

# Based on PLAXIS Finite Element Software Analysis of Deep Foundation Pit

Yongcheng Sun

IPPR International Engineering Corporation, Beijing  
Email: sunyongcheng2002@163.com

Received: Dec. 18<sup>th</sup>, 2012; revised: Jan. 26<sup>th</sup>, 2013; accepted: Feb. 6<sup>th</sup>, 2013

Copyright © 2013 Yongcheng Sun. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Abstract:** In this paper, take a New Times Square, Handan City, Hebei Province deep foundation pit for example. Describes the process of the model of foundation pit in PLAXIS finite element software and compared the results of the analysis. The deep foundation pit should be taken into account from the perspective of finite element simulation software. Further demonstrated that the foundation pit of the correctness of the program selection.

**Keywords:** PLAXIS Software; Finite Element; Deep Foundation; Supporting Project; Analyst

## 基于 PLAXIS 有限元软件的深基坑支护分析

孙永成

中国中元国际工程公司, 北京  
Email: sunyongcheng2002@163.com

收稿日期: 2012 年 12 月 18 日; 修回日期: 2013 年 1 月 26 日; 录用日期: 2013 年 2 月 6 日

**摘要:** 本文以河北省邯郸市新时代广场深基坑支护方案为例, 介绍了基坑支护模型的在 PLAXIS 有限元软件中的建立过程, 并对计算结果进行了对比分析。从有限元软件模拟的角度分析了深基坑支护应考虑的因素, 进一步论证了基坑支护方案选择的正确性。

**关键词:** PLAXIS 软件; 有限元; 深基坑; 支护方案; 分析

### 1. 引言

新时代广场工程位于邯郸市中心人民东路, 是集宾馆、餐饮、服务、公寓于一体的大型商务公寓楼。主楼 27 层, 裙楼 8 层(局部 5 层), 并有外延的地下车库, 地下均为 3 层, 总建筑面积近 4 万平方米, 基础埋深 16.30 米, 是邯郸市重点工程项目。本工程基坑开挖深度为 15.50 m (从地面算起)。本场地的北侧有地下管线和国防光缆等重要设施, 东侧紧邻城市道路, 南侧有住宅楼、西邻保龙仓超市。

### 2. 基于 PLAXIS 有限元分析模型

#### 2.1. 有限元分析的基本假设<sup>[1]</sup>

- 1) 将研究的问题简化为平面应变问题;
- 2) 不考虑基坑开挖前由施工钻孔灌注桩、旋喷桩、锚杆等引起土体应力和性状的变化;
- 3) 同一种材料为均质、各向同性; 土体为理想弹塑性材料; 桩柱和支撑为弹性体;
- 4) 土体的应力应变关系采用 HS 模型, 围护墙后土体假设水平向卸荷、竖向荷载不变, 坑内开挖面以

下的土体假设竖向卸载、水平向荷载不变。

## 2.2. 有限元分析模型中计算参数的选取<sup>[2,3]</sup>

1) 土体 C, 中值的选取。

土体的粘聚力 C 和内摩擦角  $\varphi$  是土体两种最为重要的参数, 根据不同的排水条件和实验方法 C,  $\varphi$  值差异很大。规范规定对于土体的 C,  $\varphi$  值的选取应该根据基坑重要性的不同采取不同的实验方法获得, 常用的有直剪实验、三轴实验等。一般说来人们经常采取直剪实验的峰值来作为基坑设计的参数。大量的文献表明, 采用该实验获得的 C,  $\varphi$  值来进行土体数值模拟都得到了较为满意的结果。为此本文以下各算例也是按照这一原则来进行 C,  $\varphi$  值的选取。

2) 土体等效弹性模量的选取<sup>[4]</sup>。

由于非线性、非弹性是土体变形的突出特点, 即使在加荷初始应力一应变关系接近直线的阶段, 变形仍然包含弹性和塑性两部分, 所以程序中输入的土体弹性模量为等效弹性模量。

一般工程地质报告中都会提供土体的压缩模量  $E_s$  变形模量与压缩模量之间有以下近似关系:

$$E_0 = \left(1 - \frac{2\nu^2}{1-\nu}\right) E_s \quad (1)$$

式中,  $\nu$  为泊松比。故等效弹性模量可取为:

$$E_{eq} = (1.3 \sim 3) \left(1 - \frac{2\nu^2}{1-\nu}\right) E_s \quad (2)$$

公式(1)、(2)出自徐芝纶, 弹性力学[M]。北京: 高等教育出版社, 1984。

3) 土体泊松比选取。

同土体其它参数一样, 土体泊松比也不是定值。本文所选取泊松比一般根据经验估算, 对于粘性土一般取 0.25~0.42, 对砂性土一般取 0.2~0.25。

4) 灌注桩及锚杆参数的选取<sup>[5]</sup>。

灌注桩的计算参数如表 1、2、3 所示, 包括: 抗弯刚度 EI、抗拉刚度 EA、高度 H、宽度 B。本论文中将基坑模型简化为二维平面应变问题来分析。锚杆的计算参数包括: 弹性模量 E、支撑间距 Ls、等效长度、角度, 其它几何尺寸和参数按实际情况来确定。

5) 土体本构模型的选取<sup>[6]</sup>。

由于土体变形行为的复杂性, 至今人们已经提出了几百种本构模型, 但每种本构模型都是反映了土的某一类或几类现象。

Table 1. Material properties of bored pile (retaining pile can be equivalent to continuous wall)  
表 1. 钻孔灌注桩的材料特性(支护桩等效成地下连续墙)

参数	名称	数值	单位
行为类型	材料类型	弹性	
轴向刚度	EA	1.407E+07	KN/m
抗弯刚度	EI	5.627E+05	KNm <sup>2</sup> /m
等效厚度	D	0.693	m
容重	W	12.0	KN/m/m
泊桑比	$\nu$	0.2	

Table 2. Material properties of anchor (node to node anchor)  
表 2. 锚杆(点对点锚杆)的材料特性

参数	名称	第一层锚杆数值	第二层锚杆数值	第三层锚杆数值	第四层锚杆数值	单位
行为类型	材料类型	弹性	弹性	弹性	弹性	
轴向刚度	EA	3.215E+05	4.070E+05	5.020E+05	3.215E+05	KN
水平间距	Ls	1.000	1.000	1.000	1.000	m
最大内力	Fmax, comp	1.000E+15	1.000E+15	1.000E+15	1.000E+15	KN
	Fmax, tens	1.000E+15	1.000E+15	1.000E+15	1.000E+15	KN

Table 3. Material properties of injecting cement paste (geotechnical grille)  
表 3. 注浆体(土工格栅)的材料特性

