带坝趾排水层的梯形土坝渗流分析

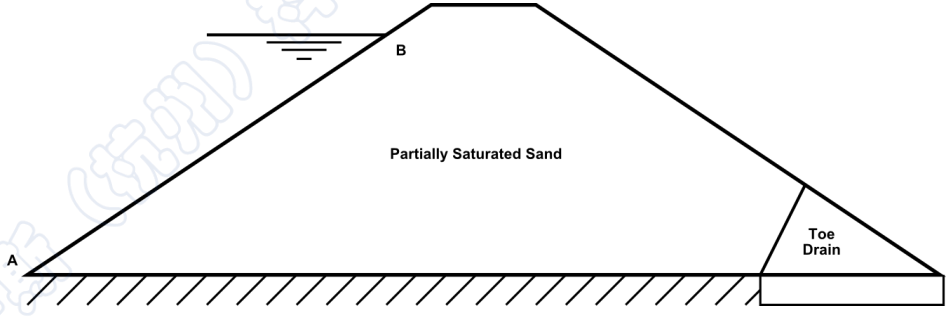
软件版本	V19.1 - 3
最新更新	2022 - 6

描述

此例阐述了一个带有下游坝趾排水层的梯形土坝渗流分析。坝体建在不透水的地基上，水流不受限制。

上游水库水位为12米，AB为等水头线且最大压力水头为12米。坝趾排水层的排水效果完全有效。

分析全程采用的单位为 N，m，kg，s，C。



目的

分析所需的输出包括：

- 坝体渗流稳定时的渗流量计算
- 孔隙水压力云图

关键词

2D，面内，大坝，孔隙压力，两相材料，固结，位移重置，瞬态，渗流

关联文件



- ❑ earth_dam_modelling.vbs 执行本例的建模

讨论

并非所有的流网在分析开始时都是已知的，自由流线，或者顶部流线（压力为大气压），只能使用手工的方式近似给出。坝体顶部流线遵循抛物线规则，经过修正后，与上游坡面、流量面以及不同的材料边界处相切。土坝总是在下游坡面安装坝趾排水层（具有很大的渗透值），以保持坝体内部完全渗流，并防止下游面的侵蚀。

在这类分析中有两个基本假设:

a) 不同等势线上的两个点之间存在一个恒定的压力差

b) 当水流从上游流向下游时，最上游的流线垂直于大坝上游的坡面

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：**土坝**
- 使用默认的用户自定义文件夹
- 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 **N，m，kg，s，C**

- 保留时间单位为 **天**
- 选择启动模板为 **无**
- 确保布局网格设置为 **无**
- 输入标题为**梯形土坝**
- 点击**确定**按钮

注. 在建模过程中定期保存模型，可以使用撤销按钮更正自上次保存后的任何错误。

几何特征

几何 > 面 > 通过坐标

输入如下坐标定义坝体的部分饱和砂土。

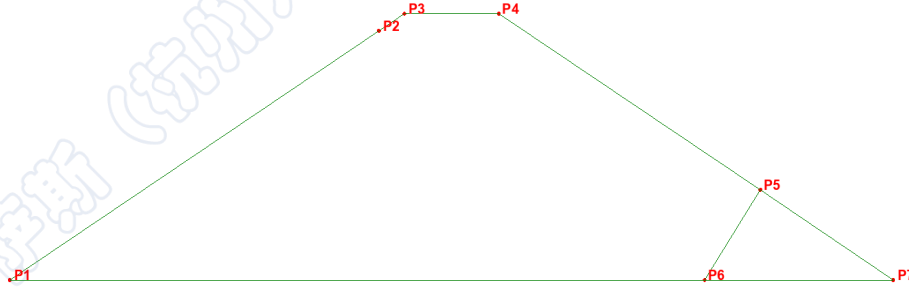
X	Y
0.0	0.0
17.8064	12.0
19.0345	12.8276
23.5862	12.8276
36.2038	4.34484
33.5172	0.0

几何 > 点 > 通过坐标

输入坐标为 **(42.6207, 0.0)**，定义下游坝趾角点。

几何 > 面 > 通过点...

