

浅析深基坑分坑开挖对临近地铁附属结构的影响

李昌宝

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要:以上海漕河泾开发区赵巷园区二期深基坑支护实例为背景,分析了邻近地铁深基坑工程的实际应用特点,介绍了基坑围护设计方案选型、分坑平面布置,以及考虑临近地铁的保护措施,基于有限元数值模拟归纳,分析了分坑的空间平面尺寸对临近地铁附属结构变形的影响,并通过有限元分析结果与基坑实际设计方案进行对比。结果表明,控制临近地铁基坑的分坑宽度在2倍的基坑挖深左右,可以有效控制基坑开挖对邻近建筑的变形速率和总变形影响。

关键词:深基坑;分坑;空间平面尺寸;有限元

中图分类号:TU743.2

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2021)07-0333-05

0 引言

近年来,随着我国城市建设的大力发展,城市地下空间开发的周边环境越来越复杂,对邻近建(构)筑物的保护也越来越受到重视。基于深基坑工程空间大小、挖深、平面位置的复杂多变性,难以准确反应深基坑开挖对邻近建(构)筑物的变形影响,工程设计人员在实际工程项目中往往扩大设计的加强范围,造成不必要的经济浪费。

在基坑设计中,不仅要保证基坑自身的安全可靠,同时也要尽可能地降低基坑开挖对邻近建(构)筑物的影响。当深大基坑的开挖卸载引起的变形超过一定范围时,可影响邻近地铁的正常运营。采用分层、分部开挖和邻近地铁侧加密支撑可有效控制基坑开挖对邻近的建(构)筑物的变形^[1-4],部分深基坑工程施工场地狭小和周边环境复杂,可采用超大混凝土圆环内支撑^[5]。部分学者开展了基坑围护结构施工对邻近建筑物沉降影响,如从成槽施工^[6]、坑外二次加固^[7]等方面展开。但少有研究基坑分坑尺寸对临近地铁附属结构的影响。现结合上海漕河泾开发区赵巷园区二期深基坑支护实例,采用Plaxis2D软件,建立二维弹塑性模型,模拟不同分坑宽度基坑开挖对邻近地铁附属结构的变形影响,对比实际工程设计方案,可对类似工程提供一定的借鉴。

收稿日期:2020-12-15

作者简介:李昌宝(1988—),男,工学硕士,工程师,从事岩土工程设计工作。

1 工程概况

上海漕河泾开发区赵巷园区二期深基坑位于青浦盈港东路以南,佳采路以北,嘉松中路以西,佳迪路以东(见图1所示)。地块东西向最长处约198 m,南北向宽约132 m,总面积约19 584 m²,基坑周长约为600 m,基坑普遍挖深约9.35~9.65 m。基坑北侧邻近盈港东路轨道交通17号线嘉松中路站,距现有地铁站旁连桥轮廓线约5.9 m,周边环境等级为一级。

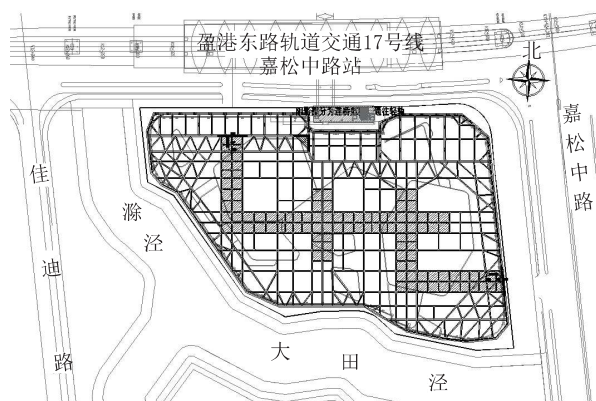


图1 基坑周边环境图

开挖深度影响范围内土层为①杂填土、②粉质黏土、③₁淤泥质粉质黏土、③₃₋₁黏土、⑥₁粉质黏土和⑥₂砂质粉土,对基坑开挖有影响的主要为⑥₂层承压水,经观测,第⑥₂层承压含水层水位埋深在3.40~3.98 m之间。该工程普遍挖深在10 m以内,经验算不涉及承压水处理问题,以疏干降水为主。该工程围护设计所采用的土层主要物理力学参数见表1所列。

