教程 4 锚杆隧道

目录

1. 预览 2

1.1 问题详述 2

2. 3D 建模 4

2.1. 一般设置 4

2.2. 几何 4

2.3. 3D 网格 11

3. 计算设置 15

3.1. 初始应力场的计算设置 15

3.2. 开挖 1 分析的计算属性 18

3.3. 开挖 2 分析的计算属性 19

3.4. 开挖 3 分析的计算属性 21

4. 求解 22

5. 结果分析 22

武汉优土优木科技有限公司

1. 预览

在本教程中，我们将模拟复杂地层中的加固隧道。首先，我们将创建土体。然后我们创建隧道的基本模型，输入土壤、岩石锚杆和喷射混凝土的特性，然后划分隧道并创建网格。最后，我们将进行施工阶段分析，并分析输出结果。

本教程描述了生成几何图形的主要 CAD 工具。此外，我们还生成了连接到四面体网格的钢筋单元（岩石锚杆）。

注：本教程简化了项目的几何结构，并降低了网格密度（节点数），以提高计算速度。出于同样的目的，对材料参数也进行了调整。

1.1 问题详述

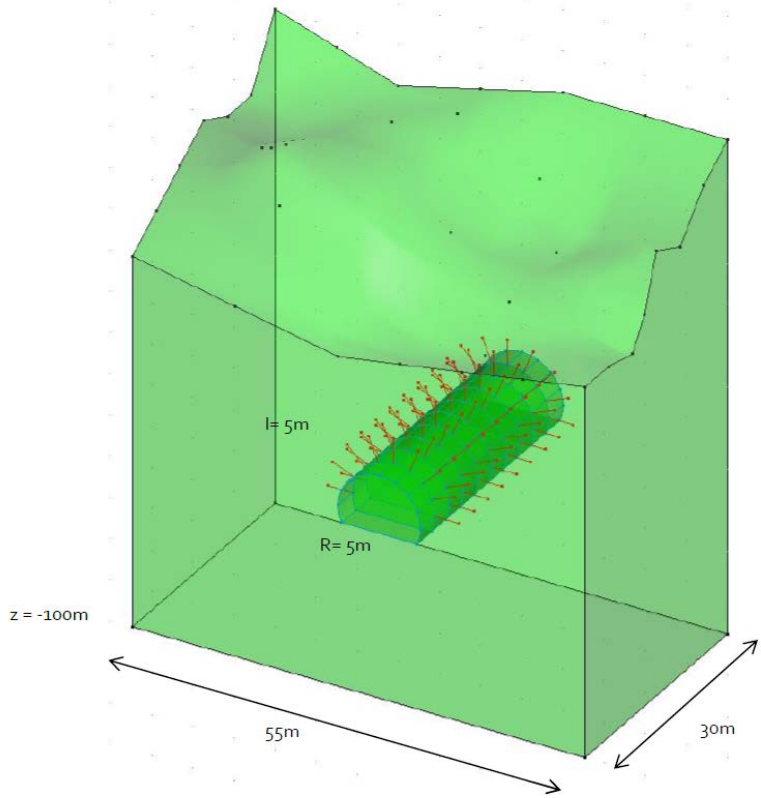
一般假设：

静态分析

3D 几何

喷射混凝土用壳单元模拟

几何：



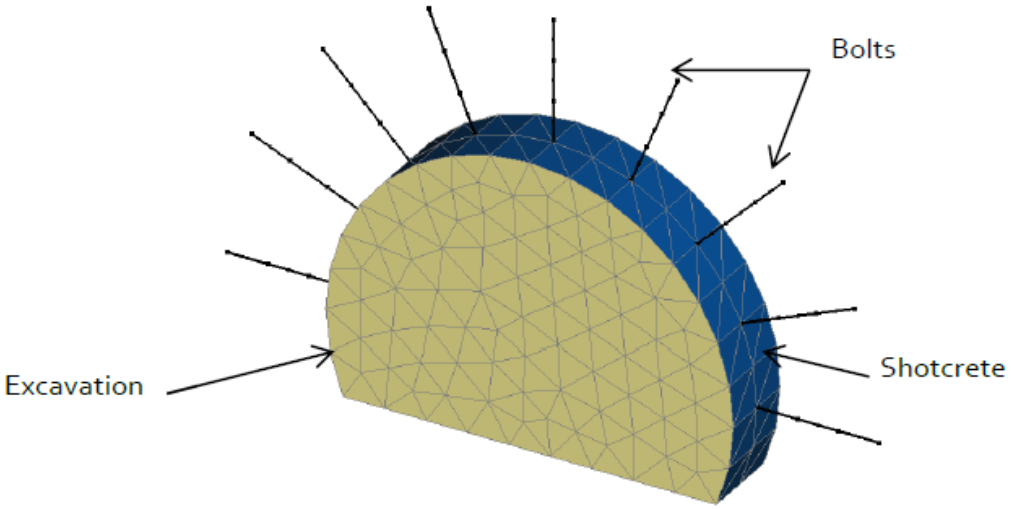
尺寸

模型包括 3 种单元：

体单元=土体

1D-单元=锚杆

壳单元=喷射混凝土



材料属性：

岩石使用莫尔-库仑模型，混凝土衬砌使用线弹性模型。

	γ (kN/m³)	E (MPa)	ν	c (kPa)	φ (°)	ψ (°)	Ko
Hard rock	24	800	0,3	250	30	0	1

	γ (kN/m³)	E (MPa)	ν	e (m)
Shotcrete	25	15000	0,2	0,15

锚杆属性如下：

	E (MPa)	S (m²)
Bolts	200000	5.10^{-4}

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

对于挖掘过程的建模，我们还将区分 14 次开挖，每次开挖由下面 3 个步骤组成：

