

文章编号:1009-6825(2010)24-0118-02

基于 ANSYS 的软土基坑支护工程仿真应用研究

储学能 陈 牛 代建华

摘 要:考虑基坑支护结构应力场和变形微分方程的可比拟性,根据控制平衡方程及定解条件,运用 ANSYS 软件,对具有显著流变特性的软土基坑支护结构及岩土体的应力和变形进行数值模拟,计算成果表明,该方法能够有效的计算处理分析软土的复杂性状及边界条件、材料的非线性和几何非线性^[2]。

关键词:基坑支护,软土,仿真应用,有限元分析

中图分类号: TU463

文献标识码: A

由于软土基坑特殊的区域地质条件、破坏特征的多变性和复杂性,对基坑支护和变形控制带来诸多的不利因素,目前软土基坑的支护结构设计大都仍沿用古典土压力理论(库仑、朗金土压力理论),实践证明这种设计方法大都偏于保守^[2],而且此种设计对土体变形时效无法加以考虑。随着土方开挖,支护结构体系和外部荷载不断变化,基于软土压缩性较大、抗剪强度低、流变性十分显著等特点,利用有限元程序模拟整个施工过程,并对支护结构进行计算和分析具有极其重要的意义。

1 数值模拟

1.1 基本原理

基坑刚性支护结构三维有限元数值模拟是根据弹性力学中应力应变及虚功原理^[2],应用应力场的叠加原理,将真实的连续结构或介质用有限个仅在节点处铰接联系的离散单元的组合物来代替,并使这些单元按变形协调条件联系,通过建立和求解整体平衡方程得出节点位移,并根据应变、应力与节点位移之间的关系分别得出相应的成果。

1.2 控制方程

本文非线性问题的求解即采用混合法,每级荷载增量作用的迭代均采用完全 Newton-Raphson 迭代方法^[7]。

求解平衡方程:

$$[K]_{i+1}^{j+1} \{ \delta \}^{j+1} = \{ F \}_{i+1}^{ext} - \{ F \}_{i+1}^{int} \quad (1)$$

其中, $\{ F \}_{i+1}^{int}$ 为与 $\{ \delta \}_{i+1}^{j+1}$ 对应的等效节点力。

$$[K]_{i+1}^{j+1} = \frac{1}{\epsilon} [B]^T [D] [B] d \quad (2)$$

总等效节点力:

$$\{ F \}_{i+1}^{j+1, int} = \frac{1}{\epsilon} [B]^T \{ \delta \}_{i+1}^{j+1} d \quad (3)$$

其中, $\{ \delta \}_{i+1}^{j+1} = \{ \delta \}_{i+1}^j + \{ \delta \}_{i+1}^{j+1}$ 。

$$\{ \delta \}_{i+1}^{j+1} = r [D_e] \{ \delta \}_{i+1}^{j+1} + (1-r) [D_{ep}] \{ \delta \}_{i+1}^{j+1} \quad (4)$$

在每级荷载增量的迭代过程中,为了终止迭代运算,必须确定一个收敛标准。本文取节点不平衡力大小作为收敛判别的标准。即:

$$\{ F \}_{i+1}^{ext} - \{ F \}_{i+1}^{int, j+1} = F \quad (5)$$

其中, F 为力收敛公差,计算中取为 1%。

1.3 数值分析

岩土和用于支护结构的混凝土等材料都属于颗粒状材料,此类材料受压屈服强度远大于受拉屈服强度,且材料受剪时,颗粒

会膨胀,此处采用弹塑性模型(Druker-Prager 模型)可得到较为精确的结果。破坏准则采用 William-Warnke 破坏准则。

支护结构所用混凝土和岩土单元均采用 Solid45 单元,由于考虑桩土共同作用,随着土体开挖,围护结构受力不断增大,一般情况下要打开大位移且设置牛顿-拉普森选项为 Full N-R。

