

文章编号: 1673-9469 (2018) 03-0049-05

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2018.03.010

盾构隧道叠置下穿地下道路的施工变形规律研究

杨 潇¹, 李明宇²

(1. 同济大学 土木工程学院, 上海 200092; 2. 郑州大学 土木工程学院, 河南 郑州 450001)

摘要: 在盾构近接工程中, 既有地下道路正下方进行盾构下穿具有极大的施工风险。考虑盾构施工中隧道、土和地下道路的变形耦合作用, 采用有限差分法, 建立了盾构叠置下穿地下道路施工的三维数值计算模型, 对盾构施工引起的周边土体位移和地下结构变形展开研究。结果表明, 盾构施工主要引起了三面围合区域内部的土体位移, 而在围合区域外部几乎没有土体移动, 在隧道中轴线上方地下道路的顶板和底板发生较大的附加变形, 三面围合下隧道衬砌环的横鸭蛋变形相比半无限空间中有所减弱。

关键词: 盾构隧道; 地下道路; 叠置下穿; 有限差分法; 施工变形

中图分类号: U452

文献标志码: A

Research on the construction deformation induced by shield tunneling with an underground road overlapped on it

YANG Xiao¹, LI Mingyu²

(1.College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai, 200092, China; 2. College of Civil Engineering, Zhengzhou University, Henan Zhengzhou, 450001, China)

Abstract: In shield tunneling approaching projects, the construction activities are of large risks for shield tunneling with an underground road overlapped on it. Considering the coupling deformation of tunnel and underground road, the analysis-calculation model of shield tunneling below an underground road is established with Finite-Difference-Method. Thus, soil movement and underground structure deformation can be acquired. The results show that soil movement appears mainly in three enveloped area. For underground road, the additional deformation is much heavier on the top plate and bottom plate above the tunnel crown. Moreover, the “horizontal egg” deformation of shield lining for three enveloped situation decreases compared with semi-infinite situation.

Key words: shield tunnel; underground road; overlapping; finite difference method; construction deformation.

在城市轨道交通建设中, 在既有地下建构筑物(桩基、地下管线等)附近进行地铁盾构隧道施工的工程日益增加。这类邻近既有地下建构筑物的盾构工程在理论研究上称之为盾构近接工程。在上海等经济发达城市, 盾构近接工程发展得比较充分, 以至于出现了在既有地下道路下方进行盾构隧道施工的工程。在这类工程中, 盾构隧道和地下道路上下平行叠置, 叠置长度达到数千米。盾构施工将在相当长的距离上受到既有地下道路的影响, 这就使得

盾构施工引起的土体位移以及隧道衬砌结构的变形都与半无限空间土体中的盾构隧道大不相同。同时, 盾构施工也会对既有地下道路产生结构上的附加变形, 某种程度上可能会影响地下道路结构的正常使用。因此, 为保证地下道路和盾构隧道的安全性, 有必要对盾构施工中产生的土体位移和地下结构变形进行计算研究。目前, 在盾构近接工程领域, 很多学者从理论计算^[1-3]、室内试验^[4-5]及实测分析^[6-7]等方面做了相关研究, 取得了一定的研究成果。然

收稿日期: 2018-03-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(51508520)

作者简介: 杨潇(1990-), 男, 河南信阳人, 博士, 从事隧道及地下建筑工程方面的研究。

而这些研究主要针对的是盾构隧道与已有建构筑物呈现节点穿越或短距离重叠的情况，此种情况下已有建构筑物对盾构隧道的的影响范围较小，仅仅存在与穿越区域附近。而前面提到的盾构隧道叠置下穿地下道路这类长距离穿越的工程，鲜有学者发表相关研究成果。本文通过 FLAC3D 有限差分软件，对盾构隧道叠置下穿地下道路的施工过程进行三维数值模拟，由此展开土体位移、地下道路结构以及盾构隧道结构变形的规律研究。

1 三维数值模型

1.1 模型介绍

利用岩土工程有限差分软件 FLAC3D，对盾构隧道叠置下穿地下道路工程进行了三维数值建模，分为单线盾构和双线盾构两类，三维模型示意分别如图 1(a) 和图 1(b)。图中，模型尺寸为沿盾构掘进方向 (y 方向)120 m，垂直盾构掘进方向 (x 方向) 100 m，沿地层深度方向 (z 方向)50 m。图中关于地

