



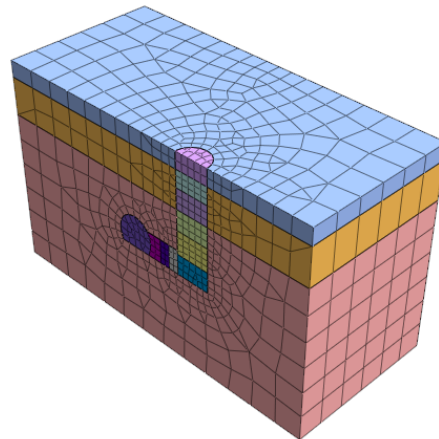
三维连接隧道施工阶段分析

1 学习目的及概要

1.1 学习目的

隧道分析的目的在于预先判断隧道施工时围岩的变形，以及考察支护的稳定性及对周边建筑物的影响。根据情况可以进行二维分析或三维分析。在二维分析情况下，则必须寻求考虑隧道开挖引起的三维地层变形的方法。某些情况下很难通过二维分析模拟（例如，主隧道、连接隧道及竖井相连接的地层变形行为，这显然应考虑空间效应），应当采取三维模型来分析。

▶连接隧道建模



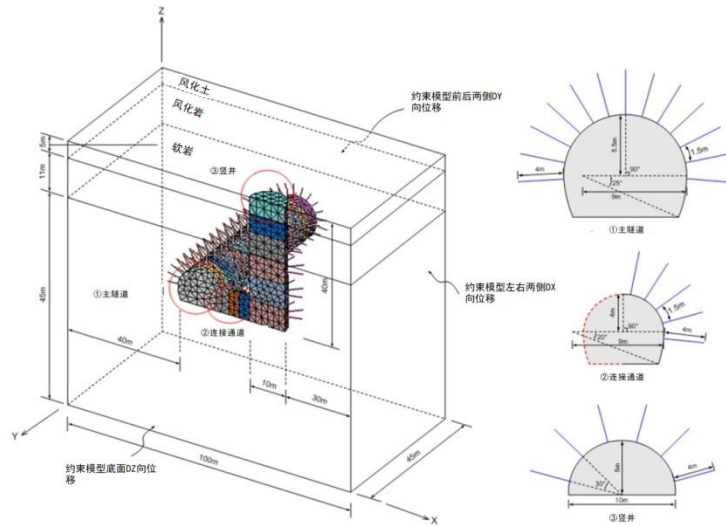
通过本例题可以学习以下主要功能及分析方法：

- 隧道建模
- 几何形状之间的布尔运算
- 生成及管理网格组
- 定义施工阶段
- 结果分析-施工阶段分析、结果及表格输出



1.2 建模及分析概要

► 模型概要图



例题使用的模型如下图所示。此模型是由多层，竖井和主隧道以及连接这两部分的连接隧道组成。由于模型左右对称，所以只需建立整体模型的一半，并将其适当的分割后进行施工阶段分析。施工阶段按开挖竖井->连接隧道->主隧道的顺序定义。



2 设置分析条件

[启动开始文件（03_3DTunnel_start）。]

*  : 分析>分析工况>设置（Analysis > Analysis Case > Setting）

首先，设置模型类型、重力方向及初始参数，确认分析中使用的单位制。单位制可在建模过程及确定分析结果时修改，输入的参数将被自动换算成设置的单位制。

本例题是以 Z 轴为重力方向的三维模型，单位制使用 SI 单位（kN，m）。

► 分析设置





3 定义材料及属性

3.1 定义岩土及结构材料

土层材料的模型类型选择莫尔-库伦（Mohr-Coulomb），结构材料选择不考虑材料非线性的弹性（Elastic）模型。

各地层和结构使用的材料如下表。

[单位：kN, m]

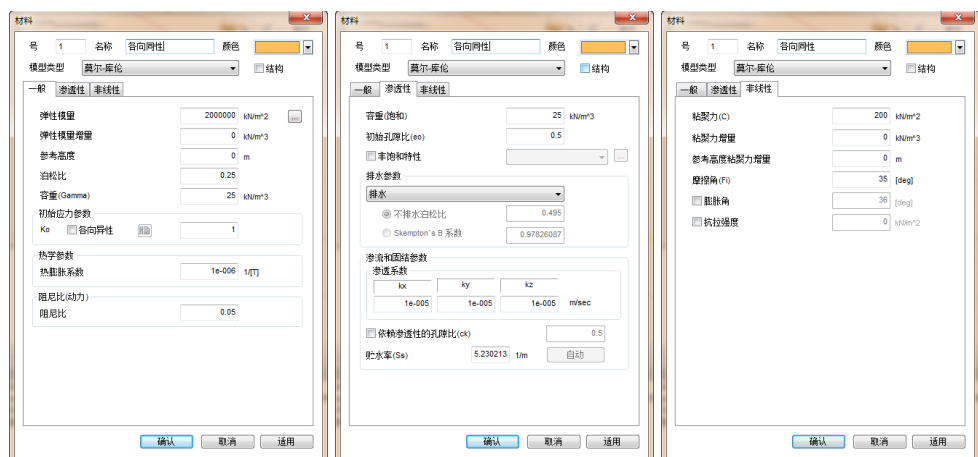
▶岩土材料

名称	软岩	风化岩	风化土
材料	各向同性	各向同性	各向同性
模型类型	莫尔-库伦	莫尔-库伦	莫尔-库伦
一般			
弹性模量 (E)	2.0E+06	5.0E+05	5.0E+04
泊松比 (ν)	0.25	0.30	0.30
容重 (r)	25	23	18
Ko	1.0	0.7	0.5
渗透性			
容重 (饱和)	25	23	18
初始孔隙比 (eo)	0.5	0.5	0.5
排水参数	排水	排水	排水
非线性			
粘聚力 (C)	200	20	20
摩擦角	35	33	30

▶定义岩土材料-一般

▶▶定义岩土材料-渗透性

▶▶▶定义岩土材料-非线性



[单位：kN, m]



►结构材料

名称	混凝土面板	喷混	锚杆
材料	各向同性	各向同性	各向同性
模型类型	弹性	弹性	弹性
弹性模量 (E)	2.0E+07	1.5E+07	2.10E+08
泊松比 (ν)	0.2	0.2	0.3
容重 (γ)	25	24	78.5

►定义结构材料



3.2 定义属性

创建网格时，需要指定各网格组上分配的属性。在定义岩土和结构的属性时，首先需要选择材料。另外，在定义结构的属性时，需要定义结构构件类型、截面形状等参数。

在三维模型中，使用板单元模拟连续的墙体和喷混，使用植入式桁架这种线单元模拟锚杆。植入式桁架单元、桁架单元均只能承受轴力。但是，植入式桁架单元相对桁架单元差别在于，不需要与岩土单元节点耦合，且位置必须在岩土内部。因此，植入式桁架主要用于模拟三维模型中的土钉、锚杆、锚索等。

各岩土材料的属性如下表。

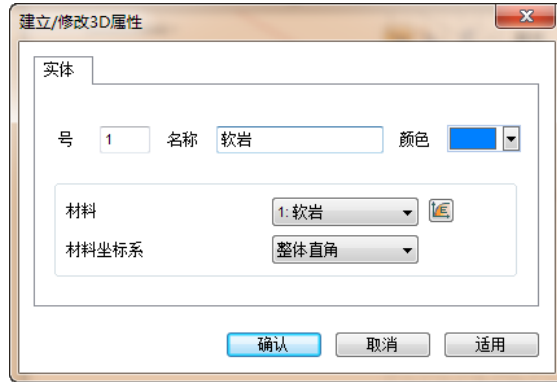
[单位：kN, m]

►岩土属性

名称	软岩	风化岩	风化土
种类	3D	3D	3D
材料	软岩	风化岩	风化土



►定义岩土属性



各结构构件的属性如下表。若定义了截面形状，则程序自动计算截面刚度。

[单位：kN, m]

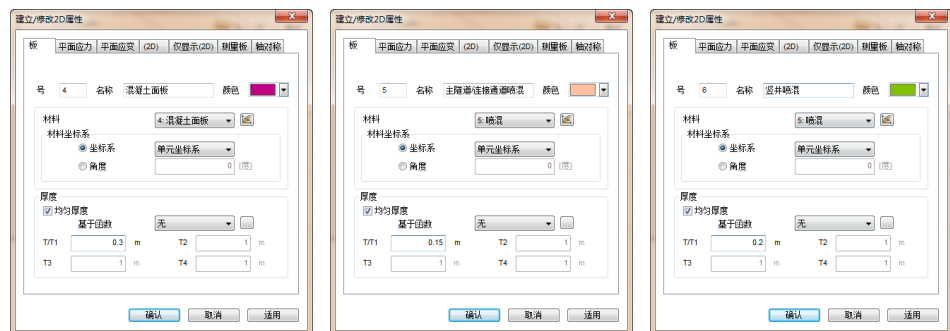
►结构属性

名称	混凝土面板	主隧道/连接 隧道喷混	竖井喷混	锚杆
类型	2D	2D	2D	1D
模型类型	板	板	板	植入式桁架
材料	混凝土面板	喷混	喷混	锚杆
间距	-	-	-	-
截面形状	-	-	-	实心圆形
截面厚度	TH=0.3	TH=0.15	TH=0.2	D=0.025