锚杆（线单元）

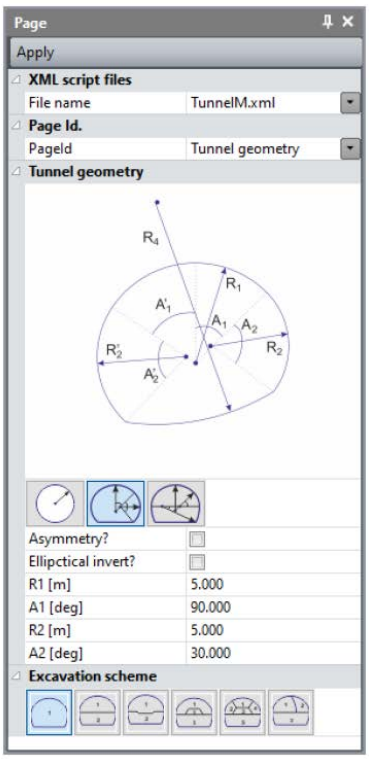
土体开挖（体单元）

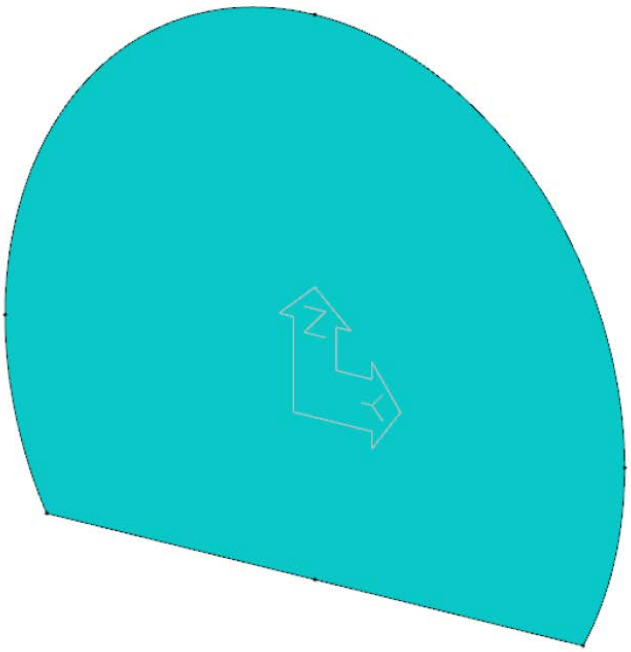
喷射混凝土（壳单元）

<u>隧道断面：</u>

将工作平面设置为 OYZ，点击脚本，选择 TunnelM.xml（默认），选择“3 半径 2 角度”，不勾选“不对称”和“椭圆反转”。

设置 R1=5m，A1=90°，R2=5m，A2=30°，开挖计划选择全断面，应用。

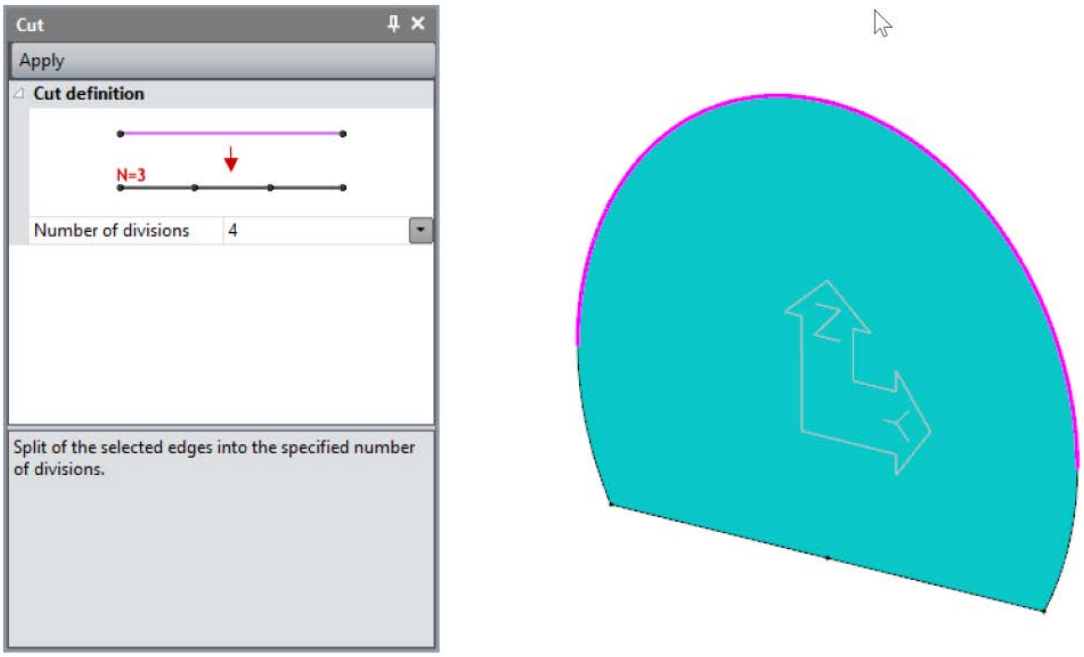




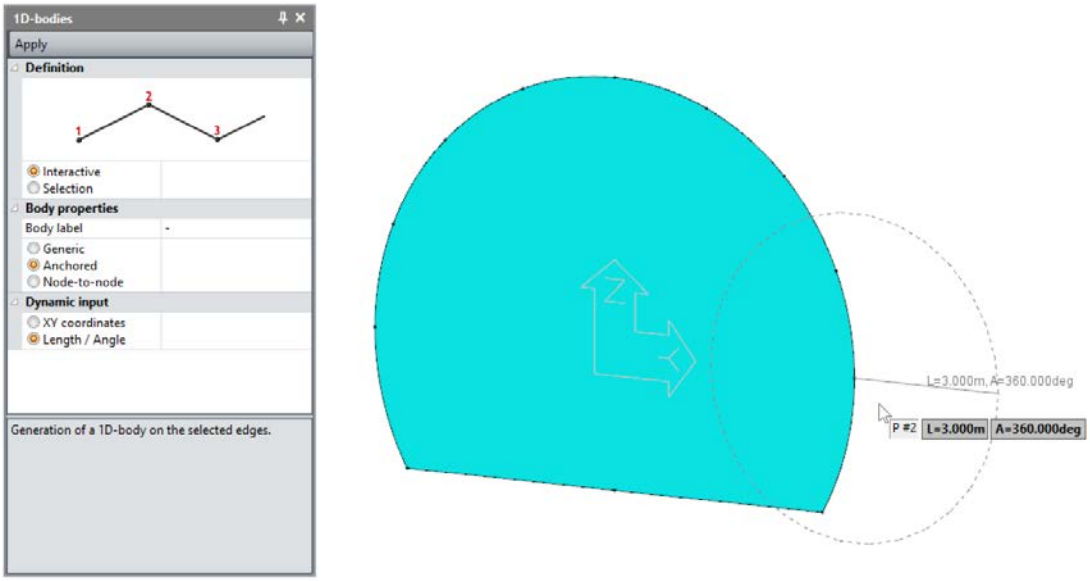
<u>锚杆：</u>

现在我们定义 9 根锚杆的位置。

选择上半圆（2 条弧），使用“切割”工具，将每段弧分成 4 等分。

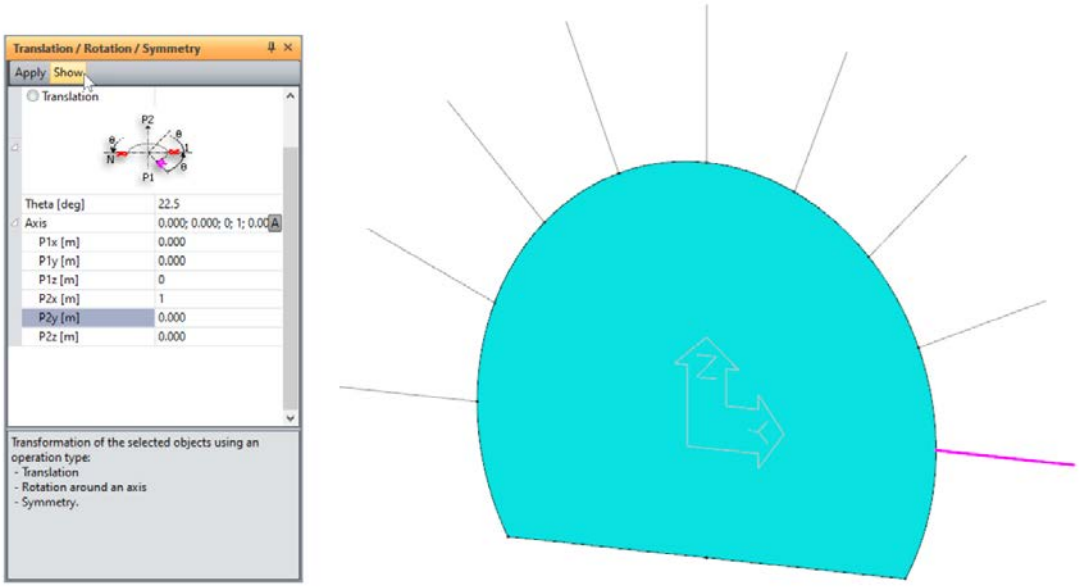


点击 1D 实体，勾选“交互”，勾选“锚固”，动态输入选择“长度/角度”，点击其中一段弧的最低点，设置 L=3m，A=360°，按“Enter”，一维实体就生成了。



按 Enter 前模型的状态

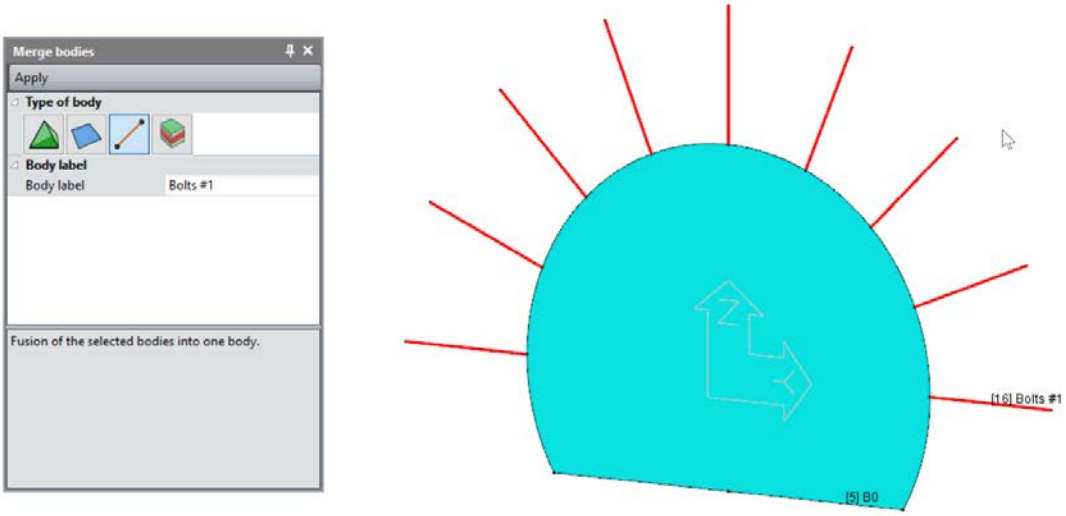
点击工具“平移/旋转/对称”，选择旋转，次数为 8，角度为 22.5°，使用两点定义旋转轴：P1（0，0，0），P2（1，0，0），应用。



在应用之前，点击显示时的预览效果

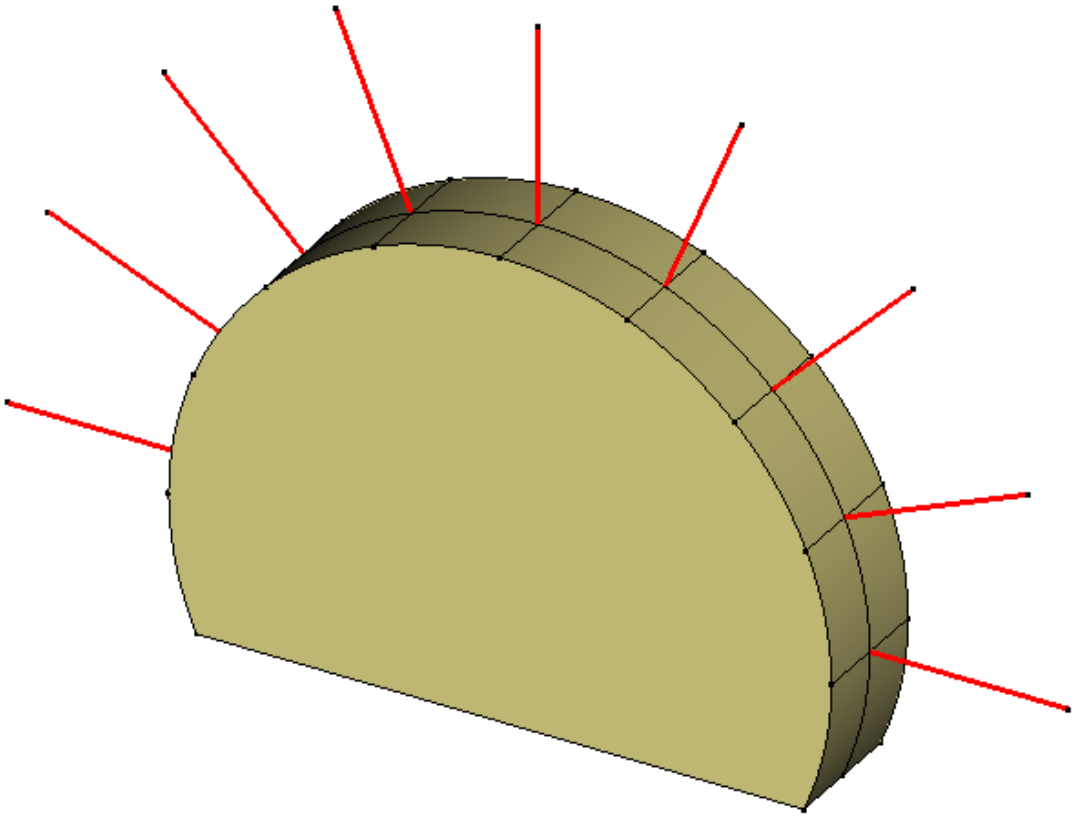
为了便于边界，可合并全部锚杆，给定一个颜色（如红色），有助于后面的操作。

选中全部锚杆，点击合并实体，点击一维实体，输入名称“锚杆 1”，应用。



开挖：

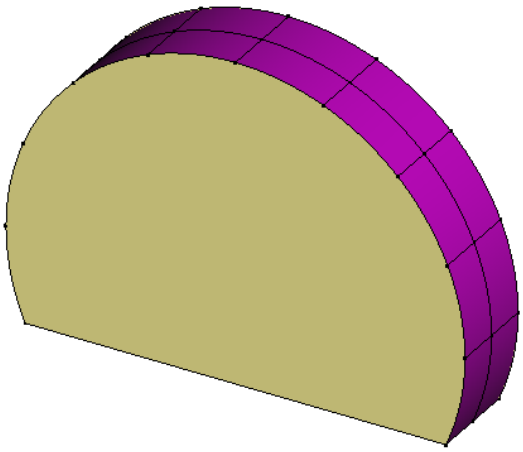
选择隧道面，拉伸，设置 Vx=1、Vy=0、Vz=0，应用，然后设置 Vx=-1、Vy=0、Vz=0，应用。合并这两个实体，用于模拟 2m 的开挖，命名为“开挖 1”。



