

相邻基坑同步施工对围护结构受力变形的影响实例研究

彭麟¹, 李悦², 张舶航²

(1. 江苏联合职业技术学院南京分院, 江苏 南京 210019; 2. 江苏省工程勘测研究院有限责任公司, 江苏 扬州 225000)

摘要: 相邻深基坑同步开挖施工对围护结构体系受力和变形的影响尚不明确。通过对同步施工的某建筑物深大基坑与相邻地铁车站基坑进行监测, 对比分析了相邻部位和非相邻部位围护结构顶部位移、水平支撑轴力、深层土体水平位移、地表沉降以及地下水位等的变化。监测结果表明: (1) 当车站基坑开挖深度较浅时, 建筑基坑相邻部位桩因两侧土压不平衡导致桩顶向坑外侧移而竖向位移出现“上浮”现象, 但是, 当车站基坑开挖深度超过建筑基坑深度时, 建筑基坑相邻部位桩顶水平位移转向坑内加剧发展而竖向位移出现“回落”现象; (2) 受邻近基坑卸载影响, 建筑基坑水平支撑轴力将减小; (3) 两基坑间地表沉降大于非相邻部位, 且地表沉降变化与桩顶位移和地下水位变化相关联; (4) 相邻部位基坑壁深层土体水平位移有向坑外变形的趋势。

关键词: 相邻基坑; 同步施工; 围护结构; 受力和变形; 桩顶位移; 水平支撑轴力; 地表沉降

中图分类号: TU473.2

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2024)02-0146-08

A case study on the influence of synchronous construction of adjacent foundation pits on the stress and deformation of bracing structures

PENG Lin¹, LI Yue², ZHANG Bo-hang²

(1. Nanjing Branch of Jiangsu Union Technical Institute, Nanjing 210019, Jiangsu, China;

2. Jiangsu Engineering Survey and Research Institute Co., Ltd., Yangzhou 225000, Jiangsu, China)

Abstract: The influence of synchronous excavation of adjacent deep foundation pits on the stress and deformation of the bracing structure system remains unclear. By monitoring the deep and large foundation pit of a building and the foundation pit of a subway station constructed simultaneously, a comparative analysis was conducted on the changes in the displacement of the top of the wall, axial forces of horizontal struts, horizontal displacement of deep soil layers, surface settlement, and groundwater level for both the adjacent and the non-adjacent retaining structures. The monitoring results revealed the following findings: (1) In cases where the excavation depth of the tunnel station foundation pit is shallow, the adjacent retaining piles of the building foundation pit move toward the outside of the pit due to unbalanced soil pressure, and are raised. Conversely, when the excavation depth of the tunnel station pit surpasses that of the building foundation pit, the horizontal displacement of the pile top in the adjacent sections of the building foundation pit shifts towards the pit, causing a “falling back” phenomenon of vertical displacement. (2) The axial forces of horizontal struts of the building foundation pit will decrease due to the influence of adjacent foundation pit unloading. (3) The surface settlement between the two foundation pits exceeds that of non-adjacent sections, and its changes are related to the displacement of the pile top and the changes in groundwater level. (4) The horizontal displacement of the soil at the adjacent sections of the foundation pit wall exhibits deformation towards the outer side of the pit.

Key words: adjacent foundation pits; synchronous construction; bracing structure; stress and deformation; pile top displacement; axial force of horizontal struts; surface settlement

0 引言

近年来, 城市地下空间开发和利用幅度增大,

邻近深大基坑交叉施工相互影响的情况越来越普遍, 需要在基坑工程设计和施工中加以考虑。

在工程上, 当两个基坑距离较近会产生相互影

响和施工干扰时被称为相邻基坑^[1]。深厚软土区域相邻基坑的影响范围大致为深基坑最大开挖深度的 1~4 倍^[2]。陈东杰^[3]通过对相邻基坑的基坑监测与数值模拟对比分析,认为相邻基坑“同时开挖影响公平”,即先开挖基坑对邻近基坑开挖影响较大,对其自身影响较小。但是冀侠荣等^[4]通过数值模拟得出相反的结论,他认为基坑开挖的先后顺序对其自身围护结构的影响不容忽视。薛澳等^[5]与吕文龙等^[6]认为相邻基坑开挖卸载可以减小坑底的隆起量,但徐伟等^[7]与陈小雨^[8]分别通过实测与数值模拟认为相邻基坑开挖,其间土条稳定性降低,围护结构受力变形增大,导致坑底隆起变大。陈湘桂等^[9]通过对连续基坑开挖的监测,认为不同的开挖顺序对外围基坑外边侧围护结构侧向变形及地表沉降基本没有影响,而罗朝荣^[10]利用实测与数值模拟认为这与基坑挖深及基坑间距相关。陆东泉等^[11]对几个实际工程的监测认为支撑轴力与相邻状况无关,而是受周边环境与围护结构控制,王显星^[12]利用数值模拟发现同步开挖会使得先开挖基坑向后开挖基坑侧发生局部侧移,围护结构局部受力,从而增大支撑轴力,但丁智等^[13]通过实测两相邻基坑发现周边基坑卸载会使已有基坑的支撑轴力值减小。