►定义结构属性-混凝土面板

►►定义结构属性-主隧道/连接隧道喷混

►►►定义结构属性-竖井喷混

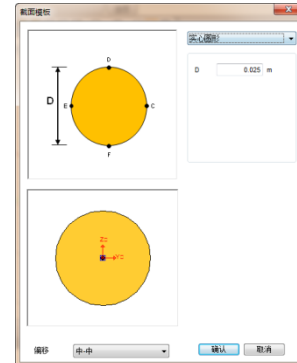
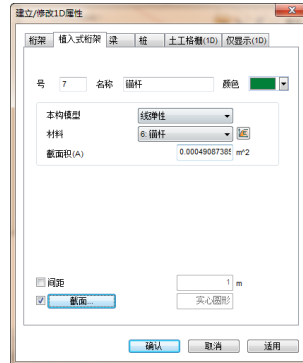




Basic Tutorials

► 定义结构属性（锚杆）

►► 定义结构属性（截面形状）





4 建模

本例题以隧道形状建模、三维实体间的布尔运算操作、网格划分及管理、施工阶段的设置及结果分析为重点，从基本的岩土/结构材料特性的输入开始学习。

4.1. 几何建模

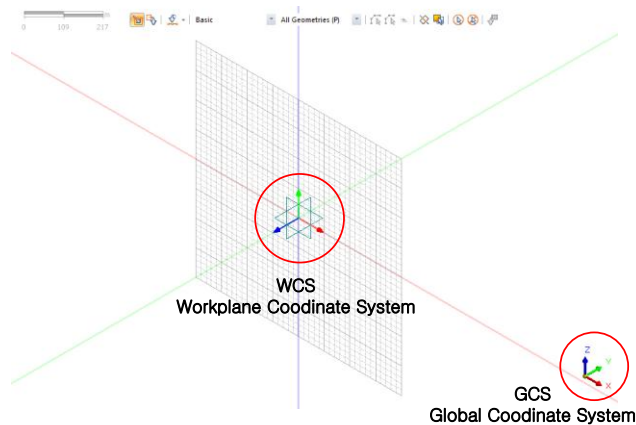
在 GTS NX 中，使用的坐标系有整体坐标系（GCS）和工作平面坐标系（WCS）。

整体坐标系始终固定在屏幕右下方，坐标轴用红色（X 轴）、绿色（Y 轴）、蓝色（Z 轴）的箭头表示。

工作平面坐标系，位于工作平面中心，与工作平面一起移动。如果工作平面改变，工作平面坐标系也会改变。为了在空间上定位几何体，三维绝对坐标系是非常有必要的。但通常，我们更常用相对坐标系，例如用来定义长度。这种情况下，把工作平面移动到适当的位置后，输入二维坐标信息（工作平面坐标系上 XY 平面），完成建模非常方便。


注意：在延伸几何时输入的方向或定义荷载/边界条件的情况下，都是采用整体坐标系。

►整体坐标系（GCS）
和工作平面坐标系
（WCS）



*  : 几何>顶点与曲线>矩形（Geometry > Point & Curve > Rectangle）

利用矩形建立岩土区域。

- 在视图工具条上点击法向视图 。
- 开始位置输入“-45, -30”，按下“Enter”键。
- 对角位置输入“100, 61”后点击[确认]键。



Basic Tutorials



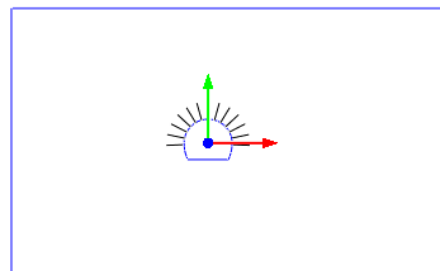
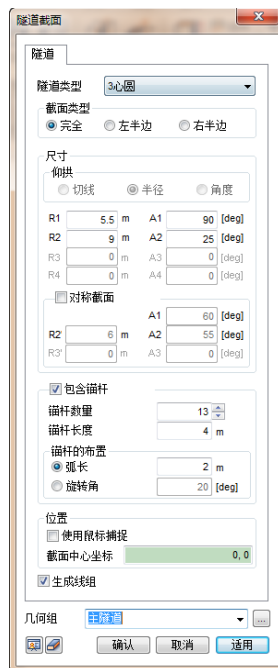
* : 几何>顶点与曲线>隧道 (Geometry > Point & Curve > Tunnel)

生成主隧道截面形状。通过顶点与曲线>隧道，可以快速生成各种隧道截面形状及锚杆位置。

- 隧道类型选择‘三心圆’，截面类型选择‘完全’。
- 在 R1, A1, R2, A2 分别输入 ‘5.5’, ‘90’, ‘9’, ‘25’。
- 勾选‘包含锚杆’，锚杆的数量及长度分别输入 ‘13’, ‘4’。
- 锚杆的布置>弧长中输入 ‘1.5’。
- 勾选[生成线组]后，几何组名称输入[主隧道]。
- 点击[确认]键。

▶隧道截面（主隧道）

▶▶生成的隧道截面形状



* : 几何>转换>移动复制 (Geometry > Transform > Translate)

移动复制生成的主隧道和岩土形状。为了使形状的底面位于同一个平面上，将生成的隧道截面形状和岩土的形状一起移动到原点。

- 在[目标形状]上，选择所有的岩土形状和隧道形状。
- 方向按[2点矢量]。



- 第一个坐标输入窗口，选择隧道底部的中心点。
- 第二个坐标输入窗口，输入‘0, 0, 0’。
- 点击距离右侧的 \leq 键，自动计算距离。
- 点击[确认]键。



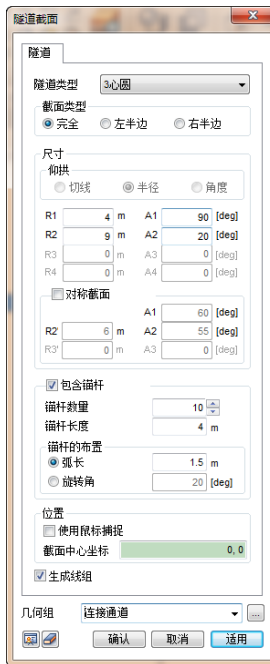
在原点上生成隧道形状的过程中，为了使数值不发生误差，在任意的位置上生成隧道形状后，可移动到原点位置。

* : 几何>顶点与曲线>隧道 (Geometry > Point & Curve > Tunnel)

- 生成连接隧道的形状。
- 双击工作目录树>工作平面>‘YZ (1, 0, 0)’。
- 在视图工具条上，点击法向视图 \square 。
- 隧道类型选择‘三心圆’，截面类型选择‘完全’。
- 在 R1, A1, R2, A2 分别输入‘4’, ‘90’, ‘9’, ‘20’。
- 勾选[包含锚杆]，锚杆的数量及长度分别输入‘10’, ‘4’。
- 在锚杆的布置>弧长，输入‘1.5’。
- 勾选[生成线组]后，几何组名称输入[连接隧道]。
- 点击[确认]键。




► 隧道截面建模（连接隧道）



*  : 几何>转换>移动复制 (Geometry > Transform > Translate)

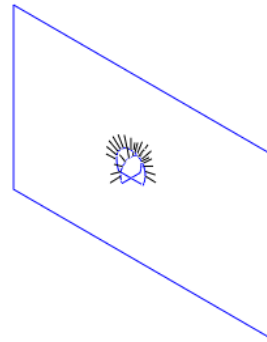
为了使形状的底面位于同一个平面上，把生成的连接隧道形状移动到原点。在左侧模型工作目录树>几何上通过勾选框可以轻松的只选中要移动的形状。

- 在[目标形状]上选择所有连接隧道形状。
- 方向选择[2点矢量]。
- 第一个坐标输入窗口，选择连接隧道底部的中心点。
- 第二个坐标输入窗口，输入‘0, 0, 0’。
- 点击距离右侧上的  按钮，自动计算距离。
- 点击[确认]键。




▶移动连接隧道

▶▶移动的隧道截面形状



*  : 几何>延伸>扩展 (Geometry > Protrude > Extrude)

- 将生成的面和闭合线（线组）扩展生成实体。
- 过滤器选择‘线’。
- 选择相应岩土的 4 个线。
- 方向选择 Y 方向（绿色）。
- 长度输入 ‘45’后勾选[生成实体]选项。
- 几何组名称输入[岩土]。
- 点击预览  键，确认是否适当的扩展了目标形状。
- 点击[适用] 键。
- 用同样的方法，按 Y 轴方向拓展 45m 左右的主隧道截面，创建名称为‘主隧道’的实体。
- 用同样的方法，按 X 轴方向拓展 20m 左右的连接隧道截面，创建名称为‘连接隧道’的实体。



选择目标形状时，若使用左侧工作目录树上注册的几何组，则可以轻松的选择形状。

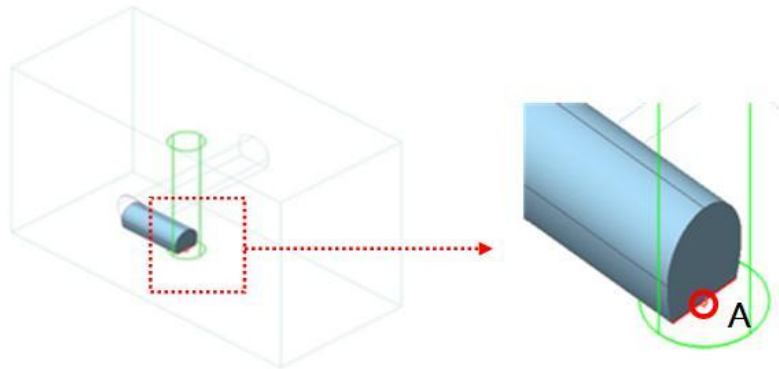
*  : 几何>曲面与实体>圆柱 (Geometry > Surface & Solid > Cylinder)




