条形基础的二维固结

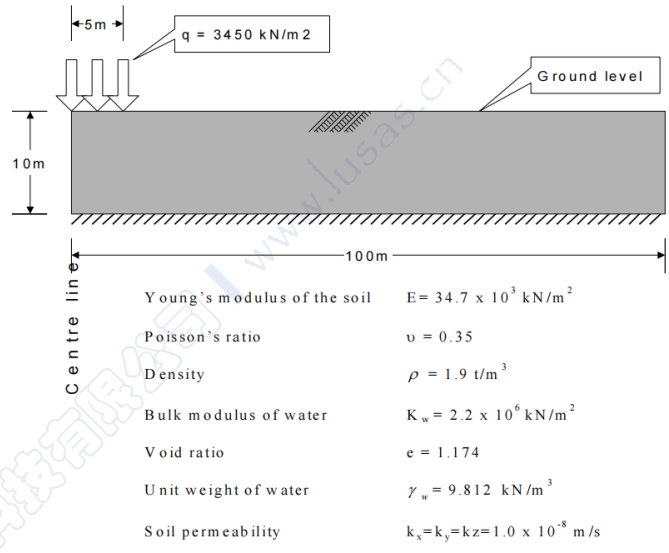
LUSAS 版本:	19.1
LUSAS 产品:	所有Plus版本
产品选项:	非线性

描述

该案例研究了土在分布荷载作用下的孔隙水压力的消散和沉降。

为了模拟对称边界条件，对左侧的水平位移进行了约束。当土体位于坚硬的岩石上时，土体底部的竖向位移受到约束。地层的孔隙压力规定为零。

分析全程采用的单位为kN、m、t、s、C。



目的

所选要输出的分析有：

- 基础中心随时间的沉降
- 荷载作用瞬间（不排水）孔隙压力的分布
- 基础中心孔隙水压力随时间的消散

关键词

二维，平面应变，固结，孔隙水压力，时间步，非线性，瞬态，沉降，两相材料，默认设置，图形

关联文件



- **pwp_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。建模器会对任何未保存的数据进行提示，并显示“新模型启动”对话框。

创建新模型

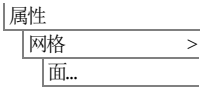
- 输入文件名：**pwp**
- 输入工作文件夹的文件路径
- 设置分析类型为 **结构**
- 设置分析类别为 **2D 面内**
- 选择模型单位 **kN,m,t,s,C**
- 确保时间单位为 **秒**
- 可选的启动模板下拉列表中选择启动模板：**二维平面应力.**
- 保留轴网网格的设置为**无**
- 输入标题 **Consolidation under a Strip Footing**
- 点击**确定**按钮



注. 在建模过程中定期保存模型，使用撤销按钮更正自上次保存后的任何错误。

定义网格

因为这个分析需要对孔隙水压进行建模，所以会使用两相平面应变单元。



- 单元选择为**两相平面应变，四边形，二次**。选择**规则网格**选项，点击**自动**，使网格能够分配到线上。

- 输入名称为**Plane Strain Two Phase**，点击**确定**将网格属性添加到属性树形目录中。
- 在属性树形目录中，右键点击网格属性**Plane Strain Two Phase**，选择“**设为默认**“选项，这个可以保证新创建的面都赋予这个网格属性。