参数	名称	数值	单位
行为类型	材料类型	弹性	
轴向刚度	EA	9.420E+05	KN/m

HS 模型能反映土的硬化特征、能区分加荷和卸荷的区别且其刚度依赖于应力历史和应力路径，能得到较 MC 模型更合理的变形，HS 模型的适用性优于 MC 模型。

故本论文选用适合于较准确工程分析的 HS 模型进行建模分析。

### 2.3. 有限元几何模型的建立

有限元模型建立完成后如图 1 所示。

## 3. 有限元模型的计算结果

### 3.1 有限元模型网格划分

PLAXIS 软件提供了 6 节点单元和 15 节点单元两种。15 节点单元比前者的计算精度要高，在处理复杂问题时能产生更高质量的应力效果。但 6 节点单元要比 15 节点单元计算速度快。本文采用的是 15 节点单元，PLAXIS 软件具有自动划分网格的功能，需要指出的是，根据本工程的特点，在“划分精度”中选择的是“fine”，并对钻孔灌注桩和锚杆附近的网格进行了加密。这样不但可以得到较为理想的计算结果，而且所花费的计算时间不会太长。图 2 为网格划分示意图。

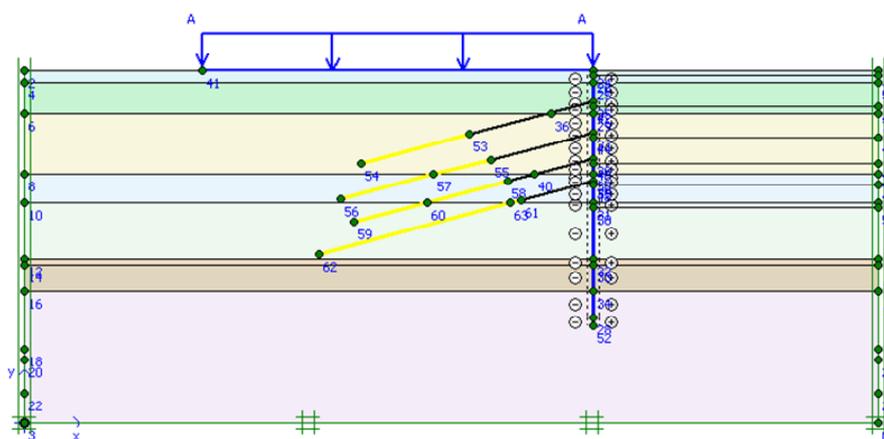


Figure 1. Map of geometric model of foundation pit  
图 1. 基坑的几何模型图

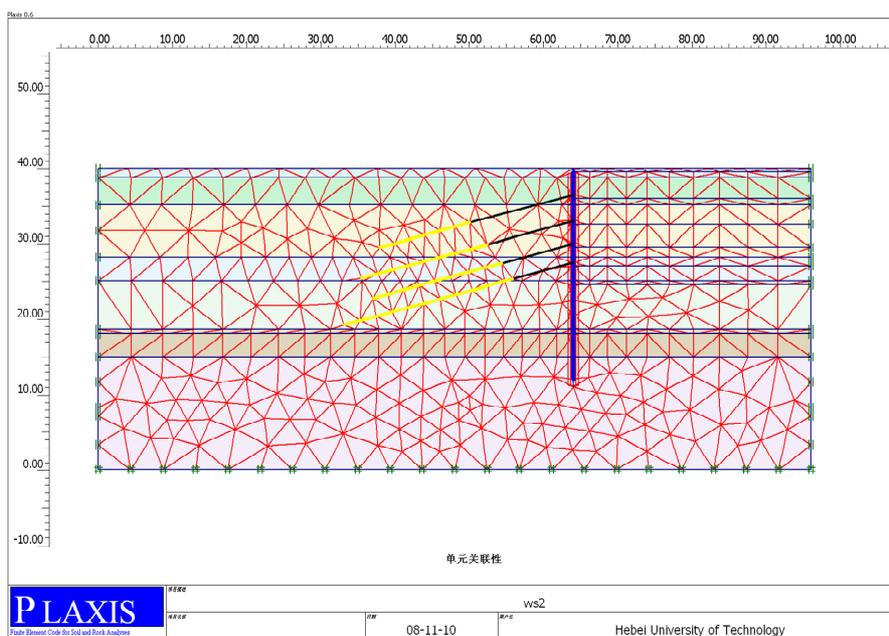


Figure 2. Schematic diagram of mesh generation  
图 2. 网格划分示意图

### 3.2. 有限元模型的计算结果

#### 1) 初始应力场确定。

几何模型建立后，需要定义初始条件，所谓初始应力条件是指施工钻孔灌注桩、锚杆前，由土体自重引起的应力情况。图 3 为 PLAXIS 程序计算所得的初

始应力分布图。

由初始应力分布图可以看出，基坑 8 米以下土质的应力分布比较均匀，8 米以上土质应力收到土体自重及外部荷载的作用出现应力集中的现象。

2) 各工序水平位移云图如图 4~15 所示。

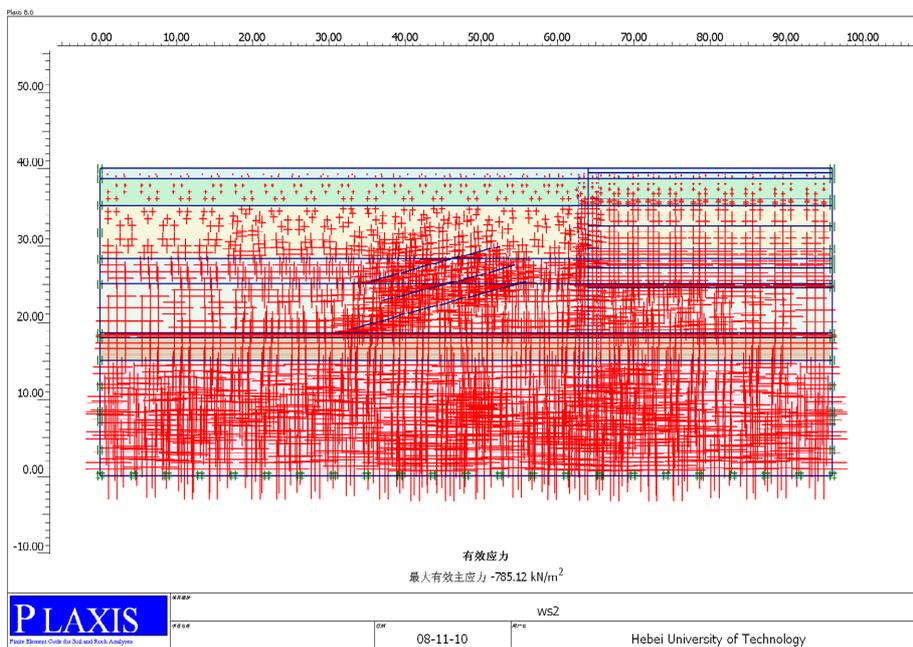


