

复杂环境条件下深基坑支护方案设计研究

董建忠, 黄 飞

(浙江省大成建设集团有限公司, 浙江 杭州 310012)

摘要:根据工程地质和水文地质条件特点并结合工程周边的环境情况,对处在复杂环境条件下的浙江建设科技研发中心项目深基坑支护方案进行了研究,介绍了采用地下连续墙加内支撑的方式进行基坑支护的技术。并通过深基坑支护结构设计软件对其进行计算分析,为类似深基坑的设计提供参考。

关键词:复杂环境;深基坑;基坑支护;地下连续墙;内支撑

中图分类号:TU473.2 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2015)12-0034-05

Study on the Design of Deep Foundation Pit Supporting Scheme in Complicated Environment/DONG Jian-zhong, HUANG Fei (Zhejiang Dacheng Construction Group Co., Ltd., Hangzhou 310012, China)

Abstract: Based on the characteristics of engineering geology and hydrogeology conditions and according to the surrounding environment, the study was carried out on a deep foundation pit supporting scheme which was under complicated environmental conditions. The paper introduces the supporting technology for foundation pit with diaphragm wall and inner bracing; and the calculation was made by the design software of deep foundation pit supporting structure to provide reference for the similar deep excavation construction.

Key words: complicated environment; deep excavation; excavation support; diaphragm wall; inner bracing

0 前言

随着我国国民经济飞速发展,国家土地资源的日益紧张,许多高层建筑物深基坑在密集的建筑群中施工,基坑周边存在已建建筑物、交通道路及地下管线,对于这样周边环境条件复杂的基坑,既要创造条件便于土方的开挖,又要保护建筑物密集地区的环境。因此,如何安全、合理地选择支护结构并根据基坑工程的特点进行科学的设计是深基坑工程需要解决的主要内容。

对浙江建设科技研发中心项目深基坑支护方案进行了研究,通过对其支护体系的计算分析,验证该深基坑支护方案的可行性,为类似深基坑的设计提供参考。

1 工程概况

1.1 工程简介

浙江建设科技研发中心项目位于杭州市中心地带,文二路北侧,莫干山路西侧。场地大致呈一长方形,东西长约140 m,南北宽约87 m,用地面积为10894 m²,新建建筑面积约51525 m²,其中地上建筑面积约33837 m²。上部工程为一幢4~16层联体建

筑,地下建筑面积约17688 m²(地下3层)。基坑总面积为5990 m²,基坑周长为355 m。基坑开挖深度为14.45 m,局部电梯井深度约为16.9 m。

1.2 周边环境

工程地处杭州市中心,周边环境极其复杂。基坑南侧距离用地红线最近1.74 m(为距离地下室外墙边线),红线外为文二路,道路上布有通讯、雨水、燃气、监控、污水等市政管线。基坑东侧距离用地红线最近仅1.8 m(该侧角部地下室建筑已超出用地红线,位于代征城市绿化带控制线内),红线外为莫干山路,道路下有通讯、雨水、电力、污水等市政管线。文二路及莫干山路均为交通主干道,交通繁忙,道路下市政管线众多,保护等级高。基坑西侧包括内部保留办公室(砖混6~7层,Ø377 mm沉管灌注桩桩基础)及一幢砖混7层住宅楼(条形基础,埋深1.5 m,距离基坑约12.8 m,建造年代较久)。东北侧为24层的瑞琪大厦,地下1层(钻孔灌注桩基础,持力层为强风化凝灰岩或中风化泥质粉砂岩);西北侧还有一幢砖混4~6层建筑(钻孔灌注桩基础),距离基坑最近约13 m;西北侧石灰桥新村住宅楼(砖混4层,条形基础)离基坑约20.8 m。见图1。

收稿日期:2015-05-06

作者简介:董建忠,男,汉族,1980年生,高级工程师,从事岩土工程施工管理工作,主要研究深基坑工程及地下空间开发,浙江省杭州市文三路20号建工大厦副楼4楼基础公司,65010190@qq.com。

