

三维边坡稳定分析

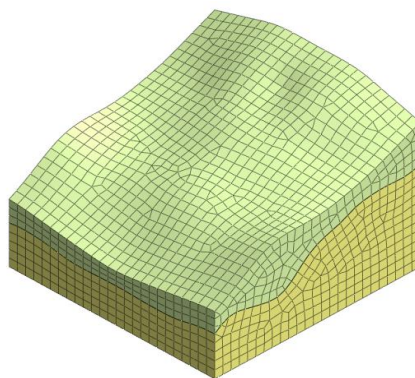
第 1 部分

1.1 学习目的

学习目的及概要

边坡稳定分析可以利用数值分析方法模拟接近实际的破坏形状，并能够更好地反映真实现场条件。但是，只是进行边坡某一断面的二维分析，对三维边坡属性的分析上具有局限性。二维分析和三维分析的最大差别在于是否能够反映滑动面形状、地层材料分布、滑动面的强度等对边坡稳定性有影响的因素。因为在二维分析上几乎可以忽略的单元，在三维分析上反映后分析，所以可以得到更现实的分析结果。即，通过三维边坡稳定分析可考虑边坡滑动面范围，掌握活动集中的位置，并可以以此为中心建立施工计划等。

▶模型示意图

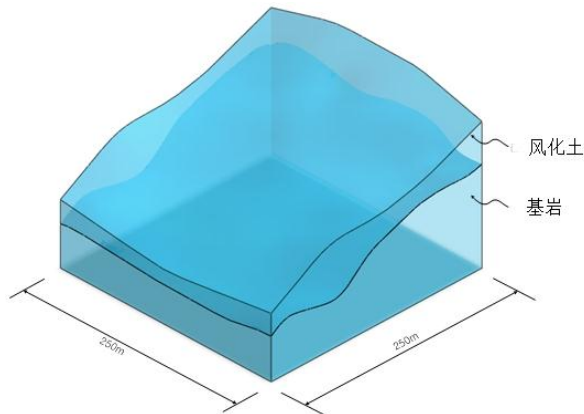


通过本例题，可以学习如下主要功能及分析方法：

- 利用栅格面功能生成地表面、地层面
- 划分网格
- 边坡稳定分析
- 分析结果-安全系数及最大剪应变
- 分析结果-使用剪切面功能检查某一指定断面的结果

本模型是由风化土和基岩组成的三维模型。通过分析旱季和雨季下的边坡稳定性，识别可能出现破坏的部分，消除隐患。

▶剖面图





第 2 部分

[打开附件中的开始模型(08_3DSlope_start)]

分析设置

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

- 设置模型类型、重力方向、初始参数及分析用的单位制。单位制可以在建模过程及确认分析结果时修改，根据设置的单位制将自动换算参数。
- 本例题是把 Z 轴作为三维模型的重力方向，单位制使用 SI 单位制(kN,m)。

►分析设置





第 3 部分

定义材料及属性

3.1 定义岩土及结构材料

定义岩土材料模型为 Mohr-Coulomb 模型，各地层使用的材料如下表。

[单位 : kN, m]

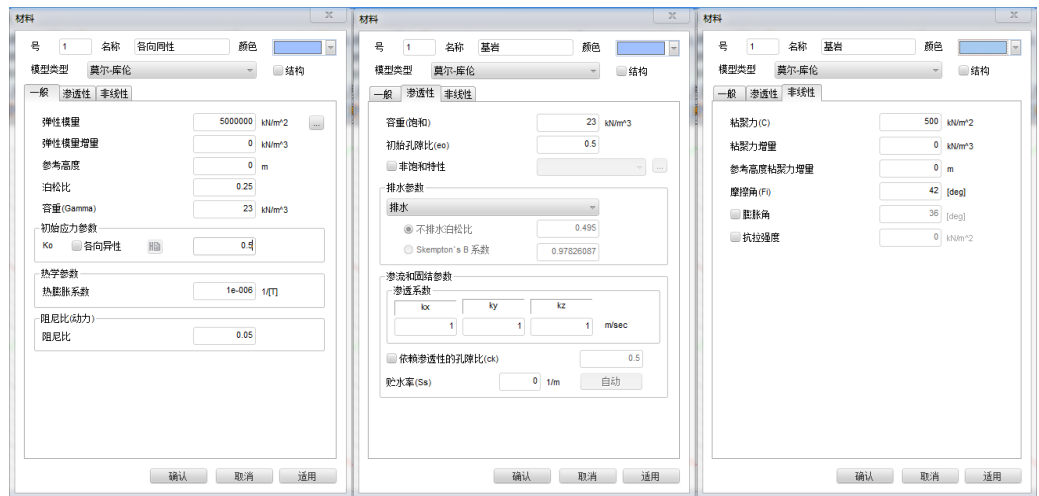
▶ 表. 岩土材料

名称	基岩	风化土
模型类型	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
一般		
弹性模量(E)	5.0E+06	1.0E+05
泊松比(ν)	0.25	0.30
容重(γ)	23	18
Ko	1.0	0.5
渗透性		
容重(饱和)	23	18
初始孔隙比(e_0)	0.5	0.5
排水参数	排水	排水
非线性		
粘聚力(C)	500	10
摩擦角	42	19