表1 土层地质参数表

土层名称	重度 $\gamma/(\text{kN}/\text{m}^3)$	压缩模量 E/MPa	粘聚力 C/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\circ)$
① ₁ 杂填土	18.0	—	10.0	10.0
② 粉质黏土	18.6	4.93	20	17.5
③ ₁ 粉质黏土	17.4	2.75	12	14.5
③ ₃₋₁ 黏土	17.3	2.68	14	12
⑥ ₁ 粉质黏土	19.6	7.03	41	17.5
⑥ ₂ 砂质黏土	18.5	10.56	5	31

2 支护结构设计

2.1 分区开挖

该基坑具有挖深大、形状不规则和开挖面积大等特点,且基坑北侧紧邻地铁附属连桥结构,环境保护要求高。考虑东西向长约 198 m,如此大规模的基坑若大面积开挖势必会引起邻近建(构)筑物产生较大变形。为了控制长边效应,需进行分坑开挖。土方开挖时,由南向北、由西向东推进,并依据先形成对撑,最后开挖角撑和阳角区域的土层原则分块跳挖,先施工基坑 A 区,在该区施工到 ± 0.00 后,并结构顶板达到设计强度后,再施工 B 区(B1→B2→B3)。通过分区施工不仅可以减少基坑北侧长边一次性开挖对地铁附属结构连桥的影响,也可以保证对塔楼的施工进度,如图 2 所示。

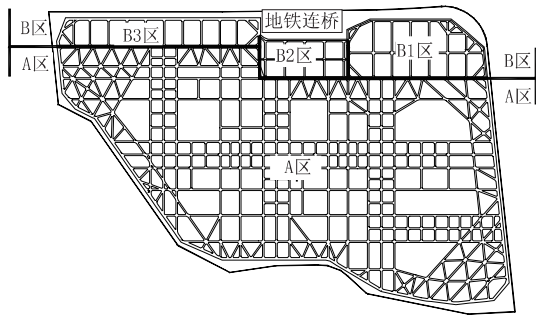


图2 基坑分区布置图

2.2 支护选型

基坑为地下二层,考虑到该工程北侧中部临近地铁连桥,围护施工空间有限,环境保护要求较高,该段区域采用地下连续墙,两侧采用三轴搅拌桩槽壁加固。基坑其他区段围护结构有一定的施工空间,周边环境要求相对宽松,且该区域地层参数较好,因此,为有效控制造价,其他区段的围护设计采用钻孔灌注排桩+三轴搅拌桩止水帷幕。

考虑基坑 A 区形状复杂,开挖面积大,采用两道混凝土支撑以减少围护体的水平位移并保证围护体的稳定,B2 区邻近需保护的地铁连桥,为了控制基坑开挖的暴露时间,第二道支撑采用轴力补偿伺服系统的钢支撑。基坑围护剖面见图 3(一般区域,采用两道混凝土支撑)和图 4(邻近地铁连桥区域,采用一道混凝土支撑和一道轴力补偿伺服钢支撑)所示。

