

软土基坑开挖对邻近大底盘多塔楼变形影响分析

张治国¹, 邢李¹, 孙海忠²

(1. 上海理工大学 环境与建筑学院, 上海 200093; 2. 上海市建工设计研究院有限公司, 上海 200234)

摘要: 为了分析基坑开挖对邻近大底盘多塔楼变形影响, 采用三维有限元软件 Midas/GTS 建立了分析模型。研究表明: 基坑开挖会使桩基产生侧移和沉降, 且随着基坑开挖深度的增加, 桩基的侧移和沉降不断增大, 距离基坑越近, 桩基侧移和沉降越大; 整个开挖过程中筏板和上部结构的变形呈对称分布, 随着开挖深度的增加, 筏板变形呈中间大边缘小的“半碟型”分布, 塔楼向中间位置发生倾斜, 基坑中心附近大底盘发生明显的下凹变形, 基坑开挖边缘附近大底盘发生轻微的隆起变形。

关键词: 基坑开挖; 多塔楼; 变形影响; 数值模拟

中图分类号: TU 430 **文献标志码:** A

Influence of Deformation on a Multi-tower with Large Chassis Induced by Adjacent Foundation Pit Excavation

ZHANG Zhiguo¹, XING Li¹, SUN Haizhong²

(1. School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. Shanghai Construction Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200234, China)

Abstract: In order to analyze the deformation influence of a multi-tower with large chassis induced by adjacent foundation pit excavation, a three-dimensional finite element model was established by using the Midas/GTS. The results show that the excavation will cause the lateral displacement and settlement of the pile foundation, which, with the increase of excavation depth, will increase continuously. In addition, the nearer the foundation pit, the greater the lateral displacement and settlement of the pile foundation. The deformations of the raft and the superstructure are symmetrical during the whole process of excavation. With the increase of excavation depth, the deformation at the raft middle is larger than that near the edge of the raft, and shows a "half dish" shape. There is obvious concave deformation of the large chassis near the center of the foundation pit, while the large chassis near the edge of the foundation pit has slight uplift deformation.

Keywords: foundation pit excavation; multi-tower; deformation effect; numerical simulation

收稿日期: 2017-11-03

基金项目: 上海市自然科学基金资助项目(15ZR1429400); 建筑安全与环境国家重点实验室课题(BSBE2015-01)

第一作者: 张治国(1978-), 男, 副教授。研究方向: 隧道工程、地下工程施工对周边环境影响控制。E-mail: zgzhang@usst.edu.cn

随着国民经济的飞速发展和城市化进程的不断加深, 城市用地愈发紧张, 于是, 人们越来越重视城市地下空间的开发与利用。因此, 在城市中心必然会产生一些相对较为复杂的基坑工程。邻近建筑物的基坑开挖卸荷必将会对建筑物的基础产生不利的影响, 从而导致建筑物基础产生附加应力和变形, 严重威胁到建筑物的正常使用。

目前, 众多国内外专家学者^[1-12]已针对基坑开挖对邻近既有建筑物桩基影响这一课题进行了研究。宋伟^[1]以信和 2B 期项目为工程背景,对环形内支撑深基坑开挖引起的变形及对既有建筑物影响进行了研究, 结果表明: 在基坑的开挖过程中, 建筑物的位置越靠近基坑, 基础沉降越大, 表现为不均匀沉降, 其水平侧移也越大, 水平侧移朝着基坑内部方向发展。丁前进等^[3]以北京地铁 9 号线东钓鱼台站 4 号出入口基坑为例, 采用数值模拟软件 ANSYS 模拟了基坑开挖及支护的整个过程, 分析了基坑开挖过程中既有建筑物基础的沉降变形规律。刘睿^[4]以北京地铁 14 号线望京站为背景, 利用有限元软件 Midas/GTS 建立三维模型, 对基坑开挖过程中建筑物的沉降和侧移进行模拟。基坑开挖会引起邻近建筑物的差异沉降和侧移, 建筑物近端沉降大、远端沉降小。距离基坑越近, 建筑物水平侧移越大。唐素阁^[8]应用有限元软件 ABAQUS 建立三维模型, 模拟了基坑开挖全过程中的多桩基础, 通过对比基坑开挖前后桩基的受力和变形性能, 分析了基坑开挖对前排桩和后排桩的影响。陈滋雄^[11]以重庆市长寿区新市镇某小区地下车库基坑开挖工程为背景, 利用有限差分法软件 FLAC3D 作为数值模拟的工具, 模拟和分析了基坑工程开挖对邻近建筑物的变形影响, 结果表明: 靠近基坑的桩位移比远离基坑的

