教程 3 隧道交叉段

目录

1. 预览 2

1.1 问题详述 2

2. **3D 建模** 3

2.1. 一般设置 3

2.2. 几何 3

2.3. 3D 网格 7

3. 计算设置 8

3.1. 初始应力场的计算设置：阶段 0 8

3.2. 开挖 1 分析的计算属性 10

3.2. 开挖 2 分析的计算属性 12

4. 求解 14

5. 结果分析 15

武汉优土优木科技有限公司

1. 预览

隧道挖掘可以作为二维模型进行分析（参见 2D 教程 4），但在大多数情况下，隧道项目的几何结构是三维的。

在本教程中，我们将分析主隧道廊道的开挖，之前有一相邻廊道。分期施工也有详细说明，但仅限于 2 次开挖。模型在几何、地形数据和材料方面进行了简化，以符合教程的目的。

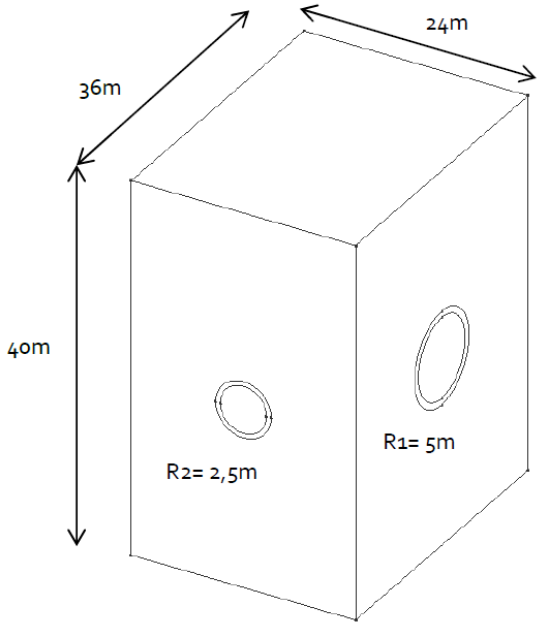
1.1 问题详述

一般假设：

静态分析

衬砌用体单元模拟

几何：



材料属性：

土体为钙质泥灰岩，采用莫尔-库仑模型作为塑性准则，衬砌混凝土采用线弹性。

	γ_h (kN/m³)	E (MPa)	ν	c (kPa)	φ (°)	ψ (°)
Calcareous marls	24	800	0.3	100	30	0
Concrete	27.5	25000	.2	-	-	-

2. 3D 建模

2.1. 一般设置

设置长度单位为 m，力为 MN，位移为 mm。

2.2. 几何

主廊道：

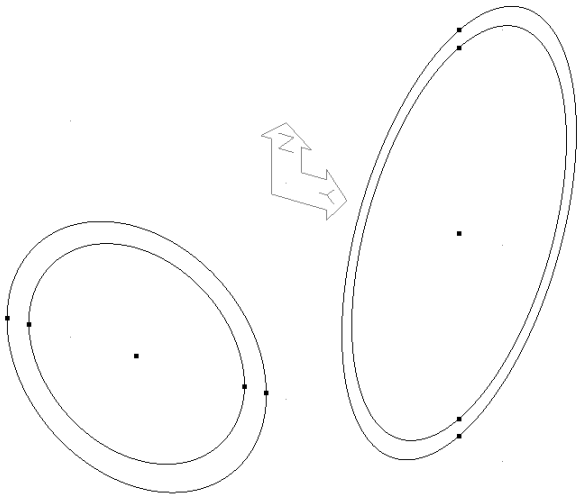
将工作平面设置为 OXZ，使用“圆弧”工具，绘制两个圆，圆心为（0，4，0），半径分别为 4.3m 和 5m。

绘制半径为 4.3m 的圆，首先绘制 3 个点，A (0 ; 4 ; 0)，B (0 ; 4 ; 4,3)，C (0 ; 4 ; -4,3)，然后，点击“圆形”，依次点击 B-C-A、C-B-A。重复操作绘制半径为 5m 的同心圆。

邻近廊道：

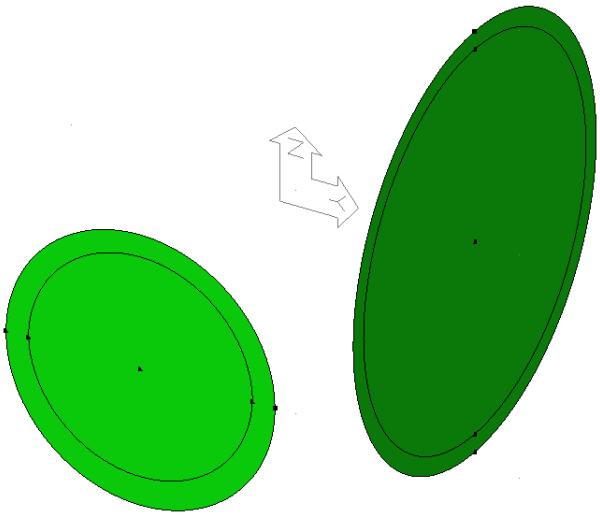
将工作平面设置为 OYZ，使用“圆弧”工具，绘制两个圆，圆心为（6，0，-1），半径分别为 2.5m 和 3m。

绘制半径为 2.5m 的圆，首先绘制 3 个点，D (6 ; 0 ; -1)，E (6 ; 2.5 ; -1)，F (6 ; -2.5 ; -1)，然后，点击“圆形”，依次点击 E-F-D、F-E-D。重复操作绘制半径为 3m 的同心圆。