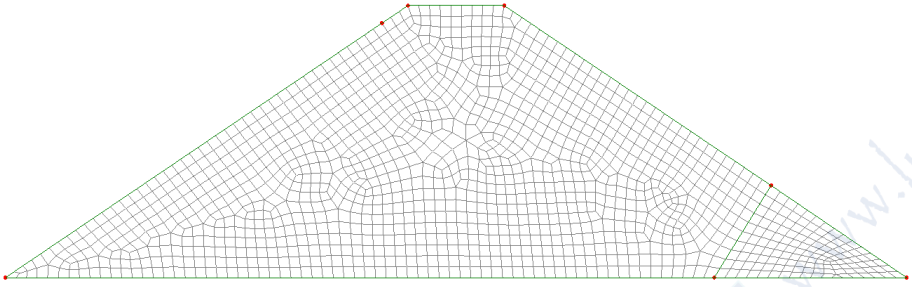
按住**P**键确保只选择点，框选右下角的3个点（P7，P6和P5)，创建坝趾排水层渗流面。



定义和分配网格属性

属性
网格 >
面...

- 选择单元类型为**两相平面应变**，单元形状为**四边形**和插值阶次为**二次**（QPN8单元）
- 取消勾选**自动划分**网格，勾选**单元尺寸**并输入大小为**0.5**
- 输入属性名称为**QPN8P 0.5m**，点击**确定**选项
- 选择模型视图的两个几何面，拖放树形目录中的网格属性**QPN8P 0.5m**到选择的面上。



材料属性

属性
材料 >
各向同性...

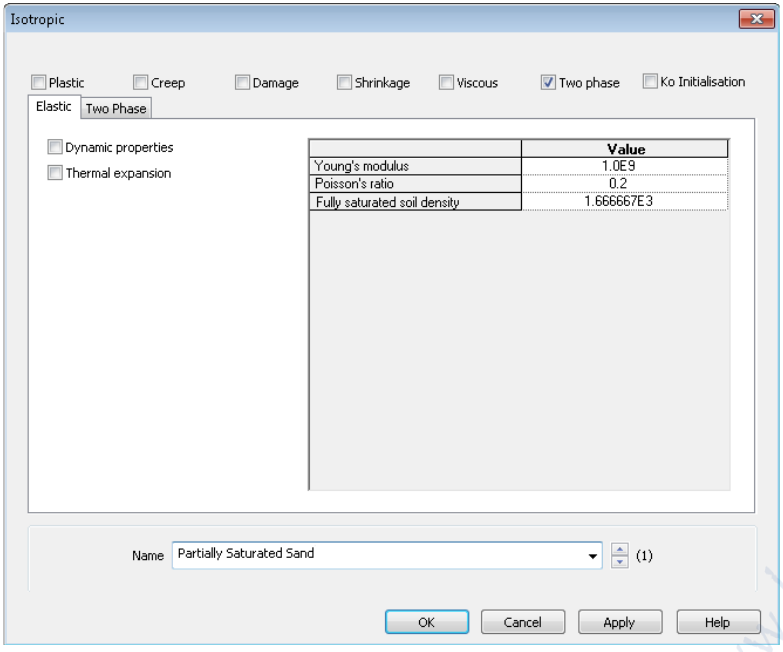
定义两种不同的材料属性；一个用于部分饱和砂土材料，另一个用于坝趾排水层。在此例中，两种材料均需定义两相属性。