通过圆柱生成竖井。首先选择在工作目录树上注册的所有形状，右击鼠标>关联菜单>显示模式上，选择仅线。（通过工具栏选项>显示模式（几何形状）也可以修改显示形式。）


- 半径输入‘5’，高度输入‘40’。
- 几何组名称输入‘竖井’。
- 确认选择了 GCS。
- 参考如下图，按中心坐标输入用 A 表示的地点。
- 点击[确认]键。

►竖井建模



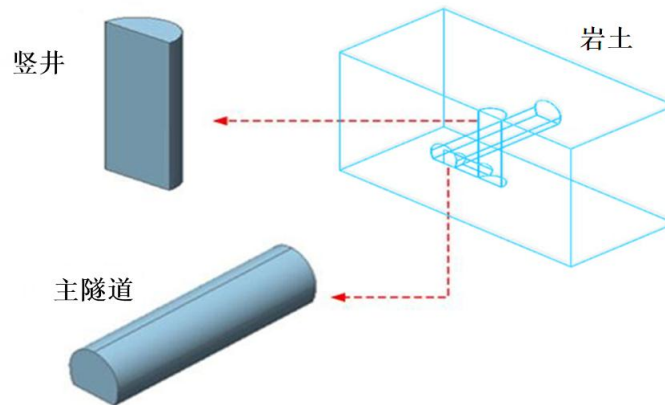
*: 几何>布尔运算>实体（Geometry > Boolean > Solid）


进行实体之间的布尔运算。在左侧工作目录树>几何组上，勾选框上只勾选显示实体。


- 选择嵌入选项。
- [目标形状]选择岩土，[辅助形状]选择主隧道。
- 勾选[删除辅助形状]选项。
- 点击预览键，确认是否适当地嵌入了目标形状。
- 点击[适用]键。
- 用同样的方法[目标形状]选择岩土，[辅助形状]选择连接隧道来执行嵌入工作。
- 用同样的方法[目标形状]选择岩土，[辅助形状]选择竖井来执行嵌入工作。



►嵌入的实体（主隧道/竖井）

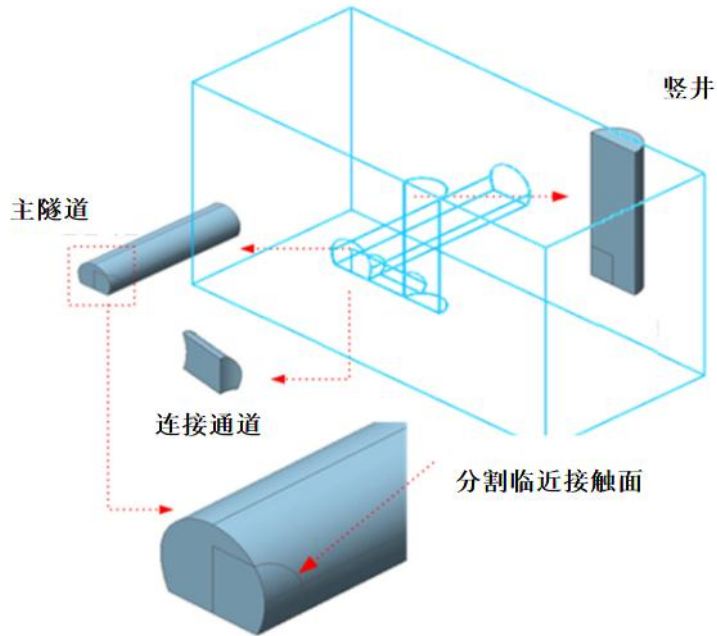


*  : 几何>分割>实体 (Geometry > Divide > Solid)

- 使用分割功能，从岩土上分离出连接隧道部分的实体。
- [目标实体]选择岩土。
- [分割辅助形状]选择[辅助曲面]，子形状过滤器选择[基本]，主形状过滤器选择[实体]。
- 在工作目录树上选择连接隧道作为辅助曲面。
- 勾选[分割接相邻面]。
- [选择目标对象]选择‘主隧道’和‘竖井’实体
- 点击预览  键确认是否适当的分割了目标形状。
- 点击[确认] 键。
- 利用 F2 键修改生成的各实体形状的名称。并分别拖拽到主隧道、连接隧道、竖井、岩土几何组。



►分割的实体（主隧道/连接隧道/竖井）



选择过滤器能使用户指定期望的选择目标的类型，可以一次性过滤选择的目标。

选择过滤器，按照当前的工作状态和调用中的命令种类，由各种目标类型构成，用户可以在这样的构成中指定特定类型。

子选择过滤 主选择过滤

* : 几何 > 顶点与曲线 > 矩形 (Geometry > Point & Curve > Rectangle)


为了定义施工阶段分割实体。首先利用矩形功能生成矩形面，用于分割主隧道。

- 双击左侧工作目录树>工作平面> ‘XZ (0,-1,0)’ 。
- 在视图工具条上点击法向视图。
- 勾选‘生成面’选项。
- 几何组选择[主隧道] 。
- 生成略大于主隧道截面的矩形面。
- 点击[确认]键。

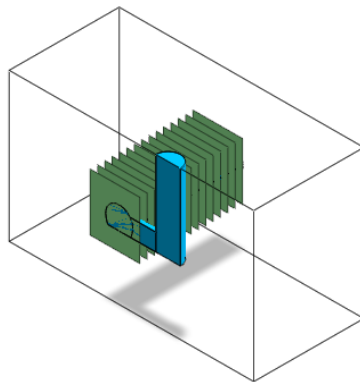


*  : 几何 > 转换 > 移动复制 (Geometry > Transform > Translate)

按主隧道开挖方向，移动复制生成的面。输入主隧道开挖间距、重复次数，以移动/复制开挖面。


- 在视图工具条上点击轴测图 1 视图 。
- 选择在上面生成的面。
- 方向选择 Y 方向。
- 方法选择‘复制（均匀）’后，距离输入‘3’，重复输入‘14’。

▶ 分割面生成及移动
复制（主隧道）



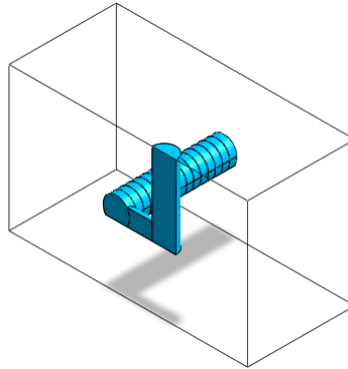
*  : 形状 > 分割 > 实体 (Geometry > Divide > Solid)

用开挖面分割主隧道。为了保证节点耦合，相邻面选择和主隧道连接的岩土、连接隧道实体。

- [目标实体]选择‘主隧道’实体。
- 过滤器选择‘面 (A)’。
- [辅助曲面]选择生成的 14 个的面。
- 勾选[分割相邻面]，[选择目标对象]选择相邻的‘岩土’、‘连接隧道’实体。
- 点击预览  键确认是否适当的分割了目标形状。
- 几何组选择‘主隧道’后点击 [确认] 键。




►分割实体（主隧道）




*  : 几何 > 顶点与曲线 > 矩形（Geometry > Point & Curve > Rectangle）

为了分割连接隧道，建立矩形。

- 双击左侧工作目录>工作平面>‘YZ（1, 0, 0）’。
- 在视图工具条上点击法向视图 。
- 勾选‘生成面’选项。
- 几何组选择[连接隧道]。
- 生成略大于连接隧道截面的矩形面。
- 点击[确认] 键。

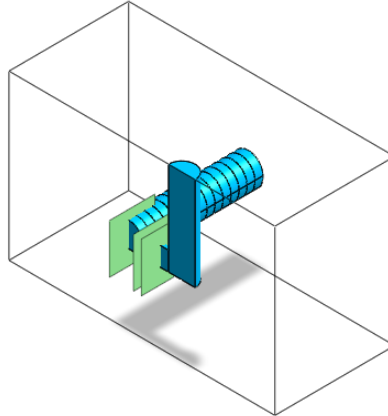
*  : 几何 > 转换 > 移动复制（Geometry > Transform > Translate）

按连接隧道开挖方向，移动/复制生成的面。

- 在视图工具条上点击轴测图 1 视图 。
- 选择在上面生成的面。
- 方向选择 X 方向。
- 方法选择复制‘复制（非均匀）’后距离输入‘9, 3’。
- 几何组选择‘连接隧道’后点击 [确认]键。