材料属性

对于固结分析，需要定义土的弹性和两相性质。土的“等效”体积模量与孔隙流体的体积模量和固体土颗粒的体积模量有关，公式如下：

$$\frac{1}{Ke}=\frac{n}{Kf}+\frac{(1-n)}{Ks}\approx\frac{n}{Kf}$$

其中：

Ke 是土的等效体积模量

Kf 是孔隙流体的体积模量

Ks 是固体土颗粒的体积模量

n 是土的孔隙率

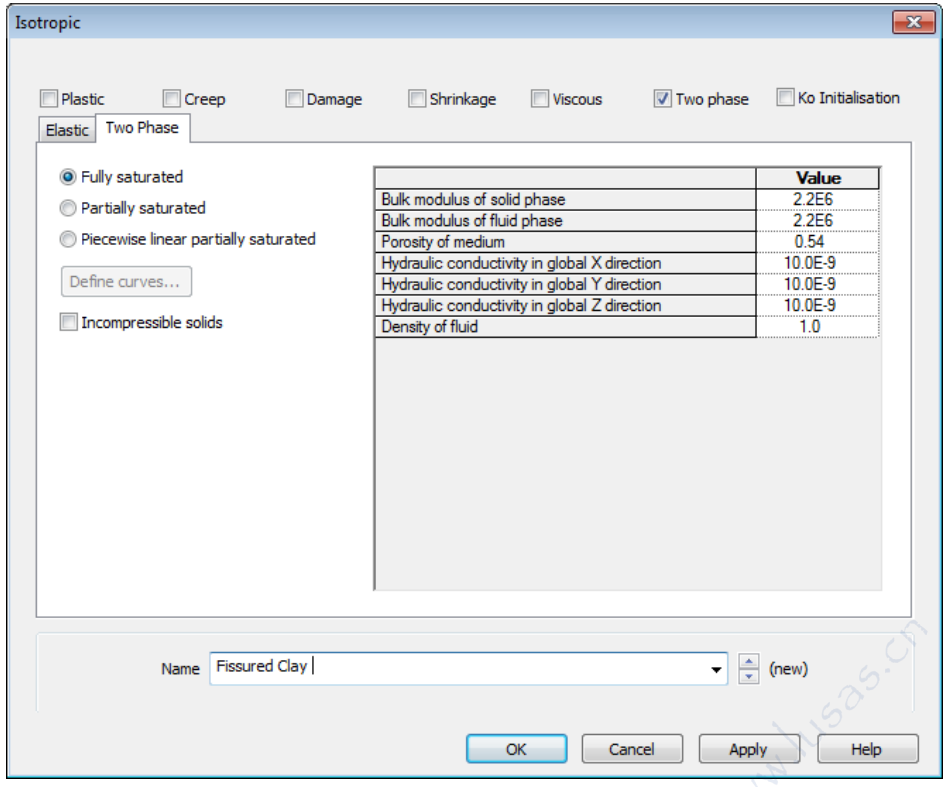
土体孔隙率与孔隙比的关系为：

$$\text{孔隙率}\, n=\frac{e}{1+e}=0.54$$

属性
材料 >
各向同性...

- 输入土的各向同性材料的杨氏模量为**34.7E3**，泊松比为**0.35**，质量密度为**1.9**。（注意这里的名字会在选择两相之后改成完全饱和土密度）
- 在对话框的顶部，点击选择**两相**选项框。

www.lusas.cn



- 选择**完全饱和**，如上图所示输入材料性质。
- 输入属性名称为**Fissured Clay**，点击**确定**选项，将属性添加到属性树形目录中。
- 在属性树形目录中，右键点击属性**Fissured Clay**，选择“**设为默认**“选项，这个可以保证新创建的平面都赋予这个网格属性。

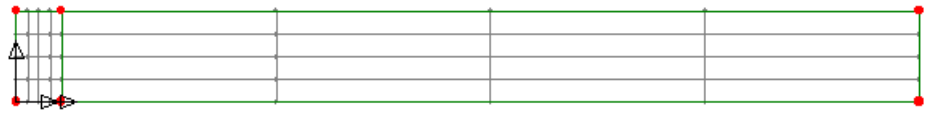
特征几何

几何
面 >
通过坐标...

输入坐标**(0, 0)**, **(5, 0)**, **(5, 10)**, **(0, 10)**，来定义有荷载作用下的土体。使用Tab键来创建表格中的下一行输入栏。当输入完所有的坐标之后，点击**确定**选项。

几何
面 >
通过坐标...

