

文章编号: 1005-0523(2007)05-0009-04

# 深基坑开挖与锚杆支护FLAC<sup>3D</sup>数值模拟分析

张卢明<sup>1</sup>, 郑明新<sup>1</sup>, 何敏<sup>2</sup>, 郑玉之<sup>2</sup>

(1. 华东交通大学 道桥与岩土工程研究所, 江西 南昌 330013; 2. 贵州大学, 贵州 贵阳 550003)

**摘要:**运用FLAC<sup>3D</sup>软件对某市影视城及商办综合楼深基坑进行了开挖与支护的模拟. 计算中采用摩尔-库伦弹塑性模型. 通过计算得出深基坑的竖直位移、土体水平位移、锚杆的内力、土体应力应变分布, 并与实测值进行了比较, 最后采用强度折减法对基坑开挖和支护的稳定性进行了评价. 可为工程设计与施工提供参考.

**关键词:**FLAC<sup>3D</sup>; 基坑开挖与支护; 稳定性; 强度折减法

中图分类号: TU470

文献标识码: A

## 1 引言

基坑的变形或应力应变状态是一个支护结构与土体的共同作用问题, 在基坑开挖的不同工况、支护结构与土体是一个相互作用的渐变过程. 因此, 一般采用数值模拟方法来研究基坑支护问题<sup>[1]</sup>. 目前常用的数值模拟方法主要是有限元法、有限差分法等, 有限元法主要是以弹性地基梁法为基础而建立的一维有限元法, 以及以Blot固结理论为基础的二维有限元法<sup>[2]</sup>. 上述方法将基坑支护体系的三维问题简化为一维问题或平面问题, 未能反映支撑轴力和基坑位移的实际情况. 而基于有限元差分法的FLAC<sup>3D</sup>程序不仅能很好的反映基坑的三维问题, 考虑支护结构与土体的相互作用问题, 而且FLAC<sup>3D</sup>程序能够很好的模拟地质材料受力作用下屈服、塑性流动、软化直至大变形等力学行为, 因此FLAC<sup>3D</sup>程序模拟的结果更加符合工程实际情况.

有鉴于此, 本文采用ITASCA公司的FLAC<sup>3D</sup>三维快速拉格朗日差分程序, 对某市影视城及商办综合楼深基坑进行了开挖支护施工过程的三维动态模拟分析, 据此分析了基坑外土体的下沉、坡顶水平位移及塑性变形等情况. 为深基坑锚杆支护技术的设

计与施工提供有益的指导.

## 2 工程概况

该建筑分地上二十四层, 裙楼五层, 地下室两层, 共二十六层, 建筑物高度93.60 m, 钢筋混凝土框架-剪力墙结构, 建筑物长36.50 m, 宽32.00 m, 总建筑面积18 295.0 m<sup>2</sup>, 基坑开挖-10.90 m(±0.00标高1 066.70 m).

工程地质、水文地质概况

(1) 场区地层分布如下

① 杂填土(Q<sup>ml</sup>), 该土在场地内普遍存在, 厚1.40—6.20 m. 由旧基础、挡墙、煤渣、砖瓦及大小不等块石、碎石和杂色粘土组成. 结构松散, 层次不清, 强度变化大, 压缩性高.

② 红粘土(Q<sup>el</sup>), 厚0.00—5.10 m, 土质不均匀, 厚度变化较大, 在场地分布不连续. 仅见于基坑侧壁局部地段.

③ 基岩(T<sub>2s</sub>), 是三叠系松子坎组地层(T<sub>2s</sub>), 岩性为灰色、浅黄色薄-中厚层泥质白云岩、泥质灰岩与泥岩、页岩互层, 地层产状250°∠35°.

(2) 地下水

收稿日期: 2007-08-16

基金项目: 国家自然科学基金(50668002)及江西省教育厅2007年度科技项目计划项目资助(赣教技字[2006]182号).

作者简介: 张卢明(1982-), 男, 硕士生, 从事滑坡、边坡稳定性方面的研究工作.  
(C)1994-2025 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

主要有两种类型,其中上层滞水主要赋存于杂填土土层的空隙中,受大气降水和地表水的补给,一般水量不大,可不予考虑.根据相关规范及地质勘察报告,选取基坑各土层所需计算参数见表1.