下道路和盾构隧道的空间几何表示如下： a 为地下道路宽度， h_1 为地下道路顶板以上覆土厚度， h_2 为地下道路高度， b 为地下道路围护墙伸出底板以下长度， R 为盾构隧道半径， H 为隧道中心埋深， s_{v0} 为地下道路底板与隧道拱顶之间的竖直净距， s_{h0} 为地下道路围护墙与隧道拱腰之间的水平净距， l 为双线隧道的水平净距，其中地下道路沿盾构掘进方向每 30 m 设置一道变形缝。

1.2 建模说明

土体以上海地区软黏土为样本，选用修正剑桥模型，相关参数见表 1。地下道路和盾构隧道结构采用实体单元，在土体和地下结构接触部位、地下道路变形缝处均设置接触面单元。盾构掌子面附加推力、盾壳与土体摩擦力以及盾尾注浆压力均通过在相应单元结点处施加作用力的方式实现。其中，掌子面附加推力取 30 kPa，盾壳与土体摩擦角取 9° ，盾尾注浆压力取 0.25 MPa，盾构施工引起的土体损失为 4‰，地下道路和盾构隧道的尺寸及空间布置参数见表 2。

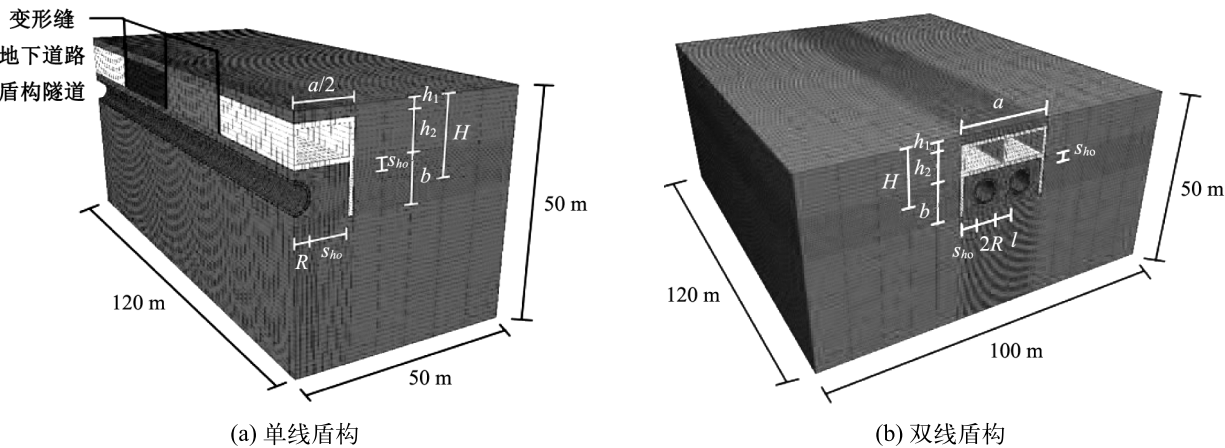


图 1 三维数值计算模型
Fig.1 The three-dimensional simulation model

表 1 土体参数
Tab.1 Soil parameters

密度 $\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	静止土压力系数 K_0	泊松比 μ	超固结比 OCR	压缩模量 $E_{s0.1-0.2}/\text{MPa}$
1.8	0.6	0.4	1.1	4
内摩擦常量 M	正常固结曲线 λ	回弹曲线 κ	基准应力 p_1/kPa	基准比容 v_λ
0.69	0.158 7	0.013 2	1	3.158

表 2 空间布置参数
Tab.2 Parameters of spatial distribution

a/m	h_1/m	h_2/m	b/m	R/m	H/m	s_{v0}/m	s_{h0}/m	l/m
20	2	8	10	3.1	15	1.9	5.9	3.8

2 计算结果分析

2.1 土体位移分布

图2和图3分别展示了单线和双线盾构施工引起的土体位移场。可以看出, 盾构施工只引起了三面围合区域内部的土体位移, 而在围合区域外部的土体基本不发生移动, 这里的三面围合区域指的是地下道路底板和两侧围护墙对盾构隧道形成的包围区域。但在单线盾构隧道施工中, 由于隧道位于地下道路中隔墙下方, 容易造成中隔墙及顶板以上土体的局部发生较大下沉, 在施工中要尽量避免这种穿越方式或采取局部土体加固等辅助措施。

