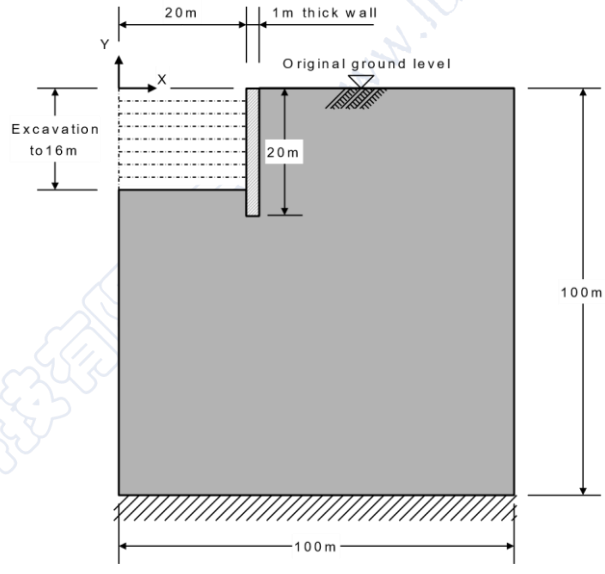
挡土墙的非线性排水分析

LUSAS 版本：	19.1
软件产品：	所有 Plus 版本
产品选项：	非线性

描述

本文档研究了当挡土墙支撑的临近土层开挖时，该挡土墙发生的力学行为。分析全程采用的土体参数为排水参数。



土体左右两端的水平位移受到约束，同时，由于土体位于坚硬的岩石上，土体底部的水平和竖向位移也同样被约束。

假定挡土墙“已然位于此处”，这意味着将不再模拟挡土墙的建造过程。

分析全程采用的单位为 kN，m，t，s，C。

本例基于一个已发布的例子，但是采用了简化的几何来表示土层，并且使用了不同的材料属性。

目的

分析所需的输出项包括：

- 墙趾向开挖方向的位移
- 墙后表面的瞬时隆起
- 开挖周围的塑性应变云图
- 墙体单位长度（m）的支撑力

- 墙体10m深处的弯矩

关键词

2D，面内，挡土墙，排水，非线性，开挖，表面隆起，平面应变，支撑力，弯矩，剖面变化，初始地应力，K_0 初始化

关联文件



- drained_wall_modelling.vbs 执行本例的建模

建模

运行LUSAS建模器

有关如何运行LUSAS建模器的详细资料，请查阅“LUSAS例子手册”的介绍：运行**LUSAS**建模器。



注. 此例假设一个新的LUSAS建模器模型已经启动。如果继续在已有的模型上新建一个新的模型文件，请选择菜单命令：**文件>新建**

创建新模型

- 输入文件名：**drained_wall**
- 使用**默认**的当前工作文件夹
- 确保分析类型为 **结构**
- 设置分析类别为 **2D面内**
- 设置模型单位为 **kN，m，t，s，C**
- 保留时间刻度单位为 **秒**
- 选择启动模板为 **无**
- 确保轴网网格设置为 **无**
- 输入标题：**Drained analysis of a propped retaining wall**
- 点击 **确定** 按钮



注. 对于二维面内分析类别，模型的竖轴设置为Y轴。

网格定义

几何面将使用平面应变二次插值阶次单元（QPN8）进行网格划分。

属性
网格 >
面...

- 选择 **平面应变，四边形，二次单元** 。确保选择了**规则**网格，**自动划分**选项，那么，建模器将使用设置给每条线上的网格划分
- 输入属性名称为 **平面应变四边形** ，并点击 **确定** 选项添加该网格属性至 树形目录
- 鼠标右键点击 树形目录中的网格属性 **平面应变四边形** ，选择 **设为默认** 选项。这将确保所有新创建的面都将设置为定义的该网格属性

剖面变化

功能
变量...

土的杨氏模量随着土层深度的变化可以使用一个剖面变量进行描述。表面土的弹性模量为0kN/m^2 ，深度为100m时的弹性模量为6E5kN/m^2，中间土层弹性模量呈线性变化。

- 选择 **剖面变化** 并点击 **下一步**
- 选择 **新建...** ，然后在显示的线剖面变化对话框中输入距离 (x) 值为**0**，值 (y) 为**0**, 距离 (x) 值为**100** ，值 (y) 为 **6E5** 。输入线剖面名称为 **E_LineP** ，并点击 **确定**
- 在对话框的可用面板中，通过左键点击 **E_LineP** 选择线剖面名称为 **E_LineP** ，接着点击“添加”按钮 将其转换为剖面设置。线剖面的原点（x，y）默认设置为（0，0），因此不需要进行更改。相应的，线剖面的正向默认设置为竖轴的负方向，同样也不需要更改
- 输入剖面变量的名称为 **E_mod** 并点击 **完成**

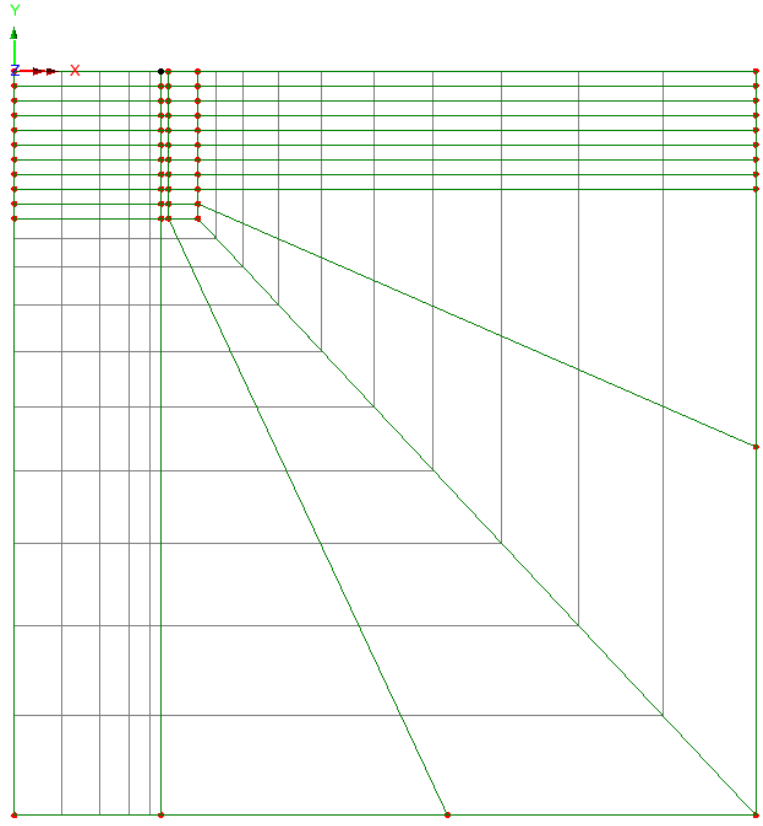
几何特征

为了清楚的显示，当创建几何模型的时候将关闭网格层的显示。

- 在 树形目录，右键点击 **网格** 条目，然后选择 **打开/关闭**

建模

该模型将“自上而下”创建，首先定义开挖区域中表示各土层的深度的几何面。然后，开挖后的土体将使用定义的初始几何进行创建。



首先定义开挖、墙体和上部土体宽度的一系列水平线：

几何
线 >
通过坐标...

