

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2021.07.073

加卸载工况下的车站深基坑开挖变形性状研究

王京潮¹, 魏 纲², 周鑫鑫³
(1. 宁海县市政建设中心, 浙江 宁海 315600; 2. 浙大城市学院, 浙江 杭州 310015; 3. 浙江大学, 浙江 杭州 310058)

摘 要: 某地铁车站深基坑北侧邻近新建住宅高楼, 南侧毗邻另一个在挖基坑。以该车站基坑开挖为背景, 通过分析基坑的实测数据, 重点研究基坑在此特殊工况下其南北两侧围护墙水平位移和地表沉降的差异以及建筑物沉降和立柱沉降。分析实测数据可得: 北侧围护墙水平位移和地表沉降均大于南侧, 且常常超过变形报警值; 北侧坑壁上的主动土压力大于南侧坑壁所受主动土压力, 又由于周边卸载导致南侧墙底产生被动土压力, 使得其向坑外偏移; 北侧坑壁土体最大水平蠕变率和最大地表沉降蠕变率均略大于南侧; 周边高楼沉降以及立柱沉降均在报警值以内, 其中高楼沉降均匀, 而由于南侧的开挖卸载, 立柱的隆起也不明显。

关键词: 深基坑; 监测数据; 围护墙; 水平位移; 沉降

中图分类号: TU47 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-7716(2021)07-0276-05

0 引 言

在市政工程建设过程中, 深基坑因其开挖过程的高风险和高难度特点, 常常带来极大的安全隐患, 因此, 深基坑的开挖监测分析对保障其安全性具有重要的意义^[1-2]。已有许多学者对临近超载或基坑周围有开挖卸载的深基坑进行了监测分析, 并总结了相应的规律^[3-8]。但是现有文献中学者们大多只对临近超载或仅临近卸载的基坑开挖进行监测分析研究, 但并未遇到既邻近超载又临近卸载的深基坑开挖工况。因此有必要作进一步深入研究。

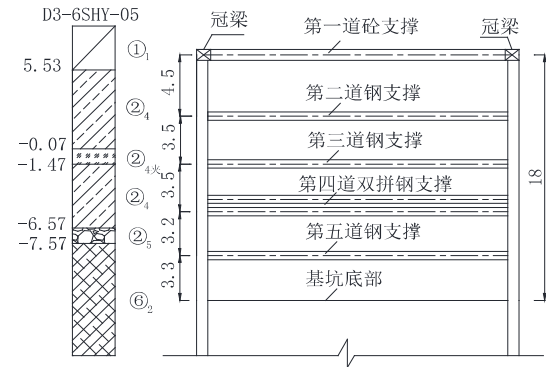
本文以某地铁车站深基坑开挖为背景进行研究, 该地铁车站深基坑标准段北侧临近高楼, 南侧临近在挖恒大基坑。通过对其进行监测分析, 研究基坑在一侧超载以及一侧卸载特殊工况下, 其两侧的沉降与变形特性的不同, 以及和普通基坑(指周边既无超载也无卸载的基坑)之间的差异并得出相应的变化规律以及总结两侧存在区别的具体原因。

1 工程概况及监测布置

1.1 工程概况

本工程主体结构总长 472.4 m, 端头井宽 25.4 m, 标准段宽 21.3 m。该基坑采用明挖顺筑法施工, 侧墙为地下连续墙与内衬墙组合的复合墙。连续墙厚 0.8 m, 插入比介于 0.79 ~ 1.07 之间。其标准段开挖