桩基位移要大, 因为, 随着距离的增大, 基坑开挖的影响就越小。

近年来, 大底盘多塔楼结构在全国各城市住宅建设中大量涌现, 但是, 针对施工环境下大底盘多塔楼受力变形进行相关理论研究还不多见, 为此本文采用三维有限元软件 Midas/GTS 建立了基坑和大底盘多塔楼协同作用的有限元模型, 分析基坑开挖对邻近既有大底盘多塔楼的变形影响。

1 工程概况

1.1 模型介绍

图 1 为大底盘多塔楼有限元模型。大底盘多塔楼为地上 12 层框架结构, 其中, 塔楼 10 层, 采用 3 跨×3 跨布置, 柱距 5 m, 层高 3.5 m。底盘 2 层, 采用 17 跨×6 跨, 柱距 5 m, 层高 4 m。大底盘采用桩筏基础, 筏板厚 1 m, 悬挑 2 m。桩采用等长均匀布置, 桩径 1 m, 桩长 14 m, 间距 5 m (模型未考虑填充墙的影响)。各建筑构建具体参数如表 1 所示。

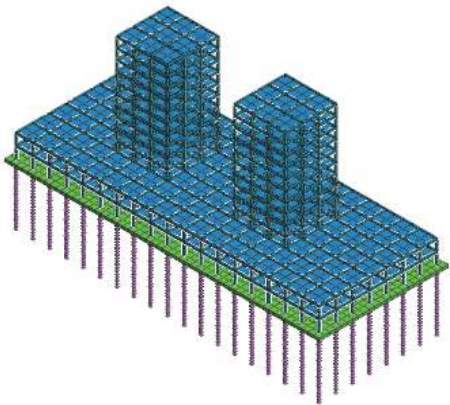


图 1 大底盘多塔楼有限元模型

Fig.1 Finite element model of the multi-tower with large chassis

表 1 建筑结构参数

Tab.1 Building structural parameters

构件名称	单元类型	模型类型	尺寸	弹性模量/GPa	泊松比	混凝土等级
梁	1 维单元(1D)	弹性	矩形: 0.4 m×0.5 m	29	0.2	C30
柱	1 维单元(1D)	弹性	矩形: 0.4 m×0.4 m	29	0.2	C30
桩	1 维单元(1D)	弹性	直径: 1 m, 长: 4 m	32	0.2	C40
板	2 维单元(2D)	弹性	厚: 0.14 m	29	0.2	C30
筏板	3 维单元(3D)	弹性	厚: 1 m	32	0.2	C40

图 2(见下页)为大底盘多塔楼与基坑有限元模型。基坑开挖范围均为 50 m×50 m×14 m, 多塔楼底盘与基坑开挖面的水平距离为 14 m。基坑围护结构采用地下连续墙和两道环形混凝土支撑。地

下连续墙深 24 m, 墙厚 1 m, 立柱长 22 m, 环形支撑共设置 2 道, 分别位于地下 2 m 与地下 7 m 处。Z1, Z2, Z3, Z4, Z5 和 Z6 为桩的数据采集点。各围护结构参数如表 2 所示(见下页)。

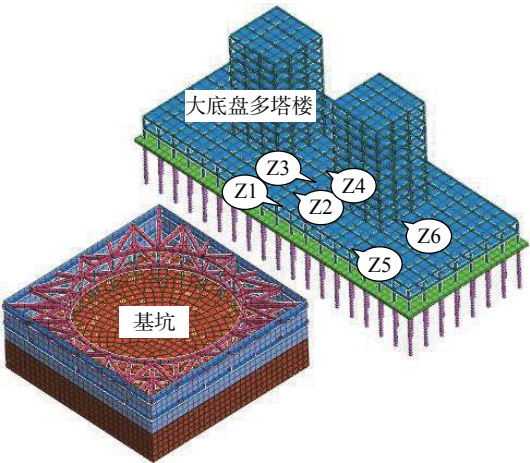


图2 大底盘多塔楼与基坑有限元模型

Fig.2 Finite element models of the foundation pit and multi-tower with large chassis

