

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2013.06.033

非对称深基坑变形规律现场监测

朱有奇,周云东,赵元海,侍 成
(河海大学 岩土工程研究所,江苏 南京 210098)

摘 要: 根据南京市青奥轴线地下交通工程主隧道基坑特点,制定了深基坑开挖施工监测方案,并使用测斜仪、频率接收仪对基坑的深层水平变形、墙体关键位置处的水平位移以及钢筋混凝土支撑轴力进行监测。结果表明:非对称基坑开挖过程中,随着基坑开挖深度和支撑的架设位置的不同,墙体位移的模式也不尽相同;最大水平位移发生位置逐渐下降至 6/7 倍基坑开挖深度;同时各级轴力也相应增加,并呈现交替形式。监测过程中,各项数据均小于报警值,支护方案有效。

关键词: 非对称;深基坑;现场监测;轴力;位移

中图分类号: TU753

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2013)06-0157-05

In-situ Monitoring for Deformation Laws of Asymmetric Deep Foundation Pit

ZHU You-qi, ZHOU Yun-dong, ZHAO Yuan-hai, SHI Cheng

(Research Institute of Geotechnical Engineering, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098, China)

Abstract: The in-situ monitoring plan for the excavation of deep foundation pit was designed according to the main tunnel excavation characteristics of the axial underground traffic engineering of the Youth Olympic Games in Nanjing, and the deep horizontal displacement, the horizontal displacement of the key-sections of the wall and the axial force of the steel-concrete supports were monitored by inclinometer and frequency receivers. The results show that during the excavation of the asymmetric deep foundation pit, the model of the wall displacement were various with the different depth of the excavation and the location of the supports; the place of the maximum horizontal displacement also gradually moved down to 6/7 times of the excavation depth; meanwhile the axial force of each steel-concrete support also increased by turns. During the monitoring, the monitoring values were all smaller than the warning value, so the supporting plan is effective.

Keywords: asymmetry; deep foundation pit; in-situ monitoring; axial force; displacement

随着大型地下空间项目的逐步发展,其规模和深度不断加大,周围环境的不同使得基坑的支护形式也不尽相同,特别是一些非对称情况下的深基坑开挖,存在一系列的复杂岩土工程问题,而我国对于这样的基坑变形研究还处于初级阶段,进行围护结构设计时,土压力计算仍采用对称基坑的设计参数,有可能对围护结构不稳定性造成低估。为保证地下空间安全施工,对基坑围护结构及基坑四周地层位移进行量测,及时地反映工程施工所造成的影响,判断前一步施工工艺和施工参数是否符合预期要求,以确定和优化下一步的施工参数,作好信息化施工,达到优质安全、经济合理的目的。本文结合南京青奥轴线地下交通工程主隧道基坑变形监测方案,研究了非对称基坑的变形规律。

1 工程概况

1.1 工程概况

青奥轴线地下交通工程为南京市梅子洲过江通道的重要组成部分,同时起到青奥会期间的交通枢纽作用。本文将工程主隧道基坑 1-1 断面为研究对象进行分析,主隧道基坑起讫里程为 YK10+312~YK10+525,该区结构为局部地下三层钢筋混凝土框架结构,主要采用明挖暗埋法施工。基坑为大放坡开挖地下空间基坑下套直立开挖的隧道基坑形式,全施工区段均存在大基坑中还有小基坑的特征。基坑最大开挖深度达 27 m,最大开挖宽度(东西向)约 206 m,最大开挖长度(南北向)约 267 m。周边主要为青奥会场馆及配套设施,如图 1 所示。

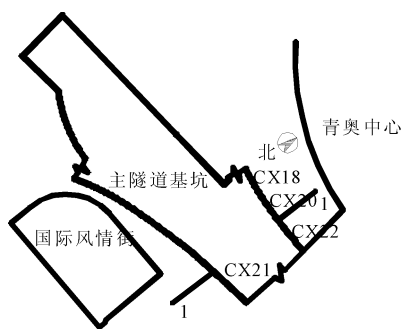


图 1 主隧道平面图

1.2 工程地质

勘察揭露地层上部均为第四系松散沉积物,下伏白垩系基岩,根据岩土层的成因时代、埋深及岩石的风化程度等确定工程地质层。共划分为 6 大层,层号为①~⑥,然后根据岩土层的岩性特征及物理力学性质细分为若干亚层:

①层—杂填土(Q_4^{al});

②1—粉质黏土(黏土)(Q_4^{al+pl}),②2—淤泥质粉质黏土(Q_4^{al+pl}),②3—粉质黏土夹粉土(砂)(Q_4^{al+pl});