上述研究表明,目前对于相邻基坑的研究尚不深入,在同步开挖时,邻近基坑围护结构受力变形影响复杂,现有研究结论还不一致,值得深入研究。本文依托某建筑物深大基坑与其邻近地铁车站基坑,对基坑围护结构的受力与变形及土体位移等进行实时监测,对建筑物基坑在与邻近站台基坑同步开挖卸载过程中围护桩顶水平与竖向位移变化情况、3 道混凝土水平支撑轴力的变化趋势与敏感程度、以及围护桩附近深层土体位移变化情况进行分析,以期明确相邻基坑同步施工的相互影响规律,为相邻基坑工程设计提供参考。

1 工程概况

1.1 工程介绍

某建筑项目深大基坑(下文称“主体基坑”)整体可视为 1 个矩形基坑,东北角带有长 70 m、宽 30 m 的犄角,基坑主体平面长约 214 m,宽约 180 m,最大挖深 17.5 m,普遍开挖深度为 15 m。建筑基坑南侧为地铁车站(兼做隧道工作井),基

坑开挖方式为明挖法,基坑宽 25~36 m,开挖深度约 24 m。

两基坑相邻部分的长度约占建筑物基坑南侧边长的 70%,坑边间距为 5~14 m,车站基坑距离建筑物基坑最近处仅约 5 m。相邻部位地面荷载为 15 kPa。两相邻基坑的平面布置如图 1 所示。

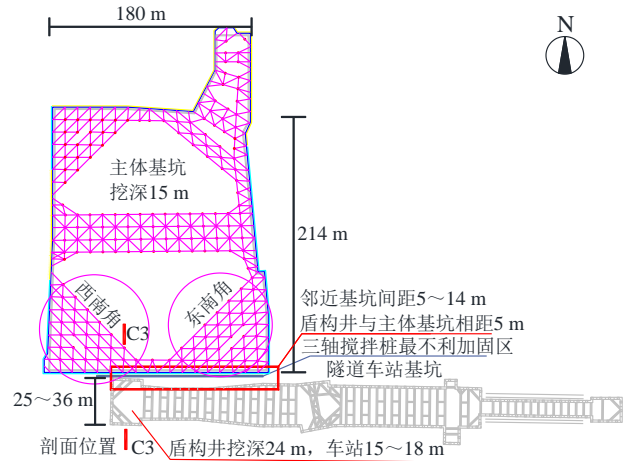


图 1 相邻基坑平面布置图

Fig. 1 Plan of adjacent foundation pits

本工程场地土体物理力学参数见表 1。场地上部地下水主要为潜水型,常水位位于地表下约 1 m,赋存于上部填土层、粉土层中,潜水埋藏较浅。

表 1 土体物理力学参数表

Table 1 Physical and mechanical parameters of soil

编号	土层名称	土层厚度/m	重度/(kN/m ³)	黏聚力 c/kPa	内摩擦角/(°)
① ₁	杂填土	0.8	17.6	10.0	12.0
① ₂	素填土	2.3	17.6	10.0	12.0
②	黏质粉土	0.6	18.4	11.0	27.4
④ ₁	淤泥质土	25.4	17.4	10.1	11.2
⑥ ₁	淤泥质黏土	2.5	16.9	12.0	12.0
⑦	粉质黏土	3.9	19.2	40.5	19.9
⑩ ₁	风化灰岩	10.0	18.2	20.2	16.5

1.2 基坑围护方案

建筑基坑采用钻孔灌注桩围护结构,钻孔桩直径 $D=1.2$ m,桩长 $L=40$ m,相邻侧围护桩外采用 3 排直径 0.85 m 的三轴搅拌桩加固与止水。坑内采用 3 道水平钢筋混凝土内支撑,并对薄弱部位采用板带支撑进行加强。对环境保护要求高和基坑变形控制不利位置,设置三轴水泥搅拌桩被动区加固。

隧道车站基坑采用地下连续墙进行围护，地连墙厚 1.2 m、深 47.05 m。为防止坑底隆起，坑底以下铺设 3 m 厚的 C20 混凝土垫层。共设置了 6 道水平支撑，钢筋混凝土支撑与钢支撑交替，不等间距布置。

考虑到盾构工作井与建筑基坑间距仅约 5 m，为避免两基坑施工相互干扰的不利影响，在隧道地下连续墙两侧设直径 $D=1$ m、桩长 $L=28$ m、间距 15 m 的钻孔灌注桩。图 2 给出了相邻基坑横向剖面图 C3-C3。

