

岩土工程有限元分析软件

PLAXIS 2D 2015[®]

案例教程



北京筑信达工程咨询有限公司
北京市古城西街 19 号研发主楼 4 层, 100043

版 权

计算机程序 PLAXIS 及全部相关文档都是受专利法和版权法保护的产品。全球范围的所有权属于 Plaxis bv。如果没有 Plaxis 和北京筑信达工程咨询有限公司的预先书面许可，未经许可的程序使用或任何形式的文档复制一律禁止。

更多信息和此文档的副本可从以下获得：

北京筑信达工程咨询有限公司

北京市古城西街 19 号研发主楼 4 层 100043

电话：86-10-6892 4600

传真：86-10-6892 4600 - 8

电子邮件：support@cisec.cn

网址：www.cisec.cn

北京筑信达工程咨询有限公司版权所有 ©, 2015

目录

砂土地基上圆形基础沉降分析.....	1
几何模型.....	2
案例 A: 刚性基础	2
1.1 几何输入.....	2
1.2 网格划分.....	8
1.3 计算.....	10
1.4 计算结果.....	13
案例 B: 柔性基础.....	16
2.1 修改土层.....	16
2.2 生成网格.....	18
2.3 计算.....	18
2.4 查看计算结果.....	20

砂土地基上圆形基础沉降分析

本章是 PLAXIS 2D 的第一个应用：砂土地基上的圆形基础沉降。这是熟悉程序实际应用的第一步。

这里详细讲述了几何模型创建的一般步骤、有限元网格的划分、有限元计算的执行和输出结果的评估等。本例中涉及的信息将在后面的示例中应用，因此在进一步学习其他教程案例之前透彻学习本例是十分重要的。

目标：

- 开始一个新的项目
- 创建轴对称模型
- 使用钻孔工具创建土层
- 为土层创建并指定材料数据组（摩尔库伦模型）
- 定义指定位移
- 使用板单元创建基础
- 为板单元创建并指定材料数据组
- 创建荷载
- 生成网格
- 使用 K0 生成初始应力场
- 定义塑性阶段
- 在计算阶段激活并修改荷载值
- 查看计算结果
- 为生成曲线选择点
- 创建“载荷-位移”曲线

几何模型

图 1 表示放置在 4m 厚砂土层上半径为 1m 的一个圆形基础。砂土层下是深厚的坚硬岩石层。这一课程旨在计算土体在上部荷载作用下产生的位移和应力。计算将使用刚性基础和柔性基础两种考虑方法。两种情况下的有限元模型的几何形状是相同的。模型内不包含岩石层，其作用是在砂土层下应用适当的边界条件来考虑。为了避免边界的影响，适当反映砂土层的各种变形机理，地基模型在水平方向上扩展到半径为 5m 的圆形。

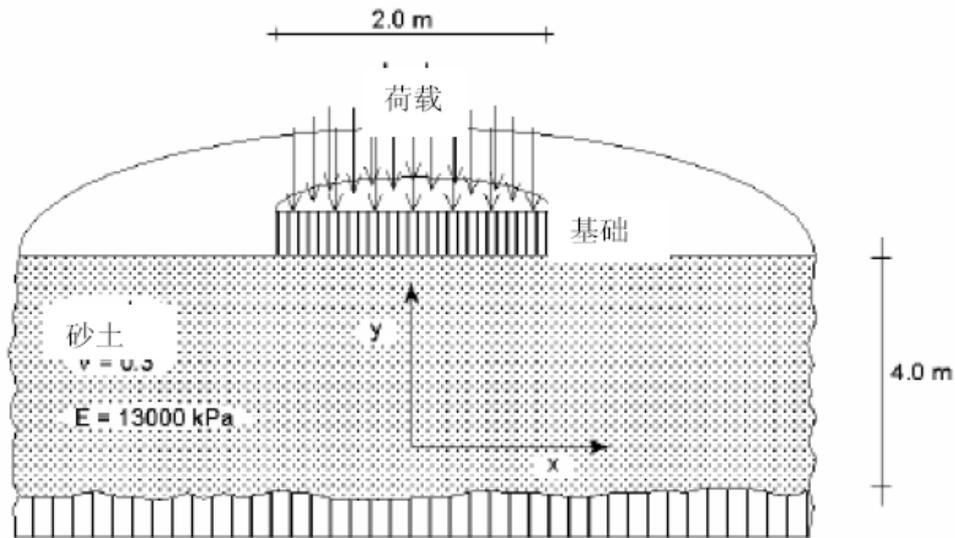


图 1 砂土层上圆形基础的沉降

案例 A：刚性基础

在第一个计算实例中，我们考虑一个刚性基础。基础的沉降通过模拟其在砂土层上的均匀压入来模拟，而不模拟基础本身。

这一模拟方法使得计算模型非常简单，因而被作为第一个实例。不过，这一方法也有其缺点，例如，它没有给出基础结构内力的任何信息。本课提供的第二种方法将讨论作用在柔性基础上的外部荷载，是一个更先进的模拟方法。

1.1 几何输入

 双击输入程序图标启动 PLAXIS，出现一个快速选择对话框。你可以打开一个已有项目或启动一个新项目（图 2）。



图 2 砂土层上圆形基础的沉降

- 选择启动新项目。将弹出项目属性窗口，项目属性窗口包括项目标签和模型标签两部分（图 3 和图 4）。

项目属性

每个分析项目的第一步是设置有限元模型的基本参数。这要通过项目属性窗口完成。这些设置包括问题的描述，分析类型，单元基本类型，绘图区的基本单位和尺寸。

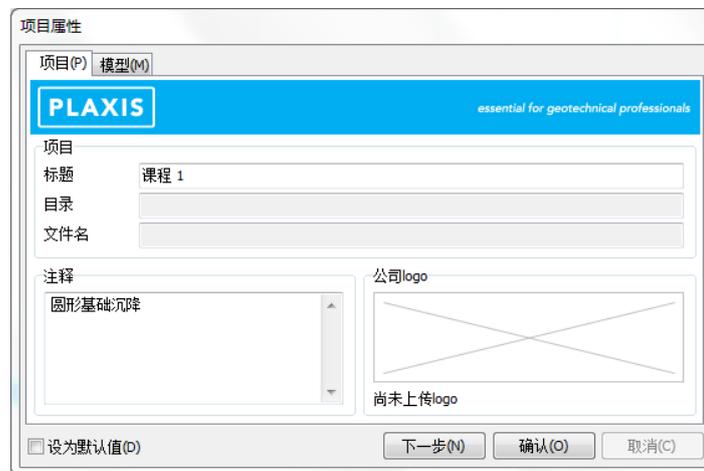


图 3 项目属性窗口项目标签

本例的属性窗口设置，按照下列步骤：

- 在工程标签下，键入一个合适标题“课程 1”，在注释窗口键入注释信息“圆形基础沉降”。
- 单击下一步或者切换至模型标签。
- 在模型标签下，指定模型分析类型和单元类型。因为本例考虑圆形基础，因此选择轴对称模型和 15-节点选项。
- 保持默认单位。

PLAXIS 2D 案例教程：砂土地基上圆形基础沉降分析

- 在几何形状设定框中设定土层模型尺寸 $x_{min}=0$, $x_{max}=5$, $y_{min}=-0$, $y_{max}=4$ 。



图 4 项目属性窗口模型标签

- 点击 OK 即关闭工程属性窗口，完成设定。

提示：如果犯了一些错误或者其他原因，需要更改项目属性设置，可以通过选择文件菜单中项目属性选项，重新打开项目属性窗口。

土层定义

当关闭工程属性窗口后，窗口自动进入土体模式，在土体模式中定义土层。

提示：分析流程一共五个模式。更多关于模式的信息可以查阅参考手册相关章节。

土层的信息已钻孔的形式存在。钻孔包括土层位置好水位标高等信息。如果创建多个钻孔，PLAXIS 2D 将自动在钻孔间内插。超出钻孔位置的土层水平分布。创建水平土层的步骤：

- 点击竖向工具栏中的**创建钻孔**命令，开始定义土层
- 在绘图区 $x=0$ 处单击，修改土层窗口将出现。
- 通过单击修改土层窗口中添加按钮添加土层。
- 设置土层顶部边界 $y=4$ ，保持底部边界 $y=0m$ 。
- 默认水位线位于 $y=-0m$ 。在钻孔柱状图上边修改水头为 2m（图 5）。

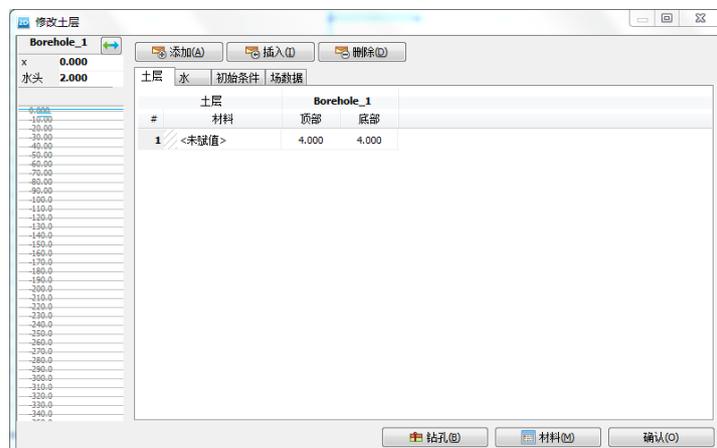


图 5 修改土层窗口

土层材料数据组的创建和指定给土层的操作如下：

材料数据组

为了模拟土层行为，要为几何模型赋予合适本构模型和材料参数。在 PLAXIS 2D 中，土层材料属性放置在材料数据组中，而材料数据组又储存在材料数据库中。从材料数据库中，土层材料数据组可以指定给一个或多个土层。对于结构单元（例如墙、板、锚杆、栅格等）赋值方式是一样的。但是不同的结构类型有不同的材料参数，因此有不同的材料数据组。PLAXIS 2D 区别不同的数据组，例如土和界面、板、锚杆、embedded 桩、格栅。

为土层材料创建材料数据组，按照以下步骤：

 通过单击修改土层窗口中材料按钮，打开材料设置窗口（图 6）。



图 6 材料设置窗口

- 单击材料数据组窗口中新建按钮。出现一个新的窗口，窗口包含五个标签：一般，参数，流动参数，界面和初始条件。
- 在一般标签的材料组材料名称中，键入“砂土”。
- 默认材料本构模型为摩尔库伦，排水类型为排水
- 根据表 1 所列的材料参数，在一般属性框中键入一个合适的值（图 7）。表中未提到的值，保持为默认值。

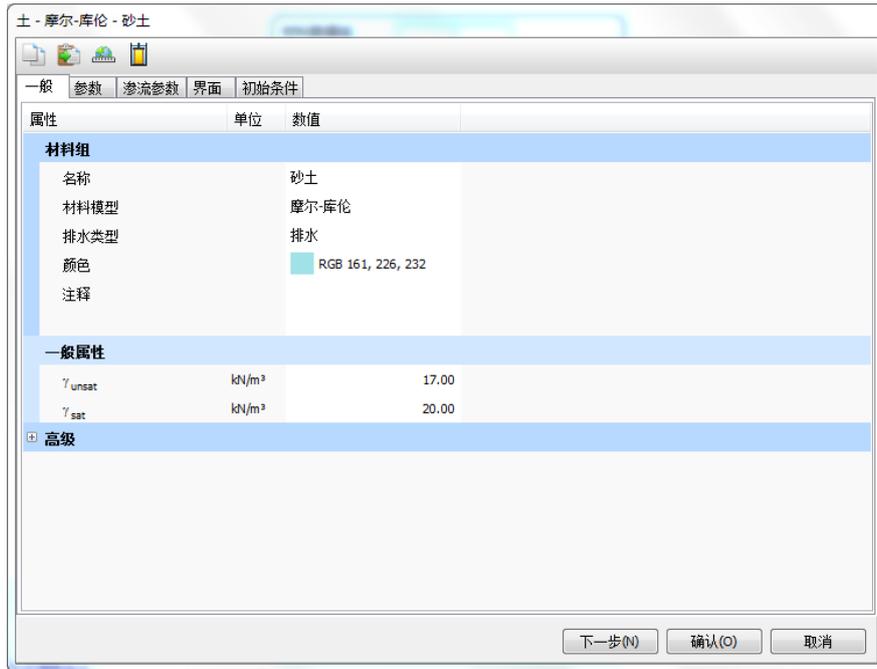


图 7 土和界面材料数据组一般标签

- 单击下一步按钮，或者直接切换至参数标签，设置模型参数。参数标签中的参数取决于所选的模型（本例使用的是摩尔库伦模型）。
- 在参数标签（图 8）的编辑框中键入表 1 中对应的模型参数。关于土层本构模型和他们对应参数的详细信息，可以查看材料模型手册对应的章节。



图 8 参数标签

表 1 土层的材料属性

参数	名称	砂土	单位
一般			
材料模型	模型	摩尔库伦	-
材料类型	类型	排水的	-
水位以上土体容重	γ_{unsat}	17	kN/m ³
水位以下土体容重	γ_{sat}	20	kN/m ³
参数			
参考弹性模量	E'	1.3*10 ⁴	kN/m ²
黏聚力	c_{ref}'	0	kN/m ²
泊松比	ν'	0.3	-
内摩擦角	ϕ'	33	°
剪胀角	ψ	3	°

- 土层是排水的，几何模型中不包括界面，因此界面标签不需要设置。保持初始条件和其余标签保持为默认值。单击 OK 按钮，保存定义的材料数据组。现在刚才创建的材料数据组出现在材料设置窗口中。
- 拖动刚才创建的砂土材料到修改土层窗口左侧土柱的图形上（选中它，拖动的时候鼠标按住左键不放），并放下（松开左键）。
- 单击材料设置窗口中 OK 按钮关闭数据组。
- 单击 OK 按钮关闭修改土层窗口。

提示：通过打开材料设置窗口，点击编辑按钮，可以修改已经设置好的材料数据组。也可以通过单击竖向工具栏的材料设置窗口打开材料设置窗口。

PLAXIS 2D 区别项目数据库和全局数据库。使用全局数据库可以再不同项目中调用材料数据组。通过单击材料设置窗口中显示全局按钮显示全局数据库。安装程序时，案例手册中所有案例的材料数据组都储存在全局数据库中。

通过选择浏览器中材料下拉菜单，可以将材料指定给对象。注意材料的下拉菜单包含了所有的材料数据库。然而，下拉菜单中只有当前项目的材料数据组，而不是全局材料数据库中所有的材料数据组。

程序对材料参数执行一致性检查，当材料数据检查不一致时，弹出一个警告信息。

绘图区显示网格可以简化几何模型的定义。网格在绘图区以矩阵的形式显示。它也可以在绘制几何模型时，捕捉矩形的角点。

 单击竖向工具栏的捕捉选项。在弹出的捕捉窗口中可以指定矩阵单元和间隔数。通过设置捕捉间隔值可以细化捕捉点的间距。本例中使用默认的值。

定义结构单元

在程序的结构模式中定义结构单元，利用统一的指定位移来模拟刚性基础的沉降。

PLAXIS 2D 案例教程：砂土地基上圆形基础沉降分析

- 单击结构标签进入到结构模式中定义结构单元。
- 单击竖向工具栏中创建指定位移按钮。
- 选择扩展菜单中创建线位移选项（图 9）。



图 9 创建位移选项

- 在绘图区移动鼠标至点（0 4）并单击鼠标左键。
- 沿着土层的上边界移动至点（1 4）并再次单击鼠标左键。
- 单击右键按钮停止绘制。
- 在选择浏览器中设置指定位移的 x 分量为固定。
- 通过输入 $U_{y,start,ref}$ 值为-0.05，代表方向向下位移值为 0.05m，指定 y 方向位移分布形式为均匀（图 10）。



图 10 创建位移选项

至此，几何模型已经创建完成。

1.2 网格划分

当几何模型完成后，就可以生成有限元网格。PLAXIS 2D 网格划分是完全自动划分，几何模型被划分为基本的单元类型和相容的结构单元（如果创建了）。

为了考虑土层、荷载和结构的有限元网格化划分，网格划分充分考虑了模型中点和线的位置。有限元网格划分基于三角剖分原理，搜索最优三角形。除了生成有限元网格之外，也是几何模型（点、线和类组）到生成有限元网格（单元、节点和应力点）输入数据（属性、边界条件、材料数据等）信息的一次传递。

生成有限元网格，按照下列步骤：

- 单击对应标签，切换至网格模式
-  单击竖向工具栏中的生成网格按钮，弹出网格划分窗口。
- 使用单元分布参数默认的选项中等。

- 单击 OK，开始网格生成。



图 11 网格划分窗口

 网格生成后，即可单击查看网格按钮。弹出一个新的窗口显示生成的网格(图 12)。注意在基础下面网格自动加密。

提示：默认情况下，单元分布是中等。在网格划分窗口中可以改变单元分布。此外，还可以对网格进行全局或局部加密（详见参考手册相关章节）。

如果修改了几何模型，需要重新生成有限元网格。

自动生成的有限元网格可能不是完全符合计算需要。因此，需要时可以检查网格并细化网格。

- 单击关闭按钮关闭输出程序回到输入程序的网格模式。

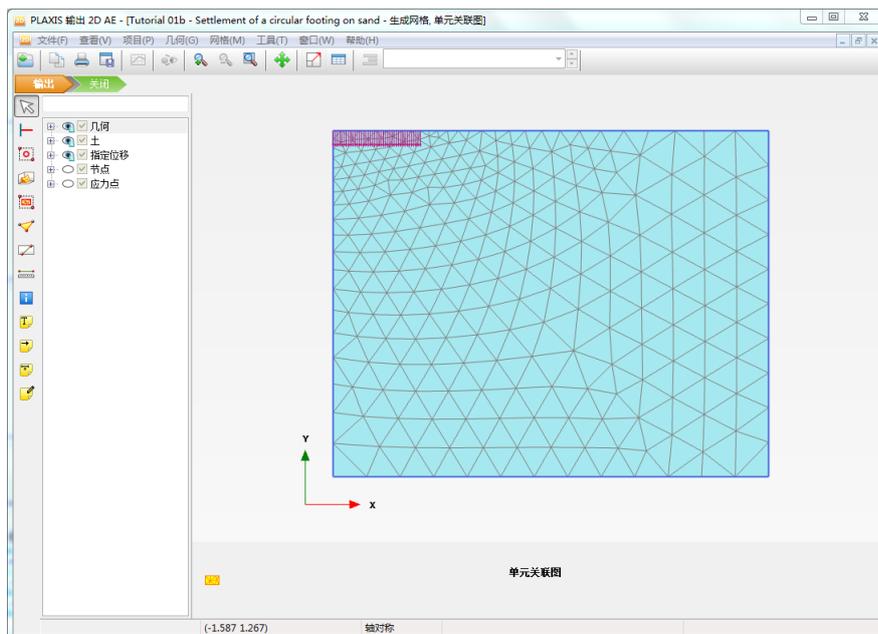


图 12 输出窗口生成的网格

1.3 计算

网格生成后，就完成了有限元模型。

初始条件

初始阶段总是初始条件的生成，一般来说，初始条件由初始几何模型和初始应力条件组成。例如，有效应力、孔隙水压力和状态参数。

水力模式可以跳过。单击分步施工标签进入分步施工模式。当一个新的项目已经定义好后程序自动创建一个阶段并自动选中该阶段，第一个阶段就是“初始阶段”（图 13）。所有的结构单元和荷载初始阶段自动冻结，只有土体是激活的。

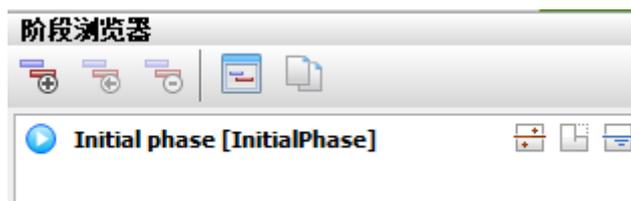


图 13 阶段浏览器

下面将介绍初始阶段的定义。虽然使用的是默认参数，但还是要有一个宏观的概念。



通过双击阶段浏览器的初始阶段，或点击编辑阶段按钮，将弹出阶段窗口（图 14）。

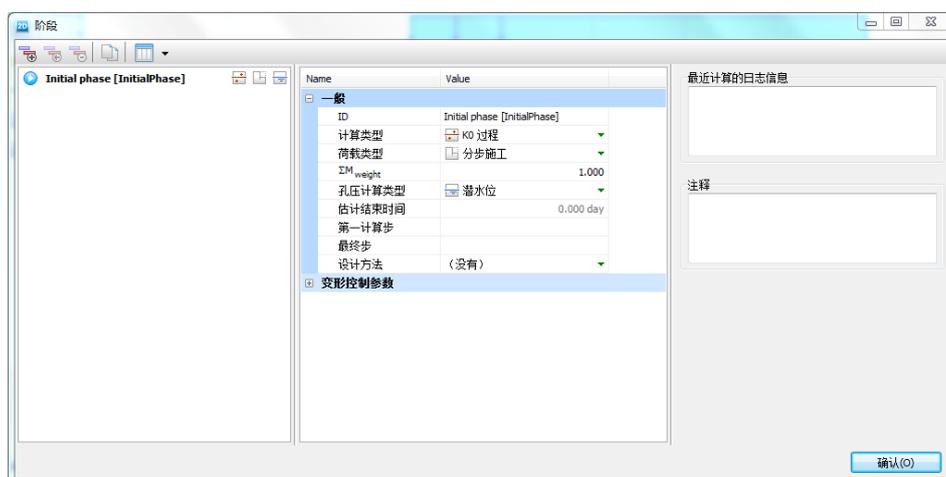


图 14 初始阶段阶段窗口



阶段窗口一般标签下，默认计算类型是 K0 过程。本项目将使用 K0 过程生成初始应力。



荷载类型默认分步施工。



孔压计算类型默认选择为潜水位

- 阶段窗口其它的值默认，单击 OK，关闭阶段窗口。

提示：K0 过程主要用于水平地层，水平地表和水位线水平（如果有）的情况。详见参考手册有关 K0 章节。

对于变形问题主要由两种边界条件：指定位移和指定力（荷载）。原则上，任意一个边界在任意一个方向上都必须有一个边界条件。也就是说，没有施加边界条件时（自由边界）意味着指定力为零和位移自由。

为了避免几何模型的位移不确定的情况，几何模型的一些点必须有指定位移。指定位移最简单的形式是固定边界（位移为零），但是也可以指定非零位移。

- 展开模型浏览器模型条件目录树
- 展开变形目录树。注意使用默认边界条件前面的对话框勾选上了。默认情况下，在模型边界底部是完全固定边界条件，垂直边界约束水平向（ $U_x=0$ ； $U_y=自由$ ）。
- 展开水子目录树。根据修改土层窗口中指定给钻孔的水头标高值生成水位，该水位自动指定为全局水位（图 15）。

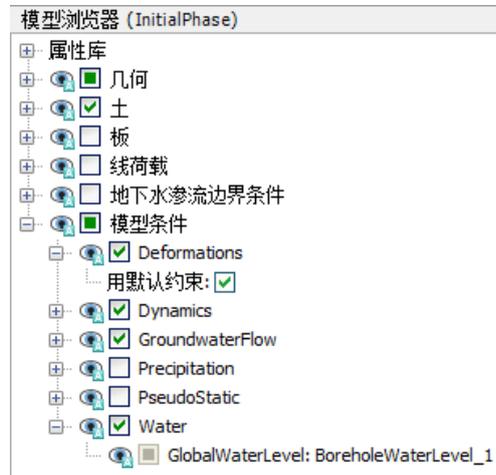


图 15 模型浏览器变形和水子目录

初始的水位线在修改土层窗口中已经输入了。

- 对钻孔指定的水头生成了水位线，如图 16.注意全局水位在水力模式和分步施工模式中都显示。但是只有在水力模式中显示所有的水位线。

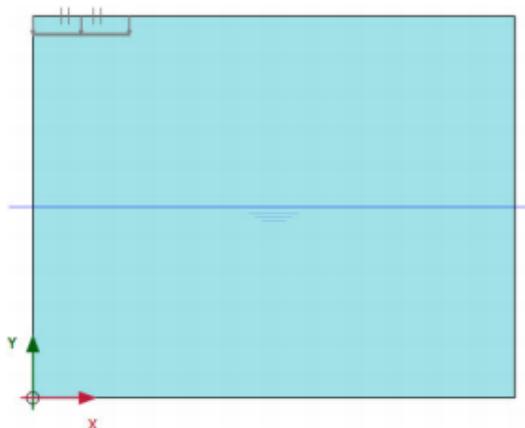


图 16 初始阶段分步施工模式

PLAXIS 2D 案例教程：砂土地基上圆形基础沉降分析

Phase 1: 基础

为了模拟基础的沉降，需要进行塑性计算。PLAXIS 2D 有一个方便的程序即自动加载步，程序中叫做“分步施工”。这个荷载类型适用大多数项目。在塑性计算中，激活指定的位移用来模拟基础的沉降。按照下列步骤定义计算阶段。



添加新的阶段。一个新的阶段，命名为 Phase_1.