►创建分割面及移动
复制（连接隧道）

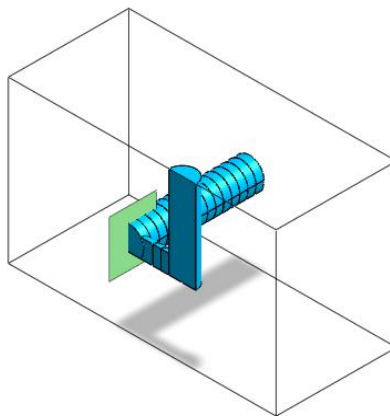


*  : 形状>分割>实体（Geometry > Divide > Solid）

用开挖面分割连接隧道。为了保证节点耦合，相邻面选择与连接隧道相连接的岩土实体。


- [目标实体]选择连接隧道实体。
- 过滤器选择‘面（A）’。
- [辅助曲面]选择在上面生成的 2 个面。
- 勾选[分割相邻面]，目标选择相邻的‘岩土’实体。
- 点击预览  键确认是否适当的分割了目标形状。
- 几何组选择‘连接隧道’后点击 [确认]键。

►分割实体（连接隧道）



*  : 几何 > 顶点与曲线 > 矩形（Geometry > Point & Curve > Rectangle）

建立分割竖井使用的矩形面。


- 双击左侧工作目录树>工作平面>‘YX（0, 0, 1）’。
- 在视图工具条上点击法向视图 。



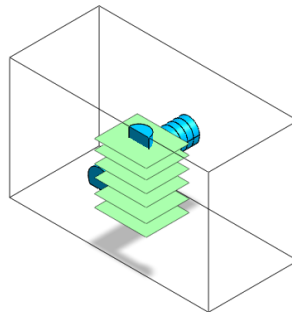
- 勾选‘生成面’选项。
- 几何组选择 [竖井]。
- 生成略大于竖井截面的矩形面。
- 点击[确认] 键。

*  : 几何 > 转换 > 移动复制 (Geometry > Transform > Translate)

按竖井开挖方向，移动/复制生成的面。


- 在视图工具条上点击轴测图 1 视图 。
- 选择在上面生成的面。
- 方向选择 Z 方向。
- 方法选择‘复制（非均匀）’，距离输入 ‘6, 7, 6, 6, 5’。
- 几何组选择 ‘竖井’后点击 [确认]键。

►创建分割面及移动复制（竖井）



*  : 形状>分割>实体 (Geometry > Divide > Solid)

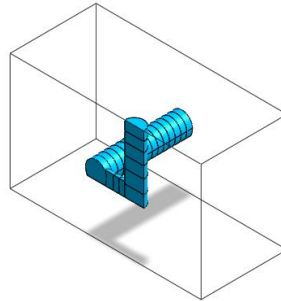
用开挖面分割竖井。为了保证节点耦合，接触面选择与连接隧道相连接的岩土实体。

- [目标实体]选择 ‘竖井’ 实体。
- 选择过滤器选择‘面 (A) ’。
- [辅助曲面]选择在上面生成的 5 个的面。
- 勾选[分割相邻面]，目标选择相邻的‘岩土’实体和与竖井相连的‘连接隧道’实体。
- 点击预览  键确认是否适当的分割了目标形状。




- 几何组选择‘竖井’后点击 [确认]键。

▶分割实体（竖井）




*  : 几何 > 顶点与曲线 > 矩形（Geometry > Point & Curve > Rectangle）

建立分割地层用的矩形面。

- 在视图工具条上点击法向视图 。
- 勾选‘生成面’选项。
- 几何组选择 [岩土]。
- 参考如下图生成略大于岩土截面的矩形面。
- 点击[确认]键。

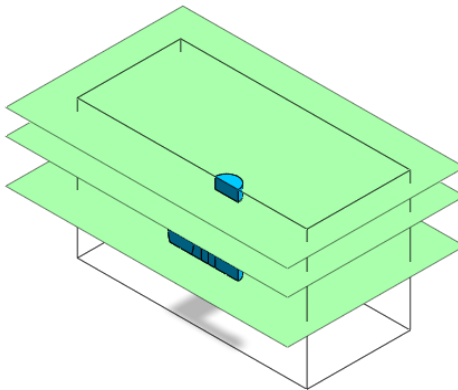
*  : 几何 > 转换 > 移动复制（Geometry > Transform > Translate）

把生成的截面形状按地层位置移动/复制。

- 在视图工具条上点击轴测图 1 视图 。
- 选择在上面生成的面。
- 方向选择 z 方向。
- 方法选择‘复制（非均匀）’，距离输入‘19, 11’。
- 几何组选择‘岩土’后点击 [确认] 键。




►创建分割面及移动
复制（岩土）

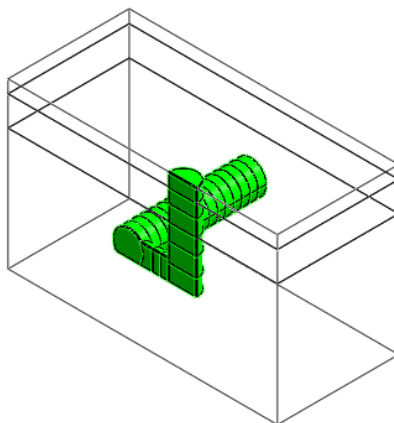


*  : 形状>分割>实体（Geometry > Divide > Solid）

按地层面分割岩土。

- [目标实体]选择‘岩土’实体。
- 选择过滤器选择‘面（A）’。
- 辅助曲面选择在上面生成的2个的面。
- 点击预览  键确认是否适当的分割了目标形状。
- 几何组选择‘岩土’后点击 [确认] 键。

►分割实体（岩土）



*  : 几何 > 顶点与曲线 > 线（Geometry > Point & Curve > Line）

生成竖井的锚杆。绘制锚杆的线。

- 双击左侧工作目录树>工作平面>‘XY（0, 0, 1）’。
- 开始点输入‘25, 0’，几何组选择‘竖井’。
- 按下回车键，方法栏变为相对值，终点位置输入‘4, 0’。



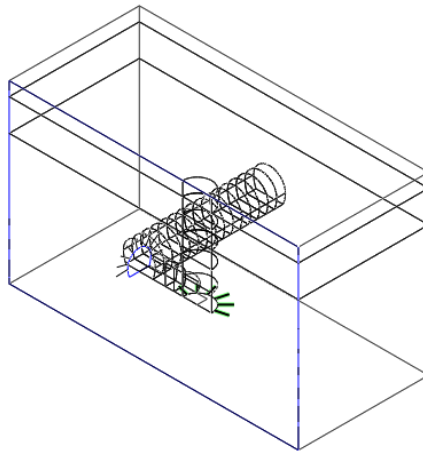
- 点击[确认] 键。

*  : 几何 > 转换 > 旋转 (Geometry > Transform > Rotate)


将上一步生成的线以 Z 轴为中心，旋转生成多个锚杆。

- [目标形状]选择在上一步生成的线。
- [旋转轴]选择 Z 轴。
- 勾选[位置]选项后输入‘20, 0, 0’。
- 勾选‘复制 (非均匀)’后，角度上输入‘15, 5@30’。
- 形状选择 ‘竖井’后点击[确认]键。
- 利用 delete 键，删除在上一步生成的线。


▶创建的锚杆 (竖井)




4.2 生成网格

*  : 网格 > 控制 > 尺寸控制 (Mesh > Control > Size Ctrl)

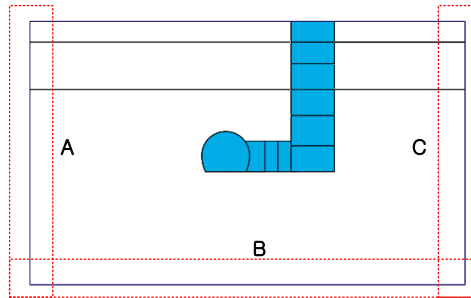
为了得到数量少且质量优的网格，创建网格前应当控制单元的尺寸。隧道周围的网格尺寸较小，模型外围部分的网格尺寸较大。




- 在视图工具条上点击正面 .
- 参考如下图，选择与 A, B, C 一样的形状来选择边。
- 方法选择 ‘单元长度’，单元长度输入 ‘8’。



- 点击预览键，确认是否正常选择了尺寸。
- 点击[适用]键。

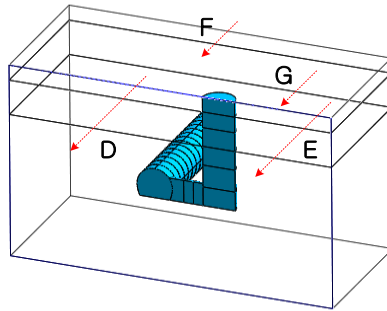
▶种子边 (A~C)



- 在视图工具条上点击轴测图 1 视图.
- 在选择工具条上选择多段线。
- 参考如下图，画和 D 一样的多段线来选择 5 个的边。
- 方法选择‘线性梯度（长度）’，开始长度输入‘8’，结束长度输入‘2’。
- 点击预览键确认是否正常选择了尺寸。
- 点击[适用]键。
- 参考如下图，画和 E 一样的多段线来选择 5 个的边。
- 方法选择‘线性梯度（长度）’，开始长度输入‘2’，结束长度输入‘6’。
- 点击[适用]键。
- 参考如下图，画和 F 一样的多段线来选择 3 个的边。
- 方法选择‘线性梯度（长度）’，开始长度输入‘8’，结束长度输入‘4’。
- 勾选‘对称种子’项目后点击[适用] 键。
- 参考如下图，画和 G 一样的多段线来选择 2 个的边。
- 方法选择‘单元长度’后分割尺寸输入‘8’。
- 点击[确认]键





►种子边 (D~G)