1.3 施工工况

建筑基坑和隧道车站基坑分期开挖。两基坑施工工况如表 2 所示，为方便分析，表 2 中仅列出了

相关部分施工节点信息。

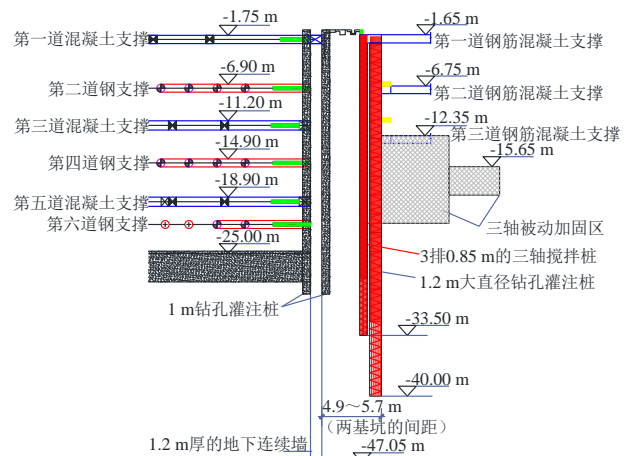


图 2 相邻基坑横向剖面图 C3-C3

Fig. 2 Cross section C3-C3 of adjacent foundation pits

表 2 施工工况表

Table 2 Construction condition table

工期/d	主体基坑	地铁车站基坑
0~30	东南角第一层支撑架设完成， 东南角第一层土方局部开挖， 西南角浇筑第一道支撑	地下连续墙施工完成
30~60	东南角第一层土方开挖完成， 西南角第一道支撑浇筑完成， 西南角第一层土方继续开挖	地铁车站基坑第一道混凝土支撑架设， 第一层土方开挖
60~90	东、西南角第二道支撑架设， 基坑南侧第二层土方开挖	地铁车站基坑第二、三层土方开挖， 架设第二道钢支撑，第三道混凝土支撑
90~120	东、西南角第三道支撑架设	地铁车站基坑第四层土方开挖（第四道钢支撑）， 架设第五道混凝土支撑
120~150	东、西南角第三层土方开挖	第六道钢支撑，开挖第五层土方
150~180	底板浇筑	底板浇筑完成，部分中板浇筑完成
180~210	第三道支撑拆除	中板浇筑完成，部分顶板开始浇筑
210~240	负二层楼板浇筑	完成浇筑，回填上覆土

2 基坑监测方案

为了分析相邻基坑同步施工对围护结构受力和变形以及对基坑外土体变形的影响，本文选取了相邻部位和非相邻部位的建筑物基坑监测点进行对比分析，用于分析的主要监测内容包括围护桩桩顶水平位移和竖向位移、支撑轴力、坑外土体深层水平位移、坑外地表沉降和坑外地下水位等，监测点布置如图 3 所示。