Figure 3. Distribution map of initial stress  
图 3. 初始应力分布图

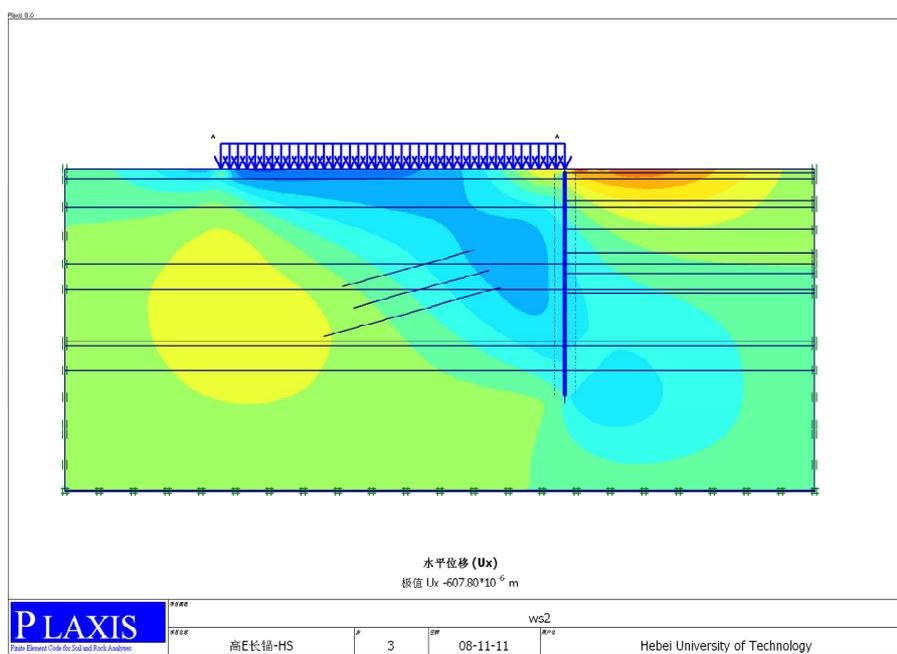


Figure 4. Condition one: horizontal displacement profile  
图 4. 工况 1: 水平位移分布云图

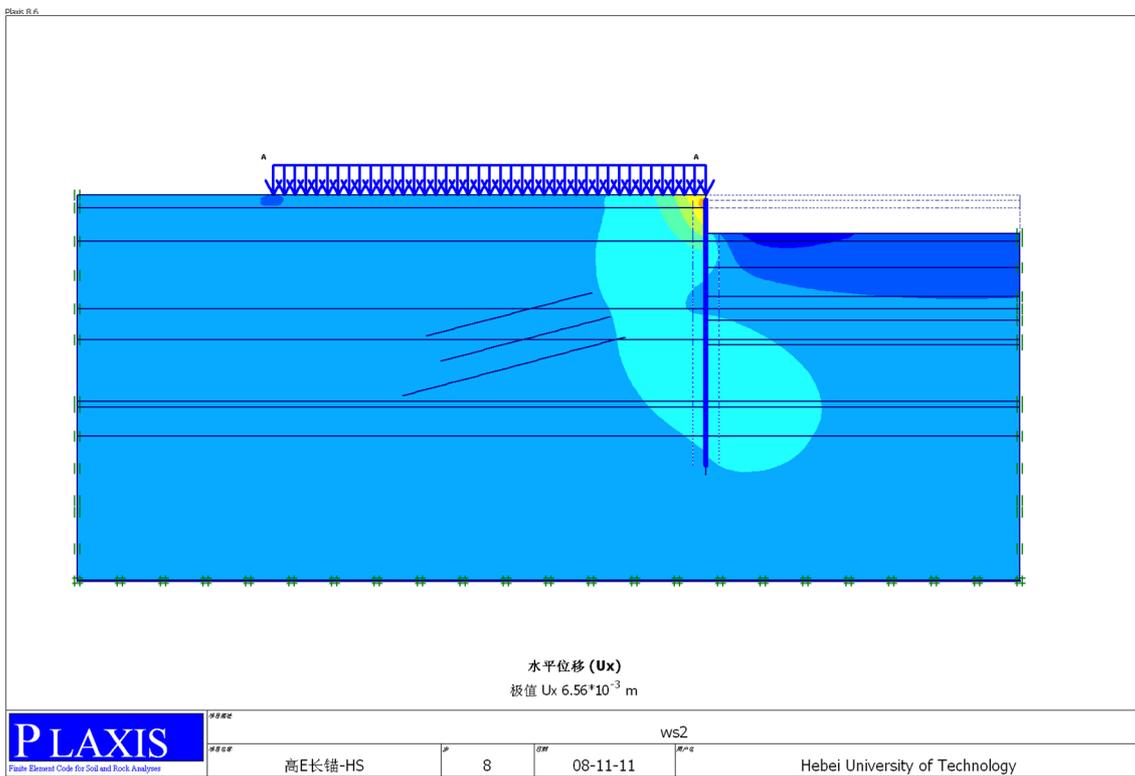


Figure 5. Condition two: horizontal displacement profile  
图 5. 工况 2: 水平位移分布云图

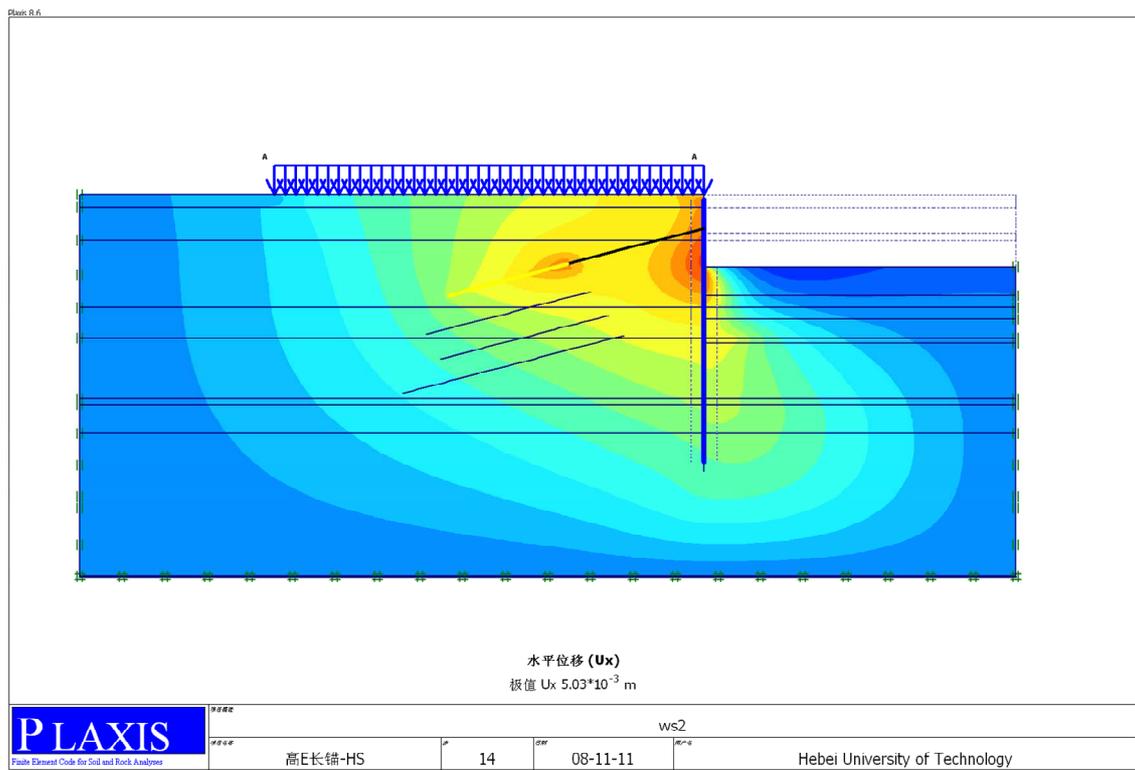


Figure 6. Condition four: horizontal displacement profile  
图 6. 工况 4: 水平位移分布云图

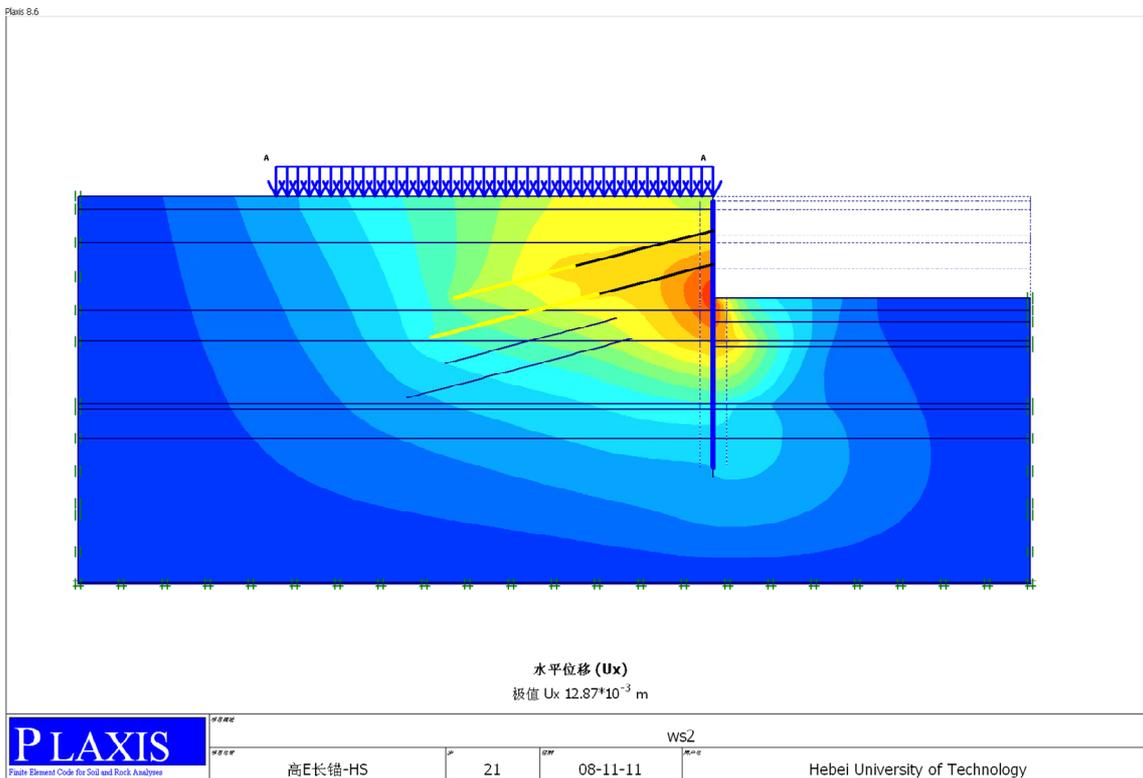