③1—粉砂(Q_4^{al}),局部细砂,③2—粉细砂(Q_4^{al}),

③3—粉质粘土夹粉砂(Q_4^{al});

④—粉质黏土夹粉砂(Q_4^{al});

⑤1—粉细砂(Q_4^{al+pl}),⑤2—中粗砂(Q_4^{al+pl}),⑤3—砾砂(Q_4^{al+pl}),⑤4—卵砾石(Q_4^{al+pl}),⑤5—粉质黏土夹粉砂(Q_4^{al+pl});

⑥1—强风化泥岩(K_{2p}),⑥2—中风化泥岩(K_{2p}),⑥3—微风化泥岩(K_{2p})。

1.3 水文地质

本工程所在区域气候湿润,雨量充沛,降雨时间长,长江等地表水体与地下水的水力联系较好,对区域地下水的形成补给起重要作用。据区域资料以及本次勘察成果,根据含水层的岩性、埋藏条件和地下水赋存条件、水力特征,可分为松散岩类孔隙水和碎屑岩类孔隙水。

2 基坑支护方案

主要围护形式为地下连续墙,钻孔灌注桩,支撑形式主要采用钢筋混凝土支撑,坑内采用管井降水。本文以图 1 中 1-1 横断面为研究对象,对地下连续墙的变形、混凝土支撑的轴力变化规律进行分析。如图 2 所示。

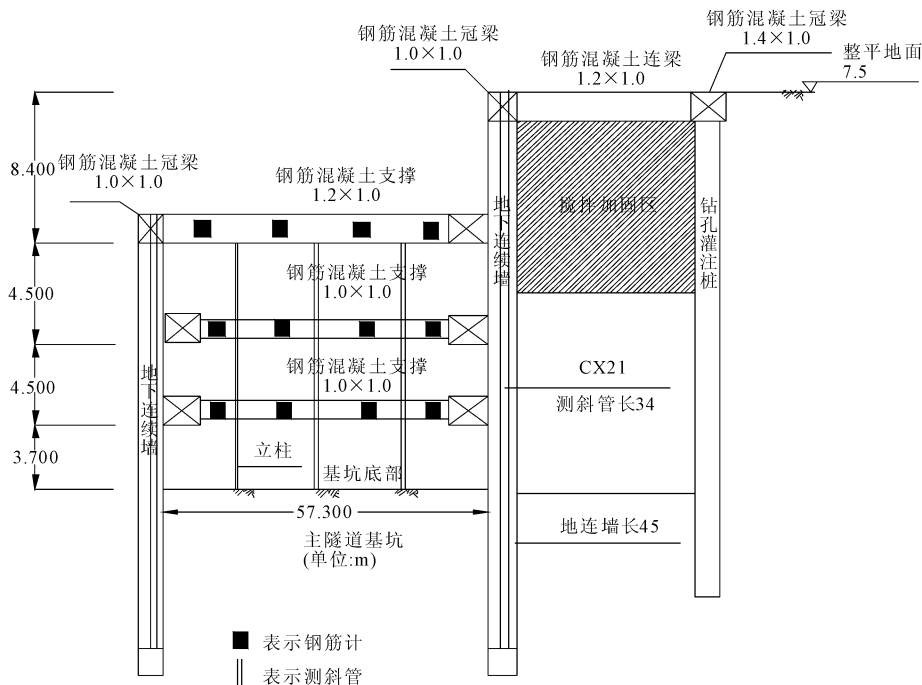


图 2 1-1 断面剖面图

3 监测方案

3.1 监测内容

本次监测是以工程基坑施工区域周围 2 倍基坑

开挖深度范围内周边建筑物、地下管线、周边土体、基坑围护结构本身作为本工程监测及保护的對象;以基坑围护施工和开挖施工为监测工作的重点阶段,应根据施工工况,适当加密监测频率。根据相关

规范^[1-2]及设计的要求,本文主要监测内容为:(1)围护墙(坡)变形监测;(2)混凝土支撑轴力监测。

3.2 监测仪器

(1)围护墙(坡)变形监测采用 CX-3C 型测斜仪以及配套 PVC 测斜管;

(2)混凝土支撑轴力采用主筋绑扎 GJJ 型钢筋计,采用 BP-31A 振弦式频率接收仪进行读数。

4 监测数据分析

4.1 地下连续墙体水平位移规律

基坑开挖过程中的围护结构水平位移对于保证基坑稳定性和安全性施工具有重大意义^[3-8]。本文选取 CX21 测点的监测数据进行分析,具体位置如图 2 所示。各主要施工阶段如表 1 所示。

