

软土地层浅覆土大直径盾构施工参数分析

沈碧辉¹, 侯永茂², 马元², 俞建霖^{*3,4}, 龚晓南^{3,4}, 甘晓露^{3,4}

(1. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311122; 2. 上海隧道工程有限公司, 上海 200082;
3. 浙江大学 滨海和城市岩土工程研究中心, 浙江 杭州 310058; 4. 浙江省城市地下空间开发工程技术研究中心, 浙江 杭州 310058)

摘 要: 依托杭州文一路地下通道北线盾构施工监测数据, 对盾构开挖过程中地表最大隆沉变形及施工参数变化情况进行分析研究。结果表明: ①监测区段地表最大隆沉值在允许范围以内, 说明盾构施工参数控制较好, 相应的施工参数可以为类似工程提供参考; ②随着盾构掘进深度逐渐增大, 切口压力逐渐增大, 压力变化梯度小于周围土体重度; ③同步注浆总量基本稳定, 浆液在盾尾间隙中的流向以自上而下为主; ④软土地层中的浅覆土大直径盾构工程较易发生隧道上浮引发的地表隆起, 在监测区段管片上浮量和地表隆沉值之间存在一定的相关性。本文分析结果可以为类似工程施工提供参考。

关键词: 软土地层; 浅覆土; 大直径盾构; 施工参数;

中图分类号: TU745

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2019)01-0091-04

作者简介: 沈碧辉 (1983 -), 男, 浙江奉化人, 高级工程师, 从事隧道及地下空间方面的研究工作。E-mail: shen_bh@ecidi.com。

Analysis on construction parameters of large diameter shield under shallow overburden condition in soft clay

SHEN Bi-hui¹, HOU Yong-mao², MA Yuan², YU Jian-lin^{*3,4}, GONG Xiao-nan^{3,4}, GAN Xiao-lu^{3,4}

(1. Power China Huadong Engineering Corporation, Hangzhou, Zhejiang 311122, China; 2. Shanghai Tunnel Engineering Co., Ltd., Shanghai 200082, China; 3. Research Center of Coastal and Urban Geotechnical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 4. Engineering Research Center of Urban Underground Development, Hangzhou 310058, China)

Abstract: Based on the shield construction monitoring data of the north-line tunnel of Wenyi Road underground passage in Hangzhou, the changes of the maximum ground displacement and the construction parameters during the shield excavation are analyzed. The analysis results show that the maximum ground displacement of the monitoring section is within the allowable range, indicating that the corresponding construction parameters can provide effective reference for similar projects. As the depth of shield excavation gradually increases, the face pressure increases, and the pressure gradient is smaller than the unit weight of the surrounding soil. The total simultaneous grouting volume is basically stable, and the flow direction of the grout in the shield tail gap is from top to bottom. The ground is more prone to heave due to the uplift of the tunnel segment during the large-diameter shield construction under shallow overburden condition in soft clay. There is a certain correlation between the uplift value of the segment and the ground displacement. The analysis results in this paper can provide reference for similar engineering construction.

Key words: soft clay stratum; shallow overburden condition; large-diameter shield; construction parameters;

0 引 言

随着我国社会经济的不断发展, 城市基础设施建设也随之快速发展。城市地下快速通道成为一种解决城市交通拥堵的有效手段。城市地下通道多利用大直径盾构进行浅覆土开挖施工, 施工场地多集中在城市核心街区, 因此针对大直径盾构施工参数的研究显得格外重要。侯永茂等^[1]根据上海软土地

层中迎宾三路土压平衡盾构隧道工程, 研究了超大直径土压平衡盾构施工引发的地表变形规律。研究表明盾构施工中的土舱压力和同步注浆参数对地表沉降的发展规律有重要影响, 其中同步注浆的参

基金项目: 上海市科学技术委员会科研计划项目 (16QB1403400); 国家自然科学基金项目 (No.5177858575); 浙江省重点研发计划项目 (2019C03103);

收稿日期: 2019 - 07 - 15

*通讯作者 (E-mail: yujianlin72@126.com)

数设定对于控制地表沉降起关键作用。Liu 等^[2]通过现场实测数据及数值模拟对上海长江西路大直径泥水平衡盾构隧道穿越工程进行了研究。顾刚等^[3]利用现场实测及数值模拟对珠海城际轨道交通工程大直径土压平衡盾构施工参数优化进行了研究。本文依托杭州文一路地下通道西段北线盾构施工监测数据,对盾构开挖过程中地表最大隆沉变形及施工参数变化情况进行分析研究,为类似工程施工参数优化提供参考。