表2 围护结构尺寸及材料信息

Tab.2 Enclosure structure size and material information

构件名称	单元类型	模型类型	容重/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模量/GPa	截面参数
地下连续墙	板	弹性	25	20	厚度: 1.0 m
基坑底板	板	弹性	25	20	厚度: 0.4 m
支撑	梁	弹性	24	24	矩形: 0.7 m×1.0 m
圈梁	梁	弹性	24	24	矩形: 1.0 m×1.0 m
立柱	梁	弹性	24	24	直径: 0.5 m

图3 为土体-基坑-多塔楼共同作用有限元模型。为了充分考虑工程的影响范围，模型尺寸取

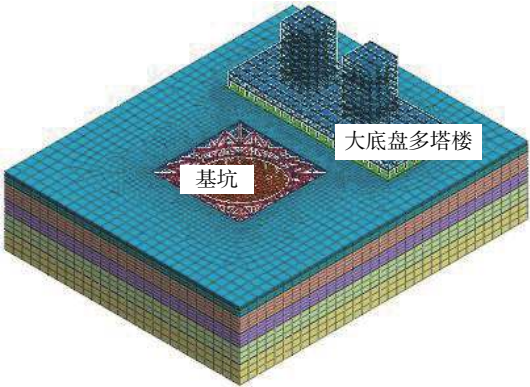


图3 土体-基坑-多塔楼共同作用有限元模型

Fig.3 Finite element model of the soil-foundation pit-multi-tower with large chassis

1.2 工程地质条件

土体本构模型采用 Mohr-Coulomb 模型，根据工程勘测报告以及工程经验可确定本模型现场土层共分为 6 层，分别为填土、粉质粘土①、淤泥质土、粘土、粉质黏土②、砂土。根据勘察报告以及工程经验确定如下土体参数：土体容重、弹性模量、泊松比、粘聚力、内摩擦角。具体土体参数如表 3 所示。

表3 土层分布及物理力学参数

Tab.3 Physic-mechanical parameters of soils and soil layer distribution

层号	土层	层厚/m	容重/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模量/MPa	泊松比	粘聚力/kPa	内摩擦角/($^{\circ}$)
1	填土	2	16.0	22.4	0.33	0	22.0
2	粉质粘土	4	17.4	32.0	0.32	25	16.0
3	淤泥质土	10	15.9	16.9	0.33	11	12.4
4	粘土	7	16.7	39.2	0.25	14	14.4
5	粉质粘土	10	19.4	47.4	0.29	15	22.4
6	砂土	12	17.7	95.4	0.24	1	33.0

1.3 工况设置

为了研究基坑开挖对大底盘多塔楼桩筏基础的影响，基坑开挖工况设置如下：

- 工况 1：激活土体，平衡地应力，位移清零；
- 工况 2：激活上部建筑，位移清零；
- 工况 3：施工地下连续墙和立柱；
- 工况 4：基坑土方开挖至地下 2 m；
- 工况 4：安装基坑第一道支撑与圈梁；
- 工况 5：基坑土方开挖至地下 7 m；
- 工况 6：安装基坑第二道支撑与圈梁；

- 工况 7：开挖基坑至地下 14 m；
- 工况 9：施工基坑底板。

2 数值模拟结果分析

由于本文计算模型桩体较多，为了便于分析，提取了 6 根桩的数据进行研究，分别为 Z1，Z2，Z3，Z4，Z5 和 Z6。其中，Z1，Z2，Z3，Z4 位于基坑中心对应位置，Z5 位于基坑边缘对应位置，Z6 位于塔楼下方。如图 2 所示。

