

盾构施工参数对地层变形的影响

赵振伟^{1,2}, 吴波^{1,2}, 黄惟¹, 叶永茂³, 陶家顺³, 李展峰³

(1. 福建工程学院 土木工程学院, 福建 福州, 350118;

2. 福建省土木工程新技术与信息化重点实验室, 福建 福州, 350118; 3. 中铁四局五公司, 江西 九江, 332000)

摘要: 以南宁地铁一号线南湖段下穿隧道为工程背景, 建立隧道开挖的三维有限元模型, 通过数值分析, 得到盾构施工过程中地层变形的分布规律, 讨论盾构施工过程中注浆压力对地表沉降、水平位移及拱顶位移的影响, 分析掌子面压力对地表隆起的影响规律。研究表明, 注浆压力对地表变形会产生明显的影响, 随着注浆压力的增大, 地表沉降及水平位移明显减小。当掌子面压力大于0.1 MPa时, 会引起掌子面前方土体产生向上的位移, 地表隆起量随掌子面压力的增加而增大。

关键词: 盾构掘进; 地面沉降; 水平位移; 三维有限元; 数值模拟

中图分类号: U455.43

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2015)03-0205-04

The effect of parameters of shield tunnel construction on soil deformation

Zhao Zhenwei^{1,2}, Wu Bo^{1,2}, Huang Wei¹, Ye Yongmao³, Tao Jiashun³, Li Zhanfeng³

(1. College of Civil Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;

2. Fujian Provincial Key Laboratory of Advanced Technology and Informationization in Civil Engineering, Fuzhou 350118, China;

3. The Fifth Engineering Co., Ltd. of CTCE Group, Jiujiang 332000, China)

Abstract: A 3D finite element model of tunnel excavation was established based on the tunnel construction of Nanning subway line 1 through Nan Lake in Guangxi province. The distribution law of stratum deformation in shield tunnel construction was simulated with finite element analysis (FEA) method. The influences of grouting pressure on surface settlement and the pressure of tunnel face in shield tunnel construction were discussed, including the ground surface settlement, the horizontal displacement, arch top displacement (deformation of arch and the upward movement of ground surface). The results show that the grouting pressure has significant impact on ground surface deformation. The ground surface settlement and the horizontal displacement decrease obviously with the increase of the grouting pressure. When the pressure of the tunnel face is greater than 0.1 MPa, upward soil displacement is produced in the front of the tunnel face and the apophysis grows with the increase of the pressure.

Keywords: shield tunnel excavation; ground surface settlement; horizontal displacement; 3D finite element; numerical simulation

随着我国城市轨道交通的发展,越来越多的地铁盾构隧道投入建设。盾构穿越复杂地层时,由于施工环境以及施工技术不同会造成地层变形

甚至病害的情况^[1-2]。盾构施工参数选择不当会改变开挖区域土体正常应力释放到稳定的过程,造成地层多余变形和隧道不稳定,甚至影响周围环

收稿日期: 2015-04-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(51478118);福建省自然科学基金项目(2014J01170,2013J05001)

第一作者简介: 赵振伟(1979-),男,河北唐山人,博士,副教授,主要研究方向为岩土工程力学。

境^[3]。在地质条件一定的情况下,改变并优化施工参数,减少对地层的扰动,可以有效控制地层变形,从而保证盾构隧道开挖的稳定^[4-5]。因此,如何预测盾构穿越引起的地层位移,确保已有建筑物的正常使用和盾构的顺利进行,是隧道设计与施工中的关键问题^[6]。

本文以南宁地铁 1 号线麻村 - 南湖盾构区间下穿南湖隧道施工为工程依托,针对该地区的复杂地质条件,对影响地层变形的施工参数进行了模拟分析,总结出地层变形随施工参数的变化规律。在该复杂地质和环境条件下,目前类似的工程经验较少,特别是南宁地区,目前尚无地铁隧道开挖的经验,论文的分析结果可为该地区地铁隧道开挖的施工设计提供一定的指导。

1 工程概况

麻村 - 南湖区间隧道东西向布置,起止里程为 ZSK19 + 763.763 ~ ZSK20 + 918.916,全线为地下双线隧道,隧道洞径 5.4 m,在南湖大桥北面约 25 m 处南湖站始发,其中穿越南湖段约 250 m,湖底隧道埋深 4.2 ~ 11 m。