Figure 7. Condition six: horizontal displacement profile  
图 7. 工况 6: 水平位移分布云图

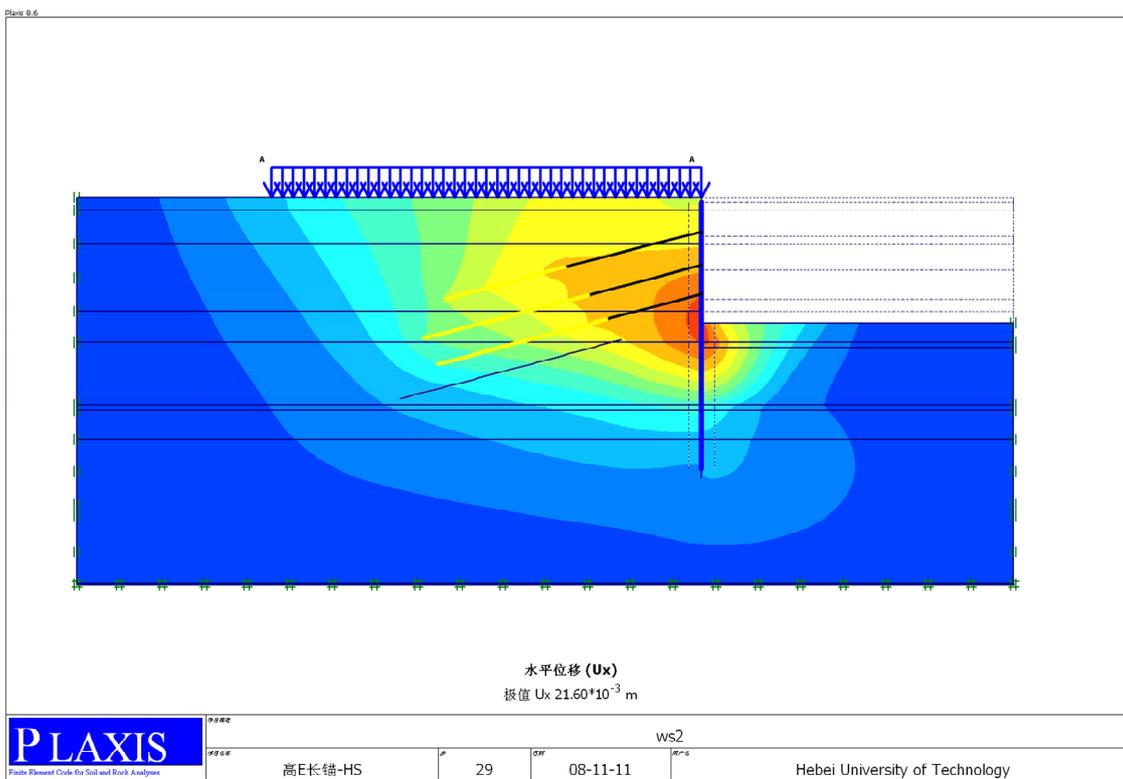


Figure 8. Condition eight: horizontal displacement profile  
图 8. 工况 8: 水平位移分布云图

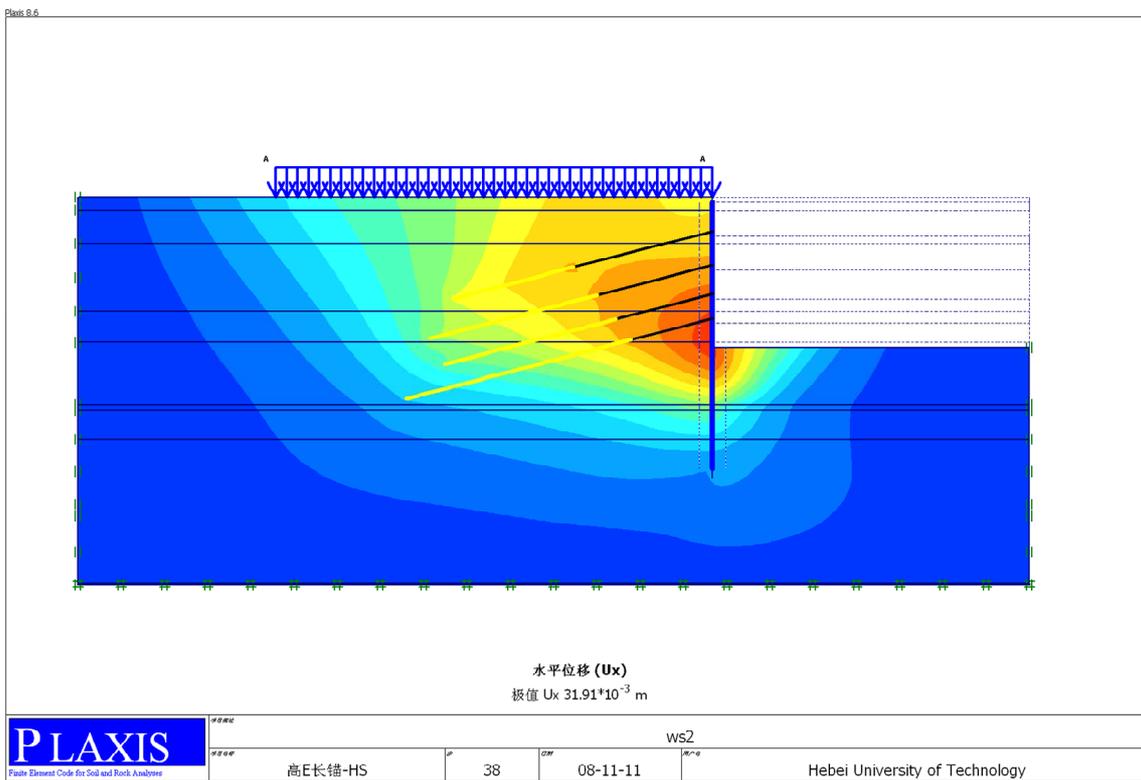


Figure 9. Condition ten: horizontal displacement profile  
 图 9. 工况 10: 水平位移分布云图

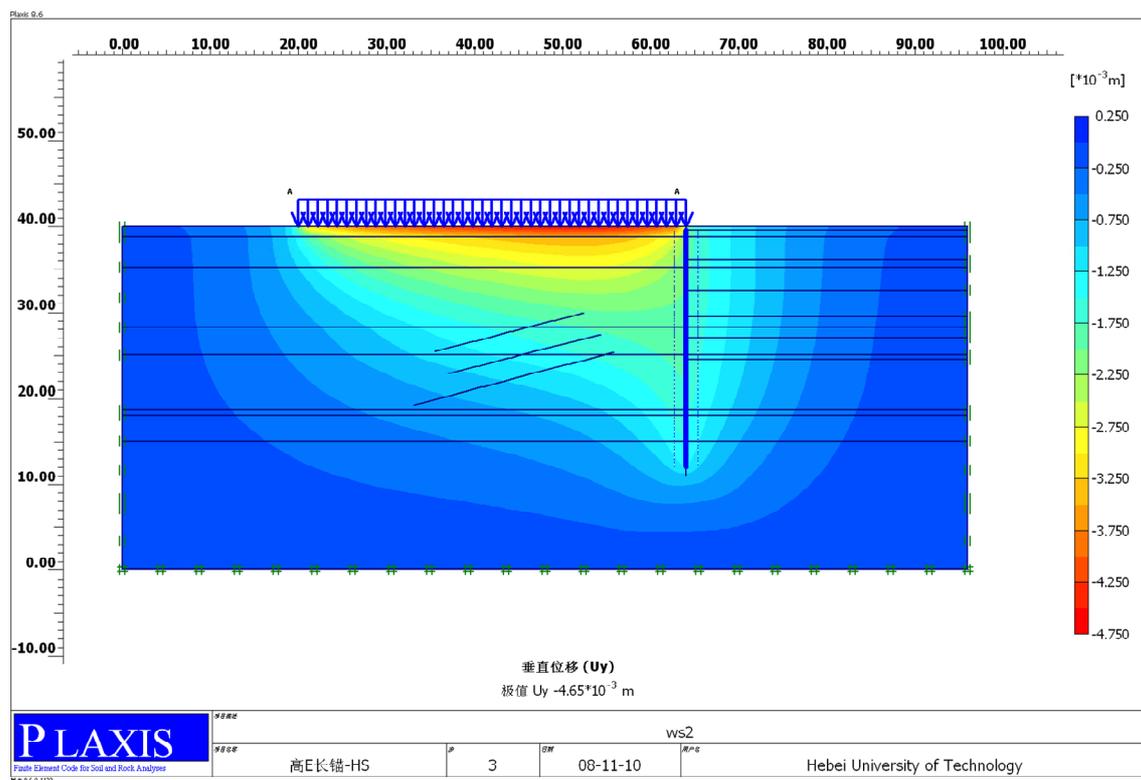


Figure 10. Condition one: vertical displacement profile  
 图 10. 工况 1: 竖向位移分布云图

基于 PLAXIS 有限元软件的深基坑支护分析

