

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyh.2023.02.040

某盾构隧道施工对周边建筑物影响分析

谢欣

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市200092]

摘要: 盾构隧道施工会引起周围地层位移,从而对周边建筑物产生不利影响。为保证施工过程中周边建筑物的安全,在工程项目实施前需要进行安全评估。依托浙江宁波某在建盾构隧道工程项目,通过MIDAS GTS三维有限元分析软件对盾构隧道的掘进过程进行了模拟,分析不同程度施工扰动作用下建筑物的沉降位移。并结合当地盾构隧道施工的地表沉降监测数据,对上部建筑物的安全进行评估,提出盾构施工监测数据的关键控制指标。分析结果表明对于该工程,在盾构隧道的掘进施工过程中,位于其上方的建筑物安全可靠。通过该方法可以用既有的施工监测数据对建筑物沉降进行预测,为相关工程提供方法指导。

关键词: 盾构施工;有限元分析;安全评价;沉降监测

中图分类号: U455

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)02-0157-04

0 引言

盾构隧道施工会引起周边地层位移,从而影响周边建筑物的安全。为此,国内外已经有许多研究成果。为保证施工过程中周边建筑物的安全,需要在工程施工前对地表沉降进行预测,从而对建筑物的安全状态进行评估。

目前盾构隧道施工沉降主要有三种预测方法,即:经验公式法、理论解析法,以及数值分析法。经验公式法^[1-2]主要以Peck公式及其修正公式为代表的,假定沉降槽服从正态分布形式,通过现场实测数据来确定沉降槽曲线的参数,以此来预测地表沉降量。理论解析方法^[3-4]主要是运用弹性应变理论,推导出地面沉降解析解。相较于以上两种沉降预测方法,数值仿真技术能够更加准确地模拟隧道施工的动态过程,充分考虑结构和地层之间的相互关系^[5-6]。近年来计算机技术发展迅速,使数值计算方法的运算效率和计算精度都得到显著提高,逐渐成为隧道工程预测计算最为重要的技术手段。

现采用数值分析法,模拟三维条件下盾构隧道的施工过程,通过改变等代层弹性模量来模拟隧道施工对地层产生的扰动,分析不同程度地层扰动对地层位移和建筑物产生的影响。在此基础上,结合该地区的相关监测数据,对施工过程中的建筑物进行安全评价分析,为工程提供数据支撑和理论指导。

1 工程概况

浙江宁波某地下综合管廊采用盾构法施工,盾构区间有一处下穿房屋群的重要施工节点。盾构隧道埋深10 m,外径6.7 m,内径6.0 m,采用C55钢筋混凝土管片,错缝拼装,厚度350 mm,环宽1.2 m。

根据现有设计方案,三座建筑物位于拟建隧道上方,分别是:一座单层砖砌门房,位于盾构隧道正上方,长宽为6 m×4 m;一座两层砌体建筑,与盾构隧道中线平面距离在10 m左右,长宽为16 m×6 m;以及一座三层建筑物,同样为砌体结构,与盾构隧道中线平面距离在10 m左右,长宽为15 m×10 m。

根据该工程地质勘察资料,该盾构隧道所处地层主要以黏土和粉质黏土为主,从上到下依次是:①₁层杂填土;①₂层黏土;②₁层淤泥质黏土;③₂层淤泥质粉质黏土;④₂层粉质黏土。各地层的层厚及相关地层参数如表1所列。

表1 基本地层计算参数表

土层名称	层厚 D/m	重度 γ /(kN·m ⁻³)	黏聚力 c/kPa	内摩擦角 φ (°)	压缩模量 $E_{s0.1-0.2}$ /MPa	泊松比 μ
杂填土 ① ₁	2.7	18.4	5	15	3.93	0.38
黏土 ① ₂	2.5	18.4	23.9	12.2	3.93	0.38
淤泥质黏土 ② ₁	14.3	17.2	14.2	8.2	2.4	0.37
淤泥质粉质黏土 ③ ₂	5.5	18.9	13.2	11.2	5.8	0.31

2 有限元模型的建立

2.1 有限元分析模型

采用MIDAS GTS有限元建立盾构隧道施工的三

收稿日期: 2022-04-11

作者简介: 谢欣(1989—),男,工学博士,工程师,从事工程结构设计工作。

维地层-结构模型,模拟盾构隧道掘进对上部建筑物及周边地层的影响。模型尺寸为 50 m × 30 m × 30 m (见图 1),能够减少边界条件对盾构施工产生的影响。隧道采用实体单元模拟,外径 6.7 m,内径 6.0 m,按照环宽 1.2 m 将其分为 25 个盾构环。在隧道衬砌外部,对应于各管片环的宽度,分别设置 0.5 m 厚的圆环等代层,施工中用以替换所处位置的地层,并通过调整等代层弹性模量来反映隧道施工扰动产生的地层损失。考虑到上部建筑结构形式的复杂性,为提高有限元模型的计算效率,将其简化为厚度 0.5 m 的混凝土板,并按照每层 10 kPa 的标准在板上施加竖向均布荷载。

