

岩土工程有限元分析软件

PLAXIS 2D AE[®]

案例教程

基坑开挖对邻近隧道的影响分析



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

北京筑信达工程咨询有限公司版权所有©, 2013.

目录

基坑开挖对邻近隧道的影响分析.....	1
工程概况.....	2
几何模型创建.....	3
1.1 项目属性.....	3
1.2 土层定义.....	3
1.3 结构单元定义.....	6
有限元网格划分.....	11
2.1 有限元网格加密.....	11
2.2 有限元网格自动划分和预览.....	11
计算阶段定义.....	13
3.1 初始阶段.....	13
3.2 隧道开挖.....	13
3.3 地连墙施工.....	14
3.4 第一层开挖.....	15
3.5 第二层开挖.....	15
3.6 第三层开挖.....	15
查看计算结果.....	17
4.1 地层变形.....	17
4.2 结构变形及内力.....	18

基坑开挖对邻近隧道的影响分析

随着城市地铁和高层建筑的兴建,建筑基坑工程与地铁隧道工程之间的相互影响问题日渐突出。特别是在二者之间距离较近的情况下,在既有隧道附近开挖基坑,势必会造成隧道的一定变位,而运营时期的地铁隧道对位移比较敏感,一般有较高的控制要求,反之亦然。

通过对建模、分析、后处理过程的详细说明,指导读者在 PLAXIS 2D 中分析基坑开挖对邻近隧道的影响,从中了解软件在隧道建模(隧道设计器)、盾构隧道施工(如土层损失)、基坑支护结构(地连墙、内支撑等)、基坑分步开挖、基坑降水、计算结果分析等方面的实现方法。

本案例教程的分析模型如图 1 所示。

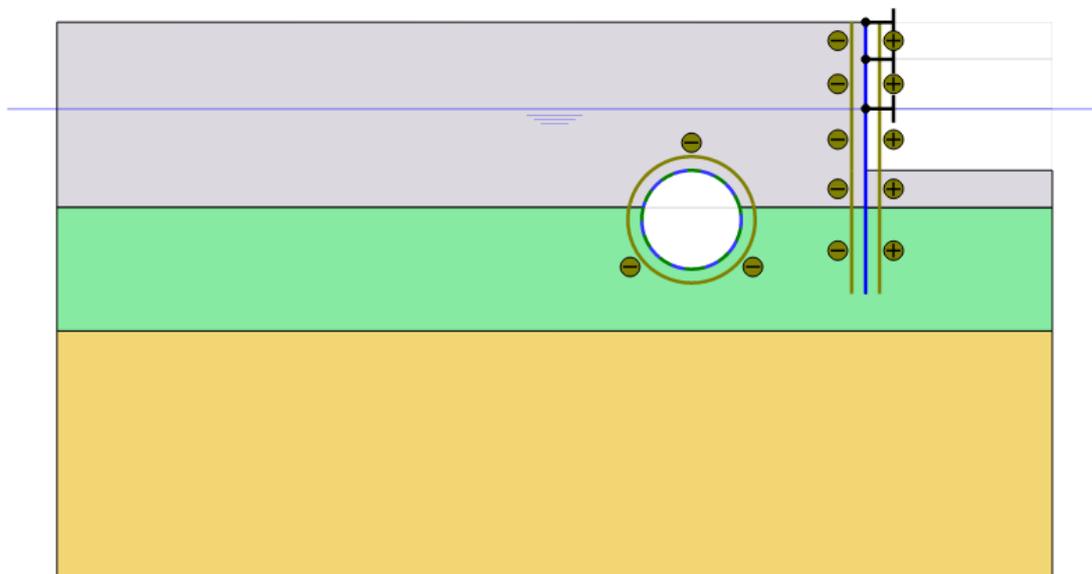


图 1 基坑开挖对邻近隧道影响的分析模型

工程概况

本工程所分析的基坑位于既有隧道附近，二者净距约 10m。工程各部分的情况如下：

1. 既有隧道
 - 埋深 16m（隧道中心位置）。
 - 直径 8m。
 - 盾构法施工，管片厚度 350mm。
2. 建筑基坑
 - 总宽度 30m，总开挖深度 12m。
 - 分三层开挖，各层开挖深度分别为 3m，4m，5m。
 - 支护结构：钢筋混凝土地连墙+内支撑，墙厚 1000mm，墙深 22m，设置 3 层内支撑，间距 5m。
3. 地层结构
 - 地基土层主要有 3 层，地下水埋深 7m。
 - 粉质粘土，厚 15m。
 - 粘土，厚 10m。
 - 砂土，厚度大，模型中取 20m 厚。

由于工程模型具有对称性，本教程取模型的一半进行分析，见图 1。

几何模型创建

按照如下步骤创建几何模型：

1.1 项目属性

1. 根据基坑、隧道的几何尺寸及位置关系，确定分析模型的边界条件（范围）。
2. 本案例取模型边界范围为： $x_{min}=-80, x_{max}=0, y_{min}=-45, y_{max}=0$ 。