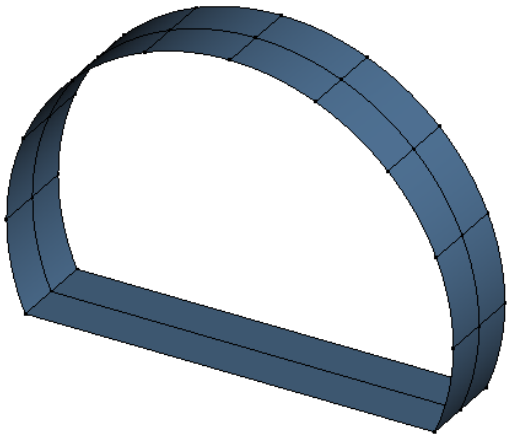
查看开挖和锚杆

喷射混凝土：

选择全部开挖面，点击“体实体上的面”，命名“喷射混凝土 1”，应用。



选择体实体的面



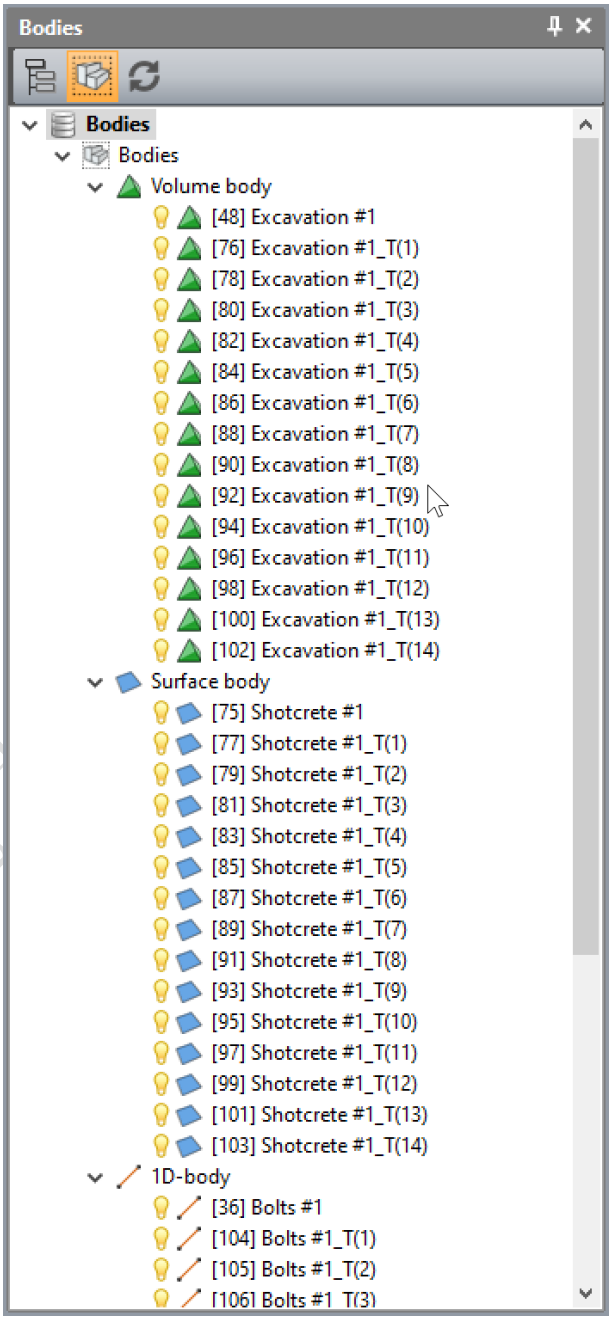
创建的面实体

廊道：

廊道有 15 次开挖，可通过对第一次开挖平移生成。

选择体实体“开挖 1”、1D-实体“锚杆 1”、面实体“喷射混凝土 1”，点击平移，设置 Vx=-2、Vy=0、Vz=0，次数为 14，应用。

注意，实体的名称是自动生成的，用户可使用“属性”修改这些名称



武汉优土优木

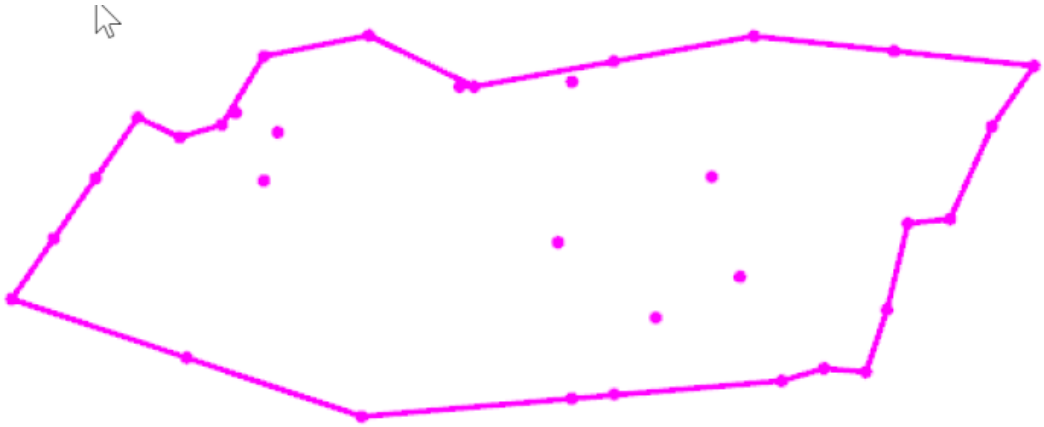
土体：

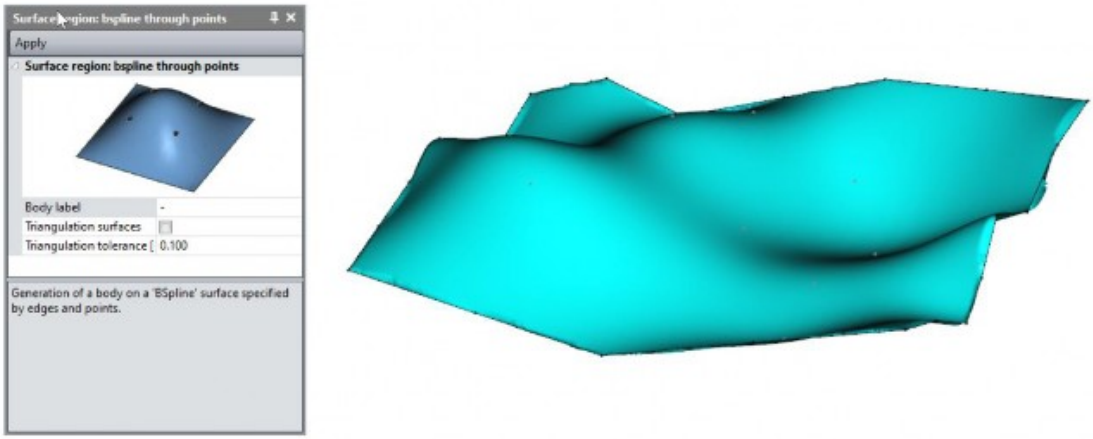
为了便于操作新实体，我们先隐藏创建廊道时生成的全部实体（体、面、1 维实体），

选中全部实体，点击“隐藏选择”。

点击文件-导入，选择“Terrain.cleo36”，软件安装目录中的 tutorial 文件夹下。边和点被导入了，使用他们来创建上表面。

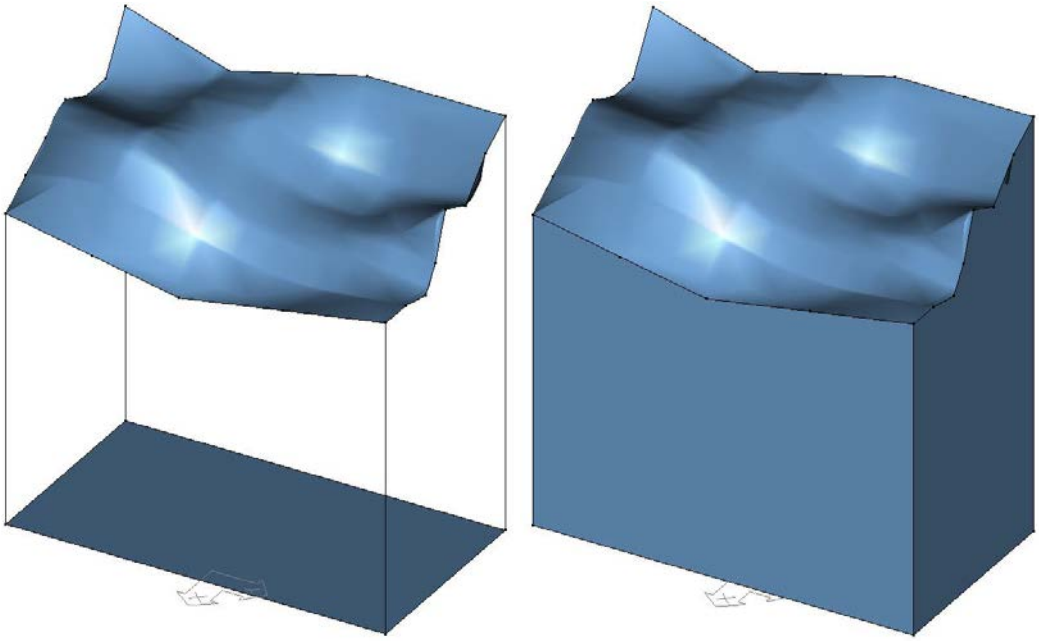
点击 B 样条法，保持默认设置，选择边界和点，应用。



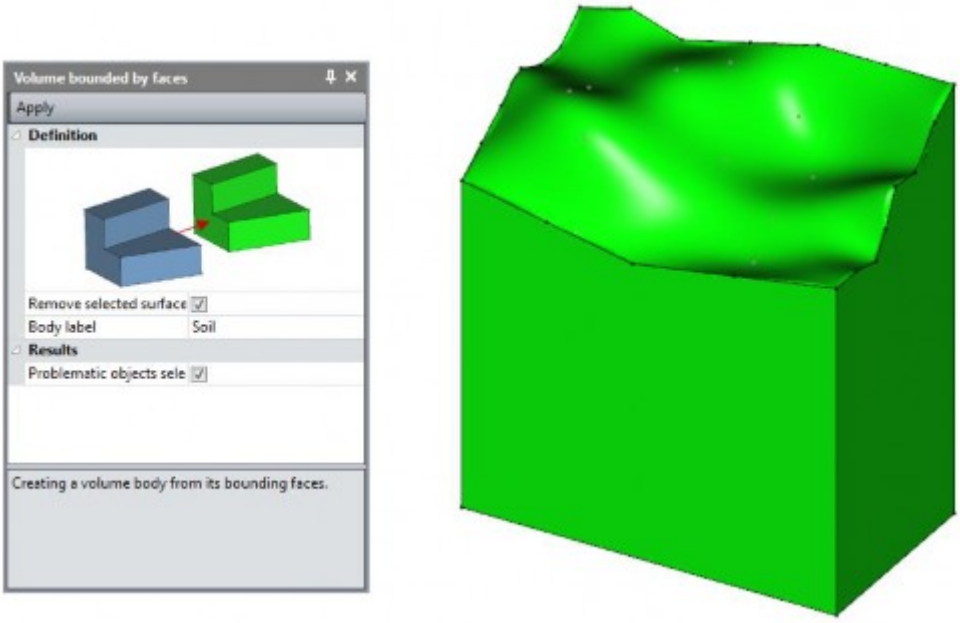


底面在 z=0 处。

点击“点”，添加 A (1 ; -30 ;-25)、 B (1 ; 25 ; -25)、 C (-29; 25 ; -25)、 D (-29; -30 ; -25)，使用线工具，连接 A-B-C-D-A，选择全部线，然后点击“平面”，即生成了底面。



