

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2022.02.048

运营地铁上方箱涵施工数值模拟分析与实测研究

陈红星, 吴康寅, 周浩

[悉地(苏州)勘察设计顾问有限公司, 江苏 苏州 215123]

摘要:以苏州高铁新城民四南路箱涵工程为例,通过建立三维有限元模型分析了箱涵结构分段开挖、分序吊装的地表变形及地铁结构的变位,并与现场实测数据进行对比分析。结果表明实测数据与计算结果较为接近,分段施工各节段开挖及回填量少,对地铁结构的变形扰动影响较小,确保了下卧地铁结构安全,可为类似工程设计与施工提供借鉴和参考。

关键词:运营地铁;箱涵;数值模拟

中图分类号: U449.82

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)02-0168-03

1 概述

苏州高铁新城民四南路箱涵工程位于在运行轨道2号线浅埋段,轨道结构顶面至现状地表覆土厚度约为3.0 m。箱涵跨越规划河道,规划河宽15 m,河道尚未开挖。

考虑到减少施工期间对轨道的影响,并结合河道同步施工,方案采用箱涵结构。箱涵作为狭长型基坑,其开挖将会对下方既有苏州轨道交通2号线工程的稳定性产生影响,其最本质的原因是箱涵的开挖卸荷引起轨道周边土体应力状态的重新分布,从而导致一系列力学行为的变化^[1-2]。因此,研究制定合理的工程方案,分析箱涵施工对在轨道的影响对保证轨道的安全运行具有重要的意义。

2 工程方案

苏州轨道交通2号线高铁苏州北站一大湾站区间采用明挖暗埋的形式,暗埋段北起高铁苏州北站至隧道洞口DK0+830为地下矩形隧道。本段区间主体结构为单跨或双跨一层箱型框架结构,区间结构外包宽度21.35~11.424 m,覆土厚度1.803~3.96 m。区间与车站接口由于处于道岔区未设置变形缝,结构钢筋均从车站预埋的钢筋接驳器上接出;暗埋段与敞开段接口处设置变形缝。

考虑到减少施工期间对轨道的影响,并结合河道同步施工,工程方案采用箱涵结构。涉轨范围的箱涵由若干个3 m×3.4 m预制小节段组成,箱涵节段

采用预制后吊装的方案,出了轨道范围后,考虑到施工方便和周边景观需要,采用现浇的单孔箱涵,跨径为净9~14.4 m,见图1。

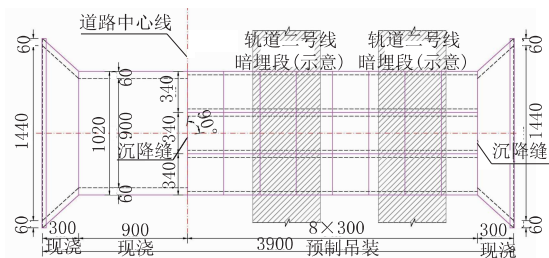


图1 箱涵节段横断面总体布置图(单位:cm)
箱涵施工时采取以下措施:

- (1)仅在夜间轨道停运期间进行施工。
- (2)施工时采用分仓分格小节段施工,严格按照开挖一段吊装一段的步骤,避免开挖土方过多造成轨道暗埋段上浮,见图2。

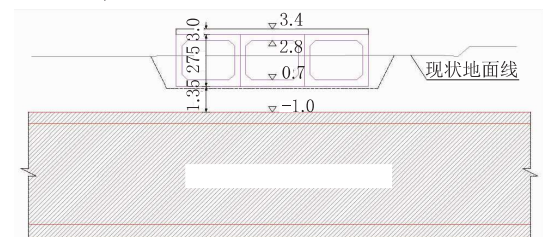


图2 箱涵与轨道2号线断面关系图(单位:cm)

- (3)施工过程中,严格检测轨道暗埋段结构及轨道设施(行车轨道等)的变形量。现场准备充足的配重沙袋,若土方开挖后,轨道结构变形超过相关要求,则立即停止开挖施工,向基坑内堆载事先准配好的沙袋配重,直至暗埋段结构变形稳定。