2.1 桩的水平侧移

每根桩在不同工况下的侧移情况如图4所示。图4中开挖2 m为第一层土开挖结束后桩的

水平侧移; 开挖7 m为第二层土开挖结束后桩的水平侧移; 开挖14 m为第三层土开挖结束后桩的水平侧移。

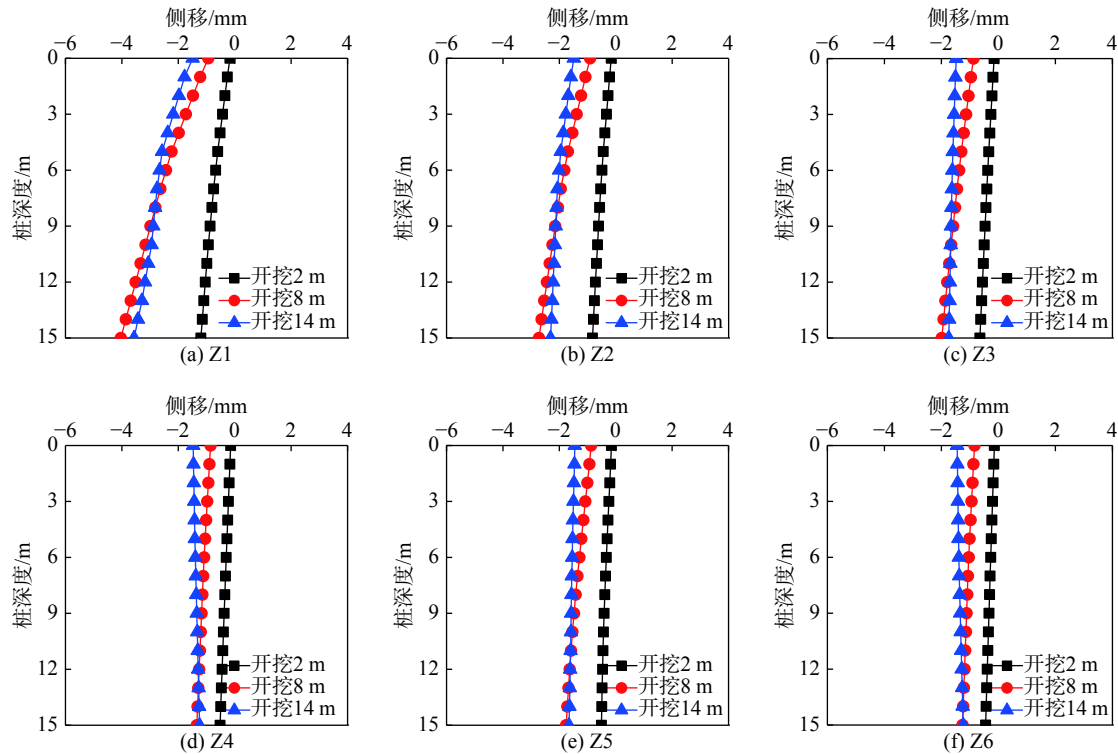


图4 桩的侧移
Fig.4 Lateral displacement of the pile

图4为基坑开挖过程中桩的侧移随深度的变化曲线。从图中可以看到：随着基坑开挖深度的增加，桩的侧移不断增大，且除了Z4和Z6，桩的最大位移均出现在桩底；桩身在整个深度范围内侧移的变化较小。

图4为基坑开挖过程中Z1、Z2、Z3、Z4、Z5和Z6桩的侧移随深度的变化曲线。图4(a)中桩的最大水平位移为4.04 mm；图4(b)中桩的最大水平位移为2.62 mm；图4(c)中桩的最大水平位移为1.99 mm；图4(d)中桩的最大水平位移为1.46 mm；图4(e)中桩的最大水平位移为1.65 mm；图4(f)中桩的最大水平位移为1.44 mm。通过6幅曲线图的对比分析可知，基坑开挖过程中距离基坑开挖中心最近的桩变形最大，且最大变形位置在桩底，距离基坑较远的桩最大变形位置发生在桩顶。

2.2 桩的竖向沉降

每根桩在不同工况下的沉降情况如图5所示（见下页）。图5中一撑表示第一道支撑安装完

成后桩的沉降；二撑表示第二道支撑安装完成后桩的沉降；底板表示基坑底板施工完成后桩的沉降。

图5为基坑过程中桩沉降随深度的变化曲线。从图中可以看到，随着基坑开挖深度的增加，桩的沉降不断增大，这是由于基坑开挖、土体卸荷导致桩周土体密实度减小，土体的力学特性发生变化，进而导致桩沉降。在整个深度范围内桩体沉降差异较小。