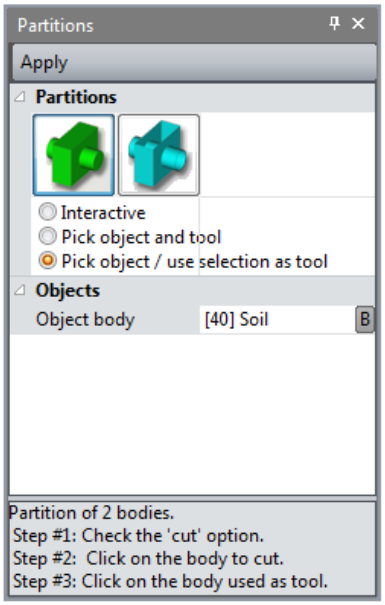
完成实体：连接 AA', BB', CC' 和 DD'，然后生成另外 4 个面，选择全部面，点击“通过面形成体”，命名“土体”，应用。

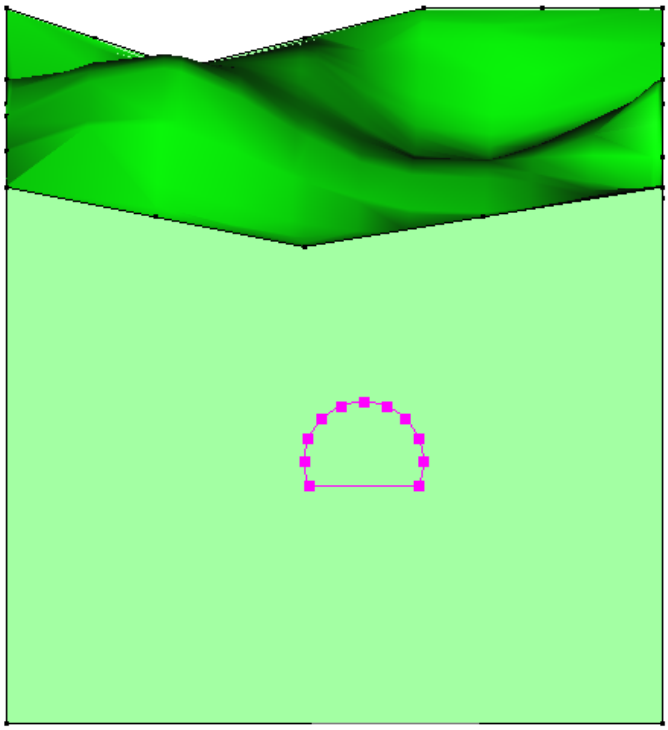


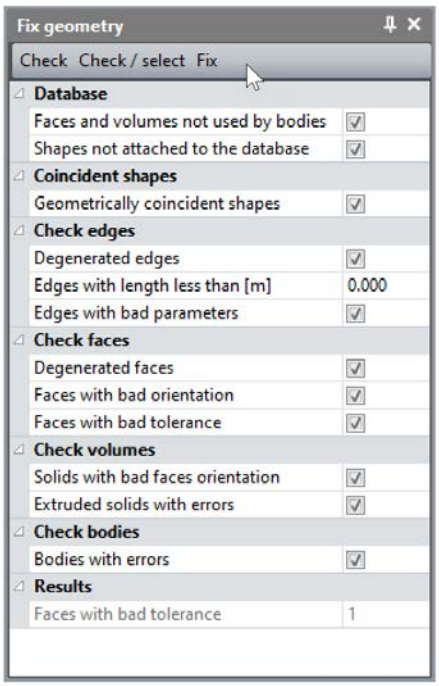
体相交：

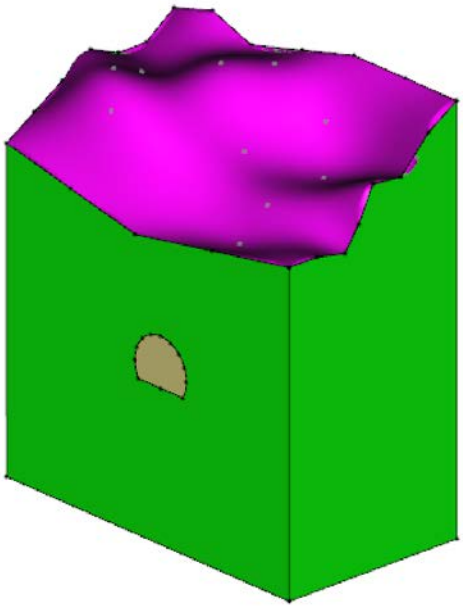
已经创建了 2 个独立的体：土体和廊道（开挖），现在将其进行相交处理。

点击“体相交”，勾选“选择实体/将选择作为工具”，对象实体选土体，应用。









2.3. 3D 网格

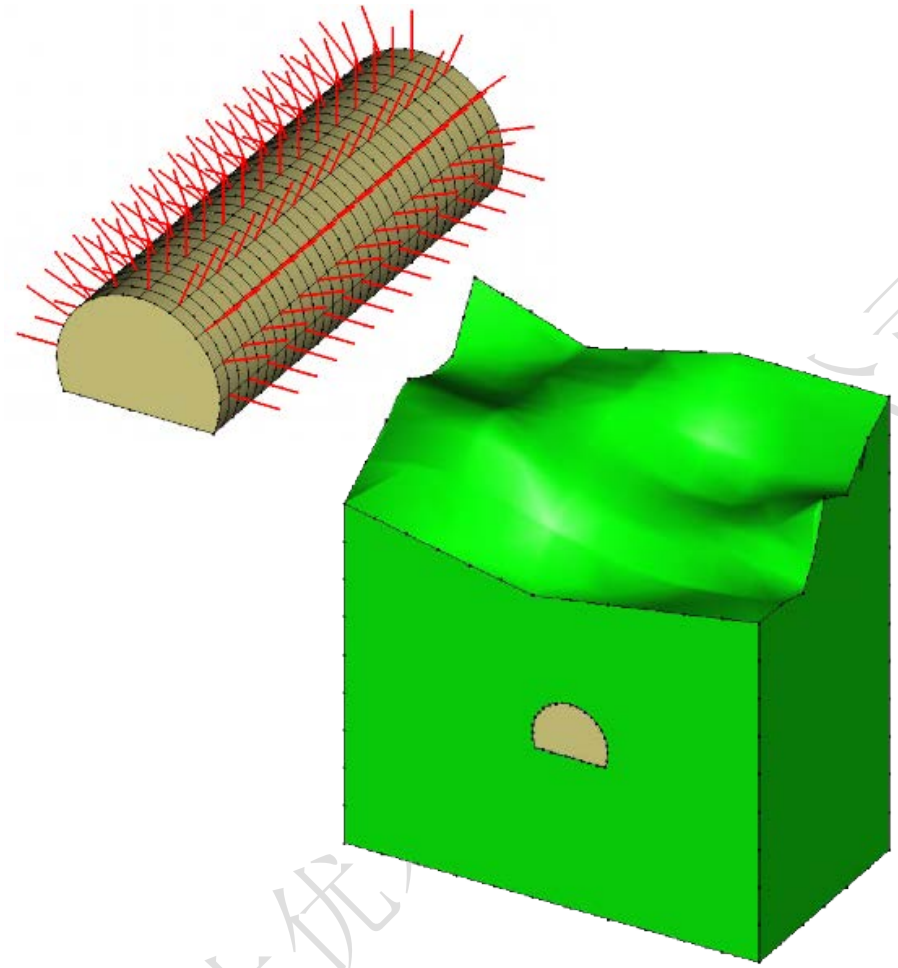
在高应力区域细化网格，即开挖廊道附近。

网格密度：

选择全部模型，点击固定长度密度，输入 5m，确认。

选择隧道的全部边，点击固定长度密度，输入 1m，确认。

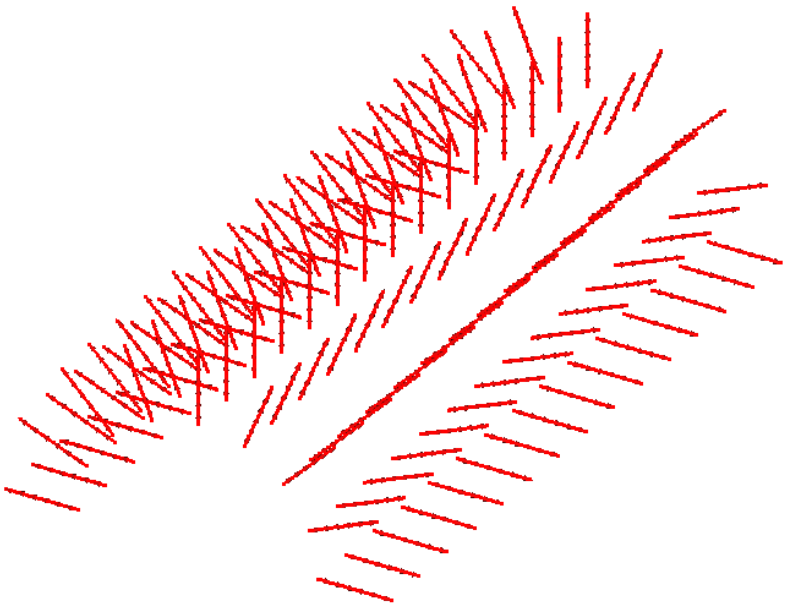
选择全部锚杆的边，点击固定长度密度，输入 0.5m，确认。



有一种简单的方法可选中廊道和锚杆的全部边界，使用前视图，然后框选即可。

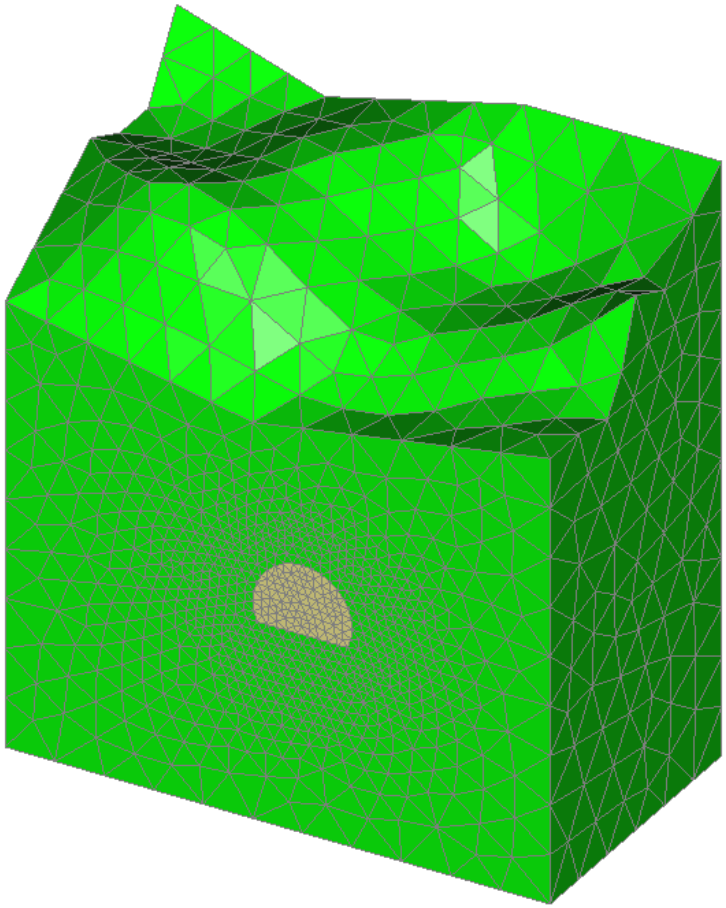
3D 网格划分：

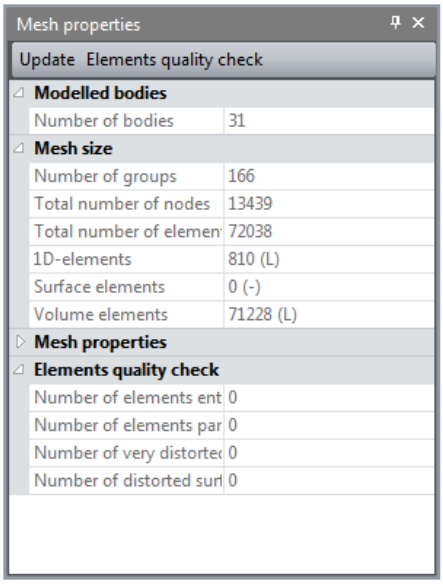
首先划分锚杆，选择全部一维实体锚杆，点击“一维实体网格”，选择“线性插值”，应用。再次选中锚杆，点击“几何-固定的（特殊单元）”，选择“创建”，应用。



