

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2015.06.005

基坑桩锚支护变形监测与数值模拟研究

王安明, 张淋柄

(华北水利水电大学, 河南 郑州 450045)

摘要:以郑州某主要采用桩锚支护形式基坑为研究对象,对基坑的坡顶水平位移、坡顶竖向位移、支护桩深层水平位移、周边建筑物的沉降进行监测,通过对监测项目的变形展开分析,探索了其发展趋势及稳定性。同时运用有限差分软件FLAC^{3D}对基坑开挖进行数值模拟,并将模拟结果与现场实测结果进行对比,结果表明模拟值和实测值在数值和变化规律上基本保持一致,支护桩的位移沿深度方向大致呈“弓”字形变化,为该支护形式下的基坑设计与施工提供一定参考。

关键词: 基坑; 支护结构; 监测; 数值模拟

中图分类号: TU433

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2015)06-0025-05

Study on Deformation Monitoring and Numerical Simulation of Supporting Piles and Anchors in Foundation Pits

WANG Anming, ZHANG Linbing

(North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou, He'nan 450045, China)

Abstract: In the construction of a foundation pit in Zhengzhou, the piles and anchors were adopted as the supporting structure of the pit. The foundation pit monitoring was targeted at issues including horizontal and vertical displacement of slope top, deep displacement of the supporting piles, and the settlement of the surrounding constructions. Through analyzing the monitored deformation data, the development trend and stability of the deformation were explored. Meanwhile, the finite differential software FLAC^{3D} was also applied here to simulate the excavation. According to the comparison of the simulation results and the field measured results, it is found that the simulated and measured values are basically consistent, and the displacements of the supporting piles present a roughbow-shaped curve in the depth direction. This study can provide some reference for the design and construction of the foundation pits with this type of supporting structures.

Keywords: foundation pit; supporting structure; monitoring; numerical simulation

随着城市规模的不断发展,基坑的开挖深度愈来愈大,复杂性也显得尤为突出。因此,基坑的监测工作越来越受到重视。对于深基坑工程开挖过程的稳定性及围护结构的变形规律,许多学者进行了分析研究^[1-6]。本文以某深基坑为例,对基坑各项监测结果进行了分析,同时结合FLAC^{3D}有限差分软件进行了数值模拟,最后将实测结果和模拟值进行了对比分析,为类似基坑工程的设计与施工提供了参考。

1 工程概况及地质情况

1.1 工程概况

拟建工程基坑深度主楼为正负零以下12.2 m,

周边裙楼部分为正负零以下10.9 m。场地北侧为快速公路,距离红线5 m;东侧为某家属楼及其他附属建筑,距离红线2 m,东侧南段存在两栋6层住宅,基础埋深约1.5 m,距离红线约3.6 m;南侧为小区附属建筑及7层砖混住宅,基础埋深约1.8 m,附属建筑占压红线约4 m;西侧为小区道路,距红线约3 m。场地环境条件较复杂。

1.2 地质情况

拟建场地宏观地貌单元属黄河冲积平原,最大高差约2.0 m。根据地质资料显示,对基坑支护降水有影响的土层主要为上部5层土层,主要特征如下:第1层:杂填土,平均厚度2.18 m,局部夹粉质黏

土,厚度 1.15 m 左右;第 2 层:粉土,厚度 1.8 m;第 3 层:粉土,厚度 3.66 m;第 4 层:粉质黏土,厚度 2.26 m,局部夹厚度 1.2 m 左右粉土;第 5 层:粉砂,厚度 2.65 m,局部夹粉土,厚度 1.35 m 左右。地下水属潜水,实测稳定水位 26 m。根据地区资料,场地年水位变幅 1.0 m~1.5 m,地下水不存在对基坑施工的影响。

2 监测内容及基坑支护设计方案

2.1 监测内容及手段

本基坑监测以仪器监测为主,现场目测为辅的监测原则^[7-9],对以下项目进行监测:(1)采用高精度全站仪进行变形监测用于基坑顶部的水平位移和竖向位移;(2)采用高精度电子水准仪 DS05 进行周

