

近距离管道基坑对运营地铁高架结构的影响

季凡凡, 李亚明

(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津市 300202)

摘要:超近距离基坑开挖通常会导致紧邻的地铁高架桥基础产生一定的变形,但目前超近距离市政管道基坑开挖对地铁高架桥影响的研究较少。针对天津地铁1号线某高架桥特别保护区内市政管道基坑展开工程实测,结合Plaxis3D有限元分析软件建立三维数值模型,对比分析了超近距离市政管道基坑对运营地铁高架桥墩的影响。分析结果表明:在距离桥梁承台最近位置(距离1 m)处,通过采用水泥土搅拌桩加固的措施,有效控制了基坑引起的水平变形,桥墩最大水平变形为0.7 mm,满足轨道交通结构允许位移量20 mm的要求。

关键词:管道沟槽基坑;地铁高架桥;桥墩;特别保护区

中图分类号: TU990.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)04-0228-03

0 引言

敷设排水管道是解决城市建成区道路积水的重要措施,形成排水管道系统,能极大地增强城市排水能力。然而,城市建成区中既有运营的轨道交通结构较多,城市人口越来越密集,为缓解交通压力,要在现有轨道交通基础上修建新的轨道交通结构,导致排水管道不得不在轨道交通结构附近实施切改及复位。

目前国内大量的研究工作侧重于深大基坑开挖对邻近周边环境的影响,一般距离范围都在轨道交通特别保护区之外^[1-6],而关于超近距离(轨道交通特别保护区以内,以下简称为“超近距离”)地铁的基坑施工对邻近地铁影响的研究较少^[7]。李琳等人^[1]重点研究了多支撑基坑开挖对邻近桩基位移、剪力和弯矩的影响。李龙剑等人^[2]采用弹塑性有限元方法模拟无支撑基坑开挖对邻近高架基础的影响,并分析了不同加固方案对控制桥梁桩基变形的作用;苗笛^[3]应用数值模拟软件ABAQUS计算得到了因基坑开挖导致的桥梁承台桩基础的水平位移和竖向位移;王升^[4]以北京市区高铁桥梁附近的调蓄池基坑施工为研究背景,探讨了深基坑施工对铁路运营造成的影响;曹依雯^[5]等人以上海某工程为例,通过对工程的数值模拟分析,研究大口径排水管道沟槽基坑开挖对既有轨道交通隧道结构影响;马宁^[6]通过三维有限元模拟和二维有限元模拟进行对比,对类似工

程的数值模拟进行计算方法的指导;张子新^[7]等人依托上海某基坑工程,采用精细化的三维数值分析、室内试验和现场实测等方法,对近距开挖卸荷引起的高架桥墩响应进行研究。本文研究超近距离地铁的基坑施工对既有地铁高架桥基础变形的影响,一方面可以补充超近距离地铁基坑对邻近高架的影响研究的成果,另一方面可以为以后相似工程提供指导和参考。

结合天津市地铁1号线某高架桥特别保护区内的管道沟槽基坑工程实测,利用Plaxis3D有限元分析软件建立桥桩基础及管道沟槽基坑的三维数值模型,分析基坑开挖对高架桥基础的影响,并对高架桥特别保护区内的管道沟槽基坑施工提出建议。

1 工程案例

1.1 工程概况

天津市某市政管道基坑工程北侧为已建地铁车站,南侧为运营地铁高架桥梁,如图1所示,沟槽基坑北侧距离现状已建10号线地铁站体最近约2.3 m,距离南侧1号线运营高架结构最近1 m。基坑开挖深度约为3.8~4.3 m,顶部放坡1 m,一侧采用Q295bZ-400 mm×170 mm拉森钢板桩支护,桩长6 m,另一侧利用已建地铁的地连墙,坑底采用搅拌桩加固2.5 m,基坑呈长条形,宽度为2.5~3.7 m,长度为180 m。