输入表中所示的坐标，定义4条代表原始地面的直线(所有的Z坐标应该输入为0或者保留为空)。使用Tab键移动到对话框的下一行输入区域，当所有的坐标输入完成时，点击 **确定** 选项。

X	Y
0	0
20	0
21	0
25	0
100	0

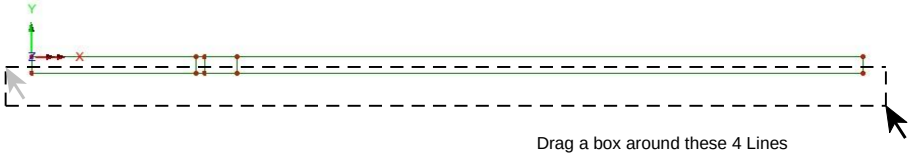
然后，这些线将垂直向下扫略，以创建代表第一次开挖区域的面：

- 按住 **CTRL+A** 组合键选择视图窗口的所有的线

几何
面 >
通过扫略...

确保选择了 **平移** 选项，输入 **Y** 方向的值为 **–2.0** 。

- 点击 **确定** ，通过扫略线来创建几何面
- 按住鼠标左键，框选如下所示的四条底部的水平线



几何
面 >
通过扫略...

确保选择了 **平移** 选项，输入**Y**方向的值为 **-2**。

- 点击 **确定** ，扫略线创建几何面
- 重复执行上述命令8次，每次选择模型的底部四条线，如图所示，每次在Y轴上方向将线扫略-2m，创建出与每个挖掘区域深度对应的几何面

开始向下创建开挖后保留的土体。



- 选择如图所示的A点

几何
点 >
移动...

确保选择了 **平移** 选项，输入**Y**方向的数值为 **-80** 。

- 点击 **确定** 选项移动这个几何点
- 选择上图中显示的B点

几何
点 >
移动...

确保选择了 **平移** 选项，输入 **Y** 方向的数值为**-33** 。

- 点击**确定**选项移动这个几何点。

- 按住鼠标左键，框选如图所示的两条线。如果有必要的话，可以放大视图使其更容易选中

几何
面 >
通过扫略...

 确保选择了 **扫略** 选项，输入 **Y** 方向的数值为 **-80** 。

- 点击 **确定** ，扫略线创建几何面

- 选择如图所示的点

几何
点 >
移动...

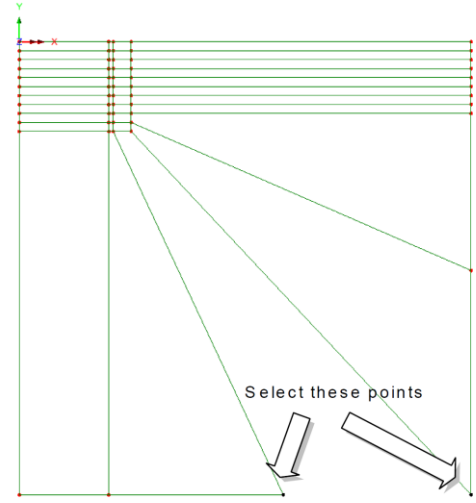
 确保选择了 **移动** 选项，输入 **X** 方向的数值为38。

- 点击 **确定** 选项移动几何点

- 选择如图所示的两个点

几何
线 >
通过点...

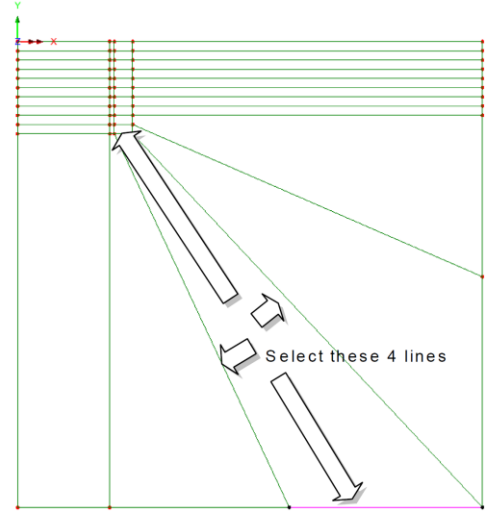
在两个选择的点中间创建一条线。



- 选择刚刚绘制的线以及右图所示的其它三条线

几何
面 >
通过线...

通过选择的四条线创建几何面。



网格划分

将土体沿着远离挡土墙的方向进行网格分级划分。因此，需要创建三条线属性。

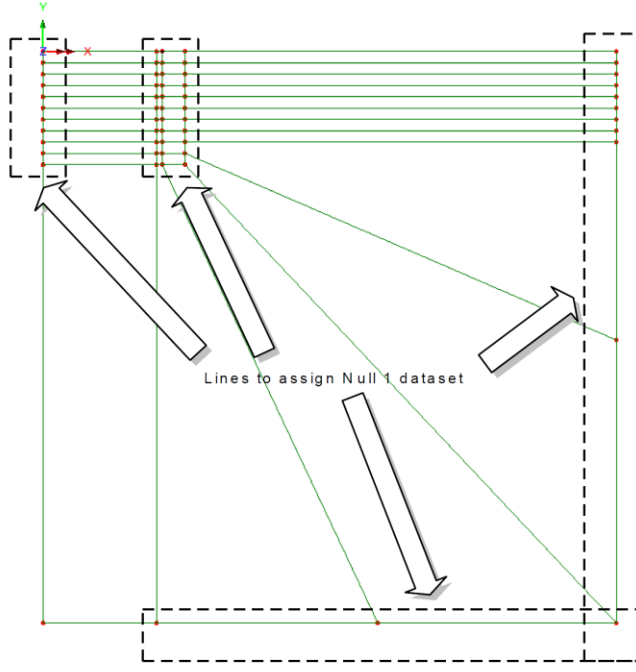
属性
网格 >
线...

