

# 数值模拟分析基坑开挖空间效应的变化规律

管文艳

(建设综合勘察研究设计院有限公司,北京 100007)

**【摘要】** 基坑开挖导致墙后土体产生滑裂面,通过 MIDAS 有限元计算软件对万达广场基坑工程进行数值分析,总结硬化土模型的参数取值规律。结合万达广场深基坑工程实例,计算墙后土体水平位移监测点的变化曲线,对土体水平位移的变形规律加以分析。通过分析数值分析中得到的数据,分析基坑开挖的空间效应,结合工况对比分析 SMW 支护和双排桩支护下的空间效应比值的规律。

**【关键词】** 软土;基坑变形;土体位移;空间效应

**【中图分类号】** TU17;TU990.3 **【文献标识码】** B **【文章编号】** 1674-7461(2014)02-0056-05

## 1 引言

随着建设的需要,基坑工程日益复杂,随之而来的事故也是多种多样,除了基坑本身发生稳定性破坏外,还包括周围环境破坏以及对施工安全的不良影响。在 2012 版的建筑基坑支护技术规程中明确指明支护结构的安全等级由支护结构及土体变形对周边环境影响或主体结构施工安全的影响程度来判断<sup>[1]</sup>。

关于基坑变形规律,许多学者都通过统计分析及数值模拟提出自己的观点,如徐中华通过总结上海地区基坑变形监测数据,指出南方地区软土基坑的支护结构最大变形位置一般处于坑底附近<sup>[2][3]</sup>。王卫东通过对南方软土地区基坑变形监测数据统计分析,得到不同刚度的支护结构对应的地表沉降变形规律以及沉降影响范围<sup>[4]</sup>。上海地方规范在估算基坑周边地表变形方面,提出了墙后土体损失量与地表最大沉降量的半预测公式,为计算地表沉降提供更准确的方法<sup>[5]</sup>。刘建航院士在软土市政工程施工手册中提出了地表沉降槽的计算方法,更进一步肯定了通过理论计算地表沉降的可能性。Caspé 和刘兴旺等人将支护结构后土体分为塑性平衡区和弹性平衡区,并对墙后土体变形的理论计算进行了部分推导<sup>[6][7]</sup>。

殷德顺以数值模拟为手段,对刘兴旺等前人的研究成果进行了验证,并提出了由墙体位移计算墙后土体位移的理论方法<sup>[8]</sup>。

本文以 MIDAS 有限元分析软件为计算工具,结合万达广场工程实例,计算该基坑工程在开挖过程中的变形数据。通过对比基坑现场监测数据及前人总结的基坑变形规律,证明有限元软件在分析基坑变形中的准确性。分析数值模拟计算的变形数据,总结在数值模拟中硬化土模型的参数选取方案并分析基坑变形规律。

## 2 工程实例

### 2.1 工程概况介绍

万达广场深基坑工程占地 135 936 m<sup>2</sup>,基坑长 350m、宽 320m、基坑重要性等级为一级。具体支护形式如图 1 所示,该基坑工程主要支护形式为双排桩结合钢支撑支护、双排桩结合锚索支护、型钢水泥土墙结合锚索支护,基坑最大开挖深度为 12.8m,支护形式十分复杂。基坑北侧有中国银行等重要建筑,具体位置如图 1 所示,该基坑所处位置地下水丰富,需要重点监测地表沉降变形。

如表 1 所示,基坑所处位置的土体以粉质粘土、粉砂、淤泥质黏土为主,内摩擦角和粘聚力系数都很小,该类土质处的基坑容易发生大的变形。

**【作者简介】** 管文艳(1980-),女,工程师。主要从事地理信息系统、工程测量及土木工程信息化等生产和研究工作。

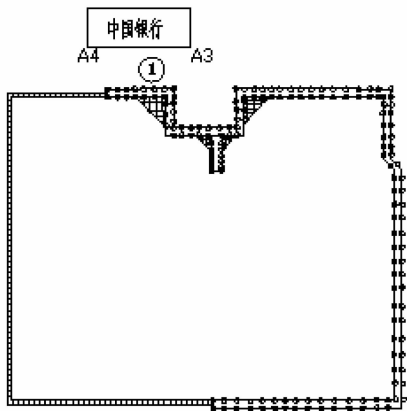


图1 基坑支护布置图

表1 各层土的性质参数

名称	重度	黏聚力	摩擦角	粘结强度
杂填土	16.6	5	8	16
粉砂夹粉质粘土	19.2	5	2.4	16
粉质粘土与粉砂互层	18.7	20	7.06	30
粉砂	18.0	0	28	20
淤泥质粉质粘土	19.4	12.2	3.6	16
粉砂	18.0	0	28	26
粉质粘土	18.0	0	28	50

