

土钉墙和桩锚联合支护数值模拟及实测对比研究

周予启¹ 刘波²

(1. 中建一局集团建设发展有限公司, 北京 100102; 2. 中国矿业大学力建学院, 北京 100083)

【摘要】 基坑上部土钉墙、下部桩锚的联合支护是北京地区常见的一种深基坑支护形式, 安全可靠, 造价低廉。以往工程设计中, 采用分别建模, 独立进行, 一般不考虑上部土钉墙与下部桩锚这两种不同支护型式间的相互影响, 容易造成现场安全隐患。采用数值模拟手段, 结合国贸三期 A 阶段深基坑现场监测数据, 得出了上部土钉墙与下部桩锚的变形相关规律并给出了工程实践中简便的控制方法。

【关键词】 数值模拟; 桩锚支护; 现场实测; 深基坑工程

【中图分类号】 TU 551.4; TU 942

【文献标识码】 A

doi: 10.3969/j.issn.1007-2993.2013.04.007

Simulation and Field Measurements for Combination Support of Soil Nailing and Pile-anchor

Zhou Yuqi¹ Liu Bo²

(1. China Construction First Group Construction & Development Co., Ltd, Beijing 100102, China;

2. School of Mechanics and Civil Engineering, China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China)

【Abstract】 The combination support of soil nailing and pile-anchor is a common type of deep foundation pit supporting form in Beijing area. It is safe and low cost. In the design of previous engineering, people do not consider the soil nailing and pile-anchor of the two different support type interactions, then it cause easy the scene safe hidden trouble. Based on the numerical simulation methods, combining CWTC IIIA deep foundation excavation in-situ monitoring data, we got a related law of the combination support and given in engineering practice of simple control method.

【Key words】 simulation; pile-anchor supporting; field measurements; deep pit

0 引言

随着国民经济的高速发展, 城市化进程不断加快。城市中心区土地资源的稀缺造成建筑物高度的极度攀升, 基础的埋深越来越大。由于深基坑支护引发的工程安全问题越来越引起大众的重视。北京地区工程实践经验表明采用基坑上部土钉墙、下部桩锚的联合支护型式, 既安全可靠, 又可以降低造价; 但在工程实际设计中往往不考虑上部土钉墙与下部桩锚这两种不同支护型式间的相互影响而导致在计算中低估了上部土体的作用效应, 使得计算结果偏于不安全, 造成现场安全隐患^[1-2]。目前, 国内有学者对此进行了理论研究, 文献[1]中对此亦进行了相关规定。本文通过数值模拟手段结合现场实际

监测数据, 从工程实践的角度提出一种简易的变形评估方法。

1 工程概况

中国国际贸易中心三期(CWTC III) A 阶段工程坐落于北京市朝阳区建国门外大街 1 号, 是一座集超五星级酒店、高档写字楼、国际精品商场、电影院、宴会厅、地下停车场为一体的多功能现代化智能建筑。占地面积 62 130 m², 总建筑面积 296 532 m², 其中主塔楼地下 3 层、地上 74 层; 裙楼地下 4 层、地上 5 层; 主塔楼高 330 m, 为北京市已建成的最高标志性建筑物。基坑面积 22 000 m², 开挖深度 -21.60 ~ -22.55 m, 局部电梯井深 -27.10 m。基坑周边环境条件复杂(见图 1)。

基金项目: 中建总公司课题《城市中心区特大超深基坑工程对周边环境的影响评估及控制关键技术》(CSCEC-2011-Z-33)

作者简介: 周予启, 1971 年生, 男, 汉族, 河北廊坊人, 硕士, 高级工程师, 从事基坑设计和施工。E-mail: zyuqbestman@126.com

