

深基坑开挖对邻近既有地铁隧道的影响分析

姜叶翔¹, 赖小勇², 张宏建², 岑仰润², 刘恒新²

(1. 杭州市地铁集团有限责任公司, 浙江 杭州 310003; 2. 杭州市勘测设计研究院, 浙江 杭州 310012)

摘要: 邻近既有地铁隧道的基坑, 在开挖时因土体卸荷作用会引起地铁隧道的变形。本文以杭州地铁2号线边某综合楼项目基坑工程为例, 通过MIDAS有限元软件建立三维模型进行数值模拟, 结合现场实测数据, 对软土地区深基坑开挖时对邻近既有地铁隧道的影响进行了分析, 可供类似工程参考。

关键词: 深基坑; 地铁隧道; 变形; 软土

中图分类号: TU47

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2020)03-0231-05

Impact of deep excavation on adjacent subway tunnels

JIANG Ye-xiang¹, LAI Xiao-yong², ZHANG Hong-jian², CEN Yang-run², LIU Heng-xin²

(1. Hangzhou Metro Group Co., Ltd., Hangzhou 310003, China;

2. Hangzhou Geotechnical Engineering & Surveying Research Institute, Hangzhou 310012, China)

Abstract: Foundation pits adjacent to existing subway tunnels will cause deformation of the tunnels due to unloading during excavation. Taking the foundation pit of a building next to Hangzhou Metro Line 2 as an example, this paper used MIDAS finite element software to build a three-dimensional model for numerical simulation combining with the measured data. It analyzes the influence of deep excavation in soft soil on adjacent existing subway tunnels, which could provide a reference for similar projects.

Key words: deep foundation pit; subway tunnel; deformation; soft soil

0 引言

随着城市建设的快速发展, 城市地下空间日益紧张, 大量的基坑工程邻近已运营或在建的地铁设施, 地铁设施保护区变形控制严格。同时杭州地区的软土具有含水量高、压缩性大、抗剪强度低、灵敏度高、蠕变性强等特点, 力学性质差, 需采取有效的手段来控制基坑的变形。

目前的基坑工程中, 对周边环境保护主要有积极保护法和工程保护法两种思路^[1]。工程保护法一般有隔断法、基础加固、结构补强等方法。其中隔断法指在邻近既有建筑物的地下工程施工时, 为减少土体位移与沉降对其影响而在建筑物与施工面间设置隔断墙进行保护的方法。隔离桩是控制基坑或隧道施工对邻近建筑物影响的常用方法之一^[2-5]。

本文以杭州市某综合楼地下室基坑工程为例, 利用MIDAS有限元软件, 采用土体硬化(HS)模型对其进行数值模拟, 与现场实测值进行比较, 验

证了数值分析的有效性, 对类似工程有参考意义。

1 项目简介

1.1 项目概况

项目位于杭州市西湖区, 文三路与莫干山路交叉口。项目总建设用地面积为1 276.6 m², 总建筑面积为8 998.15 m², 上部拟建7层的高层建筑物, 下设2层地下室, 桩基均采用钻孔灌注桩基础。基坑开挖深度为11.50 m, 临边电梯坑开挖深度12.80 m。

基坑东侧为地铁2号线武沈区间, 有3条隧道平行通过, 隧道顶埋深约10 m, 隧道间距4.6~9.1 m。最近的隧道距离地下室边线约10.0 m, 距离基坑围护结构外边线最近处约8.55 m, 距离隔离桩最近处约6.84 m。隔离桩距离基坑围护墙约1.7 m。基坑西侧为已建建筑物, 见图1。

