

岩土工程有限元分析软件

**PLAXIS 3D<sup>®</sup> 2016**

## 案例教程

复杂内支撑基坑开挖支护模拟



北京筑信达工程咨询有限公司  
北京市古城西街 19 号研发主楼 4 层, 100043

# 版 权

计算机程序 PLAXIS 及全部相关文档都是受专利法和版权法保护的产品。全球范围的所有权属于 Plaxis bv。如果没有 Plaxis 和北京筑信达工程咨询有限公司的预先书面许可，未经许可的程序使用或任何形式的文档复制一律禁止。

更多信息和此文档的副本可从以下获得：

北京筑信达工程咨询有限公司

北京市古城西街 19 号研发主楼 4 层 100043

电话：86-10-6892 4600

传真：86-10-6892 4600 - 8

电子邮件：support@cisec.cn

网址：www.cisec.cn

## 目录

1. 模型概况.....	1
2. 几何模型定义.....	2
2.1 模型边界.....	2
2.2 定义土层.....	2
2.3 定义结构单元.....	3
3. 网格划分.....	7
3.1 有限元网格加密.....	7
3.2 有限元网格自动划分和预览.....	7
4. 分步施工定义.....	8
5. 结果查看.....	10
5.1 基坑变形分析.....	10
5.2 支护结构变形及受力分析.....	11

## 1. 模型概况

随着城市化脚步的加剧，城市空间的高效利用变得越来突出，因此深基坑开挖工程也变得越来越重要。本案例介绍了地下连续墙、支撑用哪些结构单元模拟，基坑开挖过程如何在软件中一步步实现，通过对本案例的学习，读者可以掌握基坑分步开挖施工过程在 PLAXIS 3D 中的模拟方法。

本例中基坑长度为 131.450m，宽度为 59.472m。地基土层由上而下为杂填土、黏土 1、粉砂、黏土 2、粉土，厚度分别为 3m、6m、7m、12m、22m，地下水位在地面以下 9m 处。基坑围护结构采用地下连续墙，基坑中间布置两排对撑支护，角点处布置角撑，支撑结构共三层，每间隔 4m 布置一层。基坑俯视图如图 1 所示，开挖分 3 次进行，每次开挖 4m，冠梁、腰梁、支撑均用梁单元模拟，地下连续墙用板单元模拟，支护结构如图 2 所示。

提示：学习本案例教程之前，需要读者已经掌握 PLAXIS 软件的基本操作。

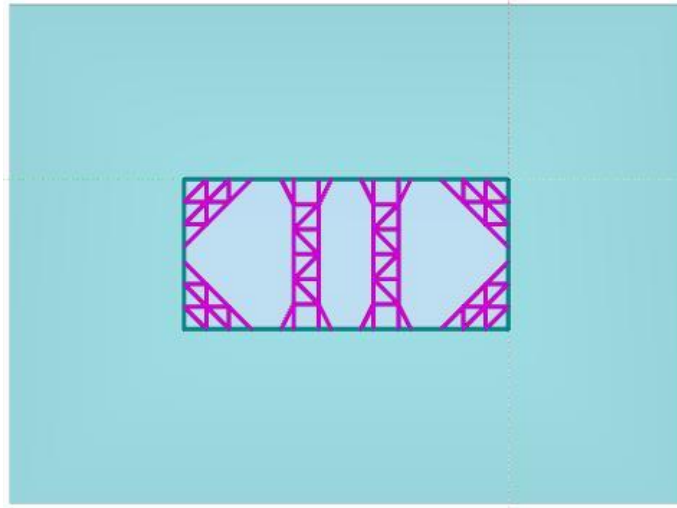


图 1 基坑俯视图

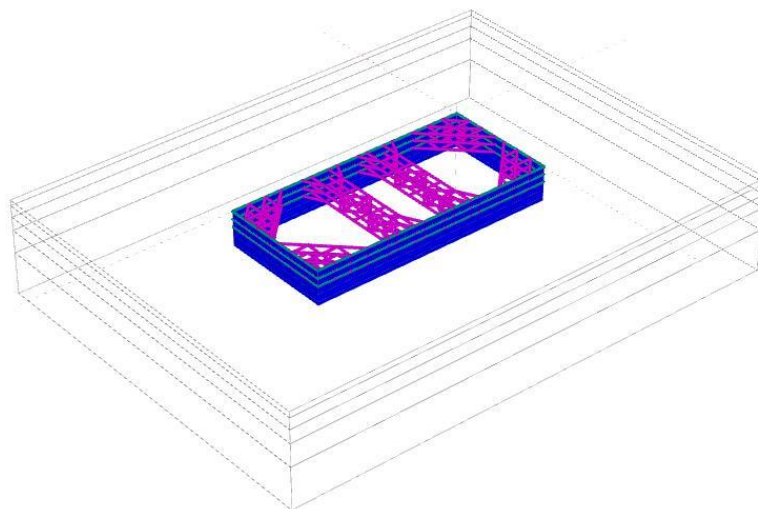


图 2 基坑支护结构

## 2. 几何模型定义

### 2.1 模型边界

在项目属性窗口>>模型标签>>模型边界中定义 X 和 Y 方向的边界,  $X_{min}=-70$ ,  $X_{max}=130$ ;  $Y_{min}=-200$ ,  $Y_{max}=70$ 。

### 2.2 定义土层

- 在  $x=0$ ,  $y=0$  的位置处创建钻孔, 如图 3 在修改土层对话框中定义水头高度  $h=-9$ 。添加五层土层并创建土层材料, 土层分布情况见表 1, 土层材料属性见表 2。