网格划分的单元尺寸越小，结果越精确。但是，网格单元尺寸小的模型分析时间也会增加，所以应在显示结果的区域（隧道附近）上生成比其它部分稠密的网格。

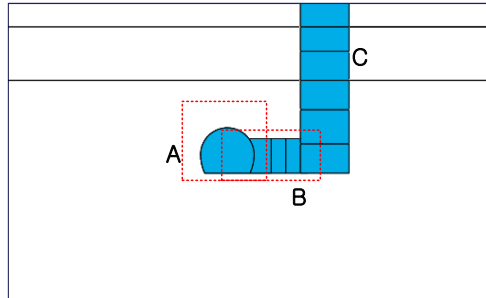
*  : 网格 > 生成 > 三维 (Mesh > Generate > 3D)


创建网格的过程。


- 在视图工具条上点击正面视图 .
- 在选择工具条上选择框选 .
- 在自动-实体上参考如下图，选择 A 区域，选择 15 个实体。
- 单元长度输入 2，属性选择 ‘1: 软岩’。
- 选择混合网格（六面体为中心）。
- 网格组输入 ‘主隧道’ 后点击 [适用] 键。
- 选择 B 区域，选择 3 个实体。
- 单元长度输入 2，属性选择 ‘1: 软岩’。
- 网格组输入 ‘连接隧道’ 后点击 [适用] 键。
- 选择 C 区域，选择 6 个实体。
- 单元长度输入 2，属性选择 ‘1: 软岩’。
- 网格组输入 ‘竖井’ 后点击 [适用] 键。
- 选择有关岩土 的 3 个实体。
- 单元长度输入 5，属性选择 ‘1: 软岩’。
- 网格组输入 ‘岩土’ 后点击 [确认] 键。



► 生成网格（A~C 区域）




*  : 网格>单元>析取（Mesh > Element > Extract）

- 取消勾选工作目录树>网格，设置在屏幕上不显示网格。
- 在工作目录树>几何上，只勾选主隧道、联络通道、竖井实体并显示在屏幕上。
- 在视图工具条上，点击正面视图 .
- 在网格>生成>析取上选择类型为‘面’。
- 勾选[忽略重复面]选项和[基于所属独立形状注册]选项。
- 属性选择‘5:主隧道/连接隧道喷混’。
- 点击[确认]键。


► 析取单元





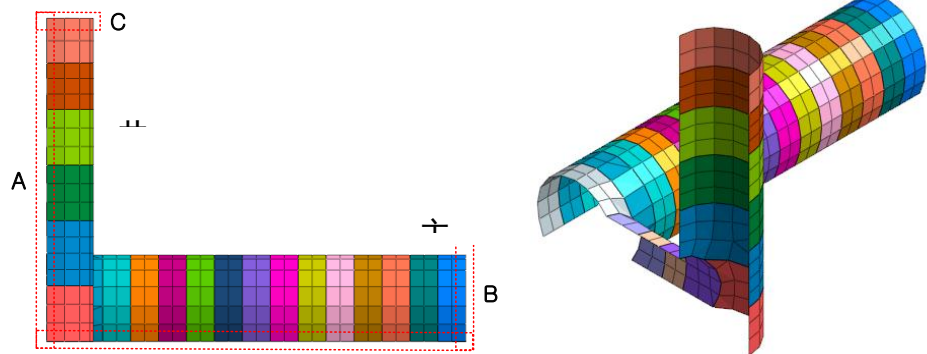
*  : 网格>单元>删除 (Mesh > Element > Delete)


利用删除单元功能删除不使用的单元。

- 在工作目录树>几何形状上，取消勾选主隧道、联络通道、竖井实体，设置使其在屏幕上不显示。
- 在视图工具条上点击右侧视图 。
- 参考如下图，选择 A、B、C、D 区域，选择不使用的单元。
- 点击[确认]键。



▶删除网格


▶生成的网格（板单元）



*  : 网格 > 生成>1D (Mesh > Generate > 1D)

生成主隧道锚杆的网格。

- 在视图工具条上点击轴测图 1 视图 。
- 选择在左侧工作目录树>几何>主隧道>线中 13 个的隧道锚杆线条。
- 单元尺寸输入‘2’。
- 确认属性号上输入了‘7’。
- 点击预览  键，确认节点生成的位置。
- 点击[确认]键。

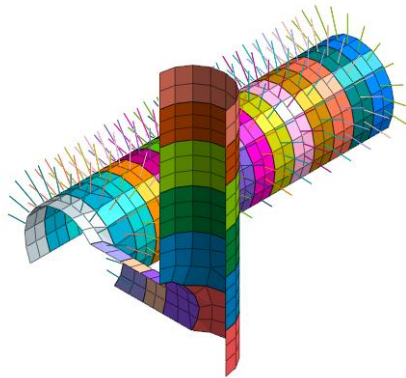
*  : 网格>转换>移动复制网格 (Mesh > Transform > Trans.)

将生成的主隧道锚杆网格，沿主隧道开挖方向移动复制。





- 选择上一步生成的网格组。
- 方向选择 Y 方向。
- 方法选择‘复制（非均匀）’，距离输入‘1.5, 14@3’。
- 点击>>键勾选‘合并节点’、‘各网格独立注册’。
- 网格组名称输入‘主隧道锚杆’后，点击[确认]键
- 利用 delete 键，删除上一步生成的网格组。

►创建的网格（主隧道锚杆）



*  : 网格 > 生成>1D (Mesh > Generate > 1D)

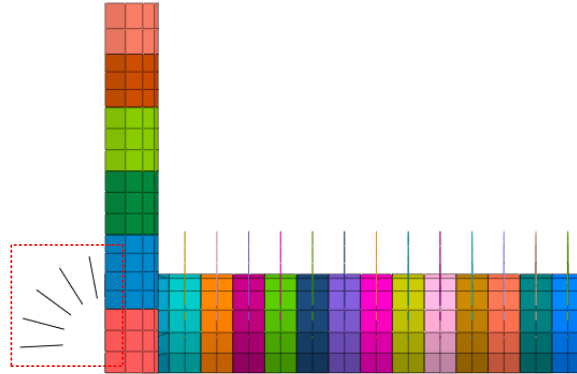
生成连接隧道锚杆的网格。


- 在视图工具条上点击右侧视图 。
- 勾选在左侧工作目录树>几何形状>连接隧道>线的锚杆。
- 参考如下图，选择删除在生成网格过程中没有必要的 5 个线。
- 选择在左侧工作目录树>几何形状>连接隧道>线上注册的 5 个隧道锚杆线。
- 单元尺寸输入‘2’。
- 确认属性号上输入了‘7’。
- 点击预览  键确认生成节点的位置。
- 点击[确认]键。



Basic Tutorials

►删除网格（连接隧道锚杆）

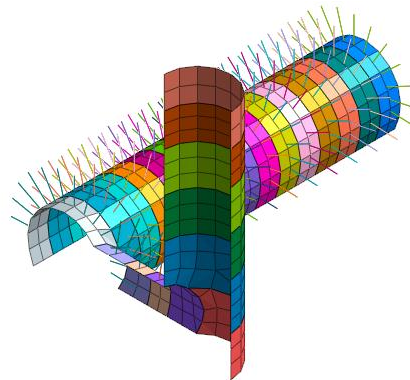


*  : 网格>转换>移动复制网格（Mesh > Transform > Trans.）

将生成的连接隧道锚杆网格，沿连接隧道开挖方向移动复制。

- 选择在上一步生成的网格组（一维）。
- 方向选择 X 方向。
- 方法选择‘复制（非均匀）’，距离输入‘7,3.5,3’。
- 点击>>键，勾选‘合并节点’、‘各网格独立注册’。
- 网格组名称输入‘连接隧道喷混’后，点击[确认]键。
- 利用 delete 键，删除复制时使用的网格组（一维）。

►生成网格（连接隧道锚杆）





*  : 网格 > 生成>一维（Mesh > Generate > 1D）

生成竖井锚杆的网格。

- 选择在左侧工作目录树>几何>竖井>线中隧道锚杆的 6 个线。
- 单元尺寸输入‘2’。



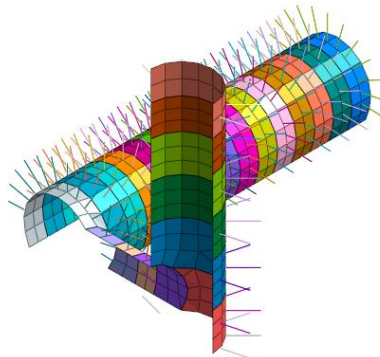
- 确认属性号上输入了‘7’。
- 点击预览键，确认生成节点的位置。
- 点击[确认]键。


*  : 网格>转换>移动复制 (Mesh > Transform > Trans.)

