

# 基于 MIDAS 深基坑桩锚支护数值模拟分析

李明瑛<sup>1</sup>, 曾 朋<sup>2</sup>

(1. 广东石油化工学院 建筑工程学院, 广东 茂名 525000; 2. 华南理工大学 土木与交通学院, 广州 510640)

**摘 要:**根据某勘察设计院提供的地质资料和监测数据,通过有限元软件 Midas 对某市某地块项目建立三维深基坑模型,进行数值模拟分析。介绍了有关工程情况及模型相关设置,提取支护结构变形值与实际监测变形值进行对比,结果表明此模型具有可行性,得出基坑开挖及地下室施工过程中挡土桩的最大水平位移在顶端,基坑边缘的中点,特别是长边的中点附近;基坑土体竖向最大沉降发生在基坑边缘背后一定距离处以及锚杆锚固力在自由段均匀分布,在锚固段逐渐减小等变化规律,为变形控制设计与工程监测提供依据。

**关键词:**深基坑; 桩锚支护; 数值模拟; MIDAS; 有限元

中图分类号: TU753.6

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)01-0250-04

## Numerical Simulation Analysis of Pile-anchor Retaining in Deep Foundation Based on MIDAS

LI Ming-ying<sup>1</sup>, ZENG Peng<sup>2</sup>

(1. College of Architectural Engineering, Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming, Guangdong 525000, China; 2. College of Civil and Traffic, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** Based on foundation trench of a survey and design institute, the numerical simulation analysis on model of triaxiality deep foundation established by using large finite element software (i. e. MIDAS) was carried out. The engineering condition and model correlation are introduced. The deformation value of city structure and the observe value are compared. The viability of model is verified. Moreover, it is described that on the basement excavation and construction process, the maximum horizontal displacement of the pile at the top, the midpoint of the edge of the pit, especially near the midpoint of the long side; the vertical edge of the maximum settlement of excavation of soil occurred in a certain distance behind the pit and the anchoring strength is distributed evenly in the free section and decreased gradually variation, and it provides some references for deformation control design and engineering monitoring.

**Key words:** deep foundation; pile-anchor retaining; numerical simulation; Midas; finite element

目前,我国面临着人口问题,环境问题等制约人类发展的重大问题,而土地资源是影响人口问题最重要的一个因素,由于土地资源的有限性,我国城市建设不断迈向高层、超高层建筑,深基坑工程也就越来越多,在当前的基坑工程中,由于各场地地形条件、工程地质条件、施工技术等各类因素的影响,支护结构型式多种多样,既有典型的单一支护结构,也有较复杂的多种支护结构的组合<sup>[1]</sup>。在这些支护结构中,桩锚(挡土排桩加预应力锚杆)支护以适应深基坑的发展近年来在广东地区被普遍采用。桩锚支护形式对于开挖深度超过 8~9 m 的基坑,无论是从经济还是

从安全可靠上考虑,均是一种较好的支护体系。本文通过有限元软件 MIDAS 对某市某地块项目进行数值模拟分析,在后处理中提取支护结构变形值与实测值进行对比,分析其可行性,并且来探讨基坑开挖及地下室施工过程中挡土桩的水平位移、竖向位移以及锚杆锚固力等的变化规律,为变形控制设计与工程监测提供依据。

### 1 软件简介

MIDAS/GTS(Geotechnical and Tunnel Analysis System)软件是将通用的有限元分析内核与土木

结构的专业性要求有机结合而开发的岩土与隧道结构有限元分析软件,能够提供完全的三维动态模拟功能。MIDAS/GTS 适用于坝体的稳定性分析和渗流分析,固结分析,隧道工程,地基承载力与变形分析,基坑工程,大坝施工过程模拟,三维边坡稳定性分析,地震、爆破以及动力荷载分析等各种岩土工程问题。同时具备便捷的定义多个施工阶段(本工程定义了 5 个施工阶段进行模拟),进行不同施工阶段不同围岩类别支护结构的内力分析,验证结构安全系数是否满足相应设计规范标准,定量表征隧道施工对周边的影响,同时通过模拟验算分析,提出更为合理的施工方法及支护参数,指导现场的设计施工。MIDAS/GTS 提供的土体本构模型多达 16 种,包括常用的 Mohr-Coulomb 模型,并可用户自定义本构模型,本工程土体采用 Mohr-Coulomb 模型,支护结构采用线弹性模型。