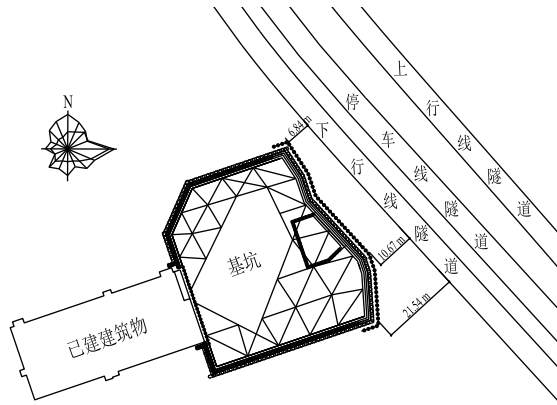


图1 基坑平面示意图

Fig. 1 Schematic plan of foundation pit

1.2 工程地质条件

根据地质勘察报告,拟建场区属于第四纪冲湖积平原地貌,地貌单一。基坑开挖深度范围内的坑壁土层为①层填土、②₁层黏土、③₁层淤泥及淤泥质黏土、③₂层淤泥质粉质黏土,基底土层为③₂层淤泥质粉质黏土。上述土层开挖后土体自稳定性总体差,③₁层淤泥及淤泥质黏土、③₂层淤泥质粉质黏土层在基坑开挖时易产生坑壁变形及坑底隆起。

根据详勘资料,场地勘探深度内潜水主要赋存在浅部①层填土、②₁层黏土、③层淤泥质黏性土中,水位埋深为1.40~1.70 m,年水位变幅约为1~2 m。深部地下水以基岩裂隙水为主,富水性差,对基坑工程影响小。

2 临地铁侧围护方案

临近地铁一侧基坑采用1 m厚地下连续墙结合多道钢筋混凝土支撑支护的方式,距离地连墙2.5 m处施工一排Φ600@1 200钻孔灌注桩隔离桩(采用全套管施工工艺),坑内被动区采用三轴水泥搅拌桩裙边加固,加固的深度自第一道支撑梁底至坑底以下7 m,并在第一道支撑上设置了加强板带,更加有效地控制住了围护结构的变形,减小对地铁隧道的影响。

项目设计阶段地铁2号线尚未运营,采用两道钢筋混凝土支撑,实际基坑开挖时因地铁2号线已经开始运营,增加了一道支撑,见图2。

3 有限元数值模拟

采用大型商业有限元数值软件 MIDAS GTS NX 建立三维有限元模型进行基坑各个阶段的施工

工况对盾构隧道变形的分析,分析基坑开挖时地铁隧道的位移响应。

土体材料本构模型采用土体硬化模型(HS模型),盾构隧道结构采用板单元;基坑西侧建筑物底板、侧墙等采用板单元,框架柱及工程桩采用梁单元模拟;排桩围护结构等刚度等效地连墙,采用板单元模拟;喷混凝土护面采用板单元模拟。见表1~表2。

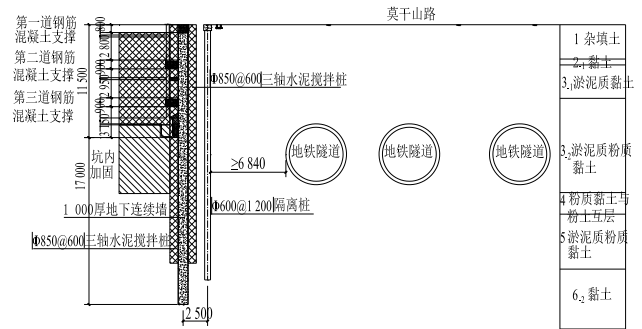


图2 临地铁侧围护墙剖面图

Fig. 2 Sectional view of the enclosure wall adjacent subway

表1 各层土物理力学性质参数

Tab. 1 Physical and mechanical properties of each soil layer

层号	天然重度/ (kN/m ³)	黏聚力/ kPa	内摩擦 角/°	压缩模 量/MPa	割线刚 度/MPa	卸载模 量/MPa
1	18.5	6.0	12.0	3.0	3.0	15.0
2-1	18.2	18.0	10.0	4.0	4.0	28.0
3-1	16.9	9.0	7.0	1.2	1.2	6.0
3-2	18.7	12.0	10.0	3.0	3.0	15.0
4	18.0	18.0	18.0	6.5	6.5	45.5
5	18.7	14.0	12.0	3.0	3.0	15.0
6-2	18.6	35.0	15.0	10.0	10.0	70.0
16-2	(20.0)	(20.0)	(50.0)	25.0	25.0	175.0