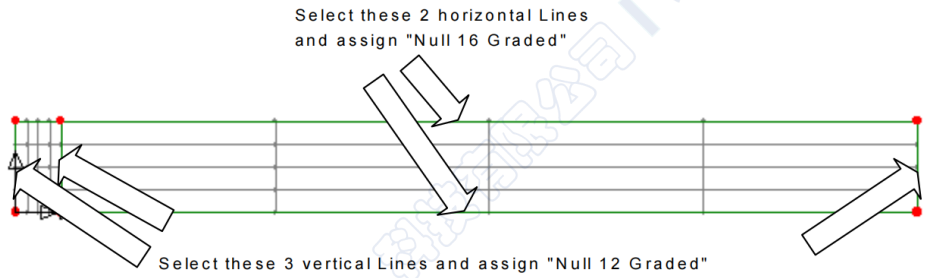
输入坐标**(5, 0), (100, 0), (100, 10), (5, 10)**，来定义剩余部分的土体。



网格划分

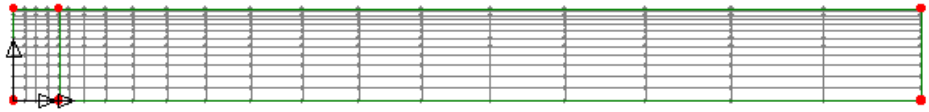
属性
网格 >
线...

- 定义一个线网格，单元类型选择“**无**”，分段数量为**16**。
- 选择**间距**按钮
- 选择**均匀渐变**选项，设置首单元与末单元的比值为**0.1**。
- 点击**确定**定义间距属性。
- 输入名称为**Null 16 Graded**，点击**应用**按钮，添加这个属性至属性树形目录中，保持对话框打开状态。
- 定义一个分段数量为**12**的线网格
- 选择**间距**按钮。
- 选择**均匀渐变**选项，设置首单元与末单元的比值为**5**。
- 点击**确定**定义间距属性。
- 输入名称为**Null 12 Graded**，点击**确定**按钮添加这个属性至属性树形目录中。



- 如图所示，选择较大平面的两条水平线段，设置网格属性**Null 16 Graded**
- 如图所示，选择所有的竖直线段（使用**Shift**键同时选择三条竖线），设置网格属性**Null 12 Graded**

注. 如果网格在线错误的一端使用了较小的单元进行划分，那么应该通过反置这条线来修正错误，选中该条线后使用菜单中的**几何>线>反置**。最终的网格结果应该如下图所示：



支承

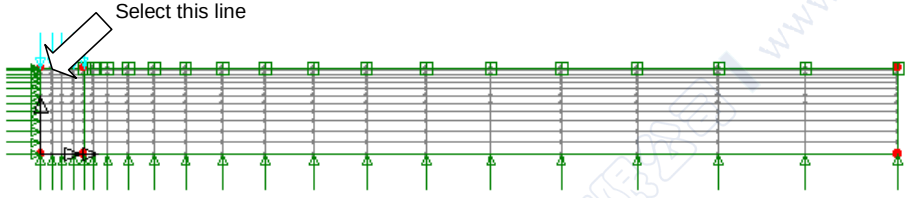
设置支承到模型中。

- 选择左侧模型中竖直的线，拖放属性树形目录中的支承属性**Fixed in X**到所选项上。选择**设置到线**选项，点击**确定**设置支承属性至**所有的分析工况**
- 选择代表土底部的两条线段，拖放属性树形目录中的支承属性**Fixed in Y**到所选项上。选择**设置到线**选择**设置到线**选项，点击**确定**设置支承属性至**所有的分析工况荷载**

定义均布荷载：

属性
荷载...

