

基坑工程的三维数值模拟分析

施占新

(东南大学, 江苏 南京 210096)

[摘要] 根据基坑工程实例, 利用岩土工程有限差分软件对基坑的土体开挖、结构支护进行了数值模拟, 分析了基坑施工引起的深层水平位移和基坑周围的地表沉降。

[关键词] 基坑; 数值模拟; 水平位移; 地表沉降

[中图分类号] U443.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1002-8498(2005)S0-0302-03

3D Numerical Analysis of Excavation Engineering

SHI Zhan-xin

(Southeast University, Nanjing, Jiangsu 210096, China)

Abstract: Based on the in-situ excavation engineering as an example, a numerical simulation was setup using finite difference code. The excavation steps and support structure was modeled in the simulation. The horizontal displacement and subsidence nearby was analyzed, and the result of simulation was agreed with the field measurement.

Key words: excavation; numerical simulation; horizontal displacement; land subsidence

基坑工程是一个综合性、系统性的岩土工程问题, 既涉及土力学中典型的强度、稳定与变形问题, 同时还涉及土与支护结构的共同作用问题。基坑开挖工程对邻近建筑物的影响规律研究, 是基坑工程中的重要课题。文献[1]对支护结构形式、动态设计、信息化施工、施加预应力、圈梁等方面对基坑开挖对邻近建筑物的安全作了初步探讨。文献[2]采用三维有限元法考虑了基坑围护结构、土体与地下管线变形的耦合作用, 计算了由于基坑开挖引起的邻近地下管线的位移。文献[3]用有限元法研究了基坑开挖深度、抗隆起稳定稀疏、挡墙刚度和土体不排水抗剪强度对挡墙侧向变形的影响, 提出了一个预估挡墙侧向变形的简单公式。文献[4]等利用对实际工程的数值模拟, 对加固后深基坑的稳定性以及加固结构的力学性能进行了分析。

本文根据实际工程, 应用岩土工程有限差分法软件对基坑开挖、支护的过程进行了三维数值模拟, 着重分析了深层水平位移及地表沉降情况, 并与实测结果进行对比。

1 计算理论及方法

本文采用岩土工程通用软件 FLAC3D 进行数值分析。FLAC3D 的基本思想是拉格朗日元法, 其遵循连续介质的假设, 按时步积分求解, 随着构型的变化不断更新坐标, 允许介质有大变形。同时将动态运动方

程应用于连续介质力学, 在进行连续介质静力分析时计算控制方程中的荷载平衡方程, 由表示运动的动量平衡方程来代替, 即外力作用下的物体, 如果其运动加速度为零, 则该物体处于运动平衡状态, 此时动量平衡方程所对应的解为系统的静力解。

1.1 计算流程

在计算中通过监测不平衡力比率值的大小来确定计算是否达到静力状态。显示差分求解中, 所有的矢量参数(力、速度及位移)都存储在网格节点上, 所有的标量及张量(应力及材料特性)存储在单元的中心位置, 首先通过运动方程由应力及外力可以求出节点的速度及位移, 由空间导数从而得出单元的应变率, 借助于材料的应力应变关系, 由单元应变率可以获得单元新的应力。动态松弛显示拉格朗日计算循环如图 1 所示。

1.2 基坑开挖模拟

基坑开挖的数值模拟过程中, 开挖前后土体单的状态模拟是至关重要的。在 FLAC3D 中利用 Null 单元可以方便地控制单元的生死, 而且设置为 Null 的土体单元不会对其他的单元计算产生影响。模拟过程如

[收稿日期] 2005-08-05

[作者简介] 施占新(1967—), 男, 江苏南通人, 东南大学交通学院博士研究生, 南京市西康路 7 号 15 楼 210024, 电话:(025)83242291