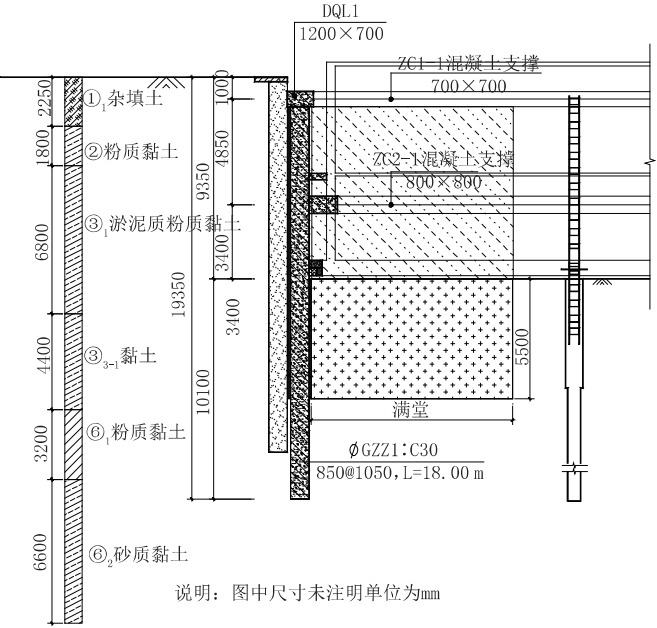


图3 基坑围护剖面图1

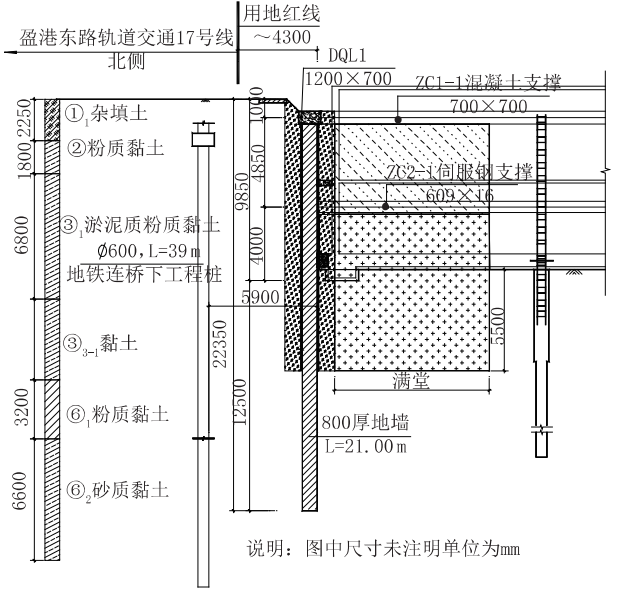


图4 基坑围护剖面图2

2.3 坑内加固

对北侧临近地铁的区域的坑底采用三轴 3 ϕ 850@1200 裙边满堂加固,第二道支撑底至坑底弱加固,坑底以下 5.5 m 强加固,加固宽度为一般区域不少于基坑 1 倍深度。

3 有限元分坑计算模拟

3.1 有限元模型建立

根据土层、基础资料 and 设计方案,应用 Plaxis2d 有限元软件建立二维分析模型。考虑基坑施工过程的复杂多变,基本假定如下:

- (1)假定地面平整,土层实体各向连续均质同性。
- (2)土体实体单元采用小应变硬化土模型(HSS)^[8],地下连续墙和承台采用板单元,桩采用梁单元,支撑采用锚杆属性单元。
- (3)不考虑地下水的影响。

根据类似工程经验,为减少模型边界效应的影响^[9],基坑模型竖向尺寸采用约 3 倍挖深,水平向尺寸采用 3~5 倍挖深。结合基坑挖深 H 约 10 m,邻近地铁附属连桥需分坑开挖,模型计算深度采用 30 m,宽 90 m,土体单元采用 15 节点平面应变单元,建立 B 区基坑宽度取为 xH 的基坑模型进行对比分析,其中 x 分别对应 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 和 3.0,如图 5 所示,模型网格如图 6 所示,单元划分数近 1 000 个。模型地面为自由面,四周采用水平约束,底部固定。