边建筑物沉降观测;(3)采用高精度测斜仪(XB338-2型)进行围护体的深层水平位移监测;(4)开展裂缝的调查和巡视工作。

2.2 基坑支护设计

根据有关规范标准^[10],结合本工程的规模周边环境,遵照“安全、合理、经济、可行”的原则^[11],采取的支护结构形式有:(1)北侧临快速路及东侧两 6 层建筑之间,采用复合土钉墙;(2)东侧北段临某家属楼,采用放坡土钉墙;(3)东侧临 6 层建筑,采用锚拉复合结构;(4)东南角及西侧,采用放坡土钉墙;(5)南侧临小区住宅,采用锚拉复合结构;(6)临拟建幼儿园空地,采用放坡素喷。基坑南侧支护设计如图 1 所示。

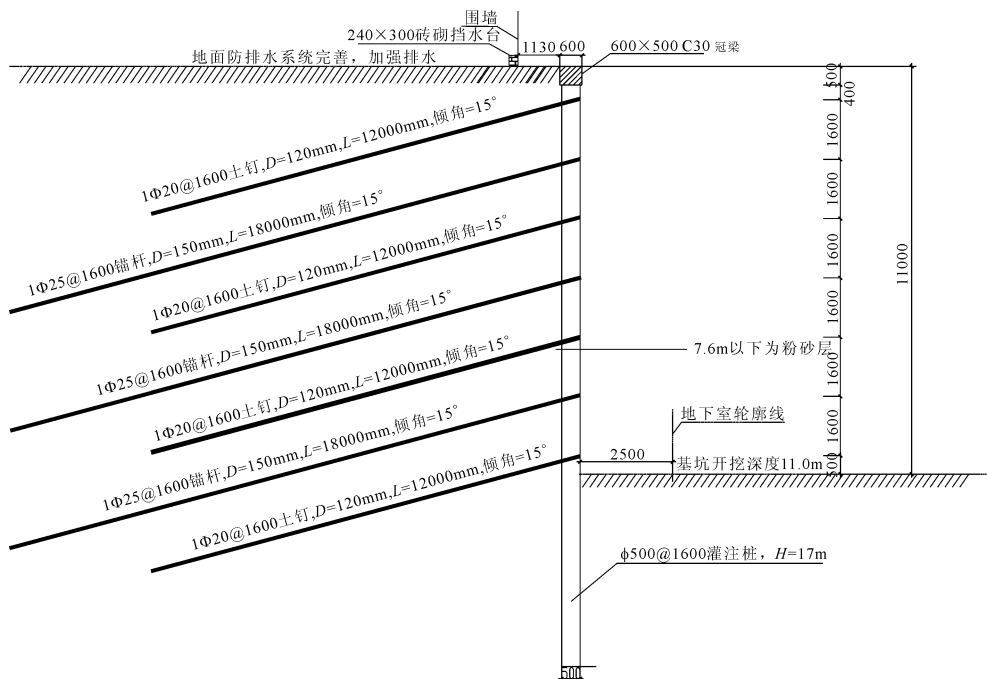


图 1 基坑南侧支护设计图

3 监测点位布设

基坑监测点布置如图 2 所示。

(1) 基坑坡顶水平位移和竖向位移观测

在基坑北面布设 2 个测点,东边布设 7 个测点,南面布设 2 个测点,西面布设 5 个测点,总计 16 个监测点。

(2) 坡体深层水平位移

在基坑南面紧靠居民小区住宅断面选择 2 个点布置测斜管,同时在东面靠近两栋 6F 楼处各布置 1 个测斜管,共 4 个测斜管。

(3) 建筑物沉降

在靠近基坑东面南侧两栋 6F 建筑物上面各布置 4 个沉降观测点,在家属楼布置 2 个沉降观测点,在基坑南面的居民小区住宅布置 6 个沉降观测点,共 16 个监测点。