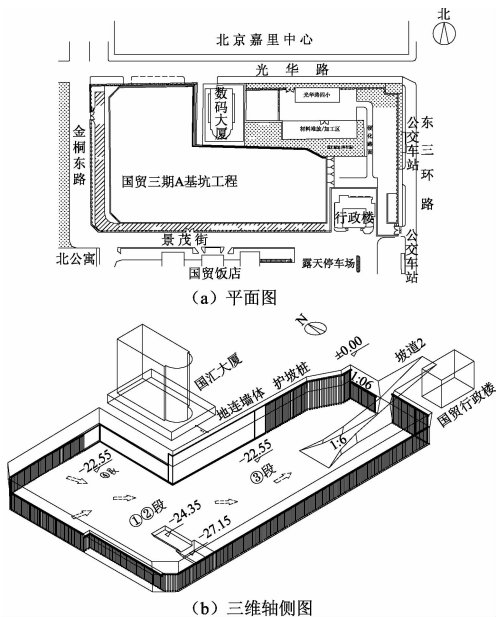


图1 国贸三期周边环境

2 工程地质条件

北京市区位于华北平原的西北缘,西、北及东北三面环山,东、南及东南面为广阔的平原区。拟建场区在地貌单元上位于永定河冲洪积扇中下部,第四纪地层厚度在160 m左右。地面以下至基岩顶板之间的沉积土层以粘性土、粉土与砂土、碎石土交互沉积层为主。地形基本平坦。北京市区属典型暖温带、半湿润半干旱大陆性气候;夏季炎热多雨,冬季寒冷干燥^①。

2.1 地基土的物理力学参数

地基土的物理力学参数见表1。

表1 土层物理力学参数

土层	密度 $\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	粘聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$	压缩模量 E_s/MPa	泊松比
填土	1 950	12.5	12.5	10.0	0.30
砂质粉土	2 000	23.0	36.6	18.0	0.30
粉质粘土	2 000	25.0	35.0	22.0	0.30
细砂	1 750	0.0	37.3	35.0	0.28
圆砾	1 800	0.0	40.0	75.0	0.26
粘性土	2 000	38.0	27.3	18.0	0.30
中砂	1 930	0.0	37.9	45.0	0.28
圆砾	1 850	0.0	40.0	90.0	0.26
粘性土	1 900	30.0	35.0	20.0	0.30
圆砾	1 850	0.0	40.0	120.0	0.25
粘性土	1 900	35.0	35.0	20.0	0.30
圆砾	1 850	0.0	42.0	140.0	0.25

备注:表中 c 、 φ 为直剪固结快剪指标

2.2 水文地质条件

地下水情况见表2。

表2 地下水情况一览表

序号	地下水类型	地下水稳定水位	
		埋深/m	标高/m
1	台地潜水	3.30~6.50	32.07~35.59
2	层间潜水	15.30~17.60	21.99~23.58
3	承压水	16.70~18.60	20.64~22.00

3 基坑支护设计

基坑支护设计的原则是“技术先进、经济合理、安全可靠、保护环境”。本基坑深达-22.55 m(局部电梯井达-27.10 m),属于超深大基坑,按一级考虑。支护形式采用上部10 m土钉墙(1:0.1放坡、7道土钉),-10 m以下护坡桩($\Phi 800@1500$ mm),槽底嵌固深度5~6 m,设2道锚杆,典型剖面见图2。

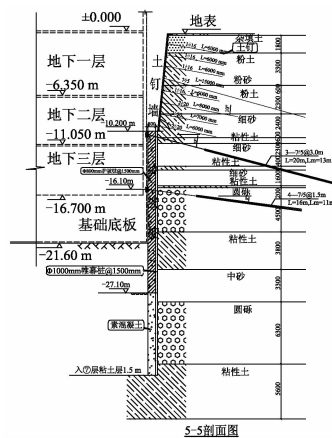


图2 基坑支护设计剖面示意

4 数值模拟及实测对比研究

本文采用数值模拟软件FLAC系统建立二维连续介质模型。考虑基坑开挖的过程影响,分析由于下部桩锚开挖施工对上部土钉墙的地表移动变形和内力变化的相关性规律^[3-4]。数值模型: X 、 Y 方向分别130 m \times 90 m,约38 850个单元。水平方向为约6倍坑深;竖直方向为约4倍坑深,基本上可以消除边界效应对计算结果的影响。除模型上表面为自由边界外,其余均为位移边界条件(见图3)。