4.1.1 CX21 测点监测数据

表 2 所示为各施工关键阶段过程中 CX21 测点的地下连续墙的水平位移。

表 2 各施工关键阶段过程中 CX21 测点的地下连续墙的水平位移

单位:mm

深度/m	日期(年-月-日)					
	2012-11-05	2012-12-20	2013-01-13	2013-01-27	2013-02-02	2013-03-02
0	4.00	9.00	4.00	-1.00	1.00	-4.00
8	3.92	8.58	7.76	9.30	10.34	5.86
13	2.32	7.48	9.68	11.66	12.58	6.554
17	1.56	6.66	12.22	17.02	17.08	11.28
21	0.06	4.48	8.94	15.70	15.64	9.96
34	0.18	-0.48	-0.68	4.68	2.64	-0.04

注:正值表示向基坑内位移,负值表示向基坑外位移。

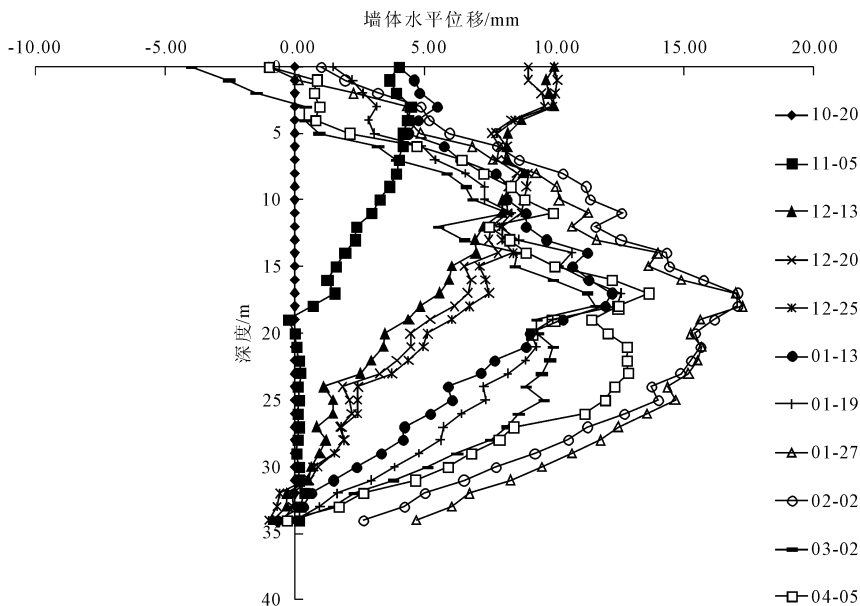


图 3 各主要施工阶段 CX21 墙体水平位移曲线

表 1 基坑主要施工阶段

施工阶段	施工时间(年-月)	施工内容
1	10-20	开始开挖
2	11-05	开挖至第一道支撑底部,开挖深度为 8.9 m
3	12-13	浇筑第一道混凝土支撑
4	12-20	开挖至第二道支撑底部,开挖深度为 12.9 m
5	12-25	浇筑第二道混凝土支撑
6	01-13	开挖至第三道支撑底部,开挖深度为 17.4 m
7	01-19	浇筑第三道混凝土支撑
8	01-27	开挖至基坑底部,开挖深度为 21.1 m
9	02-02	垫层浇筑完毕
10	03-02	底板浇筑完毕
11	04-05	第三道支撑拆除

4.1.2 CX21 墙体各施工阶段的水平位移变化规律
各施工阶段水平位移变化曲线如图 3 所示。

由图 3 分析得:

第一阶段:从开挖到挖至第一道支撑(8.4 m 处),开挖影响深度为开挖深度的 2.5 倍,同时墙体呈绕点向坑内转动。

第二阶段:在开挖到浇筑第一道支撑这段时间,由于间隔时间较长,墙体位移发生了进一步发展,墙体仍绕点向坑内转动,但是绕点位置随开挖深度增加向下移动。原因为这段时间未能及时支护,墙体还处于悬臂状态,墙体在墙后土压力作用下进一步发生位移。

第三阶段:在浇筑完第一道支撑以后继续开挖至第二道支撑处(12.9 m 处),墙体在 8 m 以上位移基本没有变化;而在 8 m 以下,墙体位移进一步发展,但是位移量很小。此时支撑上部土压力略小于下部土压力对转动点的力矩,墙体绕第一道支撑发生向坑内微小转动。