现在为体划分网格：

选择全部实体，点击“体网格”，选择“线性插值”，设置“四面体网格”，选择默认的 Tetmesh 生成器，设置密度因子为 1，网格创建方式选择“3 次”，应用。





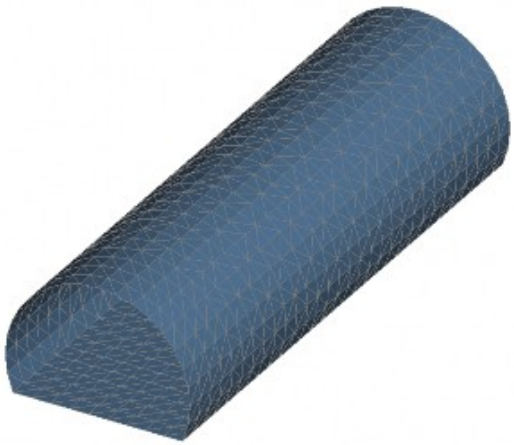
用户可查看单元、节点的数量，以及网格的质量

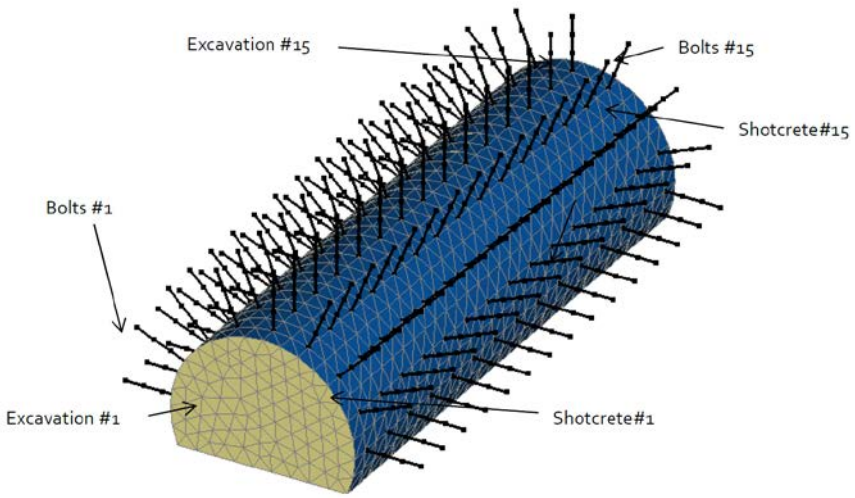
1、 打开工具“网格属性”

2、 点击单元质量检查

最后，生成壳单元。

选中全部面实体，点击“面网格”，依次选择“线性插值、三角网、3次”，应用。





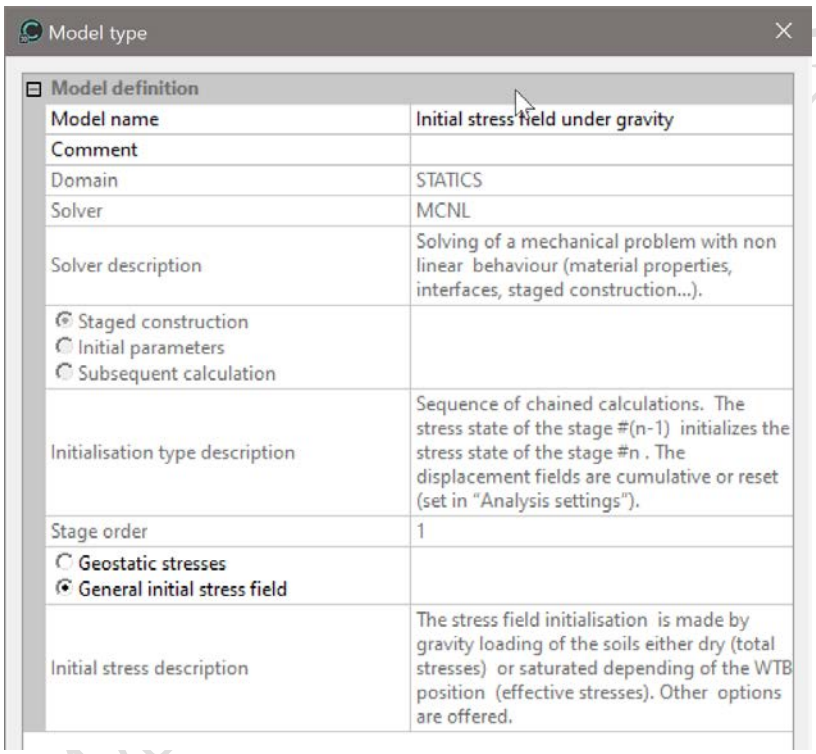
3. 计算设置

3.1. 初始应力场的计算设置

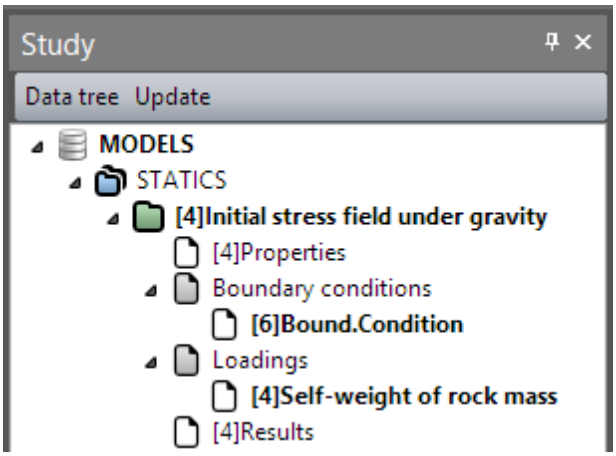
分阶段施工过程要求在施加荷载之前定义初始应力场。对于本项目，由于顶面不是水平，我们不能使用“K_0程序”初始化。

3.1.1 模型定义：

添加模型，命名为“初始化应力场”。勾选 MCNL、分步施工、一般初始应力场，点击确认。



现在，数据树显示如下：



3.1.2 材料数据：

材料属性-体实体：

添加体实体属性，命名“rock”，如下表：

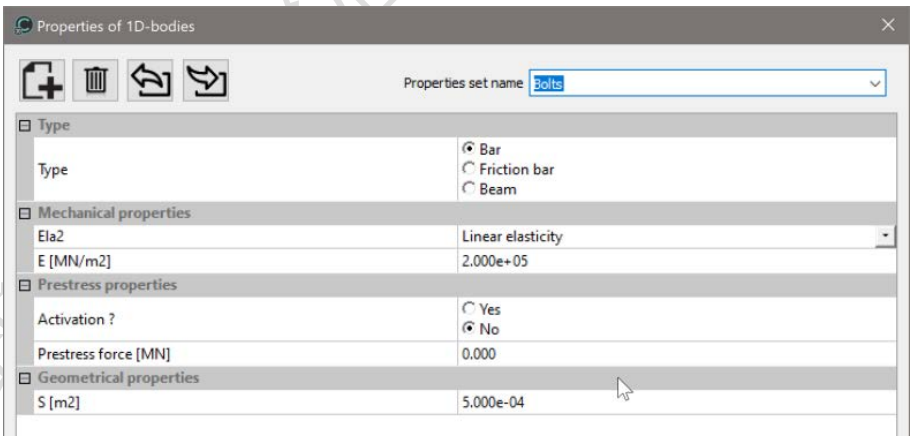
	ρ (kg/m3)	E (MN/m²)	ν	c (MN/m²)	φ (°)	ψ (°)
Rock for Ko	2400	800	0,49	0,25	30	0
Rock	2400	800	0,3	0,25	30	0