### 3 有限元参数选取

#### 3.1 土体单元参数

运用 MIDAS 软件模拟万达广场深基坑工程,首先选择土体计算模型,在本次模拟中,主要分析基坑的变形,故以往简单的摩尔库仑模型不能够满足分析的需要,所以我选择硬化土模型、也就是修正摩尔库仑模型。修正摩尔库仑模型在计算中需要输入两个弹性模量,分别为土体压缩时的弹性模量和土体卸荷时的弹性模量。修正摩尔库仑计算出的坑底隆起变形要远小于摩尔库仑计算出的变形,更符合工程实际的变形情况。

按照上海地区的经验,土体卸荷后的弹性模量为土体压缩时的弹性模量的 3~5 倍,而土体压缩时的弹性模量采用公式 1、2 计算得到:

$$E = 5 \times E_s \quad (1)$$

$$EUR = 3 \times E \quad (2)$$

故本次模拟中的弹性模量(Mpa)如表 2 所示。

表2 各层土的弹性模量 T

名称	压缩模量 $E_s$	弹性模量 E	卸荷模量 EUR
杂填土	4.13	20.65	49.74
粉砂夹粉质粘土	3.86	19.3	57.9
粉质粘土与粉砂互层	5.31	26.55	79.65
粉砂	9.53	47.65	142.95
淤泥质粉质粘土	7.53	37.65	112.95
粉砂	7.15	35.75	107.25
粉质粘土	12.26	61.3	183.9

#### 3.2 结构单元参数

根据实际工程案例,共有三种支护形式,如表 3 所示。

表3 支护结构参数

支护形式	开挖深度	支护结构长度	其他
双排桩结合钢支撑	11.8m	22.5m	钢支撑
双排桩结合锚索	12.8m	22.5m	三道锚索
型钢水泥土墙结合锚索	7.7m 和 6.5m	18m	两道锚索

其中,支护墙均按照等抗弯刚度换算成地下连续墙,根据设计报告将型钢水泥土墙转变为 0.56m 地下连续墙,双排桩转换为 1.1m 地下连续墙,这样更方便模拟结构单元,具体的支护结构如图 2 所示。