下：首先建立原始地层模型，施加位移约束边界条件，将建筑物荷载等效为静力荷载，在初始应力条件下进行迭代计算使系统达到初始应力平衡，模拟未开挖前的状态；按照基坑施工的顺序进行开挖，并及时设置支护结构单元，设置需要跟踪的历史变量(基坑的变形和应力等)，迭代使模型达到平衡稳定状态。

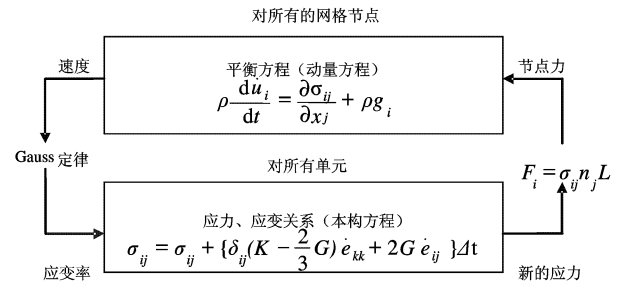


图 1 计算流程示意

1.3 支护结构模拟

模拟中基坑支护采用 Liner 结构单元来模拟。Liner 结构单元是三节点(每个节点有 6 个自由度,3 个自由度,3 个旋转)扁平有限单元,它能够抵抗弯矩荷载。基坑的支护结构采用多个与土体结构单元相连的 Liner 结构单元组成,它不但能够承受主方向的拉应力,也能够模拟支护结构与土体之间的摩擦相互作用。单元模型如图 2 所示。

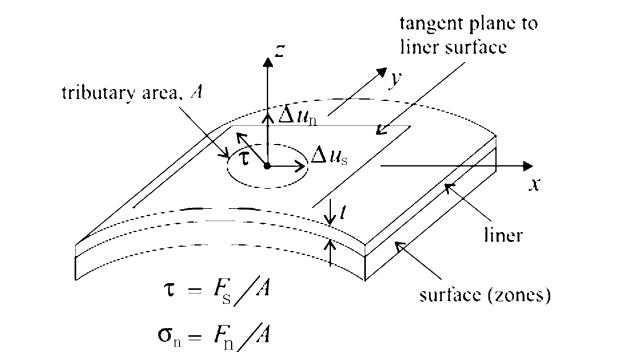


图 2 Liner 单元与土体接触示意

2 实例分析

拟建集庆门隧道位于南京市风台路与集庆路的交叉口,介于集庆门桥东侧桥台和古城墙之间。隧道洞身顺秦淮河上延伸,地貌上属于长江高漫滩冲积平原。东侧紧靠古城墙,西侧靠秦淮河河堤和集庆门大桥,东、西两侧地下管线密布,且在东侧有排洪管,因此隧道基坑周边环境很复杂。隧道最大埋置深度为 9.5m,路线纵向坡度为 -3.013%,+3.8%。隧道总长 560m,隧道长 193m,北端引道长 158m。基坑支护形式采用(双排或单排)钻孔灌注桩挡土+深层水泥搅拌桩止水,基坑采用管井降水。

2.1 工程地质条件

根据工程地质勘察报告,拟建场地为河漫滩地貌,场区岩土层自上而下为 ①人工填土 灰色~灰黄色,软塑,为亚粘土混少量生活垃圾堆积,埋深 0.0m,层

厚为 0.3~6.5m;②-1 亚粘土 灰色~灰黄色,软塑。埋深 0.2~7.2m,层厚 0.8~3.0m;②-2 淤泥质亚粘土 灰色,流塑,夹腐木,局部夹城砖。埋深 1.2~10.3m,层厚 5.2~16.2m;②-3 淤泥质亚粘土~亚粘土 灰色,软~流塑。埋深 7.2~22.4m,层厚 17.8~33.0m;②-3a 亚粘土 灰色,软塑,分布于场地南端。埋深 11.0~28.5m,层厚 1.5~7.5m;②-3b 粉砂:灰色,稍~中密,夹软~流塑亚粘土,埋深 16.4~47.1m,层厚 0.5~4.4m;②-4 粉砂~细砂 灰色,中密。埋深 40.2~48.3m,层厚 0.2~4.8m;③亚粘土 灰色,局部夹棕红色,软~硬塑。埋深 32.0~37.2m,层厚 0.9~9.5m;④下白垩统沉积岩 棕红色,泥质胶结,岩体完整,岩质软,埋深 45.0~60.8m。