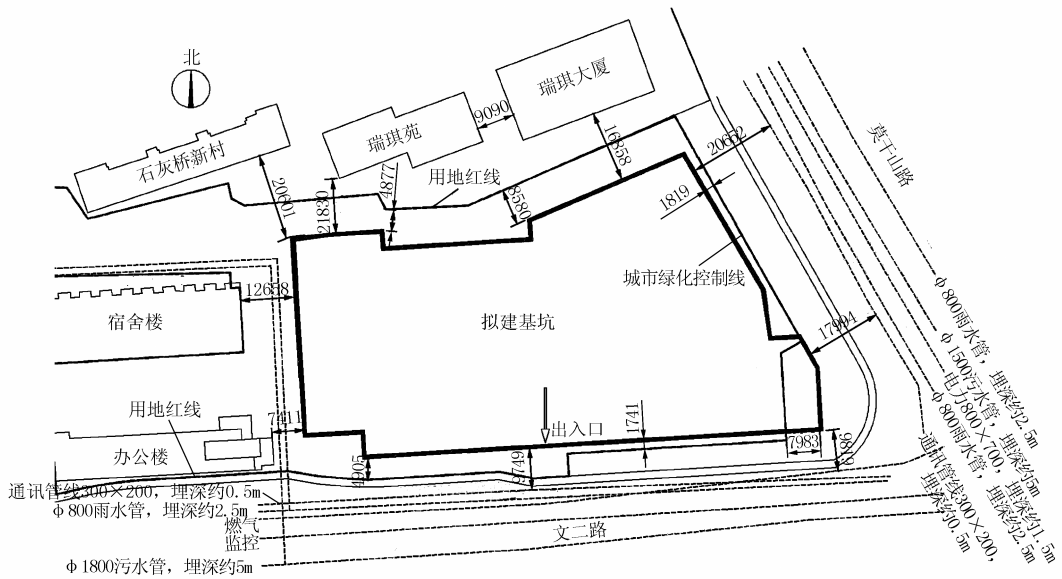


图 1 基坑周边环境平面布置图

2 工程地质及水文地质情况

2.1 工程地质

根据土层的沉积年代,沉积环境,岩性特征及物理力学性质,同时结合野外钻探,将勘察深度范围内的地基土划分为 7 个层次及分属于各层次的亚层,其中涉及到本基坑的土层主要有以下几层:①。杂填土、①粉质粘土、②₁ 淤泥质粉质粘土、②₂ 粘质粉土、③淤泥质粉质粘土、⑤₁ 淤泥质粘土、⑤₂ 粘土、⑥₁ 粉质粘土、⑥₂ 粉砂。基坑底部位于③淤泥质粉质粘土层中。各土层参数见表 1。

表 1 基坑围护设计土层参数表

土层及编号	固结快剪试验		孔隙比	压缩系数/ MPa ⁻¹	渗透系数/ (10 ⁻⁷ cm ² ·s ⁻¹)		重度/ (kN·m ⁻³)	含水量/ %
	c/ kPa	φ/ (°)			水平	垂直		
杂填土① ₀	12	10.0					19.0	
粉质粘土①	16	19.0	0.862	0.41	4.2	4.9	18.6	30.1
淤泥质粉质粘土② ₁	12	13.0	1.000	0.50	37.8	17.6	18.0	35.3
粘质粉土② ₂	13	25.1	0.895	0.24	912	127	18.3	30.9
淤泥质粉质粘土③	12	9.4	1.216	0.83	1.55	1.8	17.2	42.7
淤泥质粘土⑤ ₁	14	9.6	1.404	0.95			16.6	48.5
粘土⑤ ₂	21	12.3	1.094	0.59			17.7	37.3
粉质粘土⑥ ₁	29	13.4	0.734	0.38			19.1	25.2
粉砂⑥ ₂	8	30.8	0.634	0.22			19.5	20.6

2.2 水文地质

场地浅部地下水属孔隙潜水,水位埋藏较浅,勘察期间测得稳定地下水位埋深在 0.60~1.90 m,相当于国家高程 2.70~4.04 m。接受大气降水补给,水位动态变化受大气降水控制,一般年变化幅度在 1.00~1.50 m。地面蒸发、侧向径流是其主要排泄方式。

②₂粘质粉土层渗透系数相对较好,厚度不一,为便于挖土,坑内可适当降水。

3 基坑支护方案设计

3.1 基坑支护设计原则

- (1) 保证支护结构及土体在施工期间的整体稳定性。
- (2) 确保周围环境安全可靠。
- (3) 经济合理、施工方便、缩短工期。

3.2 基坑工程特点

综合分析基坑现状、面积、开挖深度、地质条件及周围环境,本工程特点如下。

(1) 基坑影响范围内的地基土主要为填土、粘质粉土、淤泥质土和粘土等,填土组成复杂,粘质粉土强度高、压缩性低,但渗透性能好,淤泥质粘土(淤泥质粉质粘土)强度低,压缩性高,厚度较大,对基坑变形、整体稳定影响大。应对基坑的变形控制、防渗止水、抗管涌、浅层障碍物及不良地质等对支护体施工的影响充分考虑。