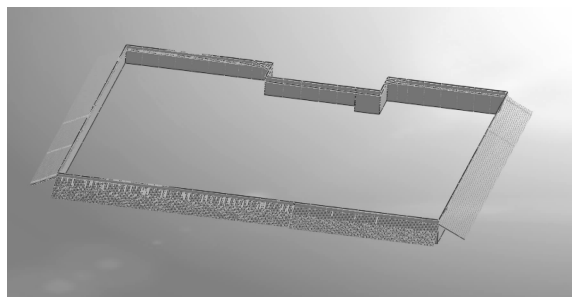


图2 基坑支护结构模拟图

### 4 计算结果

#### 4.1 基坑开挖

基坑开挖后如图 3 所示,右侧蓝色区域为 12.8m 开挖,左侧分别为粉色区域 6.5m 开挖和黄色区域 7.7m 开挖。

#### 4.2 准确性分析

根据现场实际监测的变形数据判断本次数值模拟的计算结果是否准确。选取桩顶水平位移为

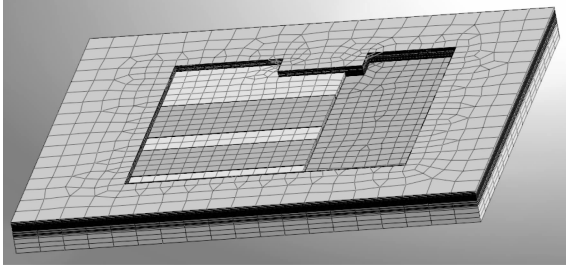


图3 基坑开挖示意图

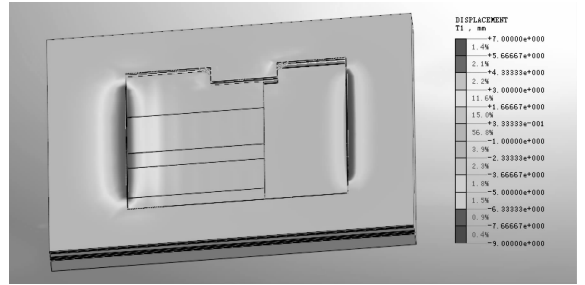


图5 墙后土体 x 方向水平位移云图

例,通过现场监测的30个桩顶水平位移数据对比分析数值模拟的准确性,如图4所示。

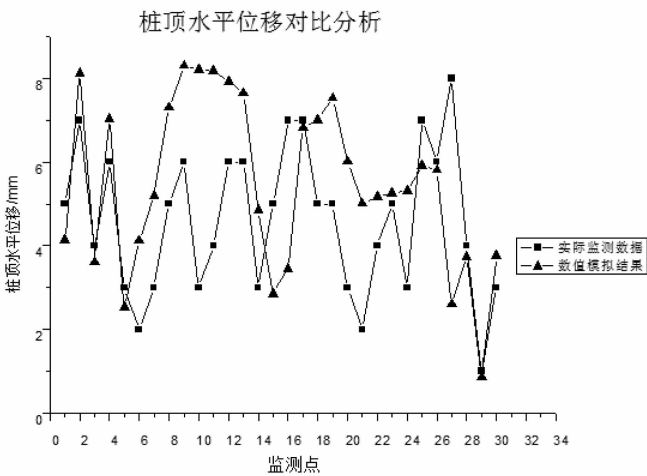


图4 桩顶水平位移对比分析

经过以上曲线分析,可以判断出通过数值模拟计算基坑变形较为准确,而且通过对比其他实测数据及变形规律,进一步认为数值模拟的结果是合理的。

## 5 基坑变形分析

### 5.1 基坑变形空间效应

根据上海地区研究结果,可以认为基坑开挖引起的变形存在空间效应,即基坑支护结构中部变形要大于基坑角点处变形。但是,因为基坑工程存在特异性,通过实际观测数据总结出的变形规律只能应用于单个地区,无法推广。相比之下,数值模拟计算中灵活准确快速的特点就得以发挥。

图5为基坑支护墙后土体x方向水平位移云图由图4可以分析:

- 1) 基坑开挖,支护结构后土体均向坑内移动;
- 2) 型钢水泥土墙对应的土体水平位移小于双排桩支护结构对应的土体水平位移,主要原因是开

挖深度不同,而且支护结构的抗弯刚度也不一致;

3) 墙后土体水平位移无论何种支护形式,均存在空间效应,即坑角处水平位移远远小于支护结构中部的土体水平位移。

### 5.2 结合工况分析基坑变形

图6、7为具体的水平位移变化曲线通过曲线,可以分析处基坑开挖过程中不同的工况导致基坑墙后土体水平位移变化情况。

由图6、7可以分析出:

- 1) 随着工况的增加,墙后土体水平位移增加;
- 2) 每一个工况,支护结构中部对应的墙后土体水平位移大致相同;
- 3) 水平位移增加幅度较大的工况均为开挖工况,即当基坑开挖时墙后土体水平位移变化较大;
- 4) 双排桩支护墙后土体的水平位移不是坑角点最小,而是临近坑角的点水平位移最小;
- 5) 双排桩支护墙后土体水平位移的空间效应比值,即坑角处土体水平位移和中部支护墙后土体水平位移的比值,在第二次开挖时约为1.8,随着开挖深度的增加,比值逐渐增大,最后一次开挖比值约为3.1倍;
- 6) SMW支护结构墙后土体水平位移的空间效应比值则恰恰相反,开挖2时比值约为15倍,随着开挖深度的增加,坑角处土体水平位移变化速率增大,空间效应比值逐渐减小,最后一次开挖时,空间效应比值约为3.5倍。

## 5 结论

(1) 硬化土模型模拟基坑开挖引起的变形规律,结果比较准确,可以作为分析变形的手段之一;

(2) 基坑开挖后,无论何种支护形式,均会产生空间效应,坑角处的变形小于支挡结构中部对应的变形;