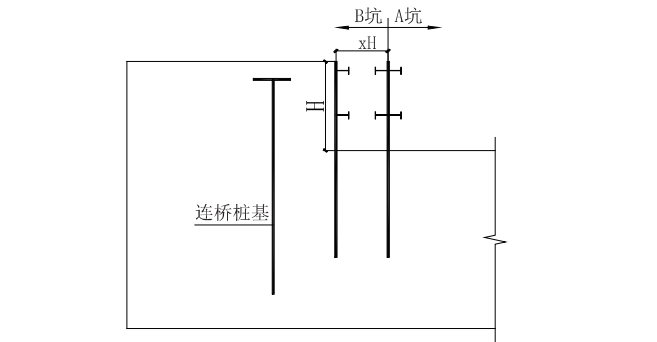


图 5 分坑宽度示意图

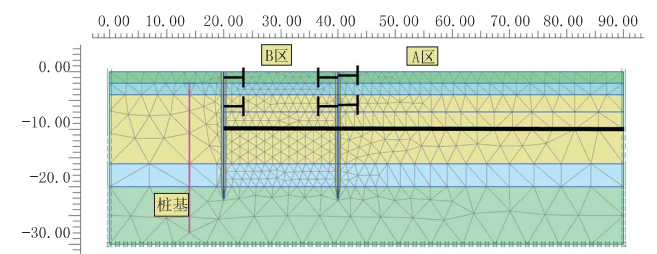


图 6 有限元分析网格模型

3.2 计算参数选取

采用 HSS 模型可较为合理地模拟基坑开挖过程中引起的土体卸荷应力路径^[8],基坑力学计算参数可详见表 1 所列,上海黏性土层的值介于(3.5~5.0)倍的 E_{ur}^{ref} , $\gamma_{0.7}$ 大致介于 $(1.5\sim2.8) \times 10^{-4}$,变化范围很小^[10]。HSS 模型计算参数见表 2 所列,结构计算参数见表 3 所列。

表 2 HSS 模型计算参数表

土层名称	E_s /MPa	E_{50} /MPa	E_{ur}^{ref} /MPa	$\gamma_{0.7}$ / $\times 10^{-4}$	G_0^{ref} /MPa
① ₁ 杂填土	3	4.5	22.5	2	90
② 粉质黏土	4.93	6.0	30	2	120
③ ₁ 粉质黏土	2.75	4.0	20	2	85
③ ₃₋₁ 黏土	2.68	4.0	20	2	85
⑥ ₁ 粉质黏土	7.03	10.0	50	2	220
⑥ ₂ 砂质粉土	10.56	12.5	60	2	300

表 3 结构计算参数表

名称	$E/(kN/m^2)$	截面 /m	重度 w /(kN/m^3)	泊松比 ν	单元
地连墙	30E6	0.6	24.5	0.2	板
桩基 承台	30E6	—	24.5	0.2	板
桩基	30 E6	ϕ 0.6	24.5	0.2	桩
支撑	—	0.8×0.8	24.5	0.2	锚杆材料

3.3 分坑开挖工况模拟

根据基坑设计方案,在基坑开挖之前,计算模型先采用 k_0 计算方法模拟基坑影响范围内的土体应力场。在基坑开挖之前,需将模型变形重置为零,再根据实际工况先开挖 A 区基坑土体,再开挖 B 区基坑土体,具体基坑开挖工况见表 4 所列。

表 4 开挖工况一览表

编号	工况	编号	工况
1	初始地应力场计算	5	开挖 A 区第三层土至坑底
2	添加桩基、地连墙	6	开挖 B 区第一层土 + 施工第一道支撑
3	开挖 A 区第一层土 + 施工第一道支撑	7	开挖 B 区第二层土 + 施工第二道支撑
4	开挖 A 区第二层土 + 施工第二道支撑	8	开挖 B 区第三层土至坑底

3.4 数值计算结果分析

3.4.1 B 区基坑 2H 宽度计算分析

基坑开挖会引起周边土体产生竖向位移和水平位移,考虑分坑开挖可以有效地限制大面积开挖引起土体变形,根据基坑实际开挖工况,通过有限元模型计算分析基坑开挖过程中对邻近地铁附属结构的影响,其计算结果详见图 7~ 图 9 所示。