▶ 定义岩土材料-一般

▶▶ 定义岩土材料-渗透性

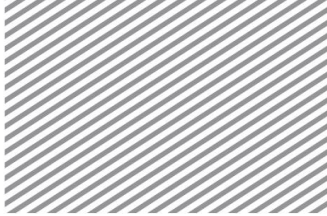
▶▶▶ 定义岩土材料-非



3.2 定义属性

属性体现网格的物理属性。在划分网格时，将属性分配给网格组。

名称	基岩	风化土
类型	三维	三维
材料	基岩	风化土



第 4 部分

建模

本例题的主要目的是掌握使用栅格面生成三维地层面，边坡稳定分析(SRM)及分析结果上。您可以从已经输入岩土属性的开始文件开始学习例题。

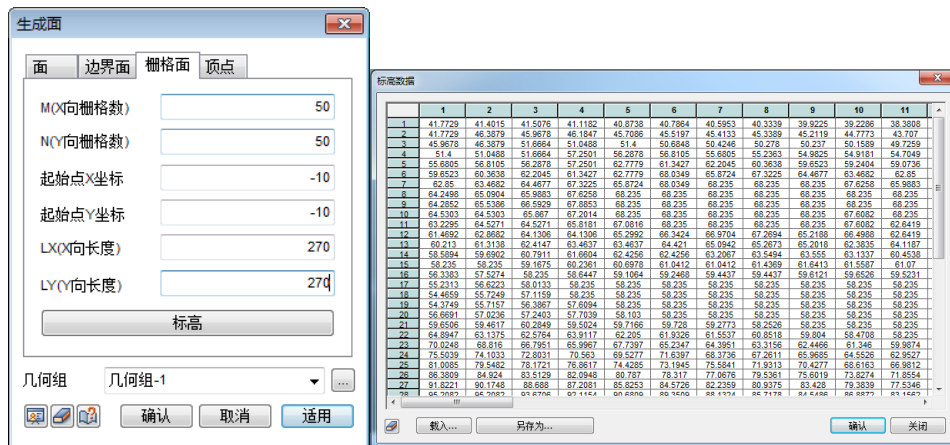
4.1 几何建模

* : 几何>曲面与实体>生成面 (Geometry > Surface & Solid > Make Face)

根据包含地层和地形信息的坐标数据中生成曲面。为了使用地层面分割实体，需生成略大于实体的面。

- 在栅格面表单上，M(X 方向栅格数量)、N(Y 方向栅格数量)分别输入 '50', '50'。
- 起始点 X、Y 分别输入 '-10', '-10'。
- LX、LY 分别输入 '270', '270'。
- 点击高度后，选择载入地形信息的 3d_slope_terrain.txt 文件。
- 点击[确认]键后，点击[适用]键。
- 用同样的方法引入地形信息的 3d_slope_strata.txt 文件来形成地层面。

- ▶ 生成面
- ▶ 栅格面信息



* : 几何>曲面与实体>箱型 (Geometry > Surface & Solid > Box)

生成用于代表地基的箱型实体。

- 角坐标输入 0, 0, 0。
- 长度、宽度、高度分别输入 '250', '250', '250'。
- 几何组输入'地基'后，点击 [确认]键。



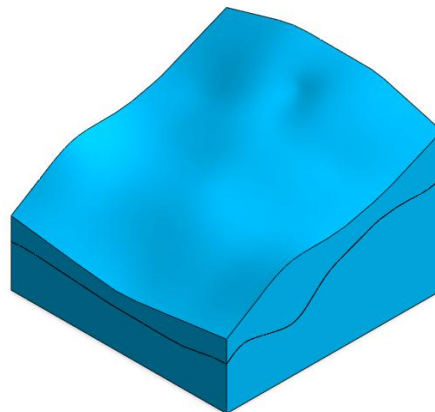
*  : 几何>分割>实体 (Geometry > Divide > Solid)