表1 物理力学计算参数表

| 土层名称  | 厚度/m | C/KPa | $\varphi/^\circ$ | K/MPa | G/MPa | $\nu$ |
|-------|------|-------|------------------|-------|-------|-------|
| 杂填土   | 4.8  | 10    | 10               | 8.82  | 3.38  | 0.33  |
| 泥质白云岩 | 0.5  | 20    | 12               | 1.93  | 3.6   | 0.25  |
| 泥质灰岩  | 2.0  | 20    | 13               | 3.95  | 2.6   | 0.23  |
| 泥岩    | 0.5  | 10    | 11               | 3.0   | 1.38  | 0.3   |
| 基岩    | 22.2 | 200   | 27               | 8.6   | 6.5   | 0.2   |

### 3 支护方案

本基坑四周为建筑物、重要道路,而且距离较近,无放坡条件,需采用刚度大、变形小的支护结构以保证基坑顺利开挖,根据场地地质条件和基坑周边环境情况,场地基坑采用锚杆、土钉墙相结合的支护方案.本文以东侧人工边坡一断面为例进行数值模拟分析.

东侧人工边坡采用锚杆支护,先支护后开挖,共设置9层锚杆,从第一层到第九层锚杆长度依次为7 m、10 m、7 m、5 m、4 m、4 m、3 m、3 m、3 m.锚杆两向间距1.5 m,喷射混凝土厚度为80 mm.

## 4 FLAC<sup>3D</sup>模拟

### 4.1 计算模型及参数

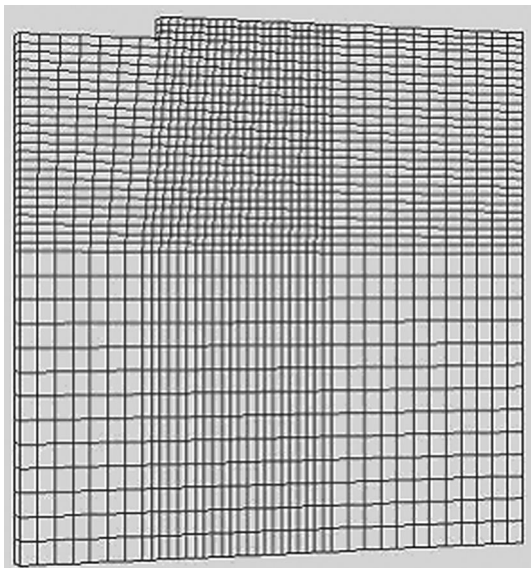


图1 模型单元图

本文对东侧人工边坡一断面进行数值模拟分

析.运用摩尔-库仑弹塑性模型进行计算<sup>[3]</sup>.计算区域侧边界距坑壁约为2倍坑深,底边界则自坑底15 m,计算模型长1 m,宽30 m,高30 m.开挖深度为10.9 m,计算参数见表1.网格划分见图1.

### 4.2 模拟方案

该模型的开挖、支护模拟共分成9个步骤进行:第1步先支护,在基坑顶部设置锚杆,并喷射混凝土层;第2步开挖1 m,第3步到第8步每步均开挖1.5 m,第9步开挖1 m,最后开挖至-11.0 m,每层锚杆的设置与上一层锚杆间隔1.5 m,锚杆采用1Φ22 II级螺纹钢,Φ80钻孔,灌注M25水泥砂浆,上部混凝土内挂二层钢筋网,下部混凝土层内挂一层钢筋网,喷射C20混凝土支护.锚杆采用FLAC<sup>3D</sup>中的索结构(cable structure).喷射混凝土面层采用FLAC<sup>3D</sup>中的壳结构(shell-type structure)<sup>[4]</sup>.

## 5 计算结果分析

### 5.1 水平位移特征

为了监测基坑边坡土体水平位移和沉降的变化,在坡顶和基坑边壁不同深度的土体中分别设置10个监测点,通过FLAC<sup>3D</sup>中的History命令对各监测点的水平位移变化情况进行监测.各监测结果如图2所示.