- 选择**面**选项，点击**下一步**。
- 在**Y方向**，输入荷载数值为**3450**。
- 输入名称为**Distributed Load**，点击**完成**按钮。
- 选择左侧模型中上部的线，拖放**Distributed Load**属性到选择项。选择**设置到线**，点击**确定**设置荷载属性至所有工况。

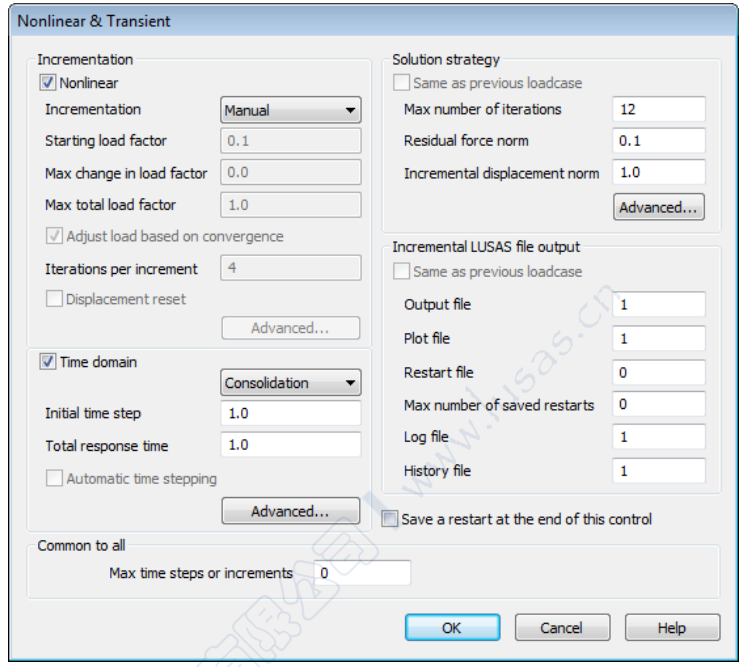


分析控制

不排水荷载阶段

必须计算土的不排水荷载来建立固结分析的初始状态。

- 在分析树形目录中，展开**分析1**，右键点击**工况1**，从“**控制**”菜单项中选择“**非线性和瞬态**”选项。



在增量区域中：

- 选择**非线性**选项，选择**手动**增量
- 选择**时域**选项，在下拉菜单中选择**固结**。
- 输入**初始时间步**长为1
- 输入**总响应时间**为1
- 设置**最大时间步长**为0

固结阶段

为了消散超孔隙水压力，必须定义排水路径，在本例中是通过土体表面排水。为此，需要创建一个新的工况。

分析
工况…

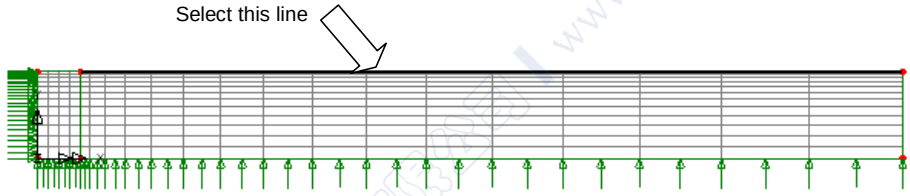
- 点击**确定**，来创建**工况2**。
- 点击**确定**来表示对工况2的设置已经在之前相关的工况中完成。如果需要更多的信息，请参阅Help按钮。

支承

定义一个支承来指定零孔隙压力。

属性
支承...

- 选择**孔隙压力**为**固接**。
- 输入属性名字为**Drainage Path**，点击**确定**按钮。
- 选择模型右侧地面的线（如图），拖放属性树形目录中的支承属性**Drainage Path**至选择项。保持**设置到线选中**，选择**从工况（非线性和瞬态分析）**来设置支承至**分析1**和**工况2**，点击**确定**。



荷载

属性
荷载...