- 定义一条线网格，选择单元类型为 **无** ，分段数为 **1**
- 输入属性名称为 **Null 1** ，点击 **应用** 选项添加这个属性至 树形目录，保持对话框为打开状态
- 设置分段数量为 **5**

- 选择 **间距** 按钮
- 选择 **均匀渐变** 选项，并设置首单元与末单元的比例为 **4**
- 点击 **确定** 定义间距属性
- 输入属性名称为 **Null 5 Graded** 并点击 **应用** 添加这个属性至 树形目录，保持对话框为打开状态
- 修改分段数量为 **10**
- 选择 **间距** 按钮。
- 选择 **均匀渐变** 选项，并设置首单元与末单元的比例为 **0.2**
- 点击 **确定** 定义间距属性。
- 输入属性名称为 **Null 10 Graded** 并点击 **确定** 添加这个属性至 树形目录。

设置网格属性

线网格 null 1



- 框选如图所示的几何线，拖放 树形目录中的线网格属性 **Null 1** 至选择的几何上

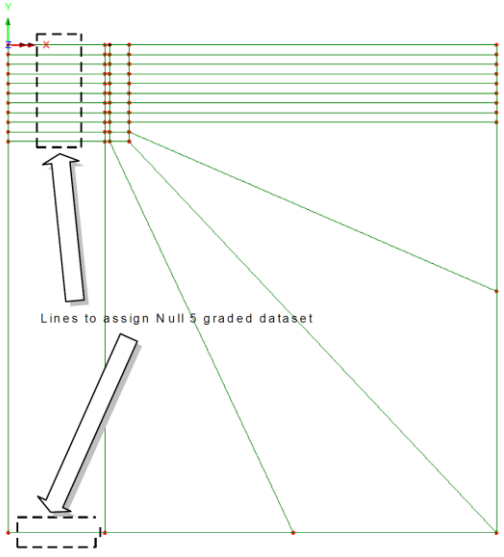
线网格 null 5 graded

通过改变选择的光标，并使用一个特殊的键盘快捷键来选择下面两图所示的几何线组，该快捷键可以使通过选框的任何线都被选中。

为此需要做如下准备：

修改光标为“选择线”

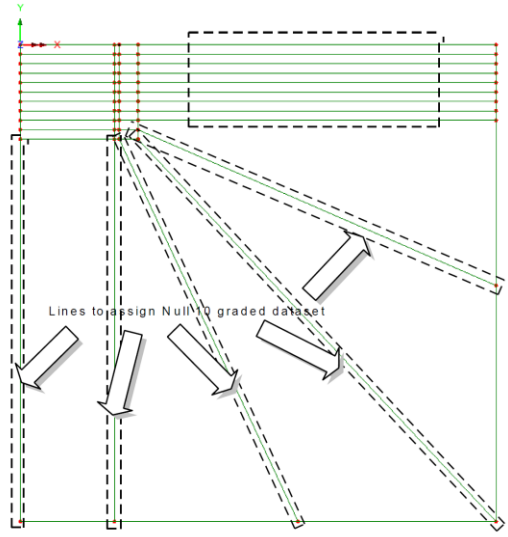
- 按住**ALT**键，拖动一个选框穿过如图所示的每一条几何线，然后设置网格属性 **Null 5 Graded.**



注. 在使用ALT键的同时按住 **Shift** 键将允许在初始选择项中添加额外的线。

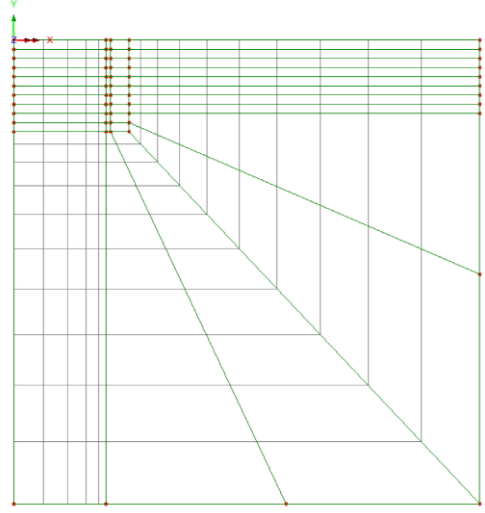
线网格 null 10 graded

- 按住 **ALT** 键框选如图所示的剩余的线，并设置网格属性 **Null 10 Graded.**



注. 有关键盘快捷键使用的更多详细信息，请参阅键盘快捷键指南。

- 打开 树形目录中的 **网格** 层查看网格。



注. 如果网格错误的在线段末端以较小的单元进行分级，则选择这条线，通过使用 **几何> 线> 反置** 菜单选项反置这条线。如果在网格设置中发生了错误，只需重新选择任何网格设置错误的线，并重新设置正确的线网格。