曲面：

选择主廊道的全部线段，点击“平面”。



邻近廊道重复操作。

主廊道体：

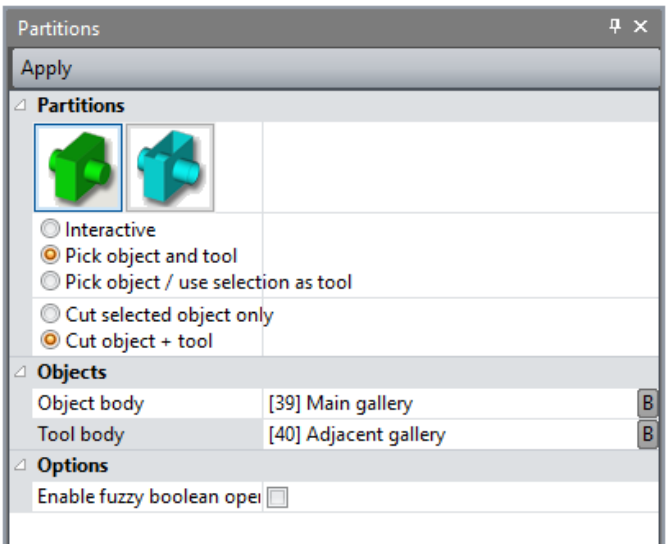
选择主廊道面，将其拉伸为体，点击拉伸，依次选择平移、生成体实体，设置 Vx = 0 ; Vy = -8 ; Vz = 0 m，勾选移除面实体，应用。

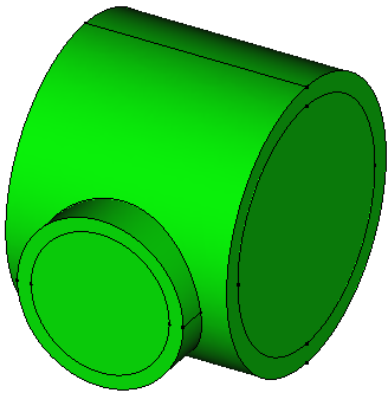
邻近廊道体：

选择邻近廊道面，将其拉伸为体，点击拉伸，依次选择平移、生成体实体，设置 Vx = -6 ; Vy = 0 ; Vz = 0 m，勾选移除面实体，应用。

体实体相交：

点击体相交，选中实体/实体分割，勾选“选择对象和工具、切割对象和工具”，选择主隧道作为“对象实体”，然后选择邻近隧道作为“工具实体”，应用。





两廊道相交后的模型

开挖断面：

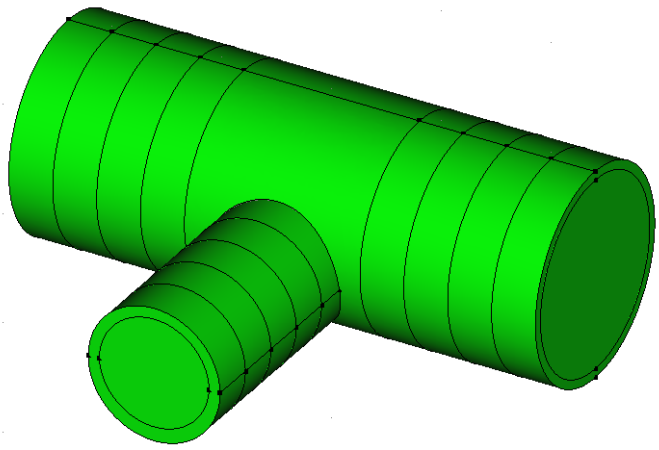
现在我们开始生成实体，用于模拟隧道开挖。主隧道分 8 段，每段长度 2m，邻近隧道分 5 段，每段 2m。