当使用两相单元定义土体的排水和不排水状态时，分析中需要采用两相材料属性。

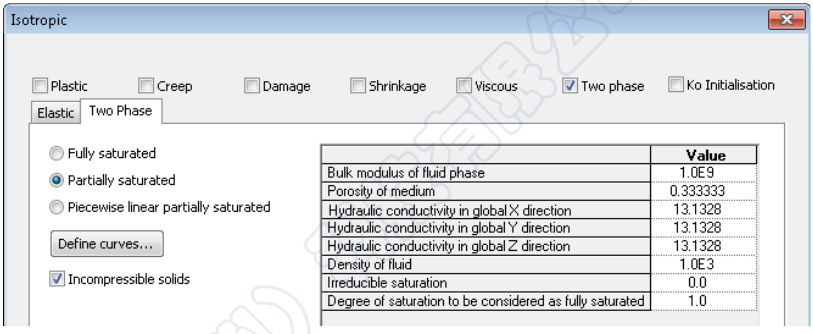
部分饱和砂

根据坝体要求定义部分饱和砂材料属性：

- 选择**弹性**选框，输入杨氏模量为**1.0E9**，泊松比为**0.2**，质量密度为**1.666667E3**

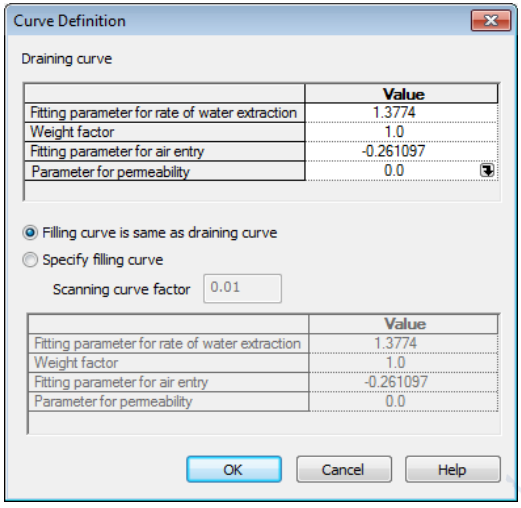


- 选择**两相**选框，确保**部分饱和**以及**不可压缩**选项被选中。
- 输入液相体积模量为**1.0e9**，介质的孔隙率为**0.333333**，全局X、Y和Z方向的渗透系数均为**13.1328**，流体密度为**1.0e3**，视为完全饱和时的饱和度为**1.0**。



注. 渗透系数以m/天的单位输入。每个输入框数值的单位如提示框所示。

- 点击**定义曲线**选项定义新的压力-有效饱和度曲线.
- 输入吸湿速率为**1.3774**，权重因子为**1.0**，进气值为**-0.261097**。
- 点击**确定**选项关闭曲线定义对话框。
- 输入材料名称为**部分饱和砂**，点击**应用**选项。



坝趾排水层颗粒填料

定义坝趾排水层所需的颗粒填充材料：

- 在**两相**对话框中，修改全局X、Y和Z三个方向的渗透系数为**86.4E3**
- 修改属性名称为**坝趾排水层**，点击**确定**选项

通过拖放树形目录定义的材料属性到对应的面上设置这两材料属性。

工况

大坝的几何形状表示的是在发生任何沉降和水库蓄水之前的建造状态。一个初始地应力工况将用于模拟在没有任何变形的情况下，土结构中的初始应力（由于自重）。第二个荷载工况将用于对“在建”大坝施加静水压力。

- 右键点击树形目录中的**工况1**，选择重命名，修改名称为**初始工况**

分析
工况...

- 添加第二个工况，修改工况名称为**渗流工况，**点击**确定**选项

注：这个工况中没有设置重力，重力将在稍后作为分析属性设置。

支承

初始工况

在初始工况，孔隙水可以自由流过坝体，以防止施工阶段孔隙压力的增加。

属性
支承...

- 设置孔隙压力为**固定**，保留其他自由度为**自由**，输入支承的名字为**自由流动**，点击**应用**按钮定义恒定（0）压力属性
- 将X和Y方向的自由度切换为**固定**。修改属性名称为**XY固定(自由流动)**，点击**确定**按钮完成固定结构支承的定义

当支承属性被定义后，需要分配它们到初始工况。

- 右键点击树形目录下的**初始工况**，选择**激活**选项
- 选择所有几何面，拖放树形目录下的支承属性**自由流动**到视图窗口，点击**确定**选项完成设置
- 选择坝底部的两条线，拖放树形目录下的支承属性**固定XY（自由流动）**到视图窗口，点击**确定**选项完成设置

渗流工况

在渗流状态下，结构中的孔隙压力可以逐渐增加，在下游坝趾排水过滤材料处孔隙压力被限制。

属性
支承...

- 保留所有的自由度为**自由**（包括孔隙压力），输入支撑名称为**渗流**，然后点击**应用**选项以定义一个“自由”支撑
- 改变X和Y方向的自由度为**固定**，输入名称为**XY固定（渗流），**点击**确定**选项以定义约束流动的结构支撑

非线性分析继承前一阶段的支承条件，因此，这些新的支承属性用于在需要的工况释放孔隙压力固定属性。

- 右键点击树形目录的**渗流**工况，选择**激活**选项
- 选择所有的几何面，拖放树形目录的支承属性**渗流**至视图窗口
- 在设置支承对话框中，选择**从工况中（非线性和瞬态分析）**选项，然后选择**渗流**工况，点击**确定**选项完成设置。

- 只选择大坝底部左边线(即不在过滤层中)，设置**XY固定（渗流）**支承属性，确保在设置支撑对话框中选择了**从工况中（非线性和瞬态分析）**选项和**渗流**工。