生成竖井锚杆的网格，按连接隧道开挖方向移动复制。


- 选择在上面生成的网格组（一维）。
- 方向选择 Z 方向。
- 方法选择‘复制（非均匀）’，距离输入 ‘3.5, 6, 6.5, 6, 5.5, 4.8’。
- 点击>>键，勾选‘合并节点’、‘各网格独立注册’。
- 网格组名称输入竖井 R/B 后，点击[确认]键。
- 利用 delete 键，删除复制时使用的网格组（一维）。

► 创建网格（竖井 rockbolt）



*  : 网格>单元>删除 (Mesh > Element > Delete)


使用删除单元功能删除不必要的锚杆单元。

- 在视图工具条上，点击正面视图.
- 在选择过滤器上，确认勾选了‘1D 单元’。
- 选择连接隧道内部的露出的 10 个锚杆单元。
- 点击[确认]键。



►删除单元



*  : 网格>网格组>重命名 (Mseh > Mesh Set > Rename)

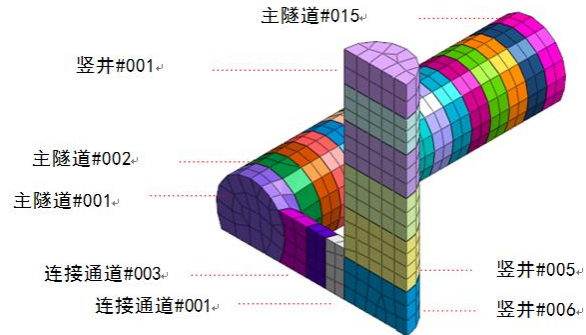
修改网格组名称。

在 GTS NX 上，使用施工阶段定义指南，可以方便定义施工阶段。但是，在这个过程中必须利用网格名称的规则性。首先修改有关隧道的网格组的名称。


- 在左侧工作目录树上选择所有网格>网格组>‘主隧道’。
- 排列顺序选择整体正交坐标系，1st 选择 ‘Y’。
- 输出标准选择升序排序，名称输入 ‘主隧道#’，开始号码输入 1。
- 点击[适用]键。
- 在左侧工作目录树上选择所有网格>网格组> ‘连接隧道’。
- 排列顺序选择整体正交坐标系，1st 选择 ‘X’。
- 输出标准选择降序排序，名称输入 ‘连接隧道#’，开始号码输入 1。
- 点击[适用]键。
- 在左侧工作目录树上选择所有网格>网格组>‘竖井’。
- 排列顺序选择整体正交坐标系，1st 选择 ‘Z’。
- 输出标准选择降序排序，名称输入 ‘竖井#’，后缀起始号输入 1。
- 点击[适用]键。



►排序网格名称（三维单元）



用同样的方法也对喷混及锚杆修改名称。对地面网格的名称也利用 F2 键，分别修改为‘软岩’、‘风化岩’、‘风化土’。


*  : 网格>单元>网格参数 (Mesh > Element > Parameters)

修改网格属性。

在前阶段的网格生成过程上，操作中没有考虑各网格组需要适用的属性。因此，此阶段需要指定正确的单元属性。

- 选择 3D 选项。
- 选择左侧工作目录树>网格后，按右击鼠标>排序>依据名称。
- 选择左侧工作目录树>网格>‘竖井#-002’、‘竖井#-003’、‘风化岩’。
- 属性选择‘2:风化岩’后，点击[适用]键。
- 选择左侧工作目录树>网格>‘竖井#-001’、‘风化土’。
- 属性选择‘3:风化土’后，点击[适用]键。
- 变更为 2D 选项。
- 选择工作目录树>网格>‘竖井喷混#-003’、‘竖井喷混#-004’、‘竖井喷混#-005’、‘竖井喷混#-006’。
- 属性选择‘6: 竖井喷混’后，点击[适用]键。
- 选择左侧工作目录树>网格>‘竖井喷混#-001’、‘竖井喷混#-002’。
- 属性选择‘4: 混凝土面板’后，点击 [确认] 键。



通过视图工具条>视图模式（网格）（）>属性颜色以及材料颜色，可以轻松的确输入的属性信息。



5 分析设置


5.1 定义荷载条件

*  : 静力/边坡分析/ > 荷载 > 自重 (Static/Slope Analysis > Load > Self Weight)

定义自重。岩土、结构构件上输入的容重乘以自动设置的重力加速度后自动计算。可以输入基于方向的比例因子。对重力方向设置了默认值。

- 名称输入‘自重-1’、荷载组输入‘自重’。
- 荷载成分在重力加速度方向 G_z 上输入‘-1’。
- 点击[适用]键。

5.2 定义边界条件

*  : 静力/边坡分析 > 边界 > 约束 (Static/Slope Analysis > Boundary > Constraint)


以整体坐标系为准，对模型内位移以及对旋转设置约束条件的过程。根据整体坐标系方向，对左/右/下部，自动设置位移约束。

- 在“自动”选项上，名称和边界条件组名称分别输入‘约束条件-1’、‘约束条件’。



在三维分析中，对模型左/右侧约束 X 方向的位移，对前/后方向约束 Y 方向的位移，对下部约束 X、Y、Z 方向的位移。在 GTS NX 上，自动判断模型的外围区域后生成边界条件。

5.3 定义施工阶段

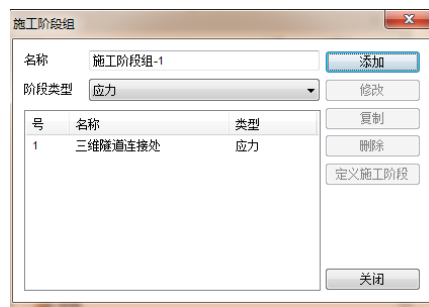
*  : 静力/边坡分析 > 施工阶段 > 施工阶段管理 (Static/Slope Analysis > Construction Stage > Stage Set)

设置施工阶段组。施工阶段种类有应力分析、渗流分析、应力-渗流-边坡分析、固结分析、完全应力-渗流耦合分析。在本例学习上设定为应力分析。



- 名称输入‘三维隧道连接处’，阶段种类指定为‘应力分析’。
- 点击[添加]键，生成施工阶段后点击[关闭]窗口。

►施工阶段组



在 GTS NX 中，可以在一个模型中定义多个的施工阶段组来完成分析。

* : 静力/边坡分析>施工阶段>施工阶段助手 (Static/Slope Analysis > Construction Stage > Stage Wizard)

定义施工阶段。在 GTS NX 中，可通过施工阶段助手按照规律一次性对单元进行激活/钝化，可以轻松的定义施工阶段。为了使用施工阶段助手定义施工阶段，就要在各组的名称上赋予规则性的编号（后缀标记）。

- [施工阶段组]上，确认是否选择了三维隧道连接处。
- 在分配规则上，点击第一个[组类型]，选择‘网格组’。
- 点击‘组名称前缀’，选择‘竖井#-’。
- 在 A/R 上选择‘R’。
- ‘开始阶段’上输入‘1’，‘后缀增量’上输入‘1’。
- 在分配规则上点击第二个组类型，选择‘网格组’。
- 点击‘组名称前缀’，选择‘竖井喷混#’。
- 在 A/R 上选择‘A’。
- ‘开始阶段’上输入‘2’，‘后缀增量’上输入‘1’。
- 在分配规则上点击第三个组类型，选择‘网格组’。



- 点击“组名称前缀”，选择‘竖井锚杆#’。
- 在 A/R 上选择 ‘A’。
- ‘开始阶段’上输入‘2’，‘后缀增量’上输入 ‘1’。
- 其余也按如下规则选择。
- 点击[应用分配规则]键。

►表. 定义施工阶段助手

组名称	A/R	后缀标记间距	开始阶段	阶段增量
竖井#-	R	1	1	1
竖井喷混#-	A	1	2	1
竖井锚杆#-	A	1	2	1
连接隧道#-	R	1	8	1
连接隧道喷混#-	A	1	9	1
连接隧道锚杆#-	A	1	9	1
主隧道#-	R	1	12	1
主隧道喷混#-	A	1	13	1
主隧道锚杆#-	A	1	13	1

►管理施工阶段

设定分配规则

组类型	组名称前缀	A/R	开始后缀	F	结束后缀	后缀增量	开始步骤	阶段增量
网格组	竖井-	R	1	<input type="checkbox"/>		1	1	1
网格组	竖井喷混-	A	1	<input type="checkbox"/>		1	2	1
网格组	竖井锚杆-	A	1	<input type="checkbox"/>		1	2	1
网格组	连接通道-	R	1	<input type="checkbox"/>		1	8	1
网格组	连接通道喷混-	A	1	<input type="checkbox"/>		1	9	1
网格组	连接通道锚杆-	A	1	<input type="checkbox"/>		1	9	1
网格组	主隧道-	R	1	<input type="checkbox"/>		1	12	1



分配施工阶段规则

单元、边界、荷载激活状态

组类型	组名称前缀	I.S.	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	
网格组	主隧道-													R: 1	R: 2	R: 3	R: 4	R: 5
网格组	主隧道喷混-														A: 1	A: 2	A: 3	A: 4
网格组	主隧道锚杆-														A: 1	A: 2	A: 3	A: 4
网格组	竖井-		R: 1	R: 2	R: 3	R: 4	R: 5	R: 6										
网格组	竖井喷混-			A: 1	A: 2	A: 3	A: 4	A: 5	A: 6									
网格组	竖井锚杆-			A: 1	A: 2	A: 3	A: 4	A: 5	A: 6									
荷载组	自重																	
网格组	软岩																	
边界组	边界条件-																	
网格组	连接通道									R: 1	R: 2	R: 3						
网格组	连接通道喷混-										A: 1	A: 2	A: 3					
网格组	连接通道锚杆-										A: 1	A: 2	A: 3					
网格组	风化土																	
网格组	风化岩																	
网格组	默认网格组																	

选择主隧道#-、连接隧道#-、竖井#-、软岩、风化岩、风化土。
按如下图拖拽所选的项目并移动到单元、边界、荷载激活状态的 I.S. 栏上。
边界条件、荷载条件也按如下拖拽并移动到激活状态的 I.S. 栏上。