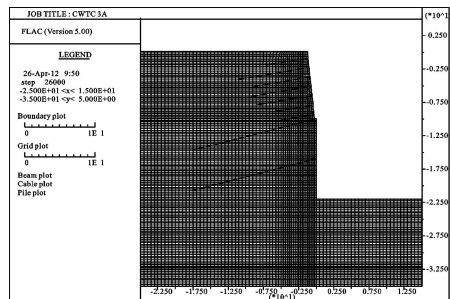
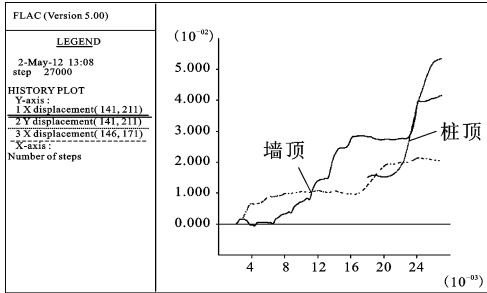


图3 数值模型

①北京市勘察设计院. 2003 技 036 北京国贸三期岩土工程勘察报告(卷 A)[R]. 2003.

土体本构模型为 Mohr-Coulomb 模型(摩尔-库仑)。这种模型适用于混凝土、岩石和土层等颗粒状材料。围护结构采用弹性模型。锚索自由段采用无黏结 Cable 单元并施加预应力;土钉和锚索锚固段均采用全长黏结 Cable 单元。

基坑开挖到底时土钉墙顶水平位移和沉降、护坡桩顶水平位移历时曲线见图 4。



横轴为计算时步;纵轴为计算点位移

图 4 土钉墙顶和桩顶历时(时步)曲线对比

国贸三期基坑监测等级为一级。土方开挖自 2005 年 8 月开始,至 2006 年 4 月主塔楼基坑开挖到槽底;6 月大底板浇筑完成;10 月地下结构大面完成。现场监测历时曲线见图 5。

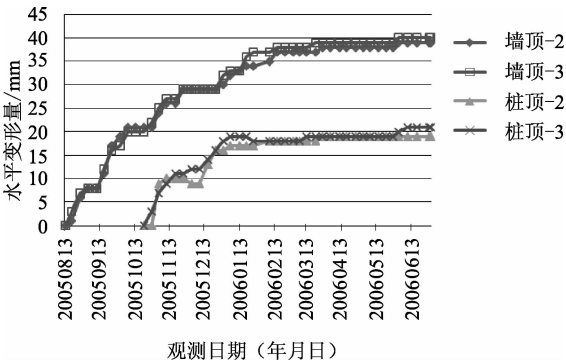


图 5 现场监测历时曲线

由图 5 可见,在上部土钉墙开挖到护坡桩顶处时(2005 年 10 月 13 日),土钉墙的水平变形基本上发生了最大值的 50%。其后在护坡桩施工、锚杆施工、近槽底桩基施工、土方分步开挖到槽底(2006 年 2 月 13 日)过程中,变形亦有所增大,约占整体变形量的 50%。因此,建议在土钉+桩锚联合支护体系中,对于土钉墙顶的变形观测应该持续到槽底。由于下部护坡桩顶的水平变形造成土钉墙顶出现与桩顶大致相当的变形量。

现场采用钢弦式钢筋应力计对典型土钉剖面进行内力监测。区分不同土钉长度,在第 2、3、4、5、6、7 排土钉上分别布设 4、4、5、4、3、3 个测点,共计 23 点(见图 6)。