3 箱涵施工对轨道的影响分析

3.1 有限元模型建立

箱涵位于地铁结构上方,根据箱涵基坑几何尺寸

收稿日期: 2021-07-06

作者简介: 陈红星(1979—),男,本科,高级工程师,从事桥梁、隧道设计工作。

并结合基坑开挖施工对临近环境影响范围的现场监测经验,本模型计算深度取 30 m;箱涵整体长约 39 m,南北最宽约 16.6 m,箱涵位于轨道 2 号线上方偏西侧,其中箱涵西端距地铁右线边缘约 17.4 m,箱涵东端距地铁边缘约 5.6 m。因地铁轨道外包距离约 16 m,为充分考虑箱涵整体结构,优化计算模型,提高计算效率,对垂直于地铁隧道轴向方向的東西方向取为 64 m,东侧及西侧参照按轨道中心线分别对称取至距轨道边缘 24 m 处;南北方向箱涵尺寸小于东西方向,计算范围以箱涵中心线为轴按南北对称取为 58 m。

模拟箱涵分节段施工,对土体、箱涵结构、地铁区间隧道结构进行三维精细模拟,土体、地铁结构外墙、箱涵整体结构均采用实体单元。本基坑开挖无支护结构,采用放坡形式,根据现场施工最不利工况,放坡坡脚取为 75°。根据计算模型大小,综合考虑计算时间和计算精确度,共剖分单元 24 680 个。建立的“地铁-土体-箱涵”的三维计算模型见图 3、图 4。

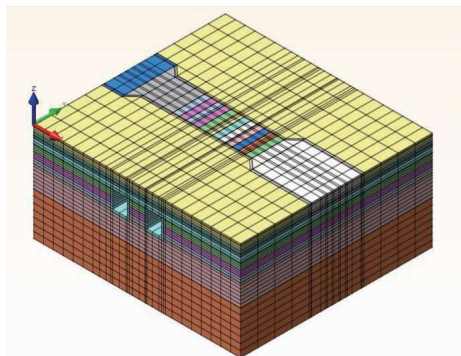


图 3 地铁-土体-箱涵有限元计算模型

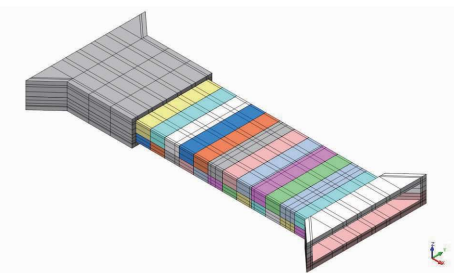


图 4 箱涵有限元计算模型

3.2 材料本构模型和计算参数

(1) 土层本构关系及参数

地基各土层采用弹塑性 D-P 模型,各地质土层的主要物理参数见表 1(分为八个土层:1-1 回填土,1-2 淤泥,1-3 素填土,2-1 淤泥质粉质黏土,3 黏土,4 粉质黏土,5 粉土,6 粉质黏土夹粉土,7 粉土,8 粉质黏土),见表 1。

(2) 混凝土本构关系及参数

表 1 地勘土体参数表

编号	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	c/kPa	$\phi/(\text{°})$	K_0	$K/(\text{cm}\cdot\text{s}^{-1})$
1-1	18.0	10.0	8.0	0.7	1.5×10^{-5}
1-2	17.0	6.0	5.0	0.8	1.5×10^{-5}
1-3	18.9	15.0	8.0	0.7	2.0×10^{-5}
2-1	17.7	12.89	10.2	0.8	5.0×10^{-6}
3	20.0	59.2	14.8	0.45	8.0×10^{-7}
4	19.4	24.5	18.1	0.5	5.0×10^{-5}
5	19.0	9.2	29.5	0.5	1.5×10^{-3}
6	19.3	22.3	17.6	0.65	5.0×10^{-5}
7	19.0	7.79	31.3	0.5	1.5×10^{-3}
8	19.0	25.7	15.2	0.65	1.0×10^{-5}

注: K_0 为土体静止侧压力系数, K 为土体渗透系数。

混凝土本构关系采用理想弹性模型,相关取值见表 2。

表 2 混凝土计算参数

材料	E/GPa	μ	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$
C20	25.5	0.169	24.5
C35	31.5	0.169	24