深度为 18 m, 具体支撑设置见图 1。



详勘测得少量承压水水位埋深 4.30 m, 水位年变幅 1~3 m, 且对工程影响小。

该地铁车站基坑西侧靠近河流, 东侧分布有三条管线, 后期将要改迁。本文重点讨论的标准段, 其北侧分布新建的采用桩基础的高层住宅楼, 临近基坑有 4~6 号楼等, 住宅楼在车站基坑开挖前完成了回填工作; 南侧靠近恒大基坑, 开挖深度介于 13~19.35 m 之间, 在车站深基坑的开挖过程中, 恒大基坑第二层土方开挖结束, 坑底深度为 10 m, 且还未架设第二道支撑。该地铁站深基坑周边环境见图 2~图 4。由于车站的标准段开挖与恒大基坑同时进行, 而且北侧临近高楼, 因此该段的监测分析至关重要。

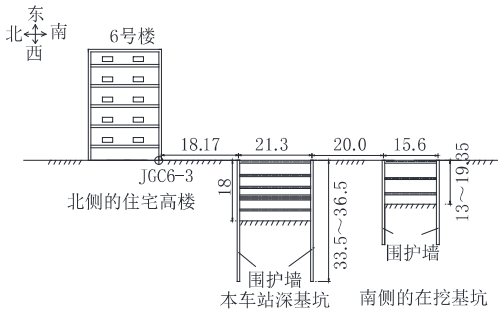


图 2 基坑标准段 19-22 轴剖面示意图(单位:m)



图 3 基坑标准段北侧临近高楼示意图



图 4 基坑标准段南侧临近在建基坑示意图

2.2 基坑监测项目及测点布置

本文研究的主要监测项目内容包括:(1)围护墙水平位移;(2)土体水平位移;(3)周边建筑物沉降;(4)地表沉降;(5)立柱沉降。对位于在建基坑与住宅楼间的该车站深基坑, 因为标准段 19-22 轴相比其

他轴段, 其南北侧更加靠近恒大基坑以及高楼, 且高楼回填土具有一定的时间效应, 对于该工况而言最具有代表性, 因此本文选择对 19-22 轴段间的监测数据进行分析。各项目测点以及累计变形报警值统计见表 2, 测点布置见图 5, 且各工况开挖情况见表 3。

表 2 各项目测点以及累计变形报警值统计表

位置	项目				
	围护墙水平位移	土体水平位移	建筑物沉降	地表沉降	立柱沉降
测点布置区间	XY34	TST26	JGC6-1		
	XY35	TST27	JGC6-2	CJ36-1	
	XY36	TST28	JGC6-3	CJ36-2	
	XY37	TST29	JGC6-4	CJ36-3	LZ14
	XY38	TST30			LZ15
	XY17	TST8			LZ16
	XY18	TST9			
	XY19	TST10	—	CJ19-1	
	XY20	TST11			
	XY21	TST12			
累计变形报警值/mm	42	42	20	25	20

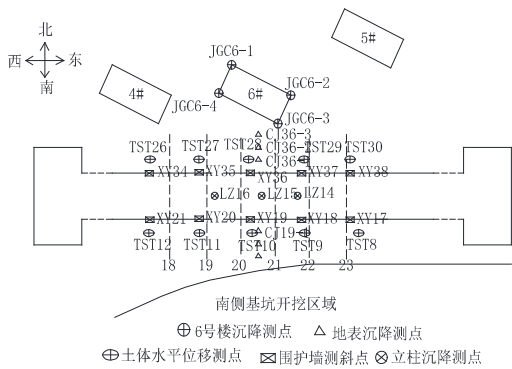


图 5 标准段 19-22 轴测点布置平面图

表 3 各级开挖工况及时间节点

工况	开挖深度/m	时间	备注
1	6	2017.06.12	
2	9	2017.07.25	标准段的开挖是从标准段东西两端
3	16	2017.09.27	分别向 19-22 轴方向进行的。
4	18	2017.10.18	

表 2 中, 高楼测点距离北侧围护墙依次为 44.61 m、27.57 m、18.17 m 和 33.62 m; 北侧地表沉降测点距离坑壁依次为 2 m、6 m 和 11 m; 南侧地表沉降测点距离坑壁为 2 m; 围护墙水平位移测点重点分析 6 号楼所对北侧测点 XY35、XY36 和 XY37 以及南侧测点 XY18、XY19 和 XY20。