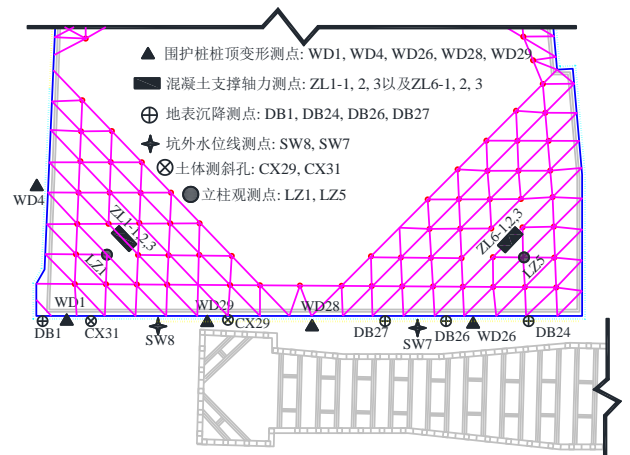


图 3 监测点布置图

Fig. 3 Layout of monitoring instruments

3 监测结果分析

3.1 围护桩桩顶水平位移

桩顶水平位移测点选取主体基坑非相邻部位的 WD1、WD4 以及相邻部位的 WD26、WD28、WD29 共 5 个测点,围护桩桩顶水平位移变化如图 4 所示。

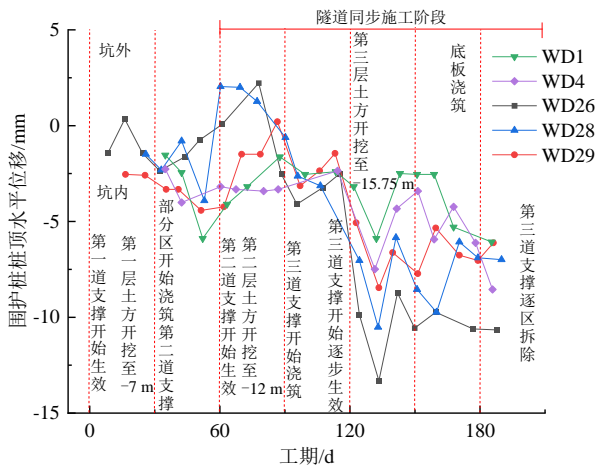


图 4 围护桩桩顶水平位移变化

Fig. 4 Horizontal displacement changes at the top of the retaining piles

结合工况分析,当施工约 60 d 后,建筑基坑混凝土支撑开始架设时,车站基坑开始大幅度开挖土方。0~60 d 内非相邻部位的 WD1 与 WD4 的桩顶水平位移变化平缓,但相邻部位偏移了 5.13~7.45 mm,这充分说明了邻近隧道基坑卸载也会使得桩顶水平位移向卸载侧偏移。

对比图 4 中 5 个监测点的最大桩顶水平位移,非相邻部位的 WD1 为-6.38 mm,WD4 为-8.14 mm;相邻部位的 WD26 为-14.3 mm,WD28 为-11.3 mm,WD29 为-9.53 mm,总体可见相邻部位的桩顶水平位移大于非相邻部位的桩顶水平位移。

当邻近车站基坑开挖深度超过建筑基坑深度后,建筑基坑围护桩桩顶最大水平位移受邻近基坑开挖影响向坑内侧发展迅速。出现这种情况的原因可能是由于邻近车站基坑采用了多道对撑,支护刚度较大,随着车站基坑开挖深度的增加,车站基坑北部受已开挖建筑基坑的影响出现较明显的偏压情况,导致隧道基坑相邻侧向北侧推挤,引起了建筑基坑顶部水平位移进一步加大。这种现象在隧道基坑底板浇筑完成(约 150 d 后)以后才逐渐得到缓解。

3.2 围护桩桩顶竖向位移

围护桩桩顶竖向位移监测点与水平位移监测点相同,围护桩桩顶竖向位移变化如图 5 所示。

在土方开挖过程中,非相邻部位测点 WD1 与 WD4 的竖向位移在逐渐增大,说明基坑开挖会引起围护桩桩顶产生向坑内的侧移,同时发生竖向沉降。而相邻部位的 WD26、WD28、WD29 这 3 个测点显示在工期约 60 d 以后,即隧道基坑土方开挖深度接近建筑基坑开挖深度时,建筑基坑围护桩桩顶竖向位移先是出现了明显回弹,然后,当隧道基坑开挖深度超过建筑基坑坑底后,建筑基坑围护桩桩顶竖向位移开始迅速回落,直到隧道基坑底板浇筑完成后,建筑基坑围护结构桩桩顶竖向位移减小到 4 mm 内。

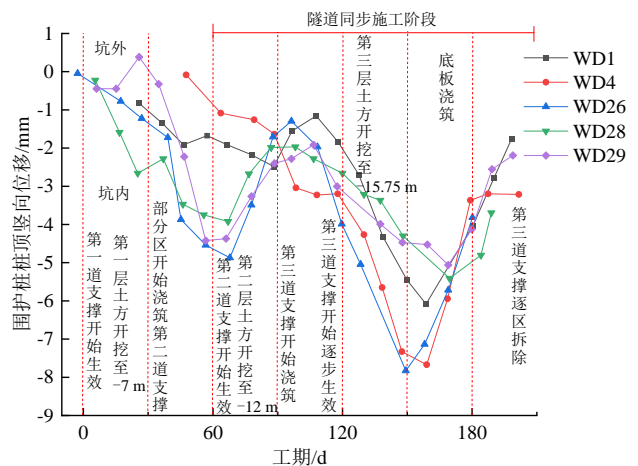


图 5 围护桩桩顶竖向位移变化

Fig. 5 Vertical displacement changes at the top of the retaining piles

相邻部位各监测点的桩顶竖向位移随时间的波动与桩顶水平位移的发展基本同步,反映了相邻基坑施工对主体基坑围护结构受力的影响不容忽视。

3.3 立柱沉降

立柱沉降分析的测点选取 LZ1 与 LZ5,立柱沉降变化如图 6 所示。从图 6 可见,相邻部位与非相邻部位的立柱沉降规律与基坑开挖施工的发展规律大体一致,但是,相邻部位立柱测点(LZ5)沉降变化幅度更大。

立柱的沉降主要受架设支撑后压重的影响,而基坑内土体开挖引起的基坑内外土压差值增大会促进坑底隆起,会使立柱沉降出现回弹趋势。对于相邻部位的测点 LZ5,在图 6 中,当施工约 60 d 后,两侧基坑土方开挖几乎同步进行,且持续卸载,由

此引起了坑底隆起和立柱沉降回弹。但是，当施工约 90 d 后，因为建筑基坑架设第三道支撑而隧道基坑开挖深度逐渐超过了建筑基坑深度，出现坑外卸载，因此相邻部位的立柱沉降发展较迅速。当工期超过 150 d，两侧基坑底板浇筑完成后，随着支撑的拆除，立柱沉降逐渐回弹。