图 1.1 项目属性—模型边界范围

1.2 土层定义

在“土层模式”中通过添加钻孔、定义钻孔柱状、赋予土层材料属性等步骤完成模型土层的创建。本案例中所有土层按水平、均匀分布考虑，故只需定义一个钻孔即可。

1. 用创建钻孔工具  在点(0,0)处单击创建一个钻孔。这时修改土层(*Modify soil layers*)窗口自动弹出。
2. 按照土层沿深度的分布状态，点击“添加”按钮添加 3 层土，并定义各层土的层顶、层底标高，依次为 0、-15、-25、-45，钻孔水头设为-7m。
3. 点击“材料”按钮  打开材料数据组(*Material sets*)窗口，在土和界面(*Soil and interfaces*)组类型下分别创建 3 个材料数据组，分别命名为粉质粘土、粘土、砂土。



图 1.2 材料数据组窗口—土层材料属性定义

4. 本案例 3 层土的材料本构模型均使用小应变刚度硬化土模型（HSsmall），该模型考虑了土体在加载与卸载-重加载应力路径下刚度的不同，以及刚度与应力水平的相关性，小应变状态下的刚度等特征，故特别适合于开挖类工程的应用。更多关于本构模型的详尽介绍，见材料模型手册。
5. 各层土的材料属性根据表 1.1 定义，“参数”页面中的高级参数均采用默认值。注意泊松比 ν_{ur} 是一个高级参数。



图 1.3 土层材料属性—参数定义

6. 在本例中不考虑固结和渗流，故土体的渗透性不会影响到计算的结果。因此，渗流参数(Flow parameters) 页面中的参数都保持默认值。

表 1.1 土层材料属性

参数	粉质粘土	粘土	砂土	单位
本构模型	小应变硬化	小应变硬化	小应变硬化	-
排水类型	不排水 A	不排水 A	排水	-
γ_{unsat}	16	17	20	kN/m ³
γ_{sat}	18	19	20	kN/m ³
E_{50}	5000	10000	25000	kN/m ²
E_{oed}	5000	8000	25000	kN/m ²
E_{ur}	17000	42000	75000	kN/m ²
m	0.8	1.0	0.5	-
c	5	19	1	kN/m ²
Φ	25	26	31	°
Ψ	0	0	1	°
$\gamma_{0.7}$	1e-4	1e-4	1e-4	-
G_0	45000	83000	200000	kN/m ²
R_{inter}	0.7	0.7	Rigid	-

- 在界面页面，前两层土按照表 1.1 在强度选项框中选择手动，输入参数 R_{inter} 的值为 0.7，砂土选择刚性。该参数代表界面强度和土体强度的关系。
- 在初始条件页面中，K0 采用默认值“自动”。
- 定义完成材料属性之后，从材料数据组窗口中将 3 种材料按照顺序依次拖放到“修改土层”窗口中的钻孔柱状上，此时钻孔柱状显示出于材料属性对应的颜色。

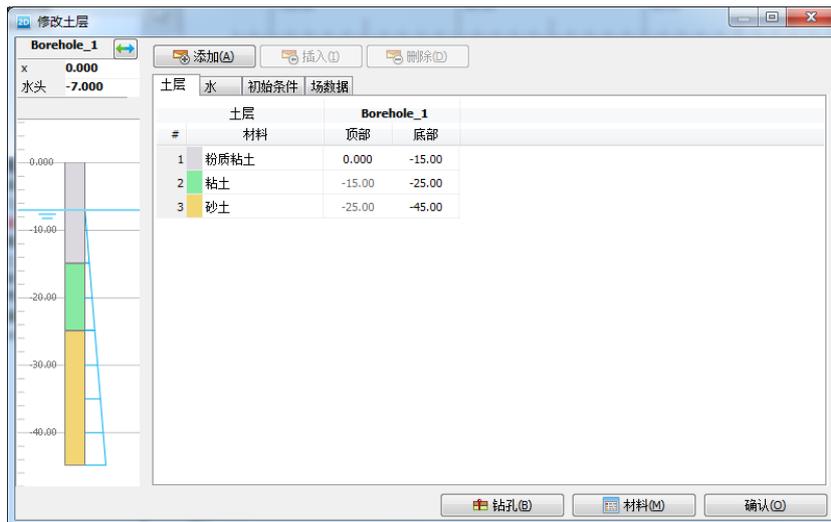


图 1.4 修改土层窗口一一定义钻孔柱状

- 关闭材料组窗口后，点击 OK 关闭修改土层窗口。
- 此时完成了土层的定义，整个模型的土层显示在绘图区。



图 1.5 定义完成的模型土层

12. 进入结构模式(Structure)定义结构单元。

1.3 结构单元定义

以下介绍隧道、地连墙、内支撑、基坑分层开挖面的创建。模型右侧边界作为基坑的对称轴。

1. 隧道模型的创建

- 1) 点击左侧工具栏中隧道设计器  按钮，在绘图区单击创建隧道断面，弹出“隧道设计器”窗口。
- 2) 在“剖面”页面定义隧道断面形状。“一般”选项卡中选择形态类型为“圆”，断面形式选择“定义整个隧道”。
- 3) “线段”选项卡中定义隧道半径为 4m。此时隧道的断面形状出现在右侧绘图区。

