

DOI: 10.11779/CJGE2015S1025

浅覆土大直径盾构穿越对河堤影响的有限元分析

韩 磊¹, 叶冠林^{1*}, 王建华¹, 杨光辉², 周 松²

(1. 上海交通大学土木工程系, 上海 200240; 2. 上海城建市政工程(集团)有限公司, 上海 200065)

摘要: 以江阴澄江西路隧道工程为背景, 采用基于地层损失率的位移控制有限元法(DCM), 在自编 Gleaves 有限元软件中建立了 DCM 子程序, 分析了浅覆土大直径盾构隧道开挖对河堤的影响。分析结果表明, 浅覆土条件下, 不同地层损失率对河堤沉降影响区别很大; 为了保证河堤安全, 地层损失率应控制在 1% 以内; 通过现场监测结果对比发现, 河堤最大沉降量为 12 mm, 地层损失率完全控制在 1% 以内, 达到了很好的控制效果, 保证了河堤的安全。

关键词: 有限元分析; 地层损失率; 浅覆土盾构隧道; 河堤沉降; 现场实测

中图分类号: TU473 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2015)S1-0125-04

作者简介: 韩 磊 (1988-), 男, 博士研究生, 主要从事岩土工程、地下工程等领域的学习与科研。E-mail: hanleiwell@163.com。

Finite element analysis of impact of under-crossing of large shallow shield tunnel on riverbank

HAN Lei¹, YE Guan-lin¹, WANG Jian-hua¹, YANG Guang-hui², ZHOU Song²

(1. Department of Civil Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China; 2. Shanghai Urban Construction Municipal Engineering Co., Ltd., Shanghai 200065, China)

Abstract: Based on the tunnel project of Jiangyin West Chengjiang Road, the impact of undercrossing of large shallow shield tunnel on the riverbank is analyzed by using the Gleaves finite element software. The subroutine of displacement control of finite element method (DCM) is established in the software based on the ground loss ratio. The analysis results show that the settlement of riverbank varies largely with different ground loss ratios under small overburden. The ground loss ratio should be controlled within 1% for the safety of the riverbank. The in-situ monitoring results show that the largest settlement of riverbank is 12 mm after crossing of shield tunnel. Good control effect is achieved and the safety of the riverbank is ensured.

Key words: finite element analysis; ground loss ratio; shallow shield tunnel; riverbank settlement; in-situ monitoring

0 引言

盾构隧道施工对周围环境的影响作为工程施工中的重点问题, 一直备受关注^[1-3]。随着中国城市交通的快速发展, 盾构隧道在二线城市得到了越来越广泛的应用, 而且很多情况下需要下穿河流, 比如中国的长三角地区。盾构隧道施工引起河堤沉降过大甚至坍塌的事故时有发生^[4-6]。河堤作为防洪系统的重要组成部分, 其安全性直接关系到周边人民的生命财产安全^[7]。因此, 确定合理的施工参数, 减小盾构穿越对河堤的影响, 保证河堤的安全具有十分重要的意义。

本文以江阴澄江西路隧道工程为背景, 采用基于地层损失率的位移控制有限元法 (DCM)^[8], 在自编 Gleaves 有限元软件中建立了 DCM 子程序, 分析了盾构隧道开挖对河堤的影响。有限元分析结果表明, 不同地层损失率对河堤沉降影响区别很大。为了保证河堤安全, 地层损失率应控制在 1% 以内; 通过现场监

测结果对比发现, 河堤最大沉降量为 12 mm, 地层损失率完全控制在 1% 以内, 达到了很好的控制效果, 保证了河堤的安全。

1 工程概况

江阴市澄江西路隧道为大型双管公路隧道, 沿东西向布置, 分北线和南线, 采用直径为 11.58 m 的泥水平衡盾构机进行开挖, 隧道外径 11.36 m。分别下穿闸桥河、锡澄运河两条河流, 河底段共约 250 m, 如图 1 所示, 河底段隧道覆土几乎全部小于 1D (D 为隧道外径), 其中南线隧道穿越闸桥河时覆土最浅, 经处理后才 7 m。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41372284); 上海市科学技术委员会科研项目 (14231200602, 13231200900)

收稿日期: 2015-03-26

*通讯作者

闸桥河河堤为浆砌块石结构, 碾压式土石堤坝(图2), 结构刚度较小, 整体性差, 少量的沉降和变形都将危及河堤的安全, 特别是坡面上土体发生较大位移时, 会带动坡面上部土体移动, 甚至会在坡面形成滑动面, 引发坡面土体的整体滑动, 再考虑到河底覆土较浅, 且河堤处覆土深度变化较大, 更增加了盾构穿越对河堤沉降的控制难度, 因此盾构穿越之前需要分析盾构施工对河堤沉降的影响, 建立合理的施工控制指标, 保证盾构的顺利穿越。

