

小间距重叠隧道施工对高架桥托换桩基的影响分析

施少锐¹, 陈霆轩², 向伟明²

¹广州市房屋安全鉴定协会, 广东 广州

²广州大学, 广东 广州

Email: 1529886200@qq.com, huajiankeji@21cn.com

收稿日期: 2020年12月26日; 录用日期: 2021年1月18日; 发布日期: 2021年1月28日

摘要

本文根据深圳地铁7号线笋岗站-洪湖站区间左线隧道穿越彩虹桥的桩基工程案例, 借助MIDAS-GTS有限元软件, 建立三维模型, 对上下重叠隧道先后穿越城市高架托换桩基的过程进行模拟分析, 得出托换桩基变形的规律。并在工程案例的基础上, 建立三组模型, 分析重叠隧道开挖的先后顺序、托换桩基的长度、上下两隧道的间距等因素对托换桩基变形的影响。

关键词

盾构重叠隧道, 桩基托换, 托换桩长, 数值模拟, 变形分析

Analysis of the Influence of the Small Space Overlapping Tunnel Construction on Underpinning Pile Foundation of Viaduct

Shaorui Shi¹, Tingxuan Chen², Weiming Xiang²

¹Guangzhou Housing Safety Appraisal Association, Guangzhou Guangdong

²Guangzhou University, Guangzhou Guangdong

Email: 1529886200@qq.com, huajiankeji@21cn.com

Received: Dec. 26th, 2020; accepted: Jan. 18th, 2021; published: Jan. 28th, 2021

Abstract

Based on the pile foundation engineering case of left line tunnel between Sungang station and Honghu station of Shenzhen Metro Line 7 passing through Caihong bridge, this paper establishes a

three-dimensional model with the help of midas-gts finite element software to simulate and analyze the process of upper and lower overlapping tunnels successively passing through urban elevated underpinning pile foundation, and obtains the deformation law of underpinning pile foundation. On the basis of engineering cases, three groups of models are established to analyze the influence of the excavation sequence of overlapping tunnels, the length of underpinning pile foundation and the distance between the upper and lower tunnels on the deformation of underpinning pile foundation.

Keywords

Overlapping Shield Tunnel, Pile Foundation Underpinning, Pile Length, The Numerical Simulation, Deformation Analysis

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,随着科技与经济水平的迅速提高,我国进一步加快了城市化进程,在密集的城市里,高层建筑以及高架桥梁桩基通常需要打入地下几十米深的坚硬岩层,因此,地铁隧道线路与桩基的位置不可避免会发生冲突,施工上主要采用对桩基进行加固以及托换等手段来保证地铁隧道开挖过程中周边建筑物的安全。由于高架桥有着非常严格的变形控制要求,尽管采用托换技术加固桥桩,盾构施工仍有一定的风险,如何降低地铁施工对邻近桥梁桩基的影响,是一个值得深入研究的工程问题[1] [2] [3] [4]。目前已有不少学者对这类工程问题展开了研究,并取得不少相关的研究成果。其中,边浩[5]结合济南市典型桩基托换工程,模拟了盾构穿越托换桩基的过程,总结出桩基的最终变形和受力规律,同时发现:隔离桩的设置,能有效减小托换桩基的水平位移。欧平[6]基于数值分析法,研究了重叠盾构隧道施工对托换桩基的影响,结果表明:托换桩长、两隧道间距、桩隧间距等因素对模拟结果影响显著。本文以深圳地铁重叠隧道施工工程为背景,并建立三维数值模型,以便对重叠隧道开挖前后托换桩基变形规律进行模拟研究。

2. 工程背景

深圳地铁7号线笋岗站-洪湖站区间始发于西丽湖站终止于太安站,途径繁华拥挤的市区地带,施工要求隧道开挖尽量减小对周边环境的影响。其中,本工程区间左线隧道长1053.29 m,右线长1054.09 m,左右线呈上下平行分布,形成双层隧道结构。本区间盾构线路与城市高架桥Z0、Z1、Z2、Z3号桥墩的桩基发生冲突,影响范围处右线隧道埋深约15 m,左线隧道埋深约26 m。高架桥桥台与开挖隧道的平面位置关系如图1所示。

