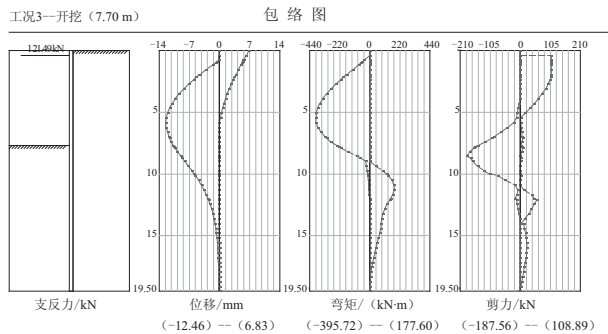


图 4 内力位移包络图(理正)

另外,采用同济启明星深基坑计算软件在相同的设计输入条件下进行了围护桩单元对比计算,计算结果见图 5。

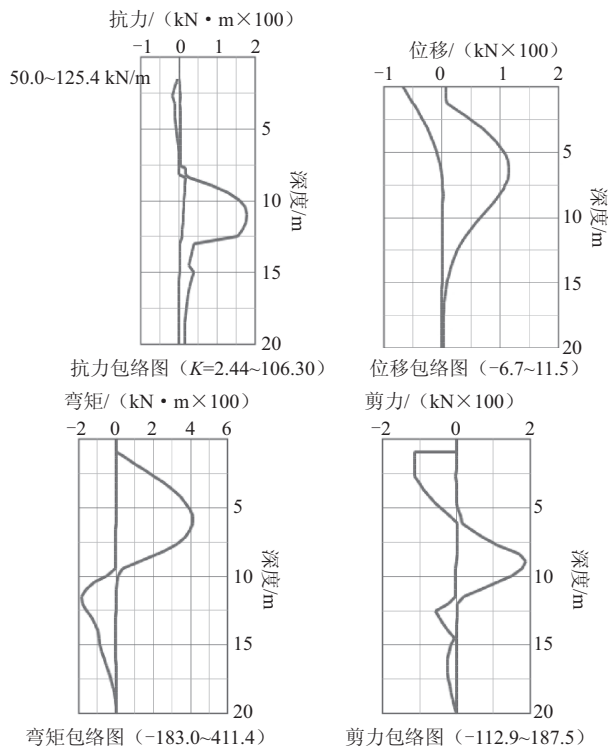


图 5 内力位移包络图(同济启明星)

将两种计算软件所得结果整理如下表 2。

表 2 围护桩单元计算结果表

计算软件	整体稳定安全系数	桩身最大弯矩 / (kN·m ⁻¹)	最大水平位移/mm	支撑反力 / (kN·m ⁻¹)
理正	2.10	395.72	12.56	121.5
同济	2.30	411.40	11.50	125.4

由表 2 可见,在相同的设计输入条件下,理正计算结果与同济启明星计算结果相差不大,所得计算结果均可作为基坑围护设计的依据。本文以理正软件计算结果作为分析比较的依据。

3.3 支撑体系计算

支撑结构上的主要作用力是由围护结构传来的水、土压力和坑外地表荷载、周边建筑物等所产生的侧压力。

水平支撑系统平面内的内力和变形计算方法一般是将支撑结构从整个围护结构体系中剥离出来,此时内支撑(包括冠梁/围檩和支撑杆件)形成一自身平衡的封闭体系,该体系在土压力作用下的受力特性可采用杆系有限元进行计算分析。将所得的支撑反力除以支撑间距后,平均至每延米范围,作为均布荷载施加在支撑体系的冠梁/围檩上。

同济启明星 BSC 计算程序基于以上有限元分析原理对框架体系受力性能进行分析计算,得到内支撑体系的水平、竖向位移和弯矩、轴力等参数,为基坑围护设计提供科学合理的依据。

根据不同的基坑围护段,选取不同的作用于支撑体系的均布荷载,均布荷载取理正软件计算结果。

支撑体系计算结果见图 6、图 7。

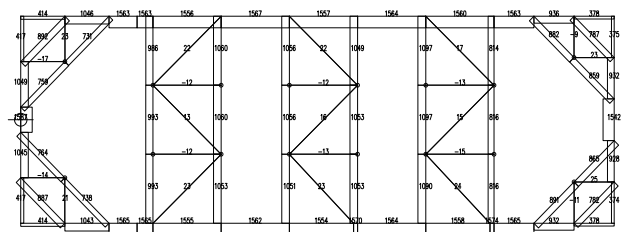


图 6 支撑体系轴力图(单位:kN)