4 监测结果分析

4.1 支护桩深层水平位移监测

桩体的深层水平位移曲线图能够完整地反映围护桩体沿深度方向的位移情况,同样也是判断基坑安全与否的重要指标^[12]。

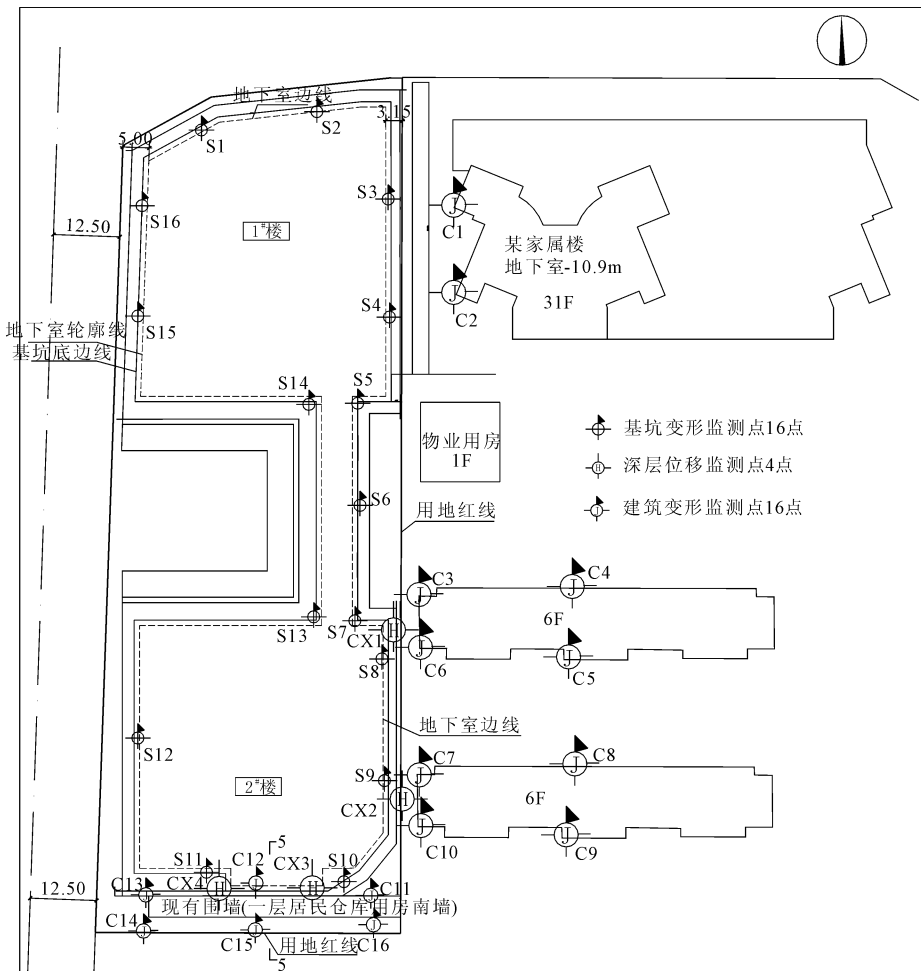


图 2 基坑监测平面布置图

深层水平累计位移最大值为 6.6 mm, 发生在 3# 测斜孔, 如图 3 所示。在开挖初期变化较小, 但在 2013 年 12 月 21 到 12 月 27 中间, 墙体水平位移由 2.1 mm 突增为 5.45 mm, 位置出现在 8 m 处, 此时基坑接近开挖至底部, 而当施工单位在开挖至基坑底部立即施加一排预应力锚索后, 测孔的变形速率大大减缓, 此后两个月累计变形增量仅为 1.15 mm。因此, 基坑开挖应考虑时空效应施工的主要特点: 要合理可靠的选择施工工序^[13]。

