

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2017.04.027

天津某基坑开挖引起隧道变形的有限元计算

杨利军

(天津市勘察院, 天津 300191)

摘要: 天津某深基坑工程, 由于其深度较深, 周围环境复杂, 并且紧邻地铁, 因而在深基坑施工作业过程中有必要对周边隧道变形进行计算和监测。针对基坑的特点和土层的各项参数, 运用有限元方法, 计算隧道的竖直和水平位移, 并根据计算结果制定了合理的监测方案。计算结果表明, 由于基坑开挖, 会造成周围隧道的竖直方向变形和水平方向变形, 且越靠近基坑开挖位置位移越大, 位移以最大值点为中心, 朝隧道两端方向减小。隧道变形仍在安全范围之内。计算和设计成果为基坑施工过程中工程的安全性提供了可靠的保障, 可为类似工程提供参考和依据。

关键词: 基坑开挖; 隧道变形; 有限元计算; 盾构管片

中图分类号: TU473

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2017)04-0138-04

FEM Calculation of the Tunnel Deformation Caused by the Excavation of Foundation Pits in Tianjin

YANG Lijun

(Tianjin Institute of Geotechnical Investigation and Surveying, Tianjin, 300191, China)

Abstract: A deep foundation pit engineering in Tianjin was taken as an example because of its depth and the complex surrounding environment, it is necessary to monitor the deformation of the surrounding tunnel in the process of deep foundation pit construction work. According to the characteristics of the foundation pit and the parameters of the soil, FEM calculation is used and the reasonable monitoring scheme was developed based on the results. The results of FEM calculation show that the excavation of the foundation pit causes the vertical and the horizontal deformation of the surrounding tunnel. The displacement increases with the distance between the tunnel and the foundation pit. The point at the center has the maximum displacement. The displacement reduces toward opposite ends of the tunnel. The research results could provide reliable guarantee for the engineering safety in the construction process of the foundation pit and reference and basis for similar engineering.

Keywords: excavation of foundation pit; deformation of tunnel; FEM calculation; shield segment

随着城市的发展和城市建设的需要, 出现了越来越多的深基坑开挖工程。一方面, 现场监测工作在深基坑开挖中日益受到重视; 另一方面, 运用数值模拟和实际相结合的方法, 能够比较系统地对深基坑工程的整体结构进行分析^[1-2]。在基坑开挖和支护设计中, 设计人员的设计依据是土的物理力学性质、基坑支护设计理论和经验。由于场地工程地质和施工条件存在着复杂性和不确定性, 以及不同地区不同单位计算方法、计算参数的选取各有不同, 在

某些问题的认识上还存在着一些模糊不清的地方^[3-5]。因此, 结合数值模拟的结果, 能够对基坑设计和施工进行稳定性评价, 从理论和现实上为工程的顺利进行提供依据, 并为未来的类似工程提供一定的参考价值^[6-7]。

在详细论述深基坑工程的变形控制之后, 提出的新概念有基坑有效系数、有效区、失效区、临界线, 也提出了深基坑变形控制参考标准, 以及经济有效的变形控制对策。在以某深基坑工程作为研究对象

的案例中,运用有限差分软件 FLAC^{3D},将数值模拟运用到该深基坑围护结构的施工过程中,并就分析计算结果和监测结果进行对比分析^[8-9]。在建立的计算模型中,采用单因素分析方法,分析深基坑围护结构变形的影响因素。在实际基坑工程案例中,利用岩土工程有限差分软件,将数值模拟方法运用到基坑的土体开挖和结构支护中,对基坑施工引起的深层水平位移和基坑周围的地表沉降进行分析。通过建立三维模型,将数值模拟运用到基坑开挖过程中出现的围护桩变形中,对比分析数值模拟计算结果与实测结果,最终得到土方开挖的影响范围和整个基坑围护结构的变形规律。综合考虑深基坑支撑结构—内支撑结构—土体空间整体协同作用,计算方法采用线弹性有限元,在武汉市永清商务综合区 A5 地块深基坑的地下连续墙和环撑实际开挖情况进行数值计算,模拟深基坑施工中开挖、加撑、拆撑全过程的位移变化情况与内力变化情况,分析对比计算结果与实际开挖监测资料结果,为进一步优化设计提供技术支持^[10-12]。