图4和图5绘制了盾构施工引起的地下道路底板下土体沉降的横向和纵向分布曲线。观察发现, 在三面围合区域内部土体沉降分布形状和半无限空间中盾构施工引起的土体沉降分布形状相似, 只是在沉降量值上有所减小。这表明三面围合结构对盾构施工引起的土体移动具有阻隔作用, 在一定程度上限制了土体位移的发展, 以图5中土体最大沉降为例, 三面围合结构使单线和双线盾构的土体沉降相对于半无限空间中的情况依次减小了37.1%和66.1%。此外, 土体纵向沉降在变形缝两侧出现了

突变, 沉降量值出现了跳跃, 说明地下道路变形缝对土体沉降的隔断作用。

2.2 地下道路结构变形

图6和图7给出了单线、双线盾构施工引起的

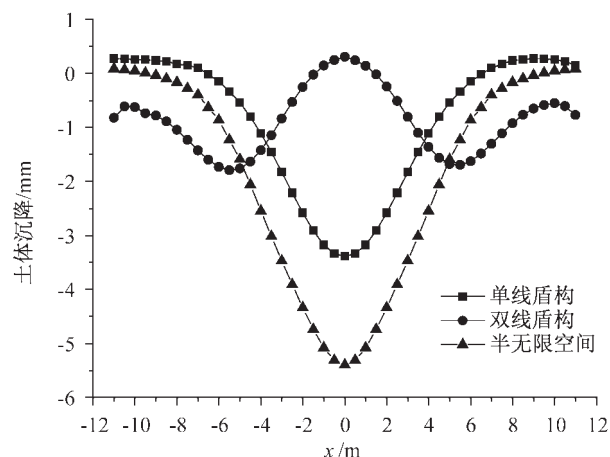


图4 地下道路底板下土体沉降的横向分布

Fig.4 Horizontal distribution of ground settlement under the bottom plate of underground road

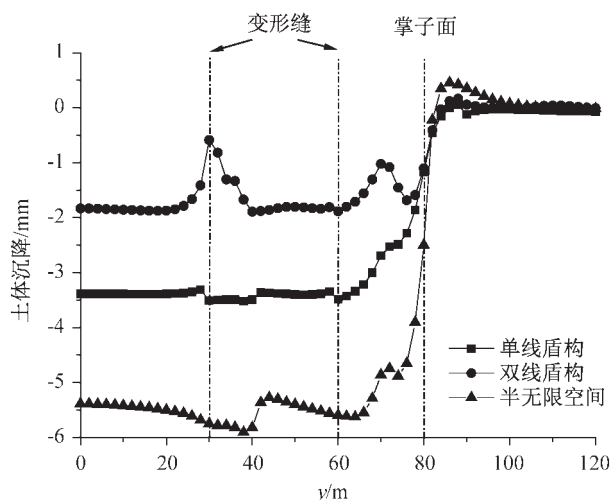


图5 地下道路底板下土体沉降的纵向分布

Fig.5 Longitudinal distribution of ground settlement under the bottom plate of underground road