定义施工阶段（初始阶段）

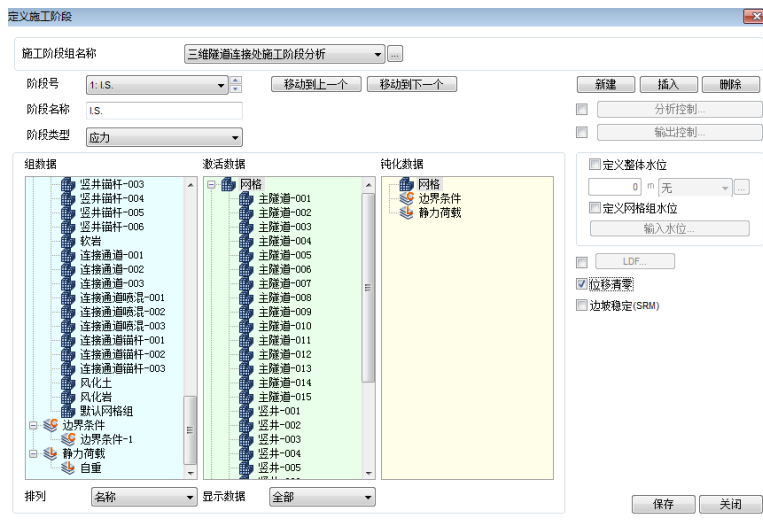
* : 静力/边坡分析 > 施工阶段 > 施工阶段管理 (Static/Slope Analysis > Construction Stage > Stage Set)

使用施工阶段向导功能，手动查看、修改生成的阶段。



在施工阶段定义菜单上，可以设置比施工阶段助手中更详细的选项（LDF 等）。因此，在复杂模型的情况下，使用施工阶段助手，生成整体性施工阶段的框架，当各步骤上有使用的个别选项时，利用使用施工阶段定管理，再在个别施工阶段上设置选项，这样的方法比较方便。

- 点击阶段编号选择 ‘1:I.S.’。
- 勾选位移清零。
- 点击[保存]后，点击[关闭] 键。



5.4 设置分析工况

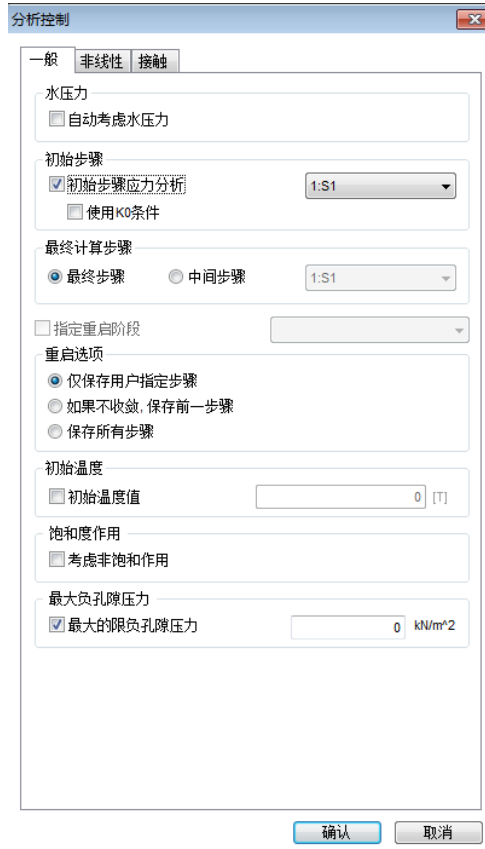
*  : 分析>分析工况>新建 (Analysis > Analysis Case > General)

本阶段是设置分析方法和分析上使用的模型数据的过程。用高级选项可以控制分析及输出结果类型。在分析施工阶段的情况下，因为已经设置了分析上使用的数据，所以将钝化分析模型设置的部分。

- 名称设置为 ‘三维连接部施工阶段’。
- 分析种类设置为施工阶段，施工阶段组设置为三维连接部隧道。
- 在控制分析>一般上，勾选应力分析初始阶段，选择 1:I.S.。



►控制分析



5.5 执行分析

*  : 分析>分析>运行 (Analysis > Analysis > Perform)

执行分析。完成分析后自动转换成后处理模式（查看结果），以后修改模型及变更选项时应当转换成前处理模式。

- 勾选管理执行分析的对话框，只有选择要执行分析的工况即可。



分析过程中发生的信息在输出窗口上显示。特别是在发生 Warning 等的情况下，要注意分析结果有可能不正确。

执行分析前将自动保存模型。对分析的信息将按 Text 文件格式，保存文件结果按 *.OUT 文件格式。

分析时输出的结果可以在分析>分析工况>新建>分析控制上控制，按二进制/文本设置输出选项的情况下，分析后节点及单元结果将一起输出到*.OUT 文件上。



6 分析结果

分析以后可以在结果目录树上按各施工阶段查看变形、应力、内力等。所有结果按等值线、云图、表格、图形等输出。在本例题中需要分析的主要结果如下。

- 隧道的位移—拱顶位移、隧道截面收缩
- 查看岩土的最大主应力值（云图、矢量）
- 查看喷混应力及 rockbolt
- 查看剪切面结果

6.1 查看位移

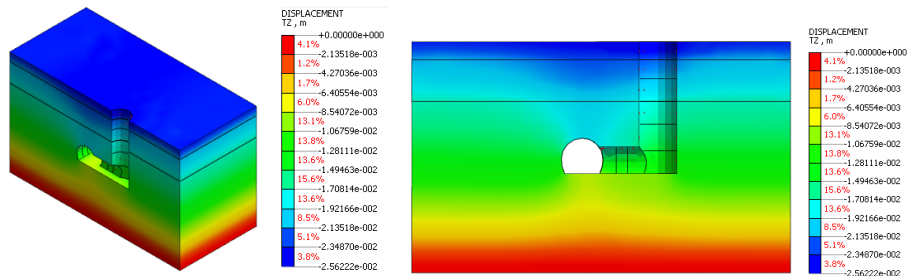
可用结果目录树的 Displacement 确认位移趋势。T1, T2, T3 为整体坐标系对应的 X、Y、Z 方向的位移。在本模型中重力方向为 Z 方向，隧道的拱顶位移可用 T3 TRANSLATION 来查看，隧道的内力位移可用 T1 TRANSLATION, T2 TRANSLATION 查看。

(V) 是指可以同时显示云图及矢量的结果项目，在 GTS NX 上，对于位移及主应力可以同时显示云图/矢量。

- 在工作目录树>结果>三维连接部施工阶段上，指定查看结果的阶段 (S27) 后，选择 Displacement > T3 TRANSLATION (V)。
- 在视图工具条上，选择正面视图 (📐) 并查看正面上的结果。

▶拱顶位移（查看轴测图 1）

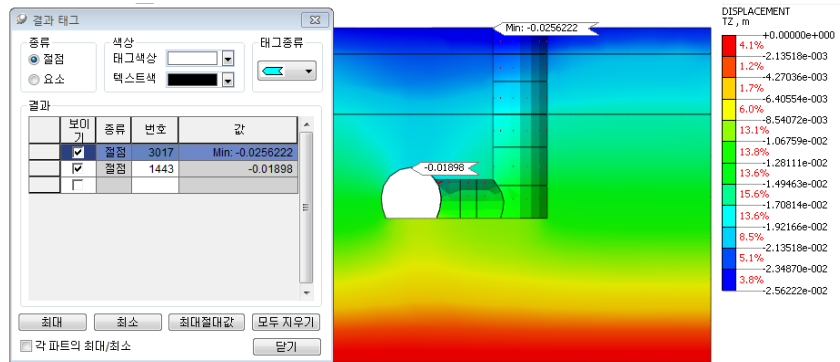
▶▶拱顶位移（查看



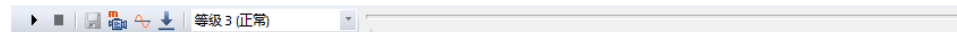
选择结果>高级>结果标记，选择要查看的节点来确认有关节点上的结果值。在结果表单上也可以查看最大、最小、最大绝对值的位置。



▶结果值表单



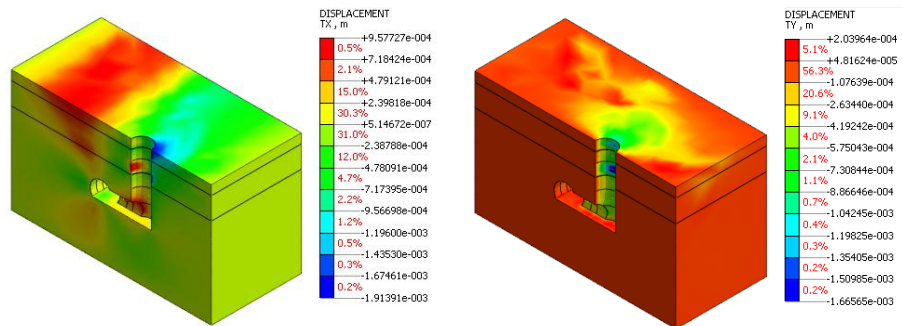
移动操作屏幕下端的滑动条，确认各阶段的沉降趋势。



在工作目录树>结果>三维连接部施工阶段上，指定确认结果的阶段（S27）后，选择 Displacement > T1 TRANSLATION（V）和 T2 TRANSLATION（V），查看 X, Y 方向的位移。