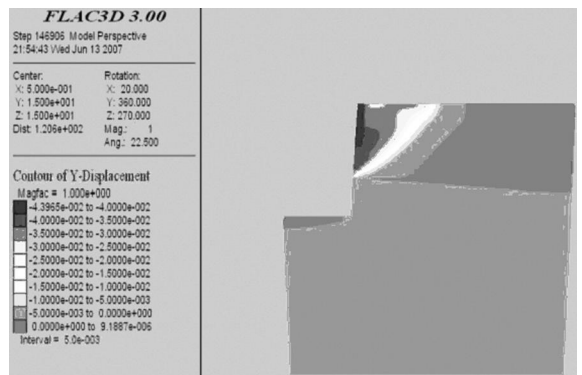


图2 开挖与支护后水平位移

观察图2可以看出,锚杆支护结构的最大水平位移发生在基坑的中上部,面层外侧土体位移方向朝向坑内,使背后土体水平应力减小,剪应力增大,出现塑性区.从图2中可知基坑边坡坡面及坡顶处最大水平位移值为43.97 mm,现场测量最大值为41.55 mm.

### 5.2 竖直位移特征

在基坑边垂直于基坑开挖边线的方向均匀布置了10个沉降监测点,由History命令来监视墙后土体

的沉降情况, 计算和监测的结果如图 3 所示.

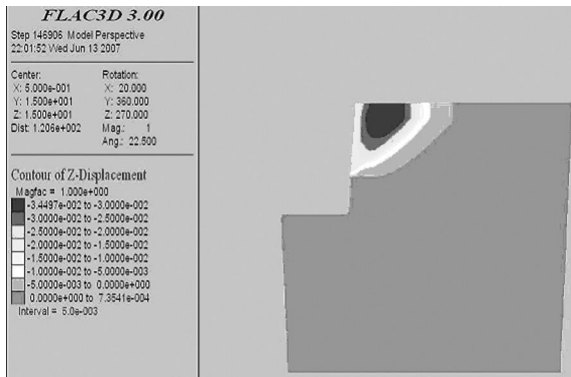


图 3 边坡墙后土体沉降

观察图 3, 可以发现: 放坡预应力锚杆支护结构的沉降最大位置不在基坑坡顶开挖边线处, 其墙后沉降整体分布形式类似“勺”状, 对于这种沉降变形性质, 可以做如下两方面的解释: ① 通过先支护后开挖, 第一排锚杆有效地减小了支护边坡上部土体的水平位移和沉降变形; ② 喷射混凝土面层自身具有一定的抗弯刚度和界面粘结作用, 二者对面层背后的土体起了一定的支撑作用.

从图 3 可以看出, 沉降最大值为 34.49 mm, 发生在基坑坡顶距离开挖边线 1.5~5 m 的位置.

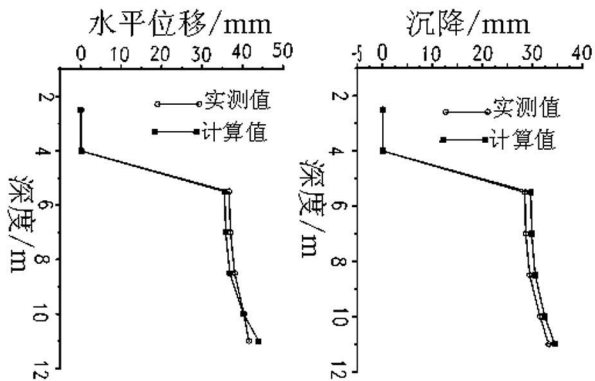


图 4 坡顶水平位移和沉降

结合锚杆支护结构的水平位移和沉降模拟分析结果综合分析, 可以发现如下特点: 锚杆支护结构的变形最大水平位移发生在基坑边坡中上部, 最大沉降发生在坡顶距离开挖边线一定距离的位置. 位移与沉降结果与前人计算结果趋势一致<sup>[5]</sup>. 位移与沉降值随开挖深度变化见图 4, 理论计算最大水平位移为 43.97 mm, 第三步开挖是位移和沉降急剧增大, 最终实测边坡水平位移达到 41.55 mm 后不再发展, 一直处于稳定状态.