本文选取Z0桥台进行研究,承台使用C30混凝土,原有桩基长32.8 m,桩底完全进入中风化岩层,托换桩为直1.5 m的冲孔桩,桩长32.3 m,嵌入风化岩,开挖隧道与原有桩基最小净距仅有0.96 m,与托换桩基净距仅为2.2 m,上下两隧道最小间距约为4.5 m,不足一倍洞径,上层隧道距离托换大梁底部约10 m。

本工程的模拟计算忽略地下水渗流的作用影响,土体选用摩尔-库伦本构模型,地层由上到下依次划分为人工填土、粉质粘土、砂质黏性土、全风化混合岩,强风化混合岩,中风化混合岩。管片拼装接头刚度较低,模拟中对C50管片的弹性模量作适当的折减。各土层及结构的材料模拟参数如表1和表2所示。

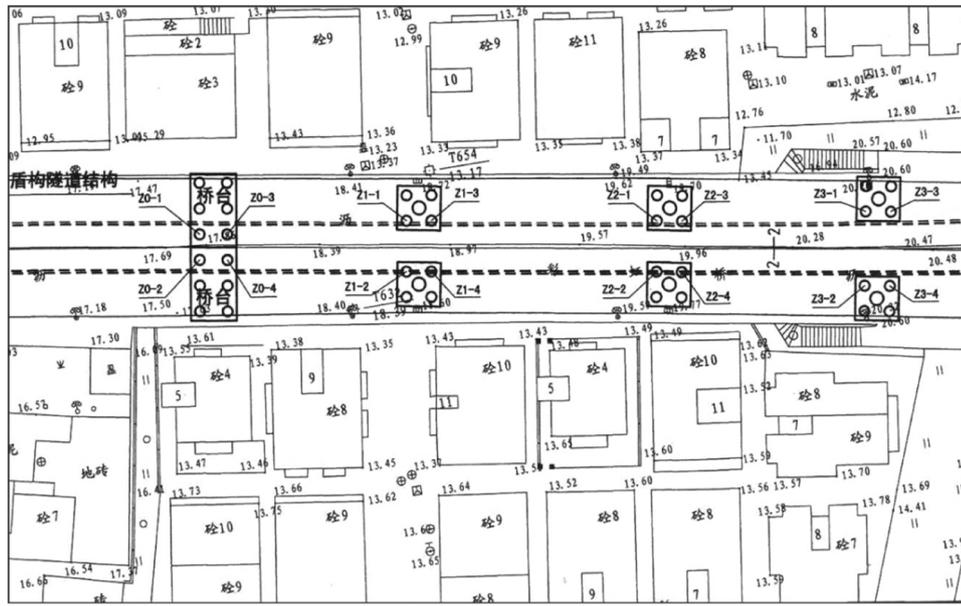


Figure 1. Plane position relationship between viaduct abutment and excavated tunnel
图 1. 高架桥桥台与开挖隧道平面位置关系图

Table 1. Physical parameters of soil layer
表 1. 土层物理参数表

岩土名称	厚度(m)	天然密度 ρ (g/cm ³)	粘聚力 c (kpa)	内摩擦角 φ (°)	弹性模量 E (Mpa)	泊松比 ν
杂填土	3	1.87	20	15	9	0.32
粉质粘土	3	1.90	18	16	18	0.30
砂质粘土	8	1.85	25	20	32	0.30
全风化岩	10	1.91	30	24	50	0.28
强风化岩	10	1.97	45	28	75	0.24
中风化岩	26	2.48	80	36	400	0.22

Table 2. Table of basic mechanical parameters of structure
表 2. 结构基本力学参数表

构件名称	重度(kN/m ³)	弹性模量(Gpa)	泊松比
桩	23	30	0.2
管片	25	29.3	0.2
桥墩、承台	23	30	0.2
盾构机	78	210	0.3
注浆体	22	0.03	0.2