- 双击 Phase_1 打开阶段窗口。
- 一般标签中的 ID 输入一个合适的名字（例如 Indentation）。
- 当前阶段从初始阶段开始，本阶段使用默认的选项和值（图 17）。

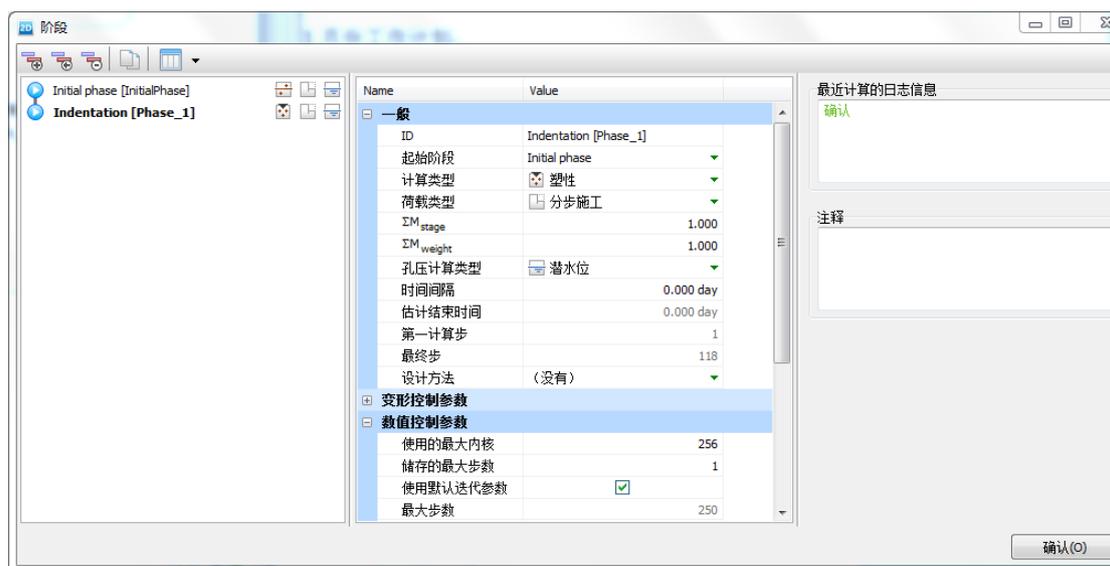


图 17 阶段窗口 Indentation 阶段

- 单击 OK 关闭阶段窗口。
- 单击分步施工模式标签进入该模式。
- 在绘图区选择指定位移右键，从下拉菜单中选择激活选项（如图 18）。

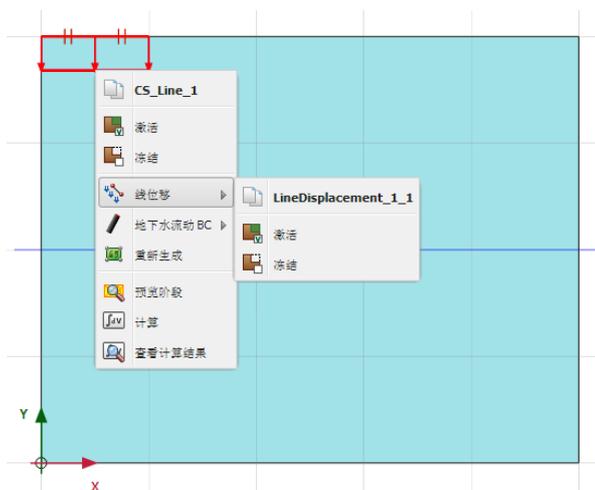


图 18 分步施工模式中激活指定位移

提示：可以使用阶段浏览器或者阶段窗口中添加、插入和删除按钮，增加、插入或删除计算阶段。

执行计算

所有阶段（本例是两个阶段）被标记为计算（蓝色箭头显示）。起始阶段控制计算的顺序。

 单击计算按钮，开始计算。忽略未选择节点和应力点的提示。在计算过程中，弹出计算窗口，窗口中显示了计算过程信息。



图 19 计算窗口

这个信息不断更新，信息显示计算过程，当前计算步，当前迭代过程的全局误差和当前步的塑性点数量。执行这个计算需要几秒钟。当计算完成后，计算窗口关闭返回主窗口。



阶段浏览器的阶段显示更新了。计算阶段前以绿色圆圈显示



在查看计算结果前保存该项目。

1.4 计算结果

一旦计算完成后，输出窗口中就可以显示计算结果。在输出窗口中，位移和应力可以以二维整个模型和某一断面或者结构单元显示。计算结果也可以以表格形式显示。

为了检查由指定 0.05m 位移生成的力，执行下列操作：

- 打开阶段窗口。

PLAXIS 2D 案例教程：砂土地基上圆形基础沉降分析

- 达到的值目录树中 Force-Y 的值非常重要。这个值代表了施加指定位移后反作用力的大小，即对应 1 弧度的基础上作用的总的反力（注意分析类型为轴对称）。为了获得总的反力，Force-Y 的值乘以 2π （大约 588kN）。

输出程序中可以分析计算结果。在输出窗口中，可以以整个模型和某一断面和结构单元窗口显示位移和应力。计算结果也可以以表格形式输出。为了查看基础的计算结果，执行下列操作：

- 选择阶段浏览器的最后一个计算阶段。

 单击竖向工具栏中查看计算结果。输出视窗将显示计算阶段最终的变形的网格（图 20）。变形的网格自动缩放到合适的查看变形的值。

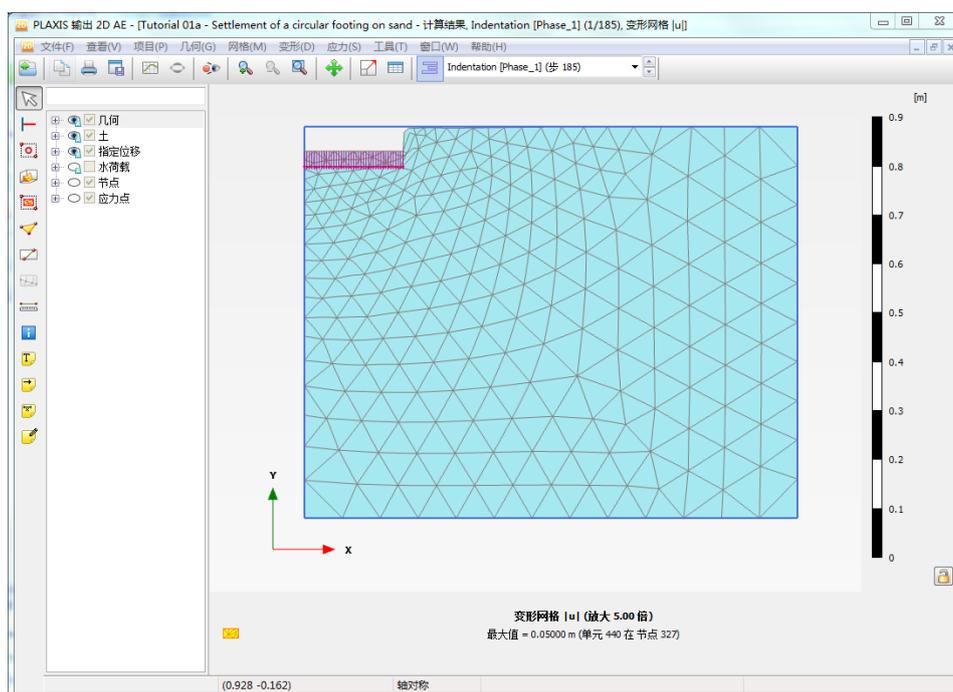


图 20 计算完成后的变形网格

- 选择变形菜单中总位移-|u| 选项。总位移以变形云图显示。显示区右侧图例显示了颜色分布。

提示：单击视图菜单中对应选项可以显示和关闭图例。

 单击工具栏中等值线按钮，视图可以以等值线形式显示总位移分布。同时有数值显示等值线的数值大小。

 单击箭头按钮，所以节点的总位移以箭头形式显示，箭头长度的大小代表位移值的相对大小。

提示：变形菜单中既有总位移又有增量位移。增量位移是一个计算步（本例中是最后一步）的位移。增量位移对于查看破坏机理非常有用。

- 选择应力菜单中有效主应力菜单中选择有效主应力选项，视图显示了每一个土单元的应力点的有效主应力，包括应力大小和方向（图 21）。

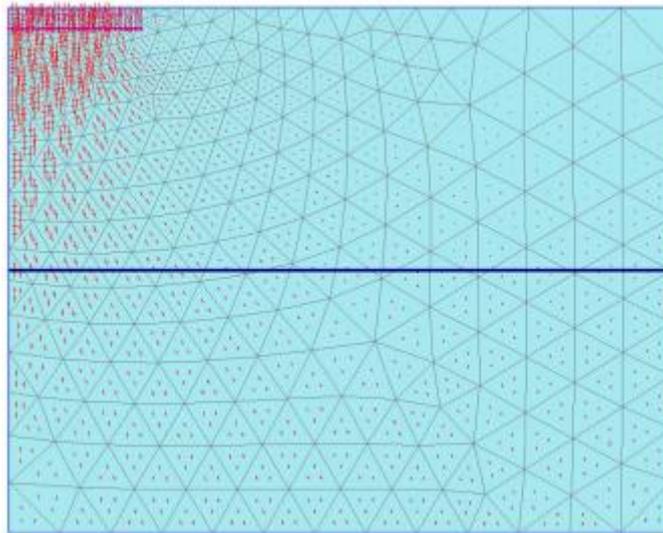


图 21 有效主应力

- 单击工具按钮的表按钮。程序将弹出包含表格的新窗口，表中显示了包含主应力的值和所有单元的每一个应力点的应力信息。

案例 B：柔性基础

现在修改原来的项目，用柔性的板来模拟基础。用板来模拟基础能够计算基础的内力。本例的几何模型和原来的模型一样，除了增加板单元外。由指定位移改为施加指定荷载。没有必要创建一个新的模型，可以打开原来的模型，修改它并用不同的名字保存。为此执行下列操：

2.1 修改土层

- 在输入程序文件菜单中选择项目另存为。为当前项目文件键入一个未使用的名字并单击保存按钮。
- 切换到结构模式。
- 右键指定位移，在下拉菜单中选择线位移，在扩展菜单中单击删除选项（图 22）。

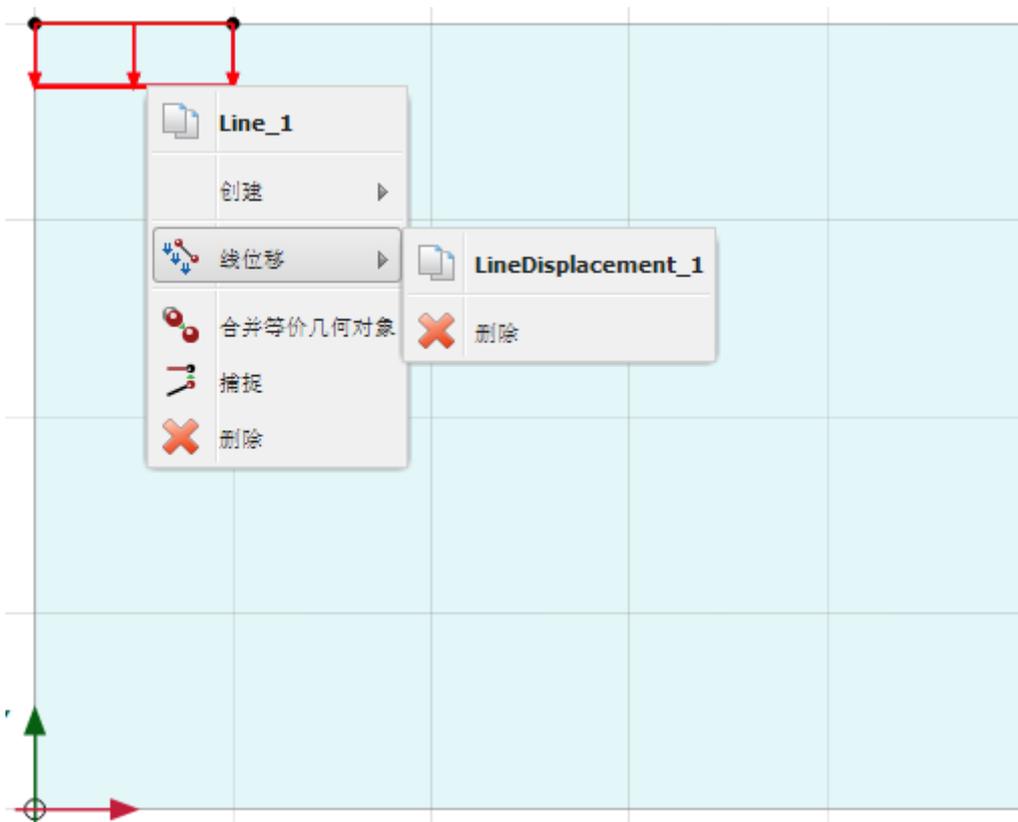


图 22 删除指定位移

- 在基础的位置处右键线，在下拉菜单中选择创建<板选项（图 23）.创建板用来模拟柔性基础。

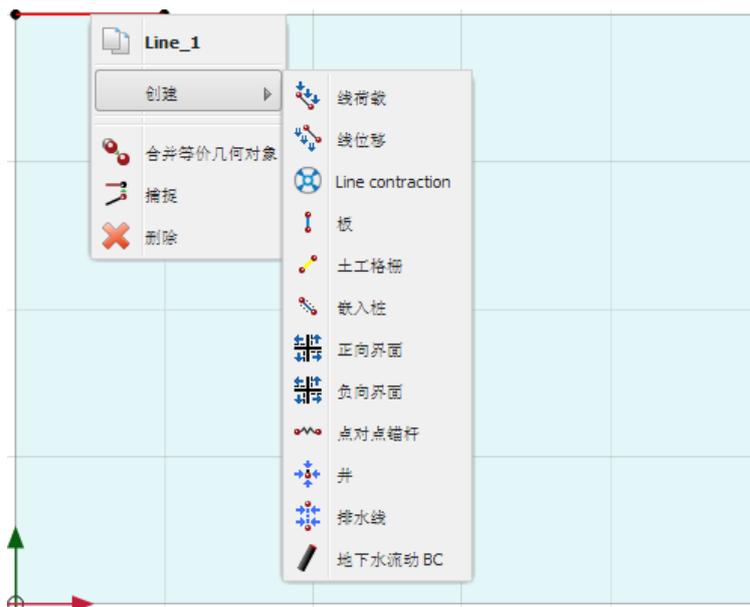


图 23 为线指定板

- 再一次在基础的位置处右键线，在下拉菜单中选择创建<线荷载选项（图 24）

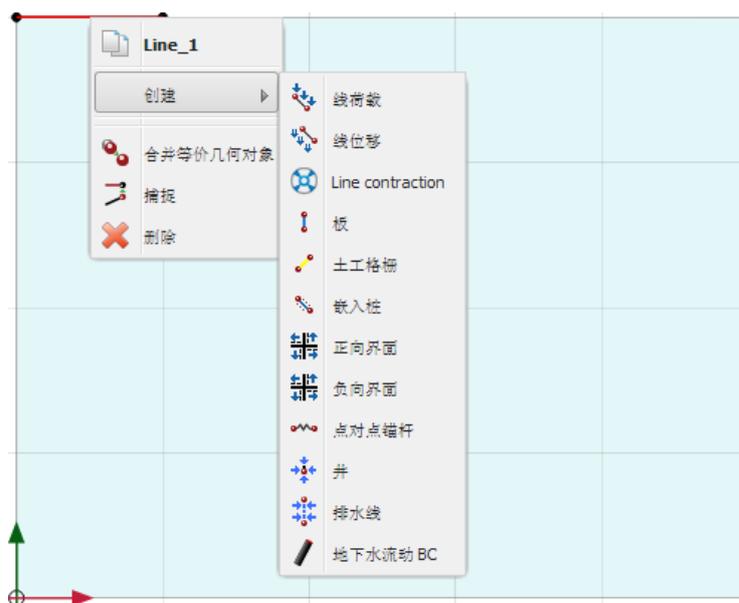


图 24 为线指定线荷载

- 选择浏览器中 Y 方向分布荷载默认的值为 -0.1Kn/m^2 。当激活荷载时，再改变输入的值为真实值。

为基础指定材料属性



单击竖向工具栏中材料属性按钮。

- 在材料设置窗口中材料组类型下拉菜单中选择板。
- 单击新建按钮。出现新的窗口，定义基础的材料属性。

PLAXIS 2D 案例教程：砂土地基上圆形基础沉降分析

- 在名称框内输入“基础”。材料类型默认为弹性选项。本例保持这个选项。
- 键入表 1.2 中的属性。表中没有提到的值保持为默认值。
- 单击 OK，材料设置窗口材料目录中出现新建的材料。

表 2 基础的材料属性

板参数		
参数	值	单位
材料类型	弹性；各向同性	-
轴向刚度 EA	5×10^6	kN/m
抗弯刚度 EI	8.5×10^3	kNm^2/m
重度 W	0	kNm/m
泊松比 V	0	-

- 拖动“基础”材料到绘图区并指定给基础。注意鼠标的形状发生变化意味着已经为基础指定了材料。
- 单击 OK 按钮关闭材料数据组。

2.2 生成网格

- 切换至网格模式



创建网格，单元分布参数选择默认选项（中等）。



查看网格。

- 单击关闭标签，关闭输出程序。

2.3 计算

- 切换至分步施工模式
- 初始阶段和刚性基础案例一样。
- 双击下一个阶段（Phase_1）在 ID 框中并键入一个合适的名字。保持计算类型为塑性计算并保持加载类型为分步施工。
- 关闭阶段窗口。
- 在分步施工模式中激活荷载和板。模型如图 25。

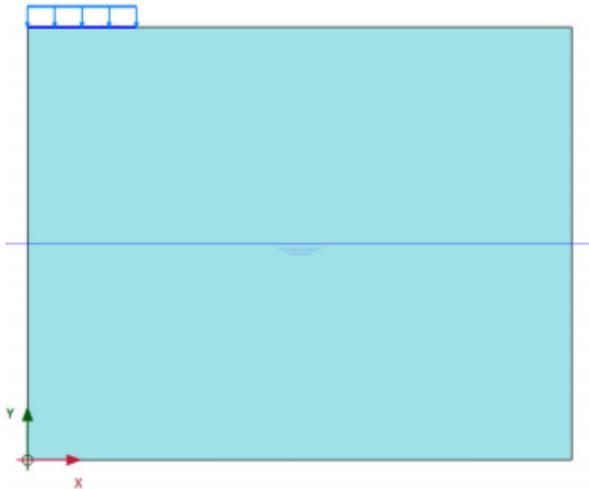


图 25 激活模型中板和荷载

- 修改选择浏览器中线荷载垂直分量为 -188kN/m^2 （图 26）。注意这个值近似等于第一个案例基础所受荷载。 $(188\text{ kN/m}^2 * \pi (1.0\text{m})^2 \approx 590\text{kN})$ 。



图 26 选择浏览器荷载分量的定义

- 模型浏览器中 **water** 标签不做任何修改。

至此，已经定义好计算阶段。在开始计算之前，推荐为荷载-位移曲线或者应力应变曲线选择节点或者应力点。定义的步骤如下：

 单击为生成曲线选择点按钮。结果，在输出程序中显示了所有的节点和应力点。可以通过直接选择节点或应力点或者通过使用选择点窗口选择点。

- 在选择点窗口中，选择点的坐标中键入 (04)，并单击搜索最近。指定节点或应力点附近的点以列表的形式显示。
- 选中 (04) 附近的点前面勾选框。选中的节点在模型中以“A”显示（当网格菜单中选中标签选项选中时）。
- 单击更新按钮返回输入程序。
- 检查是否两个计算阶段标记为计算，标记为计算时以蓝色箭头显示。如果未标记为计算，可以单击计算阶段的图标或者右键选择标记计算。

 单击计算按钮开始计算。

 计算完成后保存项目。

2.4 查看计算结果

 计算完成后最后一步计算结果可以通过单击查看结果按钮查看。查看应力和变形信息的方法和前面的案例一样。

单击竖向工具栏中选择结构按钮，双击显示区基础。弹出一个新的窗口，视图中可以显示基础的弯矩或者位移，这取决于在选择结构之前的视图。

- 注意此时菜单已经改变。从力菜单中选择不同选项查看基础的内力。

生成荷载-位移曲线

 除了最后计算步的结果有用之外，查看荷载-位移曲线也非常有用。为了生成荷载-位移曲线，如图 27，按照下列步骤：

- 单击工具栏中曲线管理器，弹出曲线管理器。

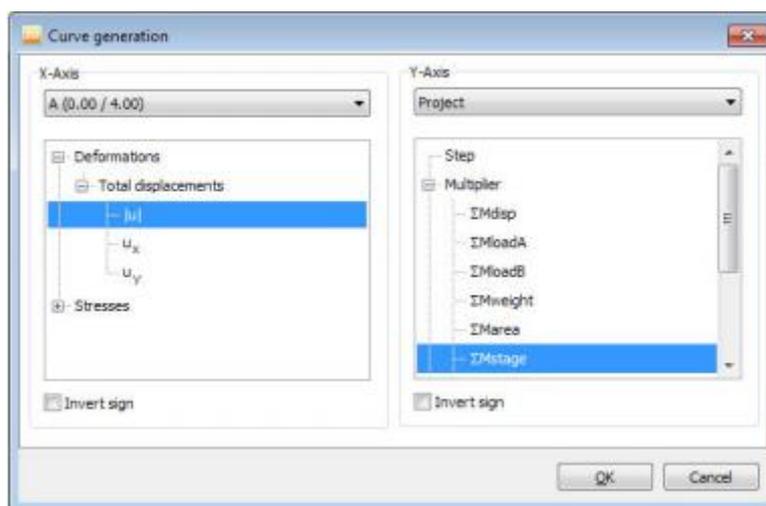


图 27 曲线管理器窗口

- 在图表标签中，单击新建。弹出出现生成窗口，如图 27。
- X 轴下拉菜单中选择 A(1/4)。变形菜单下选择总位移 $|u|$ 。
- Y 轴下拉菜单中选择项目。从乘子 Multipliers 中选择 $\Sigma Mstage$ 。该值代表已经施加指定改变的百分比。因此这个值从 0 到 1，到达 1 意味着指定的荷载已经 100%施加完成，指定的状态完全达到。
- 单击 OK 按钮接受输入并生成荷载-位移曲线。生成的曲线如图 28。

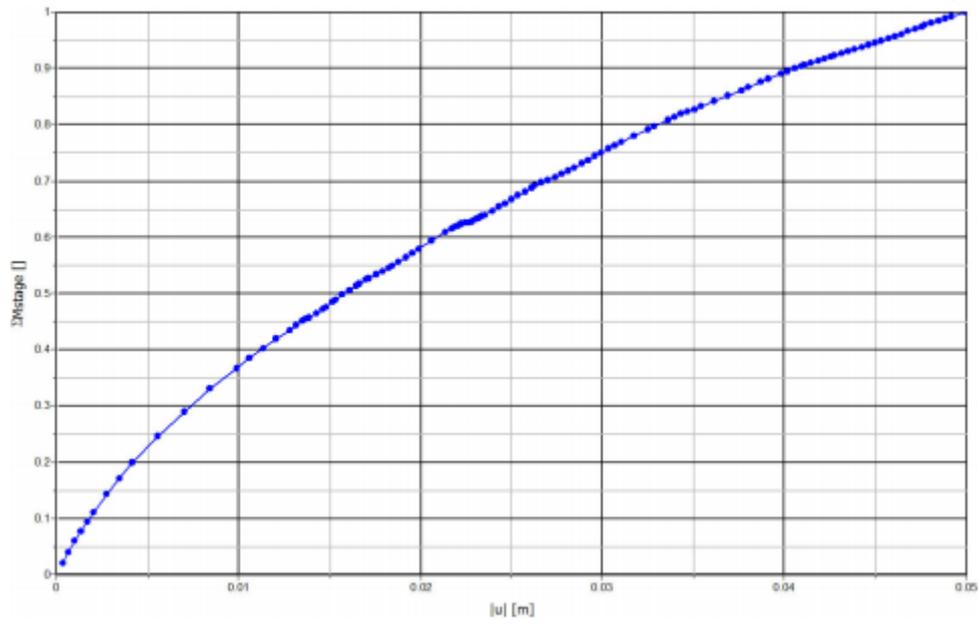


图 28 基础荷载-位移曲线

本教程到此结束！

岩土工程有限元分析软件

PLAXIS 2D 2015[®]

案例教程



北京筑信达工程咨询有限公司
北京市古城西街 19 号研发主楼 4 层, 100043

版 权

计算机程序 PLAXIS 及全部相关文档都是受专利法和版权法保护的产品。全球范围的所有权属于 Plaxis bv。如果没有 Plaxis 和北京筑信达工程咨询有限公司的预先书面许可，未经许可的程序使用或任何形式的文档复制一律禁止。

更多信息和此文档的副本可从以下获得：

北京筑信达工程咨询有限公司

北京市古城西街 19 号研发主楼 4 层 100043

电话：86-10-6892 4600

传真：86-10-6892 4600 - 8

电子邮件：support@cisec.cn

网址：www.cisec.cn

北京筑信达工程咨询有限公司版权所有©, 2015.