注:()内的数值为土层参数经验值。

表2 结构材料参数

Tab. 2 Structural material parameters

名称	材料 模型	轴向刚度 EA/kN	抗弯刚度 EI/kN m ²	泊松比
地连墙	弹性	3.0×10 ⁷	2.5×10 ⁶	0.20
衬砌	弹性	1.208×10 ⁷	1.233×10 ⁶	0.15
支撑	弹性	1.92×10 ⁷	—	0.20

MIDAS GTS 3D 模型建立如图3,模型长250 m,宽160 m,高50 m,模型单元数为198 928个。

经模拟计算,隧道最大水平位移为2.27 mm,隧道最大竖向位移为1.34 mm,隧道最大收敛值为1.07 mm,3条地铁隧道的水平位移及竖向位移云图见图4和图5。

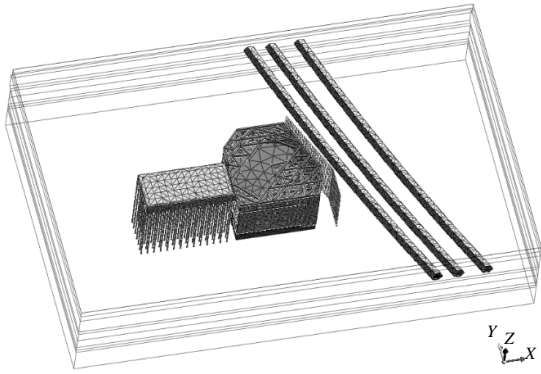


图3 基坑与隧道相对位置关系图

Fig. 3 Relative position of foundation pit and tunnel

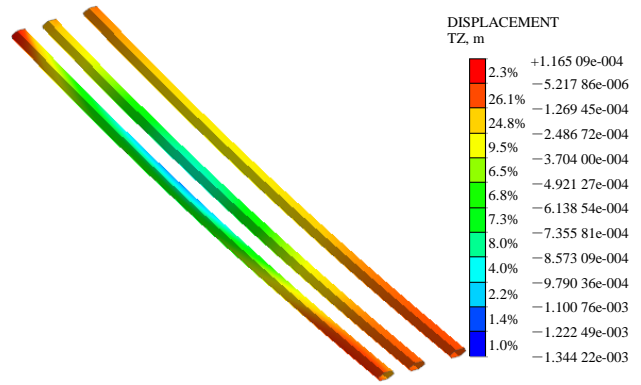


图5 隧道最大竖向位移云图 ($\delta_{vmax}=1.34\text{ mm}$)

Fig. 5 Maximum vertical displacement contour of tunnels ($\delta_{vmax}=1.34\text{ mm}$)

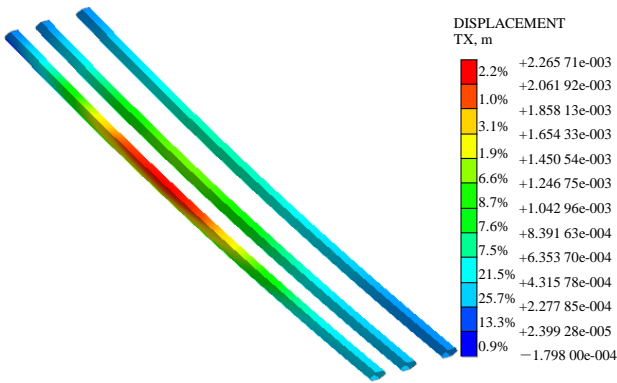


图4 隧道最大水平位移云图 ($\delta_{hmax}=2.27\text{ mm}$)

Fig. 4 Maximum horizontal displacement contour of tunnels ($\delta_{hmax}=2.27\text{ mm}$)

