

岩土工程有限元分析软件

PLAXIS 2D 2015[®]

案例教程



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

目录

盾构隧道施工及其对桩基的影响..... 1

 1.1 输入..... 2

 1.2 网格划分..... 6

 1.3 计算..... 7

 1.4 计算结果..... 8

盾构隧道施工及其对桩基的影响

PLAXIS 程序隧道设计器功能生成圆形或非圆形隧道并模拟隧道施工过程。本章将考虑在中软土中盾构法隧道的施工以及它对桩基的影响。盾构法隧道的施工通过挖掘机(TBM) 在前面开挖土体,在其后面安装衬砌来完成。在施工过程中,土体的开挖一般是超挖的。这意味着最后被隧道占用的横截面总小于开挖的土体区域。尽管一般会采取措施去填充这一空隙,但不可能避免隧道施工过程导致的应力再分布和土体变形。为了避免对开挖之上的现存建筑和基础造成破坏,很有必要预测这些效应并采取恰当的措施。这一分析可以通过有限元方法来完成。这一课将介绍这一分析方法的一个实例。

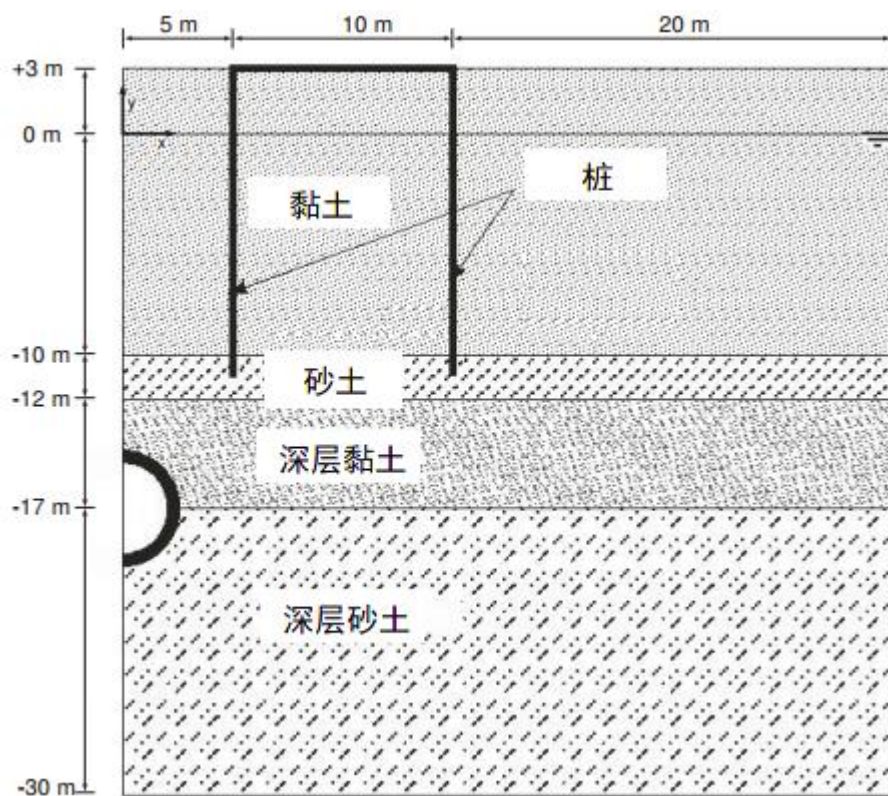


图 1.1 工程几何尺寸及土层分布示意图

目标:

- 模拟隧道钻进过程
- 用不排水 B 选项模拟不排水行为

1.1 输入

本案例考虑的隧道直径为 5 米，其平均深度为 20 米。

1.1.1 一般设置

- 打开 PLAXIS 2D AE 程序。将会弹出快速选择对话框，选择一个新的工程。
- 在工程属性窗口的工程标签下，键入一个合适标题。
- 在模型标签下，模型（平面应变）和单元（15-Node）保持默认选项。
- 在几何形状设定框中设定土层模型尺寸 xmin=0，xmax=35，ymin=-30，ymax=30。
- 点击 OK 即关闭工程属性窗口，完成设定。