目录

水下基坑开挖.....	1
1 输入.....	2
2 网格生成.....	7
3 计算.....	7
4 结果.....	11

1 输入

创建几何模型，按照下列步骤：

1.1 一般设置

- 打开 PLAXIS 2D AE 程序。将会弹出快速选择对话框，选择一个新的工程。
- 在工程属性窗口的工程标签下，键入一个合适标题。
- 在模型标签下，模型（平面应变）和单元（15-Node）保持默认选项。
- 在几何形状设定框中设定土层模型尺寸 $X_{min}=0$ ， $X_{max}=65$ ， $Y_{min}=-30$ ， $Y_{max}=20$ 。
- 点击 OK 即关闭工程属性窗口，完成设定。

1.2 土层定义

定义土层：

- 点击创建钻孔命令，在 $x=0$ 处单击，修改土层窗口将出现。
- 添加上层土并指定其高度，顶部 20m，底部 0m。
- 添加底层土并指定其高度，顶部 0m，底部 -30m。
- 水位线位于 $y=18m$ 。在钻孔柱状图上边指定水头为 18m。



打开材料设置窗口，为黏土层和砂土定义材料属性。

- 按表 1 中的参数定义土层并分别指定给相应土层。
- 关闭修改土层窗口并切换到结构模式。

注意：当强度下拉菜单选中刚性选项，界面的强度和土的强度一样（ $R_{inter}=1.0$ ）。

如果 $R_{inter}<1.0$ ，同时减小了界面的强度和刚度。

不使用界面的默认值，可以在选择对象浏览器材料模式下拉菜单中选择合适的材料数据组直接指定。

表 1 土的材料属性

参数	名称	黏土	砂土	单位
一般				
材料模型	模型	软土	土体硬化	-
材料类型	类型	不排水 A	排水的	-
水位以上土体容重	γ_{unsat}	16	17	kN/m^3
水位以下土体容重	γ_{sat}	18	20	kN/m^3
初始孔隙比	e_{int}	1.0	0.5	-
参数				
修正压缩指数	λ^*	$3.0 \cdot 10^{-2}$	-	-

修正膨胀指数	κ^*	8.5×10^{-3}	-	-
标准三轴排水试验割线模量	E_{50}^{ref}	-	40000	kN/m ²
标准固结试验	E_{oed}^{ref}	-	40000	kN/m ²
卸载/重加载刚度	E_{ur}^{ref}	-	120000	kN/m ²
与刚度应力水平相关的幂指数	m	-	0.5	-
黏聚力	c'_{ref}	1	0	kN/m ²
内摩擦角	φ'	25	32	°
剪胀角	ψ	0	2	°
泊松比	ν_{ur}'	0.15	0.2	-
侧压力系数	K_0^{nc}	0.5774	0.4701	-
流动参数				
水平渗透系数	k_x	0.001	1.0	m/天
竖向渗透系数	k_y	0.001	1.0	m/天
界面				
界面强度折减因子	Rinter	0.5	0.67	-
初始条件				
超固结比	OCR	1.0	1.0	-
前期固结压力	POP	5	0	kN/m ²

1.3 定义结构单元

在结构模式中定义地连墙、内支撑、面荷载和开挖面。

定义地连墙：

 单击竖向工具栏中创建结构按钮。

 在扩展菜单中选择创建板选项（图 2）。

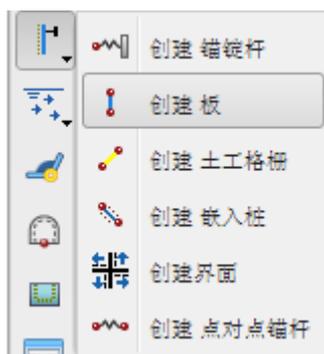


图 2 创建结构菜单

- 在绘图区移动鼠标到 (50 20) 单击。移动 30m 到 (50 -10) 单击。单击鼠标右键停止绘制。



单击竖向工具栏中的显示材料按钮。按照表 2 定义地连墙的材料属性。

表 2 地下连续墙(板)特性

参数	名称	数值	单位
行为类型	材料种类	弹性；各向同性	-
轴向刚度	EA	$7.5 \cdot 10^6$	kN/m
抗弯刚度	EI	$1.0 \cdot 10^6$	kNm^2 / m
重量	w	10	kN/m/m
泊松比	V	0	-

提示：通常情况下，在一点只能有一个点，两点之间只能有一条线。重合的点或者线会自动减小为一个点或者线。更多信息查看参考手册的相关章节。

定义界面：

- 右键板单元，在出现的菜单中选择创建<正向界面选项（图 3），同样的方法创建负向界面。

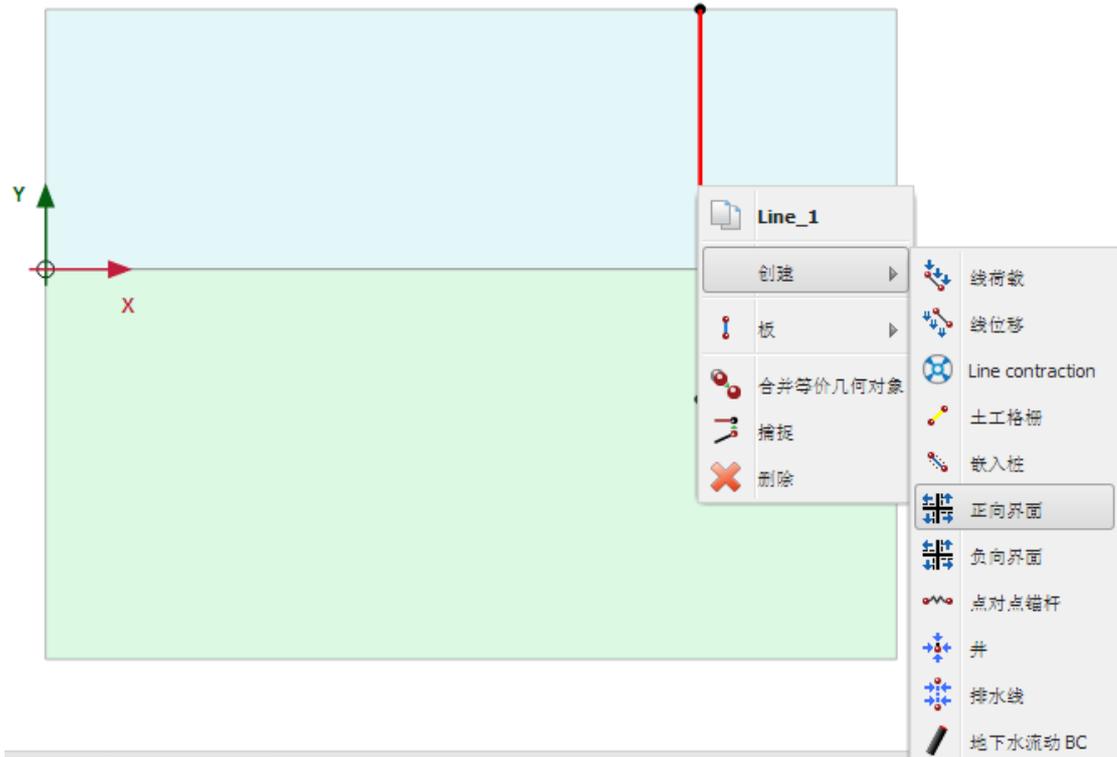


图 3 为板创建界面单元

提示：为了区别线两面指定的界面，需要添加正号负号。这个符号没有任何物理意义，对结果也没有任何影响。

可以指定界面的虚拟厚度。这个厚度纯是数值计算需要的值，用来优化界面单元，使计算结果和实际更加相符。修改虚拟厚度的值，首先在绘图区选中界面，然后在选择对象浏览器虚拟厚度系数参数输入框修改该值。建议没有经验的用户不要修改这个默认值。更多信息查看参考手册界面单元特性的章节。

定义开挖面：

 单击竖向工具栏的创建线按钮

- 创建第一个开挖面，单击（50 18）、（65 18）两点。然后单击右键完成绘制。
- 创建第二个开挖面，单击（50 10）、（65 10）两点。然后单击右键完成绘制。
- 第三个开挖面对应土层的边界 $y=0$ 。

定义内支撑：

 单击竖向工具栏创建结构按钮，在出现的下拉菜单中，再选择创建锚定杆按钮。

- 在点（50 19）单击。

 单击竖向工具栏显示材料按钮。按照表 3 定义锚定杆材料属性。

表 3 内孩子(锚定杆)的特性

参数	名称	数值	单位
行为类型	材料种类	弹性	-
轴向刚度	EA	$2 \cdot 10^6$	kN
水平间距	L_s	5	m

- 单击 OK 按钮关闭材料设置窗口。
- 选中绘图区的锚定杆。
- 在选择浏览器中通过选择材料下拉菜单中锚定杆材料给锚定杆赋值。
- X 方向和 y 方向两个参数控制锚定杆的方向。本例使用默认值。
- 键入等效长度为 15m，等于开挖宽度的一半（图 4）。

提示：等效长度是锚定杆坐标位置和沿锚定杆方向位移为零的点的距离。

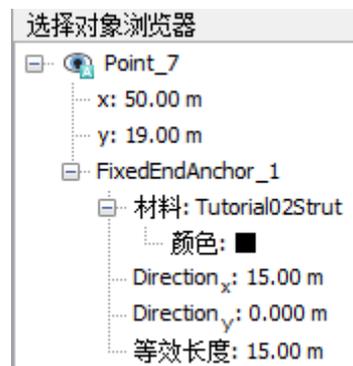


图 4 选择对象浏览器锚定杆参数

定义分布荷载

 点击竖向工具栏的创建荷载按钮。

 在扩展菜单中选择创建线荷载（图 5）。



图 5 创建荷载菜单创建线荷载选项

- 单击点 (43 20)、(48 20)，右键完成绘制。
- 在选择浏览器中将荷载 y 分量设置成 -5kN/m/m（图 6）。

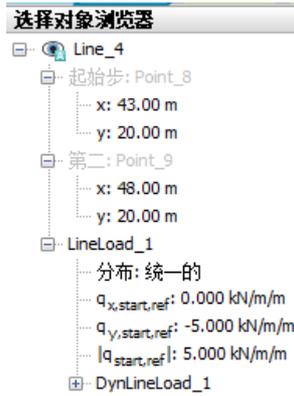


图 6 选择浏览器线荷载分量

2 网格生成

- 切换到网格模式
-  使用默认的单元分布参数（中等）。
-  生成的结果如图 7。
- 单击关闭按钮，关闭输出窗口。

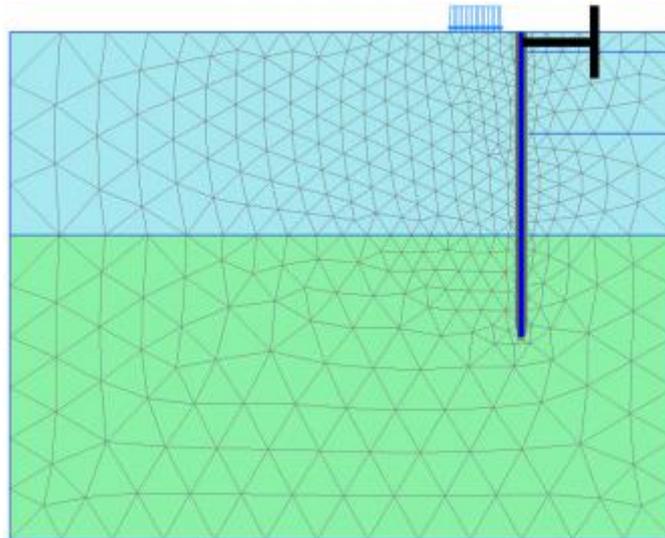


图 7 生成的网格

3 计算

实际上，基坑开挖施工包含很多阶段。首先，施工地连墙。接着开挖土层，安装锚杆或内支撑。然后开挖至最后深度。通常采取一些措施降低水位，以及施加一些内支撑。

在 PLAXIS 中，可以设置阶段窗口的一般标签的加载类型为分步施工来模拟上述基坑开挖过程。它能够激活或冻结所选择的有限单元的重度、刚度和强度。注意在分步施工模式中只有加载类型可以修改。本例将解释开挖过程的模拟。

PLAXIS 2D AE 案例教程：水下基坑开挖

- 单击分步施工模式定义计算阶段。
- 初始阶段程序默认创建完成。计算类型默认为 K0 过程。确保所有土层激活，而所有结构单元和荷载冻结。

Phase 1：外部荷载

 添加新的阶段。

- 采用默认的设置。除了墙、界面、内支撑和荷载外全部激活。
- 单击竖向工具栏的选择多个对象按钮，在下拉菜单中选择选择线并单击选择板选项（图 8）。
- 在绘图区绘制矩形区域包含所有板单元（图 9）。
- 右键墙在下拉菜单选择激活选项。现在墙显示在材料数据组中指定的颜色。

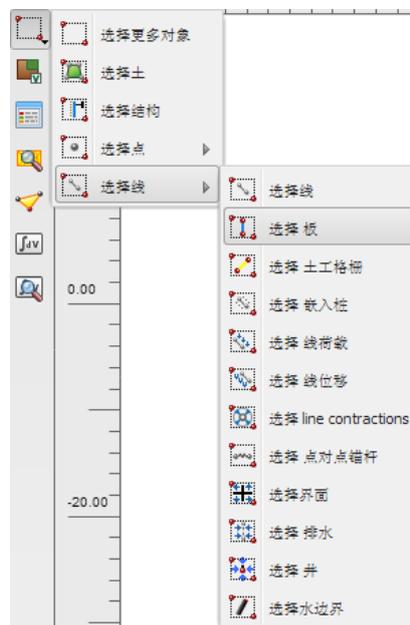


图 8 选择板选项

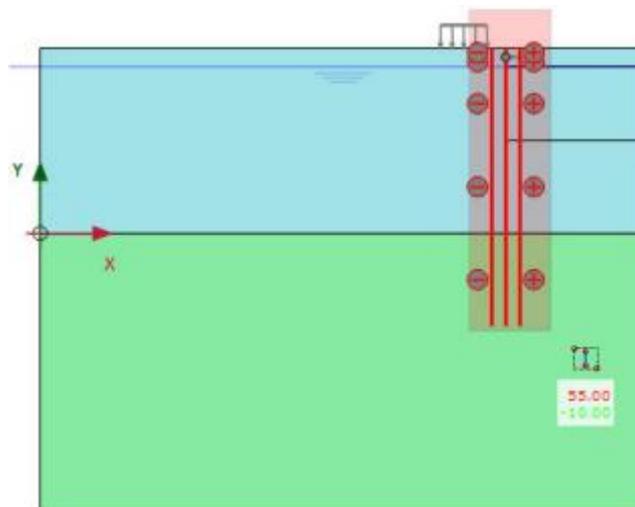


图 9 绘图区选择板

- 右键分布荷载激活它，在结构模式中已经定义了荷载为-5kN/m/m。选择浏览器中显示该值前面的选择框已经选中。
- 确保模型中的所有界面已经激活。

Phase 2: 第一步开挖

 添加新的阶段。

- 在阶段浏览器中出现一个新的阶段。注意程序自动假设这个新阶段起始于原来的阶段并且激活的对象也和原来的阶段一样。
- 本阶段采用默认的设置。除了锚定杆外，分步施工模式中所有的结构单元都被激活。
- 在绘图区右键顶部土层并在出现的菜单中选择冻结选项。图 10 显示了第一步开挖的阶段。

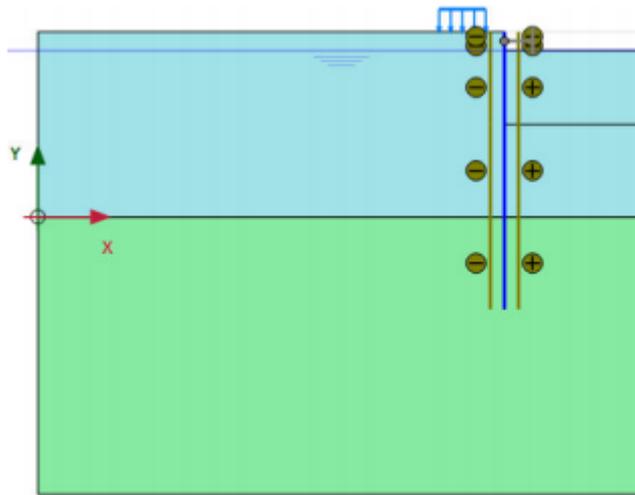


图 10 第一步开挖模型

Phase 3: 安装内支撑

 添加新的阶段。

- 激活内支撑。内支撑变成黑色代表已经激活了。

Phase 4: 第二步开挖阶段

 添加新的阶段。

冻结要开挖的第二层土（图 11）。

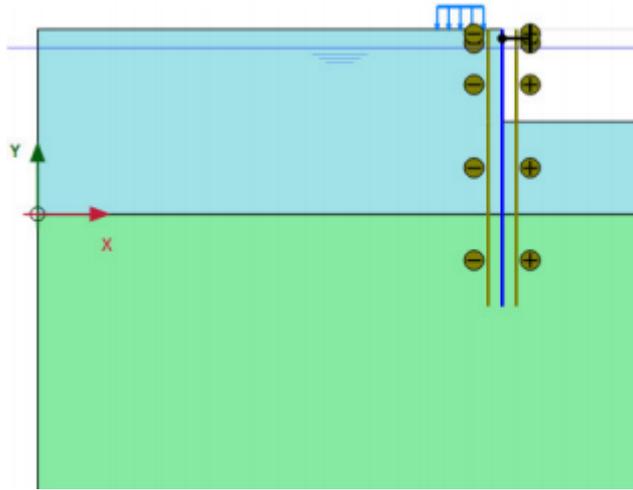


图 11 第一步开挖模型

提示：在 PLAXIS 中，当冻结土层时，孔隙水压力不会自动冻结。因此，开挖处仍然存在水压力，这样就可以模拟未降水开挖。

Phase 5: 第三步开挖阶段

 添加新的阶段。

最后阶段是冻结第三次黏性土（图 12）。

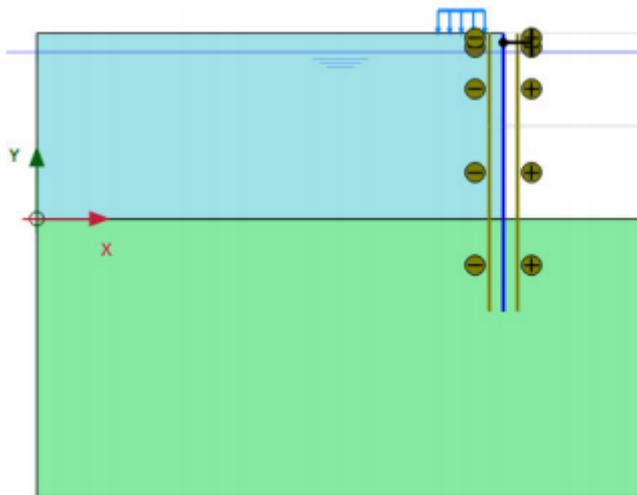


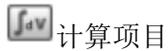
图 12 第三步开挖模型

至此分步施工定义完成。在开始计算前，建议为生成荷载-位移曲线或者应变和应力图表选择节点或应力点。

 单击生成曲线所需的点。输出窗口显示了单元节点连接图，并显示选择点窗口。

- 选择墙上可能出现较大变形的一些节点（例如。50 10）。在选择点窗口中显示指定节点附近的节点。选中目标节点。关闭选择点窗口。

- 单击更新标签关闭输出窗口并回到输入程序。



计算项目

4 结果

输出窗口除了输出土的位移和应力外，还可以查看结构的内力。



单击竖向工具栏中的输出结果按钮。弹出输出程序，并在窗口中显示选择的阶段的变形网格，同时在图形下方显示最大位移（图）。

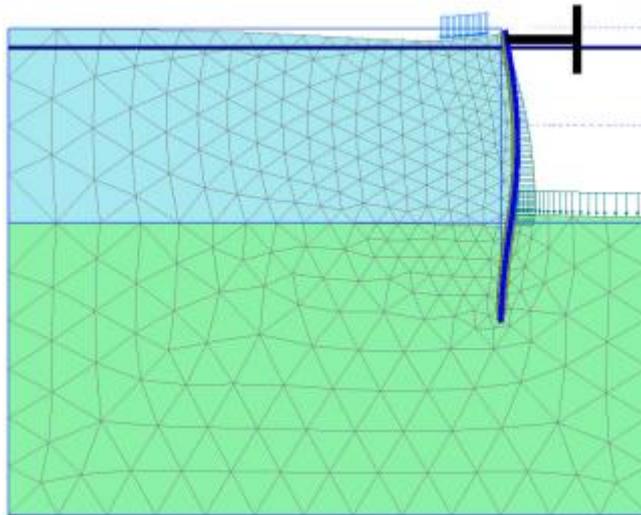


图 13 第三步开挖的变形网格

提示：在输出窗口中，显示荷载、边界条件和指定位移可以通过几何菜单中对应的选项打开或关闭。

- 在变形菜单中选择增量位移 $|\Delta u|$ 。视图显示了位移增量的云图，该云图表明墙后土移动的机理。



选择视图菜单中的箭头选项或者单击对应的快捷工具。视图以箭头的形式显示了所有节点的增量位移。箭头的长度代表增量位移的相对大小。

- 选择应力菜单中有效主应力下路菜单中的有效主应力选项。视图显示了每一土单元三个应力点的有效主应力，有效主应力既代表了方向又显示了该值的相对大小。注意，如果选中了中主应力方向选项，主应力的方向显示了基坑开挖底部一个大的被动区和内支撑后小的被动区（图 14）。