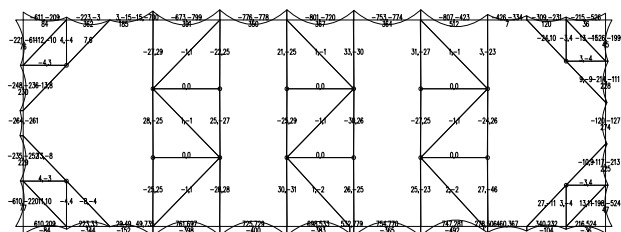


图 7 支撑体系弯矩图(单位:kN·m)

3.4 计算结果分析

由上述单元计算及支撑体系计算结果可以看出,

桩体最大位移 12.56 mm、最大弯矩 395.72 kN·m,整体稳定安全系数 2.10,均在允许范围内,支撑体系的内力也均满足计算要求,基坑支护体系安全稳定,基坑支护开挖不会对周边环境造成显著影响。

4 实测数据与计算数据的比较

施工过程中针对基坑支撑体系的变形、内力情况及周边环境等信息进行了详细的监测工作,所得实测数据与计算数据统计结果见表 3、表 4。

表 3 支撑反力表

区域	计算最大反力/kN	实测最大反力/kN
冠梁	1587	1746
支撑	1097	1214

表 4 围护桩水平位移表

深度	计算最大位移/mm	实测最大位移/mm
深 6m	12.46	15.4
坑底	10.20	13.1

由表 3、表 4 可以看出,实测数据比计算数据普遍偏大,归纳原因主要有以下几点:①施工时由于场地过于狭小的限制,在距离基坑顶部约 9 m 外的地方布设有钢筋加工场地,该区域荷载较大,而从地表沉降图可以看出,在距离基坑 8 m 的位置沉降量最大(最大沉降量约 11 mm),加大了基坑的变形量;②基坑一次开挖深度过大,没有严格按照设计要求及时做钢支撑,基坑在开挖至约 3.5 m 的时候发现位移量过大,临时补做钢支撑,导致悬臂开挖深度过大;③由于基底存在软弱土层,按设计要求需进行换填处理,在实际开挖过程中没有遵循“分层、分段、对称、均衡、适时”的开挖原则,开挖工作较为随意,导致基坑内部开挖深浅不一,支撑两侧土压力偏差过大,整个支撑体系往变形量小的一侧偏移。

以上因素共同作用,造成实测数据比计算数据偏大。

5 设计及施工中应注意的问题

在设计和施工过程中,为保证围护体系受力合理、变形可控,同时优化支撑体系设计,建议在以下几个方面加以注意:

1)本工程由于坑底换填需要,基坑开挖深度深浅不一,需充分研究基坑开挖深度与围护措施的对应关系,合理规划,分段、分层、对称地进行土方开挖,防止开挖深度高差过大,确保围护/支撑结构受

力均匀、合理。

2)由于开挖范围内及坑底部位存在较厚的淤泥质土层,该层土性质差、强度低,为软弱土层,为有效减少基坑变形量,降低对周边环境的不利影响,可在基坑底部被动区设置水泥土暗墩进行加固。加固体的宽度不宜小于基坑开挖深度的 0.4 倍,并不宜小于 4 m,加固体的深度不宜小于 3 m^[4]。

3)由于基坑影响范围内施工荷载对基坑稳定的不利影响,应严格限制坑边荷载,不得超过设计要求荷载数值,并杜绝堆载。

4)本工程支撑体系均采用钢构件,温度变化对支撑内力影响较大,基坑监测数据应尽可能在同一条件下采集,以将温度变化的影响降至最低。在设计过程中应对内力变化予以充分考虑,确保支撑体系的稳定性。

5)为了使支撑体系能有效发挥作用、减少变形,在支撑安装时可以施加适当的预应力,预应力可取计算轴力的 10% 左右。

6)由于基坑周边环境及土质条件的复杂性,支撑体系往往受力不均匀,因此,在施工过程中应做好监测工作,随着开挖深度的推进,将监测数据与设计数据作动态对照,实行信息化操作,确保土方开挖及地下结构部分施工的顺利进行,确保对基坑周边环境影响最小。

6 结语

本基坑工程针对坑底需换填、开挖深度不一、存在淤泥质软弱土层、周边建筑物距离近的工程特点,选取了 SMW 工法桩作为围护结构,钢构件作为支撑结构,并成功实践应用,是一种较为经济合理的围护形式。通过实测数据与计算数据的对比,总结了该类工程的优化建议与注意事项,有着较为典型的借鉴意义。

参 考 文 献

- [1] 刘国彬,王卫东. 基坑工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [2] JGJ 120—2012 建筑基坑支护技术规程[S].
- [3] 王涛,闫振环. 边桁架内支撑在深基坑工程中的分析[J]. 岩土工程技术,2014,28(2):96-99.
- [4] DG/TJ 08—61—2010, J 11577—2010 基坑工程技术规范[S].

收稿日期:2017-07-24