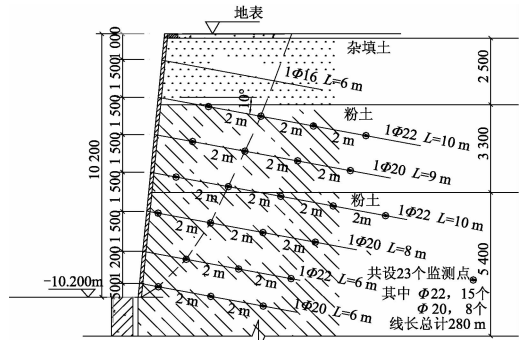
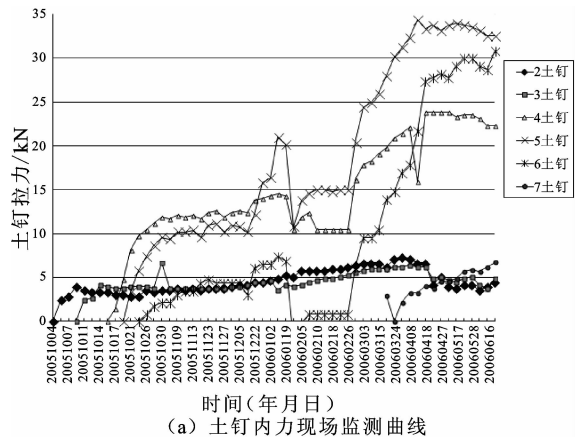
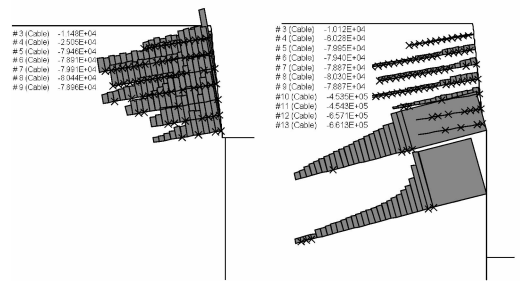


图 6 土钉内力测点图

由图 7(a)可见,在后期桩锚施工、土方开挖过程中,下部第 4、5、6 道土钉内力均有大幅增长(50%~200%)。由图 7(b)数值模拟亦揭示了上部土钉在下部桩锚施工过程中内力的增长趋势。因此,在实际设计过程中,对于上部土钉的设计若按照单独土钉墙计算,则需要将初步计算结果进行放大以确保后期的安全储备系数,最好通过数值模拟手段进行设计。以往类似工程中上部土钉出现钉头破坏、喷射面板鼓出等险情时,现场处理一般归结为土钉墙现场施工质量控制问题,可能是片面的。



(a) 土钉内力现场监测曲线



(b) 数值模拟不同阶段数据
图 7 土钉内力历时曲线

5 结论

1) 上部土钉墙、下部桩锚的联合支护是北京地区较硬场地的基坑比较经济、适宜的支护型式。

(下转第 200 页)

出土体原有内摩擦角较小。当内摩擦角提高到 1.30 g/cm^3 时,内摩擦角随干密度增大而增大。表4可以看出红土样含水率的变化,剪切过程中土样排水并产生压缩。

表4 不同阶段红土样含水率 %

试验阶段	干密度 $\rho_d / (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$						
	1.29	1.30	1.30	1.26	1.17	1.13	1.06
初始	26.5	28.3	32.4	32.4	32.9	33.5	35.6
剪前	42.8	40.0	41.2	46.5	44.5	39.4	50.0
剪后	36.4	35.8	36.9	36.9	37.2	36.2	36.3

红土样初始干密度一定为 1.25 g/cm^3 ,含水率越大,内摩擦角越小。浸泡后内摩擦角微弱增大。

2) 浸泡对红土粘聚力的影响

从表4可以看出:初始红土样粘聚力随干密度增大而增大,随含水率的增大而减小。浸泡后随着含水率的增加,水的软化作用对土样产生显著影响。原有土粒之间的胶结作用遭到破坏。土粒表面结合水膜增厚,连接力减弱,反映在宏观上就是粘聚力降低。水膜厚度达到一定程度,土粒之间连接力微弱到可以忽略,土样粘聚力就趋于零。