1.1.2 土层定义

地基分层包括四个不同土层：上部 13 米为软粘土，其刚度随深度近似线性增加。在这一粘土层下，有 2 米厚的细砂土层。它被选为支撑传统砖砌房屋的旧木桩的持力层。因为桩的位移可能导致建筑的破坏，这显然是大家特别不愿看到的，所以要模拟隧道附近的建筑桩基。砂土层下是 5 米厚，位于深处的粘土层。这是在其中进行隧道施工的土层之一。隧道的另一部分在位于深处的砂土层中，这一土层由密砂和砾石组成，强度很大，取其深度为 13 米厚。土孔隙水压力分布是静态水压。水位位于地表面(y=0)以下-3 米。因为研究对象基本上是对称的，所以平面应变模型只考虑其中一半。

定义土层：

- 点击创建钻孔命令，在 x=0 处单击，修改土层窗口将出现。
- 定义土层，如图 1.2。
- 水位线位于 y=-0m。在钻孔柱状图上边指定水头为 0m。

 打开材料设置窗口

- 按表 1.1 中的参数定义土层和界面信息等并分别指定给相应土层（图 1.2）。

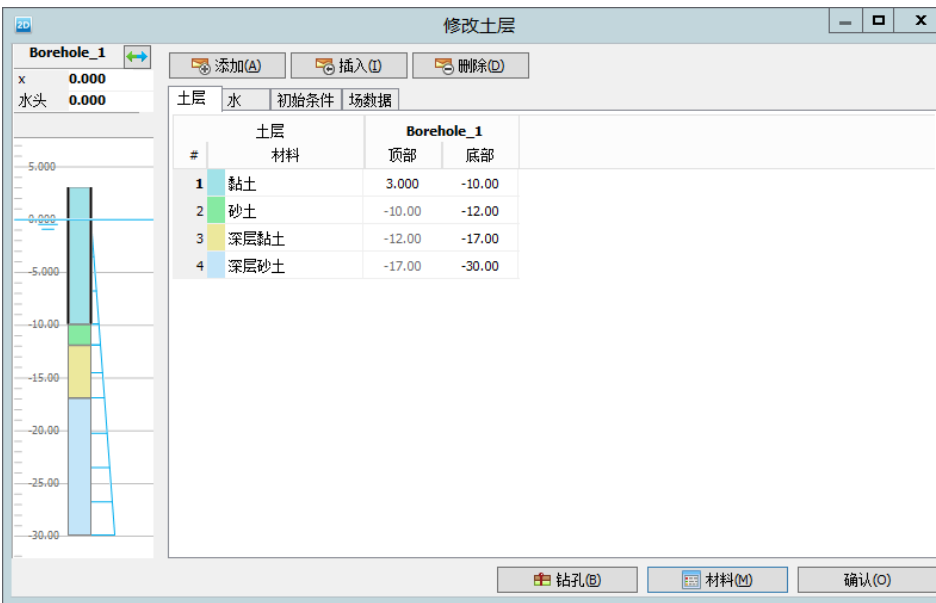


图 1.2 土层分布图

表 1.1 土层的材料属性

参数	名称	黏土	砂土	深层黏土	深层砂土	单位
一般						
材料模型	模型	摩尔库伦	土体硬化	摩尔库伦	小应变土体硬化	-
材料类型	类型	不排水的 (B)	排水的	不排水的 (B)	排水的	-
水位以上土体容重	γ_{unsat}	15	16.5	16	17	kN/m ³
水位以下土体容重	γ_{sat}	18	20	18.5	21	kN/m ³
参数						
参考弹性模量	E'	3400	-	9000	-	kN/m ²
标准三轴排水试验割线模量	E_{50}^{ref}	-	25000	-	42000	kN/m ²
标准固结试验	$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$	-	25000	-	25000	kN/m ²
卸载/重加载刚度	$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	-	75000	-	126000	kN/m ²
与刚度应力水平相关的幂指数	m	-	0.5	-	0.5	-
黏聚力	c_{ref}'	-	0	-	0	kN/m ²
参考不排水剪切强度	$s_{\text{u,ref}}$	5	-	40	-	kN/m ²
内摩擦角	ϕ'	30	33	23	25	°
剪胀角	ψ	0	3	0	0	°
$G_s=0.722G_0$ 时剪应变	$\gamma_{0.7}$	-	-	-	13000	
小应变时剪切模量	G_0^{ref}	-	-	-	110000	-
泊松比	ν'	0.33	0.3	0.33	0.3	-
弹性模量增量	E'_{inc}	400	-	600	-	kN/m ³
参考位置	y_{ref}	3	-	-12	-	m
不排水剪切强度增量	$s_{\text{u,inc}}$	2	-	3	-	kN/m ²
参考位置	y_{ref}	3	-	-12	-	m
流动参数						
水平渗透系数	k_x	0.0001	1	0.01	0.5	m/天
竖向渗透系数	k_y	0.0001	1	0.001	0.5	m/天
界面						
界面强度折减因子	R_{inter}	1	1	0.7	0.7	-
初始						
K_0	-	手动	自动	手动	自动	-