### 5.3 结构内力特征

在基坑开挖与支护过程中监测锚杆及周围注浆体剪切应力施加的剪应力和锚杆轴力分布, 如图 5

和图 6 所示, 从中可以看出, 锚固段剪应力的分布呈现上大下小的非均匀分布, 在锚固段与自由段相连接的部位, 剪应力差不多接近最大值, 紧接着的中间段锚固体剪应力也很大, 而且峰值出现在中间偏连接处的位置. 锚固体的远端剪应力要小得多, 这是因为连接处至中间段的土体出现了塑性变形, 所以这一段内都达到或接近最大值, 土体应变传递到远端会减小, 所以剪应力较小. 锚杆呈受拉状态, 第一、二、三排的锚杆的拉应力较大, 最后三排的拉应力最小.

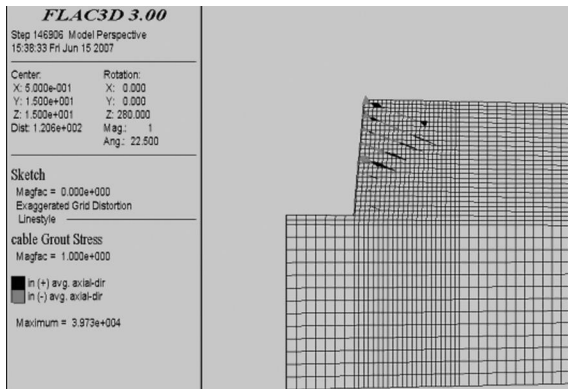


图 5 锚杆剪切应力分布

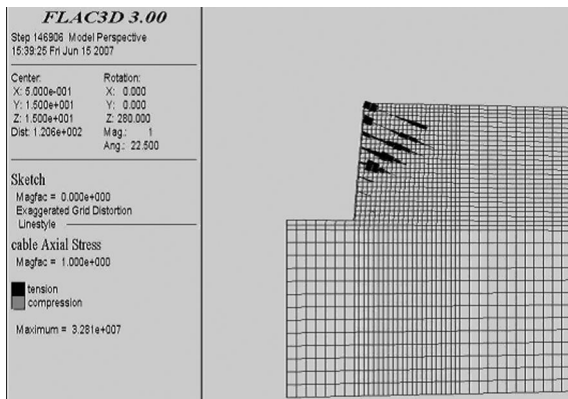


图 6 锚杆轴力分布

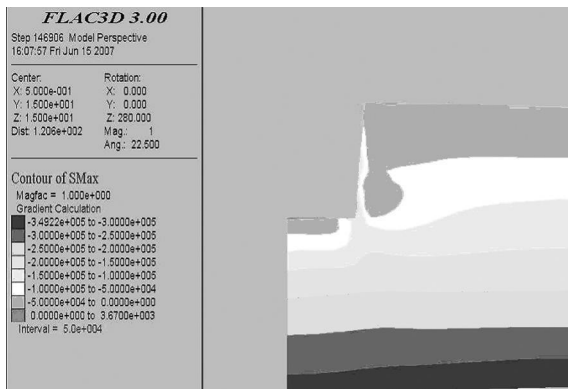


图 7 最大主应力  $\sigma_1$  等值线图(SZZ)

### 5.4 土体应力应变特征

基坑边坡土体的应力应变特征主要包括3个主应力,剪切应变和塑性区等值线图,如图7~8所示.限于篇幅主要列了主应力等值线图.对比主应力图可以发现,在基坑底靠近坡脚的位置,主应力都相对偏大,说明这个部位受力状况比较复杂.