选中 y=4m 的两个面，点击拉伸，勾选平移，输入 4 次，选择生成体实体，矢量输入（0，2，0），应用。

选中 y=-4m 的两个面，点击拉伸，勾选平移，输入 4 次，选择生成体实体，矢量输入（0，-2，0），应用。

选中 x=6m 的两个面，点击拉伸，勾选平移，输入 5 次，选择生成体实体，矢量输入（2，0，0），应用。

注意，拉伸操作后，实体是合并的，需要将其炸开，点击炸开实体，应用。

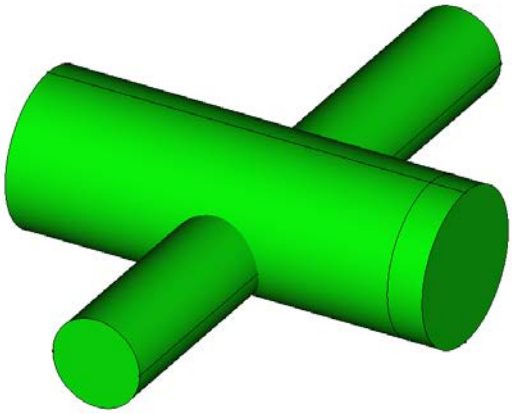


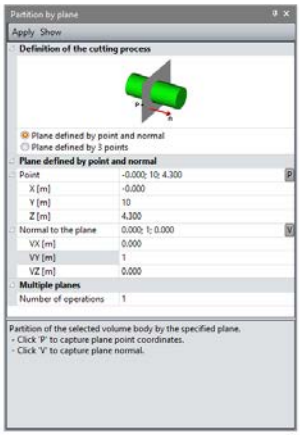
沿 Ox 和 Oy 方向拉伸后的模型

隧道与平面相交的其他方式

使用面相交：

点击面相交，平面内一点，给定平面法向量，选择实体，应用。



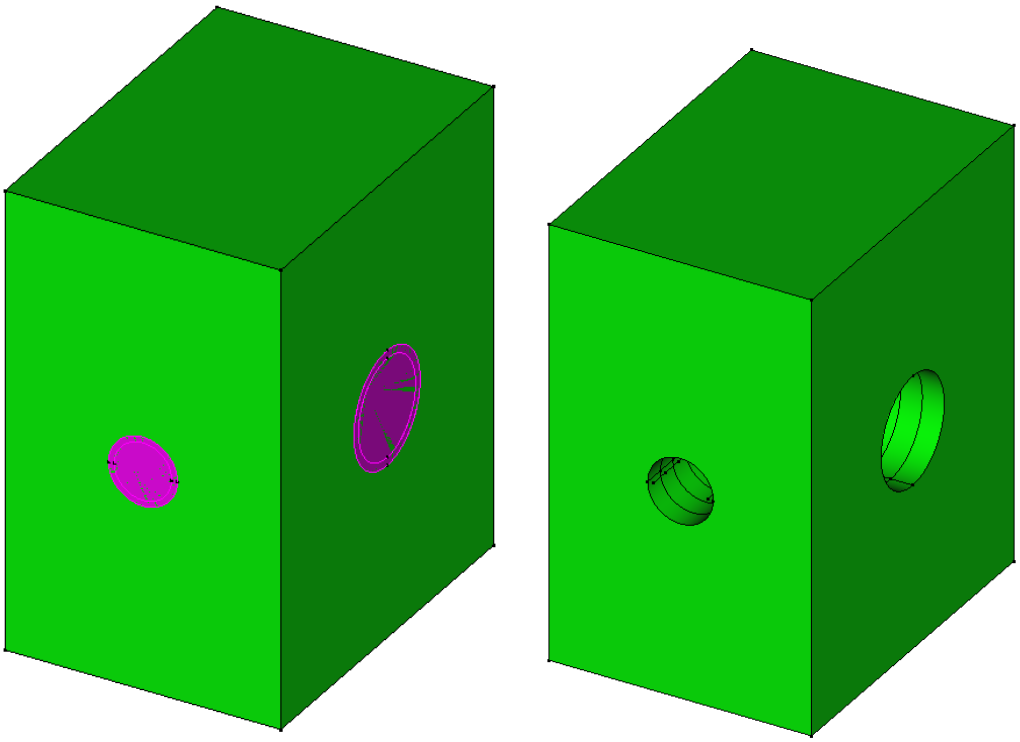


土体：

我们定义土体包含这两个廊道。

定义地面 z=-20，添加 4 个点，(16；12；-20)、(16；-12；-20)、(-16；-12；-20)、(-16；12；-20)，将其连成线，然后生成面，然后在拉伸成体，向上拉伸 40m 到 z=20m。