3 基坑开挖变形性状分析

3.1 南侧和北侧围护墙水平位移对比分析

图 6 和图 7 分别为南北两侧围护墙测斜点在不

同开挖工况下的监测数据图。图中围护墙向坑内位移为正,反之为负。

如图6和图7所示,随着基坑不断开挖,南北侧围护墙向坑内发生水平位移,开挖越深,位移越大,围护墙位移曲线呈现“中间大,两端小”的典型“膨胀”线型,其中北侧每级曲线变化趋势吻合较好,南侧则较差。北侧测点测得的最大水平位移对应深度

均在17 m左右,而南侧测点XY18-20测得的最大水平位移对应深度依次为15 m、16 m和18 m,可见南侧测点累计最大水平位移无明显对应统一深度。由上可知,邻近卸载和超载的南北两侧墙体的变形并不对称,对应的最大位移深度也不统一。且南侧坑底围护墙底部有向坑外偏移的趋势,而北侧并无此现象。

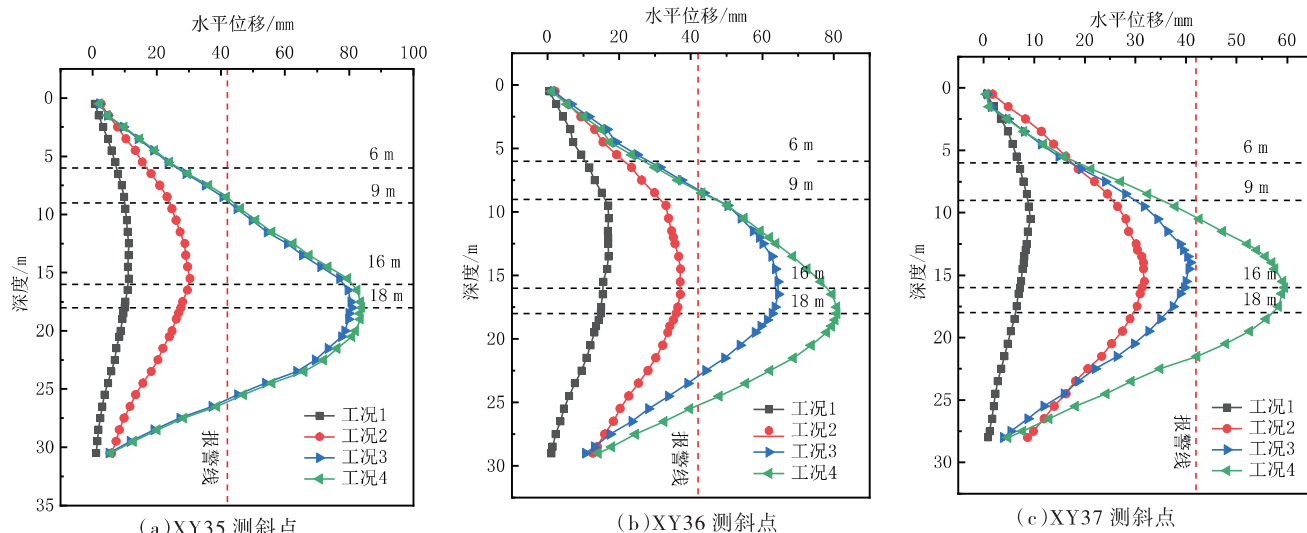


图6 北侧围护墙测点水平位移—深度关系图

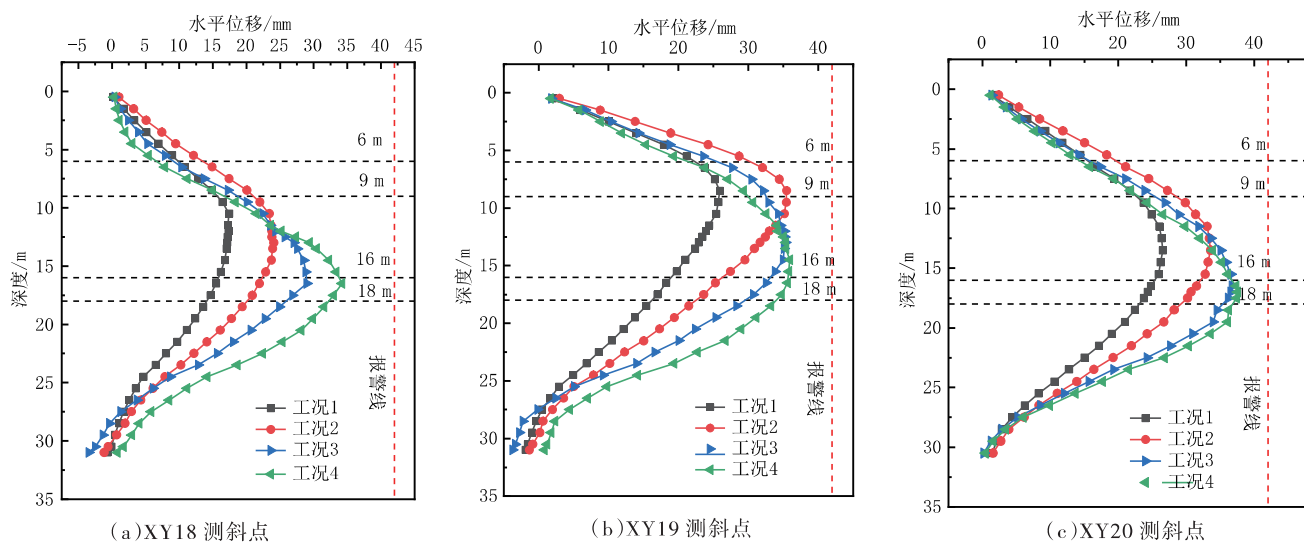


图7 南侧围护墙测点水平位移—深度关系图