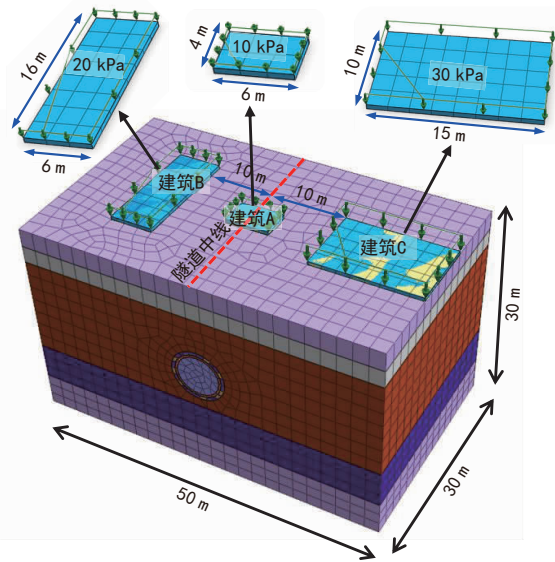


图 1 有限元计算模型

2.2 有限元模型材料参数

2.2.1 地层材料参数

在有限元计算模型中,地层材料采用弹塑性模型,服从摩尔-库伦屈服准则。具体的地层参数及土层厚度根据项目的地质勘察报告选取。地层与隧道之间采用节点耦合,不考虑两者之间的相对位移。盾构隧道周边的等代层采用线性弹性模型,等代层弹性模量作为主要控制参数分别进行计算。

2.2.2 结构材料参数

盾构隧道管片材料为 C55 钢筋混凝土,可采用线弹性实体单元进行模拟。由于纵向接缝的存在,盾构管片环的横向刚度要小于均质圆环,因此,现对管片弹性模量进行折减^[7-8]。地表混凝土板也采用线弹性实体单元,材料参数按 C30 混凝土进行取值。

2.3 盾构施工模拟过程

有限元模拟过程充分考虑盾构施工的基本工况,沿盾构隧道共有 25 个管片环。为了增加计算效

率减少施工步骤,将两个管片环作为一个工况,共存在 13 个施工工况。盾构隧道内土体开挖和衬砌施作在一个工况内进行,同时在掌子面施加支护应力。等代层的节点与周边土体,以及隧道衬砌耦合,其施作工况要落后于开挖土体两个施工步骤,同时施作等代层时应去除对应区域的土体,具体的施工步骤如表 2 所列。

表 2 基本地层计算参数表

步骤	具体施工步骤
1	添加地层、上部结构,施加边界条件,地应力平衡
2	开挖 1#、2# 环土体施加衬砌
3	开挖 3#、4# 环土体施加衬砌
4	开挖 5#、6# 环土体施加衬砌,施加 1#、2# 等代层
5	开挖 7#、8# 环土体施加衬砌,施加 3#、4# 等代层
6~11
12	开挖 23#、24# 环土体施加衬砌,施加 17#、18# 等代层
13	开挖 25# 环土体施加衬砌,施加 19#、20# 等代层
14	施加 21#、22# 等代层
15	施加 23#、24# 等代层
16	施加 25# 等代层

进行四组有限元计算,依次将模型中代层弹性模量设置为 4 MPa、3 MPa、2 MPa、1 MPa,通过等代层厚度的变化确定其地层损失率 R ,以此分析施工扰动对计算结果的影响。

3 计算结果分析

3.1 地表沉降分析

当等代层取 4.0 MPa 时,地层损失率 R 大约为 0.92%,建筑物中线沉降曲线如图 2 所示。断面有明显的沉降槽出现,由于地表存在建筑物刚性较大,沉降槽上可以看到明显的转折点。

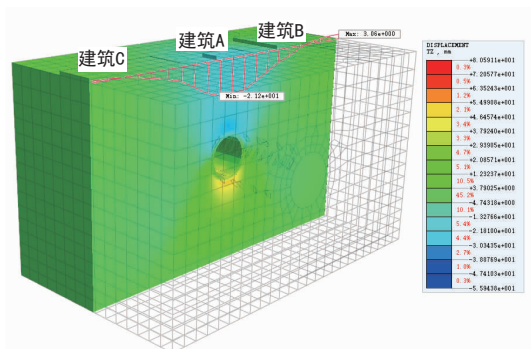


图 2 地层位移及地表沉降曲线图示($R=0.92%$)