2 工程应用

2.1 支护结构及岩土参数

采用 ANSYS 有限元分析方法,针对某基坑刚性支护结构与相关岩土参数进行了支护结构稳定性及变形计算。模拟范围和计算参数如下:基坑围护采取钻孔灌注桩支护结构(见图 1)。基坑开挖坑深 6.00 m,基坑尺寸为 40 m(短边) × 80 m(长边),基坑围护结构采用 $\phi 600$ @ 1 000 钻孔灌注桩,桩长为 15.00 m,桩顶设置 800 mm × 500 mm 冠梁,混凝土强度等级为 C30。计算时考虑施工超载 15 kPa。

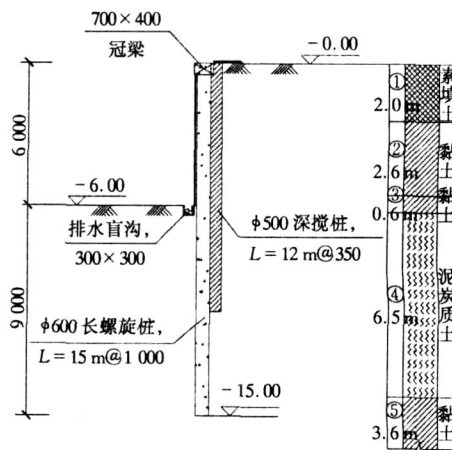


图 1 灌注桩剖面示意图

2.2 有限元计算

在有限元模型中,岩土和围护结构采用 8 节点的 Solid45 实体单元模拟,实体单元采用扫掠(SWEEP)划分方法将实体划分为相对规则的六面体单元。因该基坑为规则的对称形状,通过 ANSYS 有限元程序计算,将 1/4 基坑数值模拟结果进行提取计算分析。

2.3 成果分析

通过软土基坑数值模拟,得到开挖后基坑长边方向不同位置处灌注桩桩体的位移值(X 为距角点的距离),见图 2;同时得到基坑长边方向跨中位置灌注桩桩体沿深度方向的弯矩,见图 3。

收稿日期:2010-04-24

作者简介:储学能(1965-),男,工程师,云南建工水利水电建设有限公司,云南 昆明 650041

陈 牛(1986-),男,助理工程师,云南建工水利水电建设有限公司,云南 昆明 650041

代建华(1984-),男,工程师,云南建工水利水电建设有限公司,云南 昆明 650041

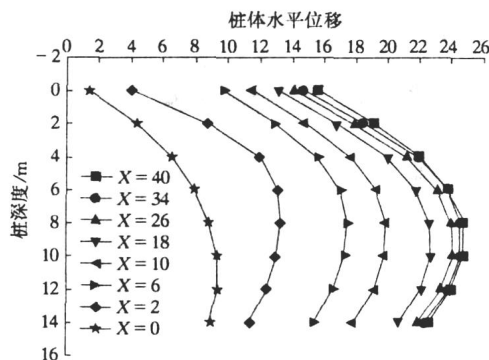


图2 基坑长边方向桩体位移

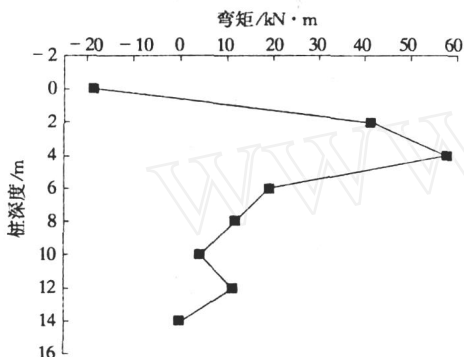


图3 基坑长边方向跨中桩体弯矩

由图2可知,随着距角点距离的增大,桩体水平位移不断增大,即跨中位移呈现最大值,并且随着开挖深度的增加,桩体中下部的位移发展很快,开挖终了时,最大的侧向位移发生在距桩顶6 m附近;由图3可知,跨中位移最大处灌注桩的最大弯矩值出现在距桩顶4 m处,之后随深度的增加弯矩值逐渐减小。

为防止土体被扰动后产生较大变形^[3],施工分三步开挖,每次开挖2 m。基坑开挖后,由于基坑外围土体发生松动,围护结构产生变形且应力增大,基坑外围地表产生沉降、位移。

