

桥梁承台基坑开挖对临近桥梁结构影响研究

王建¹, 李众¹, 赵恺¹, 姚海川¹, 陈现鹏¹, 田德身¹, 郭屹², 赵鑫³

(1.北京市政建设集团有限责任公司,北京市 100079;2.北京市公联公路联络线有限责任公司,北京市 100081;

3.北京工业大学,北京市 100124)

摘要:近年来为解决城市交通拥堵问题,城市高架快速路网建设发展迅速同时桥梁近接施工工程日益增多,基坑开挖对临近既有桥梁的影响成为基坑施工关注的重要问题。利用 ABAQUS 有限元分析软件结合某新建桥梁上跨轨道交通桥梁工程案例,建立了二维数值分析模型,重点分析了新建桥梁承台基坑开挖支护对周边场地地表变形和既有桥梁结构变形的影响。研究表明:近接既有桥梁结构的新建桥梁承台基坑开挖施工对周边土层的影响主要原因是开挖施工过程引起地表沉降,地表沉降量在基坑两侧呈非对称分布;承台基坑开挖对既有桥梁的水平向和竖向变形都在安全可控范围内,主要影响既有桥梁的水平向变形。

关键词:承台基础;近接施工;既有桥梁结构;基坑开挖和支护

中图分类号:U445

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2024)09-0124-04

0 引言

随着城市交通网络的更新、发展和建设的需求越来越高,基坑开挖近接既有桥梁结构施工技术在近年来城市更新建设中得到了快速发展。基坑开挖对既有桥梁结构的影响成为了基坑施工中重点的问题,基坑开挖近接桥梁施工技术重点关注基坑引起的土层变形以及对桥梁基础及上部结构的影响。

近些年来,国内外相关学者主要采用理论解析法、有限元数值法、模型实验法针对基坑开挖近接既有桥梁施工过程中对既有桥梁下部结构、上部结构和周边地表沉降的分析方法也做了相关研究,其中,Yu 等^[1]以实际工程为背景,通过建立三维数值模型,模拟了基坑开挖和地层注浆方法对周边桥梁基础和土层变形的影响。姜博^[2]根据实际工程案例分析了深基坑开挖对临近匝道桥的变形影响,并对深基坑开挖过程中桥梁主墩、桩基、桥面系和基坑护壁等进行了变形数据监测和分析。马宁^[3]通过三维和二维数值模拟相结合的方法研究了基坑开挖深度、基坑开挖宽度和基坑与既有桥梁的距离对桥梁的桩和墩水平侧移和竖向位移的影响。耿传飞^[4]采用数值模拟方法对新建桥梁施工全过程对既有桥梁的影响进

行了研究。部分学者针基坑开挖对桥梁下部桩基础的影响进行了研究^[5,6]。

随着城市地铁建设的,地铁基坑开挖对附近的既有桥梁研究成为了一个新的研究趋势,其中基坑深度逐渐增大,支护型式主要采用地连墙支护。杜志涛和王东坡^[7-9]分别针对地连墙支护的基坑开挖对临近桥梁的影响进行了研究。曾鹏晨^[10]以实际深基坑工程为背景,研究了基坑钢支撑支护、地连墙厚度和钢支撑尺寸三个围护参数对既有桥梁桩基础的影响研究。

本文根据快速路桥梁承台基坑开挖近接既有高架桥实际工程进行了有限元数值模拟,基于新建桥梁承台基坑开挖和支护过程,模拟承台基坑开挖和支护过程中对地表变形和既有桥梁结构的影响,分析了基坑开挖施工可能引起的地表变形,并以基坑支护型式作为参数,对承台基坑开挖施工过程中引起的地表沉降进行了研究,以期结论可以为本工程设计施工提供参考。

1 工程概况

随着我国城市建设发展和基础设施的日益完善,近接桥梁施工建设已经成为了日益关注的问题。为保证新建桥梁建设正常进行且不影响地铁线路正常运营的条件下,本项目拟采用新建桥梁上跨的方式上跨既有地铁高架桥。本项目示意图 1,位于地铁 8 号线与北清路相交的重要节点。北清路主线上跨回昌东路采用连续钢-混叠合梁,桥宽 28 m,跨径组合为:

收稿日期:2023-08-01

作者简介:王建(1982—),男,本科,高级工程师,从事市政基础设施施工工作。

通信作者:赵鑫(1999—),男,硕士,从事基础设施工程抗震技术研究工作。电子信箱:zhaoxin9071@163.com

32 m+30 m,梁高 2.4 m,桥高 18 m。下部结构采用双悬壁 π 形墩,主线墩基础采用 6 棵桩径 1.5 m 桩+承台(10.5 m×6.5 m)。轨道交通 8 号线采用现浇混凝土箱梁,跨径组合为:30 m+42 m+42 m+30 m,桥宽 10.4 m,桥高约 8 m,桥梁净空从北向南为 5.70~5.50 m。近接施工示意图 2。

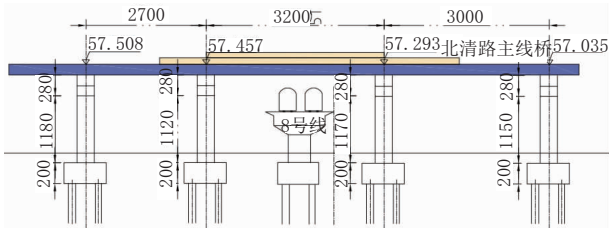
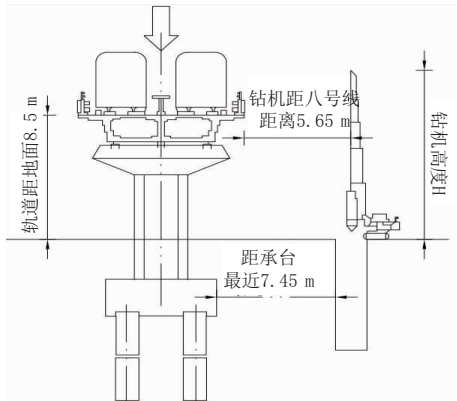


图 1 项目工程示意图(单位:mm)



(a) 桩基础连接开挖



(b) 钻孔灌注桩钢筋笼

图 2 桥梁承台和桩基础临近既有桥梁结构施工示意图

2 数值模型简介

2.1 承台基坑模型介绍

本项目以北清路上跨地铁 8 号线的上跨段为研究背景。采用有限元分析软件 ABAQUS 分析桩基础施工边坡开挖和支护型式对地表变形和既有桥梁结构的影响。本项目施工影响范围为模型计算左、右边界均按距离桩基础 3 倍以上考虑,考虑到桩基础作为深基础,具有很好的竖向承载能力,在数值分析模型中,对模型进行了适当简化,土层深度取值为 25.5 m,重点关注承台基坑开挖引起的地表变形和对上部桥梁结构的影响。因此本二维数值分析模型尺寸为 80 m×25.5 m,二维数值分析模型见图 3。桥梁承台距离地铁 8 号线承台最小距离 8.04 m,承

台埋深 3.5 m,地铁桥梁翼缘距北清路桥墩最小距离 7.36 m。高架桥桩基础采用钻孔灌注桩施工。

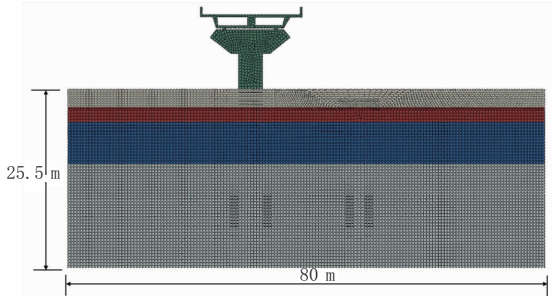


图 3 承台基坑施工二维分析模型

本模型采用“杀死”和“激活”单元的方法来模拟承台基坑开挖和钻孔灌注桩施工过程,即在承台基坑开挖前,通过“杀死”新建承台和桩基础单元,以模拟基坑开挖前的初始地应力场;通过“杀死”新建承台和桩基础单元位置处的土层单元,以模拟土层开挖;最后通过“激活”新建承台、边坡锚喷支护单元和桩基础单元来模拟承台基坑支护、桩基础和承台浇筑的过程。