1.2 场地工程地质条件

工程场地较为平整,土层分布相对稳定,基于岩土工程勘察结果,得到该基坑工程范围内的土层分布及岩性特征,沿深度方向自上而下典型土层的主要物理力学参数见表1。基坑深度范围内主要为杂填土、粉质黏土等,各土层按正常固结土处理,不考虑超固结性。

收稿日期: 2021-09-16

作者简介: 季凡凡(1992—),女,硕士,从事岩土工程设计工作。

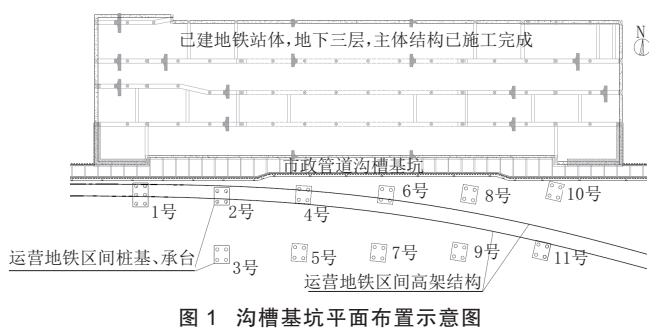


图 1 沟槽基坑平面布置示意图

1.3 基坑与运营高架桥之间的位置关系

基坑支护桩与高架桥桩基之间的最小距离约 2.1 m, 距离承台最小距离约 1.3 m, 位于地铁特保护区内, 图 2 所示为 10 号承台处基坑与高架桥梁之间的位置关系。既有地铁运营高架区间桩基采用直径为 1 m 的钻孔灌注桩, 承台埋深约 2.8 m, 承台高 1.8 m, 桩基长度约 50 m。

表 1 典型土层物理力学参数

地层编号	岩性	天然重度 ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	孔隙比 e	压缩模量 E_{s1-2} /MPa	直剪快剪		直剪固结快剪		静止侧压力 系数 K_0
					$\varphi_q/(\circ)$	C_q/kPa	$\varphi c/(\circ)$	Cc/kPa	
1-1	人工填土	18	1.05	3.0	10.0	8.0	12.0	10.0	0.65
4-2	粉质黏土	19.5	0.814	4.59	10.3	18.4	15.8	30.0	0.64
6-2	粉质黏土	19	0.934	4.35	5.2	13.2	11.0	23.6	0.65
6-8	淤泥质黏土	17.7	1.266	2.67	2.6	10.1	—	—	0.8

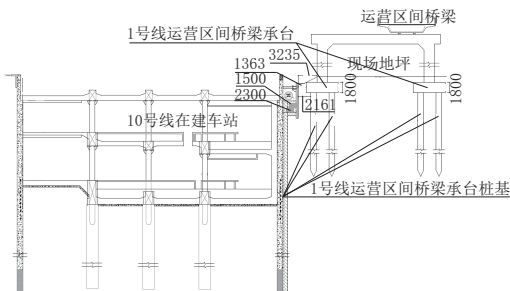


图 2 沟槽基坑与 1 号线运营区间的相对位置关系图(单位:mm)

1.4 工程实测结果

JGS13 为距离基坑支护桩最近处的 10 号桥墩监测点, JGS11 为 8 号桥墩监测点, ZQS16 为 10 号桥墩附近的桩顶位移监测点, 监测数据如图 3 和图 4 所示。该段基坑开挖从 4 月 1 日开始, 至 4 月 9 日施工结束。4 月 1 日监测数据为在建地铁车站对桥墩变形影响的实测值, 作为基坑工程初始变形数据。从图 3 可以看出, 桥墩在整个沟槽基坑的施工过程中, 变形不超过 0.6 mm, 整体变形较小。