4 实测数据

4.1 隧道变形实测值

隧道最大水平、竖向位移均为 1.80 mm，隧道最大收敛值为 1.90 mm，见图 6~图 8。

综上所述，监测数据与数值模拟计算结果对比表明，采用土体硬化模型（HS 模型）合理反映在设置隔离桩的深基坑开挖时邻近既有地铁隧道变形的情况。同时说明，计算中所采用的模拟手段及参数合理可信。

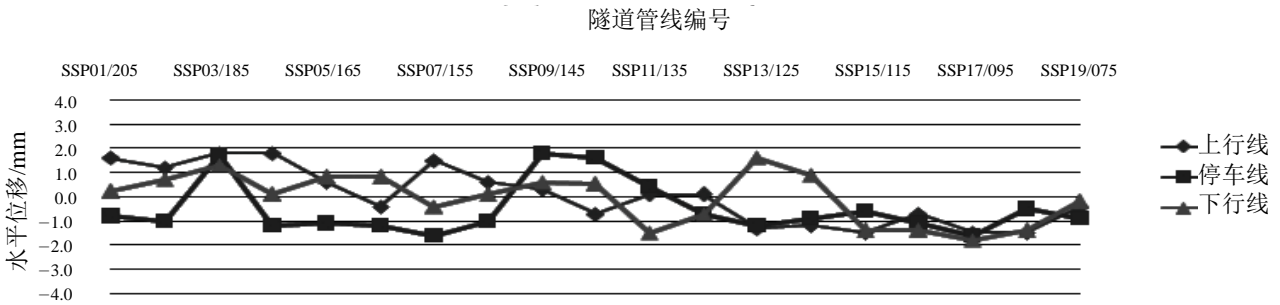


图6 隧道水平位移累计变化量

Fig. 6 Cumulative change of tunnels horizontal displacement

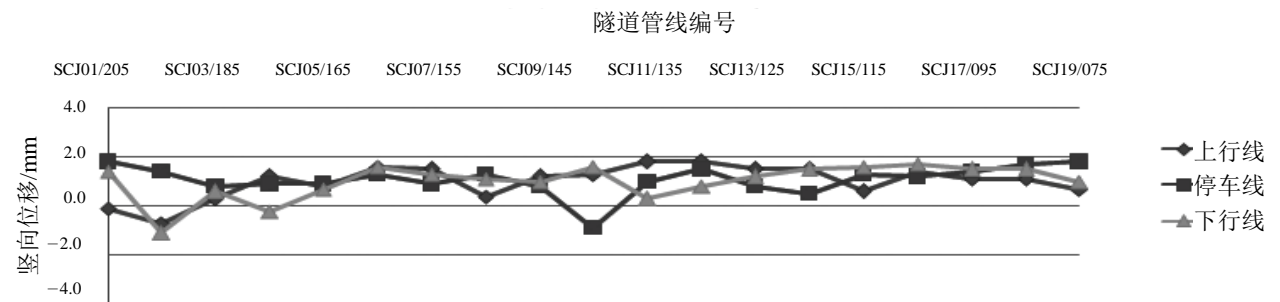


图7 隧道竖向位移累计变化量

Fig. 7 Cumulative change of vertical displacement of tunnels

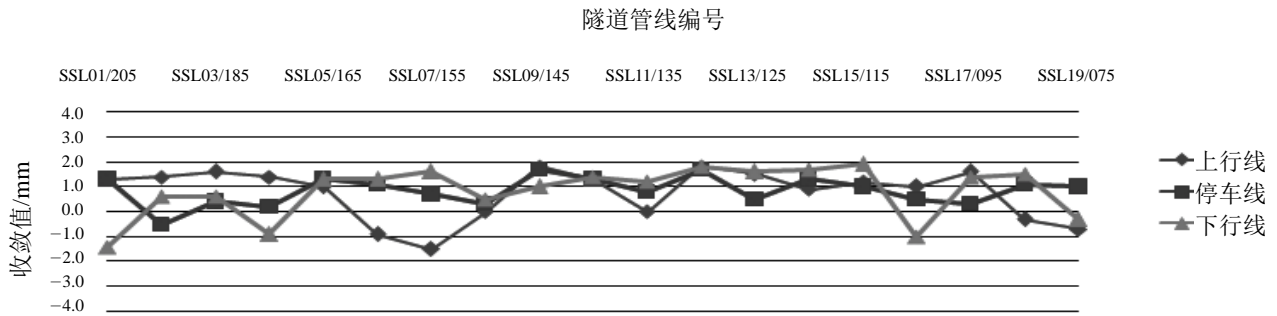


图 8 隧道收敛值累计变化量
Fig. 8 Cumulative change of tunnel convergence value