不需要给过滤层底部线分配新的支承属性，因为上一工况设置的支承（结构固定，自由流动）会自动继承。

结构荷载

自重

分析全程考虑大坝的自重作用，并作为一种分析属性施加。

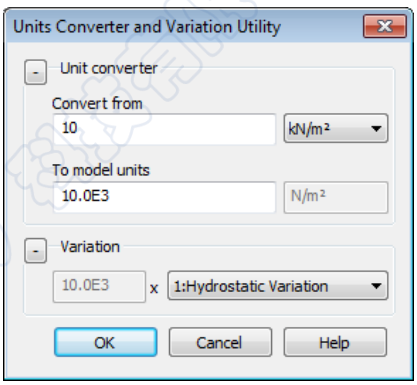
- 右键点击树形目录中的**分析1**，选择**重力**（荷载工况图标将会改变以显示重力已被施加）

孔隙压力

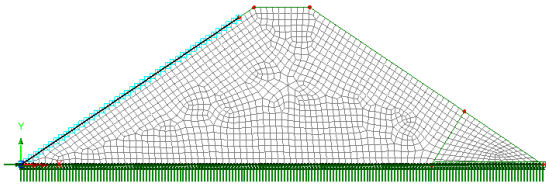
属性
荷载...

在本例中，假定土坝上游水库的储水量不会因为渗流或者泄洪而明显变化，因此总水头可以保持为12米。

- 在结构荷载对话框中，选择**指定位移**，点击**下一步**，在**孔隙压力**选项中，选择**固定**按钮，然后点击**位移**变量中的按钮。
- 在单位转换和变量工具对话框中，从变量下拉菜单中选择**新建...**以打开变量对话框
- 选择**一般场变量**，点击**下一步**，在函数变量处输入**12-y**
- 点击**函数限制**按钮，勾选**最大x坐标**，输入**17.8065**
- 点击**确定**按钮，确保选择了**整体坐标系**选项，输入名称为**静水压变量**，点击 **完成**选项关闭对话框
- 转换变量，定义米为单位的静水压力，在单位转换选项中选择**kN/m²**，在**转换从**选项框中输入**10**，点击**确定**选项
- 返回指定位移对话框，输入名称为**静水压力**并点击**完成**选项



- 选择大坝上游坡面线（线1），拖放树形目录中的荷载属性**静水压力**到选择的线上，确保选择了**渗流**工况，点击**确定**选项



非线性控制

两相固结材料的使用以及重置初始位移需要设置非线性设置。

- 右键点击树形目录中的**初始工况**，选择**控制>非线性和瞬态**选项
- 在非线性和瞬态对话框中，选择左上角的**非线性**选项，保留增量类型为**手动**
- 选择**位移重置步骤**选项，这是一个有效设置初始地应力步骤
- 在求解策略面板中，将**增量位移范数**修改为**0**，这使得收敛性的评估将基于（总）位移范数。点击**确定**关闭对话框

非线性和瞬态条目将被添加到树形目录中，双击此条目可对控件属性进行更改。

注. 大多数岩土问题开始于地应力状态，在这种状态下，未受扰动的土体或岩体在指定的边界条件和地静压荷载(包括重力)下保持平衡。“位移重置步骤”的使用使土体0变形，但是建立了初始应力场，可用于后续的静态或扩散/应力耦合场分析。

- 右键点击树形目录中的**渗流**工况，选择**控制>非线性和瞬态**
- 在非线性和瞬态对话框中，选择**非线性**选项，保留增量类型为**手动**
- 选择**时域**选项，然后选择**固结**时域，输入初始时间步为**0.01**，总响应时间为**30**，最大时间步数量为**30**。注意分析的时间单位是最初创建模型时设定的单位：天
- 选择**高级**按钮，修改**时间步增量约束系数**为**5**，最大时间步为**5.0**。由于固结/渗流作用以指数形式衰减，这允许时间间隔相应增长。点击**确定**选项关闭对话框。
- 确保求解策略的设置**与先前工况相同**
- 设置完所有的非线性和瞬态选项后，点击**确定**选项回到建模器图形窗口。

运行分析

点击**开始求解**选项，确保选择了**分析1**并点击**确定**。

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，求解文件也将在Associated Model Data\Earth dam目录中生成，包括：

- Earth_dam.dat 包含模型数据和设置属性的数据文件。
- Earth_dam.out 包含模型数据，设置的属性以及分析类型的设定的输出文件
- Earth_dam.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。

- earth_dam_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。

输入文件名为 **土坝**

文件 → 脚本 > → 运行脚本...

- 为了重新创建模型，选择位于**\<LUSAS Installation Folder>\Examples\Modeller** 目录中的 **earth_dam_modelling.vbs** located in the directory.