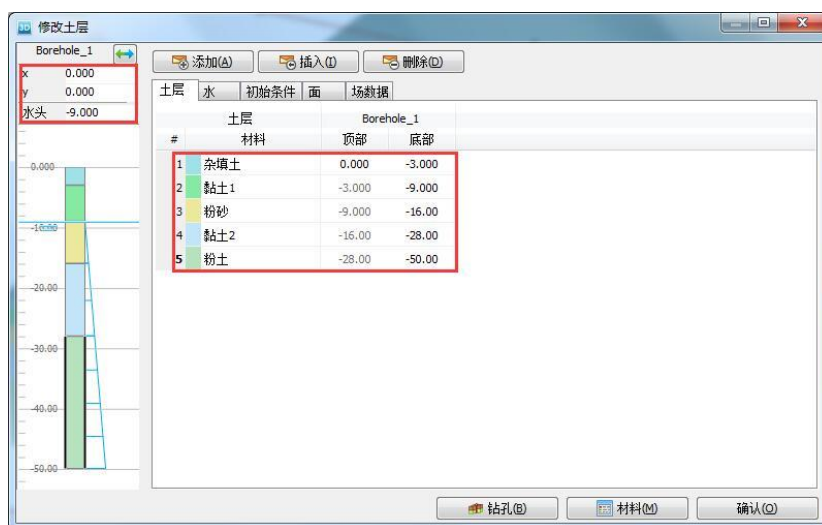


图 3 定义地层钻孔

表 1 土层分布

杂填土	0	-3
黏土 1	-3	-9
粉砂	-9	-16
黏土 2	-16	-28
粉土	-28	-50

表 2 土层材料参数

土类	杂填土	黏土 1	粉砂	黏土 2	粉土	单位
本构模型	HSS	HSS	HSS	HSS	HSS	-
排水类型	排水	排水	排水	排水	排水	-
天然/饱和重度	18.3	19.3	18.8	20.1	18.9	$\text{kN/m}^3$
$E_{50,ref}$	5000	7300	9300	8900	4800	kPa
$E_{oed,ref}$	5000	7300	9300	8900	4800	kPa
$E_{ur,ref}$	20000	20000	27900	26700	19200	kPa
粘聚力	10	32	3	24	13	kPa
内摩擦角	28	22.2	39.8	15.6	23.9	°

剪胀角	0	0	0	0	0	°
$G_{0,ref}$	60000	80000	150000	120000	100000	kPa
$\gamma_{0.7}$	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	-
界面折减	0.75	0.75	1	1	1	-
渗透系数 $k_x=k_y$	0.43	0.001	0.5	0.001	0.001	m/day

### 2.3 定义结构单元

基坑围护结构冠梁、腰梁、支撑用梁模拟，地下连续墙用板模拟，材料参数见表 3、表 4。


表 3 内支撑系统材料参数

参数	冠梁/腰梁	内支撑	单位
面积 A	0.48	0.36	$m^2$
重度	0	0	$kN/m^3$
E	30	30	Gpa
I3	0.026	0.011	$m^4$
I2	0.014	0.011	$m^4$

表 4 地下连续墙材料参数

参数	衬砌	侧壁墙	单位
厚度 d	0.2	0.0227	m
重度 $\gamma$	22	22	$kN/m^3$
材料属性	线性、各项同性	线性、各项同性	--
杨氏模量 E	21e6	21e6	$kN/m^2$
泊松比 $\nu$	0.2	0.2	--

本案例基坑支护结构采用从 CAD 文件导入的方式建模。通过该操作可以导入代表第一排支撑结构的线，选择这些线用创建梁命令可以创建梁单元，对创建的梁单元分别赋予不同的材料参数即可模拟冠梁、腰梁、内支撑。在创建完第一排支撑结构后通过阵列命令可以创建第二排、第三排支撑。具体操作方法如下：

- 在结构模型下，点击导入结构 ，如图 4 所示，弹出打开结构窗口。找到代表支撑文件的 CAD 图形文件路径，点击打开，弹出如图 5 所示导入结构窗口。在对象类型栏仅勾选多段线，点击确定，导入成功后的模型如图 6 所示。

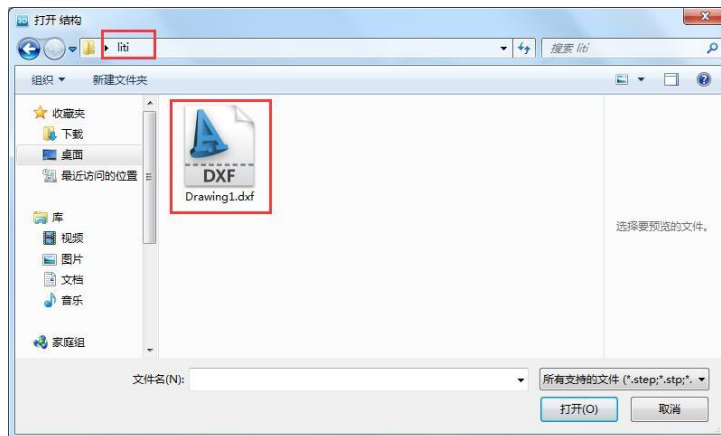


图 4 查找文件路径

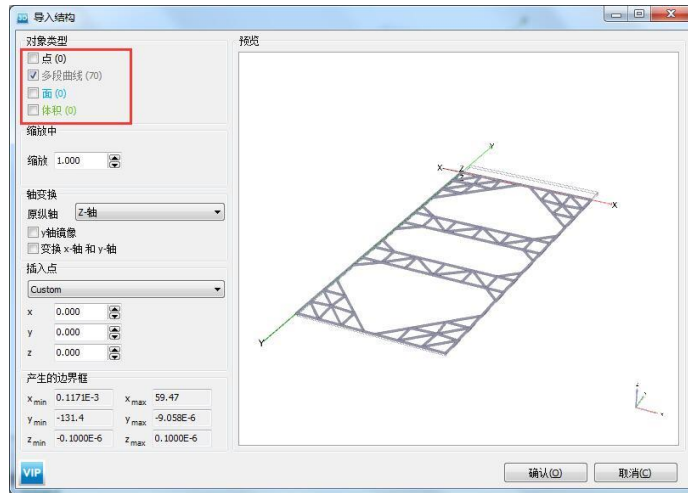


图 5 内支撑导入窗口

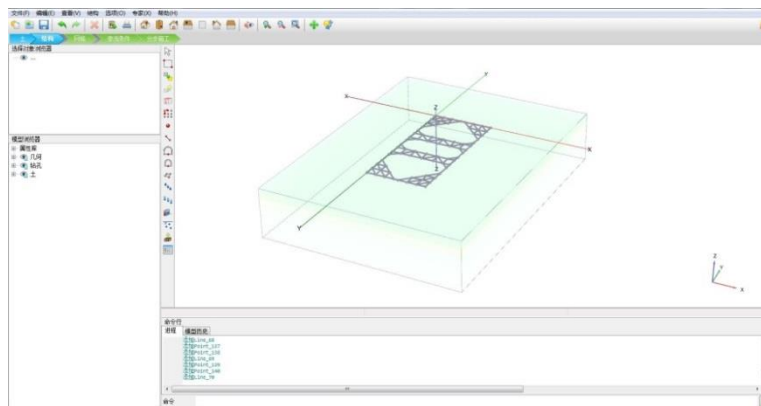


图 6 导入的内支撑几何模型

注意：

- 1) 本案例采用的 CAD 文件可以通过百度网盘下载，链接为：<http://pan.baidu.com/s/1bpMoTQJ>
  - 2) 导入过程详细操作步骤参考筑信达官网知识库文章“[点与线对象导入 PLAXIS 3D 模型的方法](#)”。
- 选中代表冠梁的四条线，右键选择创建梁，并在选择浏览器中赋以冠梁/腰梁的材料参数。
  - 选中其他的线，点击右键选择创建梁，在选择浏览器赋以内支撑的材料参数。第一排支撑创建完成后如图 7 所示。