图5为基坑开挖过程中Z1、Z2、Z3、Z4、Z5和Z6桩沉降随深度的变化曲线。基坑开挖完成后，图5(a)中桩的最大沉降为2.47 mm；图5(b)中桩的最大沉降为1.67 mm；图5(c)中桩的最大沉降为1.25 mm；图5(d)中桩的最大沉降为0.75 mm；图5(e)中桩上浮0.40 mm；图5(f)中桩的最大沉降为0.49 mm。通过6幅曲线图的对比分析可知，基坑开挖过程中距离基坑开挖中心越近，桩沉降越大。由图5(e)可知，基坑开挖过程中，基坑开挖边缘附近的桩体会产生上浮。

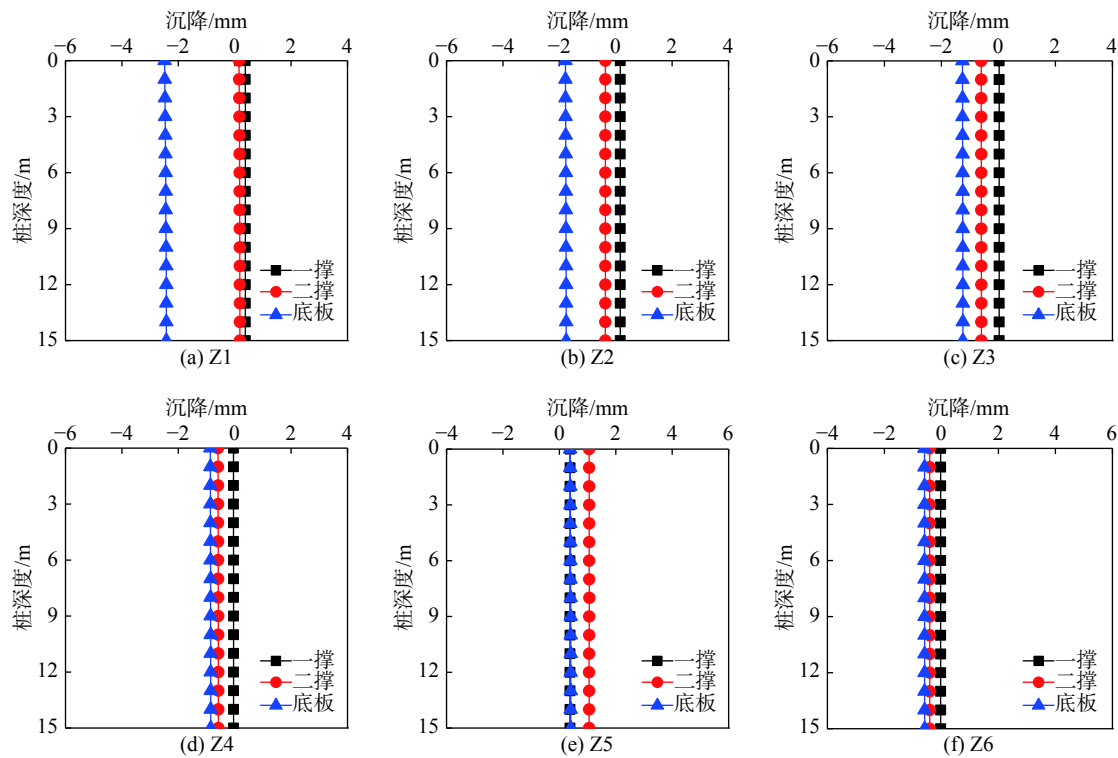


图 5 桩基沉降

Fig.5 Settlement of the pile foundation

2.3 筏板的变形

图 6 为基坑开挖过程中筏板变形云图。如图 6 所示，整个开挖过程中筏板的变形呈对称分布。由图 6(a)可知，第一层土开挖完成后，基坑邻近的筏板会发生隆起变形，其他位置发生沉降变形；由图 6(b)和图 6(c)可知，随着基坑开挖深度

的增加，筏板呈中间大边缘小的“半碟型”分布。基坑开挖完成时，基坑开挖中心对应位置，筏板发生沉降变形，最大沉降为 2.15 mm；基坑开挖边缘对应位置，筏板发生隆起变形，最大隆起为 1.10 mm，差异沉降较小。