用栅格面生成的地表面和地层面分割地基实体。

- 目标实体指定为‘地基’实体。
- 选择辅助面后，选择过滤器修改为‘面(A)’。
- 辅助面选择在上一步骤中生成的地表面和地层面。
- 几何组选择‘地基’。
- 点击[确认]键。
- 按 delete 键删除最上部无用的实体。

▶ 分割实体

▶▶ 分割的实体



分割实体的辅助面必须等于或大于实体面积。满足不了这种情况时，实体可能会变成壳(Shell)或形状组合(Compound)。

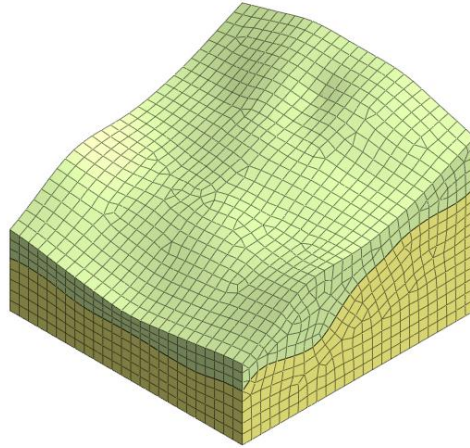
4.2 生成网格

*  : 网格>生成>三维 (Mesh > Generate > 3D)

- 在自动-实体表单上，目标选择上部实体。
- 尺寸输入‘10’。
- 生成网格方式指定为‘混合网格生成器’。
- 勾选‘配选相邻面’。
- 属性指定为‘2:风化土’，网格组名称输入‘风化土’。
- 点击>>键，在高级选项上，勾选生成高阶单元后，点击[确认]键。



- 点击[适用]键，生成风化土网格。
- 用同样的方法生成对‘基岩’的网格。



网格作为把几何形状传递到有限元分析求解器上的手段，分析结果的准确度主要在于网格的品质。一般尺寸越小、越接近正多边形/正多面体的网格形状越能得到好的结果，矩形/六面体单元比三角形/四面体单元更好。但是，对于复杂的几何模型，如果划分网格时无法生成质量较好的矩形单元，使用三角形单元比使用质量不好的矩形单元更好。

GTS NX 提供“混合网格生成器（以六面体为主）”，以此生成最优的网格质量。在二维和三维边坡稳定分析时，使用强度折减法（SRM）。

使用低阶单元时，计算的安全系数会相对偏大。这是因为与高阶单元相比，低阶单元的刚性偏大。基于上述原因，在进行基于强度折减法的边坡稳定分析时，使用高阶单元可以得到更合理的结果。使用低阶单元则根据模型可能得到有些不恰当的结果。

因此，在进行基于强度折减法的边坡稳定分析时，建议采用高阶单元。



第 5 部分

分析设置

5.1. 设置荷载条件

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

定义自重。重力是由岩土、结构的容重乘以默认设置的重力加速度后自动计算。输入某方向的比例系数置即可。程序默认设置重力方向为 Z 方向，比例系数为-1。


- ‘名称’输入‘自重-1’，荷载组输入‘自重’。
- 输入重力加速度方向 Gz 上比例系数’ -1’。
- 点击[确认] 键。

5.2 设置边界条件

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

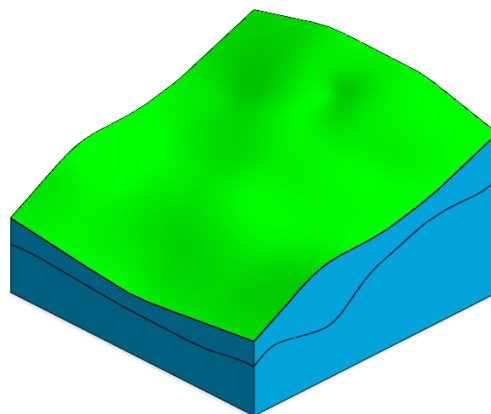
基于整体坐标系，定义边界条件。其中，自动约束边界功能是根据整体坐标系方向对模型左/右/下端部自动设置位移约束。

- 在自动表单上，输入名称和边界条件组名称。
- 点击[确认]键。

*  : 静力/边坡分析>边界条件>水位 (Static/Slope Analysis > Water Level)

模拟地表面饱和的状态。在 GTS NX 上，对三维空间上的水位也可以使用空间函数设置。

- 在工作目录树>几何形状上，点击鼠标右键，点击[显示]。
- 在面表单上，目标面选择相应地表面的面。
- 间距输入 ‘5’ 。
- 名称输入 ‘水位’后，点击[确认]键。