为了让岩体内 K_0=1，我们使用同样的参数新建“rock for K_0”，只将泊松比修改为 0.49。

材料属性-锚杆：

点击一维实体属性，命名“锚杆”，类型选择“杆”，输入如下参数：

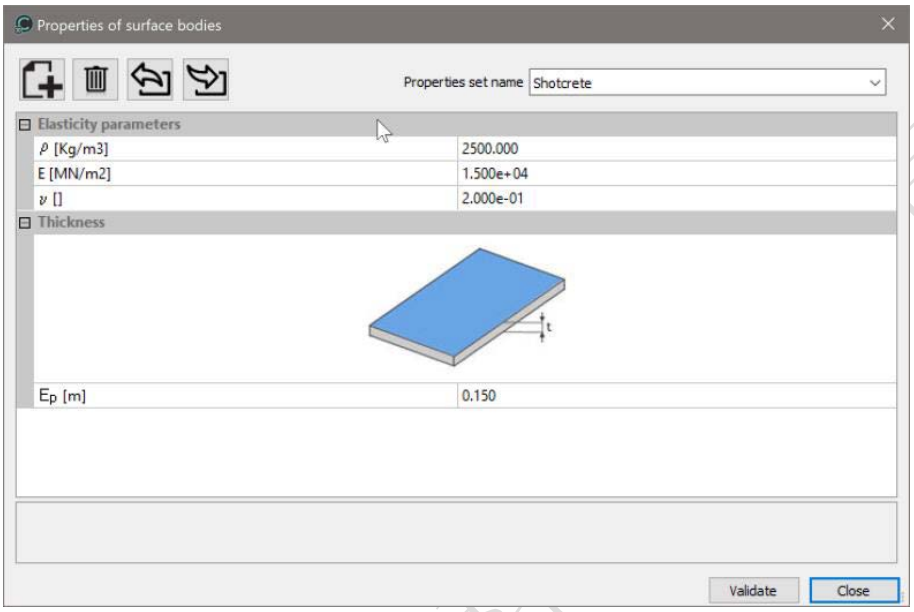
Name of the body	Type	E (MPa)	S (m²)
Bolts	Bar	200 000	5.10^{-4}