图 3 表示的是建筑 A 中心处地表沉降随盾构施工掘进的变化过程。可以看出,在盾构机到达前三个工况(机头相距 7.2 m 时),地表开始有明显的沉降趋势,随着施工的进行,沉降逐渐增加,最终呈现出收敛的趋势。

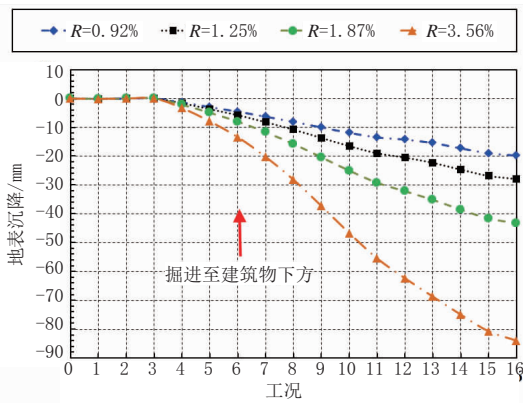


图3 地表最大沉降变化曲线图

3.2 建筑物沉降分析

《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)表5.3.4规定:当砌体承重结构基础发生局部倾斜时,其地基变形允许值 s/L 为 0.002(中、低压缩性土)以及 0.003(高压压缩性土)。《城市轨道交通工程监测技术规范》(GB 50911—2013)第 9.3.1:“当无地方工程经验时,对于风险等级较低且无特殊要求的建(构)筑物,沉降控制值宜为 10~30 mm,变化速率控制值宜为 1~3 mm/d,差异沉降控制值宜为 0.001 l~0.002 l”。

图4表示的是不同地层损失率 R 条件下,建筑群所在断面的地表沉降曲线。当 $R \leq 1.25\%$ 建筑A尚能满足《城市轨道交通工程监测技术规范》中对于累计沉降量的控制要求(30 mm)。提取出建筑物两端的沉降值,计算出建筑物的差异沉降 s/L ,得到所示的变化曲线(见图5)。可以发现,建筑B的差异沉降变化对地层损失率最为敏感,当 $R=1.35\%$ 时,建筑B的差异沉降 s/L 达到《建筑地基基础设计规范》给出的限制 0.002。《城市轨道交通工程监测技术规范》中对于差异沉降差异沉降控制值宜为 0.001 l~0.002 l,对应的地层损失率为 0.71%~1.35%。

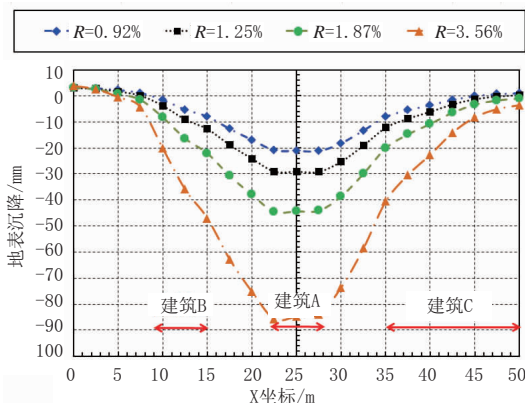


图4 不同地层损失率 R 下地表沉降曲线图

3.3 安全评价分析

在实际工程中,地层损失率 R 与地层条件、施工

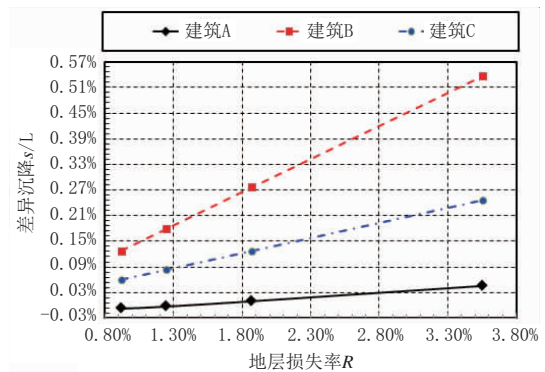


图5 建筑物差异沉降随地层损失率 R 的变化规律曲线图

工艺、外部荷载等诸多因素有关^[10]。因此,具有一定的不确定性。根据吴昌胜等^[11]对国内土压平衡盾构施工实测数据的统计和分析,土压平衡盾构引起的地层损失率为 0.03%~3.79%,平均值为 0.96%。其中,宁波地区地层损失率在 0.03%~2.41%,平均值为 0.89%。根据这一数据可以推算出,建筑A、建筑B、建筑C的最大沉降分别为 0.86~57.57 mm、-5.26~30.03 mm、-2.73~26.54 mm,差异沉降分别为 0~0.02%、0~0.36%、0~0.17%。若要满足规范中对于沉降控制值,以及差异沉降控制值的要求,模型中的地层损失率需要控制在 1.35%以内。