- 选择**指定位移**选项，点击**下一步**。
- 选择**总数**选项，设置**孔隙压力**为**固接**，输入指定位移为0。输入名称为**Surface Excess Pore Water Pressure**，点击**确定**。
- 选择模型右侧地面的线（如图），拖放属性树形目录中的荷载属性**Surface Excess Pore Water Pressure**至选择项。选择**单一工况：工况2**。

分析控制

固结阶段

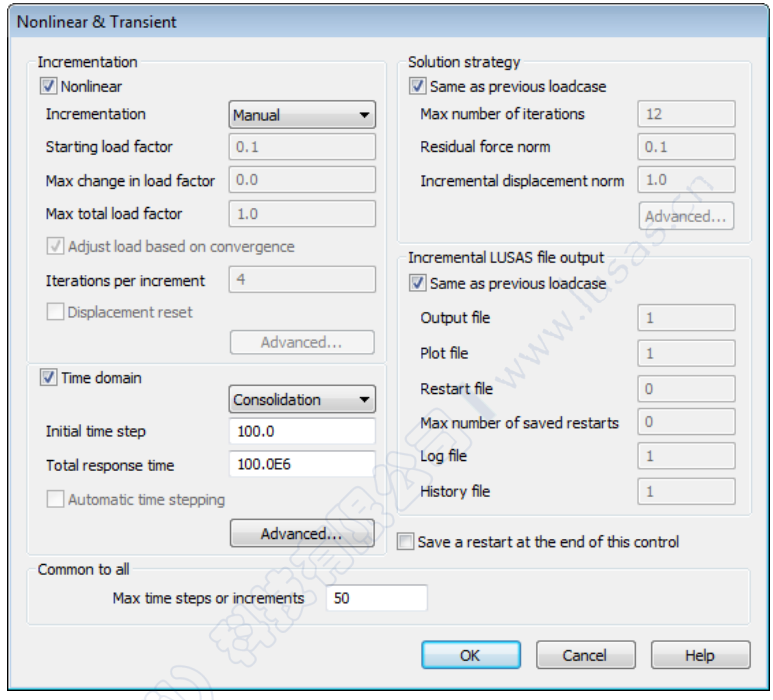
对于这个固结问题，该模型采用了自动时间步的方法。这是因为固结是一个典型的扩散过程，施加初始荷载后，在到达稳态之前的初始阶段的相当长的一段时间内渗流场发生着迅速的变化。自动时间步长程序允许修改时间步长，以便在问题刚开始时所需的小的时间步长可以随着分析进程而增加。在某些情况下，总体响应时间可能比初始时间步长好几个数量级。

初始时间步长是重要的，因为孔隙压力的早期变化必须被准确地分析。Vermeer和Verruijt提出了以下确定初始时间步长的标准，其中Δh是节点之间的最小距离。

$$\Delta t \geq \frac{\gamma_\omega}{6Ek}(\Delta h)^2 = \frac{9.812}{6 \text{ x } 34.7E3 \text{ x } 1E-8} \text{ x } 0.14^2 \approx 100 \text{ secs}$$

注. 两个节点之间的距离可以通过选择两个节点确定，通过在菜单目录中选择**工具>网格>节点间距**。

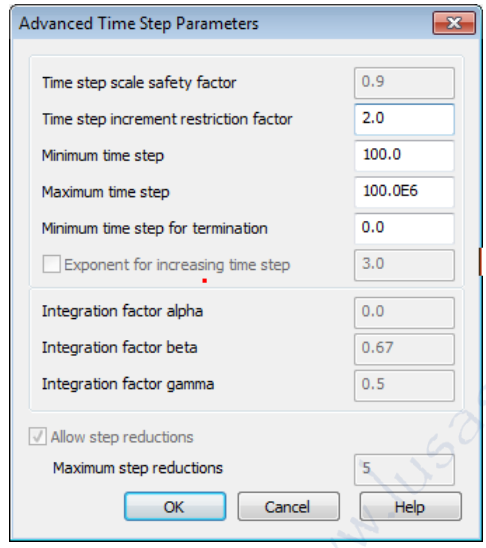
- 在分析树形目录中，展开**分析1**，右键点击**工况2**，从“**控制**”菜单项中选择“**非线性和瞬态**”选项。



