

FLAC3D 在深基坑工程开挖中的数值模拟分析

冯 勇¹, 李 平², 姜春艳¹

(1. 新疆农业大学 水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052;

2. 河海大学 岩土工程科学研究所, 江苏 南京 210098)

摘要: 使用 FLAC3D 三维快速拉格朗日差分程序, 对中天广场深基坑支护工程的开挖与支护进行了数值模拟研究, 模拟结果显示基坑内土体沉降随着基坑开挖深度的增加而加大, 基坑底部隆起位移也是随着基坑开挖深度的增加而加大, 基底中部的隆起量最大, 靠近基坑壁处较小; 基坑土体水平位移同样是随着基坑开挖深度的增加而加大, 基坑壁向坑内的水平位移变化趋势仍然是中间部分最大, 边角处最小, 而且基坑壁的长边由于开挖的范围相对较大, 其变形量相对于短边也增大, 这充分体现了基坑开挖过程中的时空效应, 数值模拟计算结果可以为工程设计提供指导和参考。

关键词: FLAC3D; 深基坑; 位移; 数值模拟

中图分类号: TU470+.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2013)04-0017-04

Application of FLAC3D in Numerical Simulation Analysis for Deep Foundation Pit Excavation

FENG Yong¹, LI Ping², JIANG Chun-yan¹

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China;

2. Geotechnical Engineering Research Institute, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098, China)

Abstract: The three-dimensional fast Lagrangian FLAC3D procedure is used here to simulate the deep foundation pit excavation and support of Zhongtian plaza. The simulation results show that the soil settlement is increased with the excavation depth, and the uplift displacement at the foundation bottom is also increased with the excavation depth. In the central basement, the uplift grows to the largest value, and near the foundation pit wall, it is smaller. At the same time, the horizontal displacement of soil excavation is increased with the excavation depth. The change trend of the horizontal displacement from the foundation pit wall to the inner is still largest in the center and smallest in the corner, and because the long side of the foundation pit wall is dug relatively in a large scope, its deformation is increased compared with the short side, which fully reflects the space-time effects in the process of the excavation. The calculation results can provide guidance and reference for the design of engineerings.

Keywords: FLAC3D; deep foundation pit; displacement; numerical simulation

0 引言

近年来,在土木工程快速发展的大环境下,基坑工程设计与施工的复杂性陡增。目前基坑工程的力学计算分析方法主要是根据一定的条件假设土压力已知(如朗肯土压力),采用弹性地基梁计算嵌固段地基反力,利用杆系有限元法计算支护结构的内力

和位移。更详细的分析还可采用有限元法分析整个基坑土体与支护结构的应力应变情况。在国内外,FLAC 软件在众多行业中得到了较大的应用^[1-2],主要应用于岩土力学分析,如基坑开挖、矿体滑坡、煤矿开采沉陷预测、水利枢纽岩体稳定性分析、采矿巷道稳定性研究等。而 FLAC 显式有限差分法同样能够解决相关力学模型,而且在非线性问题上比有限

元法更为方便,本文采用 FLAC3D^[3]分析模拟基坑开挖过程中发生的位移量进行预测,并与现场实测结果进行对比,进行基坑开挖顺序对基坑安全的影响分析。

1 中天广场数值模拟计算

1.1 工程概况

中天广场位于乌鲁木齐市新华北路西侧,北邻新疆假日大酒店配楼,南邻汇丰园高层公寓。地上 50 层,地下三层,建筑总高度 180 m,占地面积约 2 900 m²,为西北地区目前在建最高建筑物。

中天广场为框剪结构,箱形基础。建场地区地质情况为:第一层:杂填土,层厚 0.5 m~2.5 m,状态为松散,干—稍湿;第二层:卵石,层厚 9.0 m~10.0 m,状态为松散—稍密,稍湿—饱和;第三层:泥岩,层厚 9.5 m~11.0 m,上部 3 m~4 m 为全—强风化状态。地下水位深 9.0 m~10.0 m。

中天广场基坑开挖线为:东侧南侧紧贴新华北路、政协路路沿石,西侧开挖线距假日大酒店锅炉房(二层)1.8 m,距一住宅楼(六层)4.5 m,北侧开挖线距假日配楼外墙面 0.8 m,基坑已无放坡场地,基本为垂直开挖。