2 工程概况

此地块项目位于某市一地区,拟建工程为 6 栋

41 层高层住宅,1 栋 3 层商业楼,设三层地下室,地下室基坑开挖深度约 14.4 m,基坑开挖面积约 2.5 万 m<sup>2</sup>,基坑周长 677 m。基坑支护型式为旋挖灌注桩加预应力锚索,东南角设混凝土角支撑,外围设搅拌桩止水。基坑开挖范围内无高层建筑、地铁及地下管线影响。

3 场地的地质条件

根据某有色工程勘察设计院提供的地质资料,可知土层分布情况:(1)人工填土层,厚度 1.70~5.00 m;(2)淤泥质粉砂层,厚度 0.40~4.70 m;(3)淤泥质土层,厚度 0.40~5.30 m;(4)粉质黏土层,厚度 0.40~8.00 m;(5)粉细砂层,厚度 0.40~3.20 m;(6)中粗砂层,厚度 0.50~2.00 m;(7)残积粉质黏土,厚度 0.60~7.60 m;(8)强风化岩,厚度 0.30~20.70 m。通过有限元软件 MIDAS 建模所需的各土层的物理力学参数指标同样可从有色院提供的地质资料中可得,具体参数指标值见表 1。

表 1 各土(岩)层主要物理力学参数指标值

层号	土类名称	层厚/m	重度/(kN·m <sup>-3</sup> )	弹性模量/MPa	粘聚力/kPa	内摩擦角/(°)
1	杂填土	2.50	18.5	5.0	10.00	8.00
2	淤泥质土	0.60	17.0	3.0	6.00	5.00
3	黏性土	1.10	18.0	12.0	17.00	12.00
4	淤泥质土	2.70	17.0	3.0	6.00	5.00
5	粉土	2.30	19.0	17.0	22.00	13.00
6	粉土	3.00	19.0	25.0	33.00	14.00
7	粉土	2.80	19.5	35.0	40.00	15.00
8	强风化岩	6.80	20.5	1500	26.00	18.50
9	地下连续墙	—	25.0	30000	—	—

4 有限元计算模型

根据相关部门提供的资料,综合考虑工程情况,采用大型有限元软件 MIDAS,对本工程进行模拟分析。支护结构型式如图 1 所示。设计 4 排锚索,倾角从上至下保持一致,由于基坑形状是长条形而不是方形的,空间效应不是很明显<sup>[2]</sup>,因此不考虑基坑的空间效应,将其作为平面应变问题进行稳定性分析是合理的。整个模拟过程采用弹塑性大变形理论,破坏准则为摩尔—库伦准则。

图 2 为计算整体模型,根据工程经验,模型计算范围取基底以下 2 倍的基坑开挖深度,影响宽度取开挖深度的 2~3 倍。但本工程属于大面积基坑,此时,基坑影响范围应取 1 倍以上的长边长度。因此计算区域侧边界离基坑边缘取 145 m,大于 0.5 倍长边范围,这样计算区域的面积大致为 500 m×400 m。

本模型中,土体按照不同材料分为 7 层,材料参

数初步选取见表 1,采用高阶次线性三角形单元进行网格划分。由于模型中桩与土的模量相差很大,在两者界面上常伴随有较大的剪应力,为了与实际工程更加符合,在桩与土体间应设置接触面单元<sup>[3]</sup>,鉴于以上原因,按照等效刚度的原则,本模型中使用 1.02 m 厚的连续墙来替代排桩,在桩与土体之间附加了一软弱薄层,避免了摩擦型接触单元的缺陷,可以较好地反映法向变形和切向变形以及应力的传递,且设置简单,方便计算。