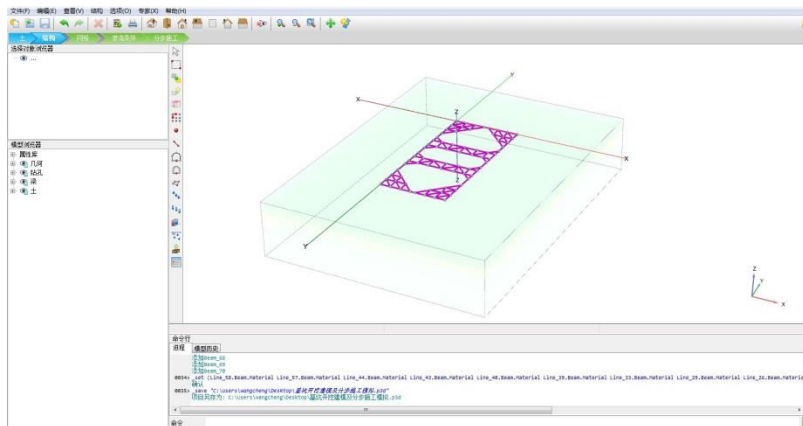



图 7 创建完成的第一排支撑

- 通过阵列工具创建第二排、第三排支撑。选中第一排支撑，点击阵列工具 ，弹出创建阵列窗口，如图 8，选择阵列方向为 z 方向，数量 3，间距-4。

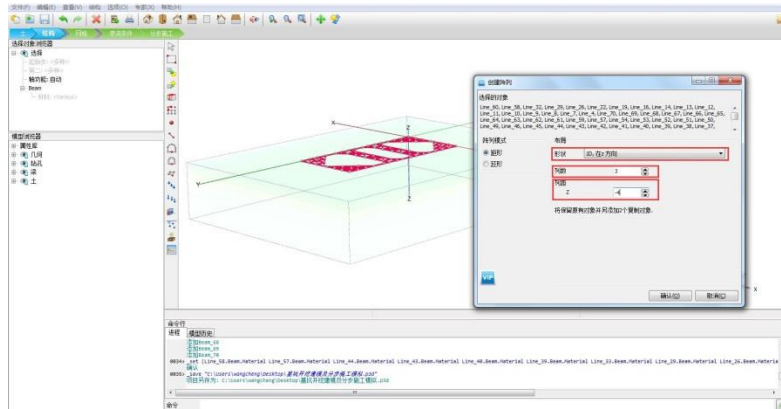


图 8 通过阵列工具创建多层支撑

- 通过拉伸工具生成地连墙。选中第一排支撑的冠梁，点击拉伸工具，弹出拉伸窗口，如图 9 所示设置拉伸矢量  $z=-18$ 。右击拉伸的面创建板、创建正向界面、创建负向界面，在选择浏览器中赋以地连墙的材料参数。地连墙创建完成后如图 10 所示。

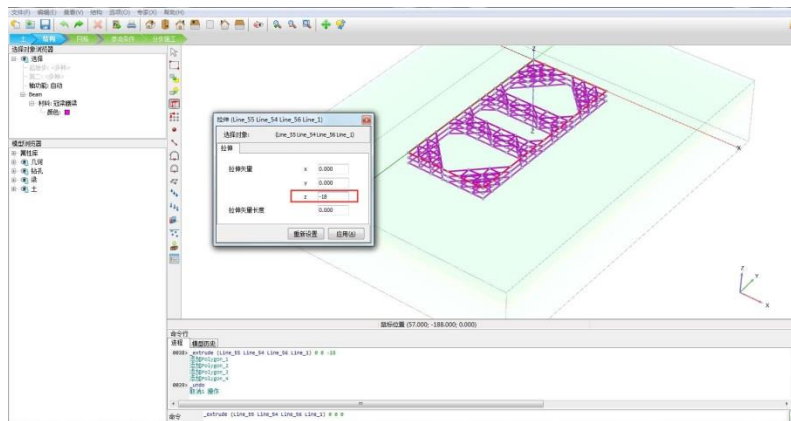


图 9 通过拉伸工具创建地连墙

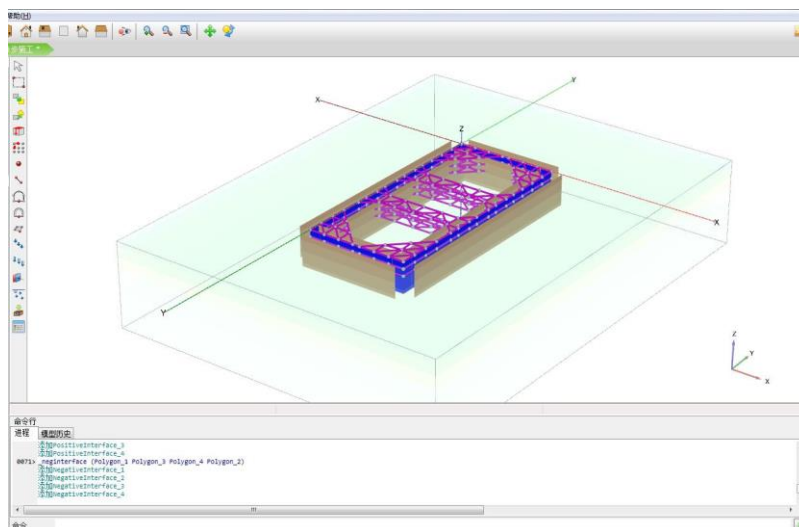


图 10 创建完成后的地下连续墙


- 选择合适视角，同时选中第一排所有梁单元，右键选择组，在**模型浏览器>>**组中，重新



命名为“第一排支撑”，按照同样的方法分别给第二排、第三排支撑创建组并命名为“第二排支撑”、“第三排支撑”。定义完成后如图 11 所示。



图 11 为支撑建立组

- 通过图形交互在-4m、-8m、-12m 深度处定义基坑开挖面。点击创建面 ，利用 Tab 键捕捉基坑角点，如图 12 创建 z=0 位置的面；选中该面点击阵列工具，如图 13 选择阵列方向为 z 方向，数量 3，间距-4。