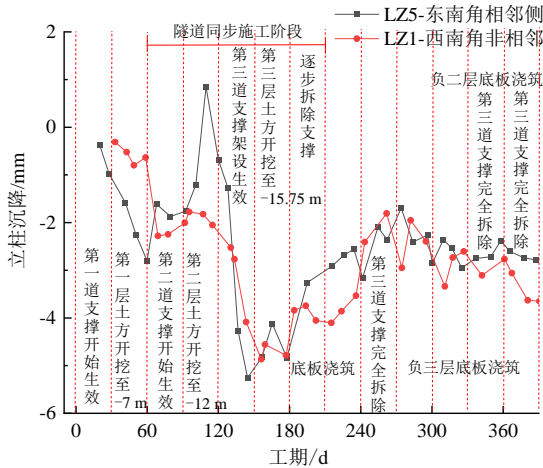


图 6 立柱沉降变化

Fig. 6 Variation of column settlements

由此可见，受同步开挖的影响，相邻部位立柱的沉降受施工工况影响比较敏感，即相邻部位立柱沉降速率以及沉降量要大于非相邻部位，而相邻部位立柱上浮速率与上浮量也要大于非相邻部位。如相邻部位立柱 LZ5 在主体基坑短时间内开挖二层土方引起的立柱沉降量为 6.33 mm，要远大于非相邻部位 LZ1 的 3.11 mm。同样在支撑拆除阶段，相邻部位 LZ5 的上浮要大于非相邻部位 LZ1 的上浮量。

3.4 支撑轴力

支撑轴力选取 ZL1 与 ZL6 两测点进行分析，监测结果如图 7~8 所示。

结合工况分析，当施工约 60 d 后，邻近隧道基坑开始施工，随着隧道基坑工作井及车站土方大幅度开挖，在工期 60~90 d 内，ZL6 处第一道支撑的支撑轴力减小了 675 kN。而距离相邻部位较远的 ZL1 的支撑轴力则变化平缓，没有出现骤降现象，说明邻近基坑土体开挖卸载会减小已建基坑的水平支撑轴力。

对比图 7~8 中 3 道支撑的支撑轴力变化曲线，受邻近隧道基坑开挖卸载的影响，ZL6-1 平均轴力要低于 ZL1-1 约 359.2 kN；ZL6-2 平均轴力要低于 ZL1-2 约 256.2 kN；ZL6-3 平均轴力要低于 ZL1-3 约 206.6 kN。可见主体基坑中，第一道钢筋混凝土

支撑对于邻近基坑开挖最为敏感，第二道次之，第三道轴力受到的影响最小。

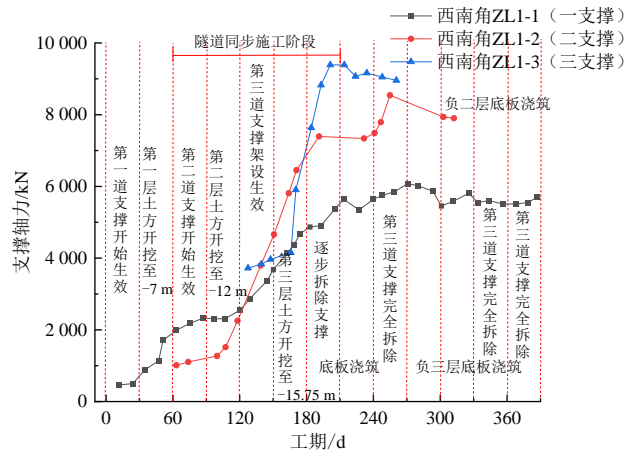


图 7 整个工期内 ZL1 支撑轴力变化

Fig. 7 Variation of ZL1 axial forces of struts throughout the entire construction period

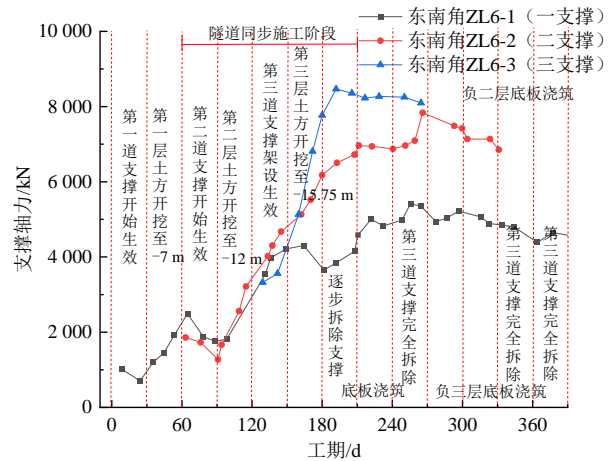


图 8 整个工期内 ZL6 支撑轴力变化

Fig. 8 Variation of ZL6 axial forces of struts throughout the entire construction period