PLAXIS 2D AE 案例教程：盾构隧道施工及其对桩基的影响

静止侧压力系数	$K_{0,x}$	0.6	0.485	0.6	0.4264	
超固结比	OCR	-	1	-	1	-
前期固结压力	POP	-	0	-	0	kN/m ²

对于黏土层的刚度和强度随着深度而增大，因此，在高级选项中输入 E'_{inc} 和 $S_{u,inc}$ 。 E'_{ref} 和 $S_{u,ref}$ 是在 y_{ref} 的参考值。 y_{ref} 以下， E' 和 S_u 随着深度而增大：

$$E'(Y) = E'_{ref} + E'_{inc} (y_{ref} - Y)$$

$$S_u(y) = S_{u,ref} + S_{u,inc} (y_{ref} - y)$$

1.1.3 定义结构单元

本例中取圆形隧道的右半部分。生成基本模型之后，按照下面的方法设计圆形隧道。

 在**结构模式**竖向工具栏中单击**创建隧道**按钮，在绘图区（0 -17）的位置单击。弹出隧道设计器窗口，显示剖面模式的一般标签

- 在**形态类型**下拉菜单中选择**圆**选项。
- 在**整个或半个隧道**下拉菜单选择**定义右半部分**选项。
- 设置**轴 2 偏移**-2.5.轴的方向不做修改。
- 单击**线段**标签，程序自动创建一条线段。在**线段列表框**信息中可以定义线段的属性。
- 将**线段列表框**半径设置为 2.5 米。生成的线段如图 1.3.

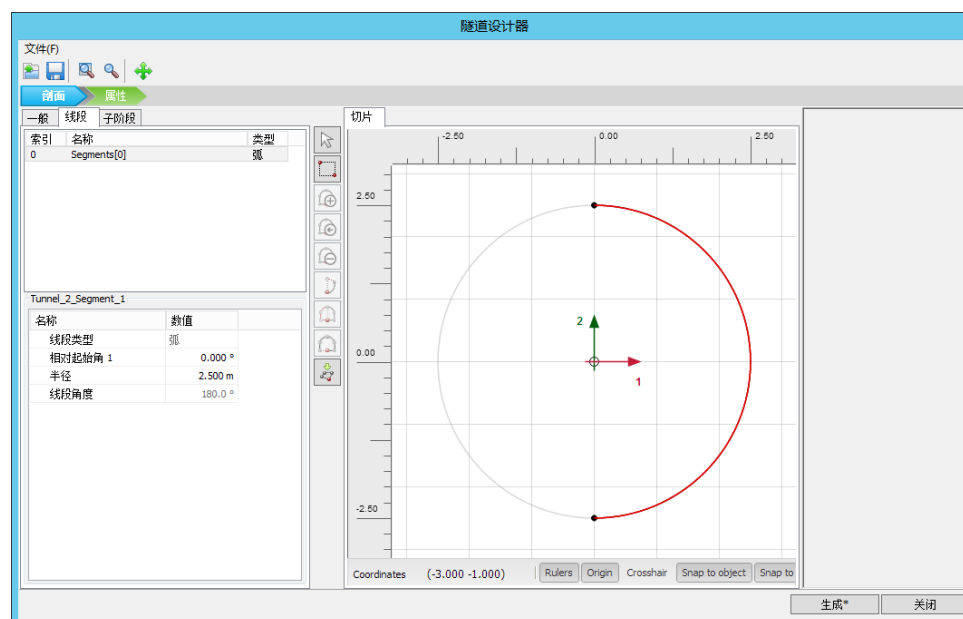


图 1.3 隧道的几何尺寸

- 切换至**属性**标签。
- 在绘图区已创建好的线段上右键，并在出现的下拉菜单中选择**创建板**选项。
- 在左下角**曲线列表框**中展开**板子**目录。