1 工程概况

文一路地下通道工程是杭州“一环、三纵、五横”城市快速路系统中“一横”德胜路~文一路的重要组成部分。工程西起紫金港路以西,东至保俶北路,全长约 5.12 公里,双向 4 车道,设计车速 60 公里/小时。全线设置一座互通立交以及 4 对匝道。工程分为东、中、西明挖段及东西盾构段。如图 1 所示,工程西盾构段有北线及南线两条隧道,线路出 1 号工作井后沿文一西路穿行,过紫荆文路、紫荆花路、古墩路、竞舟路、丰潭路后到达 2 号工作井,共 918 环。隧道外径 11.36 m,内径 10.36 m,环宽 2 m,管片厚度 500 mm,线路最大纵坡 3%,最小转弯半径 1200 m。



图 1 文一路地下通道西盾构段工程示意图

Figure 1 Schematic diagram of the West shield section of the underground passage of Wenyi Road

本文研究的监测区段为北线盾构段 200~340 环,坡度约为 1.68%。如图 1 所示。监测区段隧道所处的工程地质剖面图和地层物理力学性质如图 2 及表 1 所示。

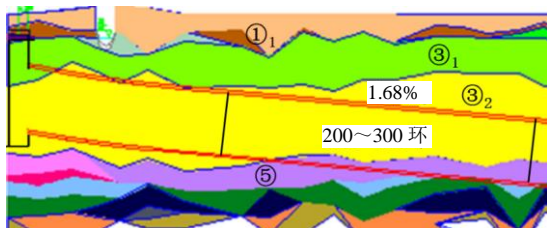


图 2 西盾构段工程地质剖面图

Figure 2 Engineering geological section of the West Shield section

表 1 场地主要土层物理力学参数表

Table 1 Physico-mechanical parameters of soil strata			
土层	厚度 /m	重度 /(kN/m^3)	压缩模量 /MPa
杂填土① ₁	4	19	3
淤泥及淤泥质粘土③ ₁	8	17	2
淤泥质粉质粘土③ ₂	12	18	3
淤泥质粘土⑤	7	18	4

2 监测结果及分析

2.1 地表最大隆沉值

Peck 等^[4]人认为若盾构开挖引起的土体变形是不排水过程,土体损失在隧道长度上位均匀分布,由盾构施工引发的地表变形可近似为高斯分布曲线,并可由下式表示

$$S(x) = S_m \exp\left(-\frac{x^2}{2i^2}\right) \quad (1)$$

其中 $S(x)$ 为地表沉降量; S_m 为隧道轴线上的地表变形量,正值代表隆起,负值代表沉降; x 为距隧道中轴线的垂直距离; i 是沉降槽宽度系数。

由式 (1) 可知,在明确了参数 S_m 和 i 之后,即可确定盾构施工引发的地表变形曲线。众多学者针对参数 i 提出了不同的取值方法,其一般与盾构开挖直径和深度有关^[5-7]。与参数 i 不同,参数 S_m 的取值则与盾构开挖施工参数,如切口压力、同步注浆量等关系密切。图 3 为盾构施工引发的隧道轴线上地表最大隆沉值,即开挖引起的某一断面处 S_m 的最大值。

由图 3 可知,监测区段地表最大隆沉值集中在 $-4 \sim 8 \text{ mm}$ 之间,说明该区段盾构施工控制较好,周围土体变形在允许范围 ($\pm 10 \text{ mm}$) 以内,相应的施工参数可以为类似工程提供参考。值得注意的是,在 240~340 环区段,地表土体主要表现为隆起变形,说明在软土地层中的浅覆土盾构施工过程中,上覆土体可能会受到来自隧道的挤压作用。

2.2 切口水压

切口压力是下穿工程中重要的施工控制参数,过大或过小的切口压力会造成上覆土体的隆起或沉降^[8]。由于监测区段上覆土体土压力随着盾构开挖进程逐渐增加,盾构切口压力也应相应增加。图 4 和图 5 分别为盾构切口处土压力传感器分布情况及切口压力值变化情况。如图 5 所示,随着盾构开挖深度逐渐增大,切口压力也逐渐增大,沿掘进方向变化梯度为 $15 \text{ kPa}/\text{m}$,略小于周围土体重度。盾构切口上部的切口水压明显低于中部切口水压,垂直方向变化梯度接近 $10 \text{ kPa}/\text{m}$ 。