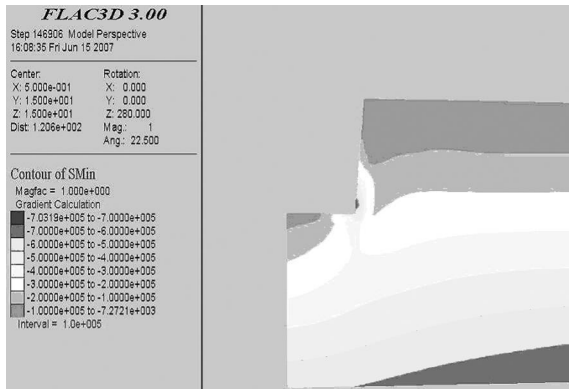


图8 最小主应力  $\sigma_3$  等值线图(SYY)

塑性区和剪应力的变化随基坑开挖的深度而变化,第一步开挖时坡脚处为剪应力集中区.随着开挖深度的增加,剪应力集中区的范围增大,应力集中程度也增大,逐渐出现塑性屈服,受力状态也从初期的弹性应力状态转变为塑性应力状态.随着开挖深度的不断进行,塑性区向后、向深部延伸,同时在坡脚处出现也开始出现塑性区.最后一步开挖支护后,塑性区大多出现在锚杆尾端以外的区域,加固区域内的土体出现塑性区的范围很小.由此可见,锚杆加固后土体强度比原来有很大提高.

### 5.5 支护结构稳定性分析

在FLAC<sup>3D</sup>中可通过SOLVE fos命令实现根据强度折减方法确定安全系数<sup>[6]</sup>.本文采用此种方法对东侧人工边坡一断面在分步开挖情况下的安全系数进行分析,安全系数为4.31~1.53,开挖到底后,安

全系数在1.5左右,因此设计基本合理安全.

## 6 结论

(1) 锚杆支护结构的变形,在水平方向上,最大水平位移发生在基坑边坡中上部的部位,最大水平位移为43.9 mm;实测最大水平位移为41.55 mm,在竖直方向上表现为类似“勺”状分布,其最大值发生在较靠近基坑开挖边线的一定范围内,最大沉降为34.49 mm,实测沉降为33.25 mm.均满足业主要求.

(2) 在基坑底靠近坡脚的位置,3个主应力都相对偏大,说明这个部位受力状况比较复杂.设计时应注意坡脚的设计.

(3) 采用强度折减法确定每步开挖后的安全系数,开挖到底后安全系数在1.5左右,设计基本合理安全.

### 参考文献:

- [1] 余志成,施文华.深基坑支护设计与施工[M].北京:中国建筑工业出版社,1997.
- [2] 刘继国,曾亚武.FLAC<sup>3D</sup>在深基坑开挖与支护数值模拟中的应用[J].岩土力学,2006,27(3):167-170
- [3] 李好,周绪红.深基坑桩锚支护的弹塑性有限元分析[J].湖南大学学报,2003,30(3):87-90
- [4] Itasca Software Comp. Structure elements[P]. User Manual of FLAC<sup>3D</sup> 2.0.2002.
- [5] 吴忠诚,汤连生,廖志强,等.深基坑复合土钉墙支护FLAC-3D模拟及大型现场原位测试研究[J].岩土工程学报,2006,11(28):152-157.
- [6] 刘波,韩彦辉(美国).FLAC原理、实例与应用指南[M].北京:人民交通出版社,2005.

## FLAC<sup>3D</sup> Numerical Simulation Analysis of Foundation Excavation and Bolting

ZHANG Lu-ming<sup>1</sup>, ZHENG Ming-xin<sup>1</sup>, HE Min<sup>2</sup>, ZHENG Yu-yuan<sup>2</sup>

(1. Institute of Bridge Road Geotechnical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013; 2. Guizhou University, Guiyang 550003, China)

**Abstract:** The simulation of excavation and support on the deep pit of a MTV city and commercial integrative building is conducted through the software FLAC<sup>3D</sup> and the Mohr-Coulomb model. This simulation offers the horizontal displacements of the deep excavation, vertical displacement, internal force of cable, stress and strain of soils. Finally, the stability of retaining structures is evaluated by means of the strength reduction. It is useful in the design and construction of similar projects.

**Key words:** FLAC<sup>3D</sup>; foundation pit excavation and support; stability; strength reduction method.