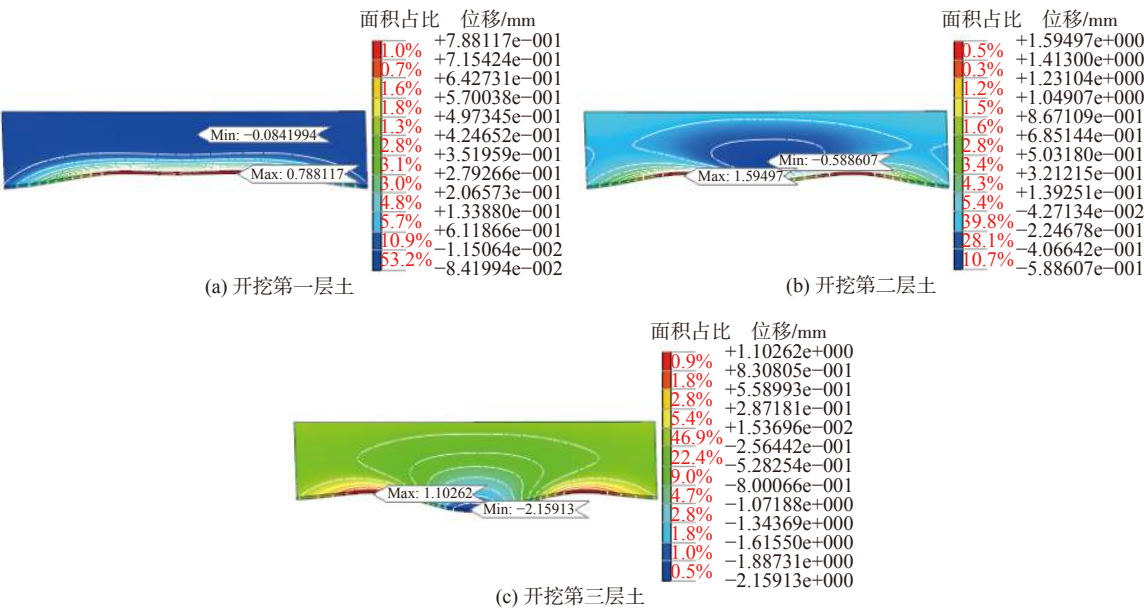
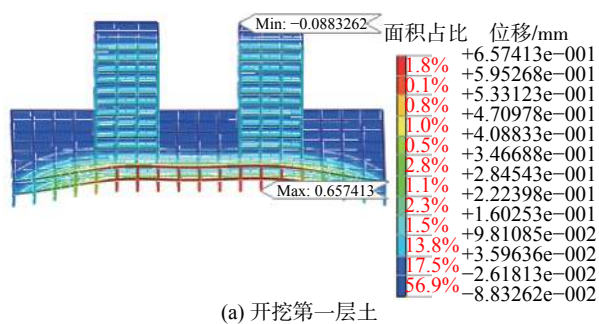