点击按钮重新运行分析产生结果。

查看结果

每个时间步的分析工况结果显示在树形目录中。

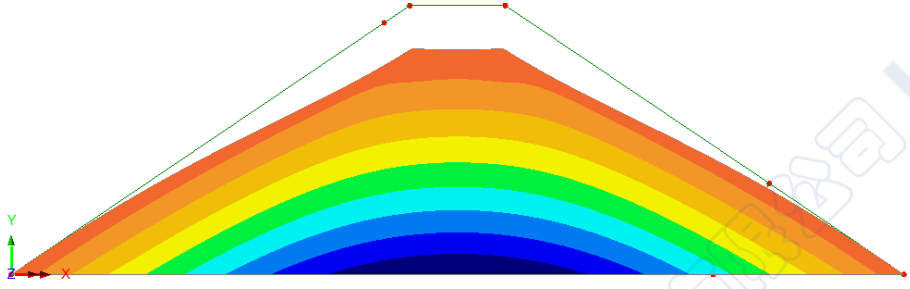
查看初始应力分布

初始工况生成了两个阶段工况，依次为第一个增量和位移重置（初始地压）阶段。

- 右键点击树形目录中的**初始工况结果**下的**增量1**，选择**激活**
- 点击层树形目录，关闭**网格**层和**属性**层
- 在树形目录面板的底部，点击**变形网格** 按钮，选择**指定系数**，输入系数为为**2.0e3**，点击**确定**选项
- 在不选择任何几何的条件下，右键点击视图窗口空白处，选择**云图**选项，添加**云图层**到树形目录下
- 在云图对话框中选择结果项为**应力**，分量为 **SY**，然后点击**确定**选项

增量1阶段的结果展示了结构按照模型几何建造完成后，立即施加重力的作用效果。这一阶段用于获得原位应力，随后用于初始地应力阶段。

Increment 1的结果显示当结构建成之后重力对它的影响结果。这用于获取原味应力，然后用于地压步分析。



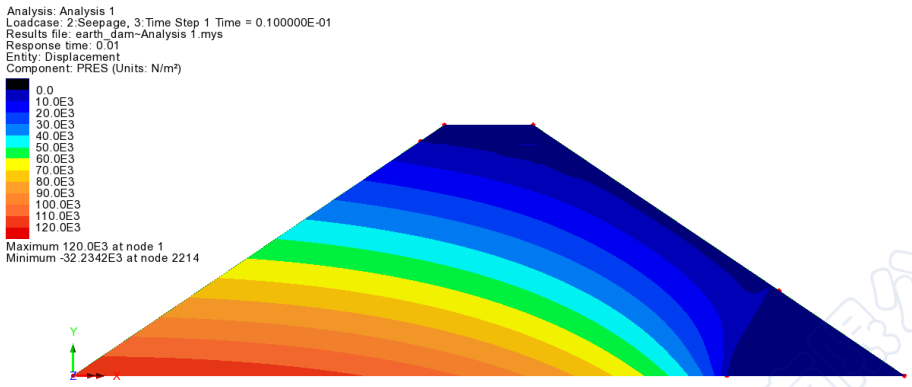
- 右键点击树形目录**初始工况**结果下的**位移重置阶段**，然后选择**激活**。



在位移重置阶段工况，变形被设为0（模拟竣工时的几何），且保留了原位应力。

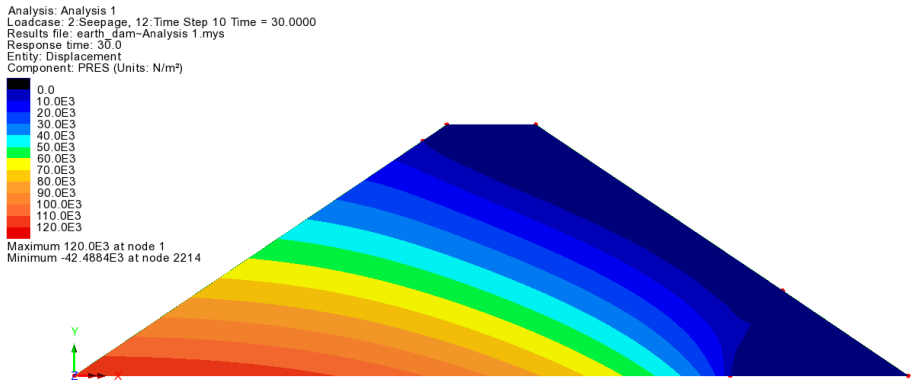
查看潜水面的变化

- 右键点击树形目录**渗流**工况下的**时间步**1，选择**激活**。
- 关闭树形目录中的**变形网格**层，打开**网格**层。
- 双击树形目录下的**云图层**，在弹出的对话框中，设置结果项为**位移**，分量为PRES（**孔隙压力**）。
- 选择**云图范围**选项，设置云图范围为**自动**，间隔为**10e3**。输入最大值为**120e3**（12m水头）和最小值为**0**，点击**确定**选项。