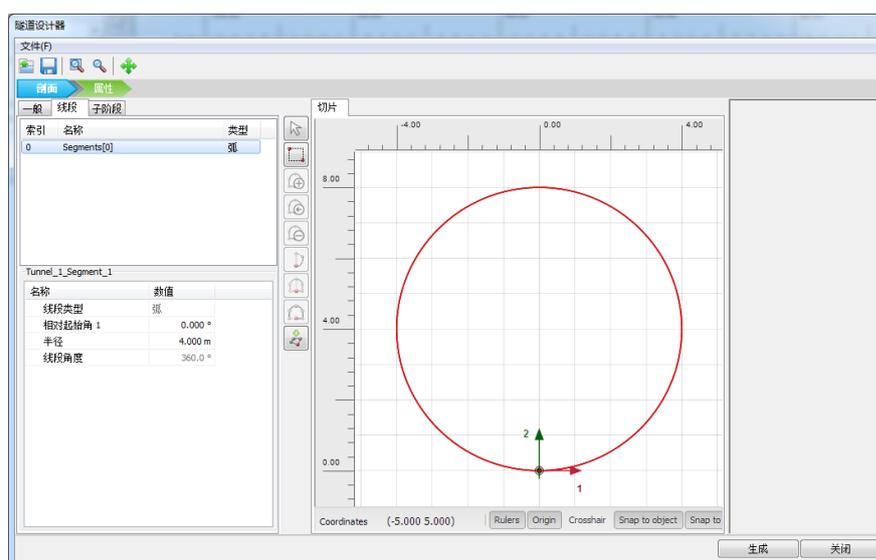


图 1.6 隧道设计器—定义隧道断面形状

- 4) 进入“属性”页面，在右侧绘图区选择已创建的隧道断面，鼠标右击弹出下拉菜单，在其中分别选择创建板、创建线收缩、创建负向界面（表示接触面位于断面

外侧)选项,分别代表隧道衬砌(盾构隧道的管片)、盾构开挖隧道的土层损失、衬砌与周围土体的接触面。

- 5) 线收缩为隧道断面的“收缩变形”,按照土层损失率的定义,输入其线收缩率为0.5%。负向界面单元的材料模式默认为“从相邻土”。板单元应赋予隧道衬砌的材料属性。
- 6) 再次打开材料数据组窗口 , 材料组类型切换到“板”,按照表 1.2 创建衬砌和地连墙的材料属性。

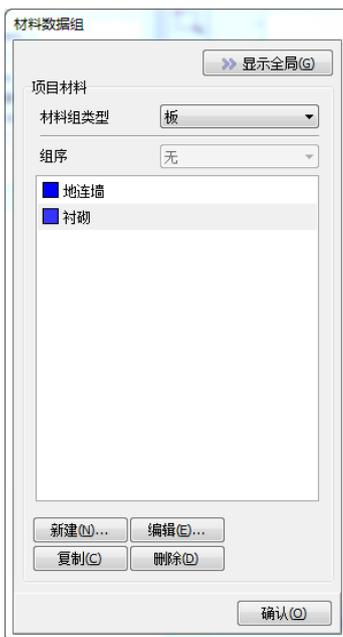


图 1.7 材料数据组窗口一定义板的材料属性

表 1.2 板的材料属性

参数	名称	衬砌	地连墙	单位
材料类型	类型	弹性; 各向同性	弹性; 各向同性	-
轴向刚度	EA	1.4×10^7	2×10^7	kN
抗弯刚度	EI	1.43×10^5	1.67×10^6	m
重度	W	8	8	kN
泊松比	v	0.1	0.15	kN