 创建新的材料数组。根据表 1.2 为衬砌指定材料参数。

表 1.2 板的材料属性

参数	衬砌	建筑	单位
材料类型	弹性；各向同性	弹性；各向同性	—
轴向刚度	1.4×10^7	1×10^{10}	kN/m
抗弯刚度	1.43×10^5	1×10^{10}	kNm ² /m
重度	8.4	25	kNm/m
泊松比	0.15	0	-

- 在绘图区已创建好的线段上右键，并在出现的下拉菜单中分别选择创建负向界面选项和创建线收缩选项。
- 在左下角曲线列表框中展开线收缩子目录，指定值为 0.5%。隧道模型如图 1.4

提示：隧道轮廓的 0.5% 的线收缩近似对应隧道土体体积损失率为 1%。

- 单击生成按钮并关闭隧道设计器窗口。

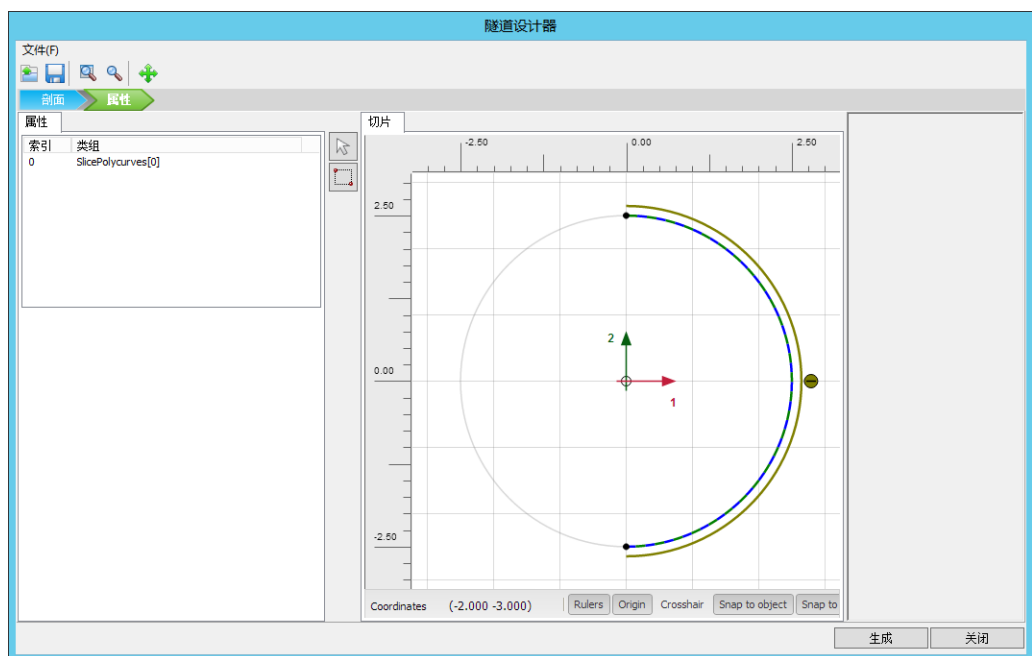


图 1.4 属性模式下隧道模型

提示：在这里考虑的隧道中，因为隧道衬砌是均匀的而且隧道一次建成，隧道衬砌的分段没有特别意义。隧道衬砌由曲板组成，衬砌的材料属性利用材料数组指定。相似地，隧道界面是曲界面。

一般来说，在以下情况下，隧道的分段将特别重要。

- 隧道的开挖和衬砌安装要求分不同施工阶段完成。
- 隧道的不同部分具有不同的衬砌特性。
- 在衬砌安装时考虑铰接(在一般画图区内设计隧道之后，安装铰)。
- 隧道形状由不同半径的圆弧组成(例如 NATM 隧道)。