材料属性

采用各向同性弹性材料模拟混凝土挡土墙，采用莫尔-库仑破坏面各向同性非线性材料模拟土体。通过设置土体侧向土压力系数K_0定义土体中的初始应力状态。

混凝土

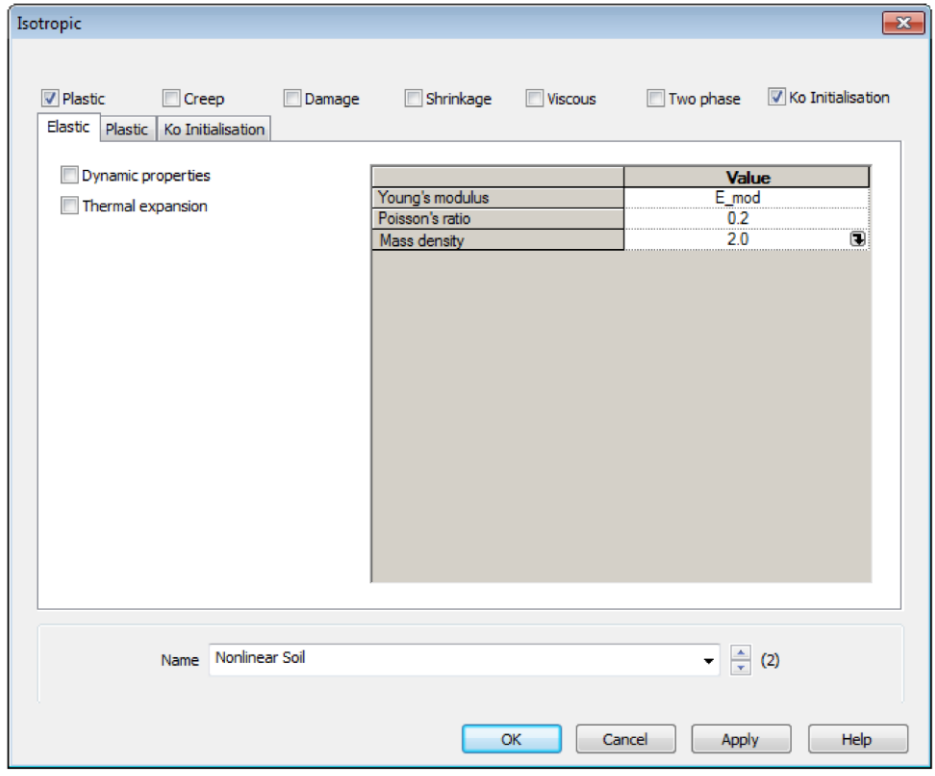
属性
材料
各向同性…

- 选择 **弹性** 选项，输入墙体各向同性材料属性的杨氏模量为 **28E6** kN/m^2，泊松比为 **0.15**，质量密度为 **2.4** tonne/m^3.
- 输入属性名称为 **Concrete Wall**
- 点击 **确定** 按钮，添加该属性至 树形目录。

土体

属性
材料
岩土
莫尔-库伦…

- 选择对话框中的 **弹性** 选项，输入土体的各向同性材料属性如下
- 首先，输入杨氏模量的数值为 **1** 并点击 按钮。从下拉列表中选择 **E_mod** 变量并点击 **确定**。对话框中输入的 **1*E_mod** 表明杨氏模量由一个剖面变量***1** 定义
- 然后输入泊松比为 **0.2** ，质量密度为 **2.0** tonne/m^3.
- 点击 **塑性** 选项，在模型下拉列表中选择 **莫尔-库伦 (模型 65)**
- 输入 **初始黏聚力** 的值为 **0**
- 输入 **初始摩擦角** 的值为 **25**
- 输入 **最终摩擦角** 的值为 **25**
- 输入 **膨胀角** 的值为 **5**
- 在硬化面板中，输入 **黏聚力硬化** 的值为 **0**
- 在硬化面板中，输入 **塑性应变限值** 为 **1000**
- 选择 **Ko系数** 选项，确保“侧向土压力系数”设置为 **0.5**
- 输入属性名称为 **Nonlinear Soil**
- 点击 **确定** 按钮添加该属性至 树形目录



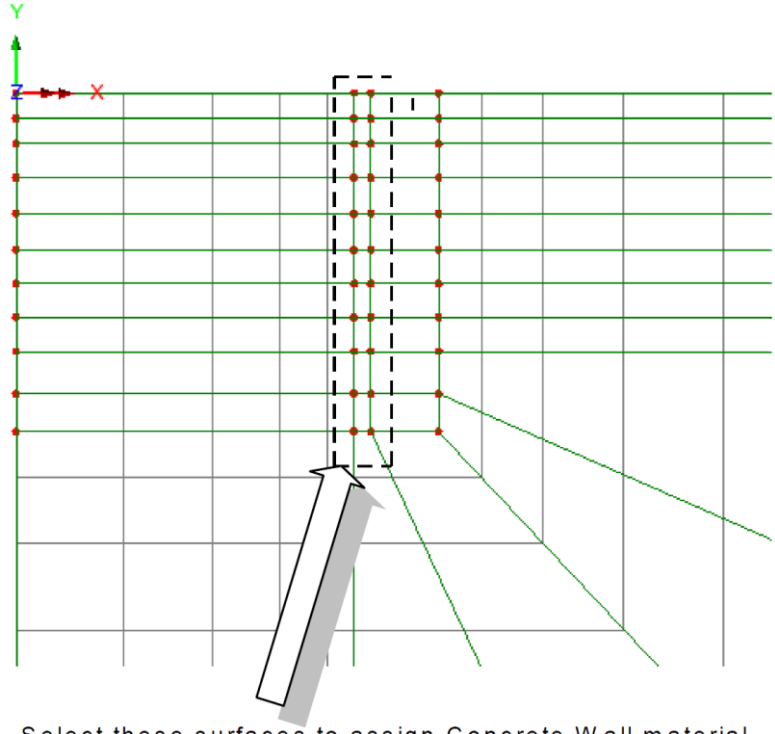
设置材料属性

将使用组设置材料属性。组允许模型几何显示和隐藏，在设置属性和查看模型选择几何的结果上非常有用。

将光标修改回“选择任意”

墙

- 选择如图所示的表示挡土墙的十个几何面



Select these surfaces to assign Concrete Wall material

几何
组 >
新的组...

创建一个只包含墙体单元的组，并重命名为 **墙** ，点击 **确定** 。

- 保持墙体的十个面选中，拖放 树形目录中的材料属性 **Concrete Wall** 至选择项。选择 **设置至面** 选项，点击 **确定** 设置材料属性
- 右键点击 树形目录中的 **墙** 组并选择 **隐藏**

土

- 当墙体几何隐藏后，通过使用 **Ctrl+A** 组合键选择模型剩下的所有几何

几何
组 >
新的组...

创建一个只包含土体单元的组，并命名为 **土** ，点击 **确定**

- 拖放 树形目录中的材料属性 **Nonlinear Soil** 至选择项。选择 **设置至面** 选项，点击 **确定** 设置材料属性
- 右键点击 树形目录中的 **墙** 组并选择 **显示**

支撑

定义表示零水平位移，零水平和竖向位移的支撑属性

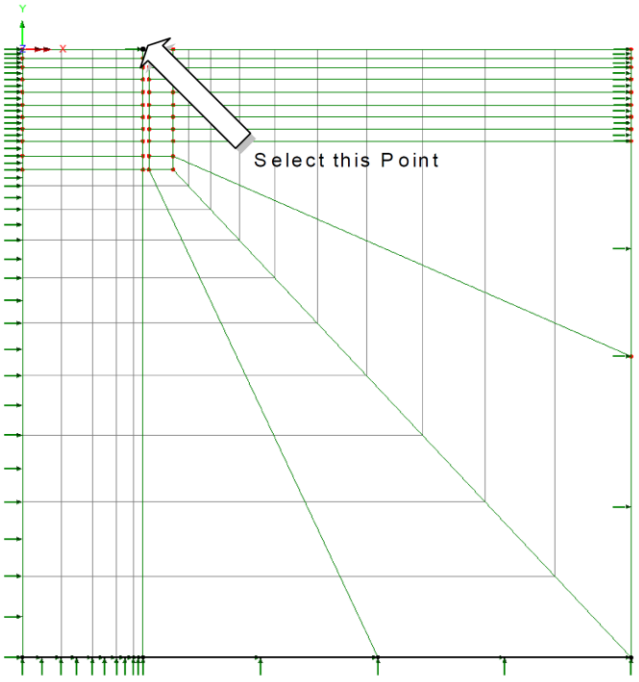
属性
支撑...