之前,学者更多的是将有限元计算应用于基坑的监测和设计,而对基坑开挖引起周围隧道变形的有限元计算较少,天津某基坑工程中则对周围隧道进行有限元计算,利用已有数据对变形进行预测,说明了设计的合理性,并为后期监测提供了可靠材料^[13-15]。

1 工程概况

拟建工程建筑设计标高 ± 0.000 m,现状场地标高约为大沽 1.600 m。含 4 栋多层住宅、4 栋高层住宅及整体一层地下车库,基坑面积约 22 800 m²,基坑开挖深度为 4.95 m~6.05 m,具体为:单体位置 6.05 m,地库西侧 4.95 m,地库东侧 5.15 m。局部深坑为单体内电梯井,开挖深度 7.75 m。

基坑平面形状不规则,平面形状近似矩形。基坑周边环境复杂,既有多层住宅,又临近地铁隧道,基坑支护均需进行考虑。基坑各边距用地红线距离不一,西侧北侧距离较小,东侧南侧距离很大,具体见图 1。

拟建工程位于某地铁区间盾构管片以北,工程与地铁盾构管片关系见图 2。

盾构管片距离支护结构最近约 10.3 m,基坑挖深 4.95 m~6.05 m,此区片隧道管片外径 6.2 m,内径 5.5 m,管片宽度 1.2 m,衬砌环纵缝之间的连接方式均采用弯螺栓连接,其中每环纵缝间使用 12 根 M30 螺栓,每个环缝间使用 16 根 M30 螺栓,隧道顶

埋深约 13.5 m。目前区间盾构管片拼装已完成,隧道已贯通。

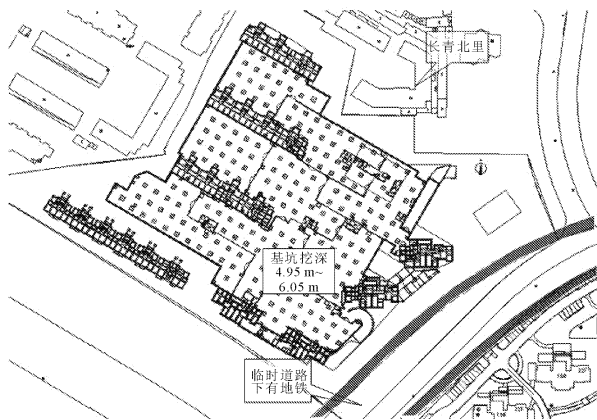


图 1 工程与地铁隧道平面位置关系

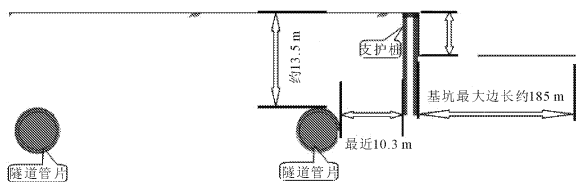


图 2 基坑与地铁隧道结构位置关系

2 基坑开挖引起隧道变形计算

结合本工程实际情况,运用岩土与隧道工程有限元分析软件 MIDAS/GTS NX 建立三维空间实体模型,得出本地块基坑工程对地铁结构安全影响评价。计算模型见图 3。

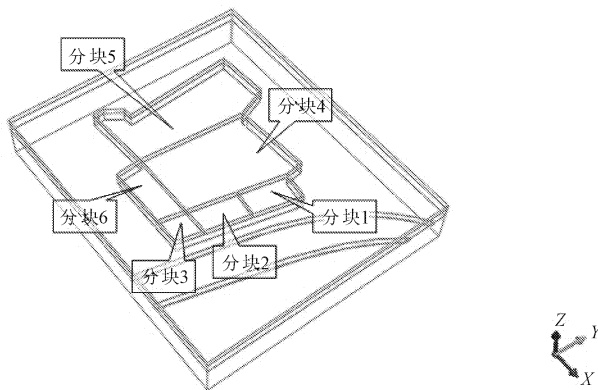


图 3 计算模型简图

根据工期安排,且考虑基坑开挖面积较大,经协商后确定本基坑开挖采取分块开挖形式,具体分块见图 3。开挖及施工计划为:先开挖施工分块 1,待分块 1 地下结构完成后,再开挖施工分块 2,待分块 2 地下结构完成后,最后开挖施工分块 3,后续分块开挖以此类推。此种开挖形式可有效减小开挖引起