5 模拟结果与分析

本工程设计统一 4 层锚杆,按照实际施工工序,分 5 步模拟基坑的施工过程。MIDAS 通过删减土体单元和增加结构支护单元(锚杆单元)来模拟开挖和支护<sup>[4]</sup>。

5.1 基坑的竖向变形

由于基坑边刚度较大<sup>[5]</sup>,支护结构对土体的位移起到了一定的控制作用,同时土体与桩之间的摩擦

(连续墙与土体之间的接触单元)限制了土体的变形,所以地表最大沉降发生位于距开挖面一定距离处。基坑底部由于开挖的卸载作用而隆起变形,由第一步开挖可以看出模拟值与实际监测值相差不大,符合实际。同时根据模型计算结果分析可知第一步、第二步

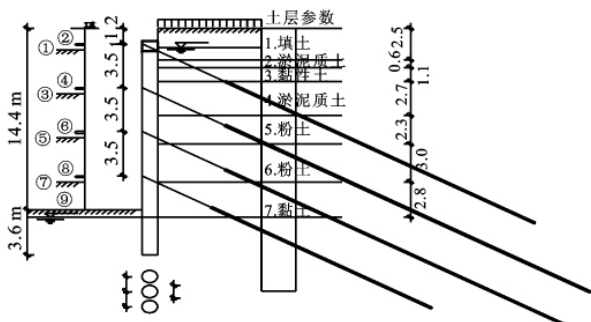


图 1 支护结构示意图

## 5.2 支护桩水平位移分析

为保证基坑安全,对基坑桩顶水平位移进行监测,在基坑的 6 个边界上共设置 45 个监测点,本文将其中 4 个主要点的桩顶变形模拟值和实测值进行比较,图中的 A、B、C、D 四点分别是基坑北侧、基坑西侧、基坑南侧、基坑东侧监测点的位置(见图 3—6),经过比较分析,B、C、D 点位移模拟值与实测值变化范围相差不大,符合工程实际,A 点位移实测值在第

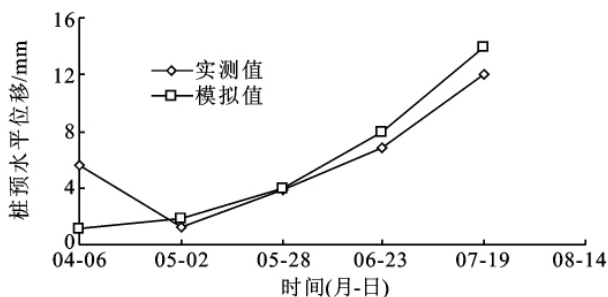


图 3 A 点位移

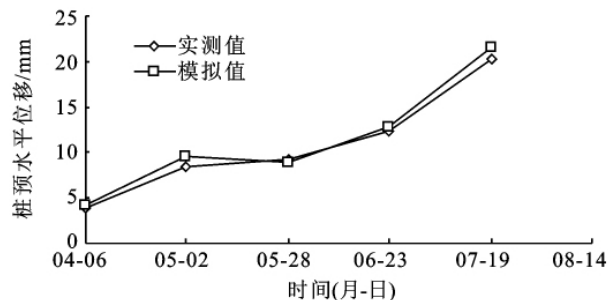


图 5 C 点位移

## 5.3 锚杆锚固力分析

图 9 是基坑最后一步开挖后锚杆的应力分布情况,基坑开挖后,主动土压力增大<sup>[6]</sup>,通过桩和冠梁作用于锚杆,锚端水平位移随之迅速增大,直至基坑土压力稳定,锚端水平位移才稳定于某一水平;当锚杆预应力较小时,增大预应力对控制锚端水平位移效果