4.2 周边建筑物沉降监测数据分析

从图 4 监测成果来看, 最大值位于 C6 处 1.31 mm。由于东侧紧邻 6 层建筑的基坑采用锚拉复合结构进行支护, 同时 6 层建筑距离基坑较近, 在锚杆支护时会发生不均匀沉降, 经过支护后变形趋于稳定。

4.3 坡顶水平位移和竖向位移分析

基坑坡顶水平位移和竖向位移变化较大的测点均是 S3、S4, 分布于基坑东侧北段临某家属楼, 见图 5 和图 6。

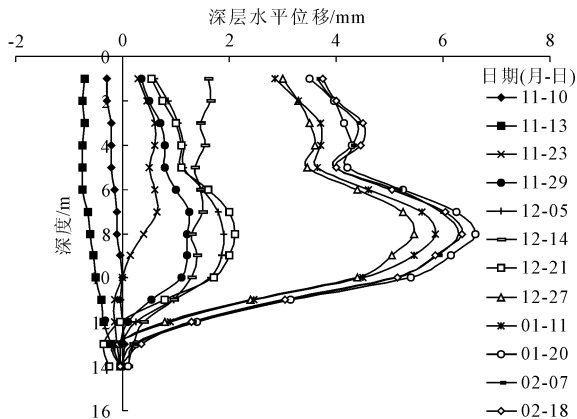


图 3 3# 测斜管深层水平位移—时间曲线

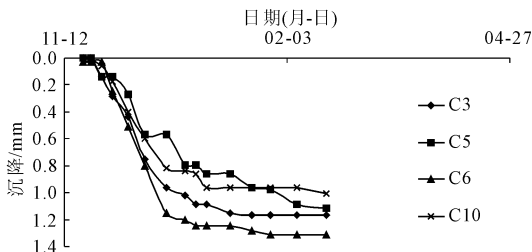


图 4 建筑物沉降监测成果图(东侧紧邻 6 层建筑物)

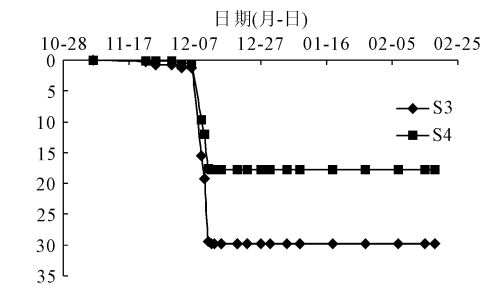


图 5 坡顶测点水平位移历时曲线图

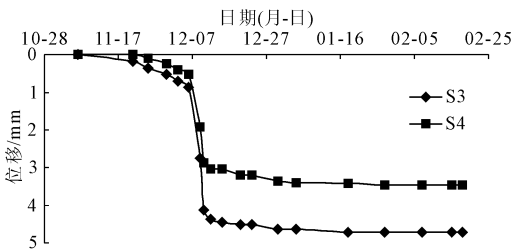


图 6 坡顶测点竖向位移历时曲线图

S3 测点水平累计变形为 29.78 mm。11 月下旬变化速率不足 0.1 mm/d, 12 月 6 号到 12 号达到 4.5 mm/d, 之后趋于稳定。S4 测点水平累计位移为 17.79 mm, 12 月 6 号到 12 号达到 2.9 mm/d, 之后趋于稳定。

S3 测点竖向累计位移相比 S4 测点变化较大, 为 4.71 mm。11 月下旬变化速率不足 0.1 mm/d, 但在 12 月 9 号到 12 月 10 号发生突增, 变化速率为 1.37 mm/d, 之后趋于平稳。

从图 5 和图 6 可以明显看出, 水平和竖向位移都随着时间的增长而增长。众多资料也表明, 支护结构的较大变形一般情况下都发生在地下室底板浇筑之前, 在底板浇筑完成后的一段时间内土体的变形趋于稳定^[9]。