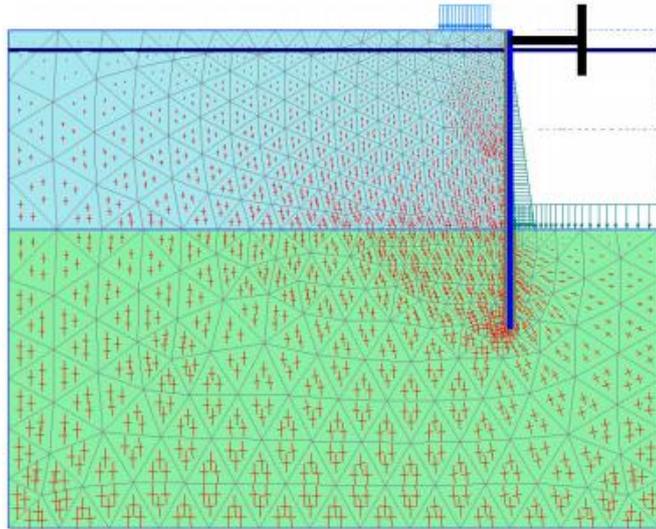


图 14 第三步开挖后的主应力分布

按照下列操作显示墙的弯矩和剪力：

- 双击墙，弹出显示轴力的窗口。
- 在力的菜单中选择弯矩 M 。墙的弯矩显示最大/最小弯矩信息（图 15）。

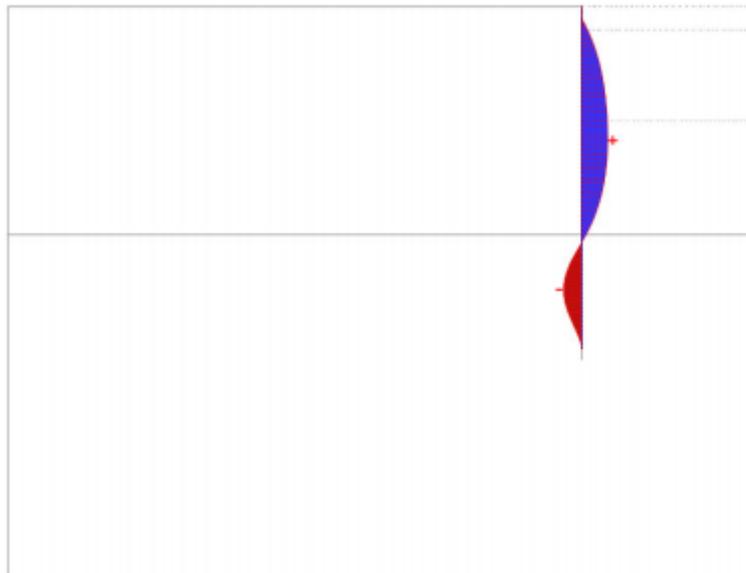


图 15 墙的弯矩图

- 在力的菜单中选择剪力 Q 。视图显示墙的剪力视图。
- 选择窗口菜单的第一个窗口（整个窗口显示有效应力）。双击内支撑，以图表的形式显示了内支撑的力。
- 单击工具栏中的曲线管理按钮。弹出曲线管理器窗口。
- 单击新建按钮创建一个图表。弹出曲线生成器窗口。
- 在 x -轴下拉菜单中选择点 A 。并选择变形-总变形 $|\Delta u|$ 。
- 在 y -轴下拉菜单选择项目选项。选择乘子 $\sum M_{stage}$ 。
- 单击 OK，生成荷载-位移曲线。如图 16。

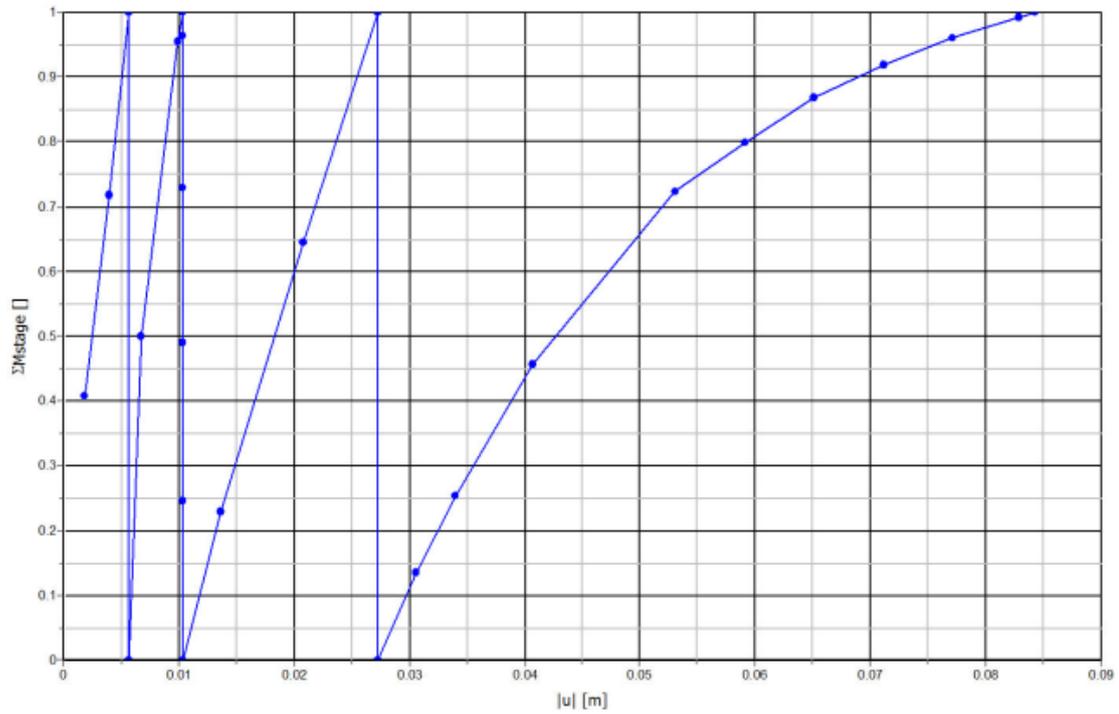


图 16 墙变形的荷载-位移曲线

曲线显示了分步施工阶段。对于每一个阶段参数 $\Sigma Mstage$ 从 0 到 1.最后一个阶段曲线的斜率逐渐减缓意味着塑性变形在增大。然而，计算结果表明，施工的最后阶段开挖过程是稳定的。

本教程到此结束！

目录

拉锚地连墙支护下的降水开挖.....	1
1.1 输入.....	2
1.2 网格划分.....	6
1.3 计算.....	6
1.4 结果.....	12

锚固地连墙支护下的降水开挖

本例模拟基坑降水开挖的问题。开挖支护方式为混凝土地下连续墙和预应力锚杆。

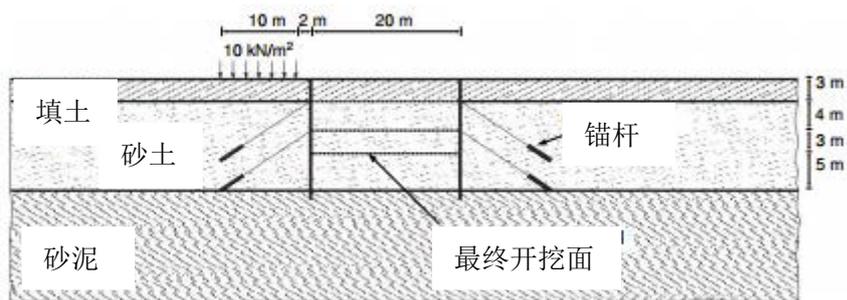


图 1.1 锚固地连墙支护下的降水开挖

PLAXIS 可以对这种问题进行详细模拟。本例将说明如何模拟锚杆，并且说明如何在锚杆上施加预应力。这一课程还涉及为生成水压分布而进行的地下水渗流计算。有关分析将在下面作出详细解释。

目标：

- 模拟锚杆
- 通过地下水流动生成水压
- 显示模型中的土压力和轴力（力视图）
- 缩放显示的结果

1.1 输入

这一开挖宽 20m，深 10m。用两个 16m 深、0.35m 厚的混凝土地下连续墙来支撑周围的土体，每侧地下连续墙均由两排锚杆支撑。锚杆总长 14.5m，倾斜度为 33.7°（2：3）。施加于开挖区左侧的地面荷载为 10kN/m²。

相关的土体包含三个不同的土层。地表以下 3m 是一个相对疏松的细砂填充层。这一填充层下面至 15m 深的地方，有一均匀密实级配良好的砂土层，特别适合于布设锚杆。砂土层下面是一层砂泥，它延伸至很深的深度。在初始状态下，水平地下水位位于地表 3m 下(即填充层的底部)。

1.1.1 一般设置

- 打开 PLAXIS 2D AE 软件，将会出现一个快速选择对话框。
- 在工程属性窗口的工程标签下，键入一个合适标题。
- 在模型标签下，模型（平面应变）和单元（15-Node）保持默认选项。
- 保持单位和一般设置框为默认值。
- 在几何形状设定框中设定土层模型尺寸 xmin=0, xmax=100, ymin=0, ymax=30。
- 点击 OK 即关闭工程属性窗口，完成设定。

1.1.2 土层定义

定义土层：

- 点击创建钻孔命令，在 x=0 处单击，修改土层窗口将出现。
- 为钻孔添加三层土。通过指定最上层土的顶部值为 30，即可将第一层土的地表位置设置为 y=30m。土层的底部分别设置为 27、15 和 0m。
- 设置水头高度为 23m。土层分布如图 1.2。

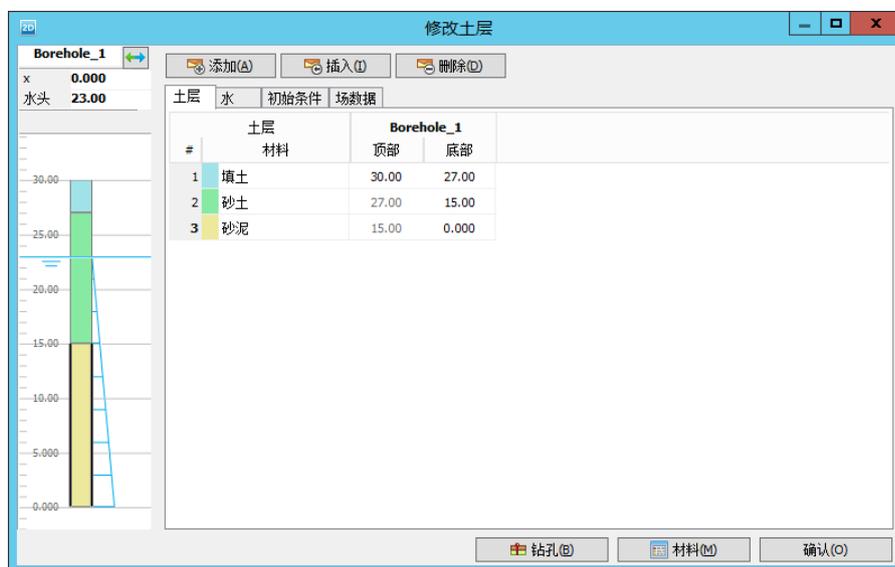


图 1.2 修改土层窗口

按表 1.1 中的参数定义土层和界面材料属性。

- 将材料数据组赋给对应的土层（图 1.2）

表 1.1 土和界面特性

参数	名称	填土	砂土	砂泥	单位
一般					
材料模型	模型	土体硬化	土体硬化	土体硬化	-
材料类型	类型	排水的	排水的	排水的	-
水位以上土体容重	γ_{unsat}	16	17	17	kN/m ³
水位以下土体容重	γ_{sat}	20	20	19	kN/m ³
参数					
标准三轴排水试验割线模量	E_{50}^{ref}	20000	30000	120000	kN/m ²
标准固结试验	E_{oed}^{ref}	20000	30000	80000	kN/m ²
卸载/重加载刚度	E_{ur}^{ref}	60000	90000	360000	kN/m ²
与刚度应力水平相关的幂指数	m	0.5	0.5	0.8	-
黏聚力	c'_{ref}	1	0	5	kN/m ²
内摩擦角	ϕ'	30	34	29	°
剪胀角	ψ	0	4	0	°
泊松比	ν_{ur}'	0.2	0.2	0.2	-
侧压力系数	K_0^{nc}	0.5	0.4408	0.5152	-
流动参数					
数据组	-	USDA	USDA	USDA	-
模型	-	Van Genuchten	Van Genuchten	Van Genuchten	-
土类别	-	填土	砂土	砂泥	-
<2 μ m	-	6	4	20	%
2 μ m-50 μ m	-	87	4	40	%
50 μ m-2mm	-	7	92	40	%
默认参数					
水平渗透系数	k_x	0.5996	7.128	0.2497	m/天
竖向渗透系数	k_y	0.5996	7.128	0.2497	m/天
界面					
界面强度折减因子	Rinter	0.65	0.7	刚性	-
初始					
前期固结压力	POP	0	0	25	kN/m ²

1.1.3 结构单元定义

 结构单元在程序的结构模式中创建。用板单元来模拟地下连续墙，板单元的坐标为(40 30) (40 14) 和 (60 30) (60 14)

- 将模型中的板全部选中。
- 在选择浏览器单击材料按钮。将出现下拉菜单和加号按钮（如图 1.3）

 单击加号按钮，将为板创建一个空的材料数组。

- 根据表 1.2 中的数据为地下连续墙定义材料数据组。混凝土的杨氏模量为 35GN/m^2 ，厚度为 0.35m。
- 为创建的地下连续墙创建正负界面。



图 1.3 选择浏览器中指定材料

表 1.2 地下连续墙(板)特性

参数	名称	数值	单位
行为类型	材料种类	弹性；各向同性	-
端部支撑	-	是	-
轴向刚度	EA	$1.2 \cdot 10^7$	kN/m
抗弯刚度	EI	$1.2 \cdot 10^5$	kNm^2 / m
重量	w	8.3	kN/m/m
泊松比	v	0.15	-

土层开挖分三个阶段。第一步开挖到填土层底部，界面已经自动生成了。定义剩下的开挖步骤：

-  绘制通过点 (40 23) 和 (60 23) 的直线定义第二个开挖阶段。
-  绘制通过点 (40 20) 和 (60 20) 的直线定义第三个开挖阶段。

利用点对点锚杆和嵌入桩的组合来模拟锚杆。嵌入桩模拟注浆段，而点对点锚杆模拟自由段。实际上，注浆体周边的应力状态是复杂的三维效应，在二维模型中不能模拟该效应。

-  根据表 1.3 生成点对点锚杆。

表 1.3 点对点锚杆坐标

锚杆位置		第一个点	第二个点
顶部	左侧	(40 27)	(31 21)
	右侧	(60 27)	(69 21)
底部	左侧	(40 23)	(31 17)
	右侧	(60 23)	(69 17)



按照表 1.4 参数创建锚杆的材料数据组

- 在绘图区选中所有锚杆，在选择浏览器材料下拉菜单选择对应的材料数据组。

表 1.4 锚杆(点对点锚杆)的特性

参数	名称	数值	单位
行为类型	材料种类	弹性	-
轴向刚度	EA	$5 \cdot 10^5$	kN
水平间距	L_s	2.5	m

按照表 1.5 数据，利用嵌固桩按钮创建嵌固端

表 1.5 嵌固端坐标

嵌固端位置		第一个点	第二个点
顶部	左侧	(31 21)	(28 19)
	右侧	(69 21)	(72 19)
底部	左侧	(31 17)	(28 15)
	右侧	(69 17)	(72 15)



按照表 1.6 参数创建注浆体的材料数据组

表 1.6 注浆体材料特性

参数	名称	数值	单位
刚度	E	$2.5 \cdot 10^6$	-
单位重度	γ	0	kN/m ³
桩类型	类型	预定义	-
预定义桩类型	类型	大直径圆桩	-
直径	D	0.3	m
水平间距	L_s	2.5	m
侧摩阻力	$T_{top,max}$	400	kN/m
	$T_{bot,max}$	400	kN/m
端阻力	F_{max}	0	kN/m

- 设置嵌固桩的连接方式为自由（如图 1.4）。有必要设置顶部与下层土单元的连接为自由。和锚杆的连接将自动生成。

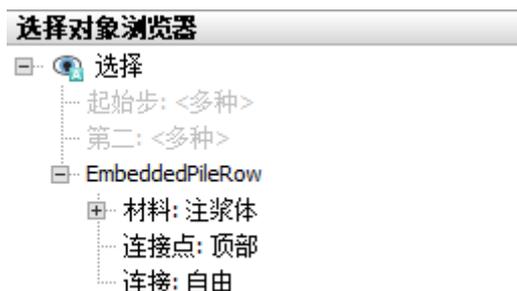


图 1.4 选择浏览器中的嵌固桩

- 多选（在选择的时候按住<Ctrl>键）上部点对点锚杆和嵌固桩。右键在出现的菜单中选择编组。
- 在模型浏览器展开组子目录。注意创建的组由上部的锚杆单元组成。
- 在模型浏览器中单击 Group_1 并键入一个新的名字（例如'GroundAnchor_Top'）。
- 重复上述操作对下部锚杆创建一个组并重新命名。

尽管在二维模型中，土精确的应力状态和土与结构相互作用不能模拟，但是通过二维模拟，假设注浆体没有和土体滑移，在宏观上，也可以预测应力分布，变形和结构的稳定性。当然，利用这个模型不能评估锚杆的抗拔力。

 在两点 (28 30) (38 30) 生成线荷载。

1.2 网格划分

切换标签进入网格模式

 划分网格。使用单元分布参数默认的选项中等。

 查看网格，生成的网格如图 1.5。

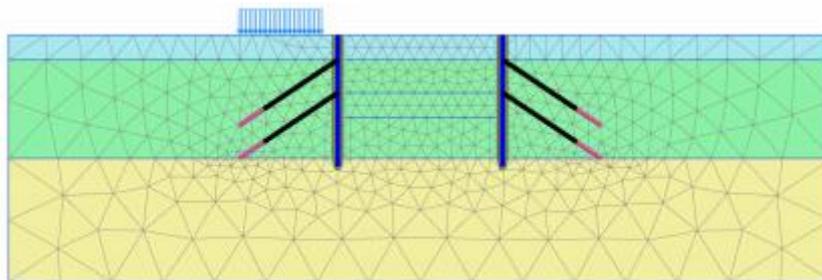


图 1.5 生成的网格

1.3 计算

计算由六个施工阶段组成。初始阶段 (Phase 0)，生成初始应力。在第一施工阶段 (Phase 1)，要进行地下连续墙施工并激活正负界面和地面荷载。第二施工阶段 (Phase 2)，开挖坑内最上部 3m，此时无锚杆。另外，这一深度的开挖处于水位以上。在第三施工阶段 (Phase 3)，要安装第一层锚杆并对其施加预应力。第四施工阶段 (Phase 4) 进一步开挖到地面下 7m 深度，处于水位以上。在第五施工阶段 (Phase 5)，将安装第二层锚杆并对其施加预应力。第六施工阶段 (Phase 6) 包括降水并最终开挖到地面下 10m 深度。

在定义计算阶段之前，需要在水力条件模式（Water conditions）中定义水位线。在开挖最后一步要降低水位线。设置左右边界条件的地下水头高度位于 23m 处。底部边界关闭。基坑内水被抽干将导致地下水流动。在开挖面的底部水压是零，这意味着地下水头等于开挖面的垂直高度（水头=20m）。通过绘制一个新的地下水位线并执行地下水流动计算即可实现上述情况。在地下水流动计算过程中，激活界面可以阻止地下水流动穿过地下连续墙。

初始阶段

要通过 K0 过程的方式产生初始应力场，并在所有类组中使用默认的 K0 值。

- 切换至分步施工模式。
- 初始阶段，所有结构构件开始都应该处于冻结状态，所以要确保不能激活板、点对点锚杆和嵌固桩和地表荷载应处于冻结状态。
- 在阶段浏览器双击初始阶段。初始阶段的值默认。在孔压计算类型中选择潜水位选项。注意当由潜水位生成孔压时，所有的几何模型都会由定义的水位线生成孔隙水压力。
- 单击 OK 就关闭了阶段窗口
- 展开模型浏览器中模型条件子目录。
- 展开水子目录。根据在钻孔中指定的水头值生成水位线，（BoreholeWaterLevel_1），自动指定为 GlobalWaterLevel（如图 1.6）。

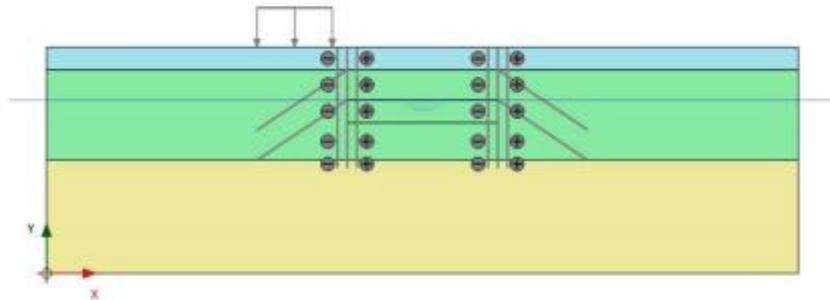


图 1.6 初始阶段模型

Phase 1:

 添加新的阶段。

- 在分步施工模式中，通过在模型浏览器中单击地下连续墙和界面前的勾选框，激活所有的地下连续墙和界面。激活的单元用绿色的对勾表示。
- 激活分布荷载。
- 在选择浏览器中，勾选线性荷载并指定 $q_{y,start,ref}$ 值为-10（如图 1.7）。
- 在分步施工模式中,设置完成的 Phase 1 模型，如图 1.8。



图 1.7 选择浏览器线性荷载

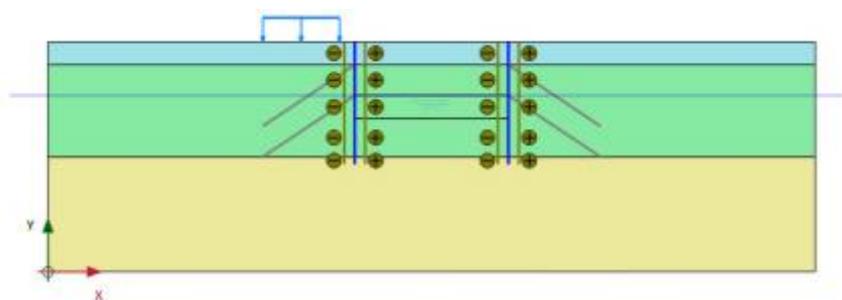


图 1.8 分步施工模式 Phase 1

Phase 2:

 添加新的阶段。

- 在分步施工模式中，冻结要开挖的上层土层（图 1.9）。

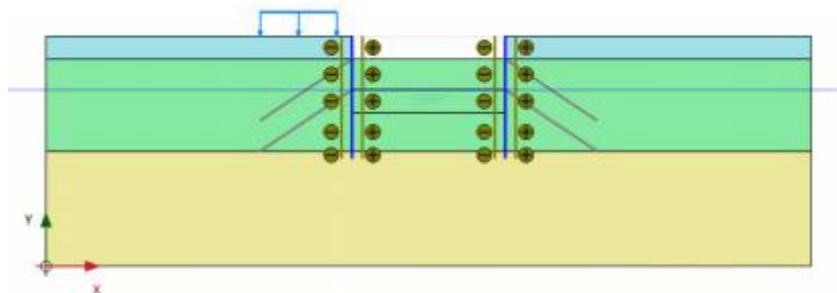


图 1.9 分步施工模式 Phase 2

Phase 3:

 添加新的阶段。

- 单击模型浏览器组子目录下 GroundAnchors_Top 前面的勾选框，激活上层锚杆。

 全选上层点对点锚杆。

- 在选择浏览器中，设置调整预应力参数为 True，并指定预应力为 500kN。

提示：在分步施工计算完成后，施加的预应力精确地转化为锚杆内力。在后续计算施工阶段中，这个力即被看作为锚杆内力，因而可以进一步增加或减小，这要取决于周围应力和荷载的变化。

- 分步施工模式中 Phase 3 设置的模型如图 1.10。

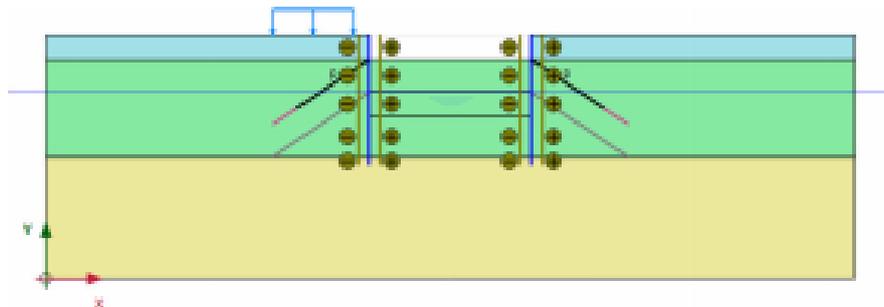


图 1.10 分步施工模式 Phase 3

Phase 4:



添加新的阶段。

- 冻结要开挖的第二层土。分步施工模式中 Phase 4 的模型设置，如图 1.11。要注意锚杆不在施加预应力。

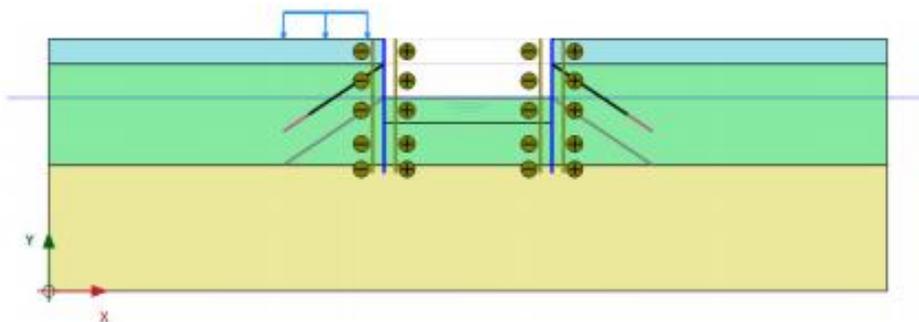


图 1.11 分步施工模式 Phase 4

Phase 5:



添加新的阶段。

- 激活下层锚杆。



选中下层点对点锚杆

- 在选择浏览器中，设置调整预应力参数为 True，并指定预应力为 1000 kN。
- 分步施工模式中 Phase 5 设置的模型如图 1.12。

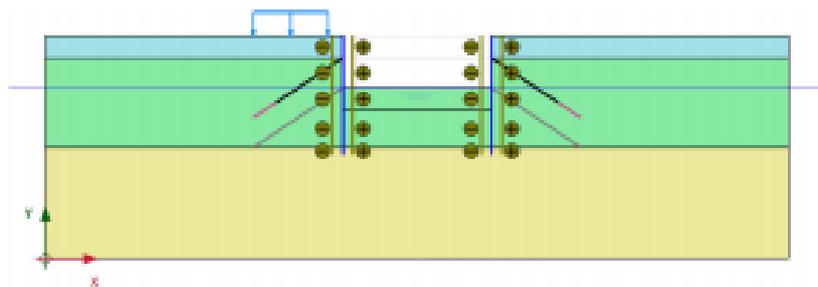


图 1.12 分步施工模式 Phase 5

Phase 6:



添加新的阶段。

- 在阶段窗口，一般子目录下，将孔隙水压力计算类型选择稳态的地下水渗流。其余值默认。

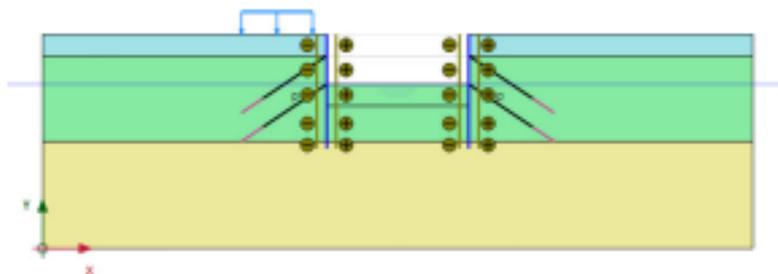


图 1.13 分步施工模式 Phase 6

- 冻结要开挖的第三层土。
- 切换至水力模式。
- 展开模型浏览器中的属性库。
- 展开水位线子目录



单击竖向工具栏创建水位线按钮并添加一条新的水位线。水位线坐标为 (0 23) (40 20) (60 20) 和 (100 23)。

- 在模型浏览器中，展开用户水位子目录。单击 UserWaterLevel_1 并输入 'LoweredWaterLevel' 重新命名在水力模式中创建的水位线。



图 1.14 模型浏览器中的水位线

- 展开模型浏览器，模型条件下 GroundwaterFlow 子目录。边界条件默认(图 1.15)。
- 在水子目录中将 LoweredWaterLevel 指定为 Global Water level。模型和指定的水位线如图 1.16。

 选择为曲线生成的点（例如锚杆和地下连续墙的连接点，例如（40 27）和（40 23））。

 通过单击分步施工模式中的计算按钮，计算该项目。

 计算完成后保存项目。

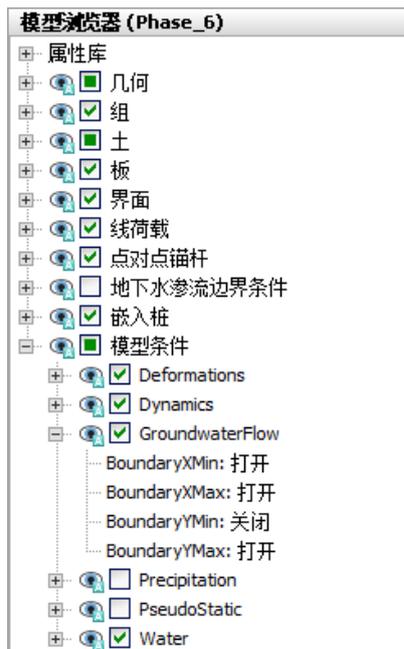


图 1.15 模型浏览器模型条件下 GroundwaterFlow 子目录

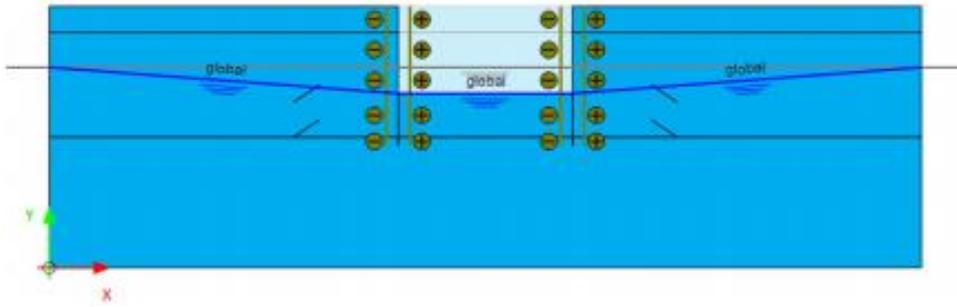


图 1.16 水力模式 Phase 6

提示：注意 Groundwater flow（稳态或瞬态）选项对水位线和模型边界条件的相互作用非常重要。程序按照指定的地下水水头（水位线）计算流动边界条件。水位线的‘内部’将不起作用，将会被地下水流动计算生成的水位线代替。因此，水位线工具对于流动计算来说，仅仅是一个方便生成边界条件的工具。

1.4 结果

图 1.17 至 1.21 显示了计算阶段 2 到 6 的变形网格图。

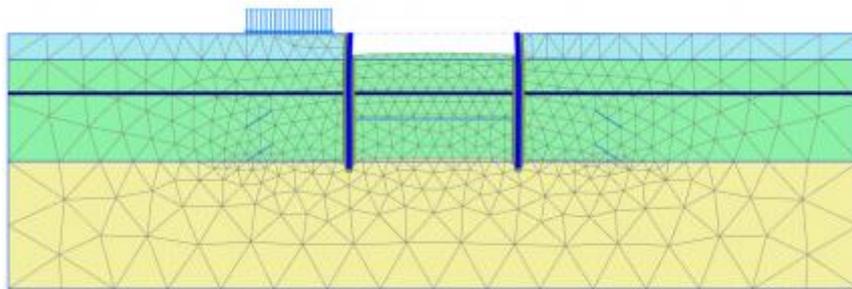


图 1.17 变形网格（缩放 50 倍）-Phase 2

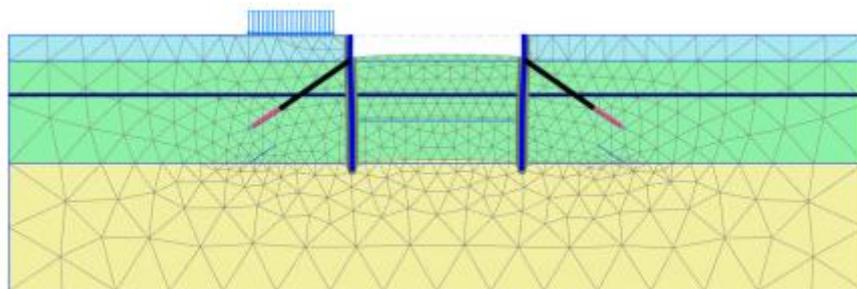


图 1.18 变形网格（缩放 50 倍）-Phase 3

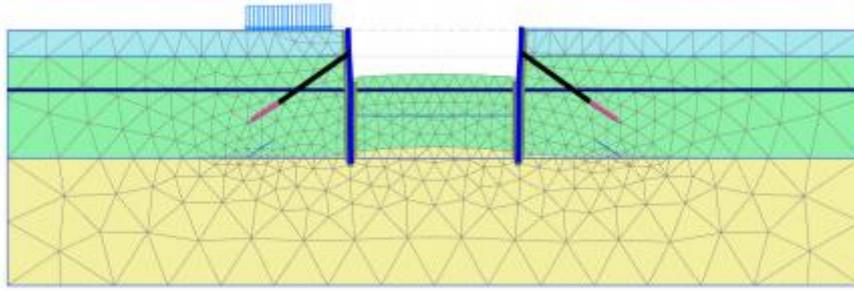


图 1.19 变形网格（缩放 50 倍）-Phase 4

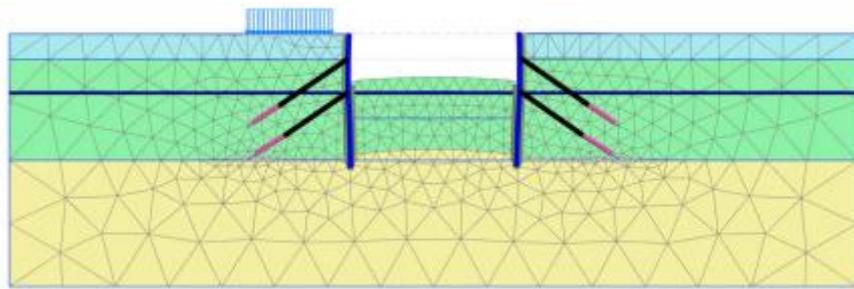


图 1.20 变形网格（缩放 50 倍）-Phase 5

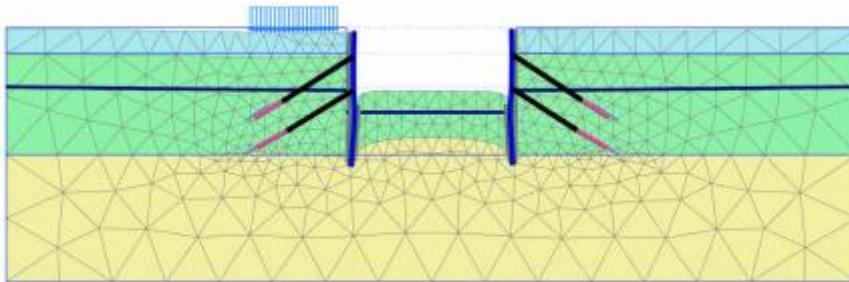


图 1.21 变形网格（缩放 50 倍）-最终阶段

图 1.22 显示了最后阶段的有效主应力。开挖面下部的被动土压力非常明显。也可以看到在注浆体周边的应力集中效应。

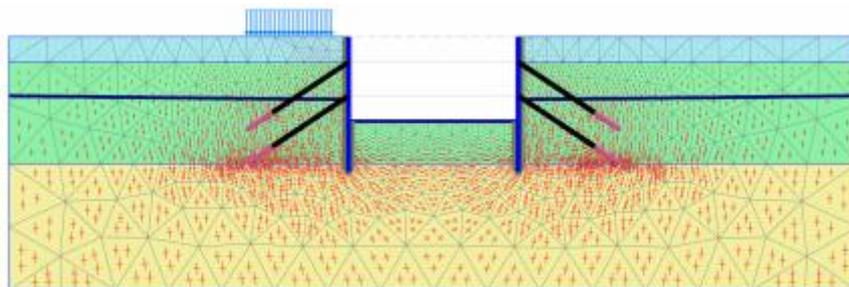


图 1.22 有效主应力（最终阶段）

图 1.23 显示了最终阶段地下连续墙的弯矩。由于锚杆锚固作用使弯矩图发生改变。

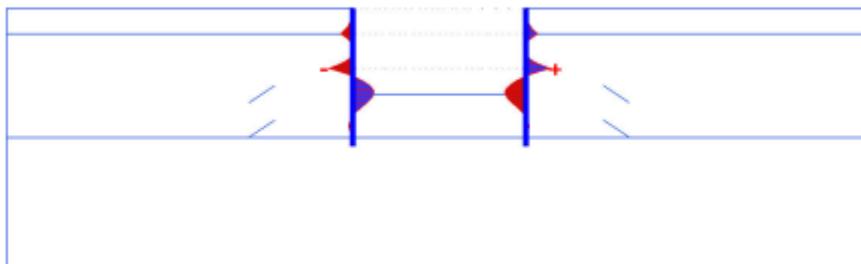


图 1.23 最终阶段地下连续墙的弯矩图

 选择工具菜单中**力视图**选项，显示最终计算阶段应力和力。在弹出的内力窗口中，可以选择生成的力。默认已经选择。

 单击隐藏土体按钮，在单击所有土层时按住<Shift>键。图 1.24 显示了作用在结构上的土压力。

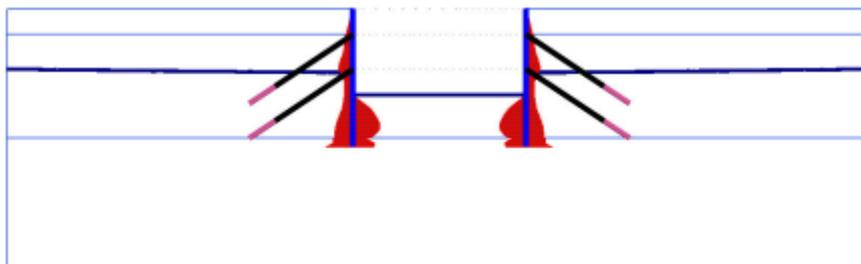


图 1.24 作用在结构上的土压力

双击锚杆即可输出锚杆内力。当查看第三个和第五个阶段的结果时，可以看到锚杆内力等于在计算阶段时激活并指定的预应力。在后续阶段这个值由于施工过程的变化而改变。

本教程到此结束！

目录

软土地基上的路基建造.....	1
1.1 输入.....	2
1.2 网格生成.....	5
1.3 计算.....	5
1.4 结果.....	8
1.5 安全性分析.....	10
1.6 使用排水线.....	14
1.7 更新网格+更新水压力计算.....	15

软土地基上的路基建造

在具有高水位的软土上修筑路基将导致孔隙水压力的增加。此不排水建造过程，使有效应力维持在较低水平上。考虑修筑路基的安全性，必须采用中期固结。在土固结期间，超静水压逐渐消散，土的抗剪强度增加，才能保证施工过程得以继续。

这一案例涉及路基的施工。对上述机理将给予详细分析，并且介绍三种新的计算选项，分别为固结分析、更新网格分析和安全性分析（折减 c - ϕ 值）计算安全系数。

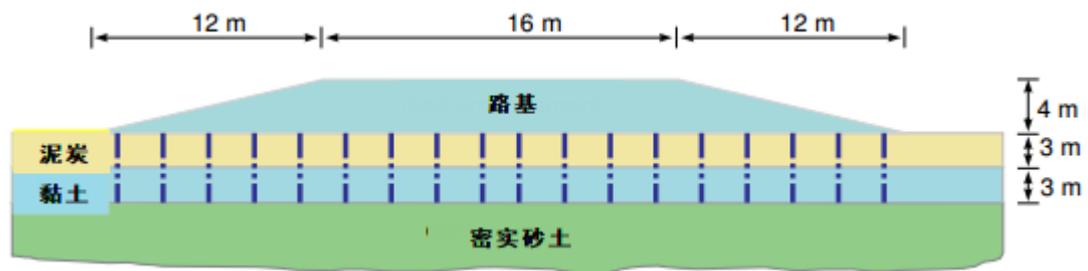


图 1.1 软土上路基示意图

目标:

- 固结分析
- 模拟排水线
- 在固结过程中改变渗透性
- 安全性分析（折减 c - ϕ 值）
- 更新网格（大变形）

1.1 输入

图 1.1 显示了路基的一个横断面，该路基 16 米宽，4 米高，坡度为 1: 3。鉴于研究的问题是对称的，可以只模拟其中一半(本情况下我们选择了右半边)。路基本身由松散的砂土构成。路基下面是 6 米的软土层，上部为 3 米泥炭层，下部 3 米是黏土层。水位位于原始的地面下 1m。软土层下是一密实的砂土层，模型中只考虑其 4m 深度。

1.1.1 一般设置

- 打开 PLAXIS 2D AE 程序。将会弹出快速选择对话框，选择一个新的工程。
- 在工程属性窗口的工程标签下，键入一个合适标题。
- 在模型标签下，模型（平面应变）和单元（15-Node）保持默认选项。
- 在几何形状设定框中设定土层模型尺寸 $x_{min}=0$ ， $x_{max}=60$ ， $y_{min}=-10$ ， $y_{max}=4$ 。
- 点击 OK 即关闭工程属性窗口，完成设定。

1.1.2 土层定义

路基下部土层用钻孔工具生成。路基层在结构模式中定义。定义土层：

- 点击创建钻孔命令，在 $x=0$ 处单击，修改土层窗口将出现。
- 定义土层，如图 1.2。
- 水位线位于 $y=-1m$ 。在钻孔柱状图上边指定水头为 -1m。



打开材料设置窗口

- 按表 2.1 中的参数定义土层并分别指定给相应土层（图 1.2）。
- 关闭修改土层窗口并切换到结构模式定义路基和排水线。

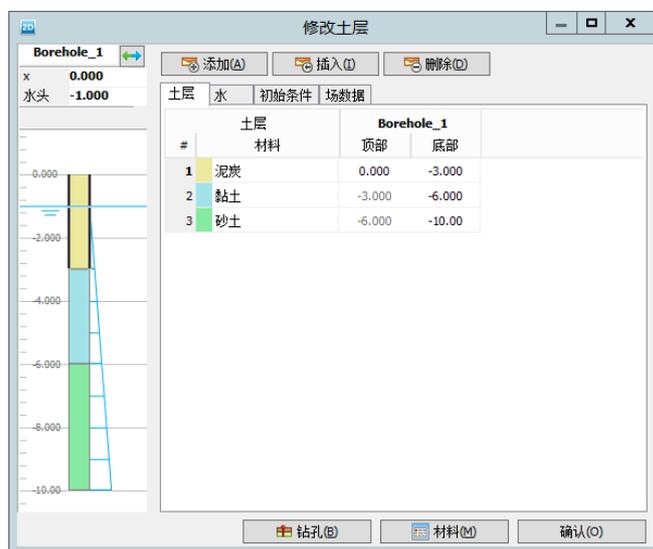


图 1.2 土层分布图

注意：初始孔隙比和改变的渗透率的值应该能够在固结分析时模拟由于土体压缩引起的渗透性的变化。当使用高级本构模型时，建议使用该选项。

表 2.1 路基和下层土的材料属性

参数	名称	路基	砂土	泥炭	黏土	单位
一般						
材料模型	模型	土体硬化	土体硬化	软土	软土	-
材料类型	类型	排水的	排水的	不排水的 (A)	不排水的(A)	-
水位以上土体容重	γ_{unsat}	16	17	8	15	kN/m ³
水位以下土体容重	γ_{sat}	19	20	12	18	kN/m ³
初始孔隙比	e_{int}	0.5	0.5	2	1	-
参数						
标准三轴排水试验割线模量	E_{50}^{ref}	25000	35000	-	-	kN/m ²
标准固结试验	E_{oed}^{ref}	25000	35000	-	-	kN/m ²
卸载/重加载刚度	E_{ur}^{ref}	75000	105000	-	-	kN/m ²
与刚度应力水平相关的幂指数	m	0.5	0.5	-	-	-
修正压缩指数	λ^*	-	-	0.15	0.05	-
修正膨胀指数	κ^*	-	-	0.03	0.01	-
黏聚力	c_{ref}'	1	0	2	1	kN/m ²
内摩擦角	ϕ'	30	33	23	25	°
剪胀角	ψ	0	3	0	0	°
流动参数						
数据组	-	USDA	USDA	USDA	USDA	-
模型	-	Van Genuchten	Van Genuchten	Van Genuchten	Van Genuchten	-
土类别	-	松砂	砂土	黏土	黏土	-
<2 μ m	-	6	4	70	70	%
2 μ m-50 μ m	-	11	4	13	13	%
50 μ m-2mm	-	83	92	17	17	%
默认参数	-	是	是	是	是	-
水平渗透系数	k_x	3.499	7.128	0.1	0.04752	m/天
竖向渗透系数	k_y	3.499	7.128	0.05	0.04752	m/天
渗透率变化	c_k	$1 \cdot 10^{15}$	$1 \cdot 10^{15}$	1	0.2	-
界面						
界面强度折减因子	Rinter	1	1	1	1	-
初始						
K_0	-	自动	自动	自动	自动	-
超固结比	OCR	1	1	1	1	-
前期固结压力	POP	0	0	5	0	kN/m ²

1.1.3 定义路基和排水线

在结构模式中定义路基和排水线：

 单击竖向工具栏中创建土多边形按钮并在出现的菜单中选择创建土多边形选项

- 在绘图区单击 (0 0) (0 4) (8 4) (20 0) 定义路基。
- 右键将路基材料数据添加给上步创建的多边形。

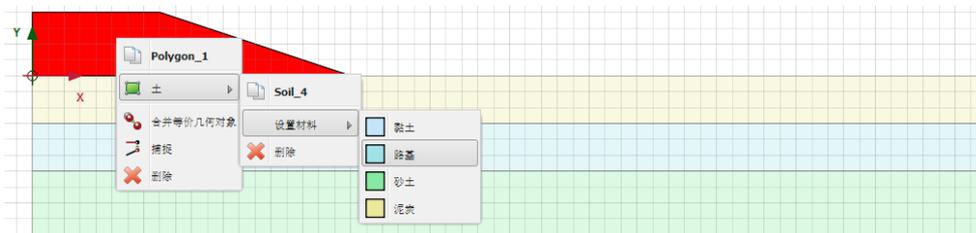


图 1.3 在绘图区为土层指定材料数据

 为了定义路基分步施工部分，单击竖向工具栏中的切割多边形按钮，点击 (0 2) (14 2) 定义分割线。路基土层就分割成了两个子部分。

在这个项目中，通过对比是否添加排水线，分析对固结时间的影响。排水线只在考虑排水线的情况下才会被激活。

 单击竖向工具栏中创建水力条件按钮并在出现的菜单中选择创建排水线选项（图 1.4）。



图 1.4 在创建水力条件菜单中创建排水线选项

 在软土层定义排水线（黏土和泥炭； $y=0$ 到 $y=-6$ ）。两条连续的排水线的距离是 2m。由于几何模型对称，第一条排水线的位置距模型边界为 1m，一共创建了 10 条排水线（图 1.5）。