材料属性-喷射混凝土：

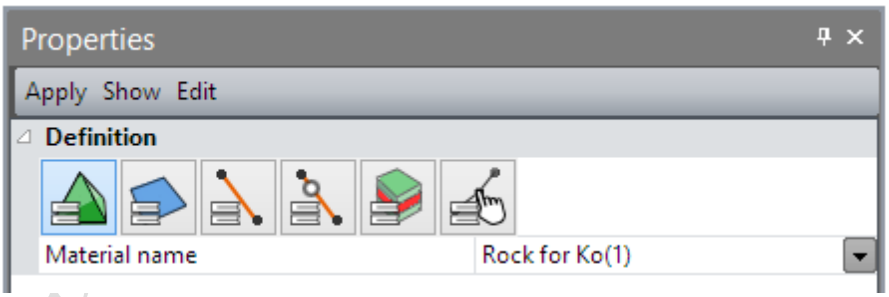
新建面实体属性，命名“喷射混凝土”，设置弹性参数和厚度。

	ρ (kg/m3)	E (MN/m²)	ν	Thickness (m)
Shotcrete	2500	15000	0,2	0,15



指定属性集：

将刚才新建的属性集赋予给相应的材料，注意土体用“Rock for K_0”。



激活/冻结实体：

在阶段 1，全部实体都为土体，锚杆和喷射混凝土不用激活。

边界条件：

点击边界条件，点击侧面和底部支撑，应用。

荷载集：

点击重力，选择全部实体，应用。

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

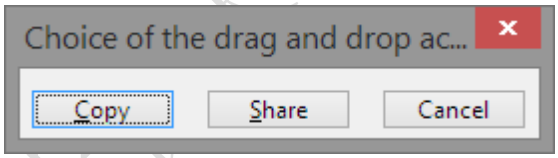
算法类型：多波前

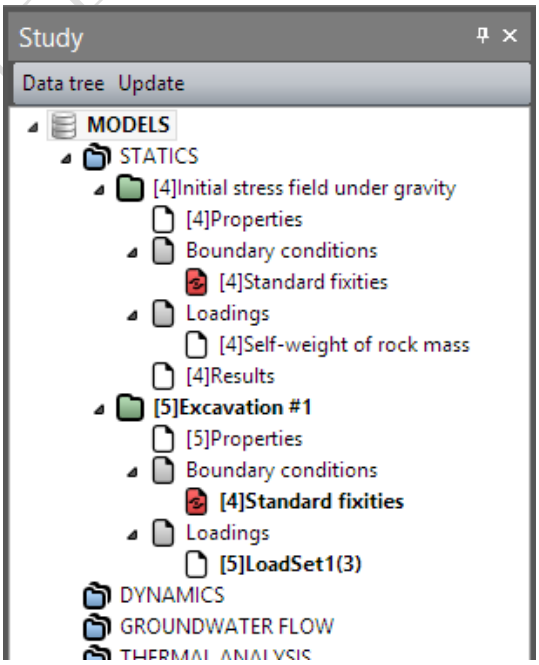
3.2. 开挖 1 分析的计算属性

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：

新建模型“初始化应力场”，命名为“开挖 1”，点击确认。将上一阶段的属性通过拖放复制过来，并将边界条件通过拖放分享。





指定属性集：

将岩土体属性改为“岩石”。

激活/冻结单元：

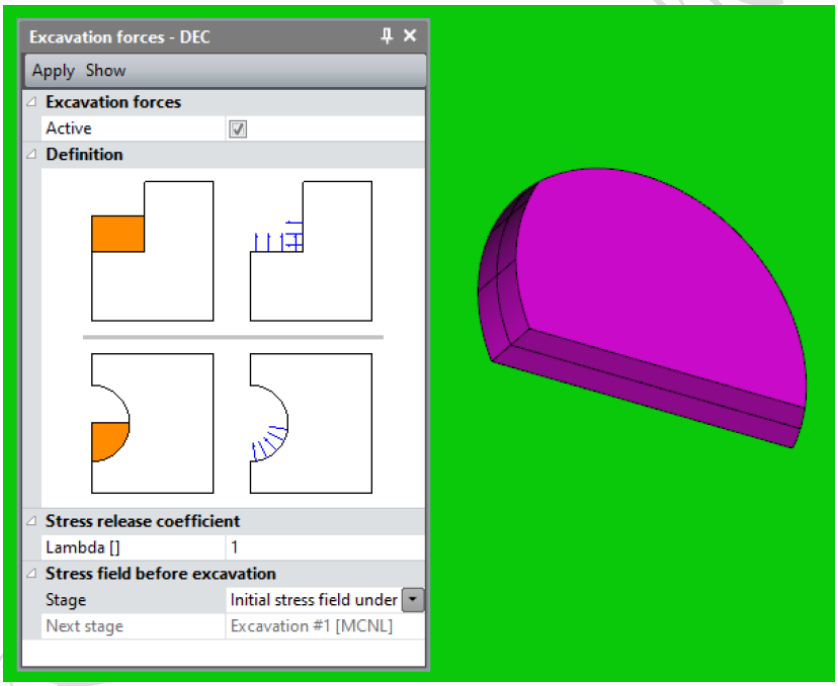
全断面开挖模拟只需将断面 1 和衬砌 1 冻结即可。

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。



计算参数：

无变化

3.3. 开挖 2 分析的计算属性

本步骤中，我们继续向前开挖，并在先前开挖的第 1 段上激活喷射混凝土和锚杆。

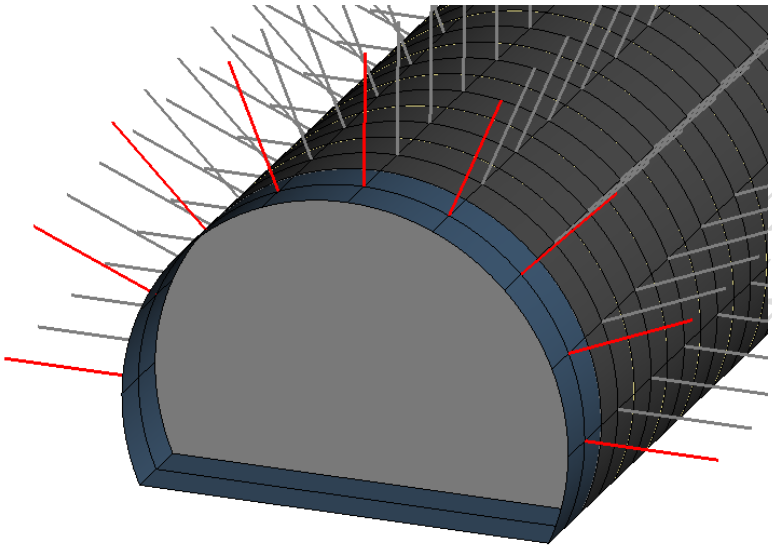
模型定义：

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

激活/冻结单元：

冻结断面 2 和衬砌 2，激活喷射混凝土 1 和锚杆 1。

为了便于操作，用户可隐藏岩体。

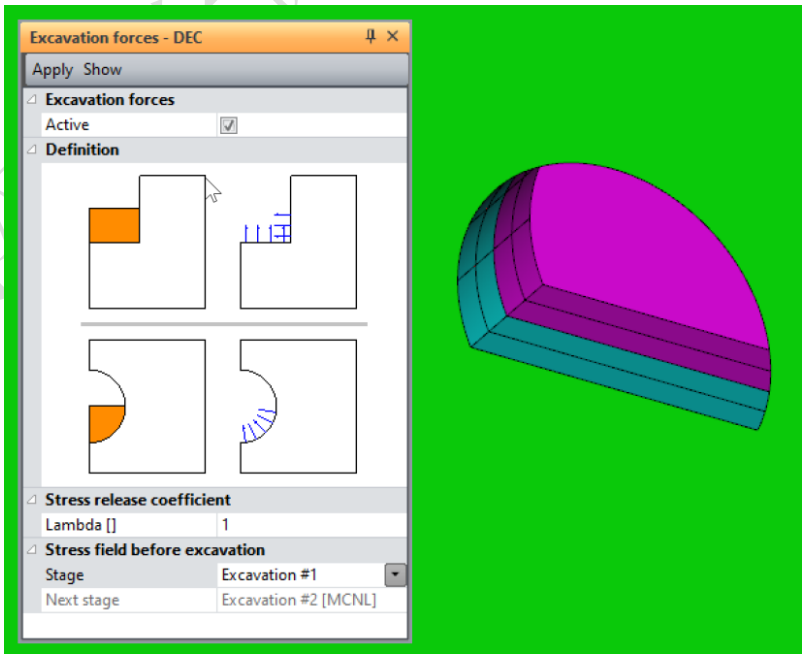


边界条件：

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。



荷载集：衬砌 1 自重

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，应用。

计算参数：

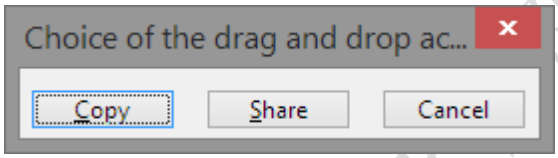
无变化

3.4. 开挖 3 分析的计算属性

本步骤中，我们继续向前开挖，并在先前开挖的第 2 段上激活喷射混凝土和锚杆。

模型定义：

右键点击“初始应力场”，复制模型，重命名为“开挖 3”，确定，勾选“属性”和“边界条件”。



激活/冻结单元：

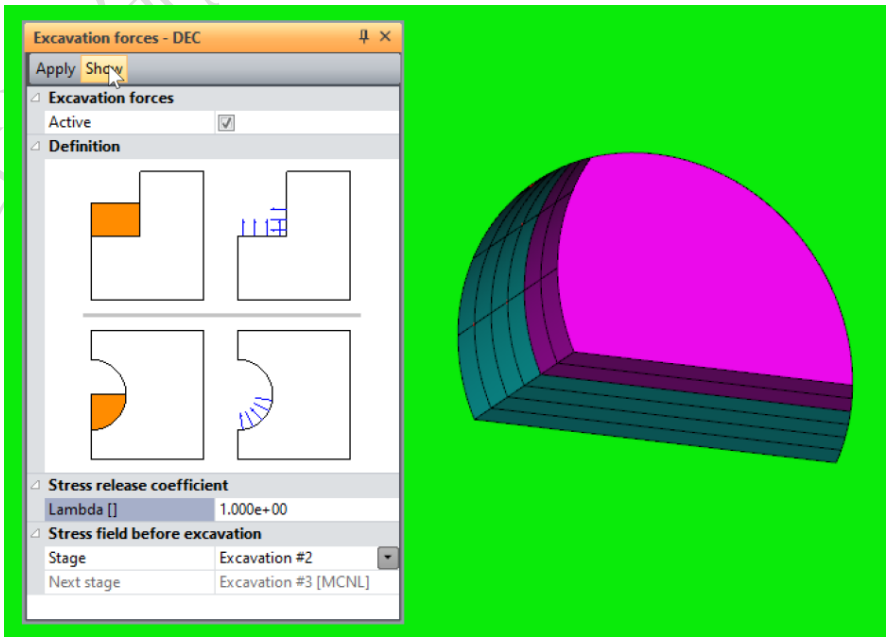
冻结断面 3 和衬砌 3，激活喷射混凝土 2 和锚杆 2。

边界条件：

无变化

荷载设置：开挖力 3

荷载集需添加土体开挖形成的开挖力。



荷载集：衬砌 2 自重

添加荷载集，命名为“衬砌 2 自重”，确认。点击“重力”，勾选自动选择，应用。

计算参数：

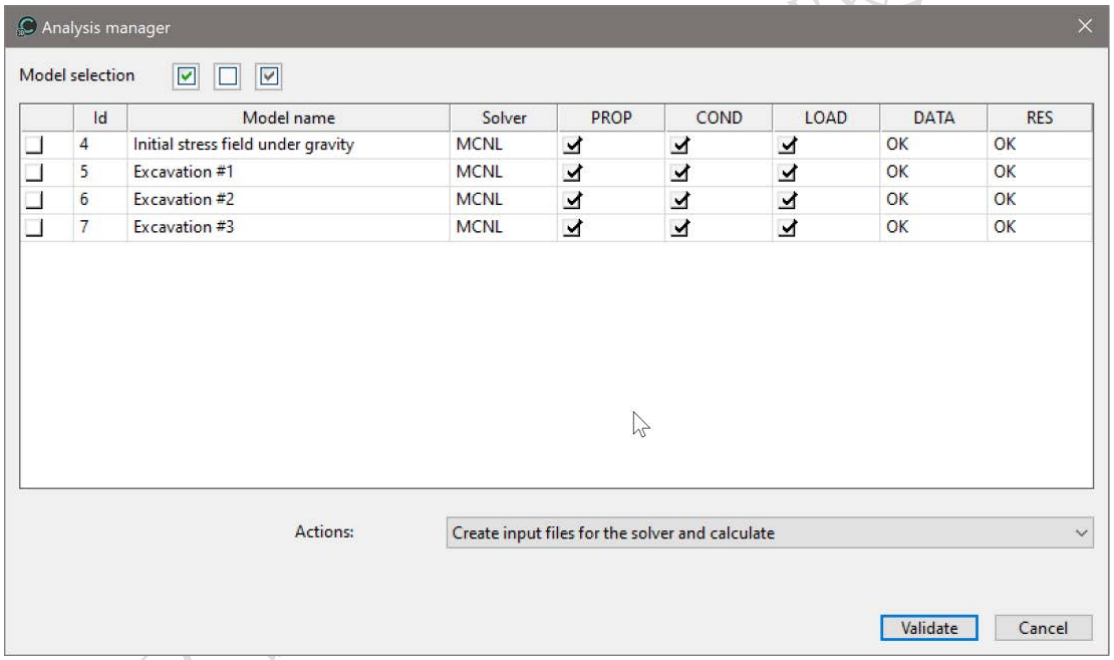
无变化

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 2 号和 3 号开挖建模过程可以以相同的方式复制。

勾选全部过程，分析。



	Id	Model name	Solver	PROP	COND	LOAD	DATA	RES
☐	4	Initial stress field under gravity	MCNL	☑	☑	☑	OK	OK
☐	5	Excavation #1	MCNL	☑	☑	☑	OK	OK
☐	6	Excavation #2	MCNL	☑	☑	☑	OK	OK
☐	7	Excavation #3	MCNL	☑	☑	☑	OK	OK

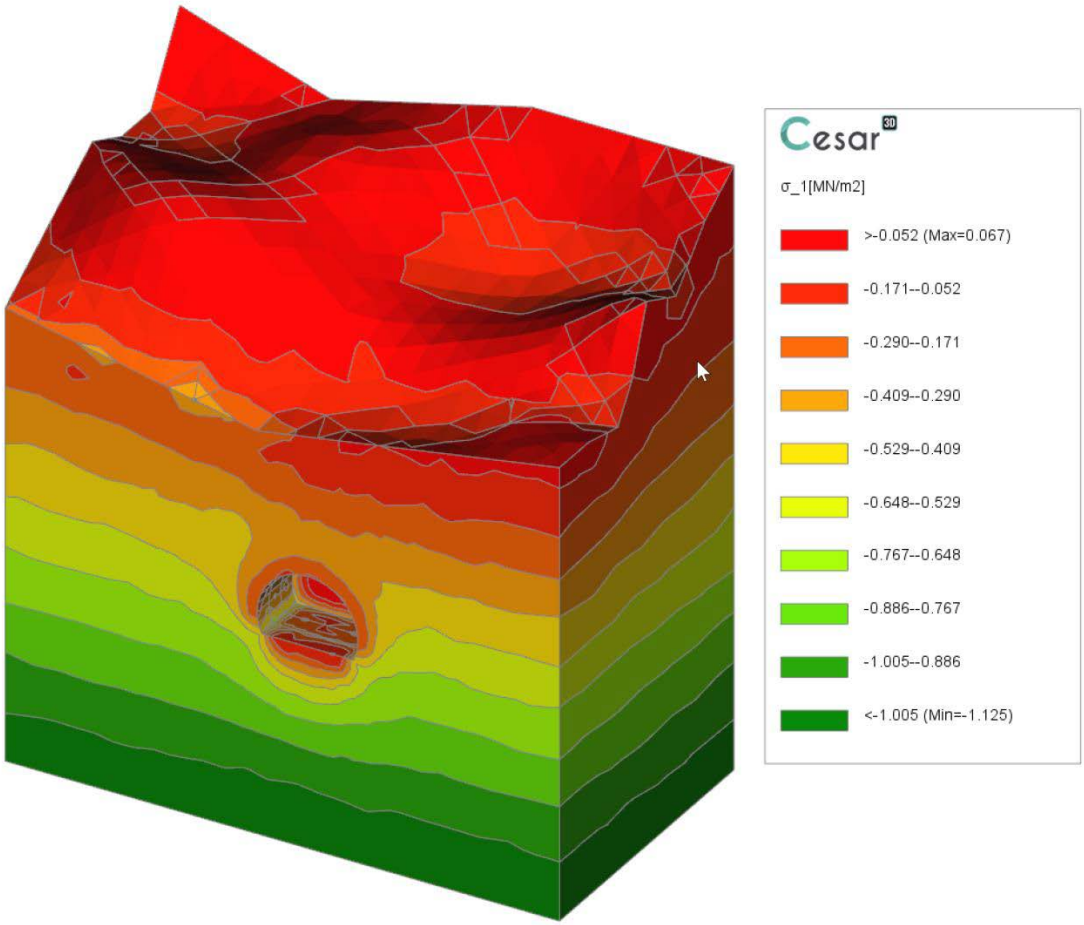
5. 结果分析

显示开挖 3 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，在列表中选择总应力 S_1
   - 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