建筑下的木桩是用嵌固桩来模拟桩。建筑本身将由刚性板来代表。

 在点（5 3）（15 3）绘制板，用来代表建筑物。

 根据表 1.2 指定材料属性并指定给板。

 分别在（5 3）（5 -11）和（15 3）（15 -11）绘制嵌固桩。

 根据表 1.3 指定材料属性并指定给嵌固桩。

表 1.3 桩材料特性

参数	名称	数值	单位
刚度	E	$1.0 \cdot 10^7$	kN/m ²
单位重度	γ	24	kN/m ³
直径	D	0.25	m
水平间距	L_s	3	m
侧摩阻力	$T_{top,max}$	1	kN/m
	$T_{bot,max}$	100	kN/m
端阻力	F_{max}	100	kN

提示：在标准固定边界选项中，延伸到至少一个方向上固定的几何边界上的板，受到转动约束，而延伸至自由边界的板端可以自由转动。

1.2 网格划分

切换标签进入网格模式

 划分网格。使用单元分布参数默认选项中等。

 查看网格，可以点击几何菜单下固定约束选项，显示固定约束情况，如图 1.5，

- 点击关闭按钮关闭输出程序。

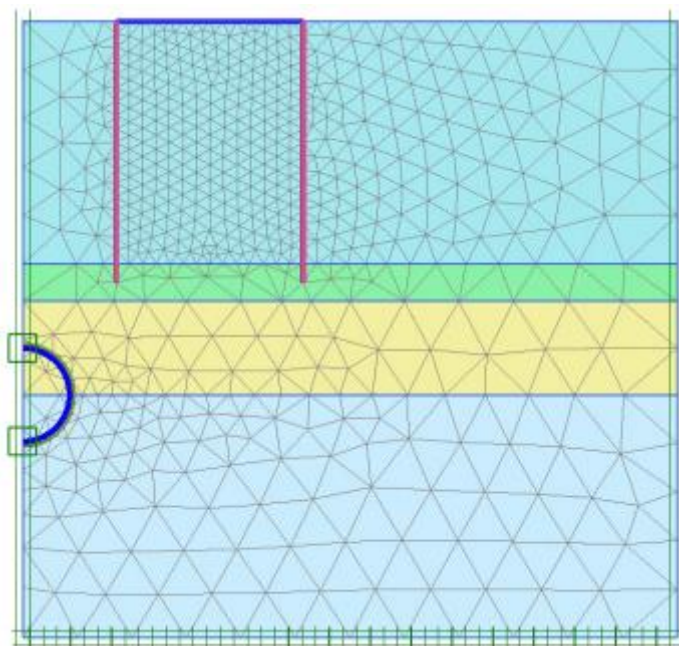


图 1.5 生成的网格

1.3 计算

很明显，模拟隧道施工需要使用分步施工计算。

- 切换至分步施工模式定义计算阶段。
- 初始阶段程序自动生成。默认计算类型为 K0 过程。根据潜水位 $y=0$ 米生成水压力。确保建筑，基础桩和隧道衬砌冻结。

Phase 1: 建筑

第一个阶段激活建筑：



添加新的阶段。

- 重命名阶段名称为‘建筑’
- 在变形控制子目录下，选择忽略不排水（A,B）选择。其他值默认。
- 在绘图区激活板和基础桩。

模拟隧道施工

我们需要激活隧道衬砌，但要使隧道内土类组处于冻结状态。使隧道内土体类组处于冻结状态只会影响其刚度，强度和有效应力，如果没有其他的设置，水压会被保留。为了取消隧道内的水压，隧道内的两个土类组在水力条件模式下必须设置为干。另外，必须重新生成孔隙水压力。进行这些设定要遵循以下步骤：