(2) 本工程地下 3 层,开挖深度接近 15 m,局部电梯井处更深,属超深基坑,基坑开挖的影响范围较

大。因此,应对支护体系的整体平衡、基坑开挖对周边环境的影响予以充分考虑。

(3) 基坑周边距离用地红线或市政道路均比较近,周边路下埋设有大量的市政、电力、雨污水等管线,基坑西侧及西北侧布有浅基础住宅楼,距离基坑近,变形控制要求高。

(4) 本工程属于一级基坑工程,重要性系数取1.1。

3.3 支护方案的比较

本工程地下3层,开挖深度深,周边环境复杂,带撑式桩墙支护形式适用于本基坑。

3.3.1 地下连续墙(“二墙合一”即支护结构兼做地下室外墙)结合临时内支撑方案

该方案具有以下几个优点。

(1) 工艺成熟,适宜于各种土质,施工速度快,采用地连墙在挡土和止水方面均有保证,刚度大,可靠度高,是目前最为可靠的支护形式。

(2) 临时支撑在平面及竖向可以灵活布置,优化布置可使地连墙在各个施工工况下的内力变形尽可能合理,减少地连墙的用量;与逆作法或半逆作法相比,挖土施工非常方便,基坑暴露时间较短。

(3) 占地空间小,充分利用场地。

(4) 施工技术可借鉴的成熟经验多。

但地下连续墙造价相对较高,施工相对复杂。

3.3.2 大直径灌注桩结合内支撑方案

钻孔灌注桩结合三轴水泥搅拌桩止水帷幕,工艺非常成熟,应用广泛,但对本工程而言,因开挖深度深,采用该方案存在如下一些问题。

(1) 支护体内力大,大直径灌注桩受力性能差,钢筋利用率低,技术经济指标相对低。

(2) 支护体占用较多的用地空间,支护结构将紧贴用地红线(文二路局部超出用地红线,无法施工),甚至影响市政管线。

3.3.3 方案对比及确定

因本工程开挖深度深,地下3层,周边环境复杂,场地紧张,变形要求高。地下连续墙适宜作为本工程的支护结构,同时兼作地下室的外墙。经综合分析,拟采用800 mm厚地下连续墙作为基坑挡土结构兼防渗帷幕,同时作为地下室外墙,即“二墙合一”,沿竖向设置3道钢筋混凝土内支撑。

因混凝土支撑可根据基坑的形状灵活布置,刚度大,在杭州地区应用广泛,积累的经验多,故采用

混凝土支撑。

地下连续墙的墙段采用十字钢板接头,施工质量容易保证,止水效果好。

地连墙与主体结构的底板(边梁)、楼板、楼层梁、柱、混凝土内墙等构件相连,保证地连墙与主体结构连接的整体性。地连墙与地下室基础底板、各楼层梁等采用接驳器连接,与地下结构楼板、围檩等采用预埋甩筋方式连接。为确保地下室的干燥和美观,在地连墙内侧做内衬墙。内衬墙与地连墙之间保持一定的距离,其空间做排水集水沟使用。

地连墙底端进入性质相对较好的土层(打穿性质较差的淤泥质粘土层),为防止地连墙在施工阶段沉降过大,以致影响到预埋件的精度,考虑在地连墙的钢筋笼重预埋注浆管,待地连墙施工结束后,对地连墙底部进行高压注浆。一方面可以减少墙底沉渣的影响,另一方面可同时提高墙底土体的承载力,提高墙底端以上一段范围的侧摩阻力,减少地连墙施工阶段的沉降,同时也提高承载力。

3.4 其他关键问题

3.4.1 监测

由于基坑周边环境复杂,基坑施工过程应委托专业单位对基坑及周边环境(包括四周建筑物、道路、地下管线等)进行监测,基坑开挖期间及时提交监测资料,以便信息化施工。

3.4.2 土方开挖

本工程土方开挖深度深,场地紧张,土方开挖难度较大,出土效率直接影响本工程的工期。本工程主要需要重点考虑以下几点。

(1) 第一道支撑可考虑作为施工栈桥。

(2) 坑内土方应分层分块进行,特别是立柱周边的土方开挖应均衡对称进行,防止产生坑内土体滑坡,严禁两侧高差过大致使立柱侧向偏位,从而影响到支撑体系的安全。挖土施工机械严禁碰撞立柱。