- 选择选项，固定 **X方向平移**
- 输入属性名称为 **X方向固接** ，点击 **应用** 按钮添加该属性至 树形目录，保持对话框为打开状态
- 选择选项，固定 **Y方向平移**
- 输入属性名称为 **X和Y方向固接** ，点击 **确定** 按钮添加该属性至 树形目录

设置模型支撑。

- 选择模型左右边界的所有竖直的线，拖放 树形目录中的支撑属性 **X方向固接** 至选择项。选择 **设置至线** 选项，点击 **确定** 设置支撑属性至 **所有分析工况**
- 选择表示土体底部边界的3条水平线，拖放 树形目录中的支撑属性 **X和Y方向固接** 至选择项。选择 **设置至线** 选项，点击 **确定** 设置支撑属性至 **所有分析工况**
- 选择如图所示的表示混凝土墙左上角的几何点，拖放 树形目录中的支撑属性 **X方向固接** 至选择项
- 选择 **设置至点** 选项，点击**确定** 设置支撑属性至 **所有分析工况**。

这个支撑表示墙体顶部的X方向支柱。



荷载

初始地应力状态必须建立在分析的第一个工况，且采用重力(体力)荷载建模。

属性
荷载...

- 从结构荷载对话框中选择 **体力** 选项，点击 **下一步**
- 输入 **Y** 方向的线性加速度为 **–9.81**
- 输入属性名称为 **自重** 并点击 **完成**

设置荷载

将重力荷载设置给整个模型。

- 选择整个模型，拖放  树形目录中的荷载属性 **自重** 至选择项。选择 **设置至面** 选项，点击 **确定** 设置该荷载属性至 **工况 1**
- 拖放  树形目录中的 **几何** 层 至属性层的下面



注. 重力也可以作为分析或者工况的属性设置给模型，在整个例子中，采用了体力的加载方法。

模拟土体开挖

墙前土体开挖过程中，土体的移除必须采用激活和钝化功能进行模拟。土体开挖将分别在8个工况中进行。

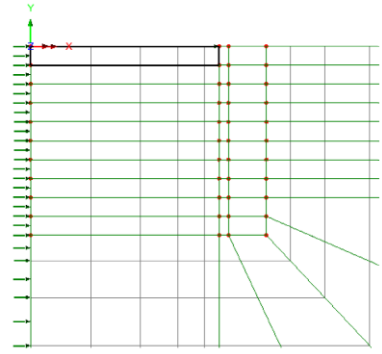
属性
激活和钝化

- 选择 **钝化** 选项并点击 **下一步** 。选择 **重新分配比例** ，确保这个值为 **100%** ，输入属性名称为 **Excavation**
- 点击 **完成** ， 添加该属性至  树形目录。

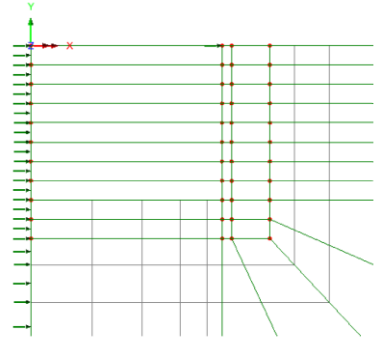
将钝化属性设置给模型。

-  使用放大按钮放大模型左上角的视图
-  如果有必要的话，为清楚显示，通过点击荷载 显示/隐藏 按钮关闭荷载显示

- 选择代表挡土墙前要开挖的第一层土的几何面，拖放 树形目录的开挖属性 **Excavation** 至选择项。选择 **设置至面** 选项，修改荷载工况名称为 **开挖至 -2m** ，并点击 **确定** 设置该属性



- 选择墙前土体的下一个几何面，拖放 树形目录的钝化属性 **Excavation** 至选择项。选择 **设置至面** 选项，修改荷载属性名称为 **开挖至 -4m** ，并点击 **确定** 设置该属性
- 重复这个过程，每次选择下一个几何面，分别重命名为 **开挖至 -6m**，**开挖至 -8m**，**开挖至 -10m**，**开挖至 -12m**， **开挖至 -14m**，**开挖至 -16m**。右图显示了设置最终开挖后的视图



注. 通过激活 树形目录中每个工况，查看钝化的几何面（单元）。

分析控制

这个例子中莫尔-库伦非线性材料的使用表明必须指定非线性分析控制

- 右键点击 树形目录中的 **工况 1** 并重命名为 **In situ**
- 右键点击 树形目录中的 **In situ** ，从 **控制** 菜单项中选择 **非线性 & 瞬态**
- 在增量区域，选择 **非线性** 选项 并选择 **手动** 增量，并使用默认值
- 点击 **确定** 设置工况控制

保存模型

文件
保存

保存模型文件

运行分析

打开 **开始求解** 对话框，点击 **确定** 运行分析

将从模型信息创建LUSAS数据文件。LUSAS求解器使用该数据文件来完成分析。

如果分析成功...

工况分析结果将被添加到 树形目录中

另外，还有两个文件将在模型文件所在的Associated Model Data目录中生成，包括：



- drained_wall.out 输出文件包含模型数据，设置的属性以及分析类型的设定。
- drained_wall.mys 这是LUSAS结果文件，它将自动加载到 树形目录中以允许进行结果处理。

如果分析失败...