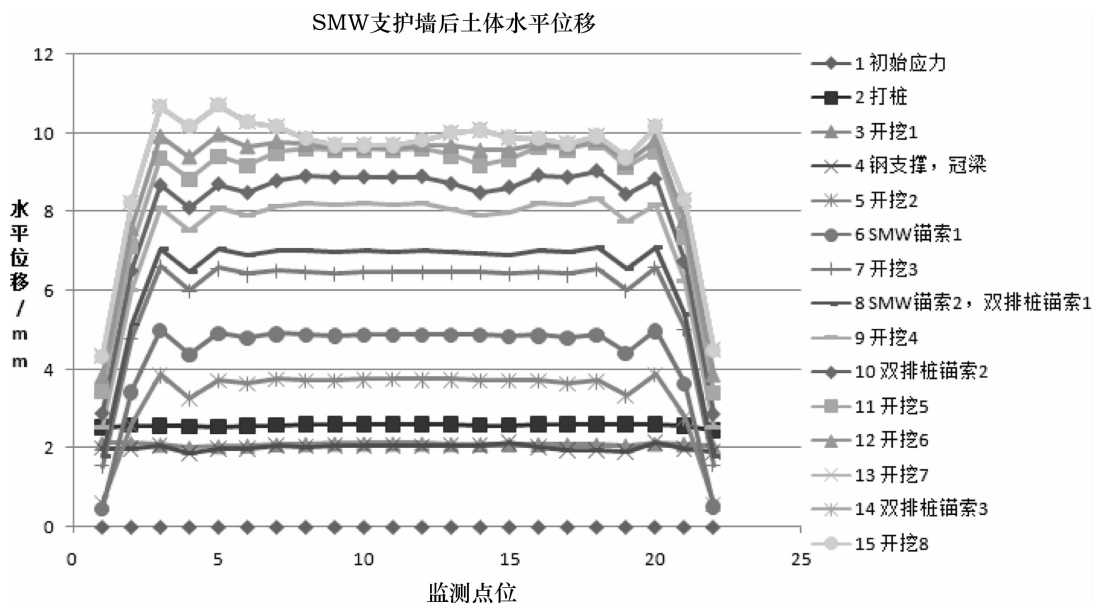


图6 SMW 墙后土体水平位移

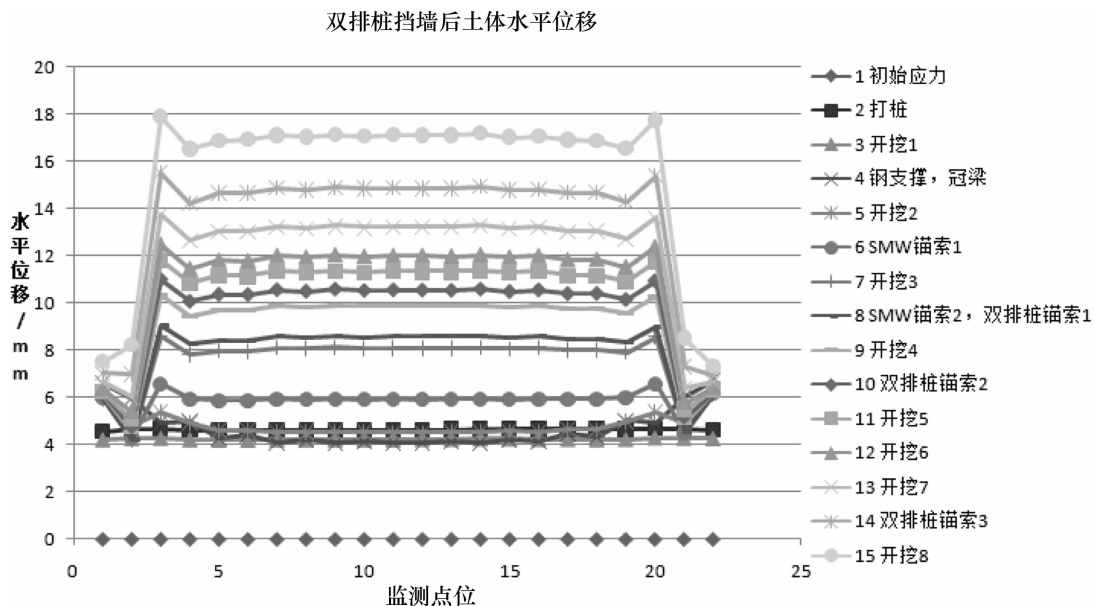


图7 双排桩墙后土体水平位移

(3)通过分析 SMW 和双排桩支护形式,对比空间效应的不同变化规律,SMW 支护中坑角处在开挖深度较小时变形很小,随着开挖深度的增加,变化速率增大;相比较下,双排桩支护结构的空效应变化呈现从小到大,即随着开挖深度的增加,支护结构中部的变形增大速率大于坑角。