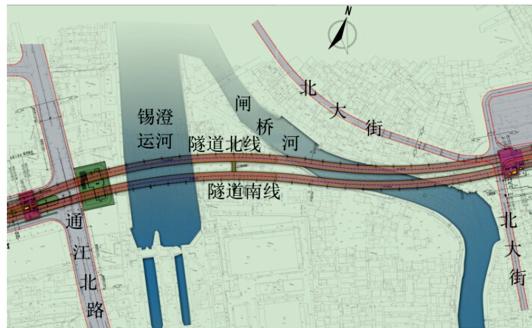


图 1 澄江西路隧道平面图

Fig. 1 Plan view of tunnel of West Chengjiang Road



图 2 闸桥河河堤图

Fig. 2 Photo of Zhaqiao riverbank

2 计算方案

2.1 有限元模型

本文通过采用 Hypermesh 软件建模, 自编 Gleaves 有限元分析软件进行计算来模拟江阴澄江西路隧道穿越对闸桥河河堤的影响, 土体本构模型为莫尔-库仑本构模型。

建立盾构穿越既有堤坝的三维有限元模型如图 3 和 4 所示, 取隧道直径为 11.36 m, 隧道顶部距地表距离为 21.6 m, 模型长 60 m, 宽 47 m, 高 45 m, 模型底部边界竖向位移固定, 两侧边界水平位移固定。地层从下到上依次为①层杂填土, ②层粉质黏土, ③₁层粉土, ③₂层粉砂, ④层粉质黏土, ⑥层粉质黏土。

2.2 计算方法

隧道施工引起地表沉降, 主要是由于隧道开挖引

起的地层损失造成, 为了建立合理的施工控制指标, 本文采用基于地层损失率的位移控制有限单元法

(DCM) 直接在隧道边缘施加节点位移模拟隧道开挖, 来分析隧道施工对河堤的影响。地层损失率定义为隧道施工断面同设计断面截面积之差与设计断面截面积的比值^[8]。

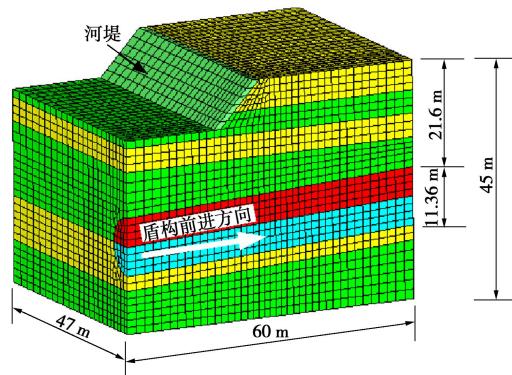


图 3 三维有限元模型

Fig. 3 3D FEM model

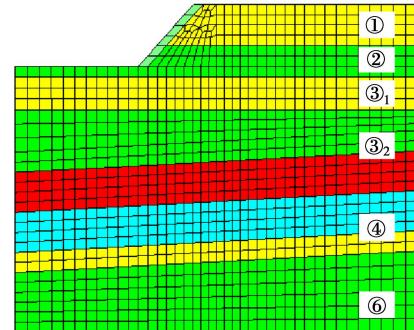


图 4 有限元模型纵断面图

Fig. 4 Longitudinal view of FEM model

本文采用自编 Gleaves 有限元分析软件, 采用如图 5 所示的非均匀收缩边界条件。通过控制开挖时和开挖后隧道圆心间的圆心距的大小, 调整不同的地层损失模式。通过给定的地层损失率, 计算 DCM 法中对隧道周围土体各点所施加的强制位移大小, 并以此为基础计算隧道开挖对土体沉降的影响。