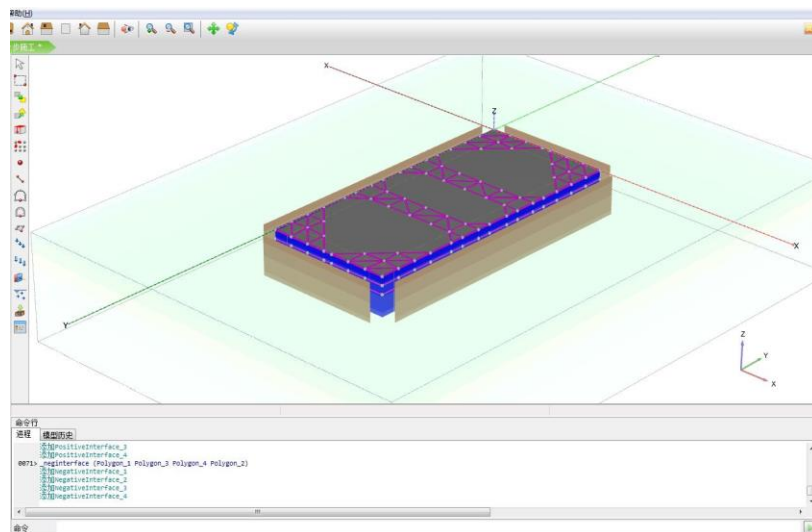


图 12 创建 z=0 处开挖面



图 13 通过阵列工具创建开挖面

### 3. 网格划分

切换到网格模式，进行有限元网格划分。

#### 3.1 有限元网格加密

- 如图 14 所示，程序已自动将结构单元网格进行加密，以绿色显示，其余部分未加密，以灰色显示。

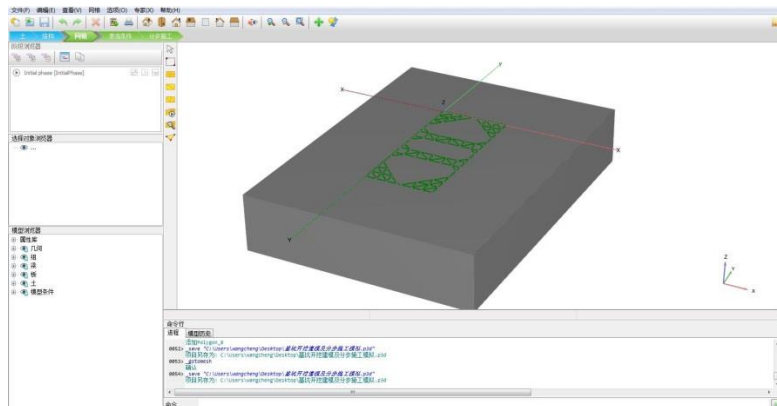




图 14 网格加密

#### 3.2 有限元网格自动划分和预览

- 点击  **创建网格**，设置单元分布(Element distribution)为**粗**。点击确认，程序自动划分网格。
- 点击  **预览**生成的网格，图 15 为生成的网格。
- 单击**关闭**按钮，关闭输出窗口。

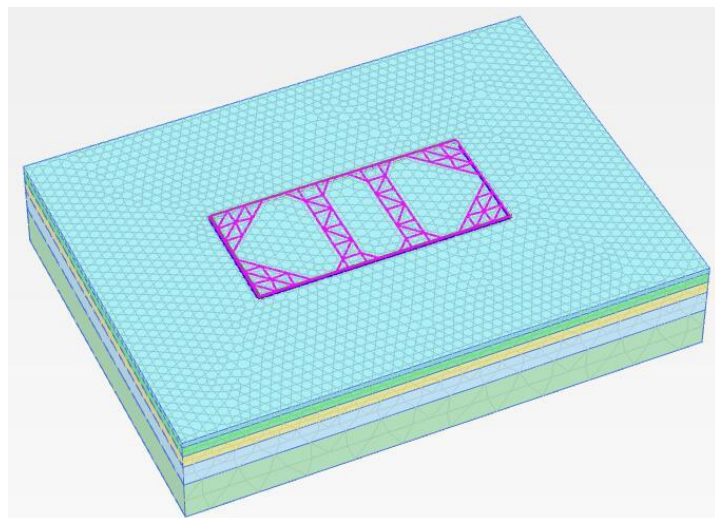


图 15 生成的网格

## 4. 分步施工定义

根据实际工程施工顺序，首先施工地下连续墙。在地下连续墙的支护下基坑开挖分三步进行，每次开挖前先施工支撑，再开挖基坑，开挖深度均为 4m。开挖过程定义如下：


- 初始阶段（initial phase）：采用默认设置，生成初始应力场。
- 地连墙施工（phase1）：在阶段浏览器点击添加阶段 ，双击 phase1 在阶段窗口将 ID 改为地连墙施工，采用默认设置；如图 16，在模型浏览器激活板和界面。



图 16 地连墙施工

- 第一排支撑（phase2）：施工冠梁和第一排内支撑。添加阶段，双击 phase2 在阶段窗口将 ID 改为第一排支撑，采用默认设置；如图 17，在模型浏览器>>组中激活第一排支撑。

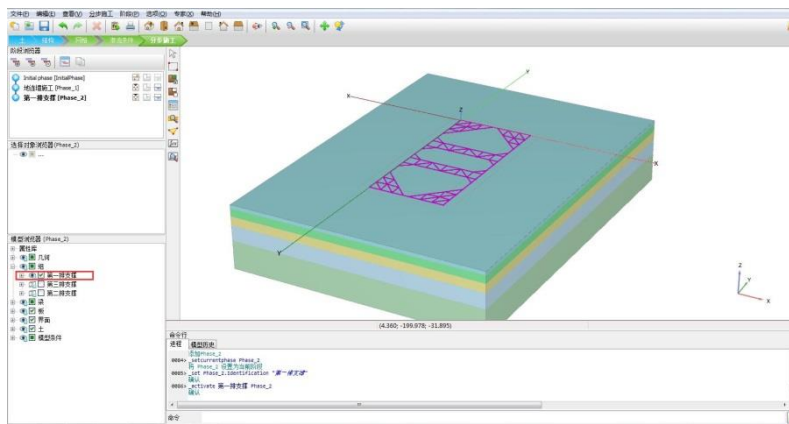


图 17 施工第一排支撑

- 开挖第一层土体（phase3）：开挖基坑内 0m 至-4m 范围土体。添加阶段，将阶段重命名为开挖第一层土体，采用默认设置；如图 18，选中基坑内第一层土体，在选择浏览器冻结该土体，再次选择基坑内土体，用同样方法冻结该土体，此时基坑开挖至-4m 深度处。