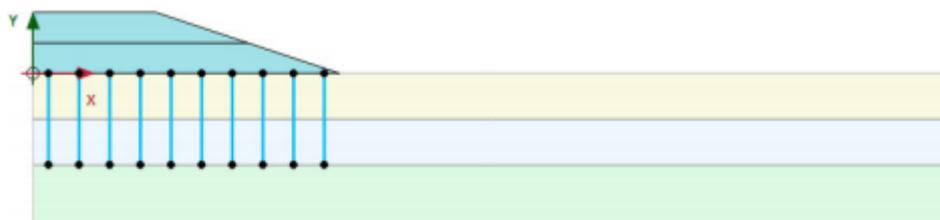


图 1.5 最后的几何模型

1.2 网格生成

- 切换到**网格模式**
-  使用默认的单位分布参数（中等）。
-  生成的结果如图 1.6.
- 单击关闭按钮，关闭输出窗口。

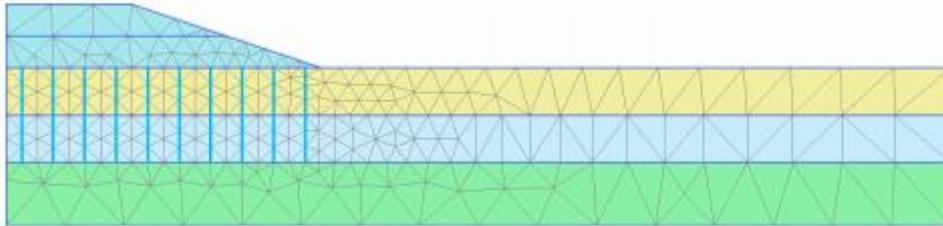


图 1.6 生成的网格

1.3 计算

路基施工分两个阶段。第一个阶段施工完成后，为了消散超孔隙水压力，有一个 30 天的固结期。第二阶段施工完成后，设置第二个固结期，达到最终沉降。因此，除了初始阶段，总共是 4 个计算阶段。

初始阶段：初始条件

初始阶段没有路基。为了生成初始应力，在分步施工模式中需要将路基冻结。

- 在分步施工模式中，冻结代表路基的两层土。剩余的土层是水平的土层，所以可以利用 K0 过程生成初始应力（图 1.7）。

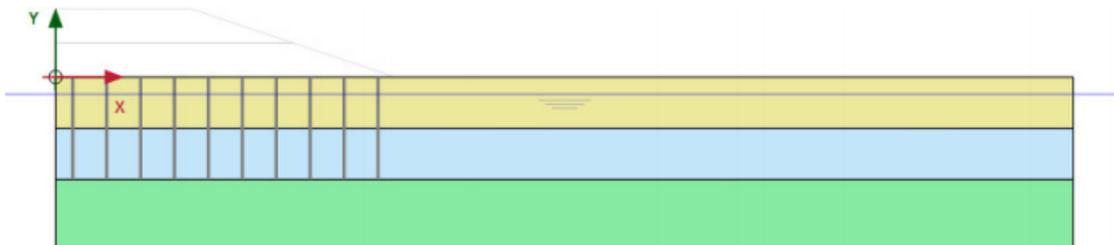


图 1.7 初始阶段

初始水压力完全是静水压力，潜水位线位于 $y=-1$ 。注意：此潜水位线是在钻孔中指定水头高度定义的。除了这条潜水位线，对于固结分析，要注意在计算阶段过程中设置的边界条件。初始时，除了底部边界，其余所有边界都是排水的，以便水能够自由流出边界条件和消散超孔隙压力。对于本模型来说，由于是对称模型，左侧垂直边界必须关闭，以便在水平方向没有水的流动。因为超孔隙压力可以通过边界条件消散，因此剩余边界都是打开的。边界条件的设置：

- 在模型浏览器中展开模型条件子目录

- 展开 GroundwaterFlow 子目录并设置 BoundaryXMin 为关闭和 BoundaryYMin 为打开（图 1.8）。

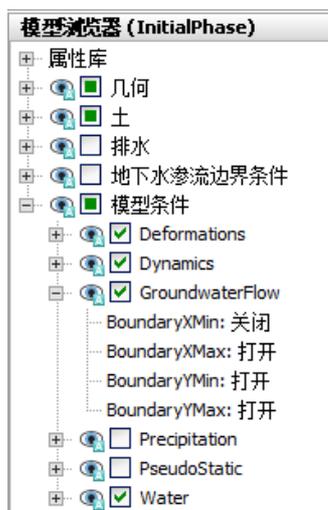


图 1.8 边界条件的问题

固结分析

固结分析考虑了计算阶段的时间因素。因为为了正确的执行固结分析，要设置一个合适的时间步。时间步如果小于临界最小值可能导致应力波动。

在 PLAXIS 中固结选项中，程序已经考虑了这个临界时间步，自动地设置了时间步选项。主要由三种方式：



包括几何模型的改变效应，预定义时间的固结（分步施工）。



固结直到几何模型中所有超孔压力减小到给定的最小值（最小孔隙水压力）。



固结直到指定的饱和度（固结度）

本项目中将使用前两种类型。定义分步阶段：

Phase 1: 第一个阶段时固结分析，分步施工。



添加新的阶段。



在阶段窗口一般子目录计算类型下拉菜单中选择固结选项



确保荷载类型中选择分步施工选项

- 键入一个 2 天的时间间隔。其余参数默认。
- 在分步施工模式中激活路基的第一部分（图 1.9）

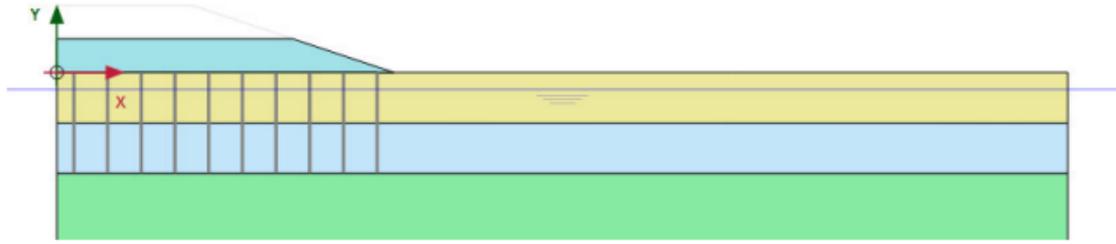


图 1.9 Phase 1

Phase 2: 第二个阶段也是固结分析，分步施工。本阶段只是固结分析到指定的最终时间。

 添加新的阶段。

 在阶段窗口一般子目录计算类型下拉菜单中选择**固结**选项

 确保荷载类型中选择**分步施工**选项

- 键入一个 30 天的时间间隔。其余参数默认。

Phase 3: 第三个阶段时固结分析，分步施工。

 添加新的阶段。

 在阶段窗口一般子目录计算类型下拉菜单中选择**固结**选项

 确保荷载类型中选择**分步施工**选项

- 键入一个 1 天的时间间隔。其余参数默认。
- 在分步施工模式中激活路基的第二部分（图 1.10）

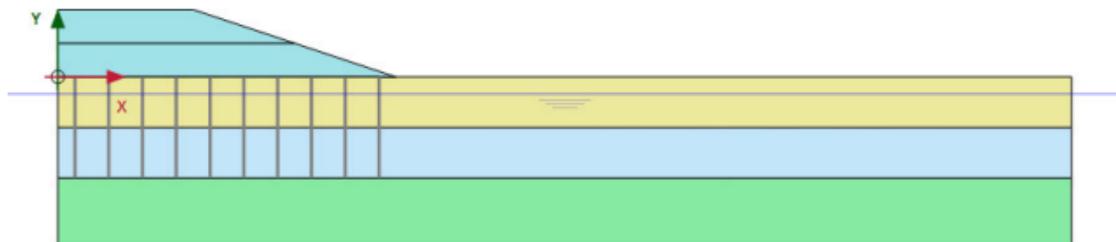


图 1.10 Phase 3

Phase 4: 第四个阶段也是固结分析，到最小超孔压。

 添加新的阶段。



在阶段窗口一般子目录计算类型下拉菜单中选择固结选项



选择荷载类型下拉菜单中最小超孔压选项,最小压力默认为 1kN/m^2 。其余参数默认。



在开始计算之前,单击生成曲线所需的点并选择下面的点:点 A,路基的坡脚。第二个点(点 B)用于绘制超孔压力的变化曲线。在软弱土层中间部位,紧挨左边界的点 C。选择完成后,点击开始计算。

在固结分析中时间的变化可以再计算信息窗口的上部分看见(图 1.11)

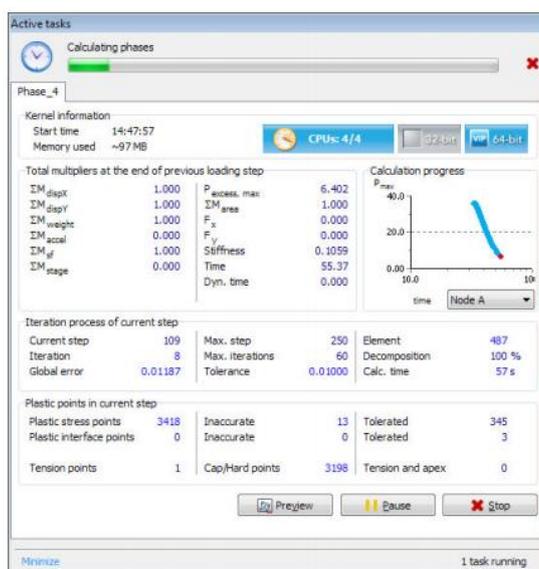


图 1.11 当前阶段窗口的计算过程显示

除了显示当前计算阶段的乘子,还会显示代表当前最大超孔压力的参数 $P_{\text{excess, max}}$ 。这个参数在最小孔压固结分析中非常重要,因为要求所有孔压都降低至低于一个预先定义的值。

1.4 结果



计算完成后,选择第三施工阶段并点击<输出>按钮。输出视窗将显示不排水施工变形的网格(图 1.12)。评估第三计算施工阶段(不排水施工)的计算结果,可以看到变形的网格导致路基坡脚的拱起以及由于土不排水行为而出现的腹地。

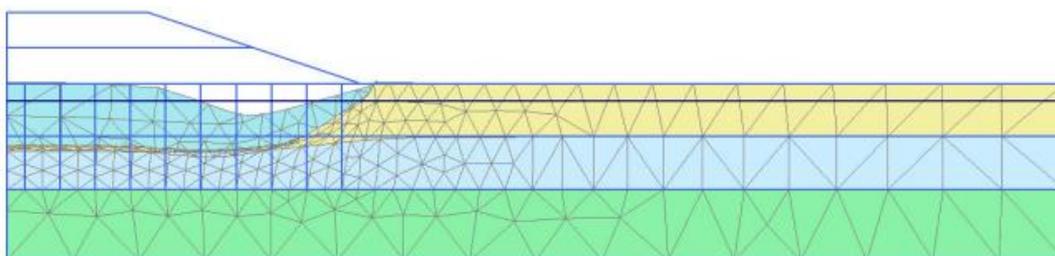


图 1.12 路基不排水施工变形网格

- 在变形菜单中选择增量位移 $|\Delta u|$



选择视图菜单中的箭头选项或者单击对应的快捷工具。

当分析总位移增量时，可以注意到一个破坏机制正在发展(图 1.13)。

- 按住<Ctrl>+<7>显示超孔隙水压力（更多的快捷键可以查看参考手册的附录 F）。也可以通过选择对应按钮，应力菜单中孔隙水压选项显示。

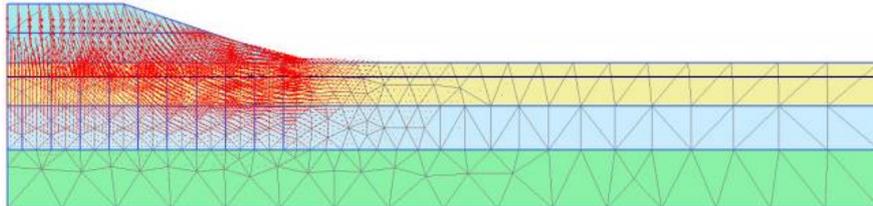


图 1.13 路基不排水施工后位移增量



单击中主应力方向。每个土单元中心都显示了超孔隙水压力的主方向。图 1.14 显示了计算结果。可以清楚的看到在路基中心超孔隙水压力分布。

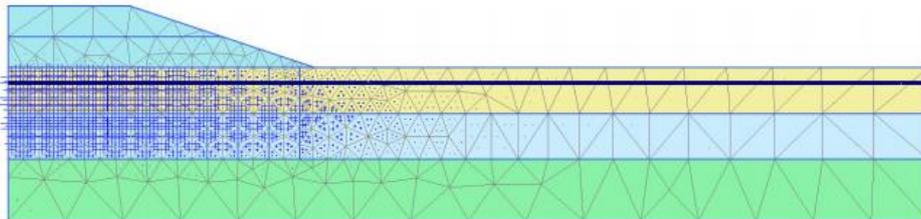


图 1.14 路基不排水施工后超孔隙水压力

- 在下拉菜单中选择 Phase 4



单击工具栏中等值线按钮，以等值线形式显示结果。



单击竖向工具栏中的绘制导航线选项，显示等值线的位置和大小。

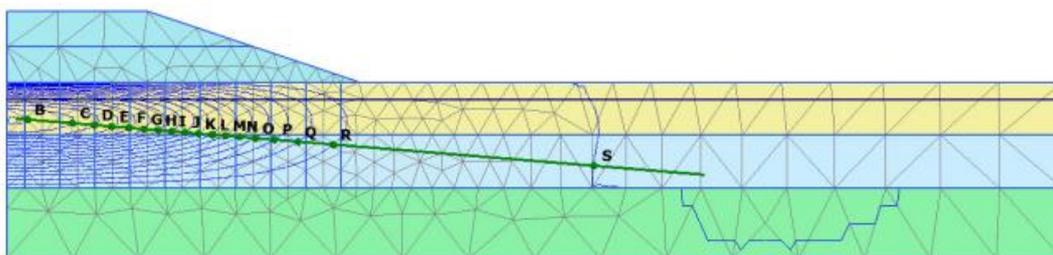


图 1.15 固结分析 $P_{excess} < 1.0 \text{ kN/m}^2$ 时超孔隙水压力等值线

PLAXIS 2D AE 案例教程：软土地基上的路建造

我们可以注意到在第四计算施工阶段中最初的地面和路基的沉降明显增加。这是因为超孔隙水压的消散导致的土固结。图 1.15 显示了固结后的超孔隙水分布，最大值低于 1.0 kN/m^2 。

使用曲线程序可以显示路基下超静水压随时间的变化。绘制曲线要遵循以下步骤：



创建一个新的曲线。

- 在工程选项下拉菜单，选择时间作为 x-轴。
- 选择 B 点，选择应力-孔压-超孔隙水压力作为 y-轴并选中反向符号。
- 点击<确认>按钮后，类似于图 1.16 的曲线随即生成。

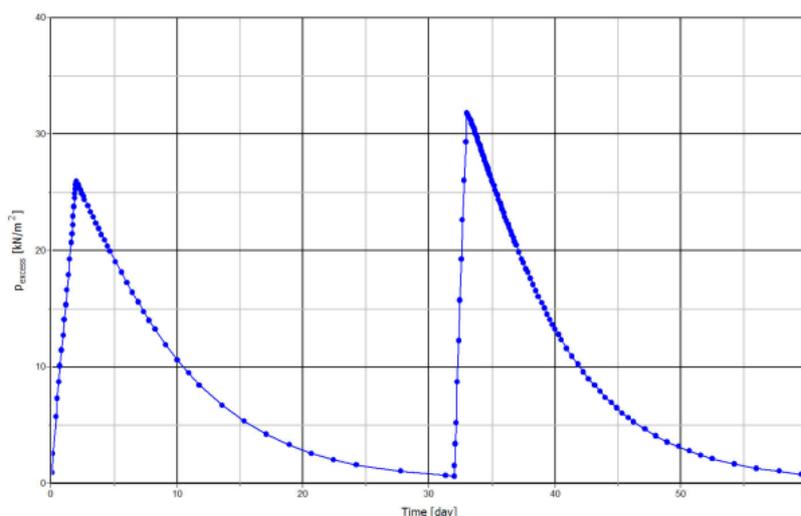


图 1.16 路基下超孔隙水压力变化

图 1.16 清楚地显示了四个计算施工阶段。在不排水施工过程中，超静水压在短时间内增加，而在固结期，超静水压随时间的增加而减小。事实上，在路基施工期，土固结已经出现，不过这只涉及一个很短的时间段。根据曲线，土的完全固结需要超过 50 天。

- 关闭输出窗口前保存图表。

1.5 安全性分析

在设计路基时，重要的是不仅考虑最终稳定性，而且也要考虑施工期间的稳定性。从模型输出结果，我们可以清楚地看到失效机制在第二计算施工阶段之后开始发展。在这一阶段和其他施工阶段评估整体安全系数是必须注意的。

在结构工程中，安全系数通常定义为破坏荷载和工作荷载之比。不过，对于土工结构来说，这样的定义不一定有效。例如，对于路基来说，大部分加载是由于土自重产生的，土重量的增加不一定导致结构的破坏。事实上，一个纯摩擦土坡在土自重增加的实验(离心机实验)中不会发生破坏。因此，对安全系数更恰当定义是：

$$\text{安全系数} = \frac{S_{\text{最大}}}{S_{\text{平衡态要求}}}$$

这里， s 代表抗剪强度。实际抗剪强度和计算获得的保证土体平衡状态所需要的最小剪应力之比是土力学中传统上使用的安全系数。通过引入标准库伦条件，安全系数可以表达为：

$$\text{安全系数} = \frac{c - \sigma_n \tan \phi}{c_r - \sigma_n \tan \phi_r}$$

这里， c 和 ϕ 是输入强度参数，而 σ_n 是实际正应力分量。 c_r 和 ϕ_r 是不断减小到恰好足够大而能保持土平衡的抗剪参数。上面描述的原理是 PLAXIS 程序中为计算整体安全系数而使用的折减 phi/c 方法的基础。应用这种方法，内聚力和内摩擦角的正切将成正比地减小：

$$\text{安全系数} = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_r} = \Sigma Msf$$

强度参数的减小将由总乘子 ΣMsf 来控制。这个参数将逐步增加，直到破坏。假定在失效后连续几步的计算大体给出一个常值的 ΣMsf ，我们就定义其为安全系数。

在 PLAXIS 程序中，折减 phi/c 计算选项可以从一般标签页面的计算类型菜单中获得。如果选择折减 phi/c 选项，参数切换菜单中的加载类型将自动设置到增量乘子。

计算施工不同阶段路基的整体安全系数要遵循以下步骤：

- 在阶段浏览器选择 Phase 1。



添加新的阶段。

- 双击新的阶段打开阶段窗口。
- 在阶段窗口中，程序自动选择开始于选择的阶段。



在一般子目录中，选择安全性计算类型。



在荷载类型中，自动选择了增量乘子。将控制强度减小过程的第一个乘子增量 Msf 设置为 0.1。



注意到孔隙水压力计算类型下拉菜单中自动选择为使用前一计算阶段并且是灰色显示，表明不能修改。

- 为了排除先前计算的变形对破坏机制的影响，选择重置位移为零选项。
- 在数值控制参数子目录中，使用默认迭代参数，最大步属设置为 50
- 此时，第一个安全系数计算已经定义完毕。
- 为了分析每个固结阶段的稳定性，使用相同的步骤创建新的计算阶段。

提示：折减 phi/c 计算的附加计算步数默认值为 100。不同于终极水平计算，这里附加计算步总会完全实施。在大部分折减 phi/c 计算时，100 步足够达到失效状态。如果没有，附加计算步数最大可以增加至 1000。

PLAXIS 2D AE 案例教程：软土地基上的路建造

对于大部分折减 ϕ/c 计算， $Msf=0.1$ 是正常启动计算过程的第一步。在计算过程中，控制强度减小的总乘子 ΣMsf 的发展由自动加载控制。

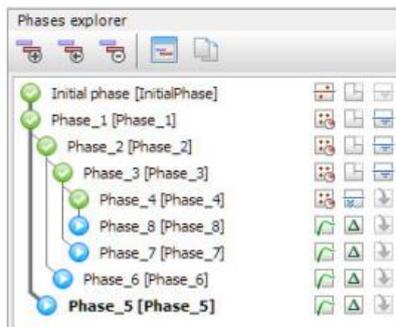


图 1.17 阶段浏览器显示安全性计算阶段

计算结果的评价

折减 ϕ/c 计算过程产生附加位移。总位移并没有什么物理意义，但是最后破坏步骤的增量位移表明了破坏机理。为了显示路基施工三个不同阶段的机理：



选择安全性分析其中一个阶段，单击查看计算结果按钮。

- 选择变形菜单中增量位移 $|\Delta u|$ 。



改变显示方式由箭头改为云图。显示的结果很好地展现了路基的破坏机理(图 1.18)。

这里，位移增量的大小并无意义。

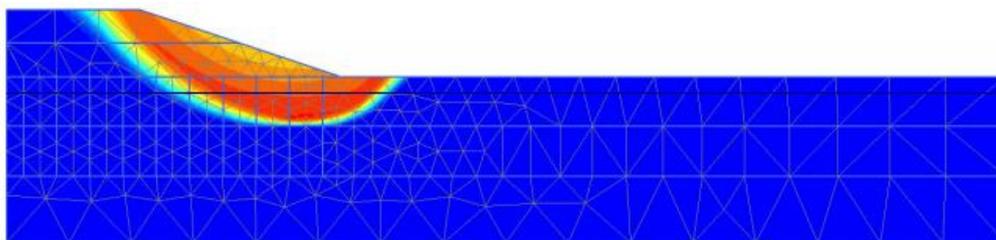


图 1.18 反映路基最后施工阶段可能破坏机理的总位移增量阴影图

从项目菜单的计算信息选项，我们可以获得安全系数。计算信息视窗的乘子标签页面反映了荷载乘子的实际值。假定 ΣMsf 在前面几个计算步骤基本保持为一常数，它就代表了安全系数。

不过,评估安全系数的最佳方式是画出某一节点上的位移- ΣMsf 参数曲线。尽管位移大小并无意义，但它们表示是否已经发生破坏。为了通过这种方式评估以上三种情形的安全系数，要遵循以下步骤：

- 点击进入曲线程序按钮去进入曲线程序。
- 选择新建图表。
- 在曲线生成视窗，选择路基坡脚(节点 A)的总位移 $|u|$ 为 x-轴。
- 对于 y-轴，选择乘子并从类型菜单中选择 ΣMsf 。
- 在出现的图表中右键选择设置选项。弹出设置窗口。