3 结论及建议

1) 红土在短时间吸收大量自由水并快速趋向饱和状态,随着浸泡时间延长其抗剪强度趋于稳定。

2) 浸泡过程对红土的抗剪强度造成影响。初始含水率越低,干密度越大土样浸泡后抗剪强度下降越明显。初始含水率低于 28%,初始干密度大于 1.29 g/cm^3 的土样浸泡 1 h 后的抗剪强度最低,随着时间延长到 96 h,其抗剪强度缓慢提高并趋于平缓;初始含水率越大,干密度越小土样浸泡后则其抗剪强度变化则比较平稳。

3) 直剪试验,浸泡后红土样粘聚力趋向于零,内摩擦角略有增大。

4) 为了直观对土样浸泡前后的抗剪强度进行比

较,引入浸泡损伤系数和加权平均抗剪强度的概念。浸泡损伤系数,可以衡量浸泡作用对土样抗剪强度的不利影响。加权平均抗剪强度,综合考虑四级不同压力下土样的抗剪强度,给出土样可靠抗剪强度指标。

5) 试验条件应拓宽初始干密度与初始含水率的跨度以及更长时间浸泡条件下,研究浸泡对红土的影响。

参 考 文 献

- [1] 王毓华. 中国红土及红粘土分布特征[G]//中国工程地质新进展论文集. 成都:成都科技大学出版社, 1989:199-204.
- [2] 符必昌,黄英. 试论碳酸盐岩上覆红土的形成模式及演化趋势[J]. 地质科学, 2003, 38(1):128-136.
- [3] 赵颖文,孔令伟,郭爱国,等. 广西红粘土击实样强度特性与胀缩性能[J]. 岩土力学, 2004, 25(3): 269-373.
- [4] 赵颖文,孔令伟,郭爱国,等. 广西原状红粘土力学性状与水敏性特征[J]. 岩土力学, 2003, 24(3): 568-572.
- [5] 赵颖文,孔令伟,郭爱国,等. 典型红粘土与膨胀土的对比试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(15):2593-2598.
- [6] 王中文,洪宝宁,刘鑫,等. 红粘土抗剪强度的水敏性研究[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2011, 43(1):18-22.
- [7] 唐益群,余钰钰,张晓晖,等. 贵州石漠化地区降雨条件下红粘土剪切强度特性随含水量变化关系探讨[J]. 工程地质学报, 2009, 17(2):249-252.
- [8] 周敏,时凯. 红粘土的水-土作用力学效应试验研究[J]. 工程勘察, 2011(12):17-24.
- [9] 中华人民共和国行业标准编写组. SL237—1999 土工试验规程[S]. 北京:中国水利水电出版社, 1999.
- [10] 卢廷浩. 土力学[M]. 南京:河海大学出版社, 2002.

收稿日期:2013-05-13

(上接第 190 页)

2) 现场监测表明下部桩锚、土方开挖、底板施工等对土钉墙顶的变形影响有一定的相关性:下部桩顶的水平变形造成土钉墙顶出现大致相当的变形增量。

3) 土钉墙和桩锚联合支护设计过程中,最好通过数值模拟手段进行。常规分开单独设计时,需对土钉墙初步计算结果进行适当放大 1 倍以确保后期的安全。

参 考 文 献

- [1] 中国土木工程学会. DB11/489-2007 建筑基坑支护

技术规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2007.

- [2] 济南大学. GB 50497—2009 建筑基坑工程监测技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2009.
- [3] 刘波,韩彦辉. FLAC 原理、实例与应用指南[M]. 北京:人民交通出版社, 2005.
- [4] 周予启,秘志伟,津塔基坑施工监测和数值模拟分析[J]. 天津建设科技, 2011(2):24-27.

收稿日期:2013-04-26