丁智等^[9]收集浙江37个软土深基坑实例,研究表明最大水平位移与开挖深度呈线性关系。本基坑最大水平位移随开挖深度变化见图8,可发现前三级开挖基本符合线性关系,但最后一级开挖的最大水平位移增量有部分明显的突增。且如图6所示,当开挖深度至16 m和18 m时,深度在10~20 m的北侧围护墙累计水平位移普遍超过了警戒值42 mm,而邻近在挖基坑的南侧均没有超过警戒值。

造成该南北围护墙水平位移差异的原因有以下

几点:基坑在一侧超载以及一侧卸载的工况下,南北围护墙所受主动土压力大小以及计算合力作用深度存在差别,且北侧高楼的回填土具有一定的时间效应,因此导致南北两侧围护墙变形以及最大水平位移对应深度不同;南侧在挖基坑支撑设置与本基坑支撑设置相交错,XY18-20各测点所在截面一定区域位置,两基坑的支撑在纵向距离内存在差异,导致南侧最大水平位移对应深度也各异;北侧坑壁上的主动土压力大于南侧坑壁所受主动土压力,又由于

周边卸载导致南侧墙底产生被动土压力,使得其向坑外偏移;在第四级开挖过程中,施工方未合理安排施工进度,基坑暴露时间太长,导致基坑的时空效应加剧,因此在图8中折线出现明显拐点。