注意：第一层土体厚度为 3m，所以只冻结基坑内第一层土体并未开挖至-4m 深度处。

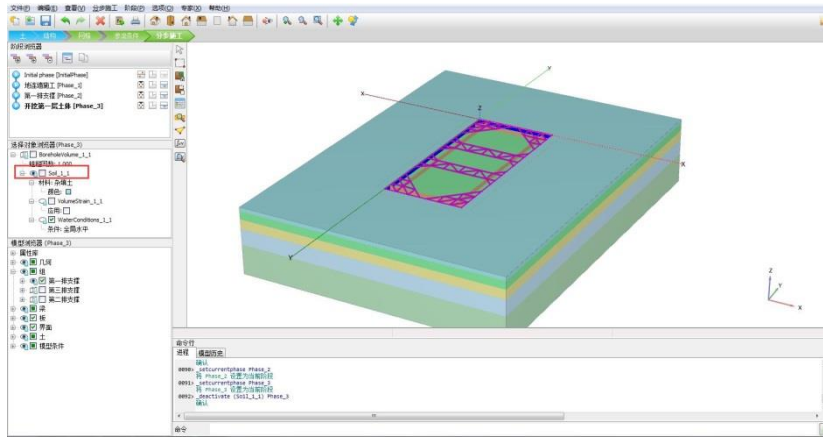


图 18 开挖第一层土体

- 第二排支撑 (phase4): 施工腰梁和第二排内支撑。添加阶段, 双击 phase4 在阶段窗口将 ID 改为第二排支撑, 采用默认设置; 与 phase2 操作类似, 在**模型浏览器>>组**中激活第二排支撑。
- 开挖第二层土体 (phase5): 开挖基坑内-4m 至-8m 范围土体。添加阶段, 将阶段重命名为开挖第二层土体, 采用默认设置; 与 phase3 操作类似, 选中基坑内土体, 在选择浏览器冻结该土体, 此步开挖土体厚度为 4m。
- 第三排支撑 (phase6): 施工腰梁和第三排内支撑。添加阶段, 双击 phase6 在阶段窗口将 ID 改为第三排支撑, 采用默认设置; 在**模型浏览器>>组**中激活第三排支撑。
- 开挖第三层土体 (phase7): 开挖基坑内-8m 至-12m 范围土体。由于地下水位位于地表以下 9m 深度处, 此步开挖首先需将基坑内水头降至基坑底部, 而降水会导致地下水渗流。为了模拟这个过程, 需要完成以下操作。添加阶段, 将阶段重命名为开挖第三层土体, 将孔压计算类型改为稳态地下水渗流, 其他参数采用默认设置; 选中基坑内土体, 在选择浏览器冻结该土体, 并将水力条件设置为干; 如图 19, 选中基坑底部土体, 将水力条件改为水头,  $z_{ref}=-12m$ 。定义完成后模型如图 20 所示。



图 19 设置坑底水头

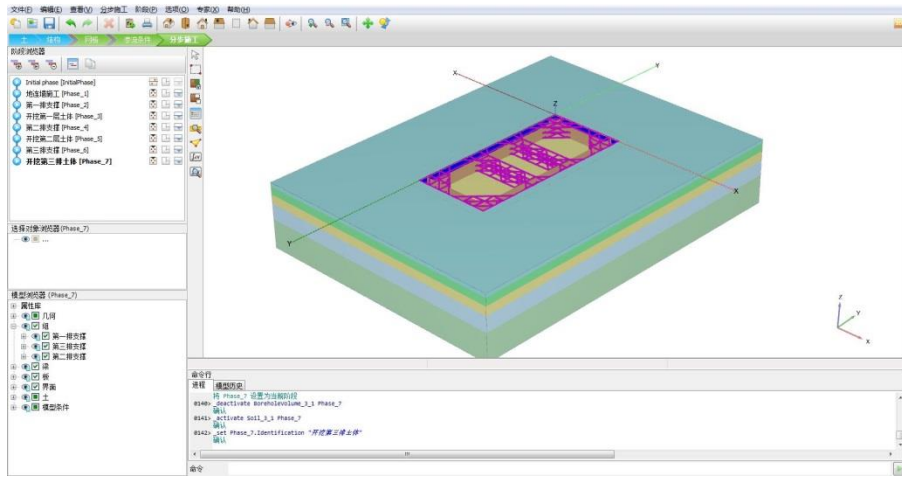



图 20 开挖完成的基坑模型

## 5. 结果查看

点击查看结果 ，弹出输出程序窗口。

### 5.1 基坑变形分析

通过查看变形可以分析基坑开挖对基坑周边和基坑内部土体位移的影响。


- 点击菜单栏 **变形»总位移**，可以查看基坑开挖后周边土体和基坑底部的变形。
- 点击左侧工具栏垂直剖面 ，按住 **shift** 键，通过鼠标左键画一条水平直线，该水平线将基坑切出一个剖面。