3.2 施工过程

本项目箱涵由中部 8 个预制节段及两端部敞口段组成,隧道顶部箱涵分节段由西向东逐节吊装,见图 5。箱涵施工完成后上部作用 30 kPa 的车辆载荷。

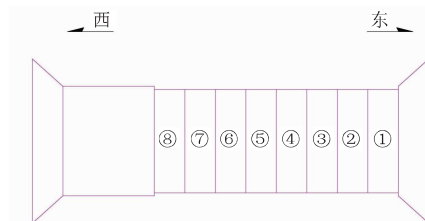


图 5 箱涵施工顺序示意

3.3 计算结果

由于箱涵结构施工,基坑开挖卸载,其底部土体回弹,坑底变形隆起、周边地表沉降,从而带动下卧地铁隧道区间发生变位,其变形量的大小是判别地铁隧道结构稳定与否的重要依据。《城市轨道交通结构安全保护技术规范》(CJJ/T 202—2013)中规定轨道结构安全控制值指标为:结构最大水平位移小于 20 mm,隧道变形曲率半径大于 15 000 m,相对曲率不大于 1/25 000^[3]。

计算结果表明,由于箱涵结构位于地铁结构上方,地铁区间变形以竖向变形为主。施工完成后土体最大隆起量为 12.47 mm,地铁结构竖向最大隆起量为 2.1 mm;区间隧道变形曲率半径最小为 53 378 m,相对变形曲率 1/7207,见图 6、图 7。根据施工期间监测结果,施工完成后土体累计隆起量为 8.13 mm,地铁结构竖向最大隆起量为 1.2 mm;区间隧道变形曲

率半径为 82 000 m,相对变形曲率 1/5 168,实测结果与计算结果较为接近,均满足规范要求。

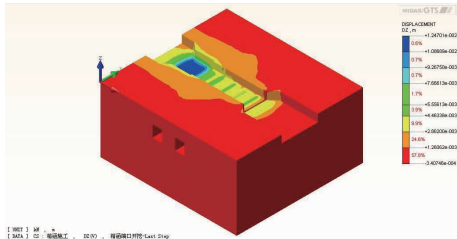


图6 模型竖向位移

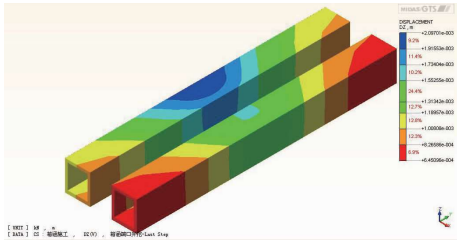


图7 地铁结构竖向位移

4 结 语

受到开挖卸荷及回填加载影响,箱涵结构开挖及回填引起地铁区间隧道发生位移。本文就高铁新城民四南路箱涵建立了“地铁-土体-箱涵”的3D模型,充分考虑了土与箱涵结构、土与地铁结构的空

作用,计算了箱涵结构分节段开挖、分序吊装的地表变形及地铁结构的变位,得出结论如下:

(1)对箱涵结构采取分节段施工,各节段开挖及回填量很少,对地铁结构的变形扰动影响较小。

(2)实测结果表明施工完成后土体最大隆起量为 8.13 mm,地铁结构竖向最大隆起量为 1.2 mm;区间隧道变形曲率半径最小为 82 000 m,相对变形曲率 1/5 168,实测结果与计算结果较为接近,均满足城市轨道交通结构安全指标控制值。

(3)本文通过建立三维有限元模型分析了苏州高铁新城民四南路箱涵结构分段开挖、分序吊装对地表变形及地铁结构的影响,并与现场实测数据进行对比分析,以确保下卧地铁结构的安全运行,可为类似工程提供借鉴和参考。

参考文献:

[1] 王永伟.基坑开挖对下方地铁隧道影响数值分析[J].铁道工程学报,2018(2):74-78.
 [2] 吉茂杰,刘国彬.开挖卸荷引起地铁隧道位移预测方法[J].同济大学学报:自然科学版,2001(5):531-534.
 [3] CJJ/T 202—2013,城市轨道交通结构安全保护技术规范[S].

(上接第 159 页)



图7 周家嘴项目全预制构件生产图

参考文献:

[1] 郭伟,路林海,王龙志,等.清水混凝土概念、研究现状、存在问题及配合比设计方法综述[J].混凝土与水泥制品,2016(10):23-27.
 [2] 彭效义,许国东,孙正华.装配式混凝土构件问题及生产质量控制关键技术[J].建筑技术,2019,50(5):607-610.
 [3] 张树刚.清水混凝土施工质量控制分析[J].住宅与房地产,2020(35):112-113.
 [4] 朱敏涛,周强,朱安标,等.清水镜面混凝土构件的生产工艺研究与应用[J].混凝土与水泥制品,2021(1):44-47.