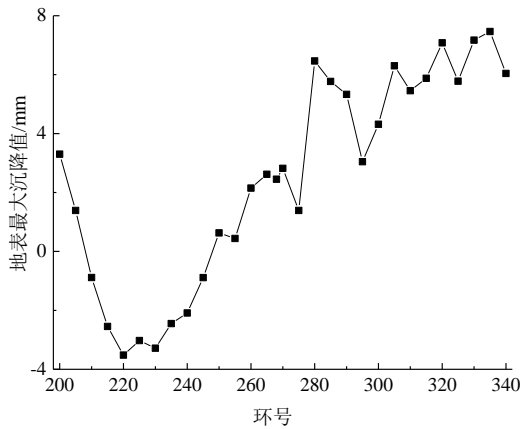


图 3 地表最大隆沉值变化情况

Figure 3 Variation of maximum ground displacement

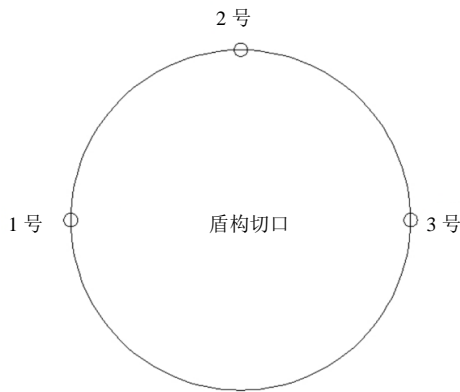


图 4 盾构切口土压力测量点位

Figure 4 Measurement point of face-support pressure

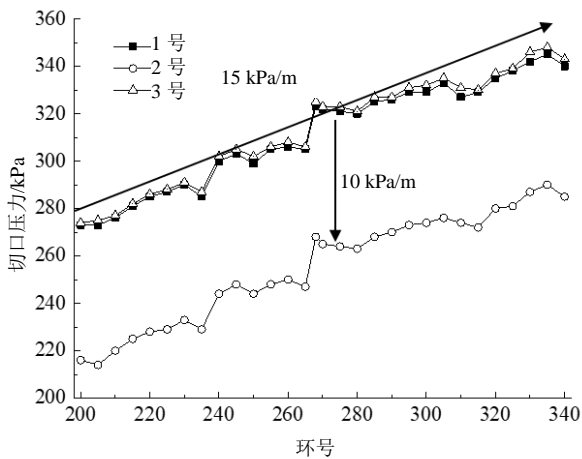


图 5 盾构切口压力变化情况

Figure 5 Variation of face-support pressure

2.3 同步注浆量

由于盾构盾尾与管片之间存在间隙,需要及时通过同步注浆进行充填。当同步注浆量过大或过小时,土体相应会产生隆起或沉降。图 6 和图 7 分别为盾尾同步注浆孔位分布及监测区段同步注浆量变化情况。如图 6 所示,同步注浆总量基本保持在

11.5 m³,上部孔位注浆量始终大于下部孔位注浆量,说明浆液在盾尾间隙中的流向以自上而下为主。监测区段内同步注浆量保持稳定,说明在 240~340 环区段发生的地表隆起变形不是由同步注浆挤压造成的。

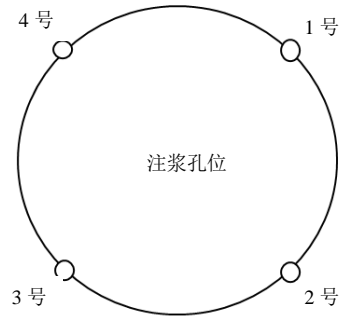


图 6 同步注浆孔位分布

Figure 6 Locations of the grouting holes

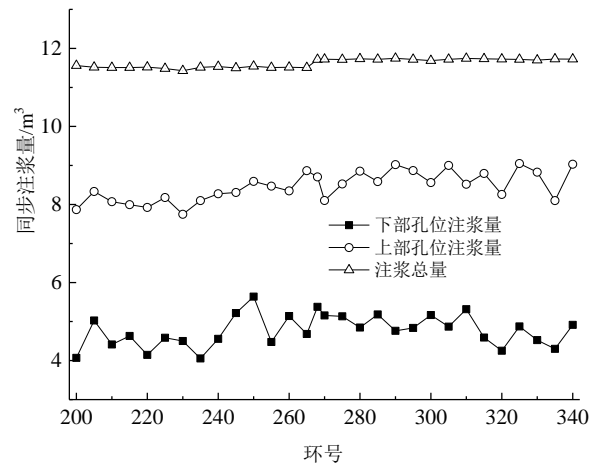


图 7 同步注浆量变化情况

Figure 7 Variation of grouting volume

2.4 管片上浮量

新建隧道管片为空心管状结构,其自身重量远小于开挖对应的土体重量,隧道管片会在浆液压力和水土压力的作用下产生上浮,上覆土体在受到上浮管片的挤压后会产生隆起^[9]。因为土体自身强度和上覆压力所提供的抗浮力较小,软土地层中的浅覆土大直径盾构工程较易发生隧道上浮。当上浮量引发的上覆土体隆起变形大于土体损失造成的土体沉降时,地表土体最终会出现隆起现象。在上海 15.56 m 直径北横通道掘进过程中,浅覆土试验段的地表土体在盾构穿越过程中因隧道上浮而呈现隆起状态^[10]。