图 6 筏板变形云图

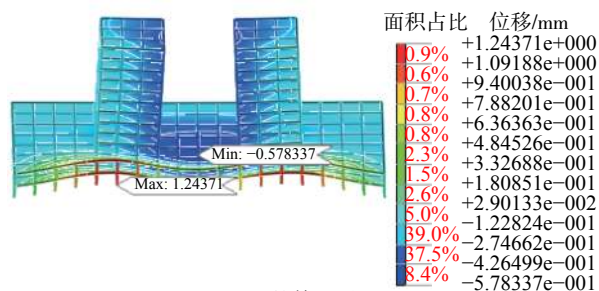
Fig.6 Deformation nephogram of the raft

2.4 上部结构的变形

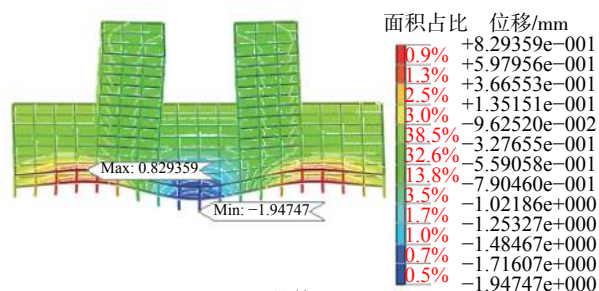
图7为基坑开挖过程中上部结构变形云图。如图7所示,整个开挖过程中上部结构的变形呈对称分布。由图7(a)可知,第一层土开挖完成后,基坑临近的大底盘发生隆起变形,其他位置均发生沉降变形;由图7(b)和图7(c)可知,随着基坑开挖深度的增加,塔楼向中间位置发生倾斜;基坑开挖中心附近位置,楼板发生明显的下凹变形,最大沉降为1.94 mm;基坑开挖边缘附近大底盘发生轻微的隆起变形。



(a) 开挖第一层土



(b) 开挖第二层土



(c) 开挖第三层土

图7 上部结构变形云图

Fig.7 Deformation nephogram of the superstructure

3 结论

通过三维有限元软件 Midas/GTS 模拟了基坑开挖对邻近大底盘多塔楼变形影响。通过对数值结果分析,得出结论:

a. 基坑开挖会使大底盘多塔楼桩基产生指向基坑位置的侧移。随着基坑开挖深度的增加,桩基的侧移不断增大;距离基坑开挖中心越近,桩

基侧移越大,且最大变形位置在桩底,距离基坑较远的桩基最大变形位置发生在桩顶。

b. 基坑开挖会使大底盘多塔楼桩基产生不均匀沉降。随着基坑开挖深度的增加,桩基的沉降不断增大,且越靠近基坑开挖中心位置,桩体沉降越大。基坑开挖边缘附近的桩体会产生上浮,但整个深度范围内桩体沉降差异较小。

c. 基坑开挖会使大底盘多塔楼筏板发生变形,且整个开挖过程中筏板的变形呈对称分布。基坑开挖深度较小时,基坑邻近的筏板会发生隆起变形,其他位置发生沉降变形;随着基坑开挖深度的增加,筏板呈中间大边缘小的“半碟型”分布。

d. 基坑开挖会使大底盘多塔楼上部结构发生变形,且整个开挖过程中筏板的变形呈对称分布。基坑开挖深度较小时,基坑临近的大底盘发生隆起变形,其他位置均发生沉降变形;随着开挖深度的增加,塔楼向中间位置发生倾斜;基坑中心附近大底盘发生明显的下凹变形,基坑开挖边缘附近大底盘发生轻微的隆起变形。

参考文献:

- [1] 宋伟. 环形内支撑深基坑开挖引起的变形及对既有建筑物影响研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2017.
- [2] 杨志波. 建筑基坑开挖对既有建筑桩基基础影响分析[J]. 低温建筑技术, 2014, 36(6): 127-131.
- [3] 丁前进, 崔江余. 基坑开挖对邻近建筑物基础影响分析[J]. 施工技术, 2012, 41(24): 1-3.
- [4] 刘睿. 基坑开挖引起的变形及对邻近建筑物的影响[D]. 北京: 北京交通大学, 2015.
- [5] 李志伟, 郑刚. 基坑开挖对邻近不同刚度建筑物影响的三维有限元分析[J]. 岩土力学, 2013, 36(5): 1807-1814.
- [6] 王浩然, 王卫东, 徐中华. 基坑开挖对邻近建筑物影响的三维有限元分析[J]. 地下空间与工程学报, 2009, 5(S2): 1412-1416.
- [7] 郑刚, 李志伟. 基坑开挖对邻近任意角度建筑物影响的有限元分析[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(4): 514-524.
- [8] 唐素阁. 基坑开挖对邻近建筑桩基基础承载性能的影响研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2013.
- [9] 万顺, 莫海鸿, 陈俊生. 深基坑开挖对邻近建筑物影响数值分析[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2009, 32(10): 1430-1433.
- [10] 李永乐, 王茜. 上部结构-桩基-地基共同作用数值分析及桩基变刚度调平优化设计[J]. 水文地质工程地质, 2013, 40(1): 54-62.
- [11] 陈滋雄. 基坑开挖对邻近建筑物的影响研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2012.
- [12] 陈明, 李镜培. 开挖过程对桩基影响的工程实例对比分析[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2014, 42(5): 677-682.