3.5 土体侧移

土体侧移分析的测点选取 CX29 与 CX31 两点，监测结果如图 9~10 所示，以向坑内发生的侧移为正。

在建筑基坑第一层土方开挖阶段，由于邻近隧道基坑尚未开挖，无相邻基坑施工干扰，因此相邻部位与非相邻部位的土体变形发展相近似，最大侧移量均在 10 mm 左右。但在建筑基坑第二层土方开挖的同时，隧道基坑也开始同步施工开挖，此时建筑基坑的第二层土方开挖完成后，在 CX29 处的土体最大位移非但没有继续变大，反而减小至 11.32 mm，而非相邻部位基坑侧移始终随施工进行而向坑内发展。两个测点的最大侧移量都位于基坑开挖面附近。

图 11 给出了 CX29 和 CX31 两个测点的最大侧移量和顶部侧移量随施工工期的变化。从图 11 中可以看出, CX29 各阶段的侧移值均略小于 CX31 对应的侧移值, 且随邻近部位基坑施工的影响, 施工期间 CX29 侧移量出现明显的波动, 而非相邻部位 CX31 的侧移量基本是向坑内持续发展。

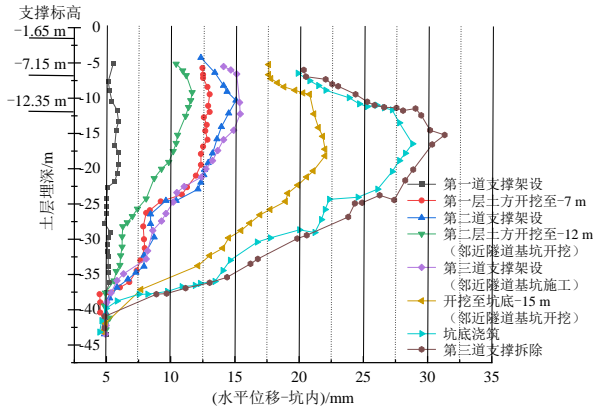


图 9 主体基坑相邻侧土体侧移变化 (CX29)

Fig. 9 Lateral displacement changes of soil on adjacent sides of the main foundation pit (CX29)

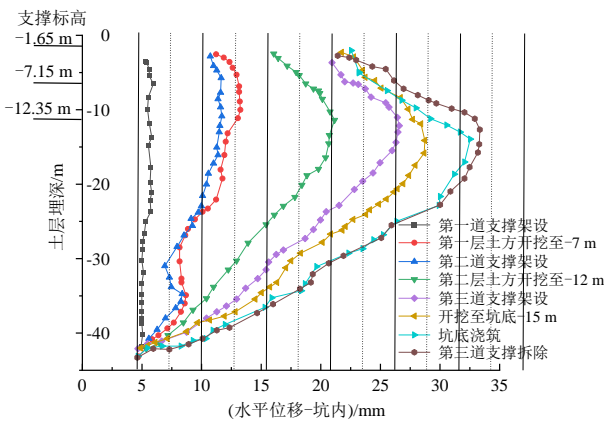


图 10 主体基坑非相邻侧土体侧移变化 (CX31)

Fig. 10 Lateral displacement changes of soil on non-adjacent sides of the main foundation pit (CX31)

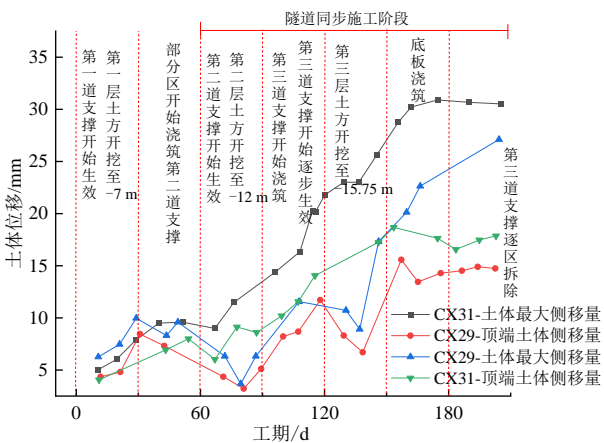


图 11 基坑土体侧移随时间变化

Fig. 11 Lateral displacement of foundation pit soil changes with time

3.6 地表沉降

地表沉降分析选取非相邻部位测点 DB1, 以及相邻部位的测点 DB24、DB26、DB27, 共 4 个测点, 地表沉降变化如图 12 所示。

图 12 中可见, 随着施工工况的进行, 坑外地表沉降发展出现波动情况, 且基坑相邻部位的地表沉降大于非相邻部位的沉降值。

对比图 4 和图 5 可知, 坑外地表沉降与围护桩桩顶位移的发展相关联: 当桩顶水平位移往坑外侧偏移时, 坑外地表沉降出现回弹; 当桩顶水平位移往坑内偏移时, 则地表沉降加剧, 这一点在相邻侧尤为明显。