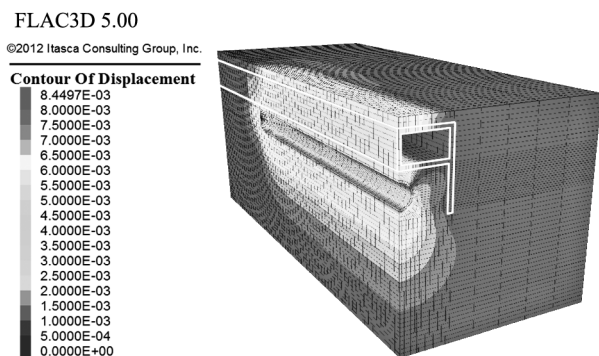


图2 单线盾构施工引起的土体位移场

Fig.2 The soil displacement induced by single shield tunneling

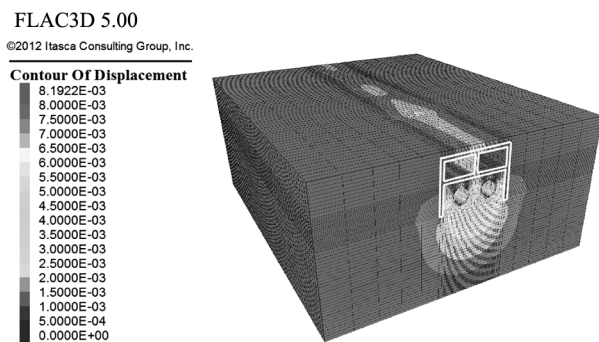


图3 双线盾构施工引起的土体位移场

Fig.3 The soil displacement induced by twin shield tunneling

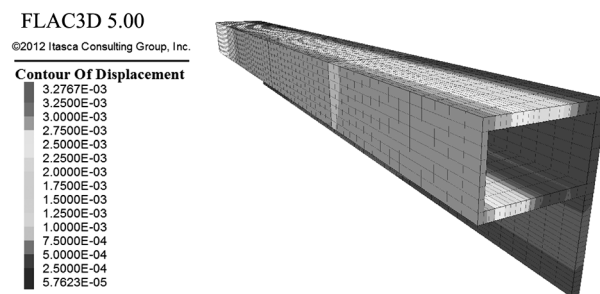


图6 单线盾构施工引起的地下道路结构变形

Fig.6 Deformation of underground road induced by single shield tunneling

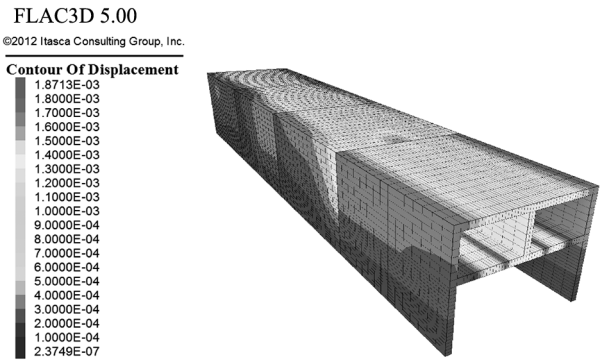


图 7 双线盾构施工引起的地下道路结构变形
Fig.7 Deformation of underground road induced by twin shield tunneling

地下道路结构位移云图。不难看出，地下道路结构的变形主要发生在隧道中轴线上方的地下道路底板和顶板，而在地下道路围护墙附近变形很小。盾构施工主要引起地下道路底板下方土体竖向应力的减小，造成土体与底板接触松弛。在地下道路围护墙两侧由于土压力的作用，土体与围护墙一直保持紧密接触。

2.3 盾构隧道结构变形

关于盾构隧道结构的变形，可以通过同一横断

面处衬砌环的变形来进行分析。图 8 绘制了同一横断面两种工况下隧道衬砌环在拱顶、拱底和拱腰等关键位置处的位移值。根据图中信息，三面围合下隧道衬砌横断面依然呈现“横鸭蛋”的变形轮廓，这与半无限空间中的情况相似。所不同的是，衬砌环的变形程度不同，在拱顶、拱底和拱腰处的位移值有减小的趋势。图中， D_h 为隧道水平直径， D_v 为隧道竖直直径， D 为隧道设计直径，如果定义椭圆度 $= (D_h - D_v) / D \times 100\%$ ，则半无限空间中盾构隧道椭圆度为 0.350%，三面围合下单线盾构隧道椭圆度为 0.264%，三面围合下双线盾构隧道椭圆度为 0.171% (先行线) 和 0.172% (后行线)，说明三面围合下隧道衬砌环的横鸭蛋弯曲变形程度被削弱。

3 结论

- 1) 考虑盾构隧道和地下道路的相互影响，建立了三维数值分析模型，实现了长距离(数千米)叠置工况下盾构隧道施工引起的土体位移和地下结构变形计算。
- 2) 盾构施工导致的土体移动几乎全部发生在地