本文模型中,地层损失率 R 和地表最大沉降 S_{max} (mm)之间存在线性关系:

$$S_{max} = 2455.4R - 1.6 \quad (1)$$

以此可以建立各建筑物最大沉降 s 、差异沉降 s/L 与地表最大沉降 S_{max} 。通过查阅文献可以找到宁波地区地表最大沉降量的相关统计数据,以此作为评价该项目安全的参考依据。

朱邦彦^[12]等运用 Sentinel-1 影像对宁波地铁 2 号线最大沉降量进行了观测,得到最大沉降量为 26.9 mm。王小军^[13]等对宁波 1、2 号线泽大区间和段启区间进行了沉降观测,地表最大沉降量为 29.61 mm。由此可见该地区最大沉降量基本可以控制在 30 mm 以内,可以推算出该模型中所对应的地层损失率 R 为 1.28%,小于本文中的地层损失率控制值 1.35%。此时所对应的建筑最大沉降和差异沉降均在规范要求的范围内,能够满足施工安全保护的要求。

4 结语

通过运用三维有限元模型对盾构隧道的施工过程进行模拟,着重研究了隧道掘进过程对周边建筑物的影响。结合建筑物保护的相关规范,基于宁波地区的相关监测数据统计资料,对盾构隧道施工安全

性进行了分析评估,得到以下结论:

(1)在建立的三维有限元计算模型中,通过改变等代层弹性模量,能够反映盾构隧道施工对地层的扰动。通过有限元分析发现,上部建筑物的差异沉降与地层损失率基本呈线性正相关关系。

(2)结合宁波地区盾构隧道施工的相关监测数据资料,运用本文中的三维有限元模型进行推算,建筑物的最大沉降和局部差异沉降均在规范要求的范围内,能够满足施工安全保护的要求。

(3)在盾构隧道施工中,应加强监控量测,在掘进至目标区域前,运用实际监测数据对建筑物的沉降变形进行进一步的分析推算。同时,应根据监测数据及时调整施工参数,防止超挖,合理注浆,严格控制隧道掘进的地层损失率。

参考文献:

- [1] Peck R B. Deep excavations and tunneling in soft ground [C] Proceedings of the 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Mexico:1969: 225-281.
- [2] Mair R J, Taylor R N, Bracegirdle A. Subsurface settlement profiles above tunnels in clays[J] Geotechnique,1993,43(2): 315-320.
- [3] Sagaseta C. Analysis of undrained soil deformation due to ground loss [J] Geotechnique, 1987, 37 (3):301-302.
- [4] Verruijt A, Booker JR. Surface settlements due to deformation of a tunnel in an elastic half plane [J]Geotechnique, 1996,46(4):753-756.
- [5] 张海波,殷宗泽,朱俊高.地铁隧道盾构法施工过程中地层变位的三维有限元模拟[J].岩石力学与工程学报,2005,24(5):755-760.
- [6] 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(自然科学版),2011,39(9):1286-1290.
- [7] 黄宏伟,徐凌,严佳梁,余占奎.盾构隧道横向刚度有效率研究[J].岩土工程学报,2006,28(1):11-18.
- [8] Lee K M, Ge X W. The equivalence of a jointed shield-driven tunnel lining to a continuous ring structure. Journal of Canadian Geotechnical Engineering, 2001, 38: 461 - 483.
- [9] Kashima Y, Kondo N, Inoue M. Development and application of the DPLEX shield method: results of experiments using shield and segment models and application of the method in tunnel construction. Tunnelling and Underground Space Technology, 1996,11(1): 45 - 50.
- [10] 王俊东.关于城市地铁盾构工程实测地层损失率的简易计算[J].铁道勘察,2013(4):15-18.
- [11] 吴昌胜,朱志铎.不同隧道施工方法引起地层损失率的统计分析[J].浙江大学学报,2019,53(1):19-30.
- [12] 朱邦彦,李建成,储征伟,等.利用 Sentinel-1 影像探测宁波地面沉降[J].测绘通报,2018(10):5.
- [13] 王小军,蒋勇,王文笛,等.宁波滨海软土地铁盾构隧道地表沉降效应与数值模拟研究[J].路基工程,2018(4):9.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿邮箱:cdq@smedi.com 电话:021-55008850 联系网站:<http://www.csdqyfh.com>