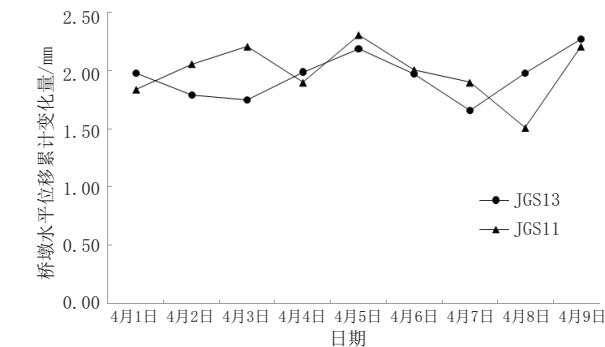


图 3 不同时间 8、10 号桥墩的水平位移累计变化值(单位:mm)

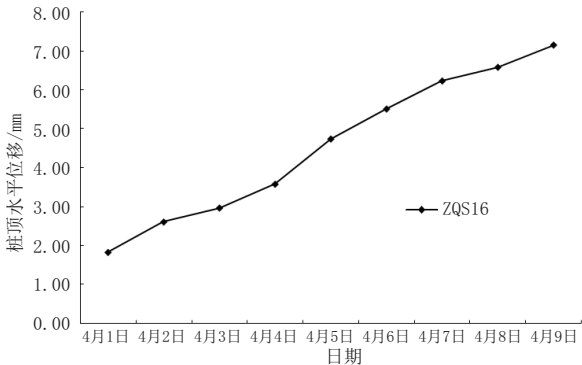


图 4 不同日期 10 号桥墩附近桩顶水平位移
累计变化值(单位:mm)

工况进行模拟, 采用 Plaxis3D 有限元软件建立如图 5 所示的有限元模型, X 方向取 310 m, Y 方向取 200 m, Z 方向(厚度方向)取 50 m, 以确保分析结果不受边界约束的影响, 基坑深 4.3 m, 围护结构后方土体长 30 m。整体三维模型采用混合单元组成, 即同时具有四面体单元和六面体单元, 可以很好的保障单元质量, 以确保模型计算的收敛。模型底部的约束条件为水平、竖直方向都固定; 模型两侧约束条件为水平方向固定, 竖直方向自由; 地表面自由。

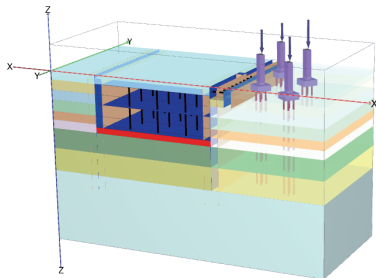


图 5 有限元数值模型图

2 三维有限元数值模拟计算

2.1 有限元数值模型尺寸及边界条件

根据基坑工程实际, 选取 10 号桥墩附近的基坑

2.2 模型计算参数

土体材料模型选择以莫尔 - 库仑屈服准则为破坏标准的小应变土体硬化模型(HSS), 排水类型为不

排水(A),模型范围内共9层土。基坑支护桩用板单元模拟,桩土接触采用 interface 单元;运营桥梁桩基采用 embedded 桩,承台及桥墩采用实体单元模拟;车站结构地连墙、顶板、中板、底板均采用板单元模拟,结构柱采用梁单元模拟。土体材料参数详见表 2。

2.3 施工过程模拟

首先对土体模型进行初始平衡计算,由于初始土体表面平整,在 PLAXIS 软件中,采用 K_0 计算过程进行平衡即可。初始应力平衡结束后,激活位移边界条件、桩基承台桥墩及地连墙、车站板及工程桩作为