在增量区域中：

- 选择**非线性**选项，选择**手动**增量
- 选择**时域**选项，在下拉菜单中选择**固结**。
- 输入**初始时间步**为100
- 输入**总响应时间**为100E6
- 设置**最大时间步长**为50
- 在时域区域对话框中，选择**高级**按钮，

- 在高级时间步长参数对话框中，设置“时间步长增量约束系数”为2
- 设置“最小时间步长”为100
- 设置“最大时间步长”为100E6
- 设置“最小终止时间步长”为0
- 点击**确定**返回非线性与瞬态分析对话框。
- 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“**立即求解**”对话框，确保“**分析1**”被选中，然后点击“**确定**”进行求解。

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...

分析工况结果将会被添加到分析树形目录中。

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：

- **pwp.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
- **pwp.mys** 这是LUSAS结果文件，它将自动加载到分析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。

❑ **pwp_modelling.vbs** 执行本例的建模

文件
新建...

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 **pwp**

文件
Script >
Run Script...

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

运行分析获得结果。

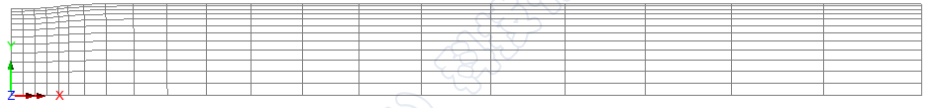
查看结果

分析工况结果将会被列在分析树形目录中。对于非线性分析，最后一个求解结果时间步默认会激活。

- 如果求解成功，关闭层树形目录中的**几何**、**网格**、**属性**层。

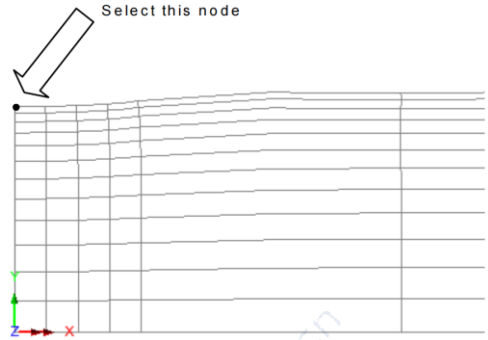
沉降

- 在分析树形目录中，右键点击第一个荷载增量**Time Step 0**并选择**激活**选项来查看施加荷载作用的瞬时结果。
- 在层树形目录中选择双击**变形网格**，选择**指定系数**选项，输入指定系数为1，点击**确定**查看第一个时间步的变形网格。



变形随时间的图像可以通过图形向导创建。

- 放大模型的左侧，选择基础中心中线上的节点。



沉降图像

功能
图形向导...

- 选择**时程曲线**，点击**下一页**

首先定义用于X轴的数据

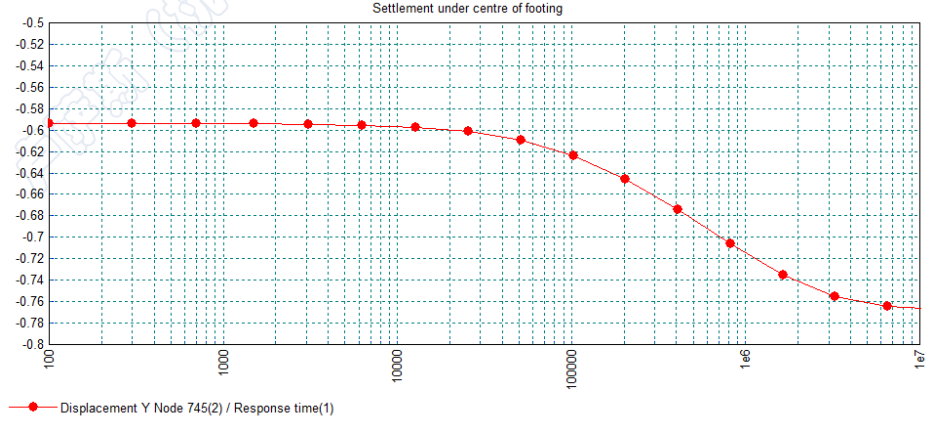
- 选择**名称**选项，点击**下一页**
- 从下拉菜单中选择**响应时间**，点击**下一页**