Phase 2: 隧道



添加新的阶段。

- 在阶段窗口变形控制参数子目录下选择重置位移为零选项。

PLAXIS 2D AE 案例教程：盾构隧道施工及其对桩基的影响

- 在绘图区全选隧道内部土层，在选择浏览器冻结选中的两层土并设置水力条件为干。
- 激活隧道衬砌和负界面，注意这个阶段不激活隧道收缩。

Phase 3: 收缩

除了隧道衬砌的安装、隧道的开挖和隧道的降水，体积损失通过应用隧道衬砌的收缩来模拟。这一收缩的定义在分步施工计算施工阶段来完成：



添加新的阶段。

- 将隧道的板选中，在选择浏览器激活收缩。

提示：隧道衬砌本身的收缩不会在其本身产生内力。收缩过程最终导致的衬砌力是由于周围土体应力再分配或外力变化造成的。

Phase 4: 注浆

隧道掘进机（TBM）尾部，通常要往隧道衬砌尾部和 TBM 之间的空隙注浆。注浆过程的模拟通过往周围土层施加压力。



添加新的阶段。

- 在阶段窗口变形控制参数子目录下不要选择重置位移为零选项。
- 在分步施工模式中冻结隧道衬砌（板，负向界面和收缩）
- 选择隧道内土层，在选择浏览器激活水力条件。选择用户自定义选项，设置 Pre 值为-230kN/m²。隧道压力分布是个常数。

Phase 5: 最后衬砌



添加新的阶段。

- 在阶段窗口变形控制参数子目录下不要选择重置位移为零选项。
- 在分步施工模式下设置隧道内土层水力条件为干。
- 激活隧道衬砌和负向界面。



为绘制荷载-位移曲线选择一些特征节点(例如隧道之上地表面的一些角节点和建筑角节点)。



开始计算。



计算完成后保存计算结果。

1.4 计算结果



计算完成后，选择最后施工阶段并点击<输出>按钮。输出视窗将显示计算阶段最终的变形的网格（图 1.6）。

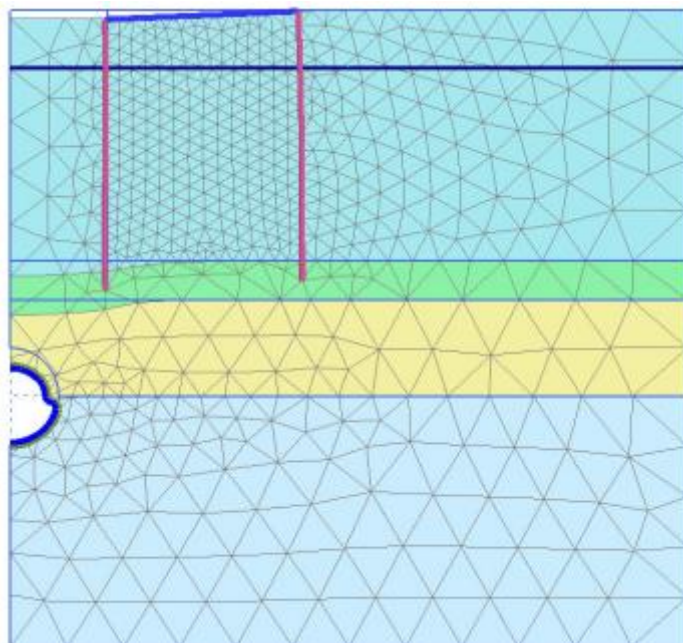


图 1.6 计算完成后的变形网格（Phase 5，缩放 20 倍）

第二计算施工阶段(挖土并从隧道内降水)执行之后，地面有所下沉，隧道衬砌有所变形。在这一施工阶段，隧道衬砌轴力可以达到最大。通过双击隧道衬砌并从力菜单中选择相关于力的选项，可以显示衬砌内力(图 1.7)。轴力和弯矩图分别以缩放系数 0.005 和 0.02 显示。