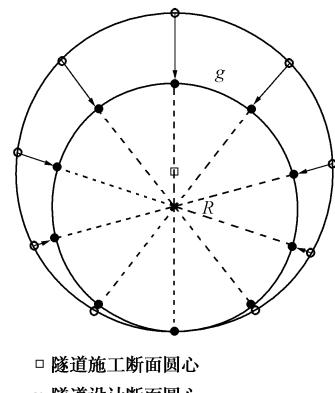


图 5 隧道断面边界位移条件

Fig. 5 Displacement boundary conditions for tunneling

表 1 土层材料参数

Table 1 Soil parameters

土层号	土层名称	重度 $/(\text{N}\cdot\text{m}^{-3})$	c $$	φ $$	压缩模量 $/\text{MPa}$	泊松比	静止土压力系数	渗透系数 $$
①	杂填土	17.5	15.0	13.0	6.23	0.3	0.38	7×10^{-9}
②	粉质黏土	19.8	35.3	16.2	8.12	0.3	0.38	7×10^{-9}
③ ₁	粉土	18.6	2.7	30.2	9.86	0.3	0.45	6.5×10^{-6}
③ ₂	粉砂	19.3	2.3	31.4	11.30	0.3	0.45	7.5×10^{-6}
④	粉质黏土	18.6	20.5	17.9	6.46	0.3	0.48	6×10^{-9}
⑥	粉质黏土	19.8	35.4	16.5	8.94	0.3	0.30	6×10^{-9}

本文分别取地层损失率为 0.5%, 1% 和 2% 3 种情况, 土层参数取值如表 1 所示。

3 结果分析与讨论

在地层损失率分别为 0.5%, 1% 和 2% 时, 开挖结束后与隧道轴线不同距离处河堤的最终沉降量如图 6 所示。

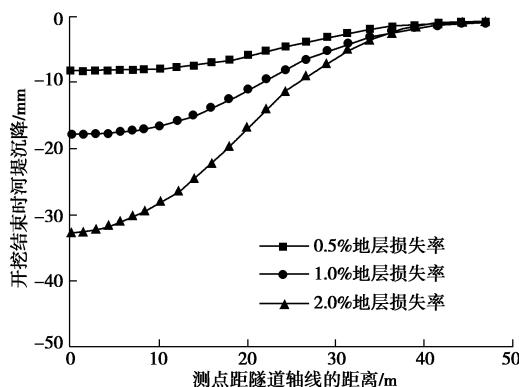


图 6 不同地层损失率下的河堤沉降量

Fig. 6 Settlements of riverbank under different ground loss ratios

由图 6 可以看出, 不同地层损失率对河堤沉降影响区别很大, 但在隧道轴线两侧 40 m 之外, 不同地层损失率的影响区别已经很小, 而且河堤的沉降也很小。在 0.5%, 1.0% 和 2.0% 的地层损失率下, 河堤的

最大沉降分别为 8.2, 17.9, 32.7 mm。考虑到河堤为浆砌块石结构, 结构刚度较小, 整体性差, 因此建议盾构隧道穿越时, 地层损失率控制在 1% 以内, 防止引起河堤的过大沉降或者坍塌。

4 现场实测结果分析

为了实时监测盾构隧道穿越时, 河堤的沉降情况, 在河堤布置位移测点如图 7 所示。隧道穿越后河堤最终沉降量如图 8 所示。由图 8 可知, 河堤最终沉降都在 12 mm 以内, 对比有限元沉降结果可知, 隧道穿越时地层损失率完全控制在 1% 以内, 达到了很好的控制效果。根据河堤沉降测点分布可以发现, 位于隧道上方的测点沉降量明显大于其他位置的沉降量。

5 结 论

本文基于地层损失率的位移控制有限元法 (DCM), 建立三维有限元模型, 分析了浅覆土大直径盾构隧道开挖对河堤的影响, 得到以下结论:

(1) 浅覆土条件下, 不同地层损失率对河堤沉降影响区别很大, 但在隧道轴线两侧 40 m 范围之外, 不同地层损失率的影响区别已经很小, 而且河堤的沉降也很小。