依次激活每个时间步（右键点击树形目录，选择**激活**），可以发现，半-稳态渗流在逐渐发展。在前3个时间步，（大约7.5个小时），可以观测主固结的效果，然而，从第四步开始，结果之间几乎没有变化。

- 右键点击树形目录渗流结果下的时间步10，选择**激活**选项

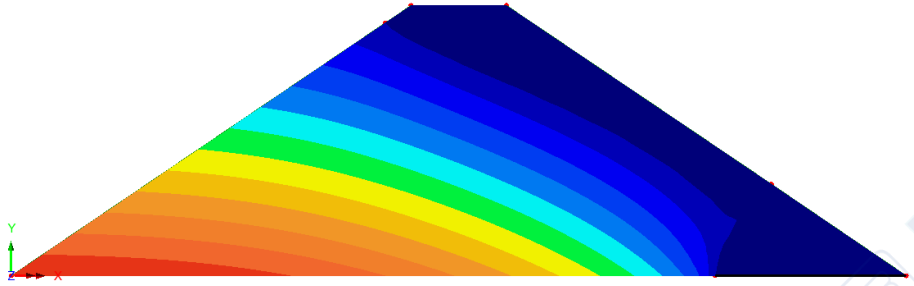


基本的抛物线显示，顶部流线（压力位0）在上游侧向上弯曲，向下流入过滤层坝趾。

大坝流量

计算流入坝趾的渗流速率（即水从坝体流出的速度），过滤层底床的流量反力将被使用（因为水只从这个位置流出）

- 选择坝趾排水层底部的线

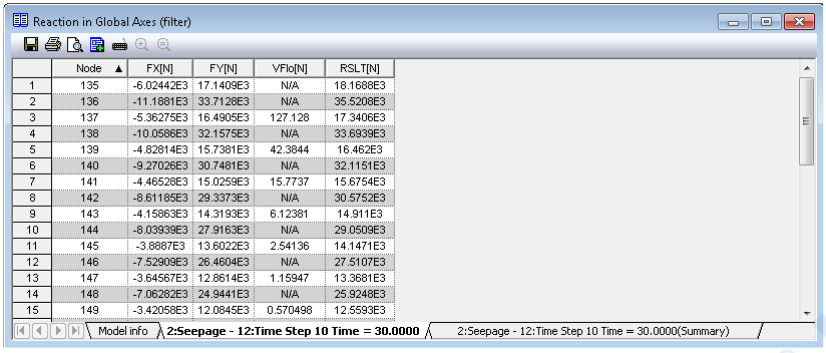


- 点击按钮定义一个新的组。输入名称为**坝趾排水层**，点击**确定**创建新的组。
- 确保激活了树形目录渗流工况结果下的最后一个时间步增量（**Time Step 10 Time = 30.0000**）

工具
打印结果向导...

- 设置选择的工况为（**Time Step Time = 30.0000**）
- 选择结果项为**反力**
- 结果类型为**分量**

- 选择**范围**为先前定义的组**坝趾排水层**
- 确保选择了**立即显示**选项
- 点击**应用**查看表格结果汇总



VFlo的值是所选时间步长期间的流量。

计算

考虑30天达到半-稳定渗流，可以通过最后一个增量和倒数第二个增量之间的时间步长计算坝趾排水层的平均流速。

- 右键点击打印结果向导的输出表格并选择**保存为Microsoft Excel**
- 在保存的电子表格中，对**VFlo**列进行求和以获取时间步内的总流量（193m^3）.
- 从树形目录确定上一个时间步和倒数第二个时间步之间的步长差（4.2天）
- 将总流量除以步长差，计算流入坝趾排水层的平均流量（46.4m^3/day/m）

至此此例完成。

讨论

如上文所述，这个例子只用来研究水通过大坝到下游坝趾排水层的渗水情况。因此，只需要定义指定的静水压力。但是，如果静水压力荷载也施加于大坝的上游，那么也可以得到结构的反力、变形、应力以及其它的结果。