5 基坑开挖数值模拟

5.1 模型建立

采用有限差分软件 FLAC^{3D}^[14]进行数值模拟, 选取 3# 测斜管周围局部土体建立模型。本构模型采用摩尔-库伦强度准则, 土体采用 8 节点六面体 brick 单元模拟, 基坑采用灌注桩加锚杆支护, 灌注桩采用 pile 单元, 土钉和锚杆采用 cable 单元, 土层开挖用 null 单元。基坑建模如图 7 所示。

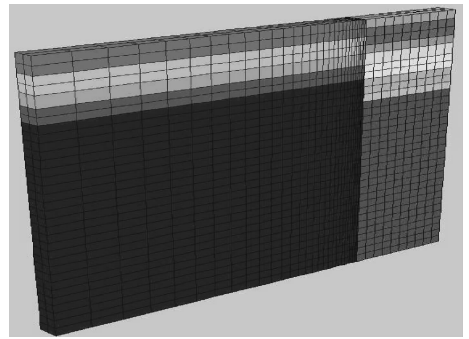


图 7 基坑模型图

5.2 力学参数选取

计算模型中所需要的参数如表 1 所示。

表 1 土层的物理力学参数

特性参数	土层厚度 /m	天然重度 /($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	体积模量 K /MPa	剪切模量 G /MPa	黏聚力 c /MPa	内摩擦角 /($^{\circ}$)
杂填土	2.18	18.0	11.64	4.15	5	20
粉土	2.12	19.1	68.60	20.80	17	24
粉土	1.47	19.4	71.30	22.50	18	26
粉质黏土	1.83	19.4	79.50	30.60	28	17
粉砂	8.50	20.0	233.10	101.50	0	30

5.3 基坑数值模拟过程

本次开挖共七步, 通过 FLAC 命令 model null 来实现。

(1) 第 1 步, 从地表到地下 1.4 m, 同时施加第一道土钉;

(2) 第 2 步, 从地下 1.4 m 到地下 3.0 m, 同时施加第一道锚杆;

(3) 第 3 步, 从地下 3.0 m 到地下 4.6 m, 同时施加第二道土钉;

(4) 第 4 步, 从地下 4.6 m 到地下 6.2 m, 同时

施加第二道锚杆;

(5) 第 5 步, 从地下 6.2 m 到地下 7.8 m, 同时施加第三道土钉;

(6) 第 6 步, 从地下 7.8 m 到地下 9.4 m, 同时施加第三道锚杆;

(7) 第 7 步, 从地下 9.4 m 到地下 11.0 m, 同时施加第四道土钉。

基坑开挖完成后, 水平向位移云图如图 8 所示。从图 8 可以看出, 在基坑开挖初期, 水平向位移变化很小, 随着开挖深度的增加位移不断增大, 当开挖至

坑底处,位移在 8 m 处达到峰值。整体来看,基坑水平向变形比较稳定,在可控范围内。

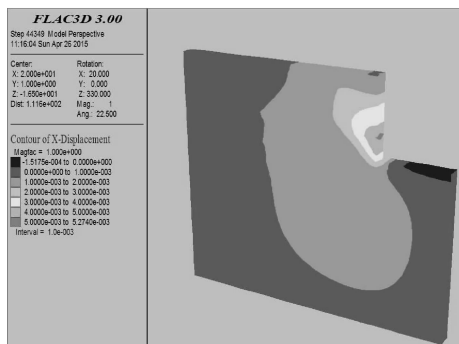


图 8 基坑开挖完成后水平向位移云图

5.4 数值模拟与监测结果对比分析

桩体水平位移是一项非常重要的监测项目,直接反映了围护桩的变形和位移情况,对确保基坑安全有着至关重要的作用^[15]。选取 3[#] 测斜管附近的桩体,数值模拟结果如图 9 所示。从图 9 可以看出,桩体水平位移的实测值和模拟值在数值上虽有差

异,但整体变化规律基本一致。这里能够影响基坑开挖计算结果的因素有很多,比如选取不同的土体参数、模拟开挖过程时的网格划分、假定的边界条件的不同、设置不同的围护结构刚度等^[16]。