▶X 方向位移

▶▶Y 方向位移



6.2 查看应力

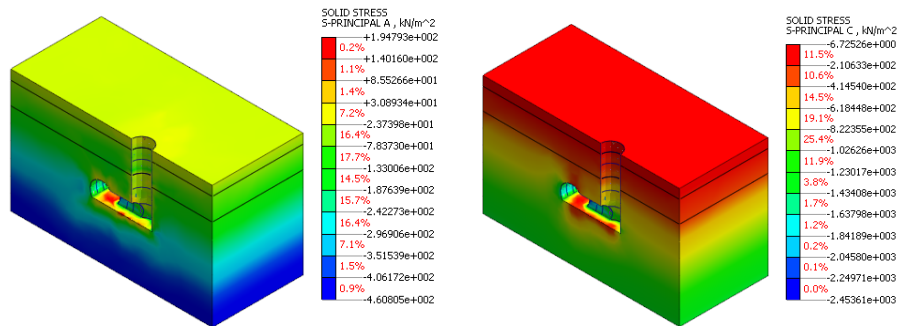
岩土上发生的应力，可以用结果目录树的 Solid Stresses 确认。S-XX, S-YY, S-ZZ 分别指各方向的应力，最大主应力为 S-PRINCIPAL A（V），最小主应力为 S-PRINCIPAL C（V）。



- 在工作目录树>结果>三维连接部施工阶段上，指定确认结果的阶段（S27）后，选择 Solid Stresses > S-PRINCIPAL A（V），S-PRINCIPAL C（V）来确认最大主应力和最小主应力。

▶最大主应力

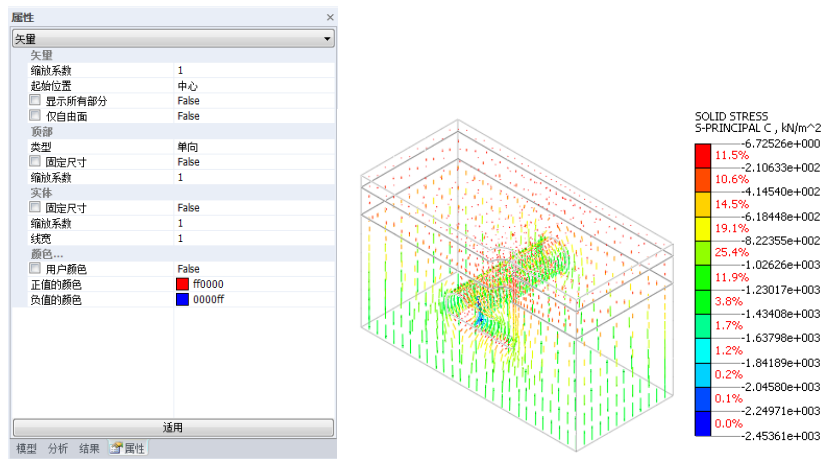
▶▶最小主应力



- 取消选择结果>一般>云图，选择矢量。在左侧下端的属性窗口，勾选矢量的[仅自由面]选项后点击适用键。

▶属性窗口（矢量）

▶▶最小主应力（矢量）



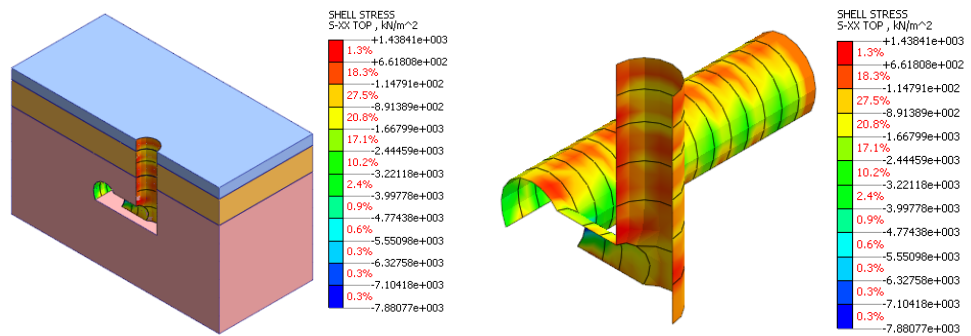
6.3 查看喷混应力及锚杆轴力

查看喷混的应力和锚杆的轴力。喷混的情况下，作为板单元，输出对单元轴 X、Y、Z 轴的结果。壳单元是具有厚度的板单元，将输出板的 TOP, MID, BOTTOM 部分对应的结果。



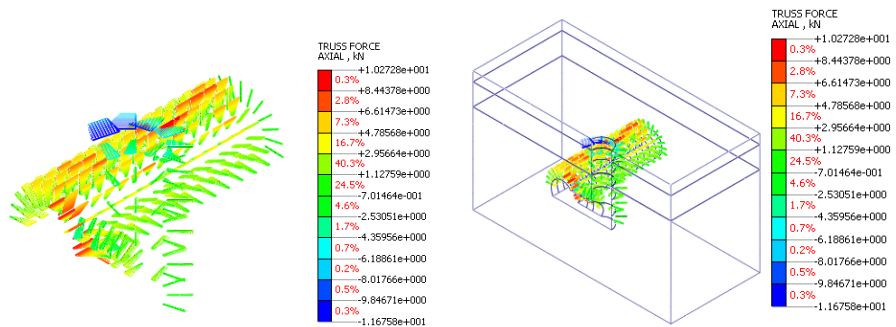
- 在工作目录树>结果>三维连接隧道，指定查看结果的阶段（S27）后，选择 Shell Element Stresses > S-XX TOP。
- 按结果>一般>无结果>排除。

▶ 喷混 X 方向应力
 ▶▶ 无结果的实体除外



- 在工作目录树>结果>三维连接隧道施工阶段上，指定查看结果的阶段（S27）后，选择 Truss Element Forces > AXIAL FORCE。
- 按结果>标准>无结果>特征线选择。

▶ 锚杆轴力
 ▶▶ 特征线显示



6.4 查看切面

三维模型的情况下，按特定切面分割模型，可以在有关面上查看结果。在 GTS NX 上，按截面分割模型可以方便查看模型内部特定节点上的结果。

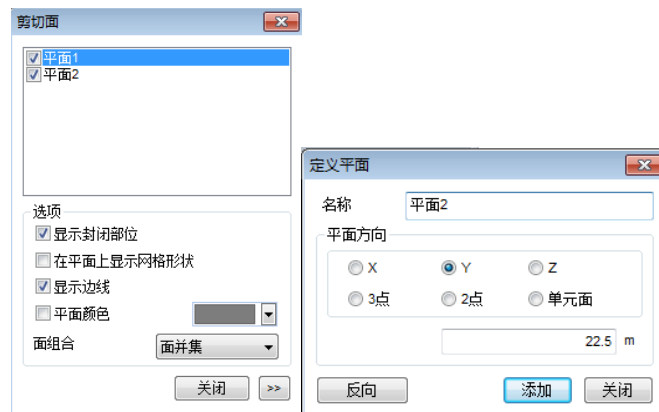
- 按分析结果>其它>初始化，还原为初始设置的状态。



- 在工作目录树>结果>三维连接隧道施工阶段上，指定查看结果的阶段（S27）后，选择 Displacement > TOTAL TRANSLATION（V）。
- 在添加视图操作工具栏上，选择显示剪切模型（）。在定义剪切面上，平面方向输入 X、距离输入 0m 后，点击添加键生成 1 切面。
- 平面方向指定为 Y 后勾选[反方向]，用平面 2 再生成一个剪切面。
- 面组合选择并集。

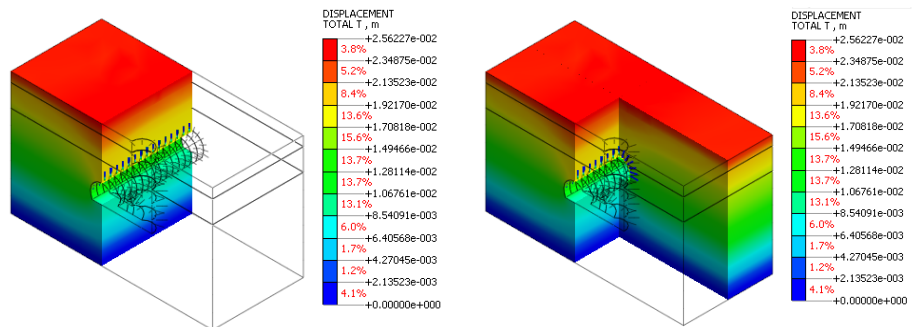
▶剪切面选项

▶▶剪切面定义



▶基于平面 1 的截面

▶▶基于平面 1&2 的截面



- 选择结果>高级>其他>3D->2D 助手。3D->2D 助手是在按特定平面剪切三维模型时，选择有关平面上的结果并查看的功能。若勾选显示点则可以选择截面上的各节点。



▶结果表单

▶▶截面结果表单

3D-2D助手

颜色
标签颜色 []
文本颜色 []

标签类型 []

结果

显示	X	Y	Z	值
<input checked="" type="checkbox"/>	52.81	-50.0	-13.2	0
<input checked="" type="checkbox"/>	52.81	13.53	-43.5	0
<input checked="" type="checkbox"/>	52.81	25.73	-29.7	0
<input type="checkbox"/>				

最大值 最小值 最大绝对值

显示点 清除全部 关闭