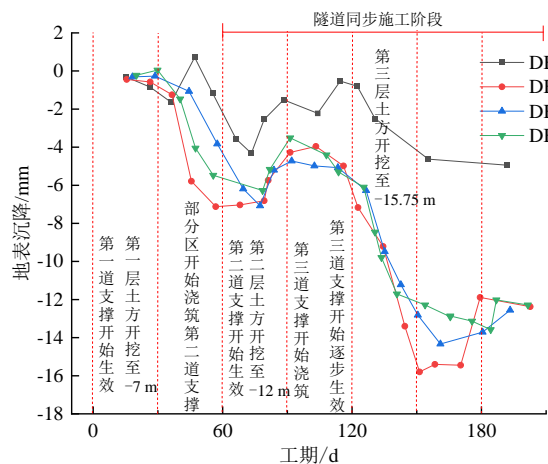


图 12 地表沉降变化

Fig. 12 Variation of surface settlement

4 讨论

现有的相邻基坑相互影响分析较多关注基坑间距和施工顺序对围护结构和土体受力与变形的影响^[14], 而本工程获得的监测结果分析表明, 相邻基坑的相互影响除了与上述因素有关, 还与两基坑采用的支护支撑型式及开挖深度有关。本案例中的两个相邻基坑基本上同步开挖, 建筑基坑平面尺寸大, 采用角撑, 挖深相对较浅, 施工工期长; 车站基坑狭长, 开挖相对较深, 采用对撑, 施工周期较短。通过监测数据分析可以获得以下认识:

(1) 基坑开挖深度的影响通过建筑基坑的受力和变形分析可知, 当邻近基坑的开挖深度小于监测基坑开挖深度时, 所监测基坑的邻近部位支护结构顶部水平位移会随邻近基坑的土压不平衡而向坑外回弹, 顶部竖向位移也随之回弹; 但是, 当邻近基坑开挖深度超过所监测基坑开挖深度时, 因为受邻近部位基坑开挖变形影响, 所监测基坑的支护

结构顶部位移因为受到邻近基坑的变形“挤压”会出现向坑内加速发展的趋势。因此,工程设计和施工监测时应考虑邻近基坑挖深变化对主体基坑围护结构及土体变形产生的“波动”影响。

(2) 基坑支护型式的影响监测分析表明,由于相邻窄基坑采用对撑,其支护结构具有较大的整体刚度,随着其挖深增加,基坑整体变形会出现向相邻主体基坑(卸载侧)倾斜的趋势,将引起主体基坑受力或变形加剧发展。因此,当邻近基坑狭窄且采用对撑时,在主体基坑支护结构设计中需要考虑其可能引起的“挤压”。

(3) 邻近基坑施工影响会引起主体基坑的受力和变形的关联性变化,如图13所示。因此,对有相邻基坑施工的情况,基坑监测不仅要关注各监测值的大小,还应关注监测值的变化趋势,以便做出合理的安全判断,比如,坑壁侧移量出现减小不一定代表更安全,还应关注围护结构各构件的受力和变形等的发展,作出综合判断。

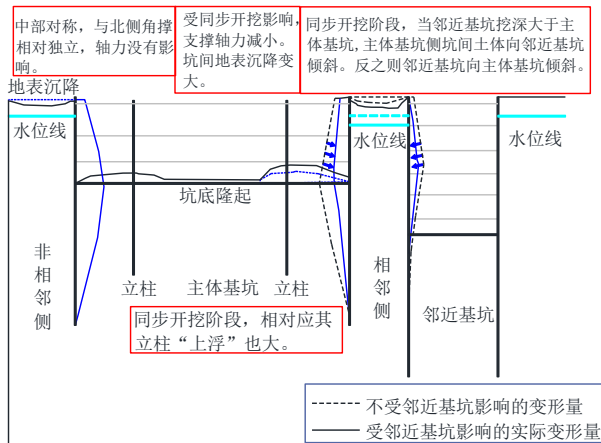


图13 围护结构变形

Fig. 13 Deformation of bracing structure

5 结论

本文通过对某深大建筑基坑与邻近地铁车站基坑同步施工监测数据分析,得到以下结论:

(1) 两基坑同步开挖,围护桩顶水平位移并不总是向相邻侧卸载基坑方向偏移;若邻侧基坑开挖深度较大时,建筑基坑的桩顶最大水平位移也可能出现加剧的情况。邻近基坑开挖还会使得桩顶竖向位移受到影响,出现上浮或沉降加剧的现象,相比较而言,围护桩顶的水平位移对邻近基坑同步开挖较为敏感。