- 7) 定义隧道断面形状及属性之后, 点击生成按钮完成隧道的创建。

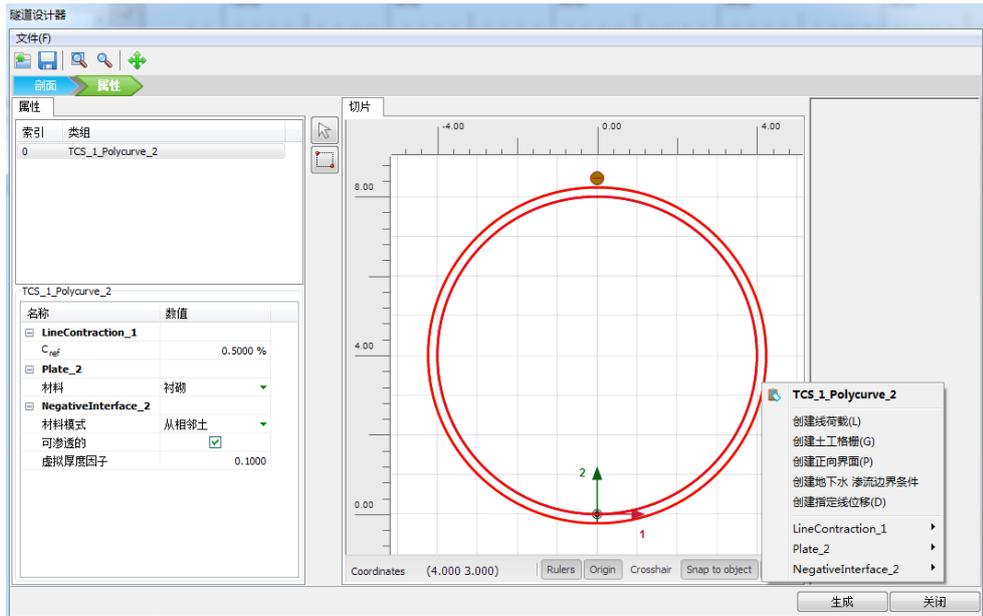


图 1.8 隧道设计器—定义隧道断面属性

- 8) 此时生成的隧道断面位置可能需要调整。在模型浏览器中修改隧道位置坐标到 (-29, -20)，该点为隧道断面的起始点位置，即隧道设计器中局部坐标原点的位置。然后在隧道对象名称（此处为 Tunnel_1）处右击鼠标选择“生成隧道”按钮完成隧道位置的修改。



图 1.9 修改隧道位置

2. 基坑模型的创建

- 1) 在左侧工具栏中选择“创建结构”->“创建板”工具，在绘图区点击 (-15,0)，(-15,-22) 两点创建地连墙。
- 2) 打开材料数据组窗口 ，将已创建的地连墙材料属性拖放到刚刚创建的代表地连墙的板上。
- 3) 选择地连墙，鼠标右击出现下拉菜单，从中分别选择创建正向界面、创建负向界面，代表地连墙与两侧土体的接触面。界面单元的材料属性默认为“从周围土层”。

- 4) 基坑分三层开挖，每层开挖深度分别为 3m，4m，5m，故各开挖面的标高分别为-3、-7、-12。在左侧工具栏中选择“创建线”->“创建线”工具，分别在前述三个标高处绘制开挖面，x 方向从-15m 到 0m。
- 5) 在左侧工具栏中选择“创建结构”->“创建锚定杆”工具，在地连墙位置，即 x=-15m 处，分别沿三个开挖面高度创建三层内支撑。选中刚创建的锚定杆，在



图 1.10 修改锚定杆的等效长度

- 6) 打开材料数据组窗口 ，材料组类型切换到“锚杆”，按照表 1.3 创建内支撑的材料属性。

表 1.3 锚定杆的材料属性

参数	名称	锚定杆	单位
材料类型	类型	弹性	-
轴向刚度	EA	1.2×10^7	kN
L 问题	-	5	m

- 7) 将已创建的内支撑材料属性拖放到刚刚创建的代表内支撑的锚定杆上。



图 1.11 材料数据组窗口一内支撑材料属性

3. 整个几何模型创建完成，“结构模式”中显示的模型如图 1.12。

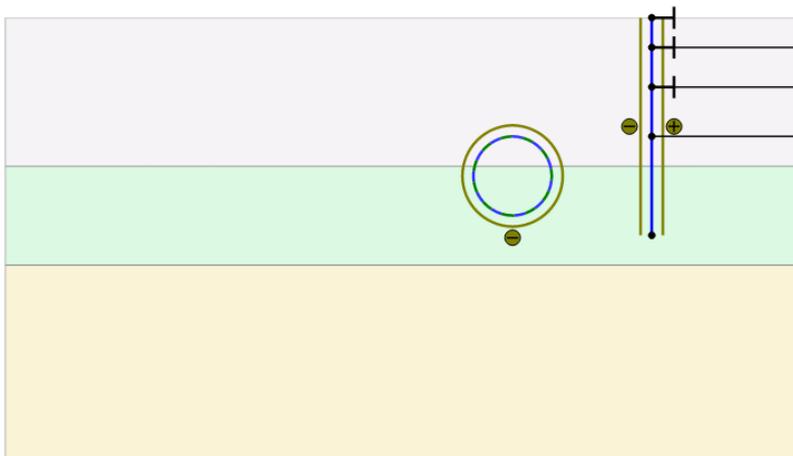


图 1.12 结构模式中的几何模型

有限元网格划分

进入网格模式，进行有限元网格剖分。

2.1 有限元网格加密

1. 程序已自动将结构单元(隧道衬砌,地连墙,内支撑)网格进行加密,以绿色显示,其余部分未加密,以灰色显示。
2. 为了更准确的分析隧道和基坑内开挖土层的变形,将开挖土层进行网格加密。选中这些土层类组,在选择浏览器中将粗糙系数修改为 0.25。