图 21 为基坑开挖后周边土体及坑底变形云图，图 22 为通过基坑的某剖面变形矢量图。从图中可以看出基坑侧壁土体有向基坑内部移动趋势，坑底有隆起现象。

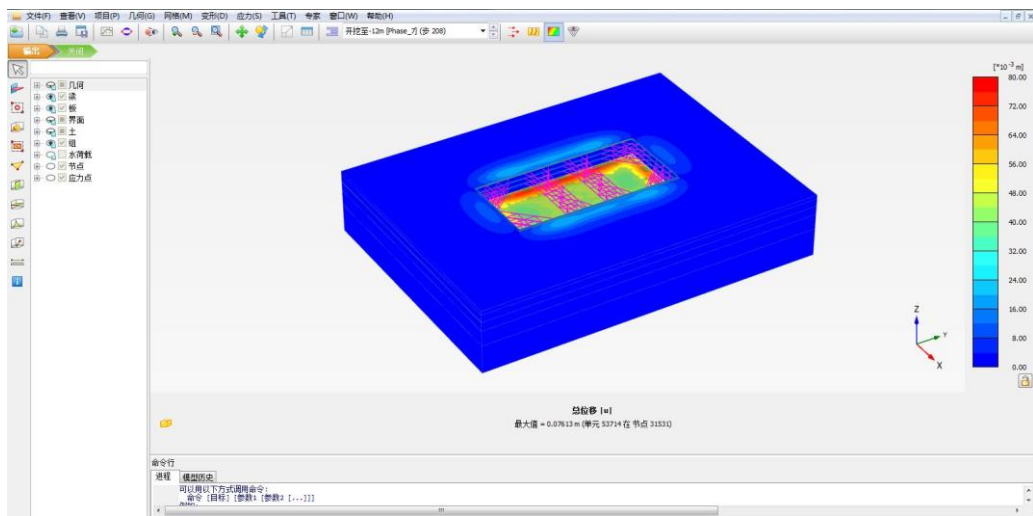


图 21 基坑开挖至-12m 时土体变形

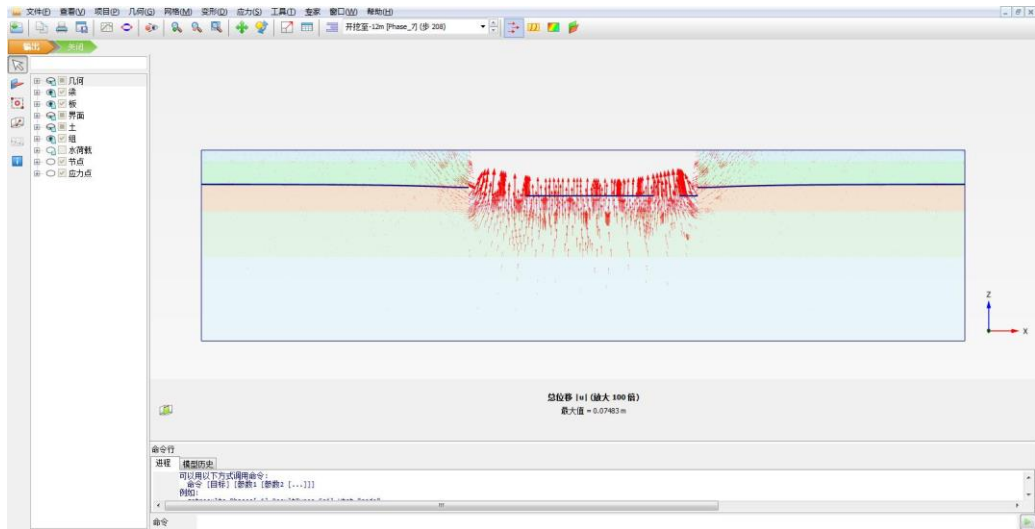


图 22 某断面基坑土体变形矢量图

## 5.2 支护结构变形及受力分析


- 点击左侧工具栏拖拽窗口选择结构工具 ，如图 25，通过按住鼠标左键绘制选择区域，在弹出选择结构窗口中选择板，点击视图，可以查看地下连续墙的位移。

图 26 为地下连续墙位移云图，地下连续墙变形指向向基坑内部，且中间位置变形量大于顶部和底部。

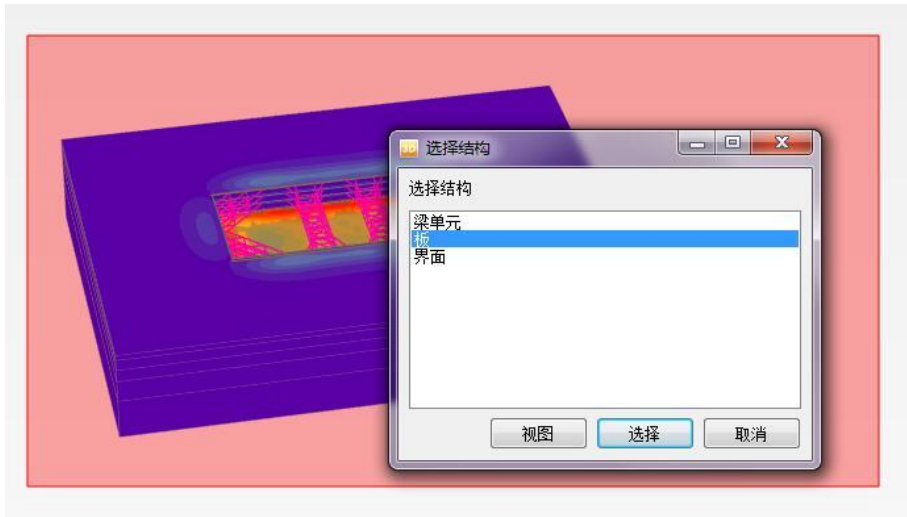


图 23 选择结构

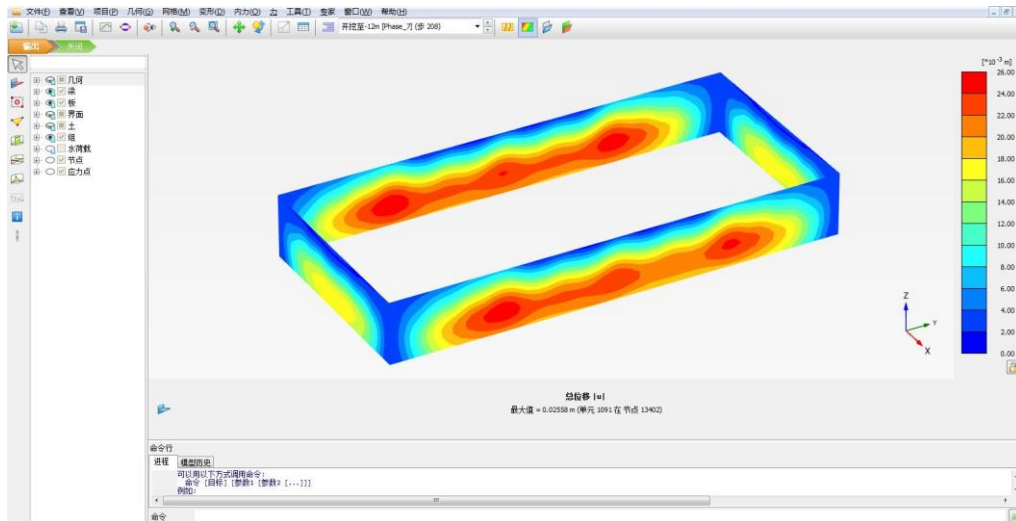


图 24 地下连续墙位移