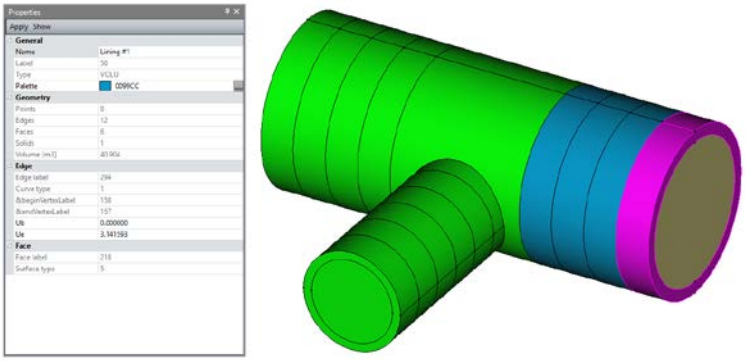
使用体相交，选择主廊道和邻近廊道的全部体实体，点击体/体分割，应用。



体相交后隐藏廊道

识别实体：

该步骤是可选的，可为每一个实体单元命名并给定颜色，方便我们管理模型。



2.3. 3D 网格

在高应变梯度的区域细化网格是非常重要的，这能得到更精确的结果。

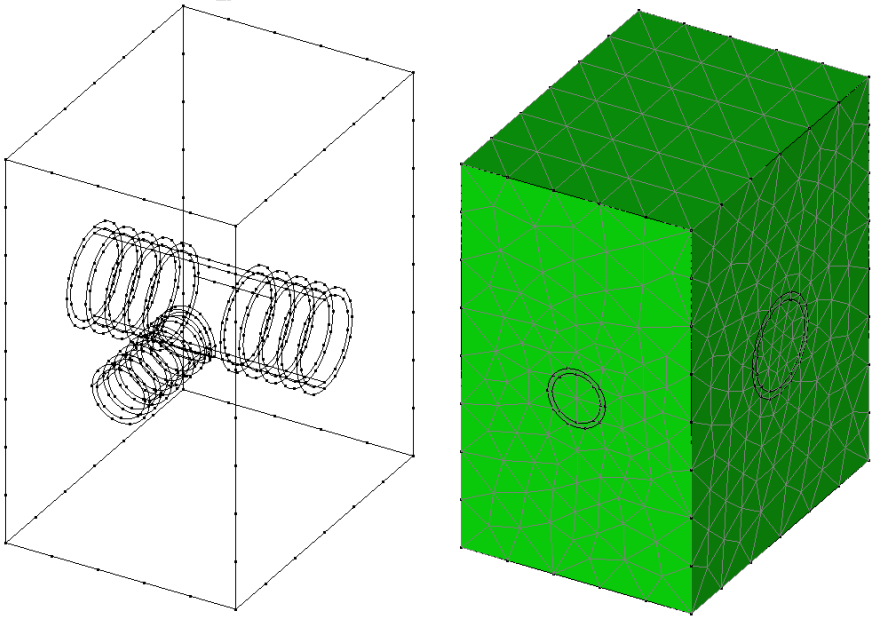
我们会使用渐变网格，在高应变区域（桩附近）使用较小分段，在边界处使用较大分段。

网格密度：

在开挖的廊道附近使用较密网格。

选择隧道廊道的全部边，点击固定长度密度，输入 1m，确认。

选择土体的外边界，点击固定长度密度，输入 5m，确认。



定义网格密度并生成网格

3D 网格划分：

出于教程目的，我们使用线性插值网格代替二次插值网格，这会减少计算时间，但同时精确度也随之下降了。

！实际项目中，针对非线性分析还是强烈推荐二次插值。

选择全部实体，选择“线性插值”，选择“Tetrahedron mesh”，设置密度因子 0.8，点击确认。

现在网格已生成，我们检查一下。点击网格信息，点击单元质量检查，如果单元使用了错误的雅可比矩阵变形，它们将显示在工具箱中。

组定义：

该步骤为可选，把实体分组，便于管理。比如将断面 1 和衬砌 1 分成一组。

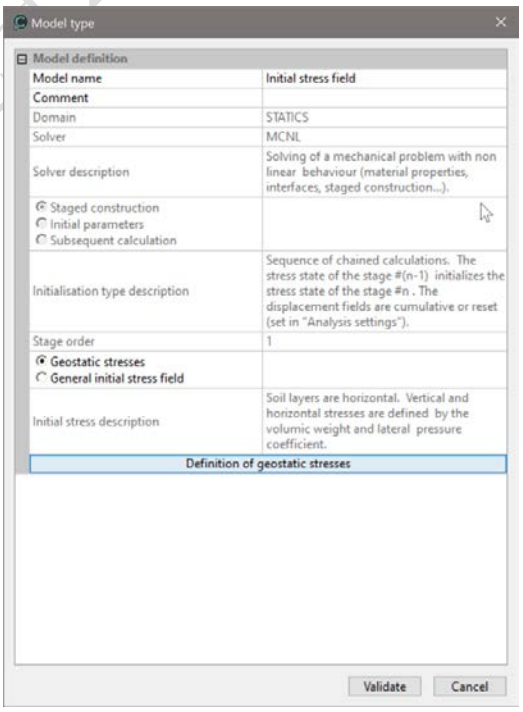
3. 计算设置

3.1. 初始应力场的计算设置：阶段 0

分阶段施工过程要求在施加荷载之前定义初始应力场。对于本项目，我们用“K_0 程序”初始化。

模型定义：

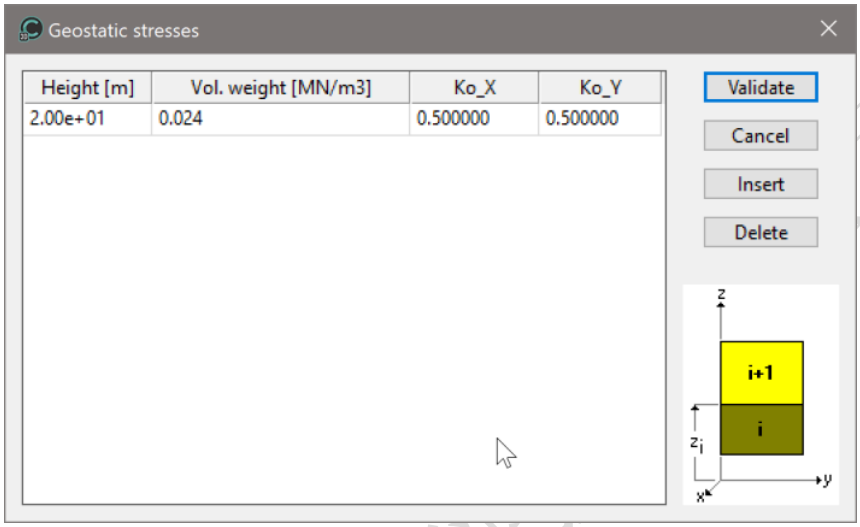
添加模型，命名为“初始化应力场”。勾选 MCNL、分步施工、地应力，点击确认。



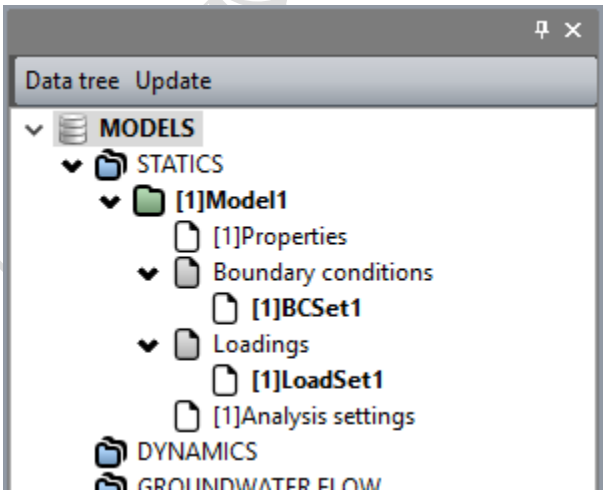
初始地应力场：

点击定义地应力，插入土层，输入如下参数：