如果分析失败，除所遇到的错误性质相关联的信息可以写到输出文件外，还将写到文本输出窗口，在保存模型和重新运行分析之前，LUSAS建模器应该纠正文本输出窗口列出的所有错误。

重建模型

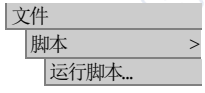
如果您不能纠正错误，提供的报告文件将帮助您重新创建模型和成功地运行分析。

- drained_wall_modelling.vbs 执行本例的建模



启动一个新的模型文件，如果一个现有的模型已经打开，将会在打开新文件之前提示保存未保存的数据。

- 输入文件名为 **drained_wall**



- 为了重新创建模型，选择位于 **\<LUSAS Installation Folder>\Examples\Modeller** 目录中的 **drained_wall_modelling.vbs** 文件

重新运行分析产生结果

注. 一条关于K_0初始化警告信息将被写入文本输出窗口，指出 K_0 条件在土体初始化阶段不成立。这通常是不规则网格或者单元类型混用导致的一个小问题。实际中，应该检查应力，确保它们是合理的。

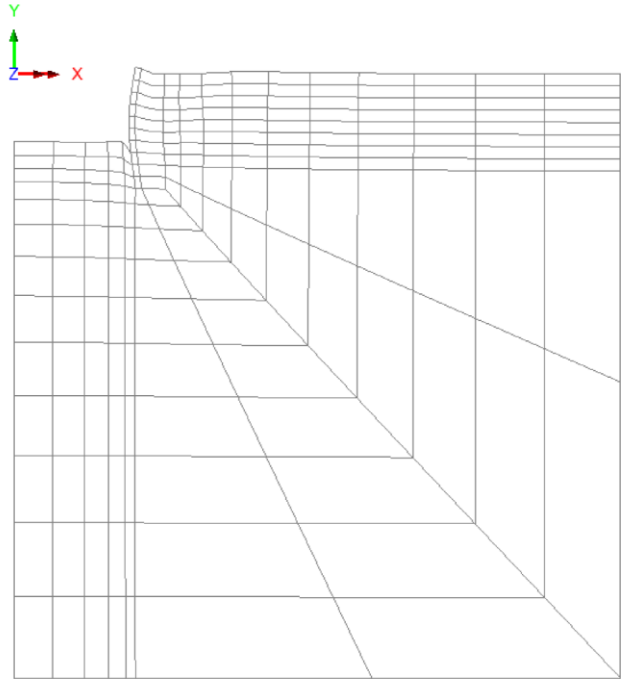
查看结果

工况结果可以在 树形目录中查看，对于非线性分析，默认激活最后一个求解的荷载增量工况结果。

- 结果显示后，关闭 中的**几何**，**网格**，**功能** 和 **属性** 层

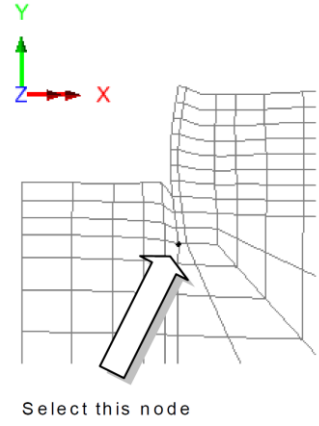
墙体位移

- 右键点击 树形目录中的 **Excavation to –14m** 的结果(倒数第二个工况)，并设置为 **激活**
- 如果变形网格还未添加，则在视图窗口点击鼠标右键（确保未选择任何几何），选择 **变形网格** ，将变形网格层添加至 树形目录
- 在 树形目录面板的底部，点击 **变形...** 按钮，选择 **指定系数** 选项 并输入系数为 **45**，点击 **确定** 返回
- 双击 树形目录中的 **查看属性** 控件，在 **视图** 选项卡上确保选择了 **仅显示激活单元** 选项。点击 **确定** 查看变形放大系数为 45 时增量 8 (开挖至 -14m)的网格变形



使用图形向导创建墙趾在一系列开挖工况下的变形图。

- 放大模型的左上角，选择墙趾的节点，如右图所示



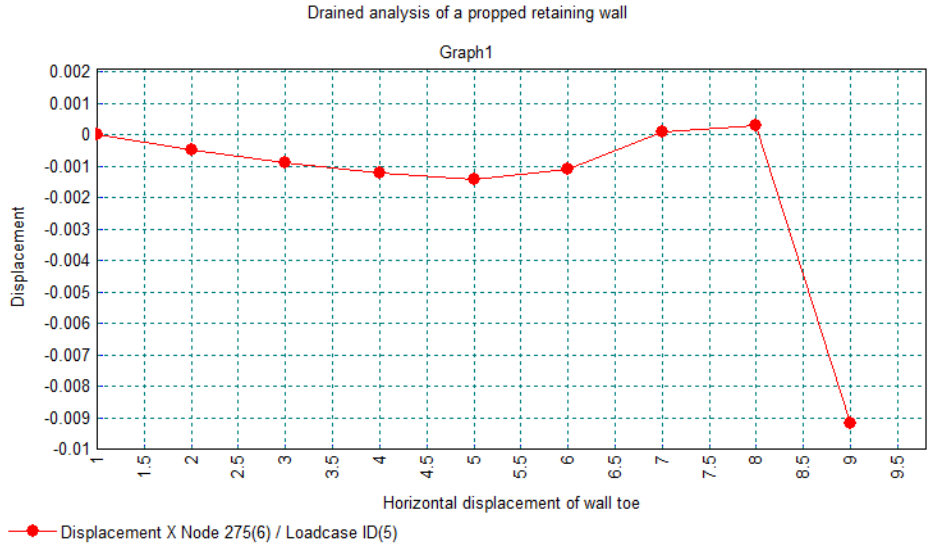
功能
图形向导...

- 选择 **时程曲线** 选项并点击 **下一步**

首先定义用于 X 轴的数据

- 选择 **名称** 选项并点击 **下一步**
- 从下拉列表中选择 **工况ID** 并点击 **下一步**
- 其次定义用于 Y 轴的数据
- 选择 **节点** 选项并点击 **下一步**
- 在结果下拉选项中，选择 **位移** ，在分量下拉选项中，选择 **DX**
- 选择的节点号将显示在 **指定节点** 下拉列表中，点击 **下一步**

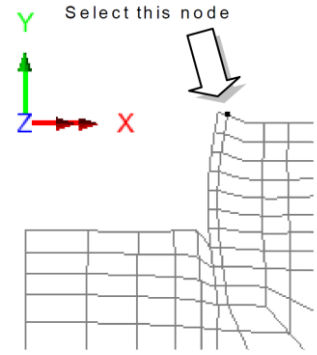
- 保留标题为空白，为图表轴输入合适的内容。点击 **完成** ，显示墙趾朝开挖方向的位移图