(2) 邻近基坑同步开挖,会减小建筑基坑水平

支撑轴力。第一道支撑与同步开挖的关联度最大。

(3) 受同步施工影响,相邻部位的地表沉降、立柱上浮量要大于非相邻部位。

(4) 基坑围护桩处的土体受邻近基坑开挖影响,会向卸载侧偏移,但是,邻近基坑开挖施工持续推进中,偏移方向可能出现反复。

参考文献

- [1] 徐芳超. 相邻深基坑同期开挖相互影响变形性状研究[D]. 福建泉州: 华侨大学, 2015.
XU Fang-chao. The interactional deformation behavior of synchronized excavation of adjacent deep foundation pits[D]. Quanzhou, Fujian: Huaqiao University, 2015.
- [2] 刘国彬, 王卫东. 基坑工程手册[M]. 第二版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
LIU Guo-bin, WANG Wei-dong. Excavation Engineering Manual[M]. Second Edition. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009.
- [3] 陈东杰. 上海铁路南站相邻基坑施工技术研究[D]. 上海: 同济大学, 2004.
CHEN Dong-jie. Research on construction technology of adjacent foundation pit of Shanghai Railway South Station[D]. Shanghai: Tongji University, 2004.
- [4] 冀侠荣, 魏青, 路霞. 相邻深基坑同期施工的相互影响问题研究[J]. 河南科学, 2010, 28(4): 456-459.
JI Xia-rong, WEI Qing, LU Xia. Research on interaction during construction of two adjacent foundation pits[J]. Henan Science, 2010, 28(4): 456-459.
- [5] 薛澳, 丁立, 董月英. 不同间距情况下相邻基坑施工的相互影响[J]. 现代城市轨道交通, 2005(4): 28-30, 70.
XUE Ao, DING Li, DONG Yue-ying. Interaction during construction of two adjacent foundation pits at various intervals[J]. Modern Urban Transit, 2005(4): 28-30, 70.
- [6] 吕文龙, 陈东升, 胡晓文, 等. 相邻基坑对地铁基坑开挖变形影响的有限元分析[J]. 水电站设计, 2014, 30(2): 22-25.
LV Wen-long, CHEN Dong-sheng, HU Xiao-wen, et al. Finite element analysis of the influence of adjacent foundation pits on the excavation deformation of subway foundation pits[J]. Design of Hydroelectric Power Station, 2014, 30(2): 22-25.
- [7] 徐伟, 夏乔网, 徐鹏飞, 等. 软土地基临江特大型相邻深基坑同期施工监测分析[J]. 岩石力学与工程学报,

- 2013, 32(增刊 1): 2676-2683.
- XU Wei, XIA Qiao-wang, XU Peng-fei, et al. Monitoring and analysis of synchronized excavation of extra large-scale adjacent riverside deep foundation pits in soft soil[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2013, 32(S1): 2676-2683.
- [8] 陈小雨. 相邻深大基坑安全距离研究及交叉施工影响分析[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2018.
- CHEN Xiao-yu. Study on safe spacing and mutual influence of adjacent deep foundation pits during cross-construction[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2018.
- [9] 陈湘桂, 张雪松, 黄林冲. 连续基坑群开挖的影响效应研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2014, 11(1): 87-92.
- CHEN Xiang-gui, ZHANG Xue-song, HUANG Lin-chong. Effect study on the group foundation pits excavation[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2014, 11(1): 87-92.
- [10] 罗朝荣. 相邻深基坑施工相互影响的研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2013.
- LUO Chao-rong. Research on mutual influence during construction of adjacent deep excavation[D]. Changsha: Changsha University of Science & Technology, 2013.
- [11] 陆东泉, 杨劲松. 软土地基相邻深基坑支护结构同期施工的安全性研究[J]. 建筑施工, 1999, 21(2): 12-14.
- LU Dong-quan, YANG Jin-song. Safety study of simultaneous construction of supporting structure adjacent deep foundation pit in soft soil foundation[J]. Building Construction, 1999, 21(2): 12-14.
- [12] 王显星. 开挖卸载对相邻基坑围护结构内力的影响[J]. 铁道建筑技术, 2005(2): 46-48.
- WANG Xian-xing. Influence of excavation unloading on internal force of adjacent foundation pit retaining structure[J]. Railway Construction Technology, 2005(2): 46-48.
- [13] 丁智, 王金艳, 周勇, 等. 邻近基坑同步施工相互影响实测分析[J]. 土木工程学报, 2015, 48(增刊 2): 124-130.
- DING Zhi, WANG Jin-yan, ZHOU Yong, et al. Monitoring analysis of the interrelationship of synchronous construction in adjacent foundation pit[J]. China Civil Engineering Journal, 2015, 48(S2): 124-130.
- [14] 林海. 相邻双基坑开挖相互影响性状分析[D]. 福州: 福州大学, 2013.
- LIN Hai. Characteristic analysis of the interaction effect of adjacent excavations[D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2013.