Height (m)	Volumic weight (MN/m³)	Ko_x	Ko_y
20	0.024	0.5	0.5



现在数据树显示如下



材料数据库：

添加两种材料，土体和衬砌混凝土。

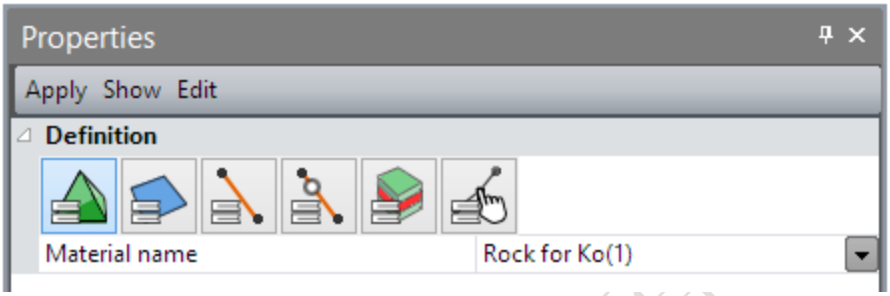
点击体实体属性，命名“混凝土”，弹性参数中选择“线弹性”，输入下面参数。

点击添加工具，命名“土体”，弹性参数选择“线弹性”，塑性参数选择“无硬化 Drucker-Prager”。

	ρ (kg/m³)	E (MPa)	ν	c (MPa)	φ (°)	ψ (°)
Concrete	2750	25000	0.2	-	-	-
Calcareous marls	2400	800	0.3	0.1	30	0

指定属性集：

选中模型中的全部体实体，给定“泥灰岩”。



边界条件：

点击边界条件，点击边和底部支撑，应用。

荷载集：

初始化地应力时无其它荷载集。

计算参数：

在一般参数部分，输入如下值：

- 迭代过程：

  最大增量步：1

  每个增量步最大迭代次数：500

  容忍度：0.01

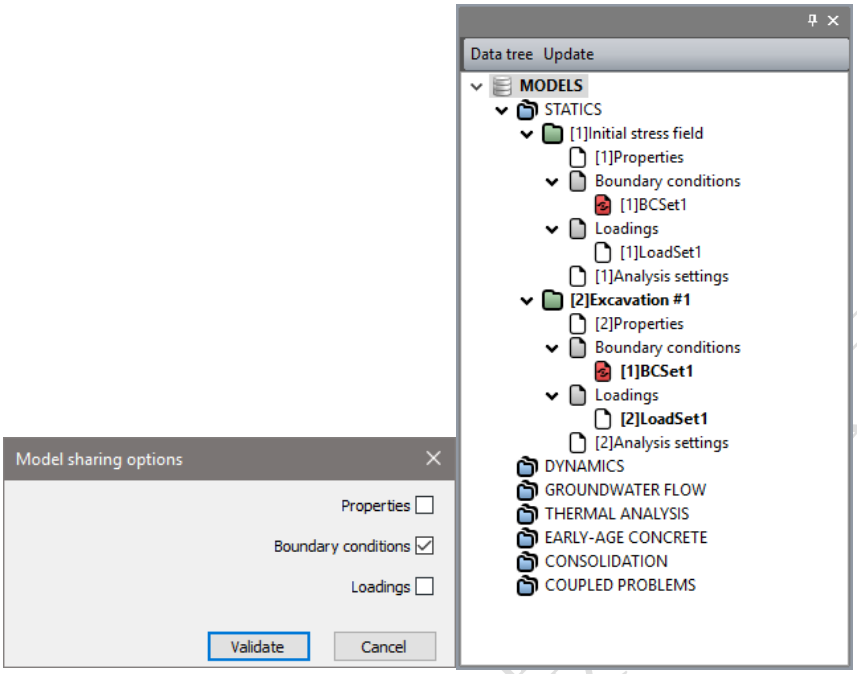
- 求解方式：1-初始应力法
- 算法类型：多波前

3.2. 开挖 1 分析的计算属性

本阶段中，采用全断面开挖，开挖后，断面上的开挖力就要应用上。当创建一个新分析阶段时，很少能通过复制直接使用前一阶段的参数，往往需要做些修改，激活属性和开挖力。

模型定义：

复制模型“初始化应力场”，命名为“开挖 1”，点击确认。在弹出中仅勾选边界条件。



激活/冻结单元：

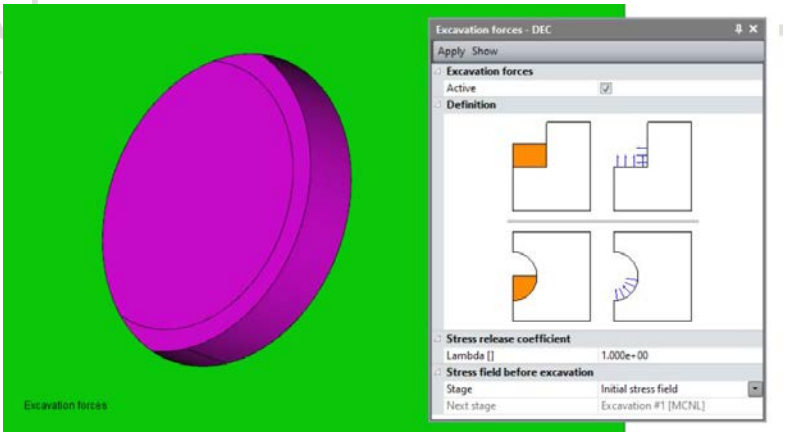
全断面开挖模拟只需将断面 1 和衬砌 1 冻结即可

边界条件：

无变化

荷载设置：开挖力 1

土体移除后，会产生开挖力，点击荷载集，按 F2 重命名“开挖力 1”，点击荷载，点击开挖力，勾选激活，设置 lambda=1，选择“初始应力场”作为原应力场，应用。