- 关闭图表窗口

表面隆起

- 选择墙体后面顶部的节点，如右图所示



功能
图形向导…

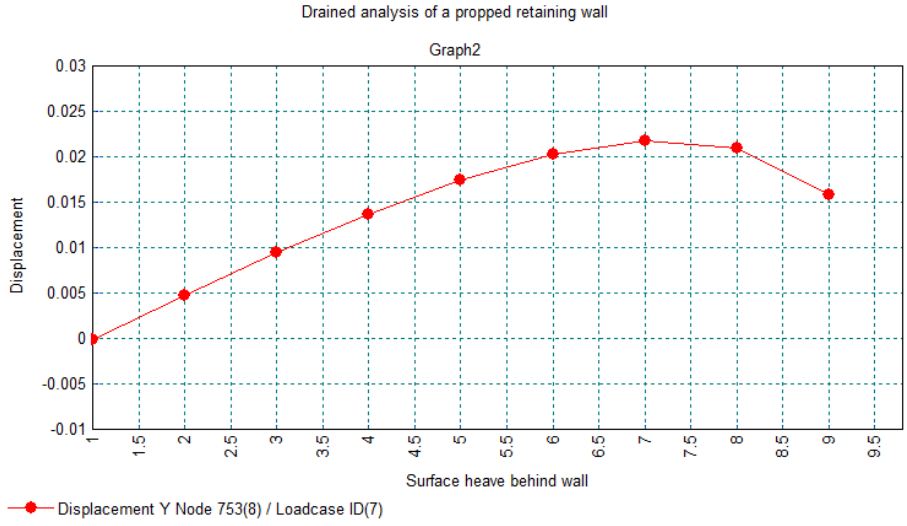
- 选择 **时程曲线** 选项 并点击 **下一步**

首先定义用于 X 轴的数据

- 选择 **名称** 选项并点击 **下一步**
- 从下拉列表中选择 **工况ID** 并点击 **下一步**

其次定义用于 Y 轴的数据

- 选择 **节点** 选项并点击 **下一步**
- 在结果下拉选项中，选择 **位移** ，在分量下拉选项中，选择 **DY**
- 选择的节点号将显示在 **指定节点** 下拉列表中，点击 **下一步**
- 为图表标题输入合适的内容，点击 **完成** ，显示墙后的隆起图

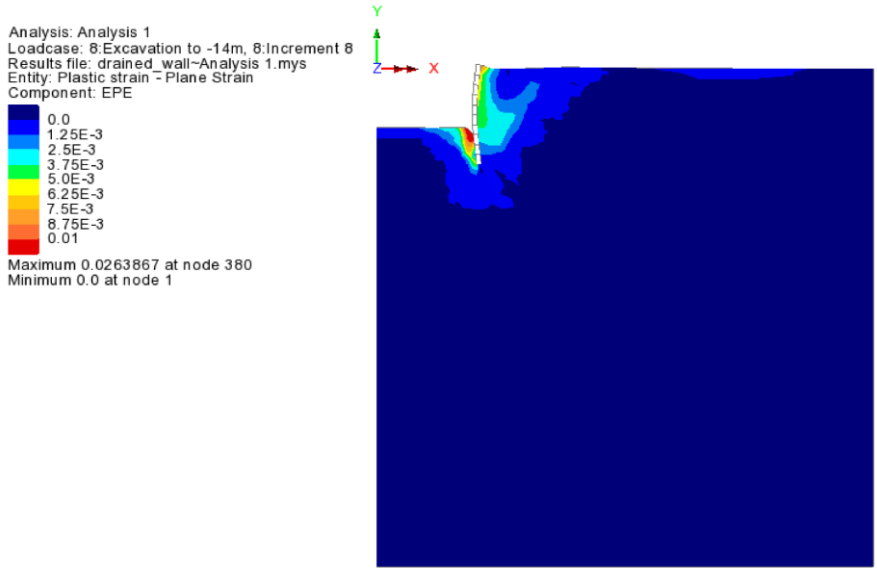


- 关闭图表窗口

绘制土体塑性应变云图

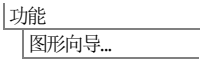
因为模型包含两种具有不同材料属性的单元，所以必须要选择将绘制的结果。

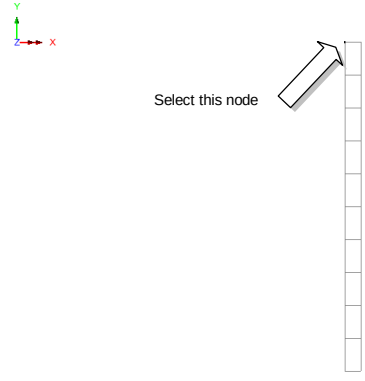
- 右键点击 树形目录中的组 **土** ，选择 **结果图> 仅显示该群组的结果**
- 不选择任何几何，在视图窗口的空白处点击鼠标右键，选择**云图**，添加云图层至 树形目录
- 在结果项中选择 **塑性应变** ，在分量下拉列表中选择**EPE**
- 选择 **云图范围** 选项，并设置 **最大值** 为 **0.01** (1% 应变)
- 点击 **确定** 选项，显示墙体周围的塑性应变云图



墙支撑力

- 关闭 属性目录中的 **变形网格** 和 **云图**
- 打开 树形目录中的 **网格** 层显示
- 右键点击 树形目录中的组 **墙** ，选择 **结果图> 仅显示该群组的结果**
- 右键点击 树形目录中的组 **墙** ，选择 **仅设此项可见**
- 选择墙左上角在X方向被支撑的节点
- 选择 **时程曲线** 选项，点击 **下一步**