(3) 土方开挖与支撑施工、基础施工应紧密衔接。尽量减少基坑的无撑暴露时间,减少坑底土体的无垫层暴露时间。

4 支护结构计算

4.1 取值说明

计算分析采用FRWS深基坑支护结构设计软件进行。按照地面超载20 kPa,开挖深度14.45~15.7 m,在开挖深度范围内,土层土工计算参数根据

地质报告采用,土压力采用朗肯土压力理论进行计算,水土合算,同时考虑了土的成层性。

4.2 支护结构部分计算图(图 2)

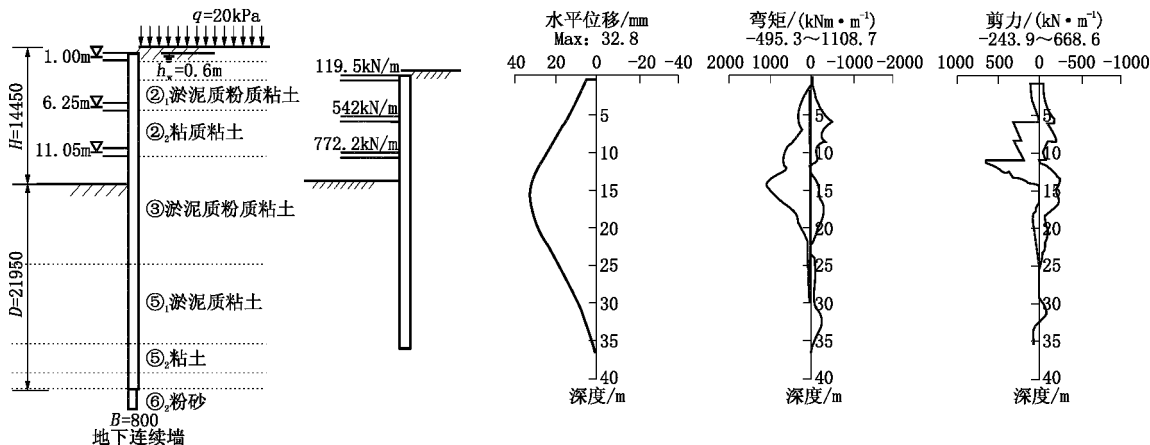


图 2 支护结构计算图

验算后,基坑抗倾覆稳定安全系数为 $1.31 < 1.2$;整体稳定性安全系数为 $1.38 < 1.35$;土体抗隆起安全系数为 $1.92 < 1.8$ 。满足规范要求。

5 基坑施工保证措施^[8]