本二维数值分析模型中的土体单元、承台基础和桩基础均采用四节点平面应变单元 CPE4R。为了保证计算精度和计算效率,桩基础横向被分为 3 个单元,沿深度方向的单元大小为 0.5 m,土体单元大小选取为 0.5 m,模型网格示意如图 4 所示。

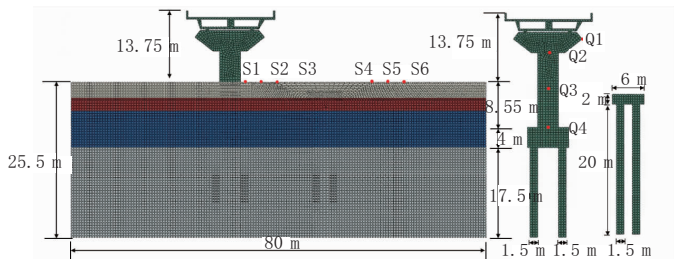


图 4 数值模型网格划分示意图

2.2 模型材料参数

参考场地岩土工程勘察报告,本工程区域主要人工杂填土,粉质黏土,粉土,黏土等四个主要土层。假定 4 种地层均为理想弹塑性材料,屈服准则采用满足摩尔-库仑准则。假定既有桥梁结构、新建承台基坑和桩基础均采用标号为 C30 混凝土,混凝土材料采用线弹性模型,具体参数见表 1。

2.3 施工步和边界条件

模拟既有桥梁近接承台基坑开挖施工模拟包括 3 个荷载分析步,分别为场地地应力平衡,既有桥梁的施工模拟和承台基坑开挖模拟分析步。在地应力平衡分析步中,其主要目的是得到场地的初始应力场并得到基坑开挖前的初始土层零变形场。在既有

表 1 模型材料物理力学参数

编号	名称	弹性模量 /MPa	泊松比	密度 /(kg·m ⁻³)	黏聚力 /kPa	摩擦角 /(°)	土层厚度 /m
土层 1	杂填土	6.1	0.3	1 800	10	25	3.0
土层 2	粉质黏土	7.2	0.3	1 910	12	28	2.5
土层 3	粉土	8.4	0.3	2 000	13	30	7.0
土层 4	黏土	8.4	0.3	2 000	14	32	17.5
桥梁结构	C30	30 000	0.2	2 500	—	—	—

桥梁的施工模拟中主要是模拟既有桥梁施工引起的土层变形和应力场,然后,在此基础上模拟承台基坑的开挖模拟。

在地应力平衡、既有桥梁施工模拟和承台开挖支护施工过程中,模型底部边界约束竖向和水平向位移,侧边界约束其水平向位移,模型顶面为自由边界条件。因既有桥梁顶部箱梁刚度较大,为简化分析将箱梁简化为刚体进行模拟分析。

3 结果分析

计算结果重点分析承台基坑开挖和支护过程中对地表变形和既有桥梁结构的影响。

3.1 初始地应力分析

图 5 为地应力平衡后土体的初始位移和应力场。从图 5 中可以看出,土体竖向位移在地应力平衡后很小,其最大值为 0.000 3 mm 左右。从土体的竖向应力场分布可以看出,地层应力基本是呈层状分布。由此可知,地应力平衡分析步很好的还原了开挖前土体的初始地应力状态。