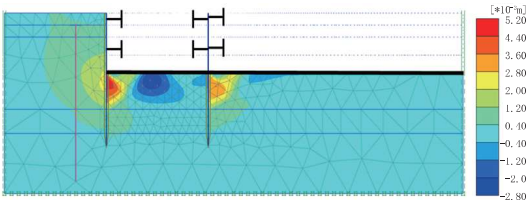


图 7 基坑开挖后土体水平变形云图

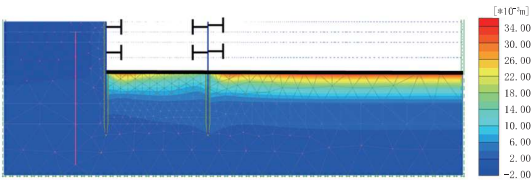


图8 基坑开挖后土体竖向变形云图

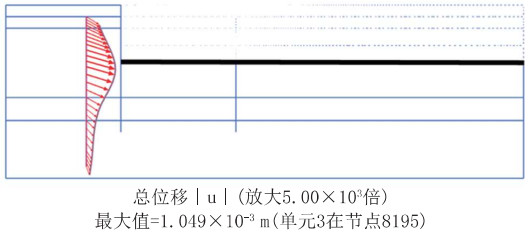


图9 邻近连桥桩基位移图

通过分区开挖有限元数值计算,由图 7~ 图 9 可知,基坑开挖引起土体卸荷作用,由于桩土共同作用,邻近基坑的连桥桩基会产生变形。相对来说,邻近 B 区基坑地铁连桥桩基在地面下坑底标高附近变形最大,达到 1.05 mm 左右,可以满足地铁保护要求。在工程的后续过程中,应加强桩基的位移监测,及时分析基坑开挖的工后固结变形影响。

3.4.2 不同分坑宽度计算对比分析

重置初始地应力场、添加地连墙和桩基引起的变形为零,考虑 A 区基坑和 B 区基坑相应工况开挖引起的连桥桩基变形,详见表 5 所列和图 10 所示。

表 5 不同分坑宽度桩基最大位移统计表 单位: mm

工况	0.5 H	1.0 H	1.5 H	2.0 H	2.5 H	3.0 H
3	0.121	0.088	0.071	0.053	0.052	0.035
4	0.283	0.185	0.161	0.119	0.118	0.077
5	0.655	0.406	0.329	0.267	0.256	0.178
6	0.719	0.492	0.428	0.373	0.358	0.282
7	0.767	0.583	0.521	0.51	0.497	0.477
8	1.015	0.932	0.975	1.049	1.02	1.079

由表 5 和图 10 可知,随着 A 区第一层土开挖至 B 区开挖至坑底,基坑开挖引起的桩基变形逐渐增大;当分坑宽度为 0.5H 时,A 区开挖引起的桩基变形占总变形约 64.5%,其他分坑宽度开挖引起的桩基变形在 43.6%以下,且当分坑宽度在 1.5 H~2.5 H 之间时,变形在 30%左右;由图 10 可知,当分坑宽度在 1.5 H~3.0 H 之间时,B 区基坑开挖至坑底时,引起的桩基变形比较接近。综上可知,当临近地铁的分坑宽度过小时,远离地铁的大坑开挖会引起地铁附

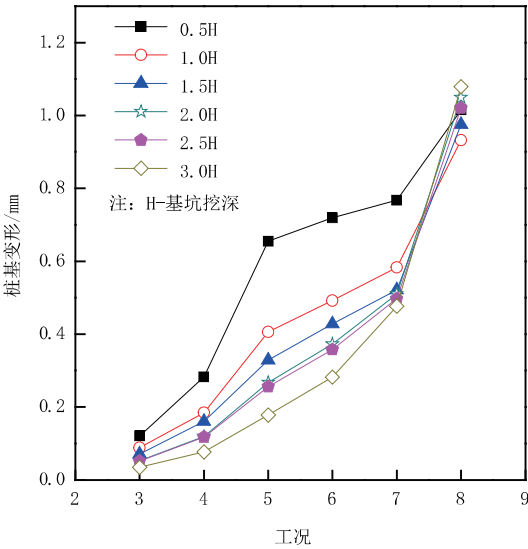


图10 不同分坑宽度基坑开挖下桩基变形曲线图

属桩基变形速率增长较快,不利于前期的控制保护。为此,合理选择分坑范围应在 1.5 H~2.5 H 之间。

基坑设计方案实际采用 2 H(20 m)进行分坑开挖,研究不同分坑宽度相对 2H 的离散化程度。由表 6 和图 11 可知,当分坑宽度在 0.5 H~1.5 H 之间时,最大离散偏离程度在 35%以上,偏离较大;当分坑宽度在 2.0 H~3.0 H 之间时,最大离散偏离程度在 3%以内,说明当采用分坑宽度在 2 H 时已经可以满足临近地铁附属结构的保护,无需再扩大分坑宽度;当分坑宽度在 1.5 H~2.0 H 之间时,最大离散偏离程度在 35%以下,且根据相关工程经验,取 2 H 的分坑宽度是合理的。