第四阶段:继续开挖至第三道支撑处(17.4 m 处)时,第二道支撑以上墙体发生向坑外位移,原因是该支撑以上墙体受到的土压力要小于支撑以下墙

体受到的土压力对支撑点的力矩,而上部有支撑加固,下部没有支撑,从而形成较大位移,故使得墙体绕第二道支撑附近发生向坑外转动。

第五阶段:继续开挖至基坑底部(21.1 m 处)时,墙体整体发生向坑内位移,原因是第三道支撑以下到坑底墙体高度为 3.7 m 远小于支撑以上墙体高度 17.4 m,第三道支撑以上墙体土压力大于以下墙体土压力,虽然有支撑加固,但是仍出现不同程度的向坑内位移。

第六阶段:垫层、底板浇筑完成后,墙体整体发生坑外位移。在底板的较大竖向力作用下,对于抑制基坑隆起起到了重要作用,同时也增加了侧向土压力使得墙体发生较大的坑外位移。

第七阶段:拆除完成第三道支撑,虽然墙体均有向坑内位移,但是在基坑底部及以下一定范围内位移较大,而以上位移要小的多。

4.1.3 CX21 墙体各关键位置位移随施工过程的变化规律

墙体各关键部分位移变化曲线如图 4 所示。

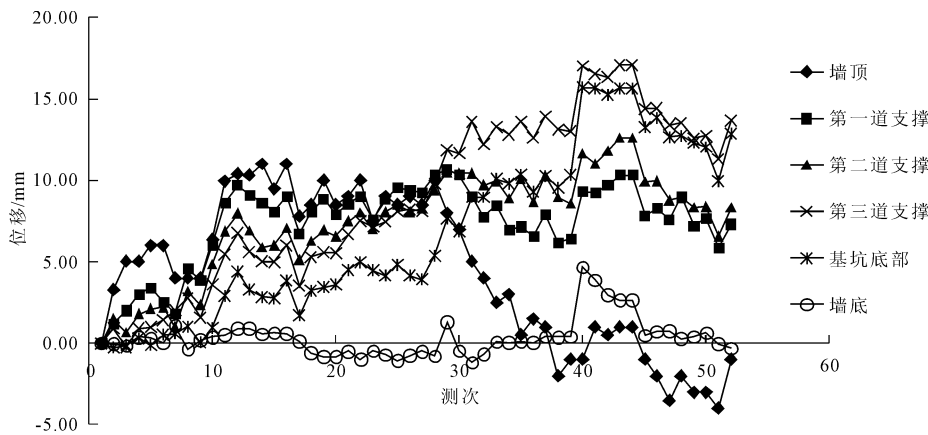


图 4 CX21 墙体关键部位水平位移监测曲线

从图 4 可以看出:墙顶位移随着开挖进度先向坑内逐渐增加,随后墙体绕支撑发生转动而出现坑外位移的趋势;第二、三道支撑处的位移发展基本同步,发展最快,而第一道支撑处在开始发生较大位移后,位移基本变化不是很大;基坑底部位移呈现逐渐增大的趋势。当底板浇筑完成后整体位移均逐渐减少。当拆除第三道支撑后,均出现增大的趋势。最大位移不是发生在墙顶而发生在基坑开挖深度的 6/7 处,最大为 17.2 mm。

4.2 支撑轴力变化规律

本文选取 1-1 断面的支撑轴力进行分析,轴力变化曲线如图 5 所示。

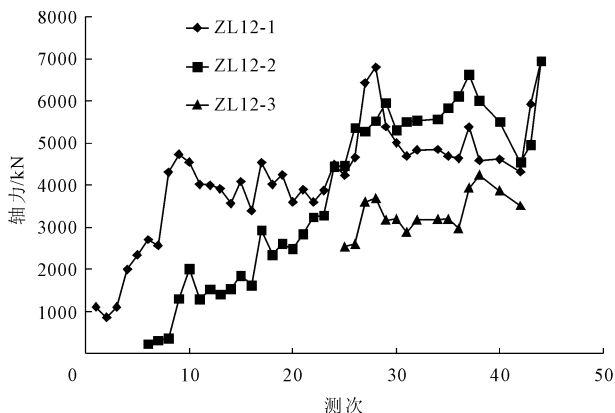


图 5 1-1 横断面轴力监测曲线

从图 5 可以发现:随着开挖的进行,第一、二道

支撑轴力随开挖深度增加而逐渐增加;当挖至坑底时,两者基本相当,随后第二道支撑轴力大于第一道支撑轴力,呈交替形式;在第40测次后三道支撑轴力均出现减少的趋势,此时已经部分底板浇筑完成,竖向应力增加,墙体向坑外发生位移,从而造成轴向压力的减少;拆除支撑后,第一、二道支撑轴力增加较大,此时位移增加而使支撑受压而轴力增加。