2.2 计算模型和参数

图 3 为数值模拟采用的网格划分,共划分了 18000 个单元,单元类型为六面体单元。土的计算参数如表 1 所示,土体的本构模型采用 MC 模型(见图 3)。

表 1 计算模型土层分布及参数

层名	描述	厚度 /m	重度 (kN/m³)	K/MPa	G/MPa	c/kPa	φ/(°)
Soil1	人工填土	2.0	18.0	6.67	1.42	16.0	15.5
Soil2	淤泥质亚粘土	10.0	16.8	1.96	0.75	12.8	18.4
Soil3	淤泥质亚粘土~亚粘土	25.0	14.9	13.30	2.85	22.2	21.5
Soil4	亚粘土	13.0	18.0	25.00	5.35	45.6	18.3

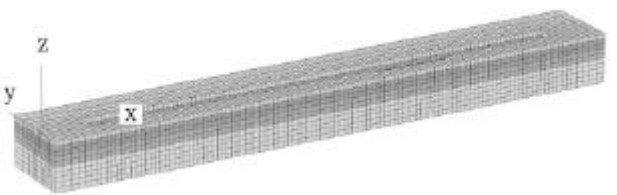


图 3 数值计算网格划分(局部)

2.3 计算结果分析

2.3.1 深层位移分析

为了对数值模拟与实际监测的结果进行对比,在计算中对深层水平位移监测的 X3、X5、X7 和 X9 的位置进行历史变量监控,这 4 处对应的土体单元分别为 14611、14620、14663 和 14674。图 4 为深层水平位移计算值和实测值的比较,从图中可以看出,计算值和实测值的结果相近,在同一量级,主要发生的位移在 10m 以内。另外,计算结果相对于实测结果较大,且在离地表较近的区域水平位移相差较大,这主要是因为数值模拟中只考虑了钻孔灌注桩等支护结构对基坑变形的影响,在实际工程中,设置了圈梁等措施,使得基坑的侧向变形较小,有利于基坑的稳定。

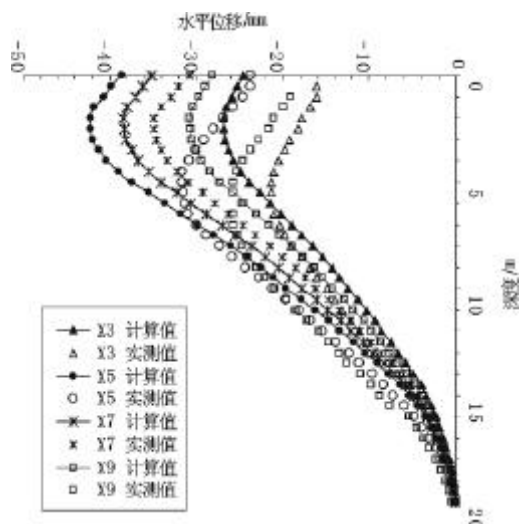


图4 深层水平位移计算值和实测值对比

2.3.2 地面沉降分析

图5为基坑开挖结束后基坑沉降等值线图,可以看出基坑附近地面沉降最大值约23mm,总体沉降量不大。另外,为了进行对比分析,在数值模拟中对监测方案中桩号为K0+300~K1+399的位置进行了位移监控,图6为实测沉降与计算结果的比较,可以看出计算结果沉降分布均匀,和实测数据吻合,验证了数值模拟的合理性。



图5 基坑附近沉降等值线

3 结论

本文根据实际工程,利用岩土工程有限差分软件对基坑开挖工程对周围土体的位移进行了数值模拟,

(上接第310页)