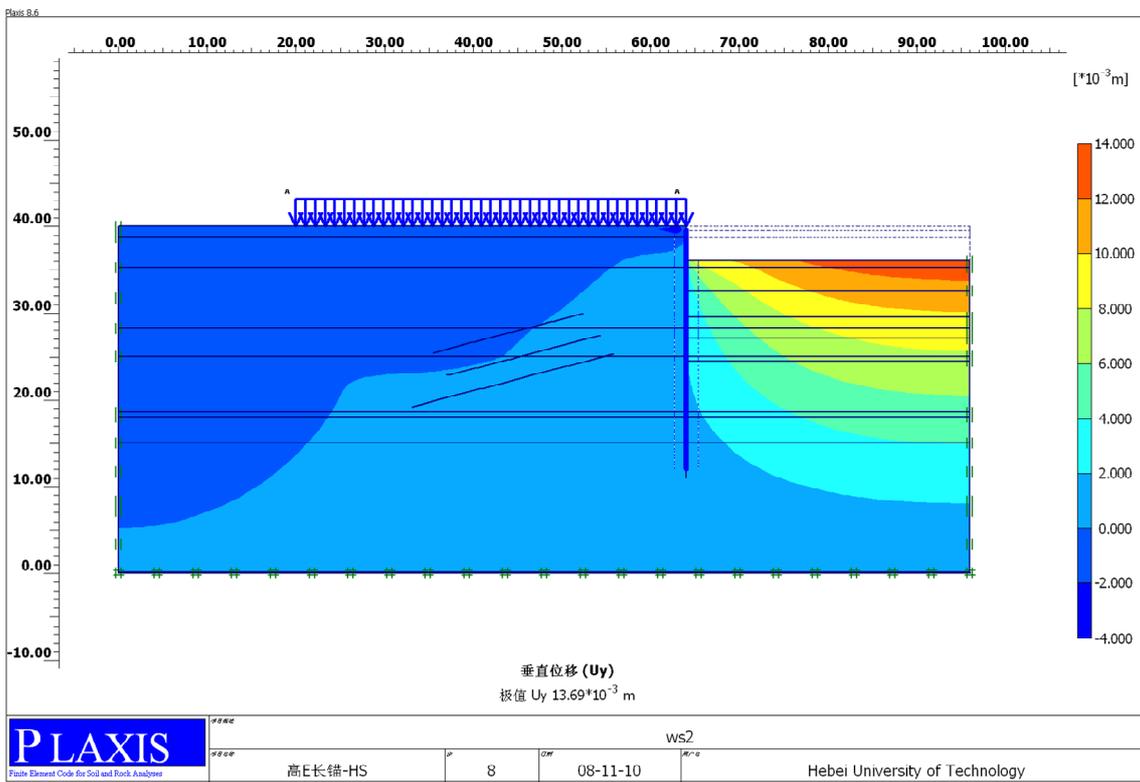


Figure 11. Condition two: vertical displacement profile  
图 11. 工况 2: 竖向位移分布云图

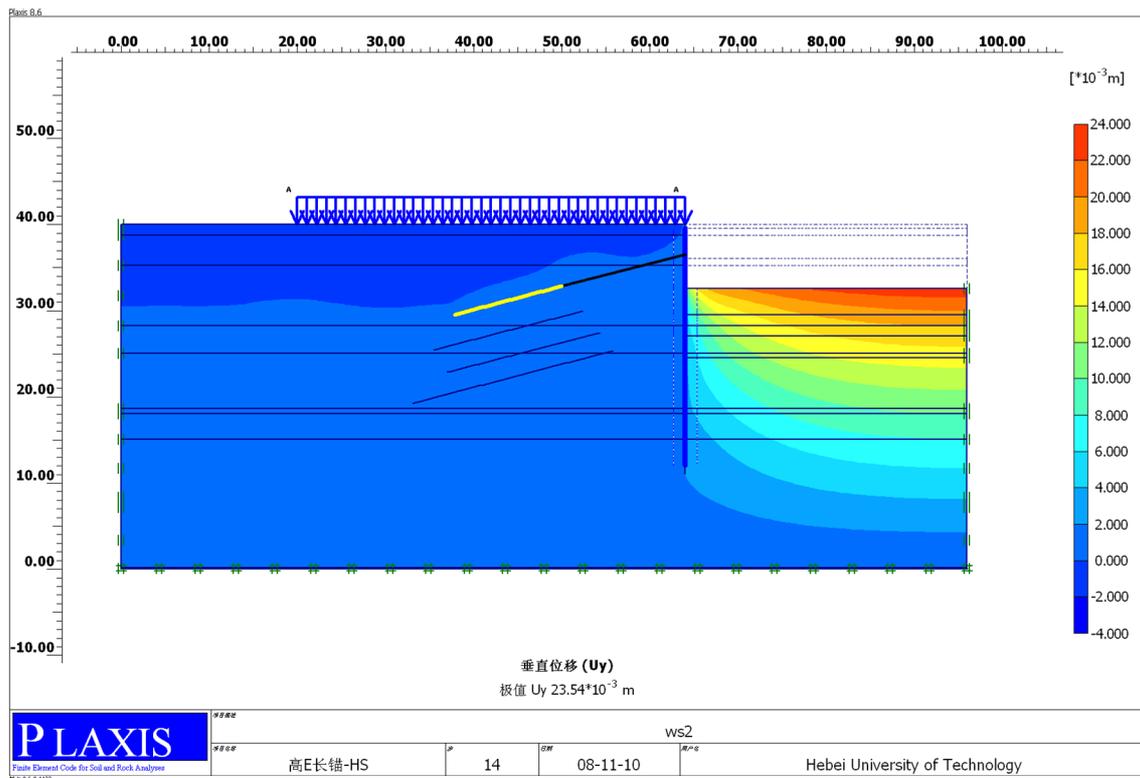


Figure 12. Condition four: vertical displacement profile  
图 12. 工况 4: 竖向位移分布云图

基于 PLAXIS 有限元软件的深基坑支护分析

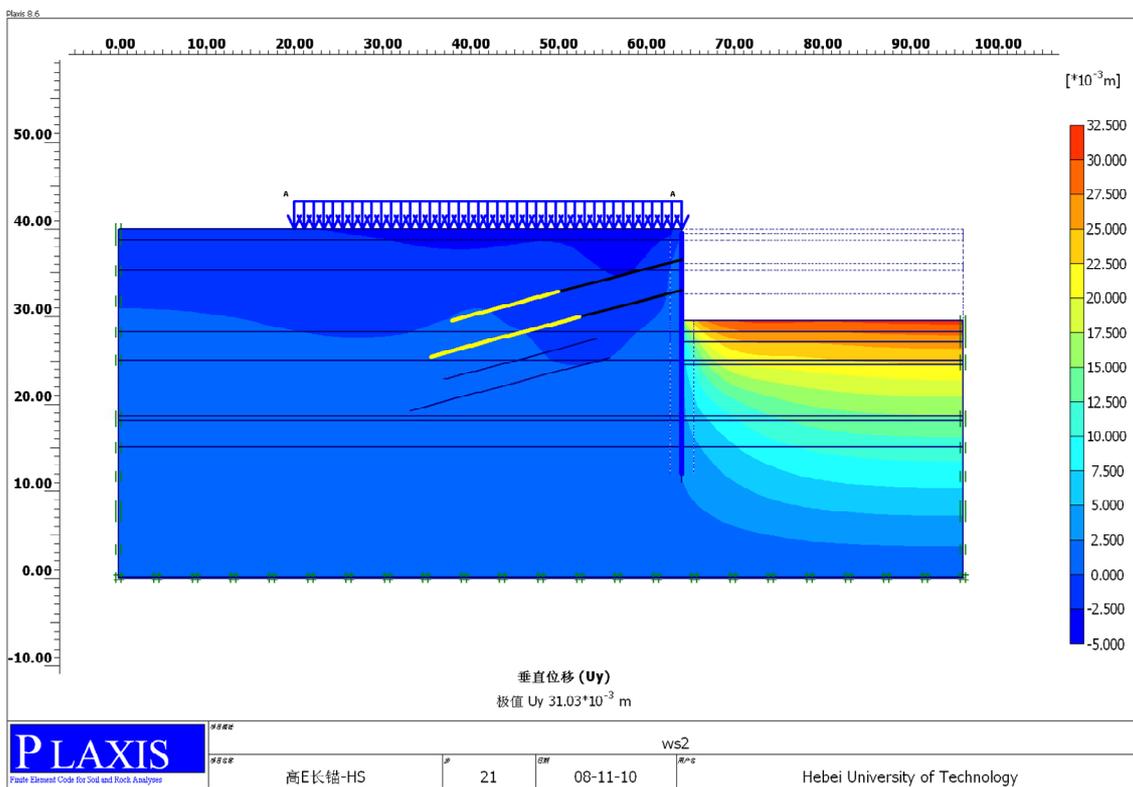


Figure 13. Condition six: vertical displacement profile  
图 13. 工况 6: 竖向位移分布云图

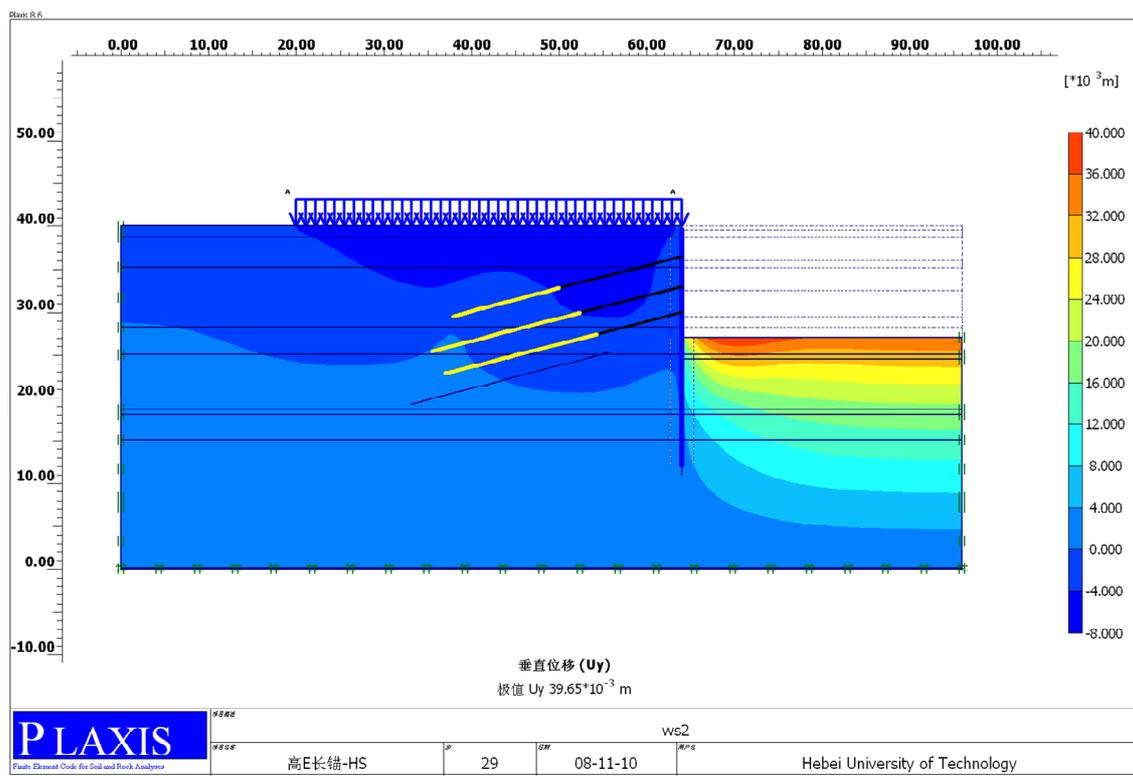


Figure 14. Condition eight: vertical displacement profile  