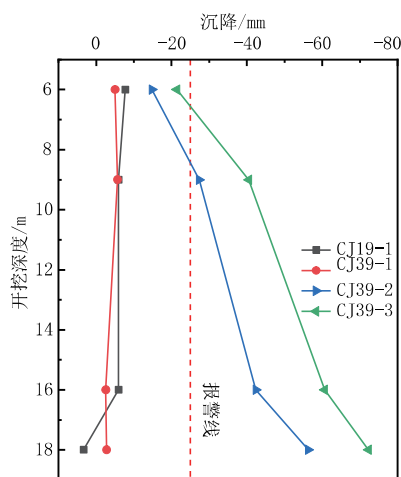


图8 各测斜点最大水平位移随开挖深度变化图

为较好应对此类问题,应充分了解和评估周边环境,在设计和施工上做好调整:(1)针对北侧高楼,本基坑需提高第四道双拼钢支撑的整体刚度;(2)在施工进度上应与南边在挖恒大基坑施工进度充分协调,更好地合理安排开挖进度,减少基坑暴露时间,降低基坑的时空效应;(3)建议恒大基坑靠近本车站基坑的一侧,加强第二、三道支撑的整体刚度,并将原先计划的局部区域混凝土板结构改成全区域的混凝土板结构,以便于在基坑开挖期间有足够的受力能力以及良好的整体刚度;(4)基坑底部位于⑥₂淤泥质粉质黏土夹粉土层中,该土层为微不透水性土层,属于弱富水性,所以在开挖过程中要做好排水工作来减小水土压力。

3.2 南侧和北侧地表沉降对比及分析

图9为地表沉降测点的监测数据随开挖深度变化图。图中地表发生沉降为负值,隆起为正值。由图9可见,对比同距坑壁2m的CJ39-1和CJ19-1,南侧土体后期有隆起现象。开挖至后期时,CJ39-2和CJ39-3处地表沉降均超过了报警值,最后一级开挖过程中,两处地表沉降折线明显加快上升。

首先,邻近坑壁的超载与卸载是造成南北沉降差异的主要原因;其次,在开挖过程中,附近有大型钢材堆积和大型工程车持续碾压,如图3所示;最后,最后一级开挖时基坑暴露时间过长。因此在施工过程中,需严格控制场地,防止临时堆载以及循环荷载对沉降造成太大影响。

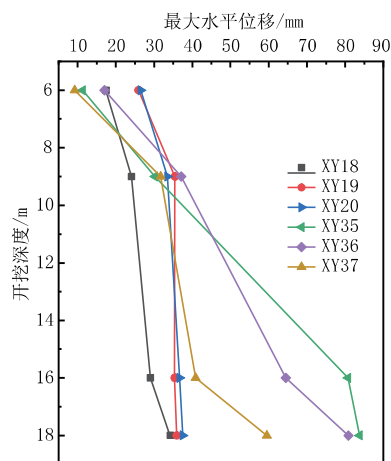


图9 地表沉降随开挖深度变化图

3.3 南北两侧蠕变对比分析

土体的固结和蠕变是造成基坑在开挖空隙期其土体水平位移以及地表沉降继续增大的主要原因。应宏伟等^[10]通过对软黏土深基坑的开挖时间效应进行有限元模拟,分析可知在软黏土基坑的开挖空隙期间,上层土体的开挖卸载会导致超静负孔压的消散,进而导致基坑坑壁土体继续水平位移以及地表土体继续轻微的回缩。由于本基坑的超静负孔压消散不明显,且基坑开挖的空隙期较短,所以在此处忽略土体固结的影响。

据此,将基坑开挖空隙期的坑壁土体水平位移增量和地表沉降定义为土体水平蠕变和地表沉降蠕变。土体水平位移最大蠕变率 α 和地表最大沉降蠕变率 μ 表示为:

$$\alpha = \Delta / T \quad (2)$$

$$\mu = \nabla / T \quad (3)$$

式中: Δ 和 ∇ 定义为基坑开挖空隙期,土体最大水平位移增量和地表土体最大沉降增量; T 为空隙期时间间隔。由于6m的开挖深度较浅,蠕变效应不明显,则此处不讨论该深度的土体蠕变。