南湖段地质自上而下为淤泥层、粘土、粉质粘土、粉细砂层、圆砾层,隧道主要穿越粉细砂层。考虑到穿越南湖段隧道覆土稀薄软弱,对地层采取了全断面注浆和湖底抛填碎石的加固措施,隧道位置、加固区域和地质条件见图 1。平面有效加固范围约为 25.5 m × 146.0 m,竖向范围为区间隧道顶 1.5 m 至隧道底部以下 1.0 ~ 3.0 m 范围内的土体。

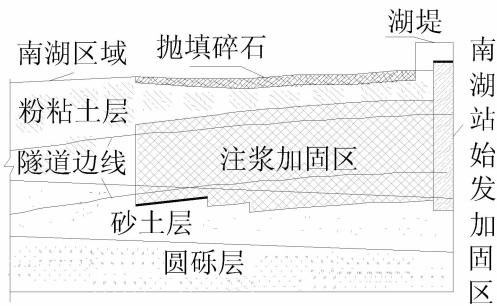


图 1 隧道位置和地质条件

Fig.1 Tunnel location and geological conditions

2 有限元模型的建立

模型垂直隧道水平方向取 60 m,沿隧道轴线

水平方向取 250 m,竖向取 30 m,侧边采用法向约束,底部采用全约束。模拟时利用生死单元技术将开挖单元移除,把衬砌单元添加,通过场变量逐渐改变材料参数使单元硬化来模拟泥浆单元。

各土层力学、物理参数按《南宁市轨道交通一号一期工程麻村站 - 南湖站区间详细勘察阶段岩土工程勘察》参数建议表取值。本构模型采用摩尔库伦弹塑性本构模型。具体土层及支护物理力学参数见表 1。

表 1 土层及支护物理力学参数表

Tab.1 Physico-mechanical parameters (indexes) of soil layer and supporting structure

材料	密度 ρ / ($\text{kg} \cdot \text{m}^3$)	弹模 E / GPa	泊松比 μ	内摩擦角 φ / ($^\circ$)	黏聚力 c / MPa
粉质粘土	1 930	0.06	0.33	20	0.6
砂土	2 030	0.06	0.33	35	0.18
圆砾	2 050	0.25	0.33	37	0
衬砌	2 500	30	0.25	—	—
灌浆	2 100	3	0.25	—	—

3 计算结果与分析

图 2 给出的注浆压力为 0.03 MPa 时横断面的位移云图。隧道开挖后,当注浆压力较小时,由于地应力释放,隧道周围土体受到的支撑作用减弱,因此上方土体会产生一定的下沉,而下方土体会有一定的回弹,从而产生向上的位移。而隧道上下方两侧的土体会产生向隧道中间方向的位移。从位移图中可以看出,最大沉降发生在隧道拱顶,达到 3.78 cm,而最大水平位移则发生在地表,最大水平位移达到 1.29 cm。

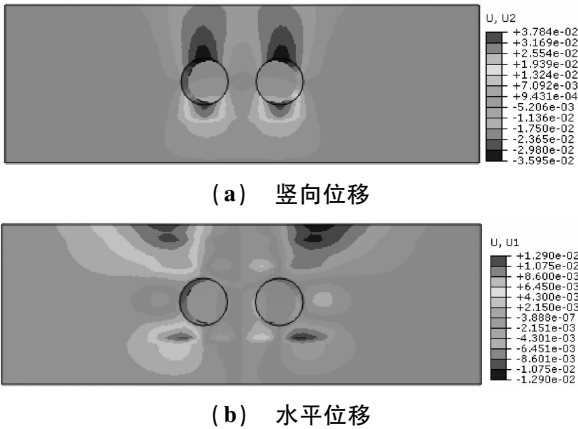


图 2 横断面位移云图

Fig.2 Cloud diagram of cross section displacement

图3给出了不同注浆压力下地表沉降横向分布情况,从图3中可以看出,地表的沉降发生在隧道正上方,随着与隧道水平距离的增加,地表的沉降明显减小,当与隧道水平距离超过20 m时,地表的沉降不明显。随着注浆压力的增大,地表的沉降减小,当注浆压力为0.03 MPa时,最大沉降达到16.5 mm,当注浆压力增加到0.07 MPa时,地表的沉降为9 mm。