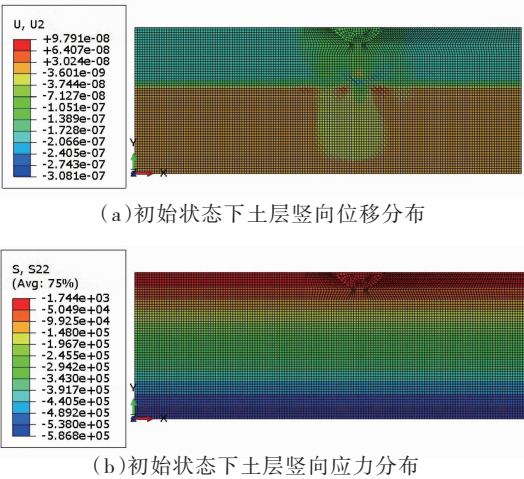


图 5 土体初始位移及应力场

3.2 承台基坑开挖对地表变形的影响

图 6 为承台基坑放坡开挖施工后的变形云图,由图中可以看出,承台基坑开挖后的影响范围主要集中在边坡附近土层和坡面附近。放坡开挖后,土层水平向位移从破面至两侧土层深处逐渐减小,土层

水平向位移最大为 5.34 mm,主要集中在坡脚位置。同时,土层竖向位移最大值为 28 mm,同样主要集中在坡脚位置。

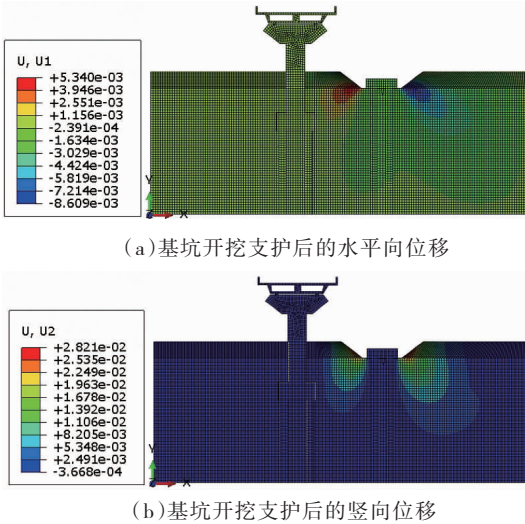


图 6 承台基坑开挖支护后的位移云图

承台基坑放坡开挖完成后,会安装锚杆和喷射混凝土进行锚喷支护施工,因此,本文对喷射混凝土对基坑边坡的影响进行分析,其中喷射混凝土厚度为 8 cm,其中基坑两侧土层的水平向和竖向位移曲线见图 7。由图 7(a)可知,基坑边坡锚喷支护后,土层水平变形主要集中在边坡土层内部,且边坡两侧土层内部水平向位移呈对称分布,水平向位移均为基坑方向,右侧边坡最大水平向位移为 6 mm,左侧边坡水平向位移为 4.8 mm。出现这样的区别是由于左侧土层中存在既有桥梁结构,限制了边坡左侧的土层水平向变形。同时由图 7(b)可知,边坡锚喷支护后的竖向位移显著小于锚喷支护前,这是由于锚喷支护限制了土层竖向变形使得土层竖向变形减小。基坑开挖后土体应力释放使得周围土体形成对基坑底部的挤压,造成了基坑底部的竖向位移。锚喷支护,限制了基坑土层变形,使得土层竖向位移显著减小。由此可见,锚喷支护可显著降低土层位移,实现对基坑和边坡的加固。

表 2 为 6 个地表变形监测点地表沉降值,由表中数据可以看出,基坑开挖前和基坑开挖支护后地

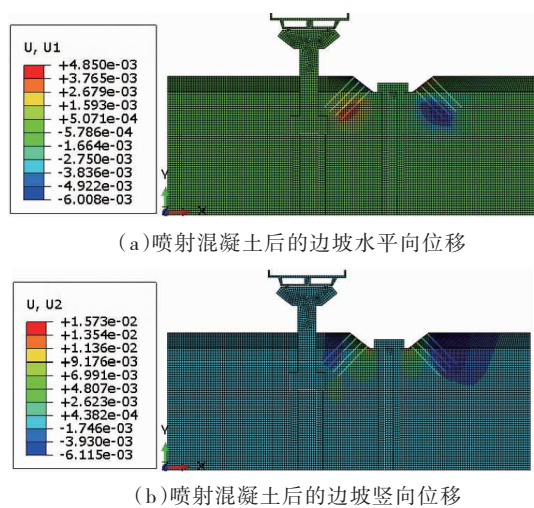


图 7 喷射混凝土支护下的边坡水平和竖向位移云图

表沉降规律为非对称分布, 基坑左侧沉降量小于基坑右侧沉降量, 这是由于基坑开挖前的地表沉降值是由既有桥梁施工引起的, 主要分布在基坑在左侧。基坑开挖引起地表沉降主要集中在基坑右侧, 这是由于基坑左侧临近桥梁基础, 由于桥梁基础的存在, 相当于起到土体加固的作用使得土层竖向沉降较小。