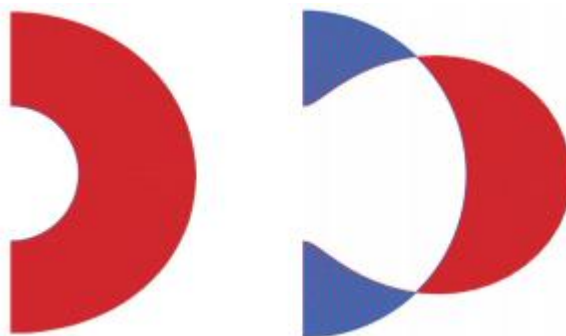


图 1.7 第二阶段隧道衬砌轴力和弯矩图

有效主应力的图示 1.8 表明了隧道周围出现了土拱作用，它降低了隧道衬砌的应力。因此，这一施工阶段的轴力比第二计算施工阶段末的轴力要小。

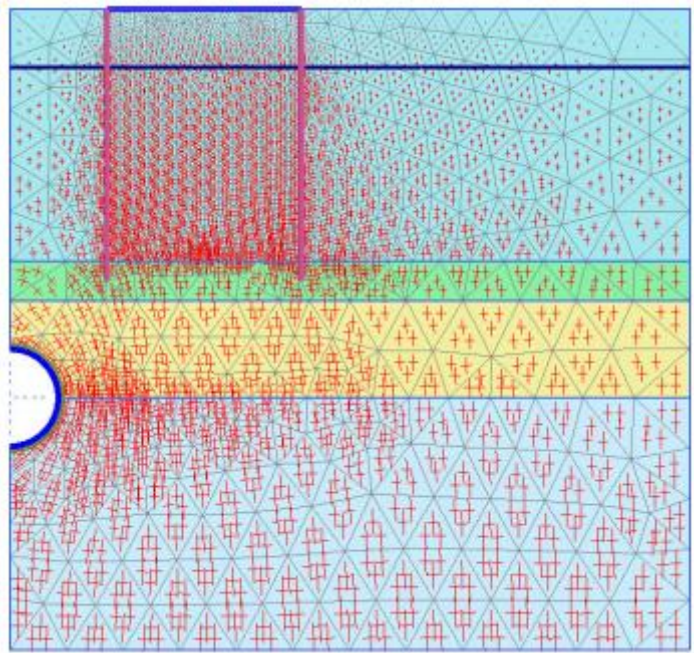


图 1.8 最终阶段隧道有效主应力

 为了显示结构的倾斜：

- 单击竖向工具栏的距离测量按钮
- 单击结构节点（5 3）（15 3）。距离测量信息窗口显示结构倾斜值信息，如图 1.9.

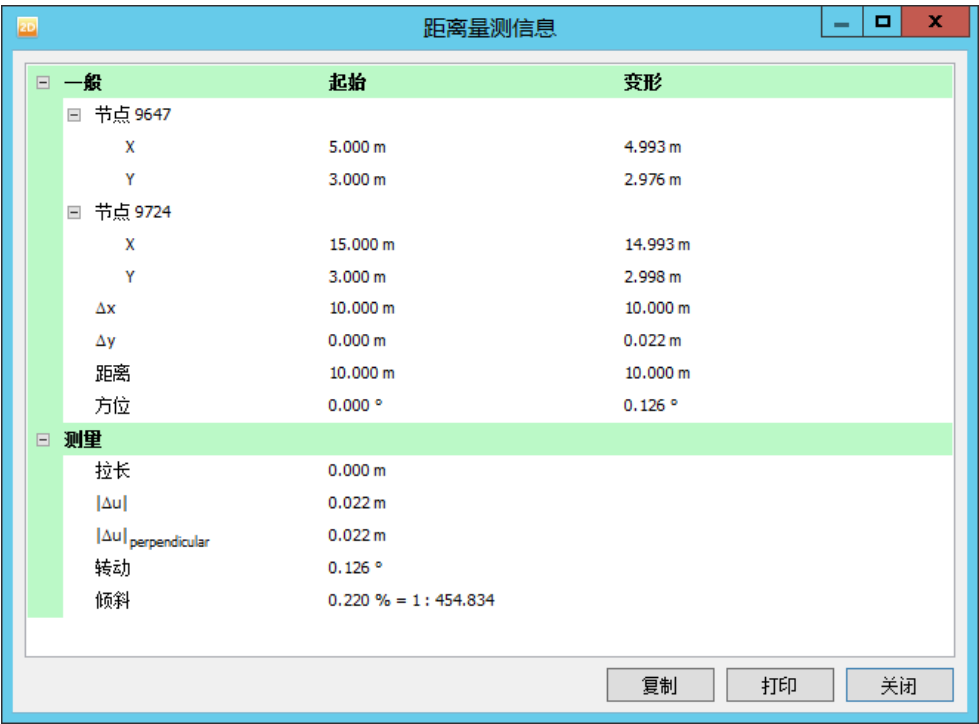


图 1.9 距离测量信息

本教程到此结束！