1.2 几何模型

中天广场深基坑数值模拟计算主要采用弹性模型(Elastic Model)和摩尔—库仑模型(Mohr—Coulomb Model)两种本构模型。其中,弹性模型应用于混凝土、水泥土等弹性材料,摩尔—库仑模型则应用于土体材料。

根据提供的已知工程数据,FLAC3D 计算取模型断面宽(基坑开挖的长轴方向)140.0 m、长 147.0 m,地基计算深度为 -35.0 m,其中长方体基坑开挖几何尺寸为长 79.7 m、宽 46.8 m、深 15.0 m~16.75 m。三维模型的单元划分全部采用六面体,共划分 19 071 个节点,16 632 个单元,模型网格见图 1 所示。

模型中坐标系的原点设在地表面基坑开挖的几何形心处,坐标系的 x 方向平行于基坑的长边方向, y 方向与基坑开挖的横向平行, z 方向为负的重力方向,同时对周围建筑的相应位置处设置了组块。

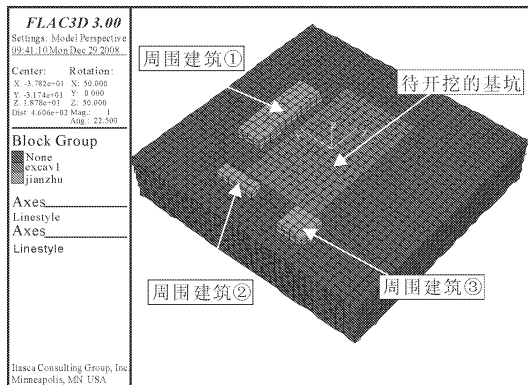


图 1 基坑开挖初始几何模型

1.2.1 边界条件

根据基坑开挖的变形规律和计算模型的尺寸范围,对模型地基土的四个侧面(x 方向和 y 方向)和底面($z = -35$ m 处的竖向)法向位移分别进行了约束。

鉴于该基坑工程及其支护的复杂性,为了方便三维 FLAC3D 数值模拟的网格建模和分析,将基坑周围的建筑物和堆积体分别简化成相应的荷载进行计算(建筑物荷载为 100 kPa,周围堆载物为 25 kPa)。

根据相关规范、使用的材料及地质勘察报告,选取基坑土体所需计算参数如表 1、表 2 所示。计算过程中,土体的回弹模量,根据文献[4-5]的研究,取为弹性模量的 4 倍。

表 1 支护结构参数

名称	弹性模量 /MPa	抗拉强度 /MPa	横截面积 /m ²	断面形状
土钉	2.0×10^5	200	5.53×10^{-4}	φ48×4 钢管
锚杆	2.0×10^5	400	4.91×10^{-4}	HRB400φ25 螺纹钢

表 2 土层计算参数

土层名称	埋深 /m	重度 /(kN·m ⁻³)	计算模型	弹性模量 /MPa	粘聚力 /kPa	内摩擦角 /(°)
杂填土	0~2.5	18.0	Mohr—Coulomb	8.2	15	18
卵石	2.5~12.5	20.0	Elastic	17	5	36
泥岩	12.5~35.0	19.0	Elastic	15	0	31

M7.5 砂浆的参数取单位长度上的粘结力 5.0×10^8 Pa,单位长度上的刚度 2×10^{10} N·m²、摩擦角 35°、砂浆的外圈周长 0.236 m。

1.2.2 计算步骤

深基坑工程 FLAC3D 数值分析的步骤包括:建立网格—→施加边界条件和初始条件—→达到初始

平衡状态—→进行周围建筑物及堆载的施加—→基坑分层开挖及锚杆支护—→后处理。根据基坑开挖的实际施工顺序,计算中采用逐层开挖并及时进行土钉支护(共打入土钉 898 根,锚杆 456 根)。开挖

共分 7 层,前 5 层每层开挖 2.3 m 到台阶处,随后分 2 层开挖至基坑底面 16.75 m。具体开挖计算步骤见表 3。

表 3 基坑开挖顺序

开挖顺序	开挖深度 /m	施工	土钉数	开挖顺序	开挖深度 /m	施工	土钉数
1	2.300	打第一排土钉	130	5	11.500	打第七排土钉	130
2	4.600	打第二三排土钉	256	6	14.125	打第一排锚杆	152
3	6.900	打第四排土钉	126	7	16.750	打第二三排锚杆	304
4	9.200	打第五六排土钉	256				