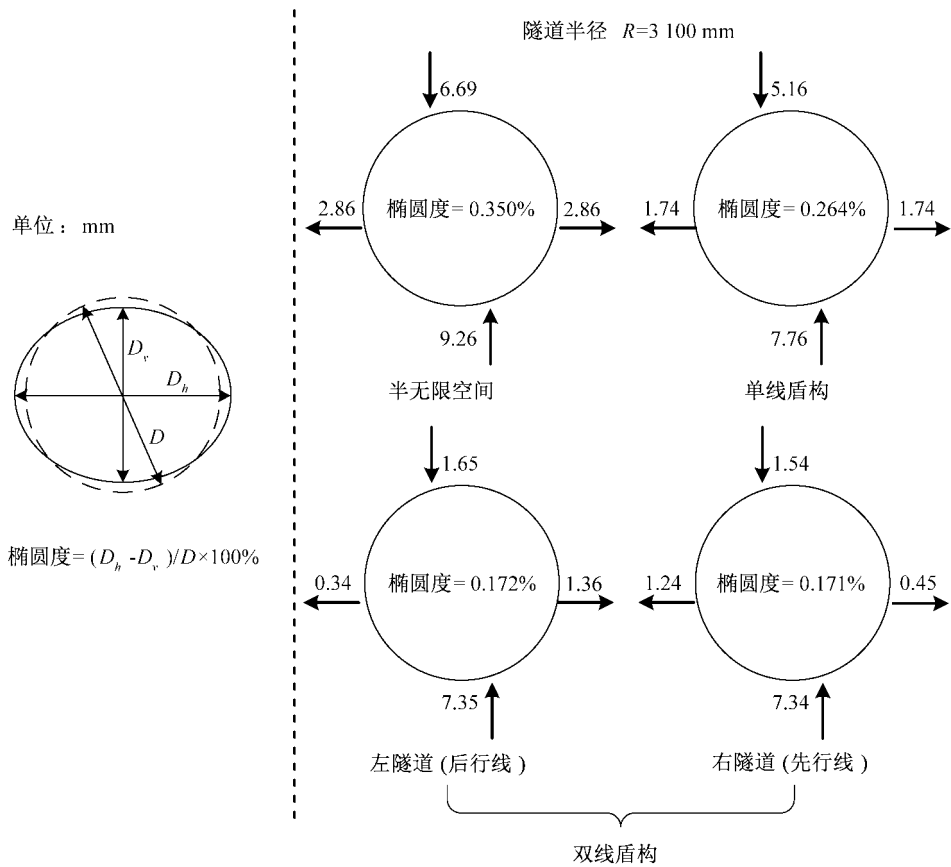


图 8 盾构隧道衬砌环横断面变形
Fig.8 Transverse deformation of shield lining ring

下道路底板和两侧围护墙形成的围合区域内部,体现了围护墙对土体位移发展的阻隔作用;同时地下道路变形缝也会对土体沉降产生隔断作用。

3) 盾构施工主要引起地下道路顶板和底板在隧道拱顶上方的附加变形,而对地下道路侧墙的变形影响可以忽略。

4) 和半无限空间土体相比,三面围合下盾构隧道衬砌环的“横鸭蛋”弯曲程度有所减弱。

参考文献:

- [1] LOGANATHAN N, POULOS H G, XU K J. Ground and pile-group response due to tunneling[J]. Soil and Foundations, 2001, 41(1): 57-67.
- [2] 黄茂松, 张宏博, 陆荣欣. 浅埋隧道施工对建筑物桩基的影响分析[J]. 岩土力学, 2006, 27(8): 1379-1383.
- [3] 黄 栩, 黄宏伟, 张冬梅. 开挖卸荷引起下卧已建盾构隧道的纵向变形研究[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(7): 1241-1249.
- [4] ONG C W, LEUNG C F, YONG K Y, et al. Centrifuge modeling of pile responses due to tunneling in clay[J]. Underground Singapore, 2005, 128(4): 327-336.
- [5] 张晓清, 张孟喜, 吴应明, 等. 多线叠交盾构隧道近接施工模型试验[J]. 上海交通大学学报, 2015, 49(7): 1040-1045.
- [6] 张在明, 韩 焯. 城市隧道施工引起建筑物变形的损坏评估[J]. 木工程学报, 2011, 44(5): 123-130.
- [7] 张明聚, 赵 明, 王 鹏程, 等. 小净距平行盾构隧道施工先行隧道管片附加应力监测研究[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(11): 2121-2126.
- (责任编辑 王利君)
-
- (上接第48页)
- [J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2007, 44: 948-95.
- [17] 陈仲颐, 周景星, 王洪瑾. 土力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013: 246-250.
- [18] 张泽林. 典型黄土滑坡启动机制及成灾模式研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2016.
- [19] 李广信. 高等土力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 200-206.
- [20] 赵志峰, 杨 帆. 刚性下卧层对地基变形影响的计算方法[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2014, 38(5): 139-142.
- [21] 张鲁渝, 郑颖人, 赵尚毅, 等. 有限元强度折减系数法计算土坡稳定安全系数的精度研究[J]. 水利学报, 2003(1): 21-27.
- [22] DUNCAN J M. State of the art: Limit equilibrium and finite element analysis of slopes[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1996, 22(7): 577-596.
- [23] 季 聪, 仵 磊, 马 宏, 等. FLAC 3D 强度折减理论在边坡稳定分析中的应用[J]. 世界地质, 2013, 32(1): 158-164.
- [24] 田光辉, 刘之葵, 肖 波. 用有限元强度折减法分析边坡稳定性[J]. 路基工程, 2011(1): 48-53.
- (责任编辑 王利君)