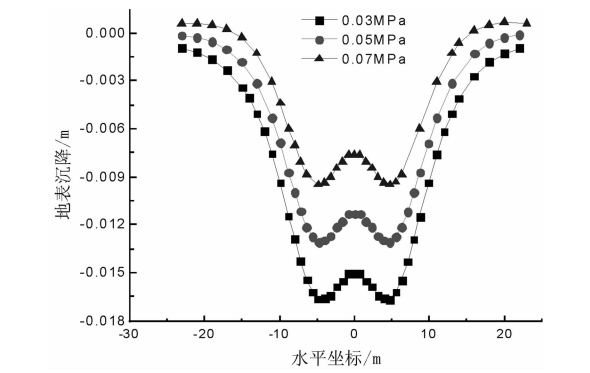


图3 地表沉降横向分布
Fig.3 Vertical displacement curves of ground surface above tunnel in transverse section

图4给出了不同注浆压力下地表水平位移的横向分布规律。可以看出,地表的水平位移在隧道的两侧成反对称分布,最大水平位移发生在距离隧道中心大约5 m处。这是由于隧道开挖引起地应力释放,使得隧道上方左右两侧土体产生向两隧道中心方向的位移。随着与隧道水平距离的增加,地表的水平明显减小。注浆压力对水平位移产生较大影响,当注浆压力从0.03 MPa增加到0.07 MPa时,地表的沉降从10 mm减小到4 mm。

图5给出的是地表沉降、地表水平位移和拱顶沉降随注浆压力的变化规律。从图中可以看出,地表沉降、地表水平位移以及拱顶沉降随着注浆压力的增大而线性减小,当注浆压力从0.1 MPa减小到0.01 MPa时,地表沉降从5 mm增大到20 mm。因此,增加注浆压力可有效地减小地层的变形,在施工过程中应尽量提高注浆压力,使其接近地层的初始地应力。

图6给出的是掌子面后方土体的沉降纵向分布,在掌子面附近土体沉降较小,当注浆压力为0.03 MPa时,掌子面处的沉降为7 mm,当注浆压力达到0.07 MPa时,掌子面处的沉降减小到

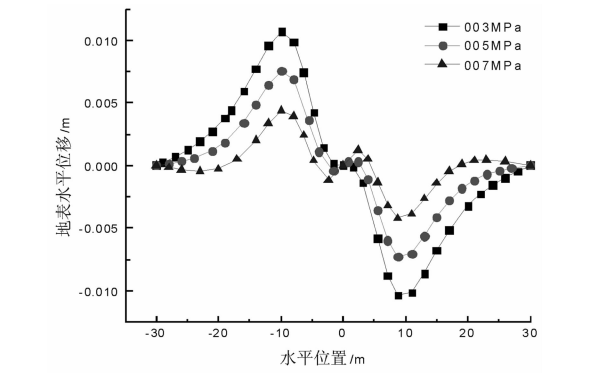


图4 地表水平位移横向分布
Fig.4 Horizontal displacement curves of ground surface above tunnel in transverse section

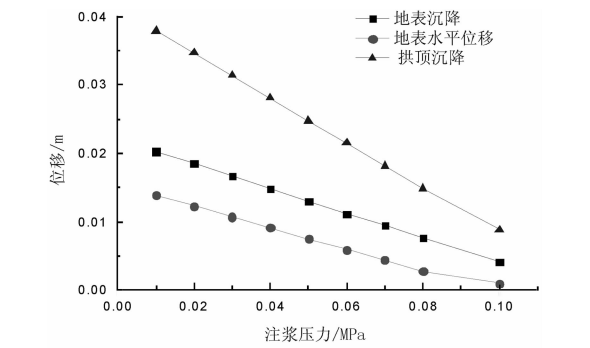


图5 地层位移与注浆压力关系曲线
Fig.5 Displacement of ground stratum under different grouting pressures

2.6 mm。随着与掌子面距离的增加,土体的沉降迅速增大,在距离掌子面达到10 m后,土体的沉降趋于稳定。

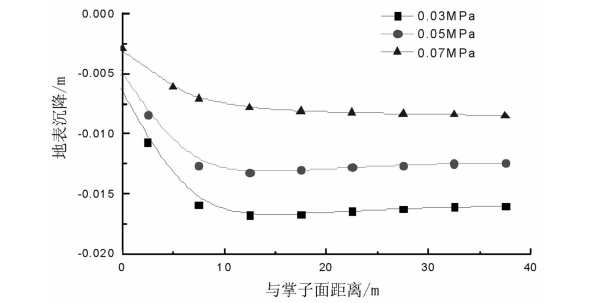


图6 地表沉降纵向分布
Fig.6 Ground settlements above tunnel axis under different grouting pressures