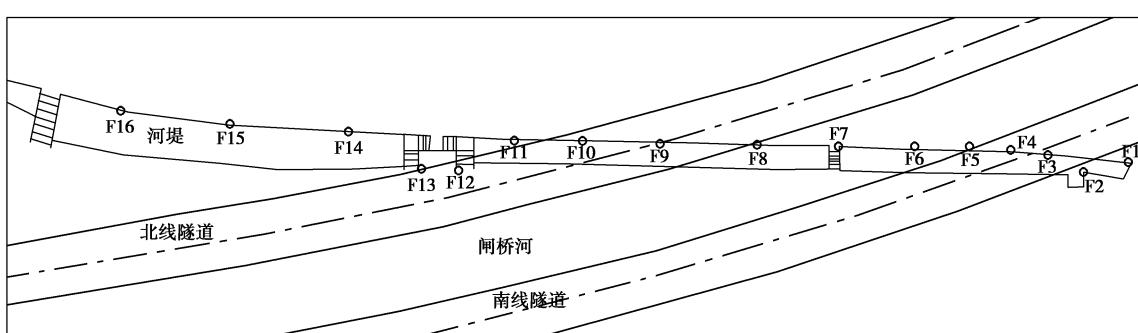


图 7 河堤沉降测点分布图

Fig. 7 Distribution of settlement measuring points of riverbank

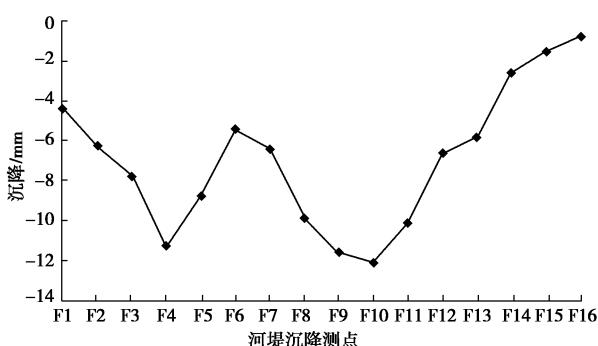


图 8 河堤测点最终沉降量

Fig. 8 Final settlements of riverbank measuring points

(2) 在 0.5%, 1.0% 和 2.0% 的地层损失率下, 河堤的最大沉降分别为 8.2, 17.9, 32.7 mm, 因此若想控制河堤沉降在 20 mm 以内, 必须控制地层损失率在 1% 以内。

(3) 现场实测结果表明, 盾构隧道穿越引起河堤所有测点的沉降量都在 12 mm 以内, 对比有限元分析可以看出, 地层损失率完全控制在 1% 以内, 达到了很好的控制效果, 保证了河堤的安全。

(4) 河堤沉降结果表明, 位于隧道上方的测点沉降量明显大于隧道两侧测点的沉降量。

参考文献:

- [1] 张 云, 殷宗泽, 徐永福. 盾构法隧道引起的地表变形分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(3): 388 - 392. (ZHANG Yun, YIN Zong-ze, XU Yong-fu. Analysis of three-dimensional ground surface deformations due to shield tunnel[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(3): 388 - 392. (in Chinese))
- [2] 王 霆, 刘维宁, 张成满, 等. 地铁车站浅埋暗挖法施工引起地表沉降规律研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(9): 1855 - 1861. (WANG Ting, LIU Wei-ning, ZHANG Cheng-man, et al. Study on ground settlement induced by shallow metro station constructions[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(9): 1855 - 1861. (in Chinese))
- [3] 张忠苗, 林存刚, 吴世明, 等. 过江盾构隧道穿越大堤的地层沉降分析及控制[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(6): 977 - 984. (ZHANG Zhong-miao, LIN Cun-gang, WU Shi-ming, et al. Analysis and control of ground settlement of embankments in construction of cross-river shield tunnels[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011, 33(6): 977 - 984. (in Chinese))
- [4] 李希元, 闫静雅, 孙艳萍. 盾构隧道施工工程事故的原因与对策[J]. 地下空间与工程学报, 2006, 1(6): 968 - 971. (LI Xi-yuan, YAN Jing-ya, SUN Yan-ping. Reasons and countermeasures of accidents happened during the shield tunnel construction[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2005, 1(6): 968 - 971. (in Chinese))
- [5] 黄威然, 竺维彬. 泥水盾构过江工程江底塌方风险的应对及处理[J]. 现代隧道技术, 2006, 43(2): 49 - 53. (HUANG Wei-ran, ZHU Wei-bin. Collapse treatment under river in a project of slurry shield tunneling[J]. Modern Tunnelling Technology, 2006, 43(2): 49 - 53. (in Chinese))
- [6] 竺维彬, 鞠世健, 等. 地铁盾构施工风险源及典型事故的研究[M]. 广州: 暨南大学出版社, 2009. (ZHU Wei-bin, JU Shi-jian, et al. Research of subway shield construction risk sources and typical accidents[M]. Guangzhou: Jinan University Press, 2009. (in Chinese))
- [7] 李宗梁, 黄锡刚. 泥水盾构穿越堤坝沉降控制研究[J]. 现代隧道技术, 2011, 48(1): 103 - 110. (LI Zong-liang, HUANG Xi-gang. Study on settlement control for slurry shields crossing the embankment[J]. Modern Tunnelling Technology, 2011, 48(1): 103 - 110. (in Chinese))
- [8] 杜佐龙, 黄茂松, 李 早. 基于地层损失率的隧道开挖对临近群桩影响的 DCM 方法[J]. 岩土力学, 2009, 30(10): 3043 - 3047. (DU Zuo-long, HUANG Mao-song, LI Zhao. DCM-based on ground loss for response of group piles induced by tunneling[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30(8): 3043 - 3047. (in Chinese))

(本文责编 黄贤沙)