5 结 论

(1) 随着基坑开挖深度和多道支撑的架设位置的不同,墙体位移的模式也不尽相同。墙体在未支撑时,整体向坑内绕点转动;当支撑逐渐施加后,墙体先向坑外转动,当开挖达到一定深度时,又发生墙体整体向坑内平移。同时绕点位置也随开挖深度增加向下移动。

(2) 墙体不同位置水平位移随基坑开挖而呈现不同的模式,可以横向上把握墙体的变形情况,为施工安全提供全方位的保证,同时墙体最大水平位移发生在基坑开挖深度的6/7深度处。

(3) 支撑轴力随着开挖进行而不断增加,底板完成后出现减少,而拆除下部支撑后,上部支撑轴力增加较大,故需要加强监测^[9-10]。

(4) 监测过程中,各项数据均在报警值内,故支护方案是有效的。

参考文献:

- [1] 龚晓南,高有潮.深基坑工程设计施工手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1998:732-775.
- [2] 赵志缙,应惠清.简明深基坑工程设计施工手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1999:622-644.
- [3] 张明聚,由海亮,杜修力.北京地铁某车站明挖基坑施工监测分析[J].北京工业大学学报,2006,32(10):874-878.
- [4] 于建忠,范鹏,焦苍.基坑开挖引起的围护结构变形监测分析[J].山西建筑,2005,31(23):90-92.
- [5] 毛巨省,唐筱慧,高涛,等.地铁车站基坑围护结构内力与变形规律分析[J].西安科技大学学报,2007,27(2):205-209.
- [6] 高华东,霍达,陶连金.北京光彩大厦深基坑开挖现场监测与理论分析[J].地下空间与工程学报,2005,1(3):423-427.
- [7] 任建喜,高立新,刘杰,等.深基坑变形规律现场监测[J].西安科技大学学报,2008,28(3):445-449.
- [8] 安关峰,宋二祥,高俊岳.广州地铁小谷围岛站基坑支护设计与监测分析[J].岩土力学,2006,27(2):317-322.
- [9] 赵庆强,张建龙,王辉,等.深圳地铁2号线侨香站基坑监测分析[J].水利与建筑工程学报,2011,9(5):131-134.
- [10] 李庆伟,陈龙华,程金明.北京某深基坑监测实例分析[J].施工技术,2008,37(9):30-32.

(上接第138页)

(2) 桩土置换率越大,即单位面积内桩置换土的面积越大,复合地基固结速率越快,当桩身强度较大时,增大面积置换率并不能明显加速地基固结。

(3) 与传统砂井地基固结不同的是,刚性桩复合地基固结主要以竖向固结为主。

参考文献:

- [1] Xie K H. A general theoretical solution for the consolidation of a composition foundation[J]. Computers and Geotechnics, 2009,36(1-2):24-30.
- [2] Xie K H, Lu M M, Liu G B. Equal strain consolidation for stone-column reinforced foundation[J]. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 2009,33(15):1721-1735.
- [3] Castro J, Sagaseta C. Consolidation around stone columns influence of column deformations[J]. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 2009,33(7):851-877.
- [4] 卢萌盟.复杂条件下复合地基固结解析理论研究[D].杭州:浙江大学,2009.
- [5] 卢萌盟,谢康和,周国庆,等.不排水桩复合地基固结解析解[J].岩土工程学报,2011,33(4):574-579.
- [6] Carrillo N. Simple two and three dimensional cases in the theory of consolidation of soils[J]. Journal of Mathematics and Physics, 1942,21(1):1-5.
- [7] Zhu G F, Yin J H. Accuracy of Carrillo's formula for consolidation of soil with vertical and horizontal drainage under time-dependent loading[J]. Communications in Numerical Methods in Engineering, 2004,20(9):721-735.
- [8] 雷国辉,许波,张旭东.堆载预压径竖向固结等体积应变解答[J].岩土工程学报,2013,35(1):76-84.
- [9] Leo C J. Equal strain consolidation by vertical drains[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 2004,130(3):316-327.
- [10] 雷国辉,蒋春霞,施建勇.任意附加应力下竖井径竖向耦合固结等应变解[J].岩土力学,2006,27(2):173-178.