开挖中隆起量较大,第一步开挖后坑底隆起变形量达到 0.025 m,第二步开挖坑底隆起变形量增至 0.066 m,之后几步开挖坑底隆起变形无多大变化,但随着下挖至岩石层,隆起量回落,最后一步开挖后隆起变形量为 0.006 m。

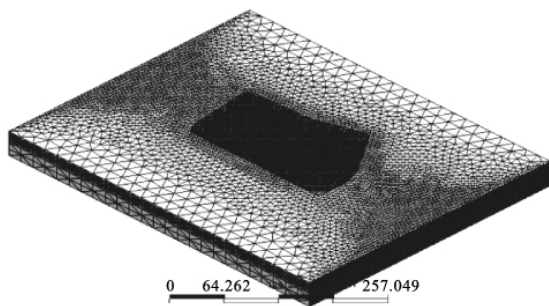


图 2 三维有限元模型

一步开挖(4月6号)时水平位移为 0.005 6 m,之后一段时间位移有所回弹,之后累计位移量下降到 0.001 2 m,往后回升。因为该段施工期间,东北角材料搬运,大量卸载,以及支护加撑等影响因素存在导致基坑桩顶位移回弹。从图 3 可以看出模拟值与实测值有一定的出入,故恰能反映工程实际。基坑第一次开挖后以及最后一步开挖后各监测点的水平位移模拟值分别见图 7—8。

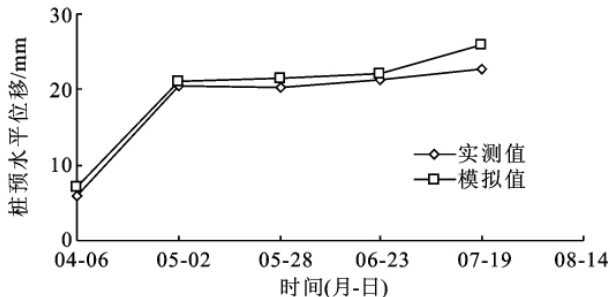


图 4 B 点位移

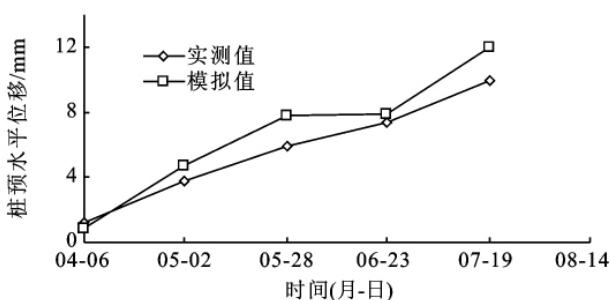


图 6 D 点位移

显著,但预应力增大到某一水平,再增加预应力,由于土体本身的粒状流动性,便很难再取得同样效果<sup>[7]</sup>。本工程中基坑最后一步开挖后,所有锚杆均处于受拉状态,锚杆轴力在自由段均匀分布,进入锚固段后锚杆轴力急剧减小,随后缓慢减小,锚杆自由段相当于一端固定,另一端自由的杆件,受轴向力后,整段杆件

中轴力分布均匀分布,而进入锚固段后由于砂浆的传力作用,逐渐将锚杆轴力分担给锚孔周围土体承担,因此,锚杆轴力逐渐减小。同时随着锚杆水平间距的增加,锚杆最大拉力也相应增加,但从控制基坑土体变形和防止产生群锚效应考虑,锚杆水平间距取 1.5 m 左右为宜。

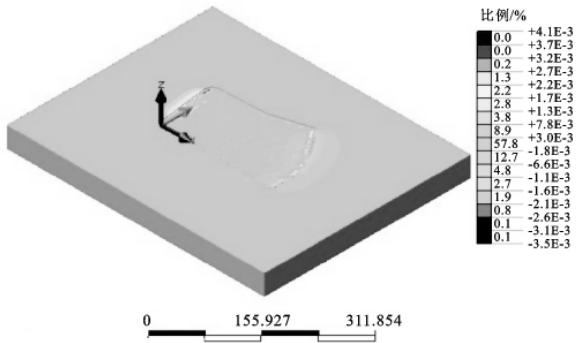


图 7 第一步开挖后 X 方向的水平位移(m)