图 2.1 修改粗糙因数

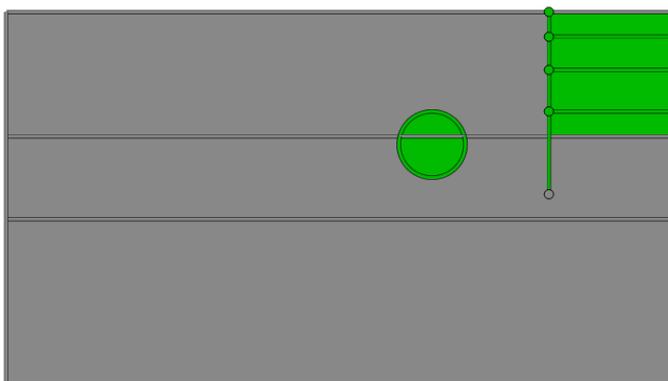


图 2.2 网格局部加密

2.2 有限元网格自动划分和预览

1.  创建网格。设置单元分布(*Element distribution*)为中等,点击确认自动划分网格。



图 2.3 单元分布总体粗糙程度设置

2.  网格预览。

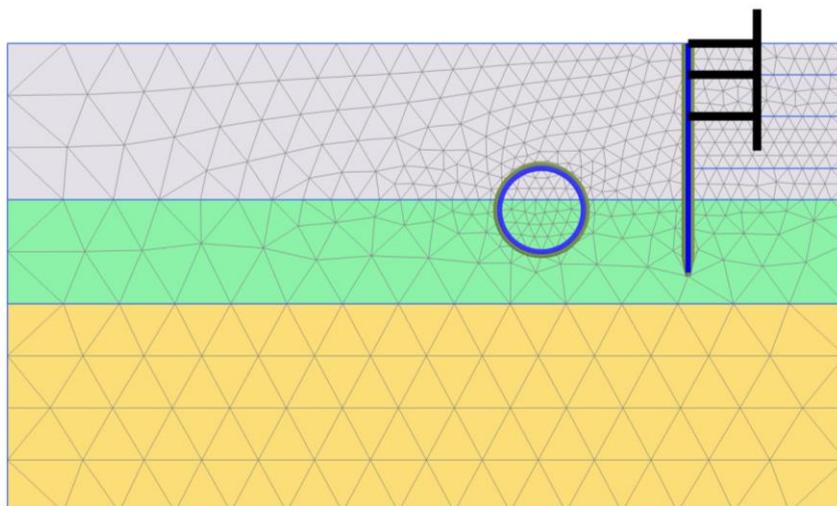


图 2.4 划分完成的有限元网格

计算阶段定义

分析过程一共包含六个阶段。初始阶段用 *K0 过程* 生成初始应力。下一阶段是隧道开挖和支护，接着是地连墙的建造，然后是第一层内支撑安装和开挖，依次开挖到坑底。

3.1 初始阶段

1. 点击 *分步施工(Staged construction)* 标签，进入计算阶段定义。
2. 初始阶段程序已自动创建。由于本例中土层为水平、均匀分布，故保持其计算类型为 *K0 过程*。
3. 检查所有土层都激活，而所有结构单元都未激活（灰色显示）。

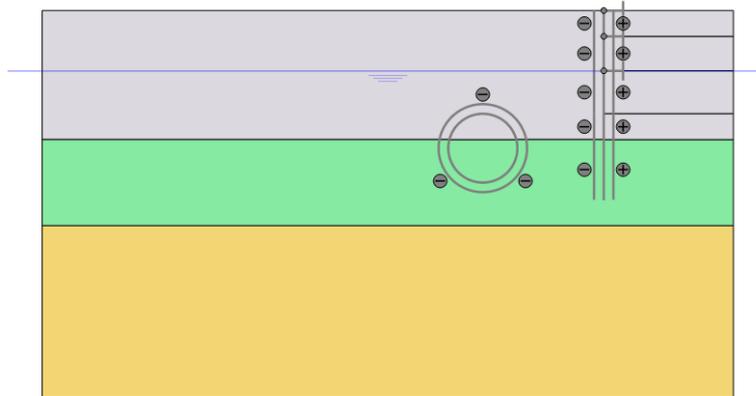


图 3.1 初始计算阶段

3.2 隧道开挖

1.  添加一个新的阶段 *Phase_1*，修改名称为“隧道开挖”。
2. 选中隧道内部的土类组，注意包括两部分。在选择浏览器中点击所选土类组前面的复选框（去掉绿色对勾）将其冻结，表示将该部分土层挖除。
3. 同时将该类组的水力条件设置为“干”，因为隧道位于水位以下，隧道内部的水也要“挖掉”。