2 计算结果分析

2.1 基坑底隆起位移

图 2、图 3 给出了基坑开挖完成后基底的竖向隆起位移云图和过基坑底几何形心处的长边与短边方向的回弹位移曲线图。

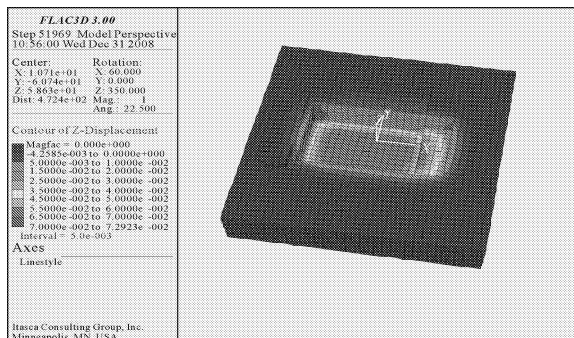
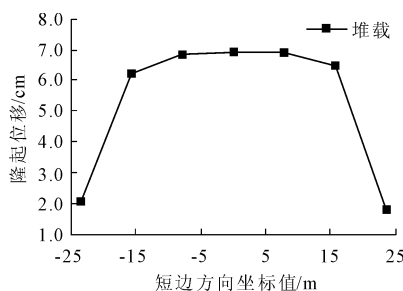


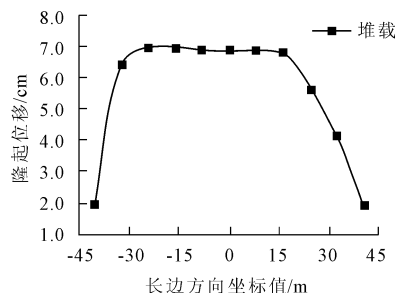
图 2 开挖引起的坑底竖向隆起位移云图

从图 2 可以看出,由于土体的开挖卸荷使基底土体产生了一定量的上抬变形,变形量的大小以基底的中心处最大、边角处最小,基坑壁对基底位移的限制起到了一定的作用。由图 3(b)基底长边方向的变形曲线图可以发现,基底靠近东边远离建筑物方向的回弹量明显偏小。原因主要在于此段基底开挖为台阶形式,离基坑壁约 17 m 的范围内开挖深度只要 11.5 m,相对于其它地方 16.75 m 的深度形成

了一定的压重作用。



(a)短边方向



(b)长边方向

图 3 开挖引起的坑底隆起位移 (16.75m)

基坑底几何形心处在基坑开挖过程中计算累计位移统计列入表 4,随着开挖深度的增加位移不断增大,施工完成后位移总的回弹量达 69.1 mm 后趋于稳定。

表 4 基坑开挖隆起位移(基坑底几何形心处)

开挖顺序	开挖深度 /m	实测位移 累计/mm	计算位移 累计/mm	开挖顺序	开挖深度 /m	实测位移 累计/mm	计算位移 累计/mm
1	2.300	9.2	8.8	5	11.500	48.7	47.9
2	4.600	18.5	17.8	6	14.125	59.4	58.8
3	6.900	28.4	28.0	7	16.750	70.4	69.1
4	9.200	38.6	38.1				

2.2 基坑壁水平位移

2.2.1 同一平面水平位移

基坑壁向坑内的水平位移变化趋势仍然是中间部分最大、边角处最小;基坑壁的长边由于开挖的范围相对较大,其变形量相对于短边也较大约 19 mm,充分体现了基坑开挖过程中的时空效应;沿基坑开挖的长边方向坑底变台阶处(长边方向坐标 25 m 处)出现了水平位移变形的谷底现象,这可能是由于在变台阶处采用了锚杆对土体进行加固,锚杆的打设相对与上部土钉数量较多,同时与周围土钉一起形成了近似于“圈梁”的结构体对变形起到了限制的作用造成的^[6]。