图 14. 工况 8: 竖向位移分布云图

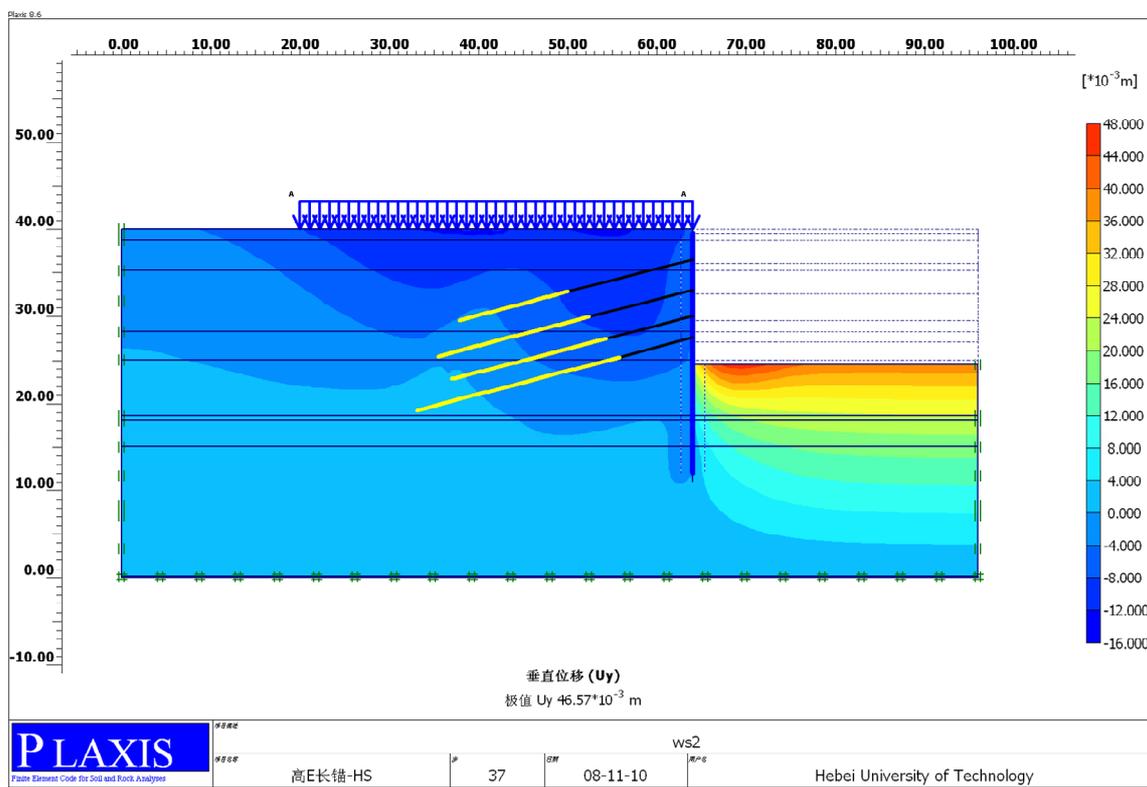


Figure 15. Condition ten: vertical displacement profile  
图 15. 工况 10: 竖向位移分布云图

3) 工况竖向位移云图。

4) 围护墙体变形。

围护墙体变形包括水平位移和竖向沉降两方面。

图 16 为基坑开挖过程中支护桩水平位移分布图，图 17 为桩顶竖向位移随模拟计算步数的变化图。

5) 坑底隆起。

基坑土方开挖后，等于地基卸载，土体中的压力减小了，土体的回弹效应和坑外土向坑内方向挤压，会使基坑底面产生一定的回弹变形(隆起)。图 18 是不同开挖阶段坑底土体的隆起曲线图，图 19 墙后地面沉降曲线。

#### 4. 讨论

通过上述试验分析可以发现，土体变形行为的复杂性 HS 模型能反映土的硬化特征、能区分加荷和卸荷的区别且其刚度依赖于应力历史和应力路径，能得到较 MC 模型更合理的变形，HS 模型的适用性优于 MC 模型。