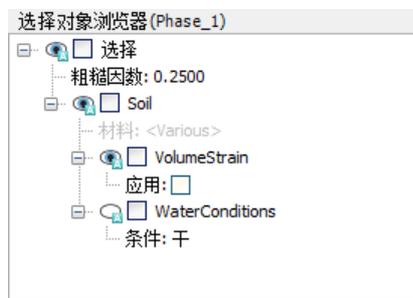


图 3.2 隧道内土类组的冻结

4. 点击模型浏览器中隧道前面的复选框将其激活（显示绿色对勾），表示添加了隧道的衬砌、衬砌与周围土层的界面、隧道断面的收缩。注意此时模型浏览器中对应的板、界面、线收缩都被激活。



图 3.3 激活隧道衬砌、界面和线收缩

5. 本例中上部两层土均为不排水分析，但隧道为既有建筑物，从修建隧道至基坑开挖，由隧道开挖造成的孔隙水压力变化可视为已固结完成，故本计算阶段不考虑超静孔隙水压力变化。
6. 在阶段窗口中，计算类型保持默认设置“塑性计算”，变形控制参数中勾选“忽略不排水行为”选项。注意程序已自动选择了“重置位移为零”选项。

Name	Value
一般	
ID	隧道开挖 [Phase_1]
起始阶段	Initial phase
计算类型	塑性
荷载类型	分步施工
EM _{stage}	1.000
EM _{weight}	1.000
孔压计算类型	潜水位
时间间隔	0.000 day
第一计算步	4
最终步	11
设计方法	(没有)
变形控制参数	
忽略不排水行为(A,B)	<input checked="" type="checkbox"/>
重置位移为零	<input checked="" type="checkbox"/>
重置局部应变	<input checked="" type="checkbox"/>
重置状态变量	<input type="checkbox"/>
更新网格	<input type="checkbox"/>
更新水压力	<input type="checkbox"/>

图 3.4 设置变形控制参数

3.3 地连墙施工

1. 添加一个新的阶段 *Phase_2*，命名为“地连墙施工”。
2. 选择代表地连墙的板，在选择浏览器中激活板，及其两侧的界面单元。



图 3.5 激活地连墙及其界面

3. 本例主要分析基坑开挖对既有隧道的影响，不考虑之前由隧道施工产生的变形，因此需要选择“重置位移为零”选项，注意此时应力场并不受影响。

3.4 第一层开挖

1.  添加一个新的阶段 *Phase_3*，命名为“开挖 1”。
2. 选中第一层要开挖的土层类组 ($z=0 \sim -3\text{m}$)，在选择浏览器中将其冻结。
3. 选中第一道锚定杆（内支撑） ($z=0\text{m}$)，在选择浏览器中将其激活。

3.5 第二层开挖

1.  添加另一个阶段 *Phase_4*，命名为“开挖 2”。
2. 选中第二层要开挖的土层类组 ($z=-3 \sim -7\text{m}$)，在选择浏览器中将其冻结。
3. 选中第二道锚定杆（内支撑） ($z=-3\text{m}$)，在选择浏览器中将其激活。

3.6 第三层开挖

1.  添加另一个阶段 *Phase_4*，命名为“开挖 3”。
2. 选中第三层要开挖的土层类组 ($z=-7 \sim -12\text{m}$)，在选择浏览器中将其冻结，并将其水力条件设置为“干”。
3. 选中第三道锚定杆（内支撑） ($z=-7\text{m}$)，在选择浏览器中将其激活。
4. 选中第三层之下的土层类组 ($z=-12 \sim -15\text{m}$)，在选择浏览器中将其水力条件设置为“内插”，表示坑内水位降低到坑底。注意，此时坑内外存在水位差，由于第二层粘土为弱透土层，本例不考虑基坑降水的渗流，用静水位代替水位变化。
5. 进入水位模式 (Water levels)，可以查看各土层类组的水力条件变化。