3. 隧道开挖对托换桩基变形的分析

从图2显示的结果发现:在下线隧道开挖过程中,桩顶沉降值达到7.35 mm,桩底沉降值达到5.88 mm;在上线隧道开挖过程中,桩身发生整体上浮,桩顶上浮量为0.86 mm,桩底上浮量为1.30 mm。同时,桩身发生垂直开挖隧道方向的水平位移和平行开挖隧道方向的水平位移,最大值分别为5.46 mm和2.21 mm。

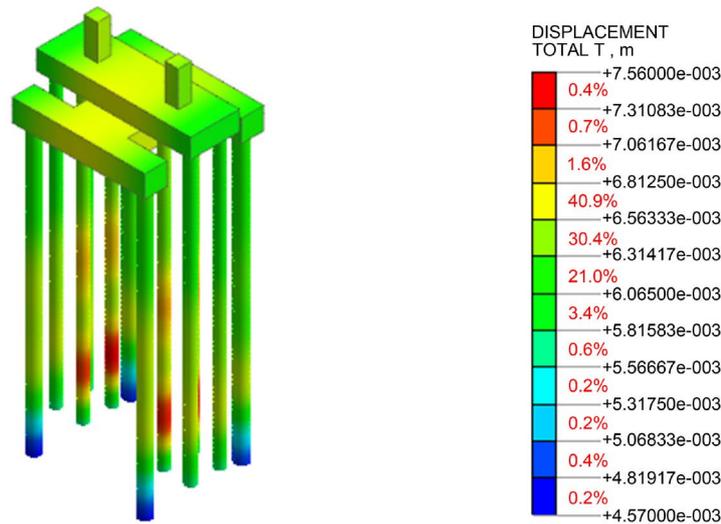


Figure 2. Nephogram of total displacement of bridge pile caused by overlapping tunnel excavation
图 2. 重叠隧道开挖引起的桥桩总位移云图

4. 隧道开挖造成托换桩基变形的主要因素分析

本文在分析不同影响因素下隧道开挖对托换桩基的影响时,采用单因素对比法,即通过改变模型上下隧道的开挖顺序、托换桩基的长度、两隧道的间距这三个因素,建立多组模型,进一步研究托换桩基的变形规律。

图 3 为不同隧道开挖顺序对托换桩基的影响,从结果可以发现:当采用“先下后上”的开挖顺序,竖向位移的最大值为桩顶的 -6.49 mm,最小值为桩底的 -4.58 mm;桩身 X 方向最大水平位移为 5.31 mm;桩身 Y 方向最大水平位移为 2.21 mm。当采用“先上后下”的开挖顺序,竖向位移的最大值为桩顶的 -6.98 mm,最小值为桩底的 -4.75 mm;桩身 X 方向最大水平位移为 6.05 mm;桩身 Y 方向最大水平位移为 2.02 mm。

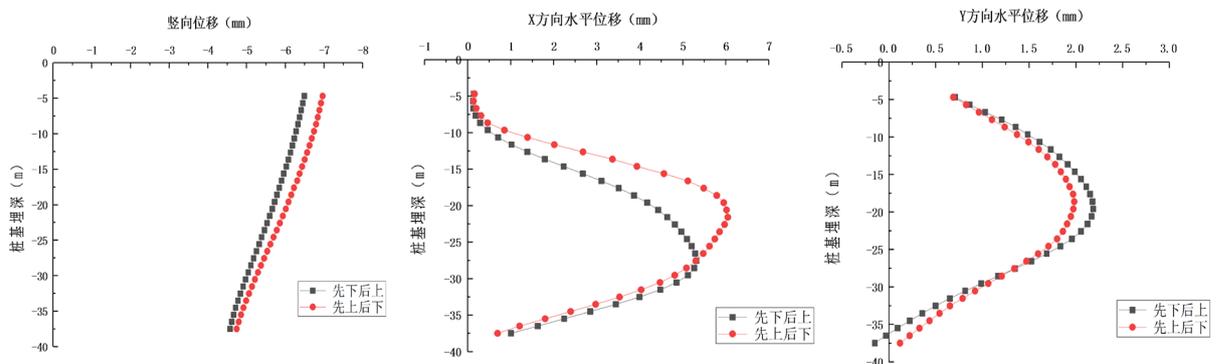


Figure 3. Deformation diagram of underpinning pile foundation under different excavation sequence
图 3. 不同开挖顺序情况下托换桩基的变形图