基坑回弹,从而限制地铁隧道及车站变形。

基坑支护结构采用 C30 混凝土;区间隧道结构采用 C50 混凝土。本次分析重点为基坑开挖过程对抗外区间隧道结构的影响,认为区间隧道结构在初始阶段已经存在,不考虑其施工对土体位移场产生的影响。在模拟过程中,取地表荷载 15 kPa 布置在基坑周围相应位置处。

3 有限元计算结果

图 4~图 6 为基坑挖至坑底后,利用图 3 模型计算所得隧道变形图。



图 4 隧道竖向位移云图(单位:m)

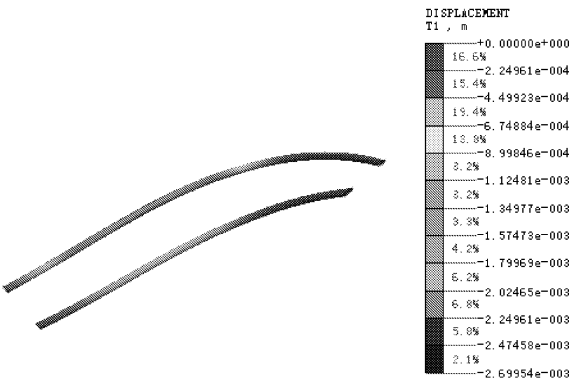


图 5 计算管片 X 向水平位移图(单位:m)

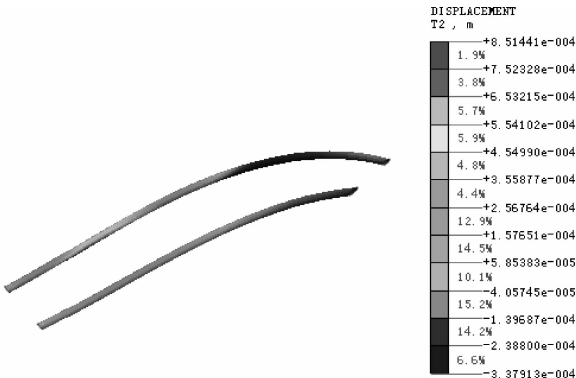


图 6 计算管片 Y 向水平位移图(单位:m)

基坑挖至坑底后,盾构管片临基坑侧竖向位移最大,其最大竖向位移值约 4.15 mm。以最大位移为中心,位移沿隧道方向向两端逐渐减小,并出现反向位移,最大值约为 0.2 mm。

竖向位移影响范围有限,主要集中于盾构管片临基坑侧管道,另一侧管道基本无竖向位移。

基坑挖至坑底后,盾构管片临基坑侧盾构管片在 X 方向的水平位移最大,其最大水平位移值约 2.7 mm,在 Y 方向上的最大水平位移约 0.85 mm。X 方向水平位移以最大位移点为中心沿隧道方向向两端不断减小至 0, Y 方向水平位移至弯曲部分出现反向位移,最大为 0.34 mm。

另一侧盾构管片 X 方向上最大水平位移值约为 0.9 mm,同样向两端减小至 0, Y 方向最大水平位移值约为 0.36 mm,向两端不断减小至出现反向位移,最大达到 0.24 mm。

说明临基坑侧盾构管片受开挖影响较大,且水平位移影响范围相比于竖向位移影响范围较大,但同一盾构管片上位移分布规律相同。

基坑开挖后,地铁区间盾构隧道竖向及水平向位移均满足安全变形的控制要求。

根据位移分布规律,为保护地铁隧道,尽量减小开挖造成的不良影响,基坑采用分块开挖、分块施工,大坑化小坑,减小因大面积开挖卸荷对地铁隧道影响。

临隧道边支护结构安全等级设定为一级,严格限制此边支护结构变形。

临隧道一侧止水帷幕加深至隧道底以下,完全切断此侧地下水渗流。

4 隧道监测专项分析

为保证施工期间隧道的安全,需对隧道位移进行监测。

表 1 基坑施工期间隧道控制指标

特征值	区间隧道沉降/mm	区间隧道水平位移/mm	区间隧道差异沉降/% L
累计值	10	5	0.04
变化速率/(mm·d ⁻¹)	0.5	0.5	—

注:L 指沿轨道方向两个相邻监测点之间的距离。

针对表 1 限制,隧道监测分析如下:

对隧道:

- (1) 设置沉降观测点,每 10 m 一个测点;
- (2) 设置水平位移监测点,每 10 m 一个测点;

(3) 设置隧道差异沉降监测点,每 10 m 一个测点;

(4) 设置隧道径向变形监测点,每 30 m 一组测点,每组设置沿隧道管片内侧周围设置 5 个监测点,用于监测隧道径向变形。

以上监测点可多种测点共用,监测报警限制为:

- (1) 隧道沉降:3.3 mm;
- (2) 隧道水平位移:2.3 mm;
- (3) 隧道差异沉降:3.2 mm;
- (4) 管片径向变形:4 mm。

监测频率:基坑施工及开挖期间为每天 2 次。

5 结 论

本文以某深基坑工程为例,介绍了基坑开挖引起周围隧道变形的有限元计算。通过计算结果,可以得出以下结论:

(1) 基坑开挖会使周围隧道产生竖向位移,且越临近基坑开挖位移越大,最大位移约 4.15 mm。基坑开挖会引起周围隧道产生 X 、 Y 两个方向的水平位移,同样越临近基坑位移越大。 X 方向最大位移约 2.7 mm, Y 方向最大位移约 0.85 mm,均满足安全变形的控制要求。

(2) 基于有限元计算得出的结果,给出了合理的隧道监测方案和监测警报限制。

(3) 通过有限元计算结果可以看出,有限元计算对于基坑开挖引起的隧道变形的监测是合理且非常有必要的。随着基坑工程监测技术不断进步,使基坑工程中信息化施工的进程得到加速,反过来也对基坑工程设计方法和理论的认识得到迅速提高,由强度破坏极限状态朝着变形极限状态控制的设计原则不断发展^[8]。

参考文献:

- [1] 姜兆华,张永兴.基坑开挖对邻近隧道纵向位移影响的计算方法[J].土木建筑与环境工程,2013,35(1):7-11,39.
- [2] 谢雄耀,郁宏杰,王庆国,等.基坑开挖引起下卧既有电

力隧道变形的控制技术研究[J].岩土工程学报,2014,36(1):88-97.

- [3] 马林,关伟,张军,等.考虑结构性影响的黄土隧道围岩力学响应分析[J].水利与建筑工程学报,2016,14(5):114-118.
- [4] 石钰锋,方焘,王海龙,等.基坑开挖引起紧邻地铁隧道力学响应与处理方案研究[J].铁道科学与工程学报,2016,13(6):1100-1107.
- [5] 张红勇.基坑开挖对临近地铁隧道力学性状的影响研究[J].公路工程,2014,39(5):286-289,294.
- [6] 林平,夏汉庸,郑云文,等.基坑开挖引起的隧道变形事故处理效果分析[J].西部探矿工程,2014,26(11):159-163.
- [7] 魏纲,李钢,苏勤卫,等.基坑工程对运营地铁隧道影响的实测分析[J].现代隧道技术,2014,51(1):179-185.
- [8] 郑刚,杜一鸣,刁钰,等.基坑开挖引起邻近既有隧道变形的影响区研究[J].岩土工程学报,2016,38(4):599-612.
- [9] 陈勇勤.基坑开挖对邻近公路盾构隧道变形影响分析[J].公路工程,2013,38(3):165-170.
- [10] 曹顺,钱德玲,魏雪云,等.隧道基坑开挖卸载对既有地铁的影响与变形控制[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2014,37(12):1479-1482,1536.
- [11] 周顺华,何超,肖军华,等.环间错台效应下基坑开挖引起临近地铁盾构隧道变形的能量算法[J].中国铁道科学,2016,37(3):53-60.
- [12] 陆鹏,马瑶.城市隧道上穿地铁基坑开挖引起下卧运营地铁盾构变形控制研究[J].城市建设理论研究(电子版),2015,5(22):2-4.
- [13] 闫澍旺,刘增良,张启斌,等.基坑开挖引起坑底地铁隧道回弹的有限元分析[J].勘察科学技术,2013(4):5-9,23.
- [14] 孙华圣,孙文彬,宗荣,等.隧道土体刚度比对开挖引起隧道变形影响[J].淮阴工学院学报,2016,25(5):19-23.
- [15] 戚长军,刘争宏,余武术,等.基坑开挖对既有盾构隧道与地层的影响分析[J].水利与建筑工程学报,2014,12(5):142-146.