表 2 承台基坑开挖前后监测点的地表变形量 单位:mm						
位置	S1	S2	S3	S4	S5	S6
基坑开挖前	0.69	0.71	0.43	0.02	0.05	0.05
基坑开挖支护后	1.90	2.73	1.12	1.62	4.41	5.10

3.2 承台基坑开挖对地表变形的影响

为了研究既有桥梁一侧近接承台基坑开挖施工过程对既有桥梁侧向变形和沉降的影响研究, 本文在桥梁上部结构中选取了监测点来分析基坑开挖对既有桥梁结构变形的影响, 4 个监测点分别为 Q1、Q2、Q3 和 Q4。其中监测点位置分布见图 4。图 8 为基坑开挖支护后的引起既有桥梁结构位移云图。其中既有桥梁结构水平向位移云图最大为 0.4 mm, 集中在承台位置。竖向位移最大值为 0.9 mm, 主要集中在墩顶位置。

表 3 为桥梁基础各位置在基坑开挖中的水平向变形和竖向变形值, 由表中数据可以看出, 基坑开挖和支护过程中主要引发的是既有桥梁的水平向变形, 桥梁上部结构的水平向变形大于竖向变形。其中水平向变形分布规律是越靠近桥梁顶部其水平向变形越大, 顶部水平向最大变形值为 0.27 mm, 这是由于近接基坑开挖, 使得桥梁桩基础周边土层产生水平变形, 进而影响到桥梁上部结构。竖向变形分布规

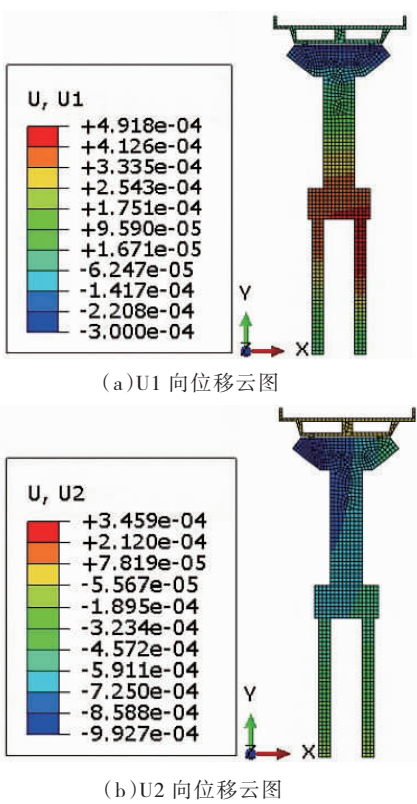


图 8 承台基坑施工引发的既有桥梁位移云图

律沿桥梁自上而下变化较小, 这是由于桥梁桩基础作为竖向主要受力基础, 桩基础承担竖向荷载, 近接基坑开挖对桩基础竖向变形影响很小, 使得桥梁上部结构竖向变形很小。

表 3 基坑开挖引起的既有桥梁结构监测变形量 单位:mm				
位置	Q1	Q2	Q3	Q4
水平向变形	0.27	0.26	0.22	0.25
竖向变形	0.01	0.01	0.03	0

4 结 语

本文根据某快速路高架桥基础开挖近接施工既有高架桥梁的实际工程案例, 采用通用有限元软件 ABAQUS 进行数值建模, 分析了各施工阶段时既有桥梁和地表变形, 并研究了基坑边坡支护对周边土层变形的影响, 由此得到以下结论:

- (1)近接既有桥梁承台基坑开挖会引起既有桥梁的变形和地表沉降, 但是既有桥梁的变形和地表沉降量都在安全可控范围内;
- (2)在近接既有桥梁的承台基坑开挖过程中引起地面沉降呈现出非对称分布规律, 临近既有桥梁侧的沉降量小, 主要原因是既有桥梁的基础起到了基坑侧土层加固的作用;
- (3)计算结果表明, 承台基坑开挖对近接既有桥梁上部结果变形的影响主要是水平向变形, 对其竖

(下转第 140 页)

4.2.3 隧道结构内力

通过分析施加条形基础自重及上部荷载的过程,得到桥梁桩基、现浇梁部施工以及桥梁完工后运营期间对隧道结构弯矩的影响。各工况下的隧道弯矩极值见表4,竖向位移极值云图见图10。

表4 各工况下的隧道弯矩极值

步骤	工况名称	弯矩极值/(kN·m)
1	地铁隧道施工	141.892
2	桩基成孔	140.897
3	桩基灌注	140.755
4	桥墩施工	140.747
5	桥梁吊装影响	140.888

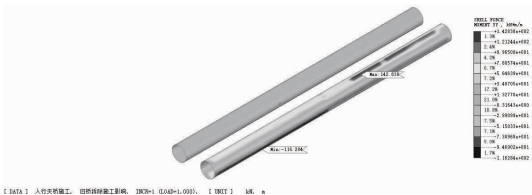


图10 隧道弯矩极值云图

由计算结果可知:隧道开挖后弯矩值为141.892 kN·m,各工况下的弯矩极值为140.888 kN·m;在项

目施工期间,隧道弯矩呈减小至稳定的趋势,弯矩增量为-1.004 kN·m,增幅为-0.71%。

5 结 语

(1)城市人行天桥跨越道路时限制因素较多,而钢桁架跨越能力强,在少占用公共空间的前提下能满足规范要求,并且结构线条灵动、造型轻盈优美。

(2)人行天桥桩基与地铁隧道结构之间应保持有效距离,才能保证其对地铁隧道结构的影响较小,不危及地铁隧道结构的后期运营安全;同时大跨度钢桁架结构亦能满足规范规定的频率和挠度要求,结构受力状态也较好,这从另一方面反映了钢桁架结构大跨度的优越性。

(3)本工程的结构设计以及桩基与地铁的位置关系等分析结果,可为以后类似工程提供参考。

参考文献:

[1] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].
[2] 周双朋.钢结构桁架桥在城市人行天桥中的应用[J].交通建设,2018(11):248-249.
[3] GB 50157—2013,地铁设计规范[S].

(上接第127页)

向变形影响很小;既有桥梁结构的位置越高,其水平向变形越大。

参考文献:

[1] Yu X,Jia B.Analysis of excavating foundation pit to nearby bridge foundation[J].Procedia Earth and Planetary Science,2012(5):102-106.
[2] 姜博.深基坑开挖对既有桥梁的影响研究[D].成都:西南交通大学,2012.
[3] 马宁.基于ABAQUS基坑开挖施工对既有桥梁影响的分析[D].天津:天津大学,2014.
[4] 耿传飞.新建桥梁施工对邻近既有客运专线桥梁影响研究[D].北京:北京交通大学,2015.

[5] 贺健军,建鑫龙.基坑对既有桥梁桩基变形特性影响的有限元分析[J].公路交通科技(应用技术版),2016,12(5):255-257.
[6] 陈璟斌.不同深基坑开挖条件对邻近桩基受力性能影响研究[D].广州:广州大学,2019.
[7] 杜志涛,李少友.紧邻既有桥梁深基坑支护方案研究[J].市政技术,2020,38(4):254-257.
[8] 王东波.新建雨水调蓄池对既有桥梁的影响分析[D].北京:北京交通大学,2020.
[9] Li B,Sun W,Li G K.Analysis of influence of subway station deep foundation pit excavation on adjacent bridge piles [C]//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering,IOP Publishing,2020.
[10] 曾鹏晨.基坑开挖对既有桥梁桩基侧移影响的主动控制方法[D].大连:大连理工大学,2022.