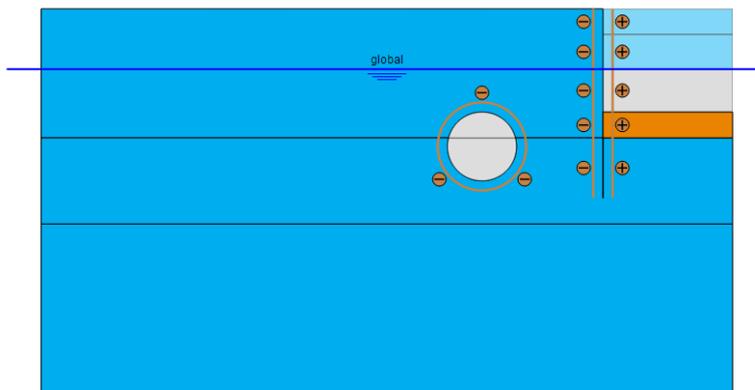


图 3.6 各土层类组的水力条件

6. 点击预览按钮  预览该计算阶段，可以在输出程序中检查稳态孔压的分布。

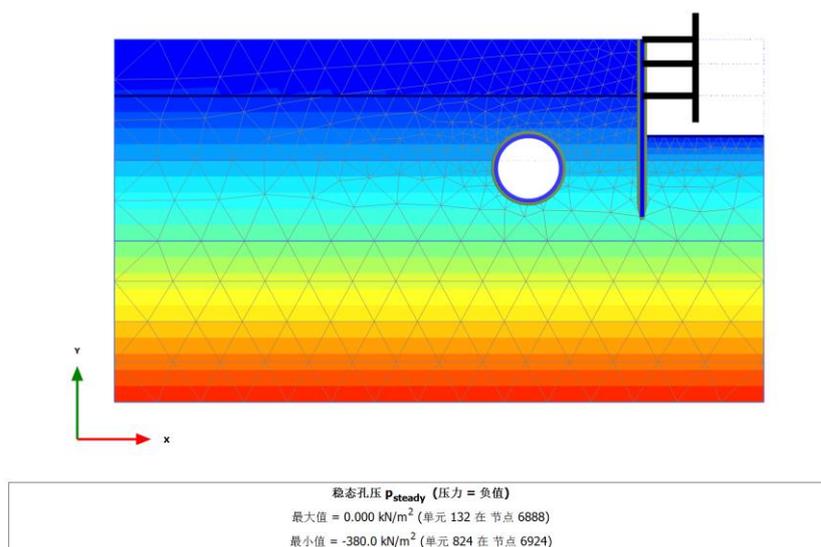


图 3.7 预览稳态孔压的分布

7. 点击关闭按钮返回输入程序。
8.  开始运行计算。
9.  计算完成之后保存项目。

查看计算结果

计算完成后，点击查看计算结果按钮来查看计算结果。

4.1 地层变形

1. 选择最后一个计算阶段，点击查看计算结果按钮，输出程序将打开并显示最后一个阶段结束时的变形网格。

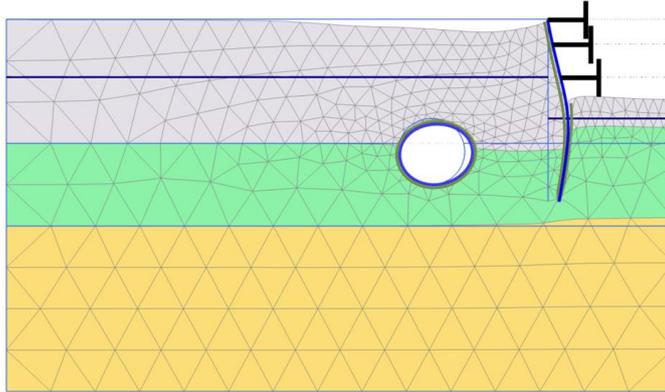


图 4.1 第三层开挖后的变形图

2. 在“变形”菜单中可以选择总位移及其 x、y 方向的分量进行输出。

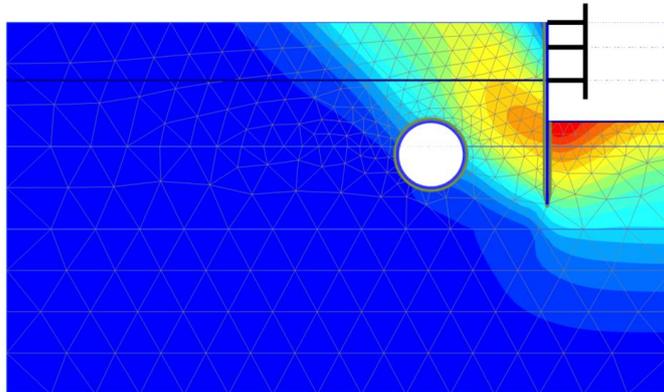


图 4.2 第三层开挖后的总位移云图