3.3.1 南北两侧土体水平蠕变对比分析

图10为坑壁土体最大水平蠕变速率随开挖深度分布图。从图中可看出,北侧坑壁土体最大蠕变率明显大于南侧,且开挖深度越深,两侧差距越明显。对于普通的基坑开挖,Ou等^[14]和应宏伟等^[15]总结的最大水平蠕变速率介于0.1~0.6 mm/d和0.15~0.76 mm/d之间。对于一侧超载一侧卸载的本基坑,北侧的最大蠕变率介于0.1~0.65 mm/d之间,南侧的最大蠕变率介于0~0.2 mm/d之间,可见该基坑临近超载的北侧坑壁土体最大蠕变速率与普通基坑相当,而临近卸载的南侧则比其略小。

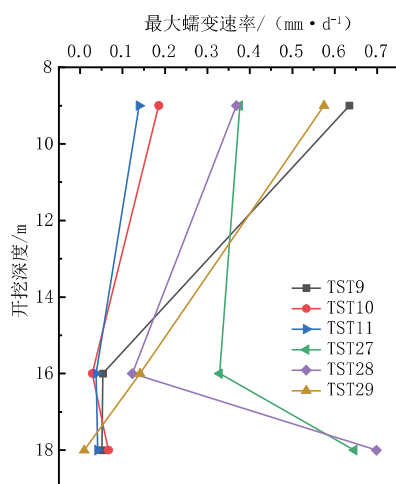


图 10 坑壁土体最大水平蠕变速率随开挖深度分布图

3.3.2 南北两侧地表沉降蠕变对比分析

图 11 为地表最大沉降蠕变速率随开挖深度分布图。对于普通的基坑开挖, Ou 等^[14]和应宏伟等^[15]总结的最大沉降蠕变速率介于 0.1~0.4 mm/d 和 0.1~0.6 mm/d 之间。而本基坑北侧地表的最大沉降蠕变率介于 0.05~0.56 mm/d 之间, 南侧地表的最大沉降蠕变率介于 0.10~0.44 mm/d 之间, 可见该基坑临近超载的北侧和临近卸载的南侧地表沉降最大蠕变速率均与普通基坑相当, 但北侧地表最大蠕变率略大于南侧地表, 且开挖深度越大, 两侧的差距也越大。

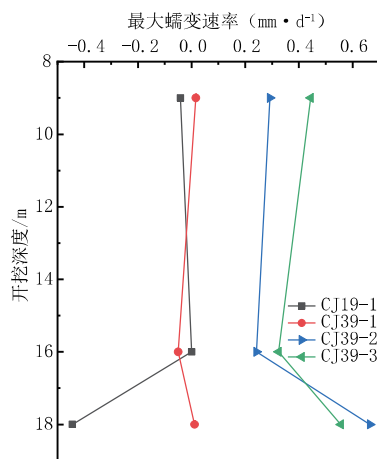


图 11 地表最大沉降蠕变速率随开挖深度分布图

根据以上本基坑南北侧的蠕变对比以及与普通基坑的对比, 形成以上差别主要有以下两个原因: (1) 本基坑北侧邻近新建住宅高楼, 南侧邻近基坑卸载; (2) 北侧地表常有大型工程车辆持续碾压, 在此循环荷载作用下也会加剧该侧的蠕变效应。对此, 在基坑开挖过程中, 尤其对于此类“上硬下软”的土层, 其抗剪强度弱, 压缩性大, 需加强支撑刚度, 减少地表超载以及防止临近地表循环荷载的作用; 在开挖邻近结束, 更要及时浇筑垫层和底板。

3.4 周边建筑物沉降和立柱沉降分析

图 12 为 6 号建筑四个沉降测点的监测数据随开挖深度变化图, 其中沉降为负。如图 12 所示, 随着基坑开挖的进行, 建筑物沉降不断增大, 且距离基坑越近的位置沉降量越大, 但各测点的沉降量差距不大, 且均未超过警戒值 20 mm, 对整个建筑物影响较小。最后一级开挖过程中, 建筑物沉降量略微增加加快, 原因与上文分析相同。