开挖力

计算参数：

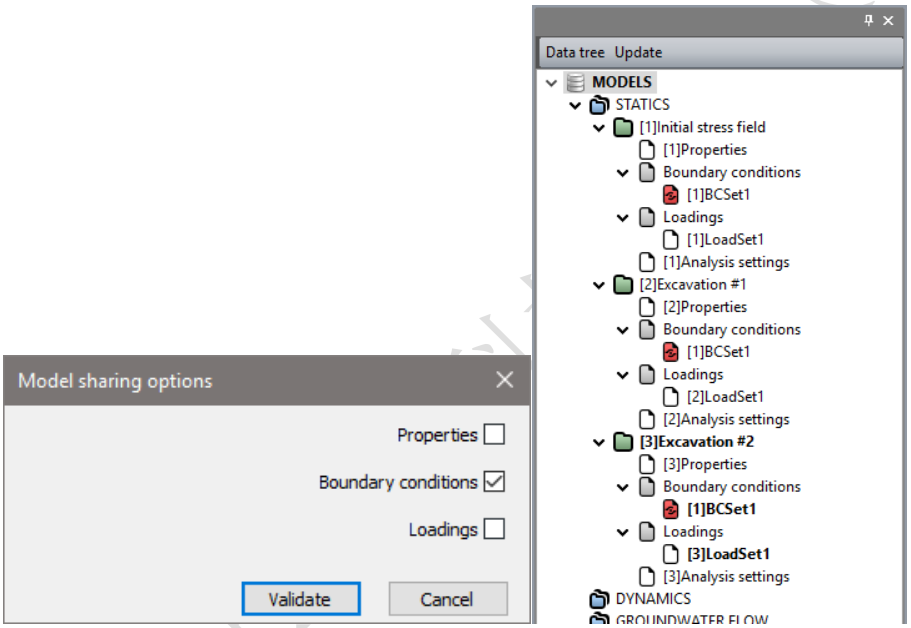
无变化

3.2. 开挖 2 分析的计算属性

本步骤中，我们开挖主廊道的第二段，并在先前开挖的第 1 段上设置了混凝土衬砌。

模型定义：

右键点击“初始应力场”，复制模型，重命名为“开挖 2”，确定，仅勾选“边界条件”