表 2 土体基本参数表

层号	土层厚度 /m	重度 /($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	E_{50}^{ref} /($\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$)	$E_{\text{ed}}^{\text{ref}}$ /($\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$)	$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$ /($\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$)	G_0^{ref} /($\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$)	黏聚力 c/kPa	内摩擦角 /($^{\circ}$)
1-1 杂填土	3.5	16	2	2	16	48	8	10
6-2 粉质黏土	2.5	19.0	4.75	4.75	28.5	85.5	13.2	5.2
6-8 淤泥质黏土	4	17.7	3	3	24	72	10.1	2.6
6-9 淤泥质粉质黏土	4	18.3	3.7	3.7	29.6	88.8	10.3	3.1
6-3 粉土	3	19.6	9	9	54	162	25.2	25.2
8-4 粉砂	3	21.7	12.5	12.5	75	225	29	17.2
9-2 粉质黏土	7	20.2	5.5	5.5	44	132	26.7	14.3
9-4 粉砂	8	20.2	12.5	12.5	75	225	20	33.4
11-2 粉质黏土	15	20.2	6.2	6.2	49.6	148.8	26.4	15.1

初始条件,然后激活沟槽基坑支护桩及支撑,进行最后分步开挖基坑计算。

具体计算步骤如下:

第一步, K_0 过程平衡计算;

第二步,激活位移边界条件、桩基、承台、桥墩及桥墩上荷载;

第三步,激活地连墙、车站板及工程桩、柱;

第四步,激活坑底搅拌桩加固、第一次放坡开挖,同时降水至坡底;

第五步,激活基坑钢板桩及桩土界面单元;

第六步,开挖第一层土并激活钢支撑;

第七步,降水至地面以下 4.3 m 处,第二次开挖至坑底。

3 有限元计算结果分析

3.1 有限元计算结果

位于沟槽开挖右侧 1 m 距离处的轨道交通桥梁结构是该次数值模拟分析中的重点、难点。根据数值模拟得到:基坑开挖至 4.3 m 后,基坑支护钢板桩的变形及 1 号线既有运营地铁桥梁的桥墩变形云图分别如图 6、7 所示,据图 6 可以分析得到,钢板桩顶最大水平位移为 7.43 mm,向坑内发生变形,根据图 7 可以得到,8 号桥墩最大水平位移为 0.72 mm,向坑内发生变形。

3.2 数值模拟与工程实测对比

桩顶最大水平位移为 7.43 mm,与监测结果 7.15 mm 接近,误差在 5%以内;同时,8 号桥墩最大

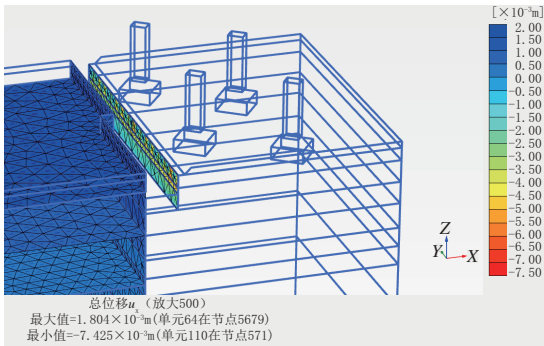


图 6 基坑支护桩开挖变形云图

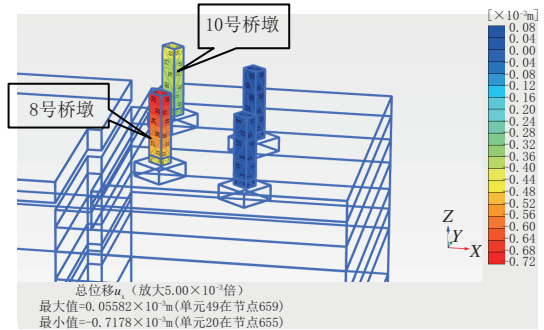


图 7 桥墩变形云图

水平位移为 0.72 mm,与监测结果 0.7 mm 较接近,误差在 5%以内,验证结果良好,说明对该工程的假定和选取的数值模拟计算条件、计算方法可靠。

4 结 语

本文中以天津市某超近既有地铁高架桥的市政管道基坑工程为例,通过有限元软件 Plaxis 3D 建立基坑开挖的三维有限元模型,分析研究了基坑开挖