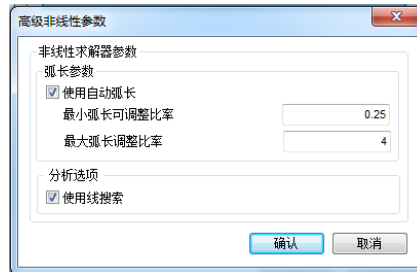
5.3 设置分析工况

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

设置分析方法和输出的模型数据。可以用高级选项控制分析及输出结果类型。

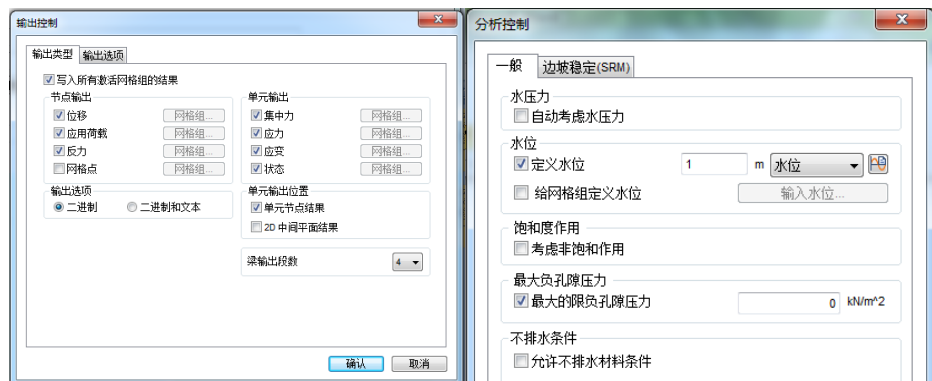
- 名称输入‘旱季’。
- 分析类型选择 ‘边坡稳定分析(SRM)’。
- 在分析控制选项>边坡稳定(SRM) 表单上，在‘高级非线性参数’中，勾选 ‘弧长法(arc-length)’ 。
- 把所有网格和约束条件、荷载条件移动到激活数据栏上。
- 在控制结果选项上，输出类型勾选‘应变’。
- 点击[适用]键。
- 用同样的方法也生成雨季的分析工况。
- 雨季时，在控制分析选项>一般表单上，勾选定义水位，水位值选择 ‘1’，函数选择 ‘水位’ 。

▶非线性分析选项



▶控制结果(勾选应变)

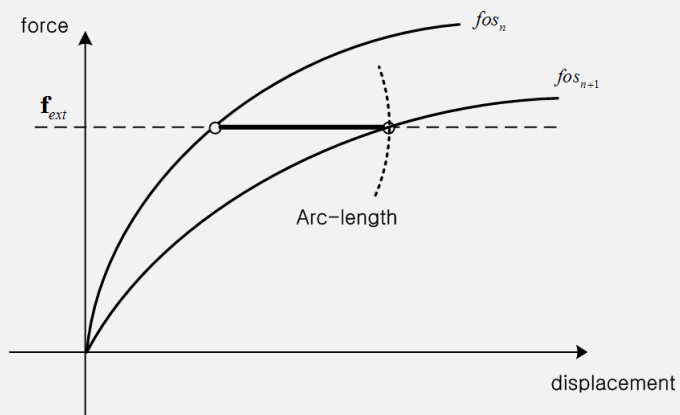
▶▶控制分析(指定水位)





利用弧长法(Arc-length)的强度折减法和标准的强度折减法的最大差别在于安全系数增加或减少的方法。标准的强度折减法，是按用户指定的增量调整来计算下一个阶段的安全系数。对非常稳定模型的情况和不稳定模型，安全系数是均匀变化，计算效率非常低。

相反，如果使用弧长法，就会根据上一阶段收敛速度计算安全系数的增量，可以得到更真实可靠的安全系数。



<基于弧长法的安全系数增量>

5.5 运行分析

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

- 运行分析。



分析过程中可以实时查看计算过程。在[信息输出窗口]可以查看结果是否收敛、警告和报错等信息。

在分析开始前模型将自动保存。模型相关信息将以*.OUT 文件形式保存在模型所在位置文件夹。

分析时输出结果可以在分析>分析工况>添加>输出控制中设置。如果勾选二进制/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。