激活/冻结单元：

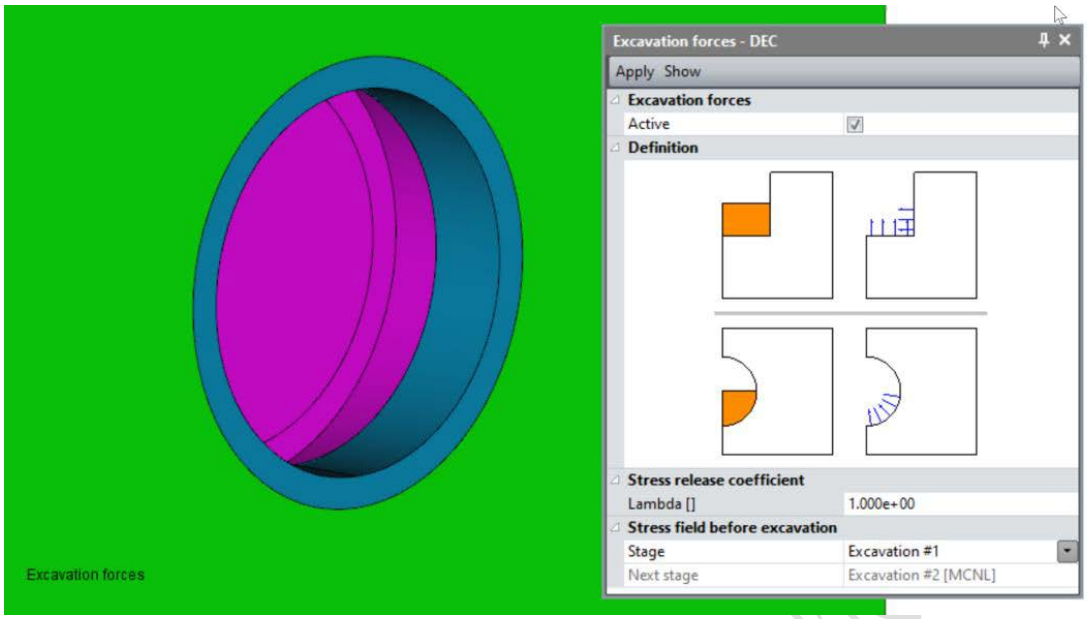
冻结断面 2 和衬砌 2。

编辑条件：

无变化

荷载设置：开挖力 2

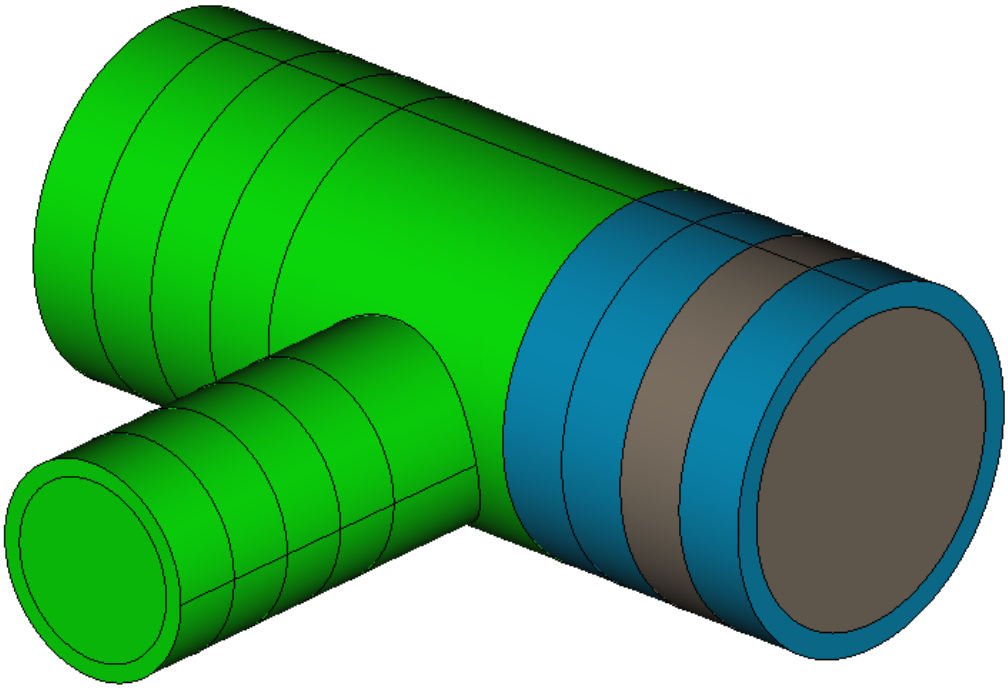
荷载集需添加土体开挖形成的开挖力。



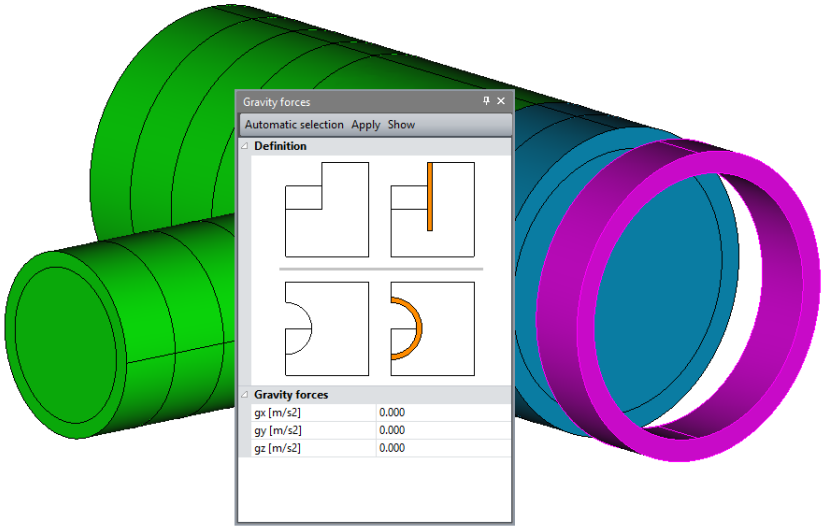
开挖力

荷载集：衬砌 1 自重

激活衬砌 1，添加荷载集，命名为“衬砌 1 自重”，确认。点击“重力”，勾选自动选择



衬砌 1 的自重（隐藏土体主体）



选中衬砌 1，定义自重（隐藏土体）

计算参数：

无变化

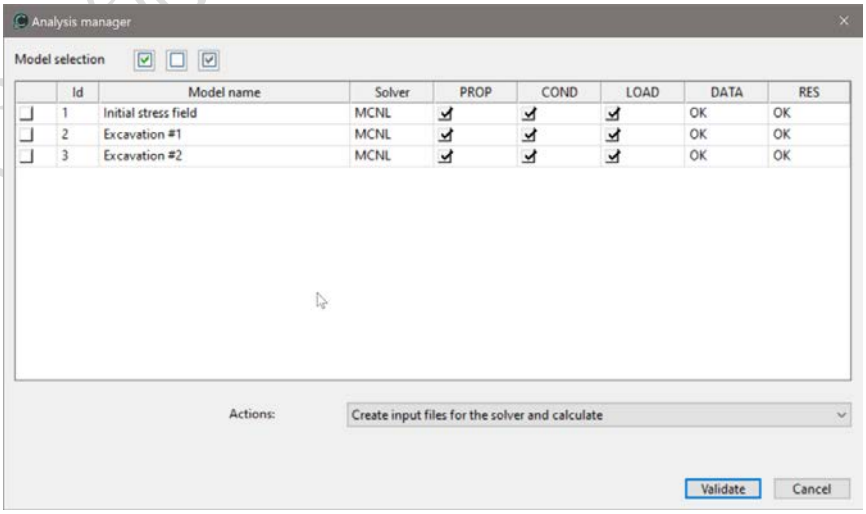
4. 求解

在本教程的范围内，我们在这里完成并运行计算。

用户将了解，主廊道 1 号和 2 号开挖建模过程可以以相同的方式复制，以完成隧道开挖，也可以对其进行调整，以模拟二级廊道的开挖。

我们同时开始计算。当然，可以单独启动计算。

勾选全部过程，分析。



计算管理

5. 结果分析

用户可显示几个标量：位移、应力、应变。

显示开挖 2 后的竖向应力

1. 点击**结果**栏
2. 点击 结果类型
   - 选择网格变形
   - 勾选等值图，在列表中选择总位移$|\mu|$
   - 应用
3. 点击 等值图设置
   - 选择区域
   - 勾选“等值线”，选择灰色
   - 应用
4. 点击 图例
   - 选择等值图作为图例类型
   - 应用