5.1 坑内被动区加固措施

由于基坑坑底位于③淤泥质粉质粘土中,为防止土方开挖过程中对基底的过分扰动,影响基坑及周边环境,坑内被动区采取三轴搅拌桩进行地基加固处理。如图 3、图 4 所示。

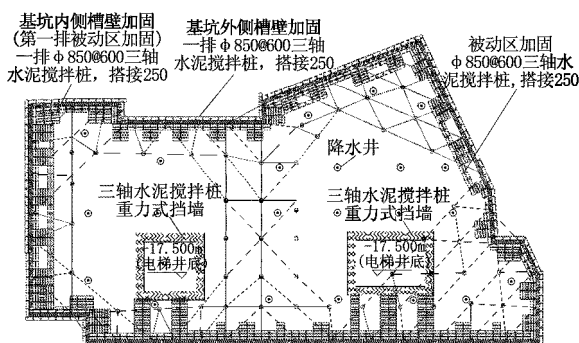


图 4 被动区加固及降水井平面布置图

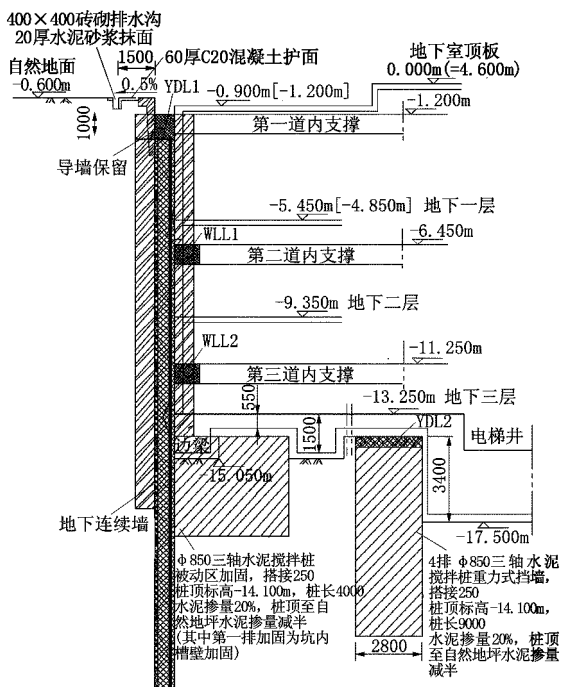


图 3 基坑加固剖面图

5.2 基坑降水措施

地连墙可以有效地将基坑外的水流截断,考虑到浅层分布有粘质粉土层,为便于挖土,根据基坑规模,在坑内设置自流深井疏干。

为防止地面水进入基坑,在基坑外侧四周设置地面排水沟,将地面水引进邻近下水道。如图 4 所示。

6 基坑监测

为保证施工的安全和开挖的顺利进行,减少基坑开挖过程中对周边环境的影响,在整个施工过程中应进行全过程的监测,实行动态管理和信息化施工。本基坑监测内容主要涉及到地连墙外侧的深层土体位移、地下水位位移、支撑轴力、周边建(构)筑物、周边管线及道路等监测项目(见表 2)。

7 结语

本基坑是在城市复杂条件下进行的施工,是一项复杂而带风险的综合性地下工程。通过采取有效

表2 基坑监测项目及报警值

序号	监测项目	报警值
1	地连墙外侧土体位移	45 mm 或 3 mm/d, 连续 3 d
2	地下水水位	1000 mm/d
3	支撑轴力	第一道:9000 kN
		第二道:12000 kN
		第三道:13000 kN
4	立柱沉降	15 mm
5	墙顶沉降	15 mm
6	地表及道路沉降	40 mm
7	周边管线	30 mm/d
8	周边建(构)筑物	30 mm

措施,取得了较好的施工效果。

7.1 合理选择支护方式和施工方法

本工程周边环境复杂,对基坑变形控制要求高,采用地下连续墙+3道钢筋混凝土内支撑支护方案,能有效的控制基坑变形,确保周边建筑物、周围道路及地下管线的安全,取得较好的效果。

7.2 选择合理的基坑加固方式

本基坑的基底土主要由含强度低、压缩性高的软弱粘性土组成,由于软土的压缩模量普遍很低,很多情况下单靠支护墙并不能够控制变形,尤其对于刚度较大的支护墙,其入土段与土之间的模量差别很大,支护墙与土不能够产生共同作用,墙体的自稳定性不够,因此需要对支护墙内侧的软土进行加固。坑内被动区加固可以减少支护结构的水平位移,保护基坑周边建筑物及地下管线,减少坑底隆起,增加被动侧土压力,防止坑底渗流破坏。

7.3 信息化施工

根据基坑工程的特点,对围护结构的受力,变形以及周边环境的变化进行跟踪监测,了解施工的动

态信息,从而对支护结构和基坑的稳定性进行评价,同时对基坑周边地下水位、地下管线及周边建筑物的沉降、位移等进行监控,了解和控制基坑施工对周边环境的影响情况,通过获得的监测数据,对设计和施工方案的合理性进行评价,为优化和合理组织施工提供可靠信息,并指导后续施工。

通过现场的实际施工和监测分析,实践证明采用该支护方案是安全可靠的,能有效地控制基坑的变形。

参考文献:

- [1] 龚晓南. 深基坑设计施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [2] 袁聚云, 楼晓明, 等. 基础工程设计原理(第2版)[M]. 上海: 同济大学出版社, 2007.
- [3] 郑刚, 刘瑞光. 软土地区基坑工程支护设计实例[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [4] 宋青君, 王卫东, 翁其平. “两墙合一”深基坑工程设计中的若干技术问题与对策[J]. 岩土工程学报, 2006, (S1).
- [5] 虞利军, 王茸, 陈敏军. 排桩内支撑基坑典型失稳原因及处理对策分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(6): 77-79.
- [6] 戚庆学, 彭波, 董宜辉. 内支撑基坑支护体系施工过程的监测及分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(10): 68-73.
- [7] 刘念武, 龚晓南, 楼春晖. 软土地基中地下连续墙用作基坑围护的变形特性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, (S1).
- [8] 刘国彬, 王卫东, 等. 基坑工程手册(第二版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [9] 冯晓腊, 熊宗海, 等. 复杂条件下基坑开挖对周边环境变形影响的数值模拟分析[J]. 岩土工程学报, 2014, (S2).
- [10] 刘永杰, 左新明, 王建华. 地下连续墙技术在深基坑围护中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(7): 44-49.
- [11] 周斌, 张可能, 等. 高层建筑基础施工对相邻建筑物的影响[J]. 四川建筑科学研究, 2009, 35(1).