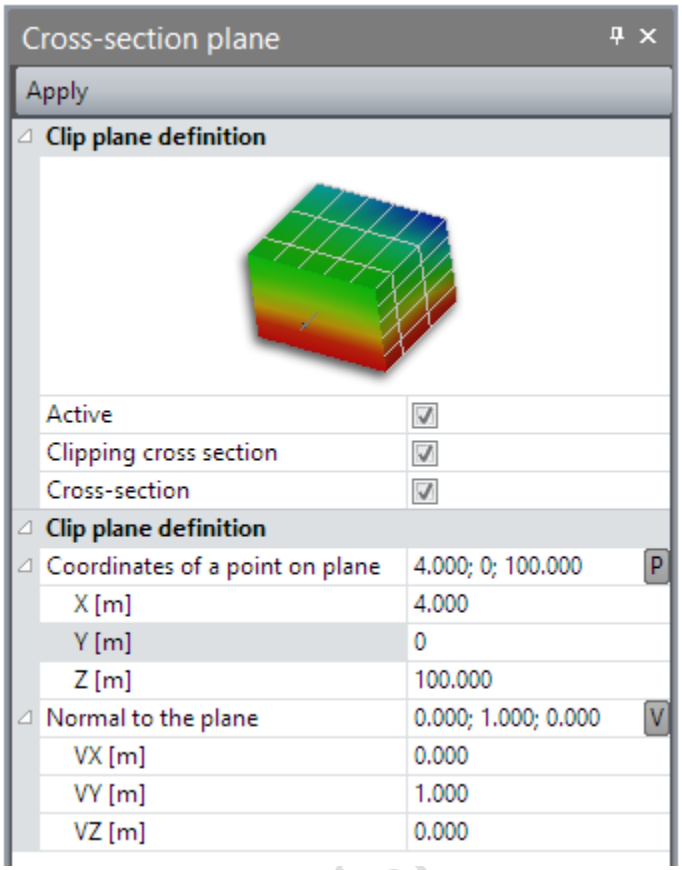


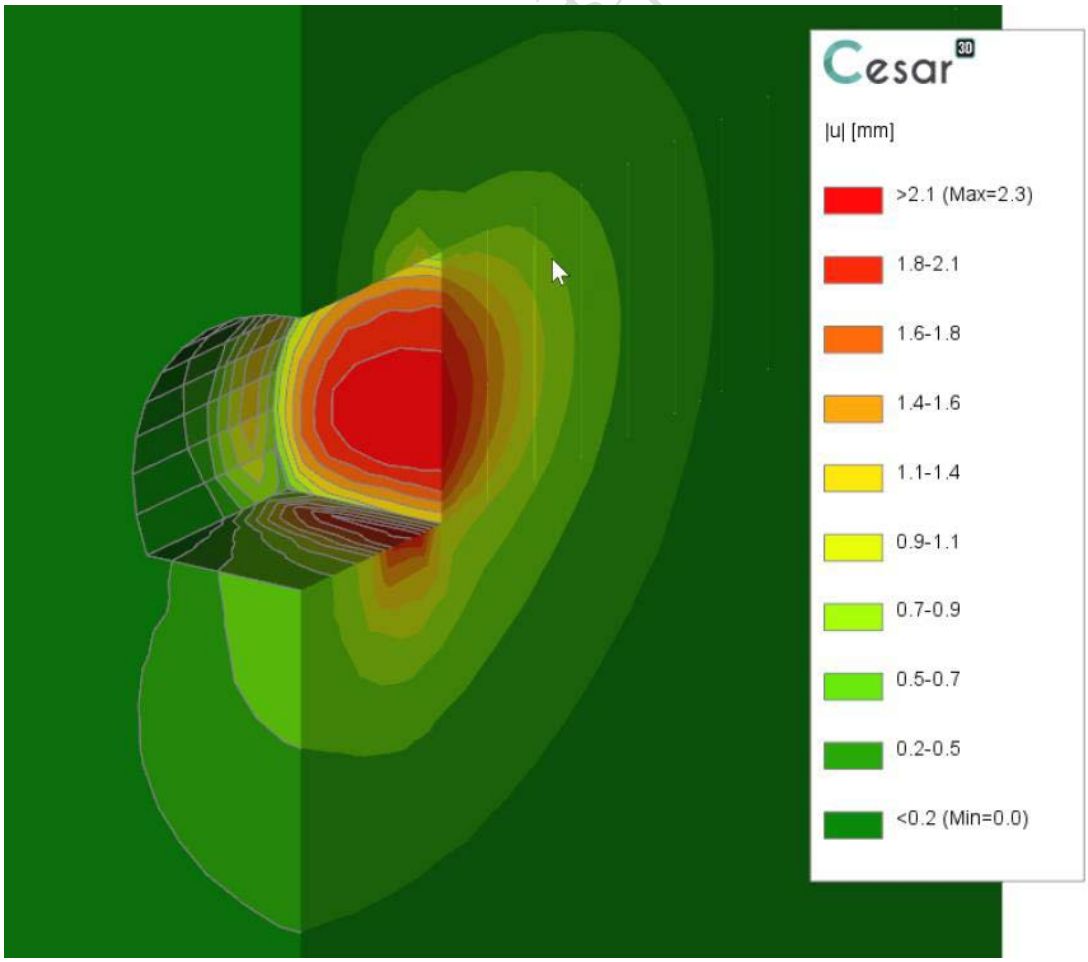
现在查看总位移，使用工具“横断面”。

点击显示结果，选择总位移。

点击横断面 ，勾选“激活、剪切横断面和横断面”。

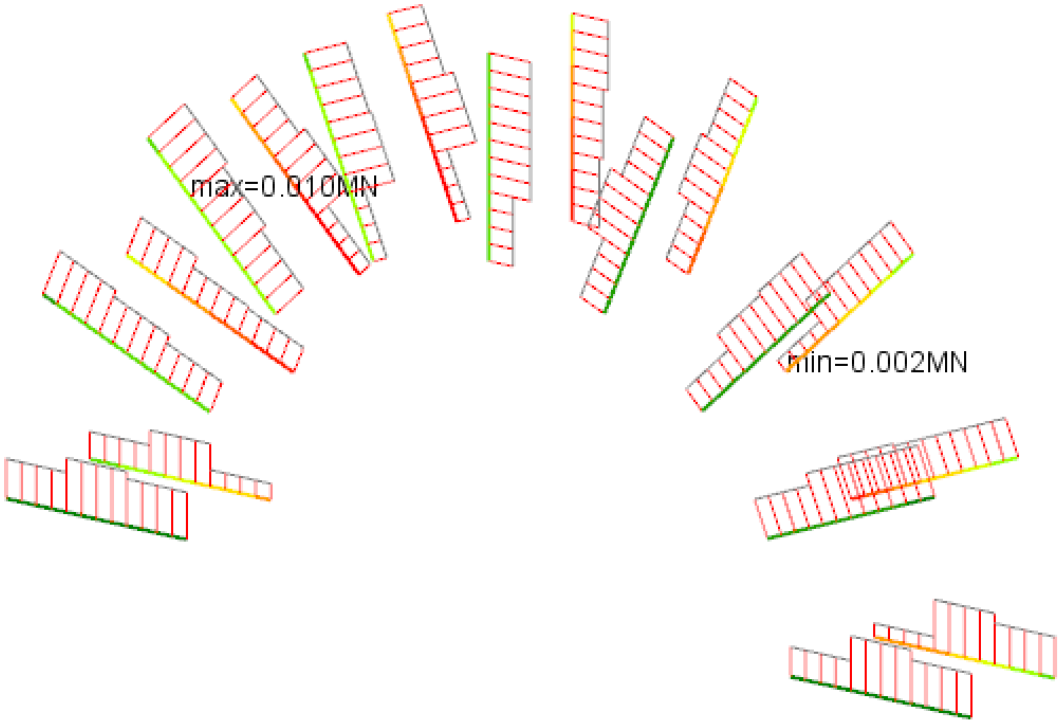
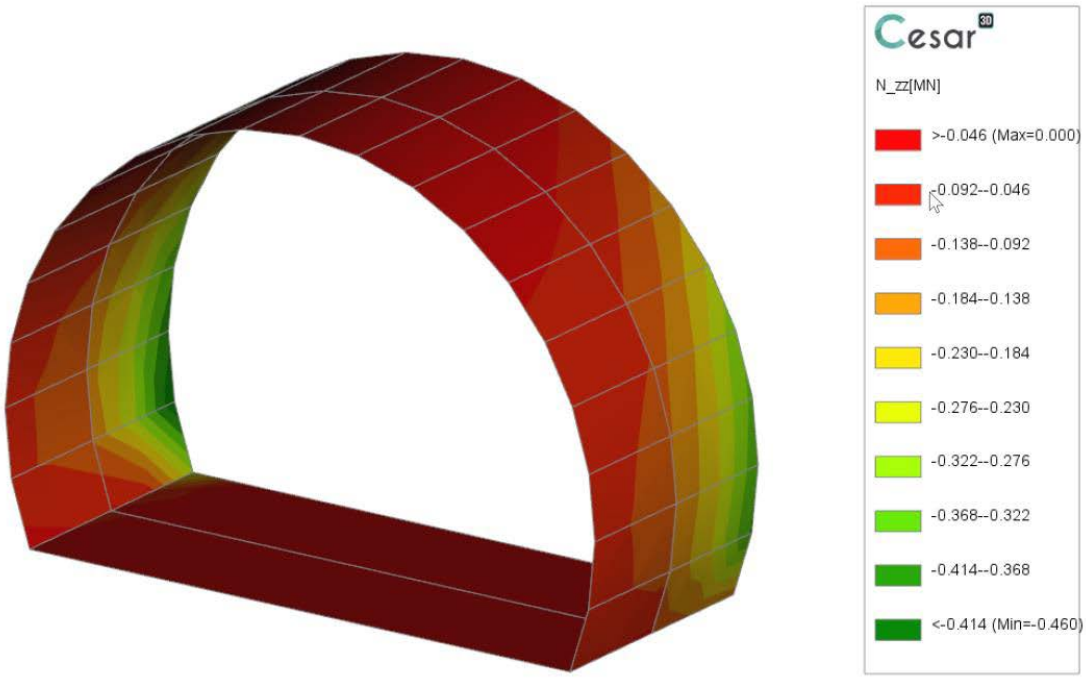
设置点的位置（32，0，100），设置切面的方向和，矢量为（0，1，0），应用。


Cross-section plane
Apply
Clip plane definition
Active
Clipping cross section
Cross-section
Clip plane definition
Coordinates of a point on plane
4.000; 0; 100.000
P
X [m]
4.000
Y [m]
0
Z [m]
100.000
Normal to the plane
0.000; 1.000; 0.000
V
VX [m]
0.000
VY [m]
1.000
VZ [m]
0.000


Cesar
|u| [mm]
>2.1 (Max=2.3)
1.8-2.1
1.6-1.8
1.4-1.6
1.1-1.4
0.9-1.1
0.7-0.9
0.5-0.7
0.2-0.5
<0.2 (Min=0.0)

最后，我们将显示壳和锚杆的准确信息。

选择锚杆 1，点击显示结果类型，勾选梁结果，应用。



选择衬砌 1 和衬砌 2，点击显示结果类型，勾选壳法向应力 Nz，应用。