4.2 基坑本体监测情况

该项目基坑监测工作于2017年11月4日进场布设监测元件,量测初始值;监测工作一直持续至2019年6月17日,地下室工程施工基本完毕,土体趋于稳定,监测工作结束。

基坑开挖和地下室结构施工期间,临地铁侧围护墙体测斜最大位移量为 19.02 mm,发生在深度 2 m 位置。临地铁侧墙体位移监测曲线详见图 9~

图 11。

该项目基坑在开挖过程中,围护体系的变形量较小,变形速率较稳定;基坑底板浇筑完成后,变形量明显减小。临地铁侧基坑地面沉降、基坑支撑轴力、围护桩顶位移、立柱桩沉降、深层土体位移测斜数据均未超报警值。从监测分析结果可知,本工程基坑围护方案在施工质量可靠的前提下可保证基坑的稳定和周边环境的安全。

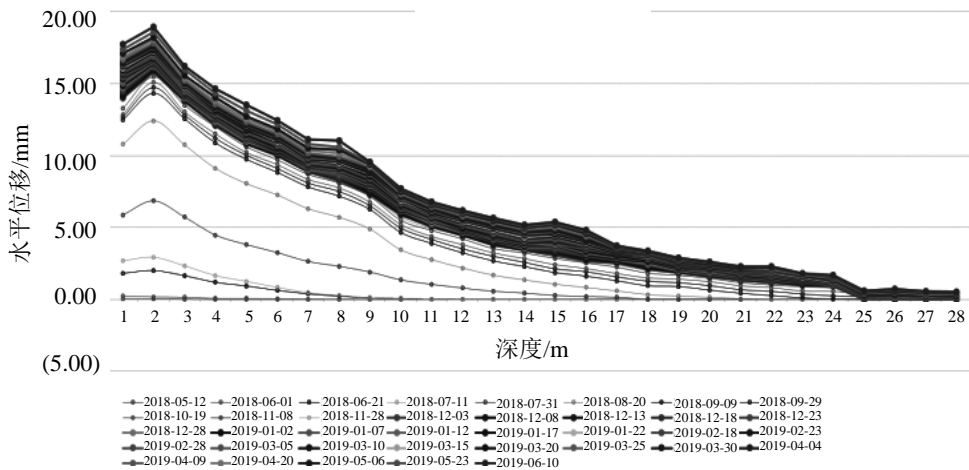


图 9 临地铁侧围护墙体测斜典型位移曲线图 (1)
Fig. 9 Typical displacement curves of retaining wall adjacent subways (1)