表 6 相对 2.0H 基坑分坑宽度离散化处理一览表

工况	0.5 H	1.0 H	1.5 H	2.0 H	2.5 H	3.0 H
3	2.28	1.66	1.34	1.00	0.98	0.66
4	2.38	1.55	1.35	1.00	0.99	0.65
5	2.45	1.52	1.23	1.00	0.96	0.67
6	1.93	1.32	1.15	1.00	0.96	0.76
7	1.50	1.14	1.02	1.00	0.97	0.94
8	0.97	0.89	0.93	1.00	0.97	1.03

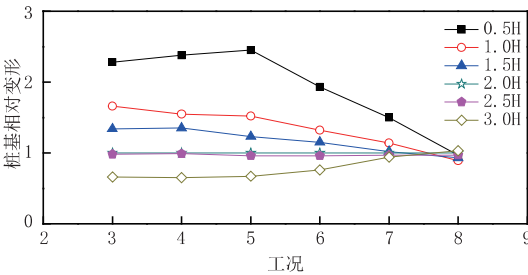


图11 相对 2H 分坑宽度基坑开挖桩基变形离散分布图

6 结 语

本文首先以上海软土地区临近地铁深基坑实例为背景,介绍了相关基坑设计保护方案,通过有限元计算分析对比不同分坑宽度对临近地铁附属连桥桩基的变形影响,得出以下结论:

(1)基坑开挖引起邻近保护桩基变形,最大变形在坑底深度位置处。

(2)当临近地铁的分坑宽度过小时,远离地铁的大坑开挖会引起地铁附属桩基较大变形速率,不利于前期的控制保护。

(3)分坑宽度在 $(1.5\sim 2.5)H$ 之间较为合理,一般可取用 $2.0H$ 分坑宽度进行设计,可以有效达到控制基坑开挖对周边保护桩基的影响。

参考文献:

- [1] 李世辉. 超大面积深基坑开挖对毗邻地铁车站影响的监测与数值分析[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(8):115-119.
- [2] 姚西平. 人防基坑工程对运营地铁车站及区间影响研究[J]. 天津建设科技, 2020(4):44-48.
- [3] 宋德鑫, 铸, 范钦建. 分坑施工在控制基坑长边效应中的应用[J]. 岩土工程技术, 2015, 29(2):84-89.
- [4] 郭永发, 杨翔, 叶林, 王志良. 某基坑支护方案对相邻地铁区间的影响分析[J]. 地下空间与工程学报, 2015, 11(3):726-731.
- [5] 赵升峰, 范钦建. 超大混凝土圆环内支撑在深基坑工程中的应用[J]. 岩土工程技术, 2013, 27(1):17-21.
- [6] 刘凤洲, 谢雄耀. 地铁基坑围护结构成槽施工对邻近建筑物沉降影响及监测数据分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2014(S1):2901-2907.
- [7] 高广运, 高盟, 杨成斌, 余志松. 基坑施工对运营地铁隧道的变形影响及控制研究[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(3):453-459.
- [8] 尹骥. 小应变硬化土模型在上海地区深基坑工程中的应用[J]. 岩土工程学报, 2010(S1):166-172.
- [9] 刘公然. 基于 Midas GTS 的深基坑开挖支护三维数值分析[J]. 广东土木与建筑, 2018, 25(7):43-45.
- [10] 王卫东, 王浩然, 徐中华. 上海地区基坑开挖数值分析中土体 HS-Small 模型参数的研究[J]. 岩土力学, 2013(6):1766-1774.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴, 为您提供平台, 携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com