京、广州等地已建地下铁道的工程实践上看,因其施工工艺复杂、施工期间的安全性和工程进度及投资难于控制、不能从根本上解决隧道渗漏水问题、建成后在运营期间的安全隐患较多等因素,矿山法暗挖施工在地下铁道的建设中已受到越来越多的局限。而作为暗挖施工法之一的盾构施工法以其良好的防渗透水性、施工安全系数、对周围环境的影响极小等优点,在地下铁道的建设中已成为重要的可选施工方法之一,在许多场合已成为首选方法。尤其是随着近年国内盾构设备技术水平的提高、盾构设备在工程成本中所占比重的下降,盾构法施工的综合工程造价已接近甚至低于矿山法暗挖施工,特别是在地层条件差、地质情况复杂、地下水位高等情况下盾构法已具明显技术经济优越性。随着我国新一轮城市基础设施大规模建设高潮的到来,地下铁道的建设呈

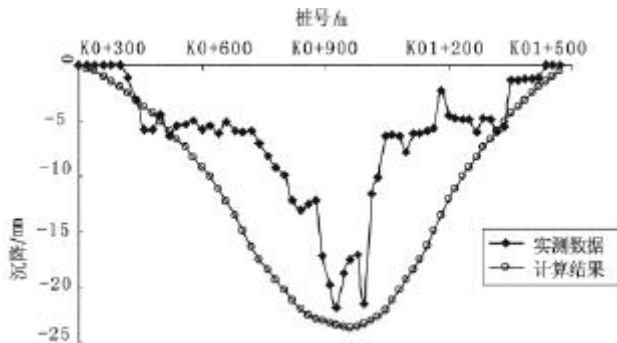


图6 基坑附近地面沉降实测值与计算结果对比

主要分析了基坑周围深层位移及基坑开挖引起的地表沉降,并将数值模拟结果同实测数据进行了对比分析,得到了以下主要结论:

(1)采用动态运动方程的有限差分法可以很好地模拟基坑工程中的土体开挖、支护结构及其与土体的相互作用。

(2)通过对数值模拟结果同实测数据的对比分析,得到计算结果与实际基本吻合,验证了数值模拟的可靠性。

(3)现场监测表明,在基坑土方开挖过程中,基坑桩体深层水平位移在允许范围内,周围地表的沉降量较小,基坑施工未对环境造成不良影响。

参考文献:

- [1] 雷用,徐军. 基坑工程邻近建筑物安全初探[J]. 地下空间, 2000, (4).
- [2] 李大勇,龚晓南,张士乔. 软土地基深基坑周围地下管线保护措施数值模拟[J]. 岩土工程学报, 2001, (6).
- [3] 谭跃虎,吉同筠. 软土深挖基坑中挡墙侧向变形分析与计算[J]. 岩土工程学报, 1995, (4).
- [4] 孙凯,许振刚,刘庭金,等. 深基坑的施工监测及其数值模拟分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, (2).
- [5] FLAC Constitutive model and implementation [M]. 2000.

高速增长之势,从长远来看,盾构隧道技术在包括城市地下铁道在内的基础设施建设中应用前景十分广阔。

根据掌握的工程地质及水文地质资料,若采用盾构法施工,较为适用的盾构形式是泥水盾构或土压平衡盾构。泥水盾构对地层稳定性的控制较好,但工艺复杂且辅助设备多,尤其是需要泥水处理设备,占地面积大,费用较高。土压平衡盾构可节省泥水处理设备费用,造价比泥水盾构低,对周围环境无污染。通过大量的工程实践,土压平衡盾构已大大地显示出技术经济上的优越性,因而得到了快速的发展和推广,成为当前隧道施工的首选方案。它可根据不同的施工条件和地质要求,采用不同的开挖面稳定装置和排土力式,设计成不同类型的土压平衡盾构,使其能适应从松散粘性土至砂卵石土层范围内的各种土层,能更好地稳定开挖面地层,减小和防止地面变形,提高隧道施工质量。