- 单击设置窗口中的阶段按钮。
- 在出现的选择阶段窗口中选择阶段 5（图 1.19）。

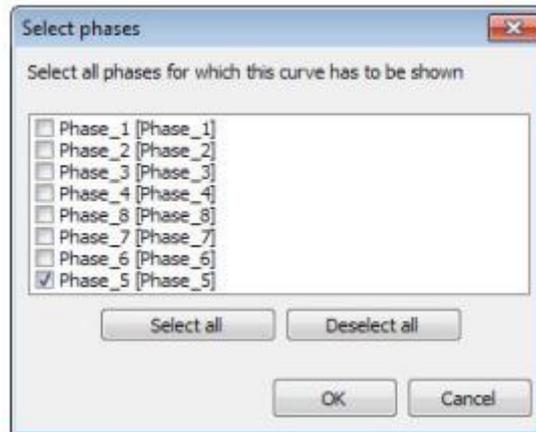


图 1.19 选择阶段窗口

- 单击 OK 按钮关闭选择阶段窗口
- 在设置窗口中，在对应的标签中更改曲线的标题。
- 单击添加曲线按钮并选择从当前工程中添加。利用上述方法为阶段 6,7 和 8 定义曲线。
- 在设置窗口单击图表标签。
- 在图表标签中指定图表名称。
- 设置 x-轴缩放为手动，设置最大值为 1（图 1.20）。



图 1.20 设置窗口中图表标签

- 单击添加按钮更新图表并单击 OK 按钮关闭设置窗口。
- 修改图例的位置，通过在图例上右键，选择查看-表格图例（图 1.21）。



图 1.21 图表图例设置

- 通过拖拽图例图标可以重新放置其位置（图 1.22）。

这里，图示的最大位移并无意义。对于所有曲线来说， ΣMsf 基本上为常数。将鼠标放置在曲线的某节点上，一个字框随即出现，显示出 ΣMsf 的数值。

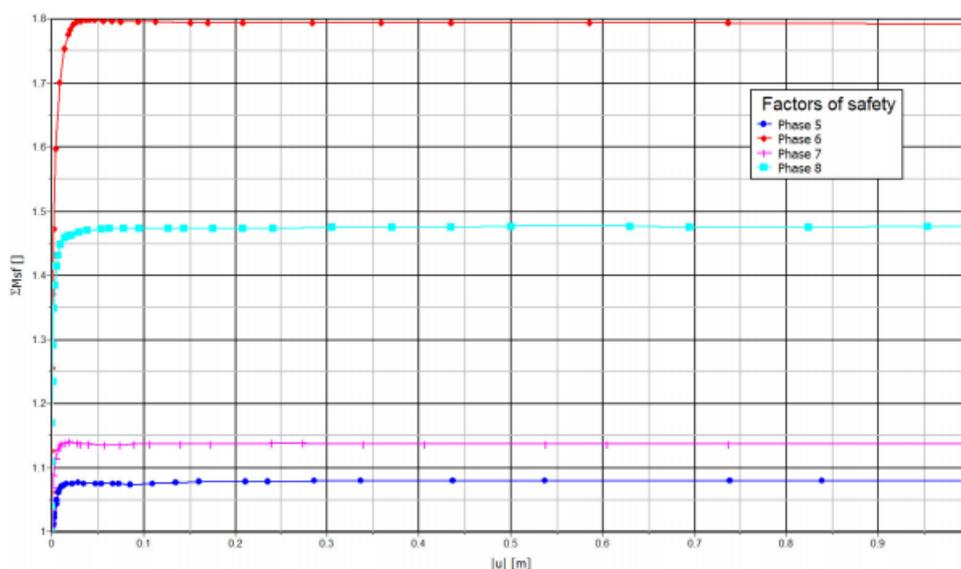


图 1.22 评估的安全系数

1.6 使用排水线

本节将分析排水线的响应。和前四个固结阶段的属性一样，新添加四个阶段。第一阶段也是开始于初始阶段，新阶段的差别在于：

- 所有新的阶段在分步施工模式中激活排水线。
- 前三个固结阶段(9-11)的时间间隔是 1 天。最后的阶段设置为最小超孔隙水压力，值为 1.0 kN/m^2 。



计算完成后保存项目，选择最后阶段并单击查看计算结果按钮。输出窗口显示了路基最后排水线施工阶段的变形网格。为了对比排水线的影响，考虑在节点 B 的超孔隙水压力消散情况。



打开曲线管理器。

- 在图表标签中双击图表 1（节点 B 的 p_{excess} 和时间曲线）。显示图表 1，关闭曲线管理器。
- 双击曲线右侧的图例，弹出设置窗口。
- 单击添加按钮并在出现的菜单中选择从当前工程添加选项。
- 选中 y-轴反向符号选项，单击 OK。
- 在设置窗口中添加一个新的图表和新的标签。单击阶段按钮。从显示窗口中选择初始阶段和最后四个阶段（添加排水线的）并单击 OK。
- 在设置窗口相应位置处改变曲线标题。
- 在图表标签下指定图表名称。
- 单击添加，预览生成的曲线并单击 OK 按钮，关闭设置窗口。图表（图 1.23）清楚的显示了排水线对超孔隙水压力消散所需时间的效果。

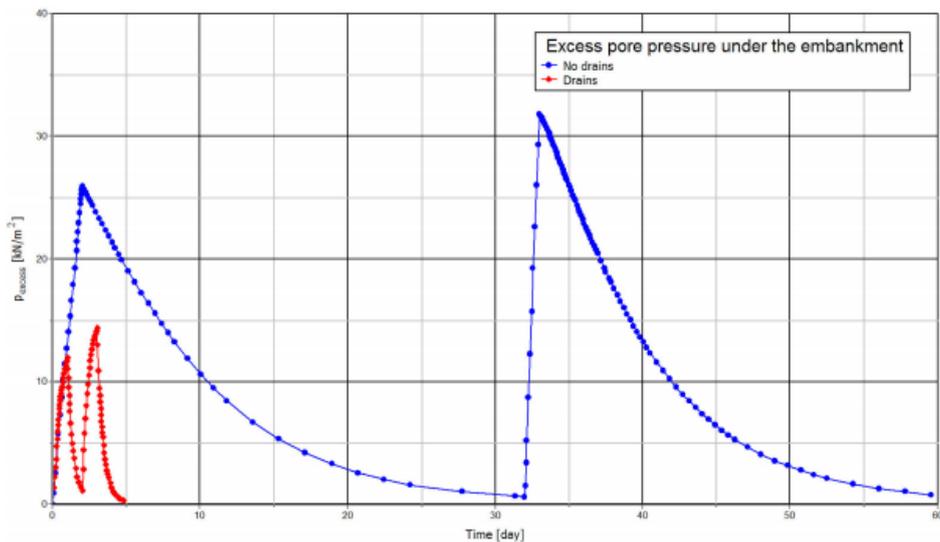


图 1.23 排水线效果

提示: 已经生成的曲线可以使用曲线设置窗口中对应的按钮重新生成, 而不用添加新的曲线。

1.7 更新网格+更新水压力计算

从固结 (Phase 4) 完成后输出的变形网格可以注意到, 在施工开始路基沉降超过半米。部分原来在水位之上的砂土将沉降在水位之下。由于浮力的作用, 沉降在水位之下的砂土有效重量将有所变化, 这将导致有效负载随时间的减小。这一效应可以通过 PLAXIS 程序的更新网格及水压选项来进行模拟。实现过程:

- 选择初始阶段。



添加新的阶段。

- 按照 Phase 1 一样定义新的阶段。在变形控制参数子目录下选中更新网格和更新水压选项。

PLAXIS 2D AE 案例教程：软土地基上的路基建造

- 按照上述方法定义其他的三个阶段。

当计算完成后，对比两种不同计算方法的沉降。

- 在曲线管理器窗口中为 x-轴选择时间，y-轴选择软土层中间点 B 的垂直位移。
- 生成初始阶段和 1-4 阶段的计算结果曲线。
- 为图表添加一个新的曲线。
- 这条曲线包括初始阶段和 13-16 阶段。定义好的图表见图 1.24。

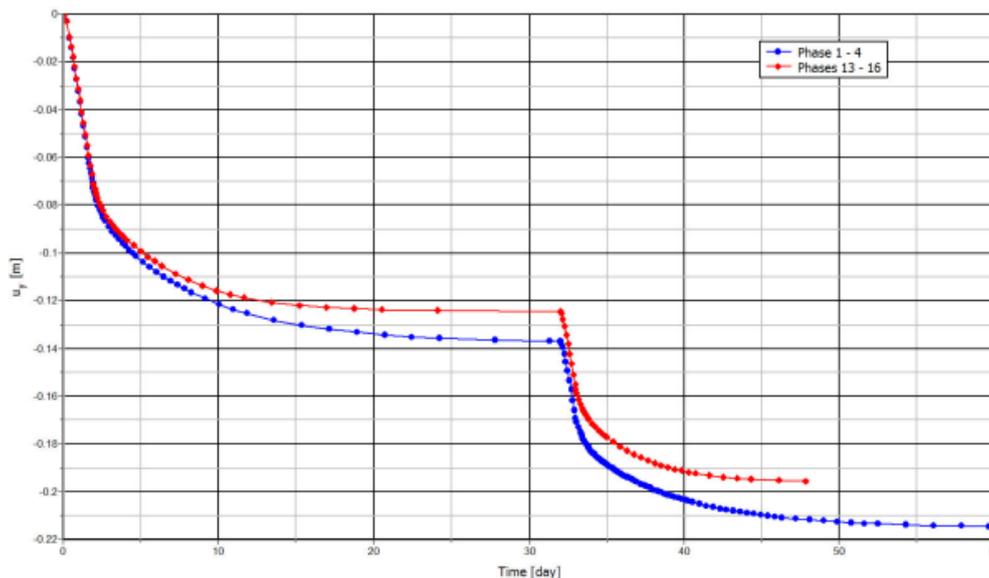


图 1.24 使用更新网格和水压力计算得出的沉降值

从图 1.24 中可以发现，当使用更新网格和更新水压选项时，路基沉降较小。这一现象的部分原因是更新网格过程包括二阶变形效应，因而考虑了几何的变化。另外部分原因是更新水压过程使得路基的有效重量变小。后者是因为沉降到水位之下的土受浮力而产生的。这些过程由于考虑了大变形的正面影响，可以真实地分析土的沉降。

本教程到此结束！

目录

盾构隧道施工及其对桩基的影响.....	1
1.1 输入.....	2
1.2 网格划分.....	6
1.3 计算.....	7
1.4 计算结果.....	8

盾构隧道施工及其对桩基的影响

PLAXIS 程序隧道设计器功能生成圆形或非圆形隧道并模拟隧道施工过程。本章将考虑在中软土中盾构法隧道的施工以及它对桩基的影响。盾构法隧道的施工通过挖掘机(TBM)在前面开挖土体,在其后面安装衬砌来完成。在施工过程中,土体的开挖一般是超挖的。这意味着最后被隧道占用的横截面总小于开挖的土体区域。尽管一般会采取措施去填充这一空隙,但不可能避免隧道施工过程导致的应力再分布和土体变形。为了避免对开挖之上的现存建筑和基础造成破坏,很有必要预测这些效应并采取恰当的措施。这一分析可以通过有限元方法来完成。这一课将介绍这一分析方法的一个实例。

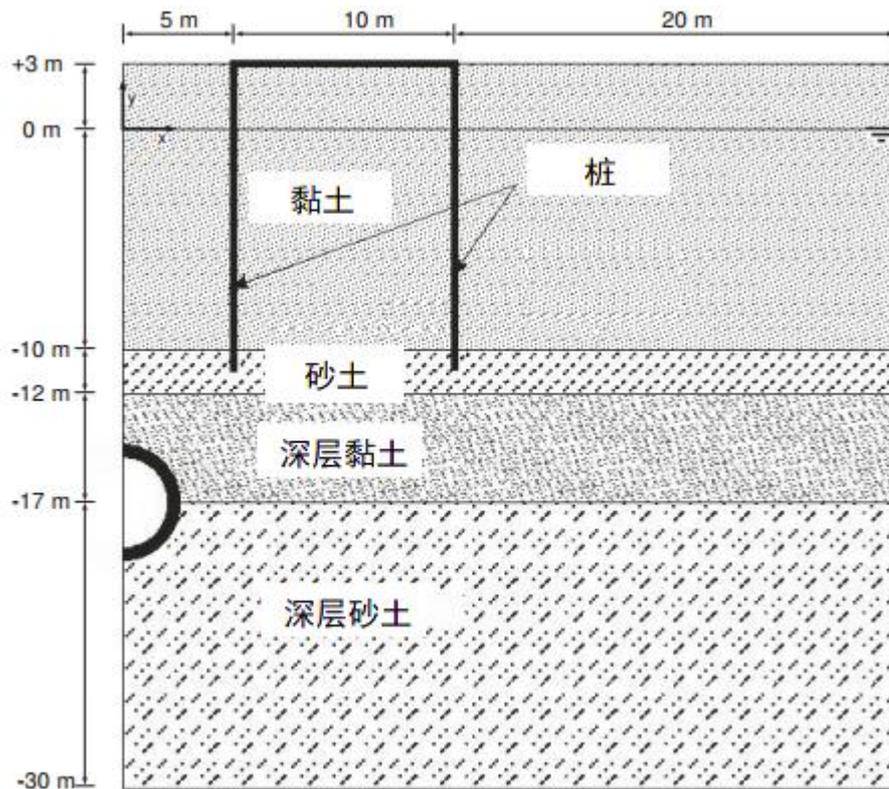


图 1.1 工程几何尺寸及土层分布示意图

目标:

- 模拟隧道钻进过程
- 用不排水 B 选项模拟不排水行为

1.1 输入

本案例考虑的隧道直径为 5 米，其平均深度为 20 米。

1.1.1 一般设置

- 打开 PLAXIS 2D AE 程序。将会弹出快速选择对话框，选择一个新的工程。
- 在工程属性窗口的工程标签下，键入一个合适标题。
- 在模型标签下，模型（平面应变）和单元（15-Node）保持默认选项。
- 在几何形状设定框中设定土层模型尺寸 $x_{min}=0$ ， $x_{max}=35$ ， $y_{min}=-30$ ， $y_{max}=30$ 。
- 点击 OK 即关闭工程属性窗口，完成设定。

1.1.2 土层定义

地基分层包括四个不同土层：上部 13 米为软粘土，其刚度随深度近似线性增加。在这一粘土层下，有 2 米厚的细砂土层。它被选为支撑传统砖砌房屋的旧木桩的持力层。因为桩的位移可能导致建筑的破坏，这显然是大家特别不愿看到的，所以要模拟隧道附近的建筑桩基。砂土层下是 5 米厚，位于深处的粘土层。这是在其中进行隧道施工的土层之一。隧道的另一部分在位于深处的砂土层中，这一土层由密砂和砾石组成，强度很大，取其深度为 13 米厚。土孔隙水压力分布是静态水压。水位位于地表面($y=0$)以下-3 米。因为研究对象基本上是对称的，所以平面应变模型只考虑其中一半。

定义土层：

- 点击创建钻孔命令，在 $x=0$ 处单击，修改土层窗口将出现。
- 定义土层，如图 1.2。
- 水位线位于 $y=-0m$ 。在钻孔柱状图上边指定水头为 0m。



打开材料设置窗口

- 按表 1.1 中的参数定义土层和界面信息等并分别指定给相应土层（图 1.2）。

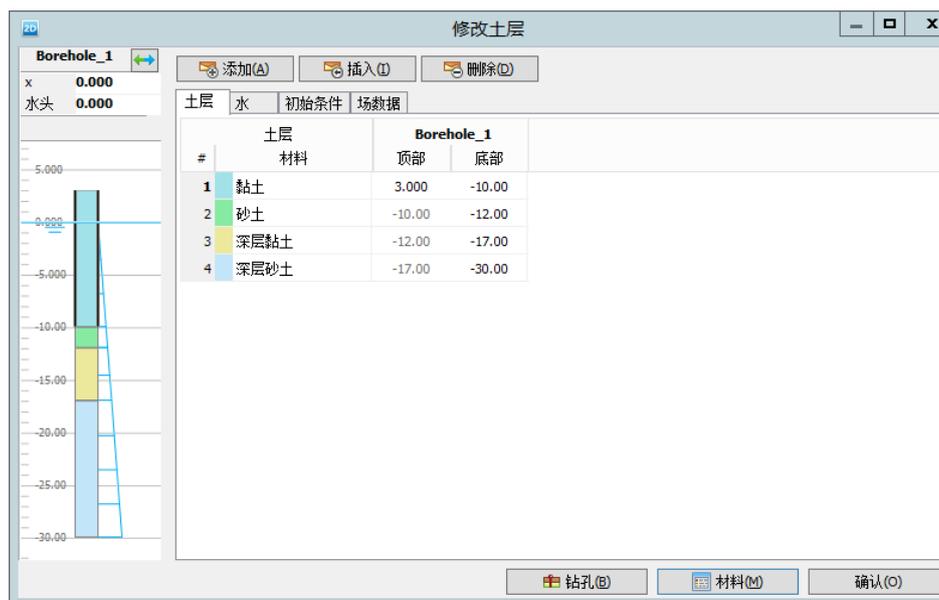


图 1.2 土层分布图

表 1.1 土层的材料属性

参数	名称	黏土	砂土	深层黏土	深层砂土	单位
一般						
材料模型	模型	摩尔库伦	土体硬化	摩尔库伦	小应变土体硬化	-
材料类型	类型	不排水的 (B)	排水的	不排水的 (B)	排水的	-
水位以上土体容重	γ_{unsat}	15	16.5	16	17	kN/m ³
水位以下土体容重	γ_{sat}	18	20	18.5	21	kN/m ³
参数						
参考弹性模量	E'	3400	-	9000	-	kN/m ²
标准三轴排水试验割线模量	E_{50}^{ref}	-	25000	-	42000	kN/m ²
标准固结试验	$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$	-	25000	-	25000	kN/m ²
卸载/重加载刚度	$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	-	75000	-	126000	kN/m ²
与刚度应力水平相关的幂指数	m	-	0.5	-	0.5	-
黏聚力	c_{ref}'	-	0	-	0	kN/m ²
参考不排水剪切强度	$s_{\text{u,ref}}$	5	-	40	-	kN/m ²
内摩擦角	ϕ'	30	33	23	25	°
剪胀角	ψ	0	3	0	0	°
$G_s=0.722G_0$ 时剪应变	$\gamma_{0.7}$	-	-	-	13000	
小应变时剪切模量	G_0^{ref}	-	-	-	110000	-
泊松比	ν'	0.33	0.3	0.33	0.3	-
弹性模量增量	E'_{inc}	400	-	600	-	kN/m ³
参考位置	y_{ref}	3	-	-12	-	m
不排水剪切强度增量	$s_{\text{u,inc}}$	2	-	3	-	kN/m ²
参考位置	y_{ref}	3	-	-12	-	m
流动参数						
水平渗透系数	k_x	0.0001	1	0.01	0.5	m/天
竖向渗透系数	k_y	0.0001	1	0.001	0.5	m/天
界面						
界面强度折减因子	Rinter	1	1	0.7	0.7	-
初始						
K_0	-	手动	自动	手动	自动	-

PLAXIS 2D AE 案例教程：盾构隧道施工及其对桩基的影响

静止侧压力系数	$K_{0,x}$	0.6	0.485	0.6	0.4264	
超固结比	OCR	-	1	-	1	-
前期固结压力	POP	-	0	-	0	kN/m^2

对于黏土层的刚度和强度随着深度而增大，因此，在高级选项中输入 E'_{inc} 和 $S_{u,inc}$ 。 E'_{ref} 和 $S_{u,ref}$ 是在 y_{ref} 的参考值。 y_{ref} 以下， E' 和 S_u 随着深度而增大：

$$E'(Y) = E'_{ref} + E'_{inc} (y_{ref} - Y)$$

$$S_u(y) = S_{u,ref} + S_{u,inc}(y_{ref} - y)$$

1.1.3 定义结构单元

本例中取圆形隧道的右半部分。生成基本模型之后，按照下面的方法设计圆形隧道。

 在**结构模式**竖向工具栏中单击**创建隧道**按钮，在绘图区（0-17）的位置单击。弹出隧道设计器窗口，显示剖面模式的一般标签

- 在**形态类型**下拉菜单中选择**圆**选项。
- 在**整个或半个隧道**下拉菜单选择**定义右半部分**选项。
- 设置**轴 2 偏移**-2.5.轴的方向不做修改。
- 单击**线段**标签，程序自动创建一条线段。在**线段列表框**信息中可以定义线段的属性。
- 将**线段列表框**半径设置为 2.5 米。生成的线段如图 1.3。

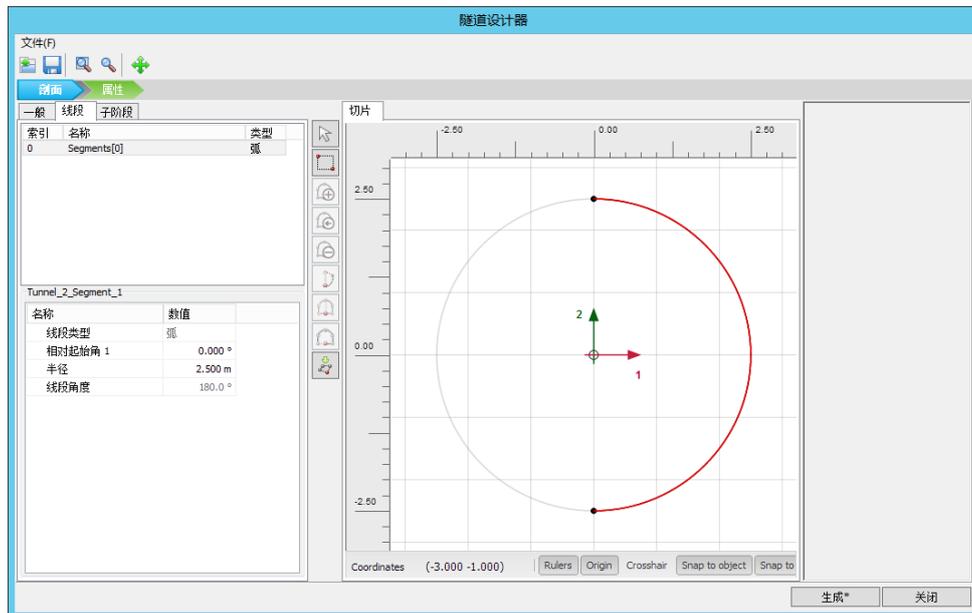


图 1.3 隧道的几何尺寸

- 切换至**属性**标签。
- 在绘图区已创建好的线段上右键，并在出现的下拉菜单中选择**创建板**选项。
- 在**左下角曲线列表框**中展开**板子**目录。

 创建新的材料数组。根据表 1.2 为衬砌指定材料参数。

表 1.2 板的材料属性

参数	衬砌	建筑	单位
材料类型	弹性；各向同性	弹性；各向同性	-
轴向刚度	1.4×10^7	1×10^{10}	kN/m
抗弯刚度	1.43×10^5	1×10^{10}	kNm^2/m
重度	8.4	25	kNm/m
泊松比	0.15	0	-

- 在绘图区已创建好的线段上右键，并在出现的下拉菜单中分别选择创建负向界面选项和创建线收缩选项。
- 在左下角曲线列表框中展开线收缩子目录，指定值为 0.5%。隧道模型如图 1.4