在基坑开挖初期,模拟曲线大致呈线性分布,顶部位移相对偏大,底部位移几乎为零,而实测位移曲线则表现为中部偏大,不过最大仅为 2.2 mm;在开挖中期,模拟曲线和实测位移曲线都表现出了向基坑内部弯曲的特征,最大位移点均在基坑中部,而底部基本为零;在开挖完成后,模拟曲线和实测位移曲线表现出中间大两头小的特征,最大位移发生在基坑 8 m 左右。从图 9 中可以看出有限元模拟结果比实际监测结果较小,主要是施工因素的不确定性造成的^[17]。

总体来说,模拟值变化规律和实测值基本一致,大致呈弓字形变化。能够反映出实际情况中土体的柔性变形特性、支护桩刚性变形特性以及基坑的坑角效应等基本特征^[18]。

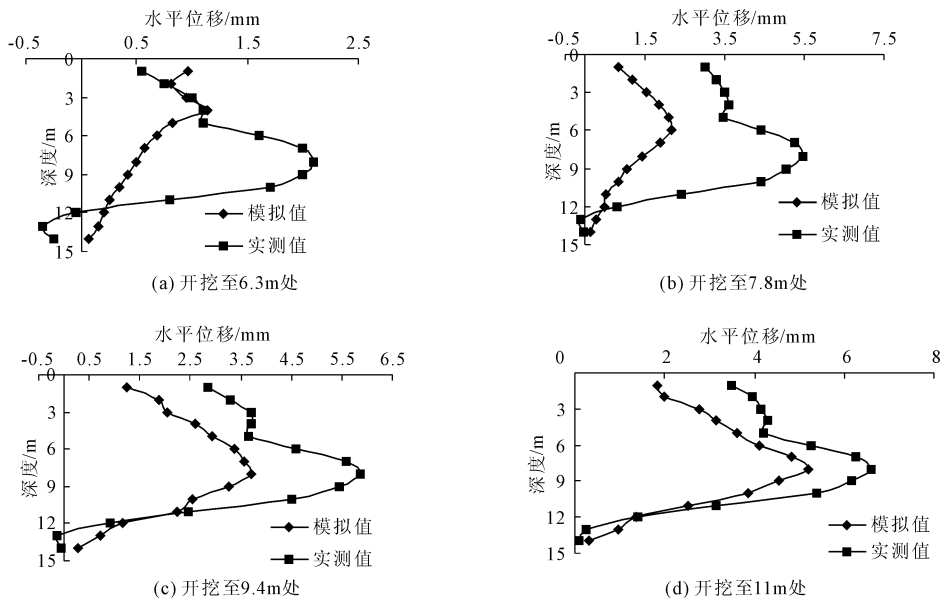


图 9 3[#] 测孔周围桩体不同开挖深度下模拟值与实测值对比曲线图

6 结 语

本工程对基坑开挖过程及完成后支护结构的坡顶水平位移、坡顶竖向位移、支护桩深层水平位移、周边建筑物的沉降进行了监测分析。同时,利用有限差分软件 FLAC^{3D}对基坑开挖进行数值模拟,并将模拟结果与现场实测结果进行对比,分析了两者的差异以及产生差异的原因,结果表明模拟值和实测值在数值和变化规律上基本保持一致,支护桩的位

移沿深度方向大致呈“弓”字形变化。

参考文献:

- [1] 李四维,高华东,杨铁灯.深基坑开挖现场监测与数值模拟分析[J].岩土工程学报,2011,33(S1):284-291.
- [2] 张明聚,何欢,李春辉.明挖地铁车站围护结构受力变形监测与数值模拟分析[J].北京工业大学学报,2013(6):875-880.
- [3] 冯勇慧,王跃君,董建华.基于的地铁车站深基坑开挖变形三维数值分析[J].中国建材科技,2013(4):92-96.