图 4 为两隧道不同间距对托换桩基的影响,从结果可以发现:当两隧道间隔为 $0.75 D$ 时,桩顶竖向位移为 -6.49 mm,桩底竖向位移为 -4.58 mm; X 方向最大水平位移为 5.31 mm;桩身 Y 方向最大水平位移为 2.21 mm,桩顶位移为 0.72 mm。当两隧道间隔为 $1.75 D$ 时,桩顶竖向位移为 -6.08 mm,桩底竖向位移为 -4.49 mm; X 方向最大水平位移为 4.86 mm;桩身 Y 方向最大水平位移为 1.96 mm,桩顶位移为 1.61 mm。

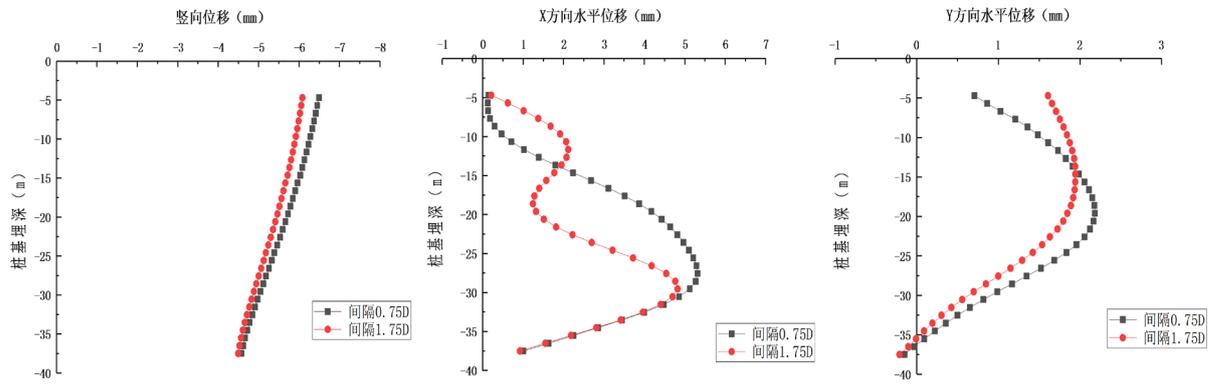


Figure 4. Deformation diagram of underpinning pile foundation with different tunnel spacing
图 4. 不同隧道间距情况下托换桩基的变形图

图 5 为不同桩长对托换桩基的影响,从结果可以发现:当桩长为 22 m 时,桩顶竖向位移为-9.54 mm,桩底竖向位移为-8.71 mm;桩身 X 方向最大水平位移为 5.19 mm;桩身 Y 方向最大水平位移为 2.28 mm,桩顶水平位移为 0.79 mm。当桩长为 28m 时,桩顶竖向位移为-7.62 mm,桩底竖向位移为-5.99 mm;桩身 X 方向最大水平位移为 5.38 mm;桩身 Y 方向最大水平位移为 2.24 mm,桩顶水平位移为 0.75 mm。当桩长为 34 m 时,桩顶竖向位移-6.33 mm,桩底竖向位移为-4.28 mm;桩身 X 方向最大水平位移为 5.28 mm;桩身 Y 方向最大水平位移为 2.19 mm,桩顶水平位移为 0.70 mm。