由于非线性、非弹性是土体变形的突出特点，即使在加荷初始应力一应变关系接近直线的阶段，变形

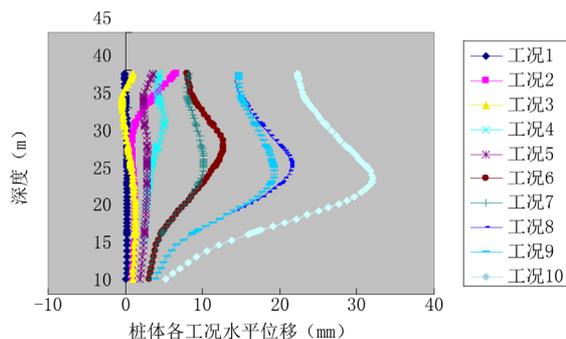


Figure 16. Distribution map of horizontal displacement of pile of each condition  
图 16. 桩体各工况水平位移分布图

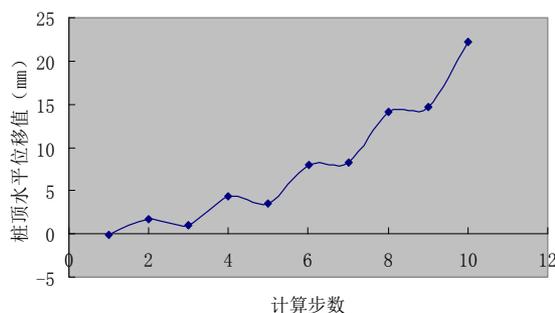


Figure 17. Distribution map of horizontal displacement of pile top  
图 17. 桩顶水平位移分布图

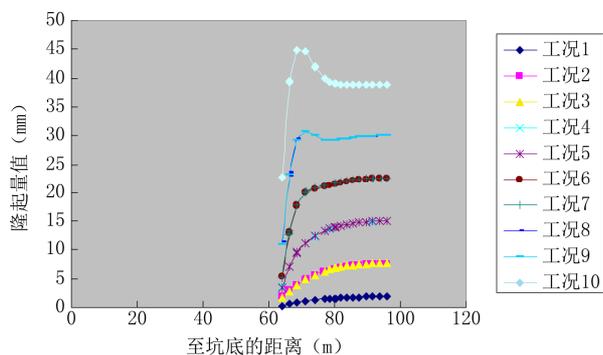


Figure 18. Distribution map of bottom heave  
图 18. 坑底隆起分布图

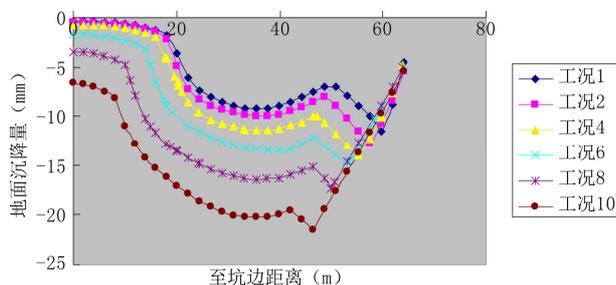


Figure 19. Curves of ground Settlement behind diaphragm wall  
图 19. 墙后地面沉降曲线

仍然包含弹性和塑性两部分，所以程序中输入的土体弹性模量为等效弹性模量这种做法是正确的，并且也印证了计算模型选取的正确性<sup>[7]</sup>。

## 5. 结论

通过上文的计算分析可以得出如下结论：

- 1) 由图 4~15 可知，有限元软件模拟土体变形与实际情况比较吻合。
- 2) 由图 16 可知：
  - ◇ 基坑的水平位移沿深度方向呈曲线分布，位移最大值发生的深度为 24 米左右，即基坑深度的中部靠下，且水平位移随深度的增加而逐渐减小；
  - ◇ 每开挖一步，在坑壁都有一定的水平位移增量，随开挖深度的增加，位移增量有逐渐增大的趋势。但当开挖到坑底时，由于其力学性质较好，位移增量又逐步减小。每步开挖形成的水平位移分布曲线形状相似；
  - ◇ 由图中的第 3、5、7、9 步可明显看出，水平位移值先增大后减小，这是由于锚杆预应力的施加改变了基坑的土压力状态，增强了基坑的稳定性，减小了基坑侧向位移。这说明预应力锚杆可以有

效地控制基坑的变形。

3) 由图 17 知：

- ◇ 桩顶竖向位移随着开挖深度的增加整体上呈逐渐增大的趋势；
- ◇ 每开挖一步，桩顶竖向位移都有一定的增量，但随着预应力作用的发挥，竖向位移略有减小。

4) 由图 18 可知：

- ◇ 坑底隆起量随开挖深度的增加而增大，到工况 10 时达到最大值 45.4 mm，此时开挖至坑底。
- ◇ 第 1、2、4、6 步开挖后坑底的隆起分布图形状相似，表现为弹性隆起，距坑边距离越小，隆起量越小，距坑边距离越大，隆起量越大，隆起量最大值发生在基坑中部。
- ◇ 第 8、10 步开挖后坑底的隆起分布图形状相似，表现为塑性隆起，距坑边距离越小，隆起量越大。
- ◇ 第 3、5、7、9 步为施加预应力锚杆的工况，对基坑隆起基本上不造成影响，故其隆起分布图形分别和第 2、4、6、8 步工况相重合。

5) 由图 19 可知：

- ◇ 地面沉降量最大值并非发生在基坑坑壁处，而是在离坑壁一定距离处这是由于墙底土体刚度较大时，墙体变位与梁相似，地表沉降量最大值不是在墙旁，而是在离墙一定距离的位置上。但计算出的沉降量最大值只有 21.5 mm，与水平位移最大值相比小很多，这是跟建模型时在桩与土体间设置的接触单元有关；
- ◇ 地面沉降量沿远离坑壁方向先增大后减小，再增大，又减小，最终趋于定值。这跟地面上相应的分布荷载的大小有关；
- ◇ 每开挖一步，在基坑顶面都有一定的沉降增量，每步开挖形成的沉降分布曲线形状相似。

6) 本文完整的介绍了利用 Plaxis 软件模拟基坑支护全过程受力分析，从参数选取到结果的分析，充分说明了利用此软件来分析深基坑模型的正确性。

## 参考文献 (References)

- [1] 孙均, 汪炳编. 地下结构有限元分析[M]. 上海: 同济大学出版社, 1988.
- [2] 易日. 使用 Ansys6.1 进行有限元分析[M]. 北京: 北京大学出版社, 2002.
- [3] 谭建国. 使用 Ansys6.0 进行有限元分析[M]. 北京: 北京大学出版社, 2002.

## 基于 PLAXIS 有限元软件的深基坑支护分析

- [4] 徐芝纶. 弹性力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1984.
- [5] 王勖成, 邵敏. 有限元基本原理和数值方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997.
- [6] YB9258-97, 建筑基坑工程技术规范[S]. 北京: 冶金工业部建筑研究总院, 1992.
- [7] GB50010-2002, 混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.