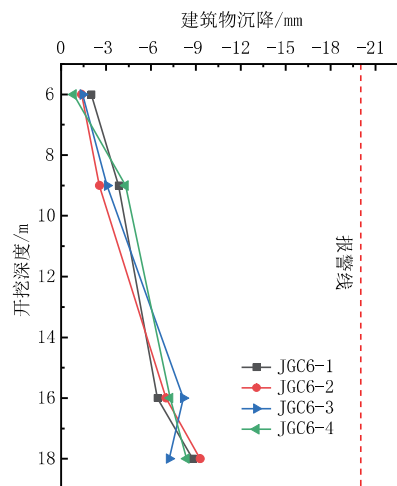


图 12 周边建筑物沉降 - 开挖深度关系曲线图

图 13 为立柱沉降测点测得的监测数据随时间的变化图, 其中, 立柱抬升为正值, 下沉为负值。如图所示, 随着基坑的不断开挖, 立柱沉降测点测得均为正值, 此表现为基底不断隆起。基坑开挖得越深, 基底隆起越明显, 但均未超过立柱沉降警戒值 20 mm, 这是由于该车站基坑南侧存在一个在挖基坑, 它的存在对本基坑有一定的卸载作用。10 月 18 号(开挖至 18 m)后, 基底隆起开始减小, 是因为基坑底部铺设了垫层和底板的缘故。

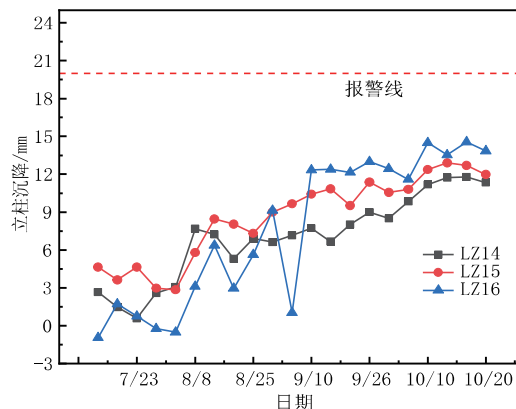


图 13 立柱沉降随时间变化图

4 结 论

(1) 该基坑南北两侧的围护墙水平位移和地表沉降变形并不对称统一。由于基坑一侧邻近超载(新建

(下转第 304 页)

通过定期监测对比桥梁东半幅南北两侧桥接坡沉降情况,对数据分析对比后可知,采用地聚合物注浆工艺对桥接坡进行加固的南侧桥头,注浆加固3个月、6个月、12个月和18个月后的沉降幅度均明显低于北侧桥头接坡。

采用地聚合物注浆加固工艺进行加固补强的桥梁南侧接坡,3个月沉降幅度在0~1 mm,半年后各点位沉降幅度在0.5~3 mm,12个月后各点位沉降幅度在1~5 mm,18个月后各点位沉降幅度在3~7 mm。未注浆加固的北侧接坡,3个月沉降幅度在2~5 mm,半年后各点位沉降幅度在4.5~8.5 mm,12个月后各点位沉降幅度在7~14 mm,18个月后各点位沉降幅度在12~18 mm。地聚合物注浆加固工艺大幅度延缓了该桥桥接坡软土路基的沉降。

4.2 社会价值与意义

地聚合物注浆加固技术,在桥接坡沉降治理工程的应用实施具有重大的社会意义,具体如下:

(1)材料理化性能好,绿色环保。地聚合物材料具备良好的流动性和渗透性,具有较高的早期和后期强度,耐腐蚀、耐久性较好。地聚合物制备工艺简单,低能耗、低排放、减轻环境的负荷。