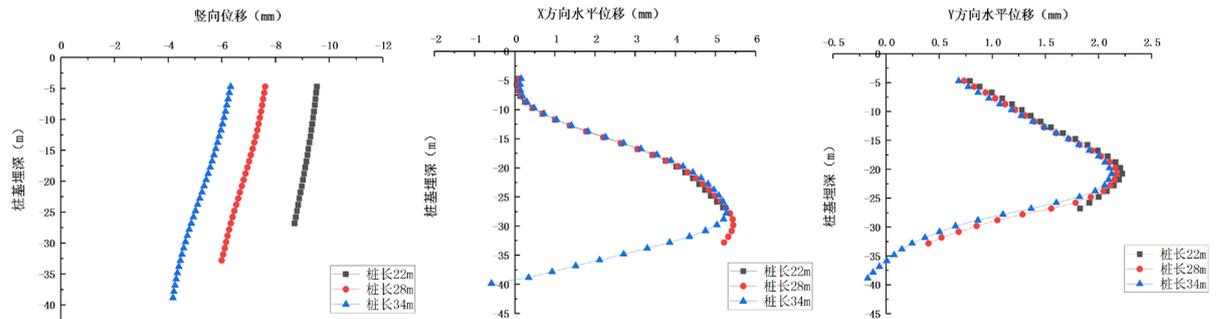


Figure 5. Deformation diagram of underpinning pile foundation with different pile length
图 5. 不同桩长情况下托换桩基的变形图

5. 结论

由于管片受压变形以及盾尾注浆无法做到与开挖完全同步等原因,隧道上方土体会发生下移;相反,隧道下方的土体由于隧道开挖“卸荷”作用而发生上浮。由于托换桩基和开挖隧道净距很小,土体的移动会给桩顶和桩底分别产生向下和向上的侧摩擦力,因此,桩体在侧摩擦力的作用下,会发生整体下沉或上浮。其中,下线隧道开挖过程使得托换桩基整体发生沉降,并且桩顶沉降大于桩底沉降;上线隧道开挖由于“卸荷”作用使得托换桩基随着周边土体发生轻微的上浮。此外,隧道开挖使得托换桩基发生垂直隧道方向和平行隧道方向的水平位移,最大水平位移出现在下线隧道拱顶埋深处,桩顶在托换大梁的约束作用下水平位移非常小。

“先上后下”和“先下后上”两种开挖方式对托换桩基造成的位移变化趋势基本相同,但是,采用“先上后下”的开挖方式会使托换桩基产生更大的桩顶沉降,采用“先下后上”的开挖顺序更有利于减小对托换桩基的影响。上下重叠隧道的间距不同对邻近托换桩基的影响规律截然不同,从计算结果来看,

当保持下线隧道位置不变的情况下,增大两隧道间距至 1.75 倍洞径,可以减小托换桩基的桩顶沉降以及桩身水平位移;而减小两隧道间距至 0.75 倍洞径,可以减小托换桩基的桩顶水平位移。托换桩基的长度决定了桩端与开挖隧道的相对位置,当托换桩基的桩端位于下线隧道以上时,托换效果不佳,并且隧道开挖造成桩顶的沉降比较大;当托换桩基的桩端位于下线隧道拱底埋深时,隧道开挖使得桩端的水平位移比较大,不利于桩基保持稳定性;当托换桩基的桩端位于下线隧道以下时,隧道开挖造成的桩顶沉降以及桩底水平位移显著减小,且具有较好的托换效果。

参考文献

- [1] 冯国冠. 基于某地铁盾构隧道施工地表沉降规律分析研究[J]. 中国安全生产科学, 2010, 6(4): 81-84.
- [2] 熊巨华, 王远, 刘侃, 孙庆. 隧道开挖对邻近单桩竖向受力特性影响[J]. 岩土力学, 2013, 34(2): 475-482.
- [3] 王振飞, 张成平, 王剑晨, 于富才, 苏洁. 新建地铁车站近距离上穿既有地铁区间隧道施工方案的选择[J]. 中国铁道科学, 2013, 34(5): 63-69.
- [4] 李怀鉴, 张桂扬. 大断面连拱隧道暗挖工法数值模拟研究[J]. 石家庄铁道大学学报(自然科学版), 2013, 26(2): 51-55.
- [5] 边浩. 盾构施工对高架桥托换桩基变形的影响分析[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 中国地质大学, 2018.
- [6] 欧平. 上下重叠隧道盾构施工对托换桩基影响的数值分析[D]: [硕士学位论文]. 广东: 暨南大学, 2016.