图 8 对比了管片上浮量与地表隆沉值变化情况。由图 8 可知,管片上浮量和地表隆沉值之间存在一定的相关性。在管片上浮量较小的区段,地

表土体主要表现为沉降或微隆状态。在管片上浮较大的区段,地表土体主要为隆起状态,需要通过及时调整施工参数,对管片上浮进行控制,防止地表出现超出容许范围的隆起值。优化同步注浆浆液材料及注浆参数、调整盾构姿态控制、控制泥水质量等都是减小管片上浮的有效手段。

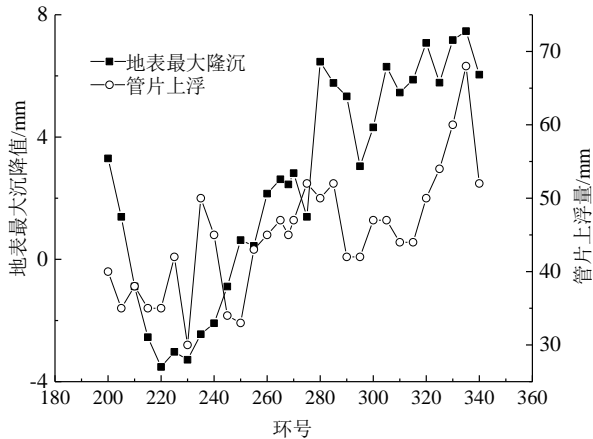


图8 管片上浮量与地表最大隆沉值变化趋势对比

Figure 8 Comparison of the change trend of the tunnel uplift and the maximum ground displacement

3 结 论

依托文一路地下通道北线盾构施工监测结果,对施工过程中地表隆沉特性及施工参数变化进行研究,得出如下结论:

(1) 监测区段地表最大隆沉值集中在 $-4\sim 8\text{ mm}$ 之间,土体变形在允许范围以内,说明盾构施工参数控制较好,相应的施工参数可以为类似工程提供参考。

(2) 随着盾构开挖深度逐渐增大,切口压力逐渐增大,变化梯度为 15 kPa/m ,略小于周围土体重度;盾构切口压力竖向变化梯度接近 10 kPa/m 。

(3) 同步注浆总量基本稳定,上部孔位注浆量始终大于下部孔位注浆量,说明浆液在盾尾间隙中的流向以自上而下为主。

(4) 软土地层中的浅覆土大直径盾构工程较易发生隧道上浮引发的地表隆起,在监测区段管片上浮量和地表隆沉值之间存在一定的相关性。

参考文献:

- [1] 侯永茂,郑宜枫,杨国祥,等. 超大直径土压平衡盾构施工对环境影响的现场监测研究[J]. 岩土力学, 2013, 34(1): 235-242.
- [2] Liu C, Zhang Z, Regueiro R A. Pile and pile group response to tunnelling using a large diameter slurry shield - Case study in Shanghai[J]. Computers and Geotechnics, 2014, 59: 21-43.
- [3] 顾刚,吴曼琪,武坤鹏. 珠海城际轨道交通工程大直径土压平衡盾构施工参数试验研究[J]. 施工技术, 2017, 46(22): 101-104.
- [4] Peck, R G. Deep excavations and tunneling in soft ground. in proc. [C]. 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. 290-225. Mexico City. 1969.
- [5] 璩继立,葛修润. 软土地区盾构隧道施工沉降槽的特征分析[J]. 工业建筑, 2005, 35(1): 42-46.
- [6] Mair R J, Taylor R N, Bracegirdle A. Subsurface settlement profiles above tunnels in clays. Géotechnique 1993, 43(2): 315-320.
- [7] Mair, R J, Taylor, R N, Theme lecture: Bored tunnelling in the urban environment. In: 14th Int. Conf. soil Mech. Found. Eng. Balkema, Hamburg, 1997. 2353-2385.
- [8] Liao, S M, Liu, J H, Wang, R L, Li, Z M. Shield tunneling and environment protection in Shanghai soft ground[J]. Tunnelling Underground Space Technol., 2009, 24(4): 454-465.
- [9] 肖明清,孙文昊,韩向阳. 盾构隧道管片上浮问题研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(4): 1041-1045.
- [10] 李磊. 超大直径泥水盾构浅覆土掘进引起的土体变形特性分析[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2018, 14(7): 269-271.