(2)非开挖,无障碍施工,交通影响小。采用非开挖条件下的路面强度补强技术能够减少交通中断的时间,对桥梁和接坡主体结构影响极小,施工后养护

约1 d即可开放交通,减小社会影响。

(3)施工方便,易于控制。施工设备体积较小,施工便捷,加固深度可调节,有利于施工技术人员的精细化管理和质量把控。

(4)施工造价费用低,提升交通安全性。由于注浆工艺成熟,从技术经济角度比较,造价大幅降低。大幅度减缓土基沉降和桥头跳车病害的出现,提升行车安全,降低桥接坡维修养护的频率。

目前,行业内对于“桥头跳车”仍没有有效根治的办法。本次桥接坡注浆加固工程案例的实施和效果,以及所采用的评估监测方式,对地聚合物注浆加固工艺在江浙沪地区“桥头跳车”病害治理项目的应用具有良好的参考与借鉴价值。

参考文献:

- [1] 李明杰.桥头跳车病害分析及防治技术研究[D].西安:长安大学,2004.
- [2] 邓清泉.公路桥头跳车原因分析及防治措施研究[J].绿色环保建材,2019(10):112.
- [3] 张书政,龚克成.地聚合物[J].材料科学与工程学报,2003,21(3):431-436.
- [4] 季晓丽,陈荣,钟世云.地聚合物注浆材料在治理桥头跳车病害中的应用[J].华东公路,2010(2):52-55.
- [5] 李福利.道桥施工中常见的技术问题及解决措施[J].中国科技期刊数据库工业C,2015(15):114-116.

(上接第280页)

住宅高楼)、一侧邻近开挖卸载,且北侧高楼的回填土具有一定的时间效应,其加载侧变形均比卸载侧明显,且普遍存在超过警戒值。因此,加强支撑刚度、减少和控制额外超载和合理安排施工进度具有重要意义。另外,建议扩大加载侧的地表沉降监测范围。

(2)对于坑壁土体水平蠕变和地表沉降蠕变,加载侧的最大蠕变率均略大于卸载侧。除了北侧的高楼荷载,车辆循环荷载也加剧了蠕变效应。

(3)本基坑的高楼沉降以及立柱沉降均在报警值以内,且高楼沉降均匀,可见本基坑开挖对高楼的沉降影响较小。而且由于南侧在挖恒大基坑的存在,对本基坑的坑底有一定的卸载作用,使得立柱隆起不明显。

参考文献:

- [1] 董桂红,刘有军,郭海力.昆明市某深基坑变形监测实例分析[J].水利与建筑工程学报,2019,17(4):76-81.

- [2] 李淑,张顶立,邵运达.复杂环境下北京地铁车站深基坑变形时空规律研究[J].北京交通大学学报,2019,43(4):29-36.
- [3] 刘波.上海陆家嘴地区超深大基坑邻近地层变形的实测分析[J].岩土工程学报,2018,40(10):1950-1958.
- [4] 吴昌将,孙召花,赖允瑾,等.软土地区地下连续墙深大基坑的变形性状研究[J].岩土力学,2018,39(增刊2):246-253.
- [5] 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.
- [6] 陈萍,王卫东,丁建峰.相邻超大深基坑同步开挖的设计与实践[J].岩土工程学报,2013,35(增刊2):555-558.
- [7] 丁智,王达,王金艳,等.浙江地区软土深基坑变形特点及预测分析[J].岩土力学,2015,36(增刊1):506-512.
- [8] 应宏伟,谢康和,潘秋元,等.软黏土深基坑开挖时间效应的有限元分析[J].计算力学学报,2000,17(3):349-354.
- [9] OU C Y, LIAO J T, LIN H D. Performance of diaphragm wall constructed using the top-down method [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 1998, 124(9):798-808.
- [10] 应宏伟,孙威,吕蒙军,等.复杂环境下某深厚软土基坑的实测性状研究[J].岩土工程学报,2014,36(增刊2):424-430.