随着开挖深度的增加,灌注桩受力逐渐增大,开挖结束时,最大应力发生在距桩顶4 m以下;由图4可知,地表塑性区向后和向深部延伸,同时在坑底也开始出现塑性区,分析其原因为由于软土的压缩性较大,基坑开挖后,侧向变形受阻而产生了一个更深部的旋转滑移面和坑底隆起。

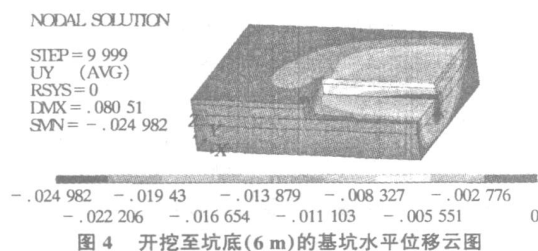


图4 开挖至坑底(6 m)的基坑水平位移云图

2.4 实例验证

将基坑长边6根灌注桩水平位移计地表沉降数值模拟成果和施工中实际监测数据进行比较,验证该数值模拟方法的可靠性。

由数值模拟成果和基坑监测数据对比可看出,基坑模拟数据和施工中的监测结果相差不大,变形趋势基本一致。

现将长边跨中位移最大处的灌注桩沿深度方向的水平位移数值模拟成果值与监测数据进行比较,见图5。

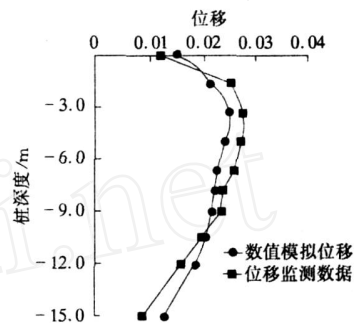


图5 长边方向跨中灌注桩水平位移

由图5可以看出,由于软土的流变特性,桩的最大位移并非发生在桩顶,而是发生在距桩顶3 m以下部分,与实际情况相符,所以三维有限元模拟分析成果和基坑真实情况在整体上相吻合。

3 结语

1)考虑软土流变特性对支护结构数值模拟及合理选择支护形式具有重要作用;2)采用有限元工具软件中结构分析功能可以简便、精确的计算分析围护结构及土体各部分应力应变及位移等问题,提供能够比较直观反映实际情况的云图,为设计施工等提供理论依据;3)采用适应性较强的有限元法模拟基坑整个施工过程,对灌注桩所受内力作准确计算,可以对其应力、应变关系为工程进行适时支护提供指导。

参考文献:

- [1] 陈忠汉,黄书秩,程丽萍.深基坑工程[M].第2版.北京:机械工业出版社,2006:150-158.
- [2] 杨光华.深基坑支护结构的实用计算方法及其应用[M].北京:地质出版社,2003:50-53.
- [3] JGJ 120-99,建筑基坑支护技术规程[S].
- [4] 赖永标,胡仁喜,黄书珍.ANSYS11.0在土木工程中的应用[M].北京:电子工业出版社,2007.
- [5] 章根德.土的本构模型及其工程应用[M].北京:科学出版社,1995:120-125.
- [6] 张引平.浅谈深基坑支护结构设计计算[J].科技情报开发与经济,2004(5):1-3.
- [7] 王国强.实用工程数值模拟技术及其在ANSYS上的实践[M].西安:西北工业大学出版社,2000.

Simulation application analysis of soft soil foundation pit support construction based on ANSYS

CHU Xue-neng CHEN Ben DAI Jian-hua

Abstract: With regard to the comparability between the stress field of the foundation pit support structure and the differential equation deformation, according to the balance control equation and the definite condition, with the ANSYS software, the paper makes numerical simulation of the soft soil foundation pit support structure with obvious rheological property and the stress and deformation of the soil. The calculation results indicate that, the method is effective to the calculation treatment and analysis of the complexity of the soft soil, nonlinearity and geometric nonlinearity of the boundary conditions and the material^[2].

Key words: foundation pit support, soft soil, simulation application, finite element analysis