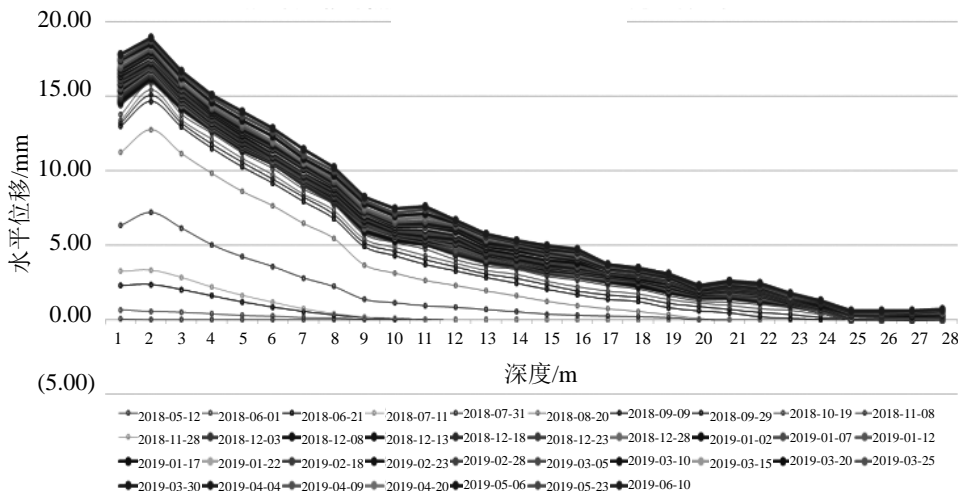


图 10 临地铁侧围护墙体测斜典型位移曲线图 (2)
Fig. 10 Typical displacement curves of retaining wall adjacent subways (2)

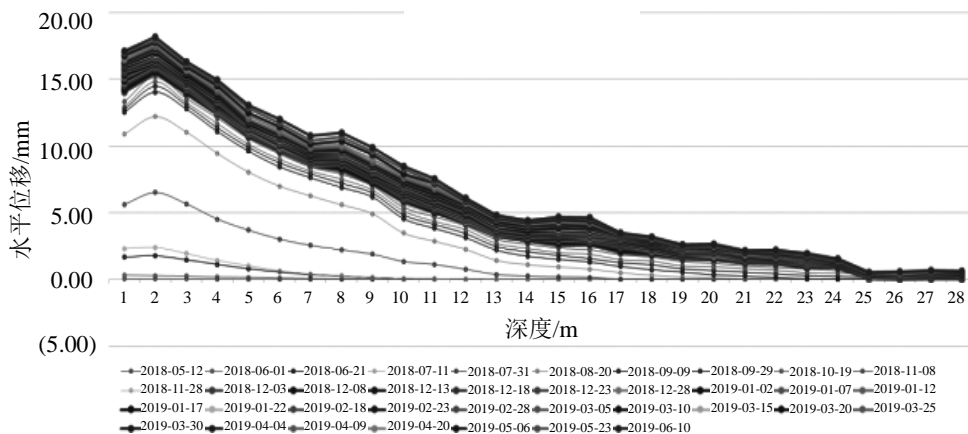


图 11 临地铁侧围护墙体测斜典型位移曲线图 (3)

Fig. 11 Typical displacement curves of retaining wall adjacent subways (3)

5 结 语

在既有隧道旁进行工程建设, 必须考虑工程施工对地铁设施的影响。本文以杭州市某综合楼地下室基坑工程为背景, 通过 MIDAS 有限元计算软件对紧临地铁隧道的基坑工程施工对既有隧道的影响进行了模拟分析, 得出以下结论:

(1) 该项目施工过程中, 先施工隔离桩, 后施工地连墙。隔离桩采用了全套管施工工艺, 且比较好地控制了成桩速度、地连墙成槽速度及宽度, 并及时浇注混凝土。经实测, 围护桩(墙)施工对隧道影响很小。

(2) 数值模拟及实测数据均说明, 软土地区基坑与地铁隧道之间设置一排隔离桩, 可有效减小基坑开挖对隧道的影响。

(3) 该基坑经围护体刚度加强, 支撑加强, 被

动区加强等各项技术措施, 整个施工过程实施得比较成功。加之基坑面积较小, 空间效应好, 结合严格分层分块开挖, 基坑变形控制较好。

参考文献

- [1] 刘建航, 侯学渊, 等. 基坑工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [2] 李大勇, 龚晓南, 张土乔. 软土地基深基坑周围地下管线保护措施的数值模拟[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(6): 736-740.
- [3] 罗成恒, 魏建华. 减少软土深基坑周边环境初始位移的方法探讨[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(S1): 49-53.
- [4] 费纬. 隔离桩在紧邻浅基础建筑的深基坑工程变形控制中的应用[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(S1): 265-270.
- [5] 李俊逸, 潘丽东, 胡敏云, 等. 基坑开挖卸载对下卧已建盾构隧道变形计算方法的改进[J]. 地基处理, 2019 1(3): 10-19.