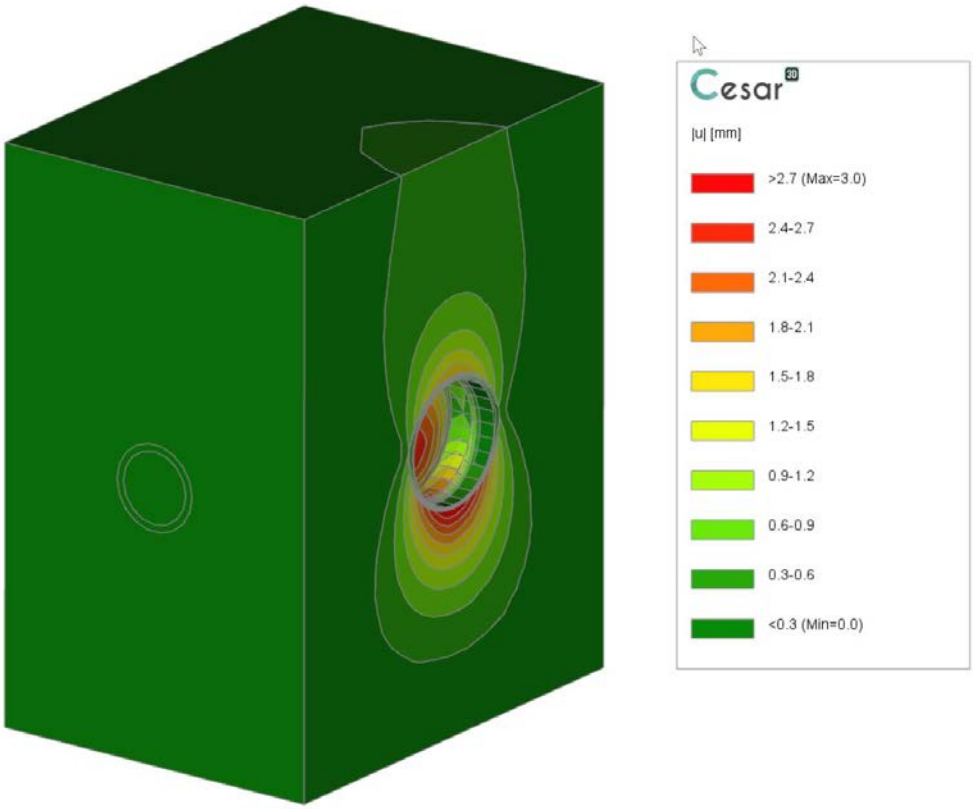


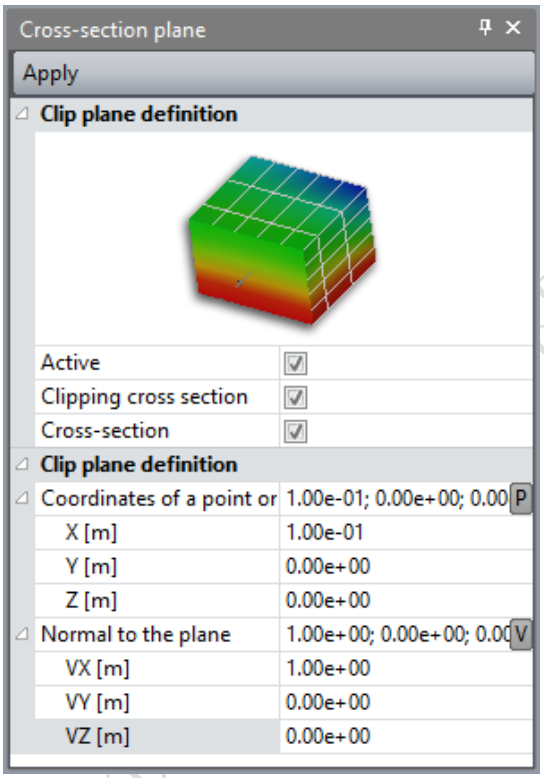
图 8：开挖 2 结束后，模型的总位移

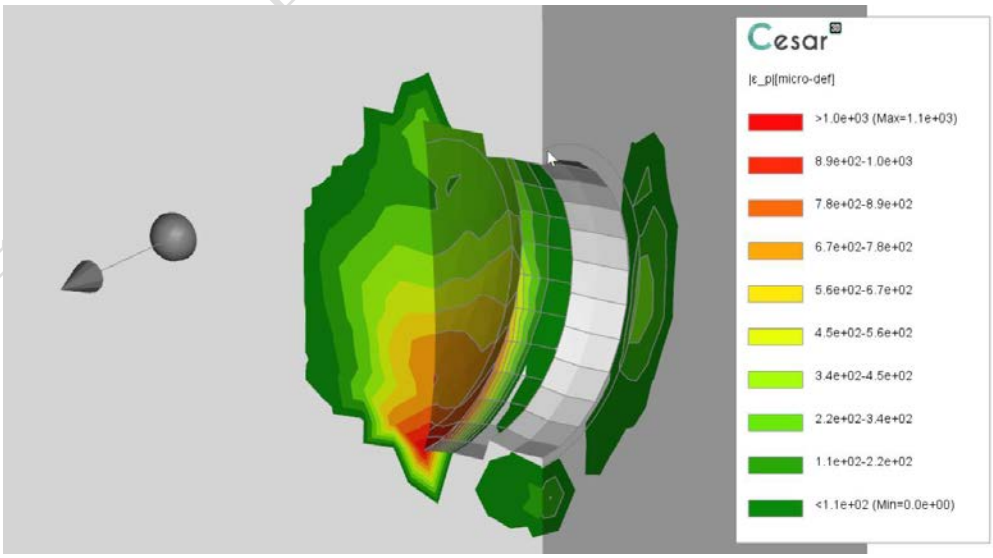
现在查看塑性应变，使用工具“横断面”。

点击显示结果，选择$|\varepsilon_p|$，塑性应变量。

点击横断面，勾选“激活、剪切横断面和横断面”。

设置点的位置（0.1，0，0），设置切面的方向和，矢量为（0，1，0），应用。





使用剪切平面查看模型内部塑性应变