不同掌子面压力下前方土体沿隧道轴线方向的隆起情况如图7所示,从图中可以看出,由于土

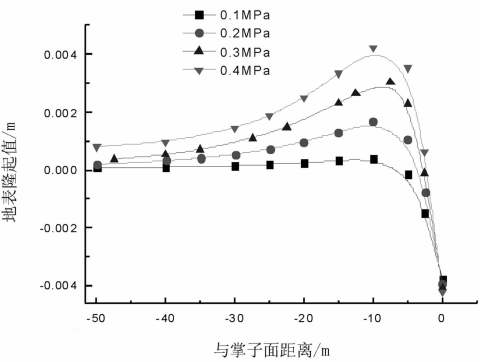


图 7 掌子面后方土体的竖向位移

Fig 7 Vertical displacement of soil behind tunnel surface under different face pressures

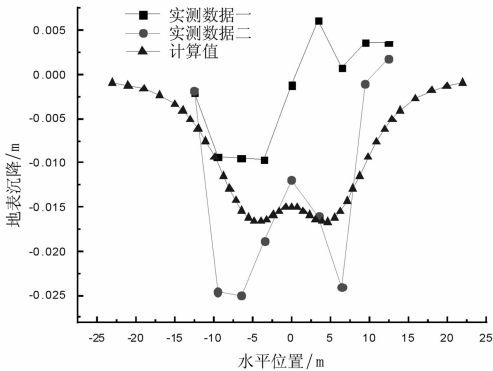


图 8 计算值与实测值对比分析

Fig. 8 Comparative analysis of calculated value and monitoring value

体在掌子面处受到挤压作用,因此掌子面前方一定范围内的土体会产生向上的位移,并随着掌子面压力的增加而增大。地表的最大隆起量发生在距掌子面大约 10 m 处,当掌子面平均压力为 0.1 MPa 时,最大隆起量为 4 mm,随着掌子面压力的减小,地表隆起量减小,当掌子面平均压力为 0.1 MPa 时,地表几乎不发生隆起现象。

在施工中选取具有典型代表意义的两个断面监测点,将实际监测得到的数据和计算结果进行比较,如图 8 所示。由图 8 可以看出,实际监测数据相比计算得到结果还存在一定误差,尤其是实测数据一,但是沉降规律基本吻合,尤其是监测数据二。说明在工程条件相似的情况下,采用数值分析的方法对于盾构施工进行参数选取和优化,从而减小地层沉降是可行的。

4 结论

1) 双隧道掘进过程中,地表的最大水平位移发生在距离隧道中心大约 5.5 m 处,地表的最大竖向位移发生在隧道中心正上方,整体土层的最大沉降发生在隧道拱顶;

2) 隧道掘进过程中注浆压力对地表及拱顶的沉降起到关键作用,随着注浆压力的增加,地表的竖向和水平位移线性减小;

3) 当掌子面压力大约 0.1 MPa 时,掌子面前方土体会出现隆起现象,最大量随着掌子面压力的增大而明显增加。

4) 通过实测数据和计算值比较分析,监测结果和数值计算的变形规律相同,在实际工程中可以采取数值计算的方法对施工参数进行优化,对于类似工程具有一定参考意义。

参考文献:

[1] 肖立,张庆贺. 铁路轨道下盾构施工所致地面沉降的数值模拟[J]. 同济大学学报,2011,39(9):1286-1291.
[2] 张国营,傅国利. 盾构法施工过程的有限元模拟[J]. 岩土工程技术, 2007,21(6):275-278.
[3] 张恒,陈寿根,邓稀肥. 盾构掘进参数对地表沉降的影响分析[J]. 现代隧道技术,2010,47(5):48-53.
[4] 吴波,高波. 地铁区间隧道施工对近邻管线影响的三维数值模拟[J]. 岩石力学与工程学报,2002,21(S2):2451-2456.
[5] 刘洪洲,孙钧. 软土隧道盾构推进中地面沉降影响因素的数值法研究[J]. 现代隧道技术,2001,38(6):24-28.
[6] 张海波,殷宗泽,朱俊高. 地铁隧道盾构法施工过程中地层三维有限元模拟[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(5):755-758.

(责任编辑:陈雯)