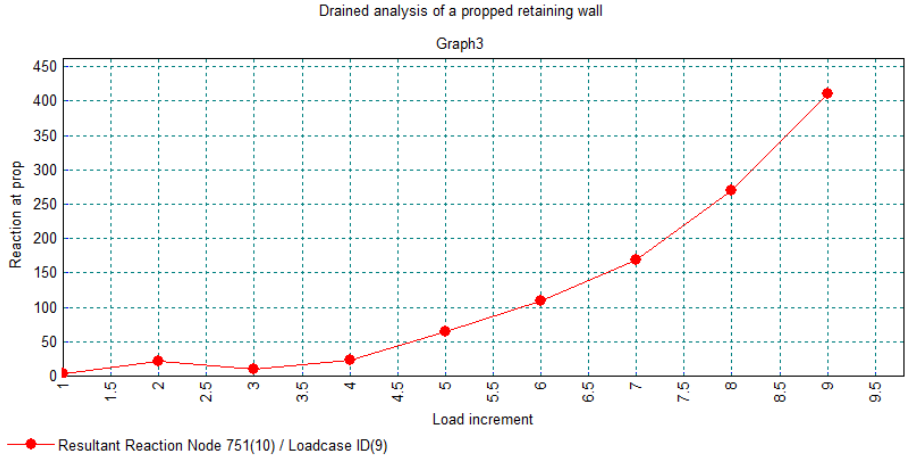
首先定义用于 X 轴的数据

- 选择 **名称** 选项并点击 **下一步**
- 从下拉列表中选择 **工况ID** ，并点击 **下一步**

其次定义用于Y 轴的数据

- 选择 **节点** 选项并点击 **下一步**
- 从结果项下拉列表中选择 **反力** ，从分量下拉列表中选择 **RSLT**

- 选择的节点号将显示在 **指定节点** 下拉列表中，点击 **下一步**
- 为图表标题输入合适的内容，点击 **完成** 显示墙后隆起图



注. 合成反力的绘制如上图所示。由于墙在此位置仅在水平(X)方向支撑(参见支撑部分)，因此，在竖直方向上没有反力，合成的反力和水平方向上的反力是相同的。

- 关闭图形窗口

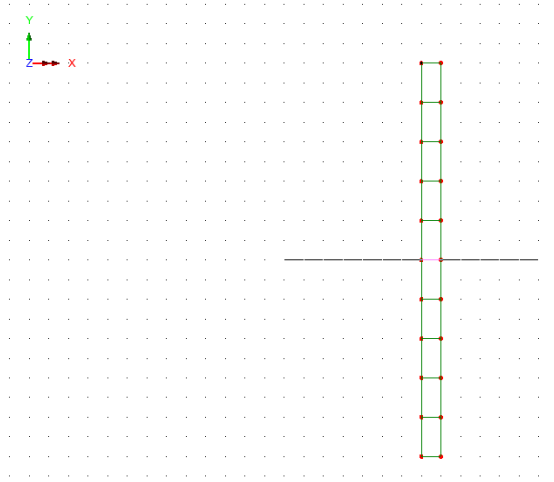
墙体 10m 深度处的弯矩

因为模型包含两种具有不同材料属性的单元，所以必须要选择所绘制的结果。

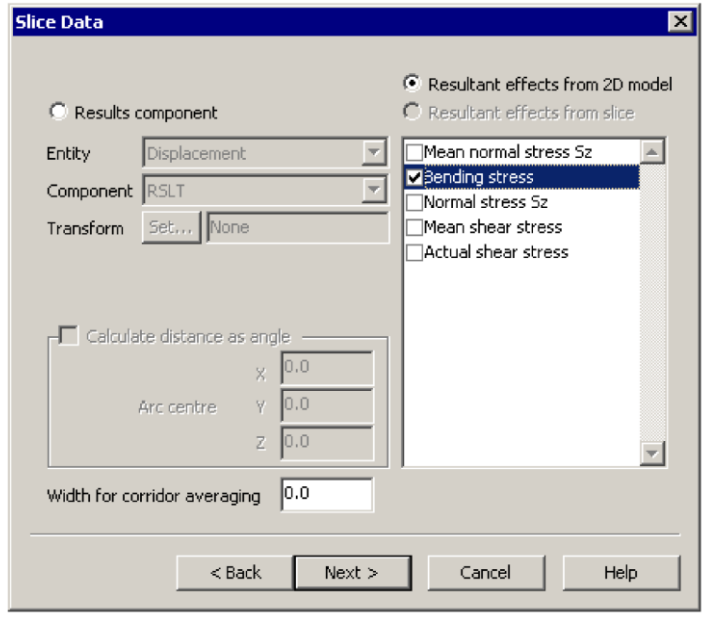
- 在视图窗口空白处点击鼠标右键，选择 **几何** ，恢复 **几何** 层的显示。

功能
通过2D绘图...

- 确保选择了 **对齐到网格** 选项，输入 **网格大小** 的值为 **1**
- 点击 **确定** 选项
- 参考视图窗口边缘的标尺，如图所示，用鼠标画一条线穿过10m 深的墙体

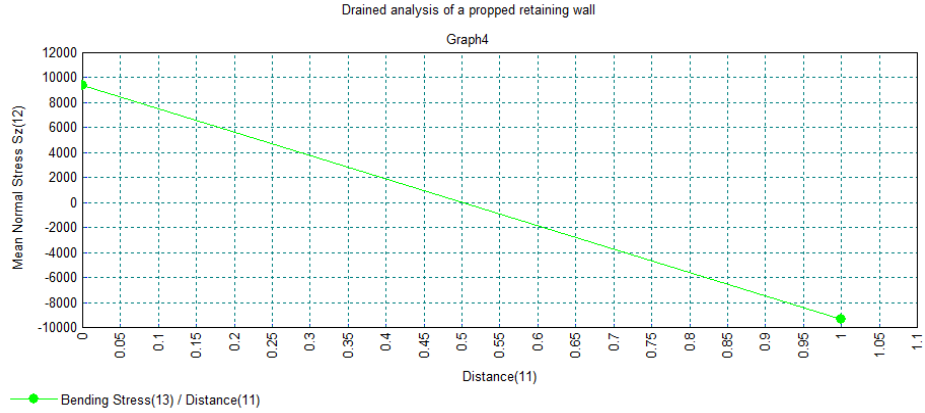


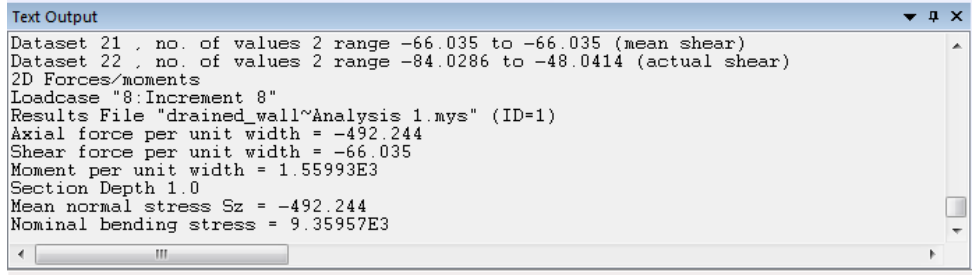
- 确保选择 **激活** 工况单选按钮，然后点击 **下一步**
- 选择 **Resultant effects from 2D model** ，确保列表中只选择了 **Bending stress** ，然后点击 **下一步**



- 为图形标题输入合适的文本，然后点击 **完成**

在文本输出面板中绘制图形并显示弯矩(和其他信息)。





显示墙体的每延米弯矩为 1560 kN/m^2。

至此此例完成。