- 点击菜单栏 **力** 菜单，可以查看轴力、剪力、弯矩。  
图 25-27 分别为地下连续墙轴力、剪力、竖向弯矩云图。

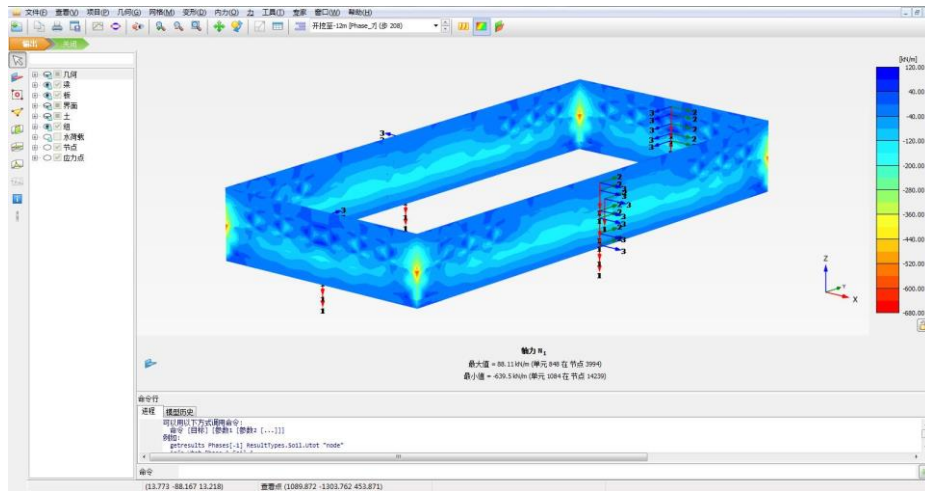


图 25 地下连续墙轴力 N1 云图

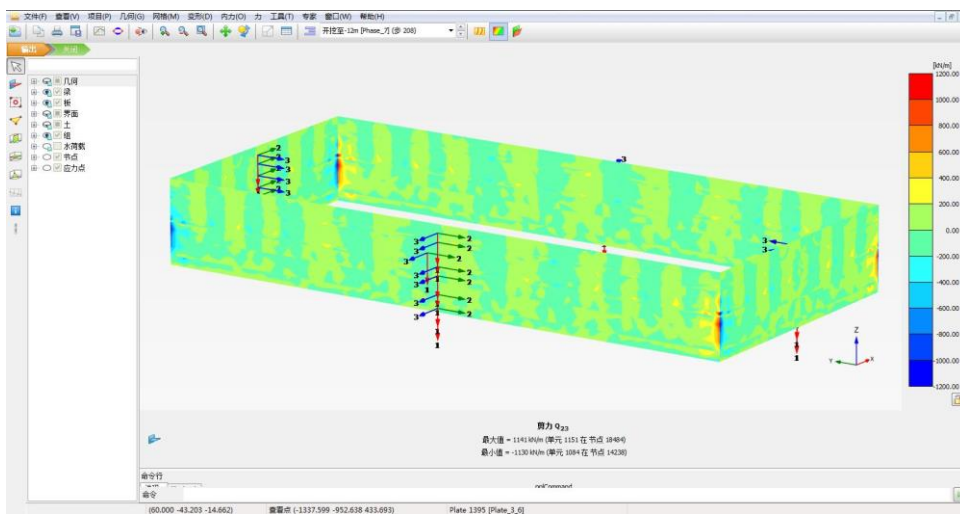


图 26 地下连续墙剪力 Q23 云图

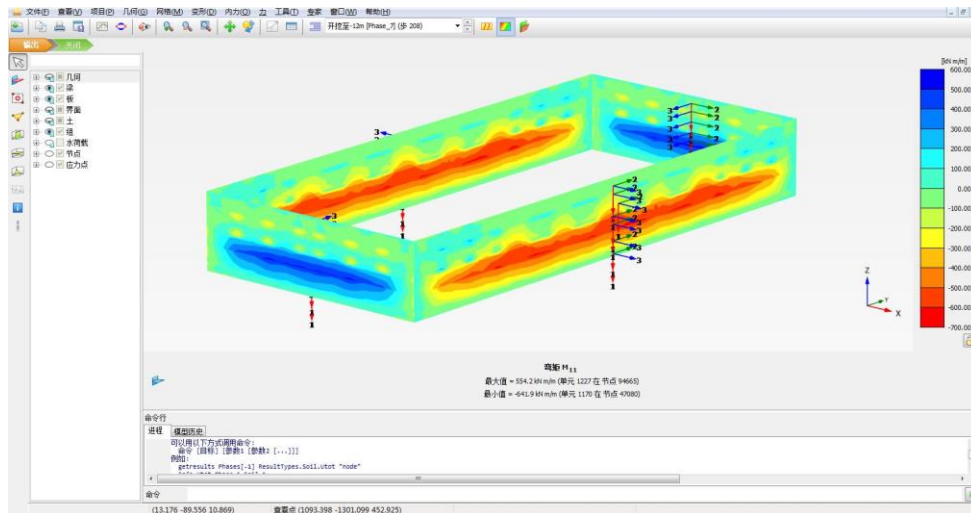


图 27 地下连续墙弯矩 M11 云图

- 为了方便查找支撑结构，隐藏土体、界面、板，点击左侧工具栏拖拽窗口选择结构工具



，通过按住鼠标左键绘制选择区域，只选择表示第一层支撑结构单元，在弹出选择结构窗口中选择梁单元，点击视图，可以查看支撑的位移。

图 28 为放大 200 倍后的第一层支撑变形，可以单出第一层支撑有向上的位移，支撑中间位置位移量最大。其他两层支撑变形查看方法与第一层支撑变形类似，读者可以自行练习。