第 6 部分

结果

分析后，在结果目录树上可以查看变形、应力等结果。所有结果可以按云图、表格、图形等提供。在本例题中，需要查看的主要结果项目如下。

- 安全系数/破坏形状
- 通过‘剪切面(Clipping plane)’评估结果。

6.1 安全系数/破坏形状

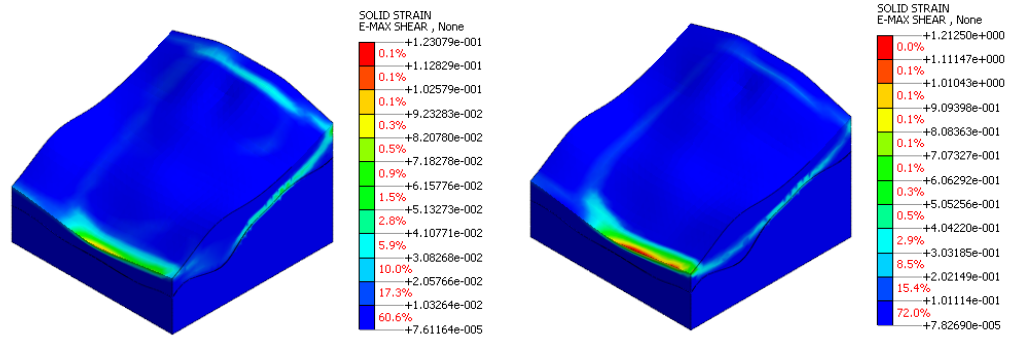
在运行强度折减法 (SRM) 后，在结果目录树上就能立即确认边坡的最小安全系数。

可以选择岩土的最大剪切应变(Max. Shear Strains)确认破坏形状。

- 在工作目录树>结果>旱季>边坡稳定分析中，选择查看结果的阶段（输出最小安全系数的阶段）> Solid Strains > E-MAX SHEAR。


▶最大剪切应变(旱季)

▶▶最大剪切应变(雨季)



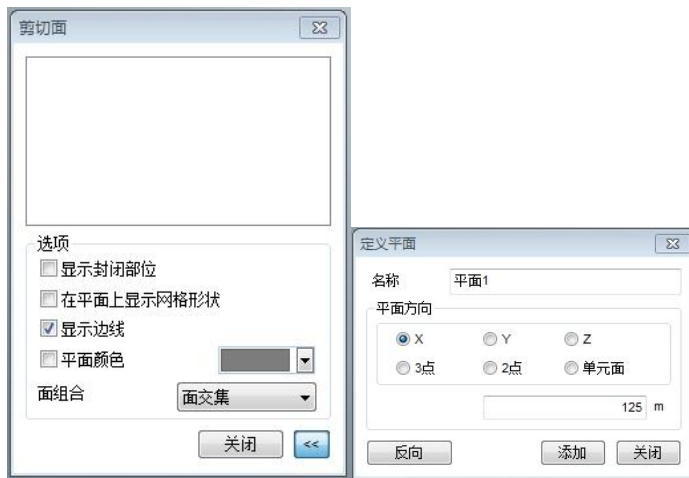
6.2 查看剪切面

在 GTS NX 上，可以使用‘剪切面’分割模型，确认各剪切面上的结果。

- 在工作目录树>结果>旱季>边坡稳定分析上，选择查看结果的阶段(输出最小安全系数的阶段) > Solid Strains > E-MAX SHEAR。
- 在高级视图工具条上，选择剪切面。在定义剪切面时，平面方向输入‘X’、距离输入‘125m’后点击[添加]键，生成平面 1 的剪切面。

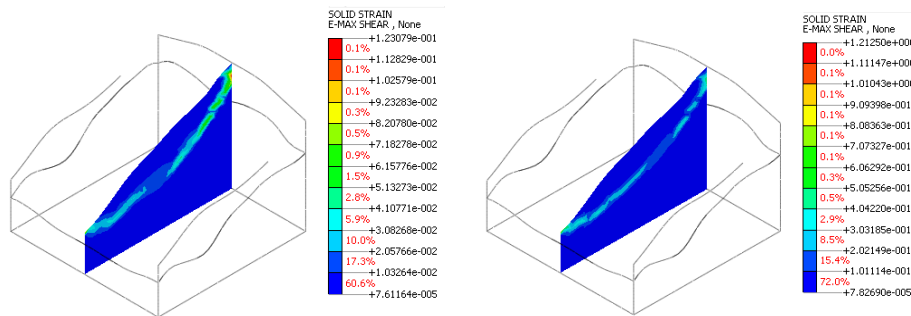
▶剪切面选项

▶▶剪切面&定义平面



- 取消勾选'显示封闭部分'。并在分析结果>一般>线类型中，选择'无线'。

▶破坏面(旱季)
▶▶破坏面(雨季)



- 在定义剪切面中点击">>"键，通过指定多个的平面，可以轻松的确认为边坡在特定位置上的破坏形状。

▶多重破坏面(旱季)
▶▶多重破坏面(雨季)