然后定义用于Y轴的数据：

- 选择**节点**选项，点击**下一页**
- 从结果项下拉菜单中选择**位移**，在分量菜单中选择**DY**。
- 范围选择“**定义单个节点**”，被选择的节点编号会显示在**指定单个节点**下拉项中。点击**下一页。**

对于X刻度，选择**手动**，分别输入最小值为**100**，最大值为**10e6**

- 选择**使用对数刻度**选项
- 输入图表名称为**Settlement under centre of footing**
- 点击**完成**，以显示基础中心点沉降随时间变化的图像。

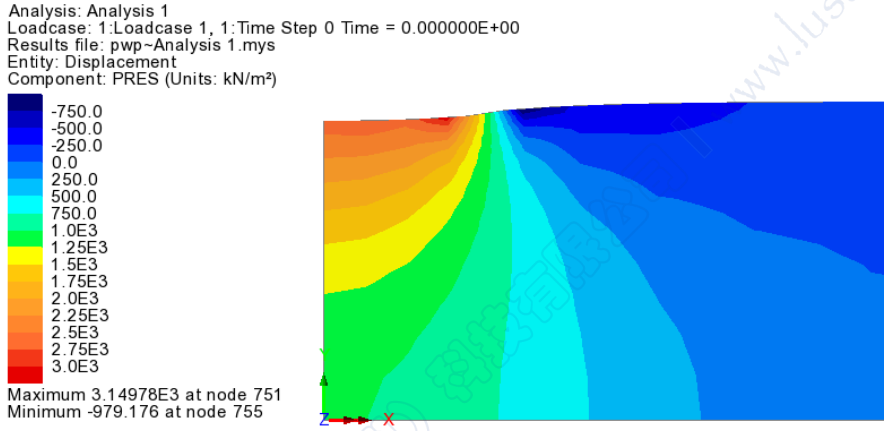


关闭图形窗口

孔隙水压力

使用云图显示孔隙压力的分布结果。

- 保持分析树状目录中的 **Time Step 0**激活，右键点击视图窗口的空白处，选择**云图**，添加**云图**层到层树形目录。
- 在结果项下拉菜单中选择**位移**，在分量下拉菜单中选择**PRES**。
- 选择**云图范围**对话框，设置**间隔**为250
- 点击**确定**选项，以显示荷载作用瞬间（Time Step 0）不排水状态下孔隙水压分布的云图。



注. 孔隙水压力随时间的消散可以通过创建云图显示的动画来进行观察。

- 为了观察施加压力后某一特定时间的孔隙水压力分布情况，可以通过激活分析树形目录中相对应的时间步，右键单击该时间步，选择**激活**选项。

绘制孔隙水压力图形

基础下方的孔隙水压消散可以在图形显示。那么，网格层可以显示在云图层的上方，或者可以关闭云图层。

- 在层树形目录中，关闭**云图**的显示。
- 选择与之前一样的在基础下方的中心线上的节点。
- 选择**时程曲线**后，点击**下一步**

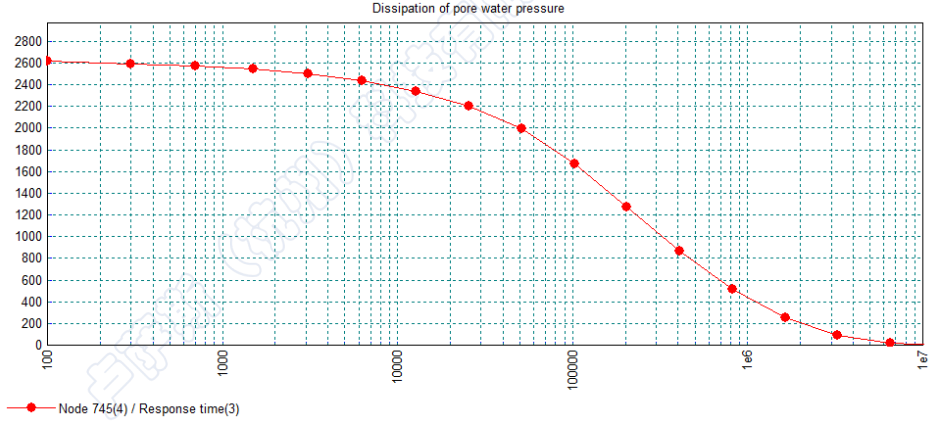
功能
图形向导...