3. 还可以使用左侧工具栏中的剖面切割工具检查某一剖面上的变形分布规律，比如查看基坑第三层开挖以后地表的沉降变形情况。

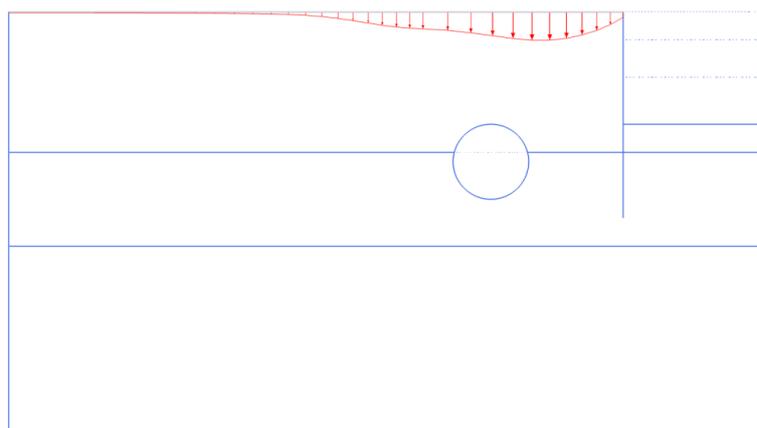


图 4.3 第三层开挖后地表沉降剖面图

4.2 结构变形及内力

1. 在模型中双击隧道，进入隧道结构视图，显示隧道的总位移，可以通过“变形”菜单切换隧道在水平和竖直方向的位移分量。

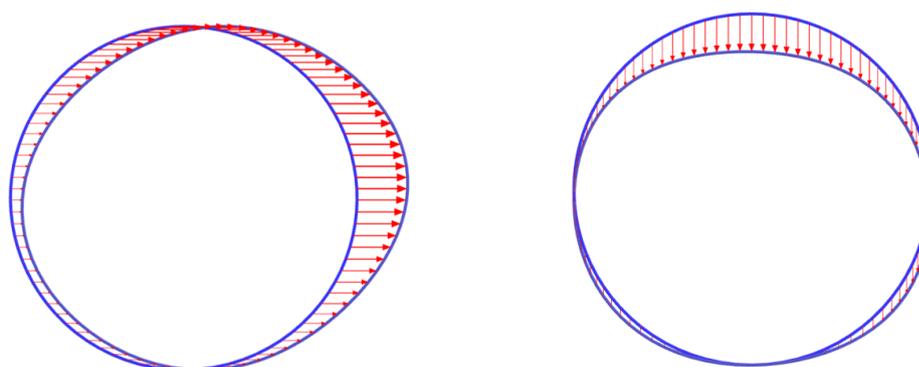


图 4.4 第三层开挖后隧道的水平位移（左）和竖向位移（右）

2. 在模型中双击地连墙，进入地连墙的结构视图，可以查看地连墙的水平位移。

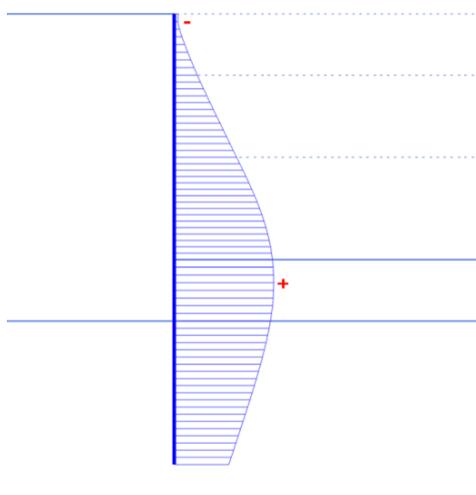


图 4.5 第三层开挖后地连墙的水平位移

3. 通过“内力”菜单可以评估地连墙的内力分布，如轴力、弯矩、剪力等。

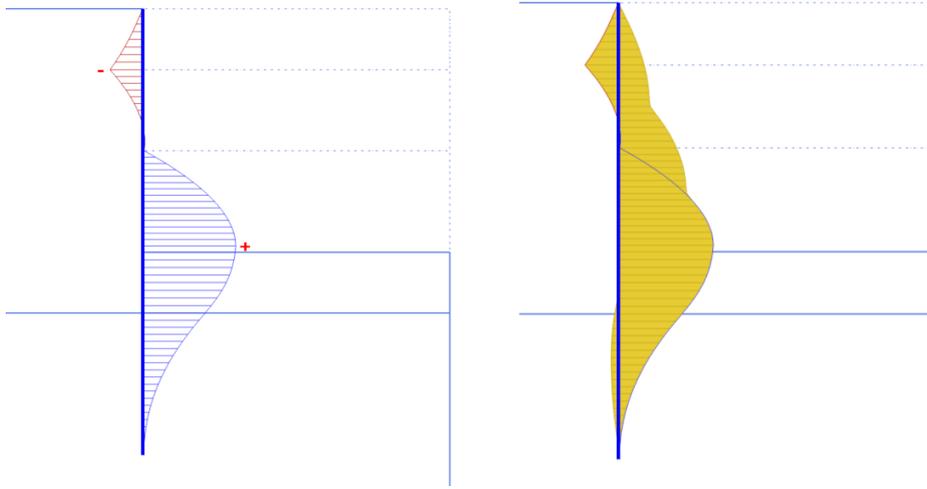


图 4.6 第三层开挖后地连墙的弯矩（左）及其弯矩包络图（右）

本教程到此结束！