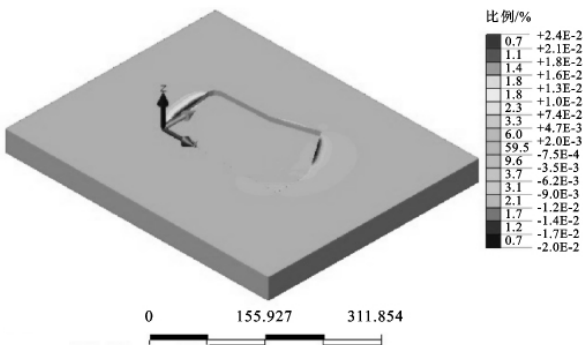


图 8 最后一步开挖后 X 方向的水平位移(m)

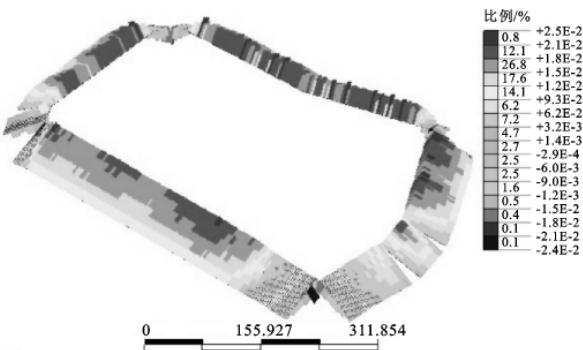


图 9 最后一步开挖后锚杆的应力云图(KN/m<sup>2</sup>)

6 结 语

(1)本文针对某地块基坑工程,应用 Midas 有限元软件进行三维有限元模拟分析,本文将桩锚支护结构按照刚度等效为混凝土墙,采用总应力法,得出变形结果与实际监测值相差不大,可以反映实际,此模型具有可行性。

(2)基坑土体竖向最大沉降发生在基坑边缘背后一定距离处,应对该位置处的建(构)筑物及地下管线采取必要的保护措施,同时应在该位置处布置控制点,进行实时监测,及时反馈信息。

(3)桩身的最大水平位移在顶端,基坑边缘的中点,特别是长边的中点附近,在所有支护结构中,第一排锚杆的性能好坏直接影响着位移的变化,需加强锚杆的性能。

(4)锚杆轴力在自由段均匀分布,在锚固段逐渐减小;对于本工程,锚固段长度过长,造成了经济上的浪费,这与现场试验中锚杆变形测量的出的结论一致,再次证明了数值方法分析基坑工程是切实可行的。增加锚杆预应力可减小锚端水平位移量,进而减小基坑水平位移,但随着预应力增大程度的增加减小作用有所减弱。

参考文献:

[1] 陈忠汉. 深基坑工程[M]. 2 版. 北京:机械工业出版社, 2002.

[2] 姜晨光,林新贤,黄家兴,等. 深基坑桩锚支护结构变形监测与初步分析[J]. 岩土工程界,2002,5(8):55-56.

[3] 张程林,彭炎华. 深基坑桩锚支护数值模拟及参数分析[J]. 施工技术,2008,37(s1):321-324.

[4] 张勇,赖惠成. 基于 Midas 技术的多层分布式应用程序开发[J]. 新疆大学学报,2003,20(2):139-141.

[5] 吴彰森,胡耀平. 基坑支护工程监测技术研究[J]. 工程技术,2009,10(9):43-46.

[6] 熊建华. 采动巷道岩体变形与锚杆锚固力变化规律[J]. 工程技术,2009,28(6):330-332.

[7] 刘亚飞,武崇福. 深基坑单支点桩锚支护现场试验与数值模拟研究[D]. 北京:燕山大学,2010.