2.2.2 沿深度方向的水平位移

对基坑壁南侧长边和基坑壁东侧短边沿基坑深度向坑内产生的水平位移分基坑边有堆载(25 kPa)与无堆载两种情况进行了对比分析,计算结果如图 4 所示。

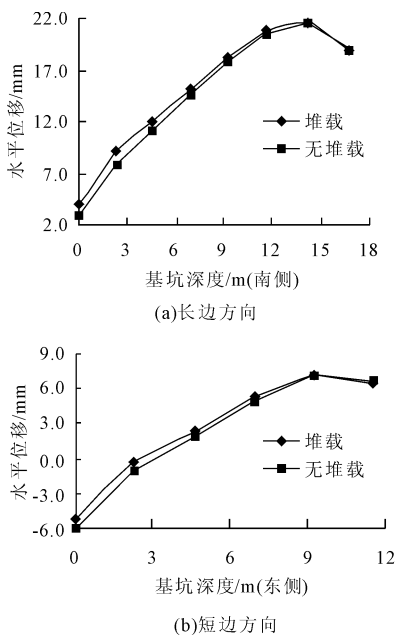


图 4 沿深度基坑壁向坑内产生的水平位移

分析可见,随着基坑开挖深度的增加基坑壁水平位移先增大后减小,其峰值点约在 3/4 基坑深度处;在基坑壁浅层位移峰值点以上,有堆载情况下的基坑壁位移相对于无堆载的情况稍大,峰值点以下位移已基本趋于一致,表明堆载对基坑的稳定性及其变形的影响不大。

3 土钉轴力变化

该基坑工程采用打入式土钉,通过压力注浆,使

土体、土钉及护壁钢筋混凝土共同形成重力式挡土墙。上部杂填土由于厚度不大,在对坑壁做维护结构后,将其按均布荷载考虑;对于卵石层以下则采用钻孔岩石锚杆。共打入土钉 898 根,锚杆 456 根。

开挖完成后,土钉的轴力分布见图 5。分析得到土钉均承受拉应力,土钉的基坑壁锚固端轴力最大,并随着土钉深度的增加轴力逐渐减小。第一排最先打入土钉的轴力随开挖深度进展的变化如图 6 所示,其中的开挖顺序同表 4。土钉轴力随基坑开挖深度的增加而增大,且初始增长迅速而后发展较为缓慢,有轴力增长强影响区的存在,约在土钉以下 5 m 深的范围内。

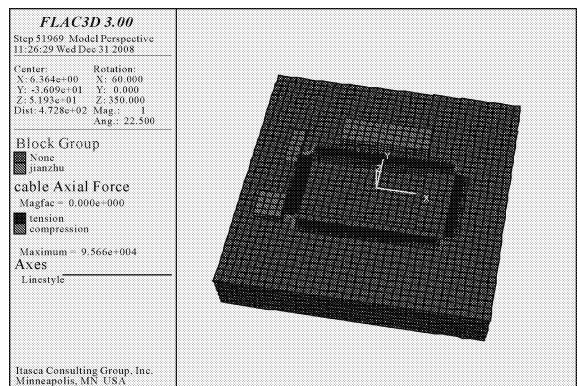


图 5 开挖产生的第五排支护土钉轴力(深度 7 m 处)

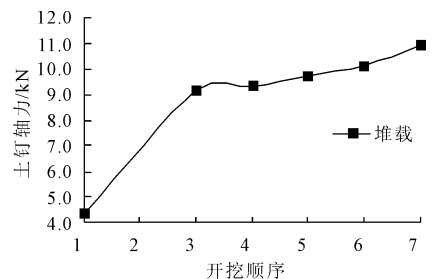


图 6 支护土钉轴力随开挖深度的变化(深度 1 m 处)

4 对周围建筑的影响

计算结果显示,周围①号建筑在开挖完毕后向坑内产生了约 6.3 mm 的水平位移、4.8 mm 的隆起位移;周围②号建筑在开挖完毕后向坑内产生了 -1.7 mm 的水平位移、5.2 mm 的隆起位移;周围③号建筑在开挖完毕后向坑内产生了 -1.3 mm 的水平位移、2.1 mm 的隆起位移。可见,在该工程中基坑开挖对周围建筑的影响较小,采用土钉支护对基坑壁变形的限制效果显著。