首先定义X轴相关的数据：

- 选择**名称**选项，点击**下一页**
- 从下拉菜单中选择**响应时间**，点击**下一页**

然后定义用于Y轴的数据：

- 选择**节点**选项，点击**下一页**
- 在结果项下拉菜单中选择**位移**，在分量菜单中选择**PRES**。
- 绘制的范围被设置为“**指定的单个节点**”，被选择的结点编号会显示在指定节点区域。点击**下一页。**
- 对于X刻度，选择**手动**，输入最小值为**100**，最大值为**10e6**
- 确保选择了**使用对数刻度**选项
- 对于Y刻度，保留所有的值都为默认。
- 输入图形名称为**Dissipation of pore water pressure**
- 点击**完成**，以显示基础中心点孔隙水压力随时间消散的图像。



关闭图形窗口

土体有效应力图

随着孔隙水的消散，荷载由土承担。可以通过有效应力随响应时间的变化曲线观察土中有效应力的增量。

功能
图形向导...

- 确保基础中线下方的节点仍被选中
- 选择**时程曲线**，点击**下一页**

首先定义用于X轴的数据：

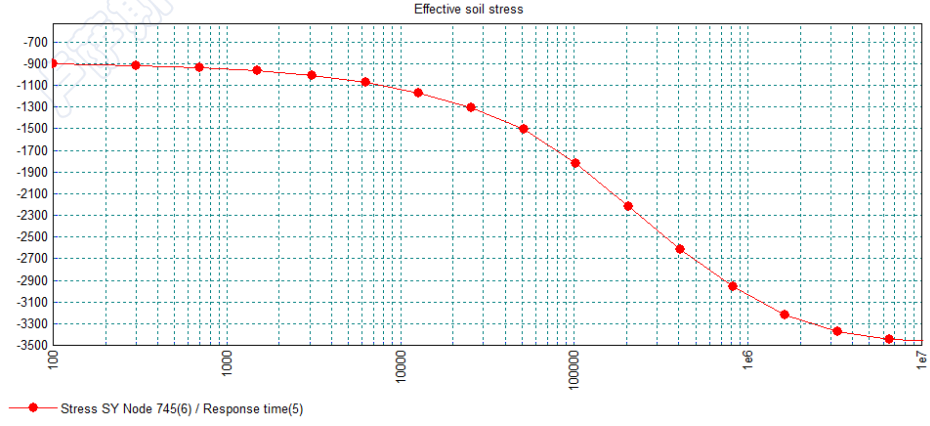
- 选择**名称**选项，点击**下一页**
- 从下拉菜单中选择**响应时间**，点击**下一页**

然后定义用于Y轴的数据：

- 选择**节点**选项，点击**下一页**
- 在结果项下拉菜单中选择**应力**，在分量下拉菜单中选择**SY**。
- 绘制的范围被设置为“**指定的单个节点**”，被选择的结点编号会显示在指定节点区域。点击**下一页。**

对于**X**刻度，选择**手动**，输入最小值为**100**，最大值为**10e6**

- 确保选择了**使用对数刻度**选项
- 对于**Y**刻度，保留所有的值都为默认。
- 输入图形名称为**Effective soil stress**
- 点击**完成**，以显示基础中心点应力随时间变化的图像。



至此此例完成。