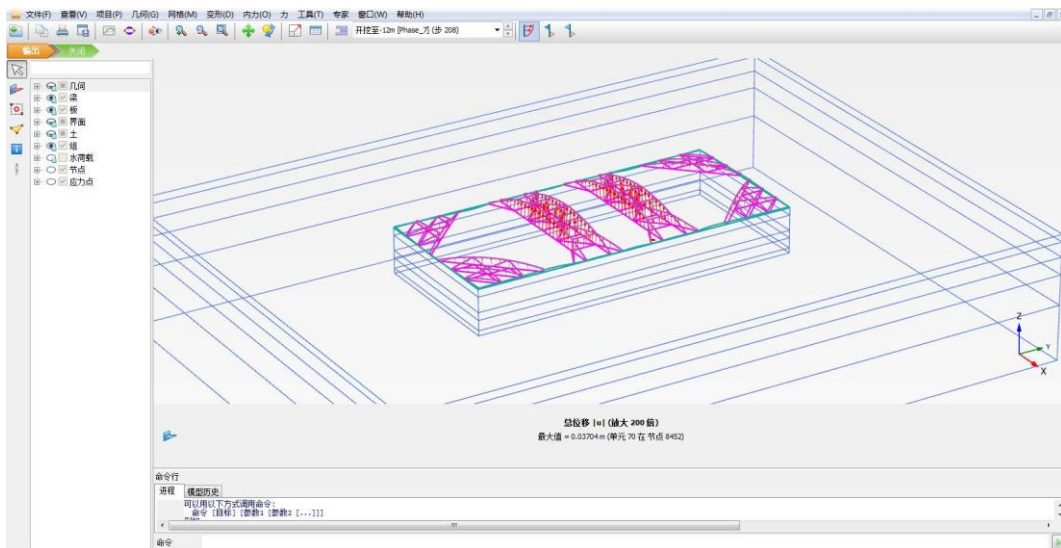


图 28 第一层支撑变形

- 点击菜单栏 **力** 菜单，可以查看支撑轴力、剪力、弯矩。仅以第一层支撑的轴力、剪力、弯矩进行介绍，读者可以自行练习查看其它两层支撑分析结果。

图 29 为第一层支撑轴力分布图，可以看出支撑结构轴力最大值为 704kN。图 30 为第一层支撑结构弯矩 M2 分布图，弯矩最大值为 27.89kNm。



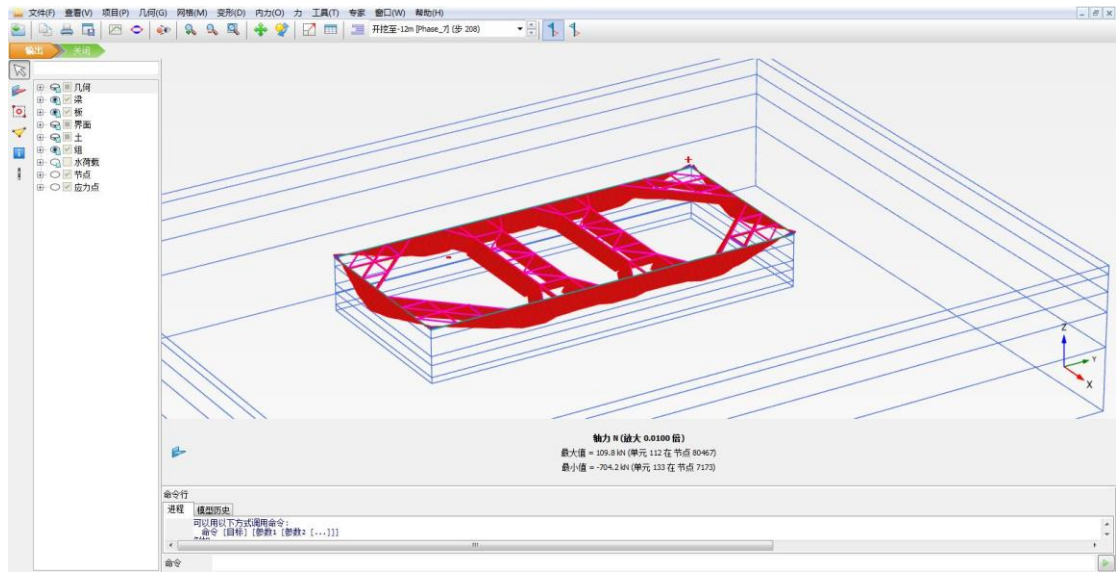


图 29 第一层支撑轴力分布图

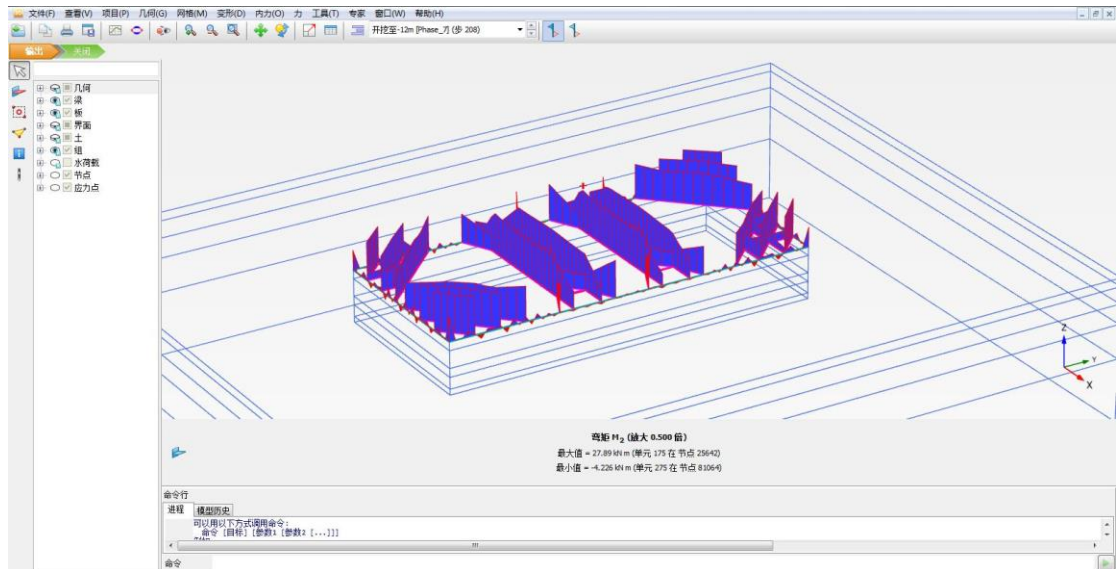


图 30 第一层支撑弯矩 M2 分布图

本教程到此结束