参考文献

[ 1 ] JGJ120-2012. 建筑基坑支护技术规范[S]

[ 2 ] 徐中华. 上海地区支护结构与主体地下结构相结合的深基坑变形性状研究[D]. 北京:上海交通大学,2007  
 [ 3 ] 李琳等. 软土地区深基坑变形特性分析[J]. 土木工程学报:2007,(40):66-72.  
 [ 4 ] 王卫东等,上海地区深基坑周边地表变形性状实测统计分析[J]. 岩土工程学报,2011,(11):1659-1666.  
 [ 5 ] DBJ-61-97. 上海市标准基坑工程设计规范[S]  
 [ 6 ] CASPE M S. Surface settlement Adjacent to Braced Open Cuts [J]. JSMFD, ASCE,1966,92(SM4):51-9.

- [ 7 ] 刘兴旺等,基坑开挖地表沉降理论分析[J]. 土木工程学报,2000,33(4):51-55.
- [ 8 ] 殷德顺等. 支护水平位移对支护后土体变形的影响[J]. 中国水运,2007(9):124-126.
- [ 9 ] TERZAGHI K. Theoretical soil mechanics in engineering practices [M]. Wiley New-York,1948
- [ 10 ] 吕少伟. 上海地铁车站施工周围土体位移场预测及控制技术[D]. 同济大学,2001
- [ 11 ] 刘国彬等. 基坑工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2009

## Changing Rule of the Numerical Simulation of Foundation Pit Excavation Space Effect

Guan Wenyan

(CIGIS(CHINA) LIMITED, Beijing 100007, China)

**Abstract:** Excavation leads to generate critical slip surface of soil. By MIDAS finite element calculation software, numerical analysis was carried out on the wanda square foundation pit engineering. It summarizes the hardening soil model parameter selection rule. Taking Wanda plaza deep foundation pit engineering as example, the calculation of horizontal displacement monitoring curve of soil analyzed the deformation law of horizontal displacement of soil. Through the analysis of the data, analysis of the numerical analysis of spatial effect of foundation pit excavation, combining with the working condition of SMW method analysis of supporting and double row piles under the support of the law of the spatial effect ratio.

**Key Words:** Soft Soil; Deformation; The Soil Displacement; Space Effect

(上接第 55 页)

### 参考文献

- [ 1 ] 社团法人预制建筑协会. 预制建筑总论: 预制建筑技术集成[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [ 2 ] 社团法人预制建筑协会. 预制建筑技术集成[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [ 3 ] 苏骏, 叶红华. 基于 BIM 的设计可视化技术在世博会德国馆中的应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2009(1): 87-91.
- [ 4 ] Autodesk Asia Pte Ltd. Autodesk Revit Structure 2012 应用宝典[M]. 上海: 同济大学出版社, 2012.
- [ 5 ] 韩克勇. NavisWorks 在项目设计和施工中的应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2013, (11).
- [ 6 ] 龚志宏. 装配式住宅中预制构件的施工技术[J]. 科技资讯, 2010, 22: 81-82.
- [ 7 ] 陈介华. 预制装配式住宅施工技术的研究[J]. 建筑施工, 2013, 06: 552-553 + 556.

## Research on Monolithic Precast Concrete Frame Design Method

Yang Xu<sup>1</sup>, Li Chenguang<sup>2</sup>, Deng Sihua<sup>1</sup>

(1. Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China;  
2. Beijing Building Construction Research Institute Co., Ltd., Beijing 100039, China)

**Abstract:** This paper describes the design method of monolithic precast concrete frame structure, and summarizes the issues of design process of monolithic precast concrete frame structure.

**Key Words:** Monolithic Precast; Frame; Design Method