提示：隧道轮廓的 0.5% 的线收缩近似对应隧道土体体积损失率为 1%。

- 单击生成按钮并关闭隧道设计器窗口。

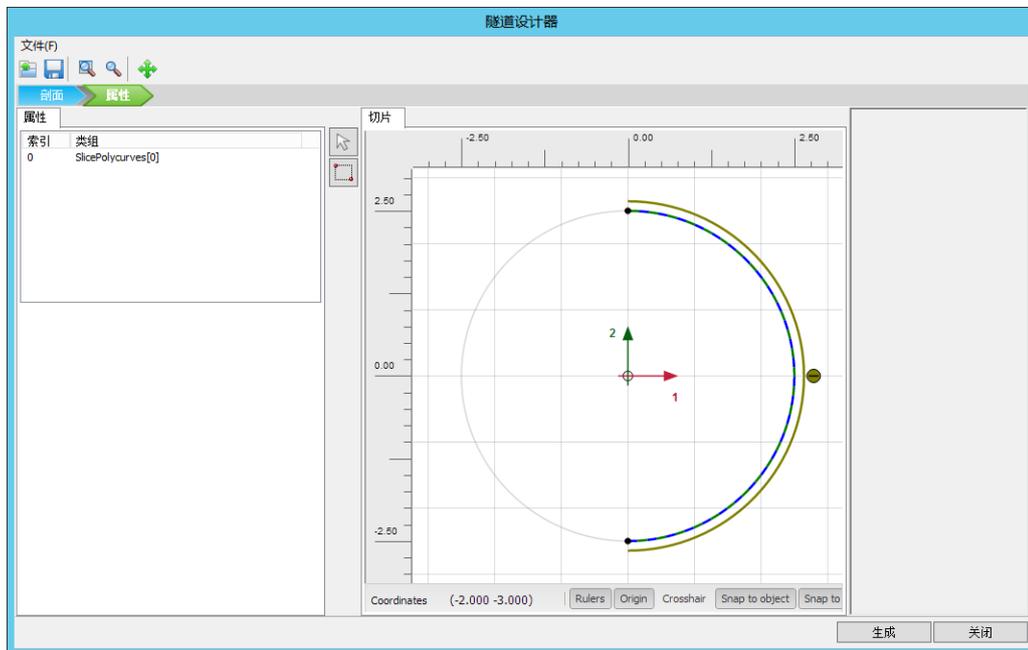


图 1.4 属性模式下隧道模型

提示：在这里考虑的隧道中，因为隧道衬砌是均匀的而且隧道一次建成，隧道衬砌的分段没有特别意义。隧道衬砌由曲板组成，衬砌的材料属性利用材料数组指定。相似地，隧道界面是曲界面。

一般来说，在以下情况下，隧道的分段将特别重要。

- 隧道的开挖和衬砌安装要求分不同施工阶段完成。
- 隧道的不同部分具有不同的衬砌特性。
- 在衬砌安装时考虑铰接(在一般画图区内设计隧道之后，安装铰)。
- 隧道形状由不同半径的圆弧组成(例如 NATM 隧道)。

建筑下的木桩是用嵌固桩来模拟桩。建筑本身将由刚性板来代表。

 在点 (5 3) (15 3) 绘制板，用来代表建筑物。

 根据表 1.2 指定材料属性并指定给板。

 分别在 (5 3) (5-11) 和 (15 3) (15-11) 绘制嵌固桩。

 根据表 1.3 指定材料属性并指定给嵌固桩。

表 1.3 桩材料特性

参数	名称	数值	单位
刚度	E	$1.0 \cdot 10^7$	kN/m ²
单位重度	γ	24	kN/m ³
直径	D	0.25	m
水平间距	L_s	3	m
侧摩阻力	$T_{top,max}$	1	kN/m
	$T_{bot,max}$	100	kN/m
端阻力	F_{max}	100	kN

提示：在标准固定边界选项中，延伸到至少一个方向上固定的几何边界上的板，受到转动约束，而延伸至自由边界的板端可以自由转动。

1.2 网格划分

切换标签进入网格模式

 划分网格。使用单元分布参数默认的选项中等。

 查看网格，可以点击几何菜单下固定约束选项，显示固定约束情况，如图 1.5，

● 点击关闭按钮关闭输出程序。

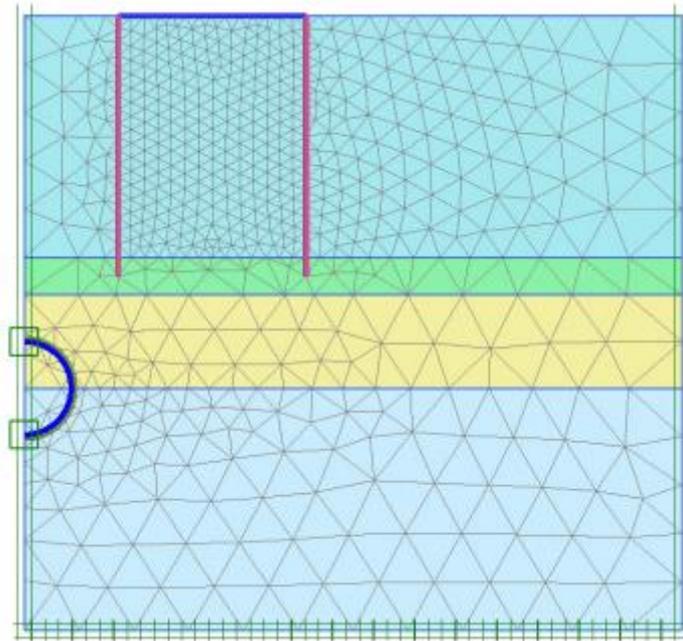


图 1.5 生成的网格

1.3 计算

很明显，模拟隧道施工需要使用分步施工计算。

- 切换至分步施工模式定义计算阶段。
- 初始阶段程序自动生成。默认计算类型为 K0 过程。根据潜水位 $y=0$ 米生成水压力。确保建筑，基础桩和隧道衬砌冻结。

Phase 1: 建筑

第一个阶段激活建筑：



添加新的阶段。

- 重命名阶段名称为‘建筑’
- 在变形控制子目录下，选择忽略不排水 (A,B) 选择。其他值默认。
- 在绘图区激活板和基础桩。

模拟隧道施工

我们需要激活隧道衬砌，但要使隧道内土类组处于冻结状态。使隧道内土体类组处于冻结状态只会影响其刚度，强度和有效应力，如果没有其他的设置，水压会被保留。为了取消隧道内的水压，隧道内的两个土类组在水力条件模式下必须设置为干。另外，必须重新生成孔隙水压力。进行这些设定要遵循以下步骤：

Phase 2: 隧道



添加新的阶段。

- 在阶段窗口变形控制参数子目录下选择重置位移为零选项。

PLAXIS 2D AE 案例教程：盾构隧道施工及其对桩基的影响

- 在绘图区全选隧道内部土层, 在选择浏览器冻结选中的两层土并设置水力条件为干。
- 激活隧道衬砌和负界面, 注意这个阶段不激活隧道收缩。

Phase 3: 收缩

除了隧道衬砌的安装、隧道的开挖和隧道的降水, 体积损失通过应用隧道衬砌的收缩来模拟。这一收缩的定义在分步施工计算施工阶段来完成:



添加新的阶段。

- 将隧道的板选中, 在选择浏览器激活收缩。

提示: 隧道衬砌本身的收缩不会在其本身产生内力。收缩过程最终导致的衬砌力是由于周围土体应力再分配或外力变化造成的。

Phase 4: 注浆

隧道掘进机 (TBM) 尾部, 通常要往隧道衬砌尾部和 TBM 之间的空隙注浆。注浆过程的模拟通过往周围土层施加压力。



添加新的阶段。

- 在阶段窗口变形控制参数子目录下不要选择重置位移为零选项。
- 在分步施工模式中冻结隧道衬砌 (板, 负向界面和收缩)
- 选择隧道内土层, 在选择浏览器激活水力条件。选择用户自定义选项, 设置 Pre 值为-230kN/m²。隧道压力分布是个常数。

Phase 5: 最后衬砌



添加新的阶段。

- 在阶段窗口变形控制参数子目录下不要选择重置位移为零选项。
- 在分步施工模式下设置隧道内土层水力条件为干。
- 激活隧道衬砌和负向界面。



为绘制荷载-位移曲线选择一些特征节点(例如隧道之上地表面的一些角节点和建筑角节点)。



开始计算。



计算完成后保存计算结果。

1.4 计算结果



计算完成后, 选择最后施工阶段并点击<输出>按钮。输出视窗将显示计算阶段最终的变形的网格 (图 1.6)。

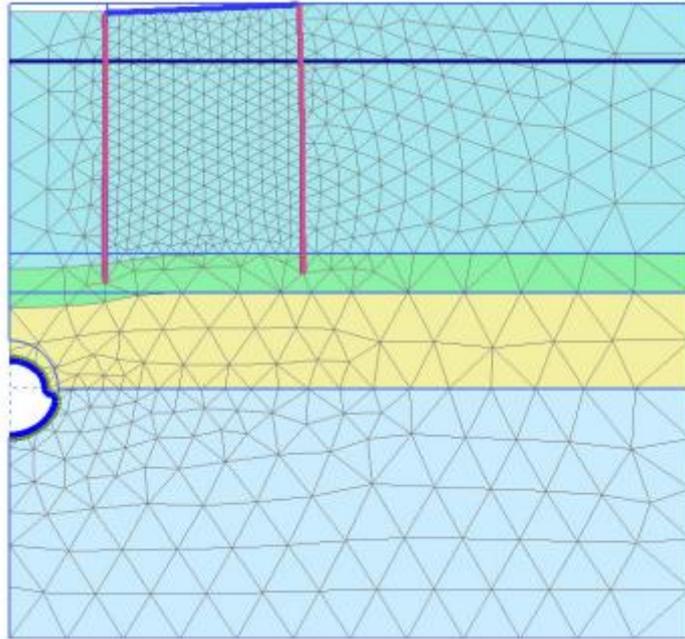


图 1.6 计算完成后的变形网格（Phase 5，缩放 20 倍）

第二计算施工阶段(挖土并从隧道内降水)执行之后，地面有所下沉，隧道衬砌有所变形。在这一施工阶段，隧道衬砌轴力可以达到最大。通过双击隧道衬砌并从力菜单中选择相关于力的选项，可以显示衬砌内力(图 1.7)。轴力和弯矩图分别以缩放系数 0.005 和 0.02 显示。

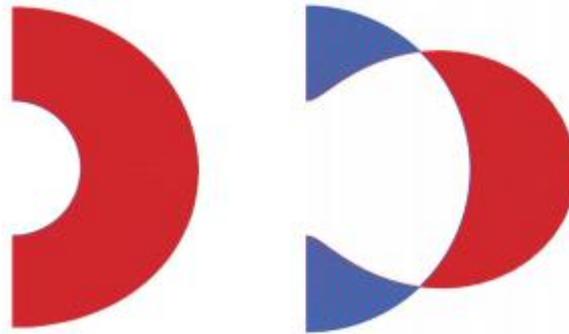


图 1.7 第二阶段隧道衬砌轴力和弯矩图

有效主应力的图示 1.8 表明了隧道周围出现了土拱作用，它降低了隧道衬砌的应力。因此，这一施工阶段的轴力比第二计算施工阶段末的轴力要小。

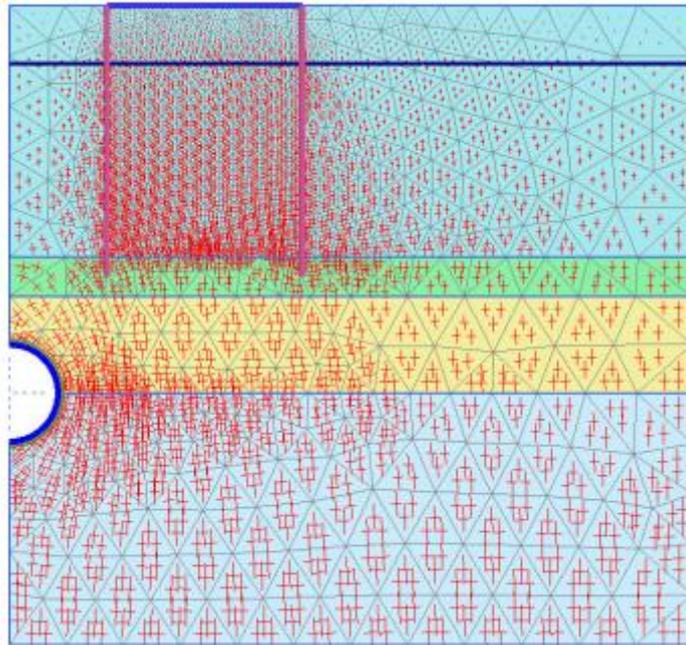


图 1.8 最终阶段隧道有效主应力

 为了显示结构的倾斜：

- 单击竖向工具栏的距离测量按钮
- 单击结构节点 (53) (153)。距离测量信息窗口显示结构倾斜值信息，如图 1.9。



图 1.9 距离测量信息

本教程到此结束！

目录

新奥法（NATM）隧道开挖	1
1.1 输入.....	2
1.2 生成网格.....	5
1.3 计算.....	6
1.4 结果.....	8

新奥法（NATM）隧道开挖

本例利用 PLAXIS 分析 NATM 隧道施工过程。NATM 是在地下开挖时，利用喷射混凝土作为临时支护，保证开挖稳定性的一种施工方法。

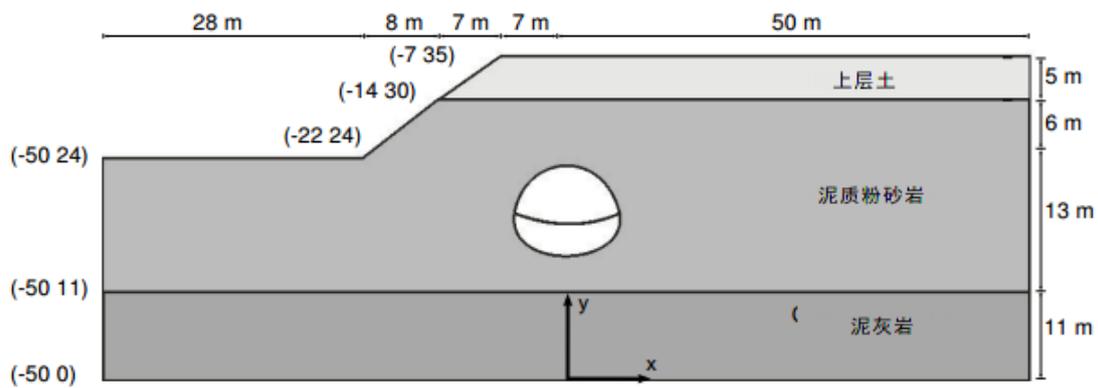


图 1.1 项目几何尺寸

目标：

- 模拟 NATM 隧道施工（ β 法）。
- 用重力加载生成初始应力。

1.1 输入

1.1.1 一般设置

- 打开 PLAXIS 2D AE 软件，在出现的快速选择对话框中选择一个新的项目。
- 在工程属性窗口的工程标签下，键入一个合适标题。
- 在模型标签下，模型（平面应变）和单元（15-Node）保持默认选项。
- 保持单位和一般设置框为默认值。
- 在几何形状设定框中设定土层模型尺寸 $x_{min}=-50$, $x_{max}=50$, $y_{min}=0$, $y_{max}=35$ 。
- 点击 OK 即关闭工程属性窗口，完成设定。

1.1.2 土层定义

利用钻孔生成土层，模型中考虑 11m 厚的泥灰岩，这层的底部 $y_{min}=0$ 作为参考点，定义土层：

- 在 $x=-22$ 处创建第一个钻孔。
- 修改土层窗口将出现。为钻孔添加三层土。钻孔 Borehole_1 第一层的深度为 0。指定第一层土的顶部和底部值为 24。第二层土层的顶部=24 和底部=11。第三层土层的顶部=11 和底部=0。
- 单击在修改土层窗口的底部钻孔按钮。
- 在出现的菜单中选择添加选项。添加钻孔窗口出现。
- 指定第二个钻孔的位置为 $x=-14$ 。
- 注意：钻孔 Borehole_1 的特性复制给了 Borehole_2。
- Borehole_2 第一层的深度也是 0。修改土层的顶部=30 和底部=30。第二层土顶部=30 和底部=11。第三层土顶部=11 和底部=0。
- 指定第三个钻孔的位置为 $x=-7$ 。
- Borehole_3 第一层土顶部=35 和底部=30。第二层土顶部=30 和底部=11，。第三层土的顶部=11 和底部=0。
- 所有钻孔设置水头高度为 $y=0m$ 。土层分布如图 1.2。
- 根据表 1.1 定义土层材料属性，并分别指定给相应土层（图 1.2）。
- 关闭修改土层窗口，切换到结构模式定义结构单元。

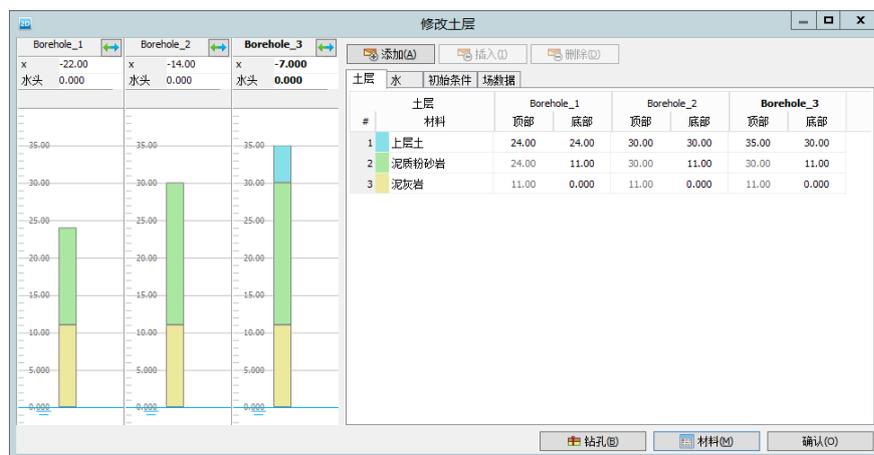


图 1.2 土层分布

表 1.1 土层材料属性

参数	名称	上层土	泥质粉砂岩	泥灰岩	单位
一般					
材料模型	模型	土体硬化	霍克布朗	霍克布朗	-
材料类型	类型	排水的	排水的	排水的	-
水位以上土体容重	γ_{unsat}	20	25	24	kN/m^3
水位以下土体容重	γ_{sat}	22	25	24	kN/m^3
参数					
标准三轴排水试验割线模量	E_{50}^{ref}	40000	-	-	kN/m^2
标准固结试验	E_{oed}^{ref}	40000	-	-	kN/m^2
卸载/重加载刚度	E_{ur}^{ref}	120000	-	-	kN/m^2
与刚度应力水平相关的幂指数	m	0.5	-	-	-
弹性模量	E'	-	1000000	2500000	kN/m^2
泊松比	ν'_{ur}	0.2	0.25	0.25	-
完整岩石单轴抗压强度	σ_{ci}	-	25000	50000	kN/m^2
完整岩石的霍克-布朗常数	m_i	-	4	10	-
岩体地质强度指标	GSI	-	40	55	-
扰动程度参数	D	-	0.2	0	-
黏聚力	c'_{ref}	10	-	-	kN/m^2
内摩擦角	φ'	30	-	-	°
剪胀参数	ψ_{max}	-	30	35	°
剪胀参数	σ_{ψ}	-	400	1000	kN/m^2
界面					
界面强度折减因子	R_{inter}	1	0.5	1	-

1.1.3 定义隧道



在结构模式中单击竖向工具栏中的隧道设计器按钮，在绘图区单击 (0 16) 指定隧道位置。弹出隧道设计器窗口。

- 一般标签不做修改，默认即可。

PLAXIS 2D AE 案例教程：新奥法（NATM）隧道开挖

- 切换到线段标签，点击  工具，依次输入下表 1.2 数值，输入完成之后，在点击  延伸至对称轴，全选已经创建好的线段，在点击  关闭对称轴。

表 1.2 线段几何信息

线段类型	半径	角度
弧	10.4	22
弧	2.4	47
弧	5.8	50

- 切换到子线段标签，分别修改以下值。位移 2 改为 3m。线段类型改为弧。半径改为 11m。线段角度改为 360° 。

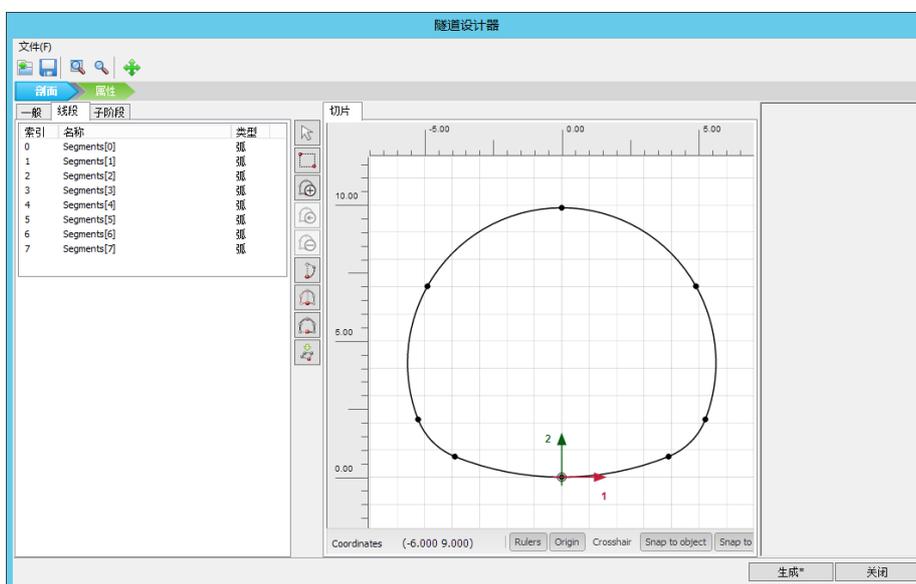


图 1.3 隧道断面线段

 全选已经创建好的线段，点击  相交工具（或者右键选择 intersect segment），

选中不需要的线段，选择  删除工具（或者右键选择删除）。

- 切换到属性标签，全选已经创建好的线段，右键选择创建板选项。
- 按住<Ctrl>+<M>，根据表 1.3 创建新的材料数据。
- 全选绘图区的曲线，右键将衬砌的材料属性赋给隧道的板。除了临时仰拱开挖线外，为隧道衬砌指定负向界面。最终的隧道设计器窗口如图 1.4。
- 单击生成按钮并关闭

表 1.3 板的材料属性

板参数		
参数	值	单位
材料类型	弹性；各向同性	-
轴向刚度	6×10^6	kN/m
抗弯刚度	2×10^4	kNm^2/m
重量	5	kNm/m
泊松比	0.15	-

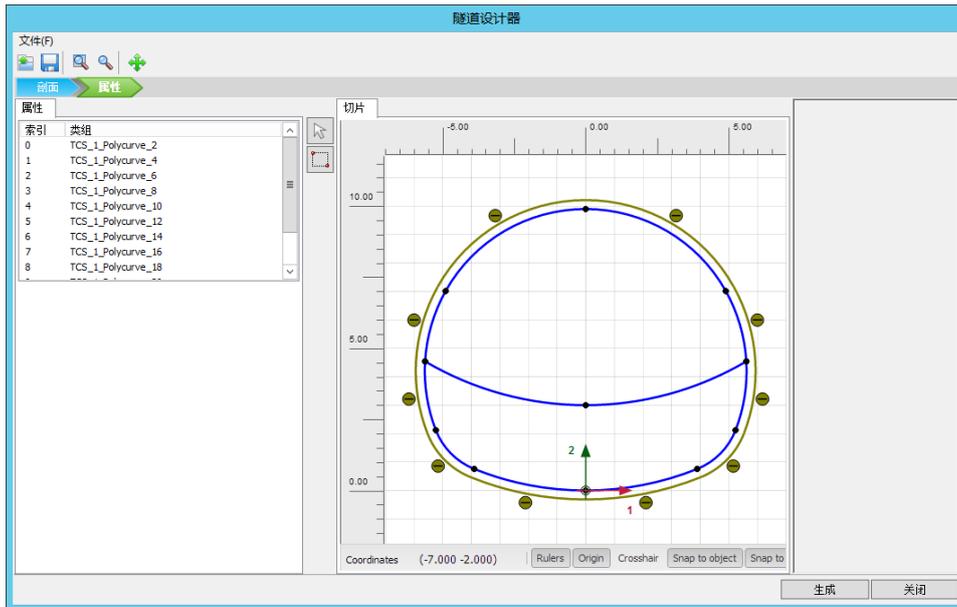


图 1.4 最终隧道

1.2 生成网格

- 切换标签进入网格模式
- 🎮 划分网格。使用单元分布参数默认选项中等。
- 🔍 查看网格，生成的网格如图 1.5。
- 单击关闭按钮退出输出程序。

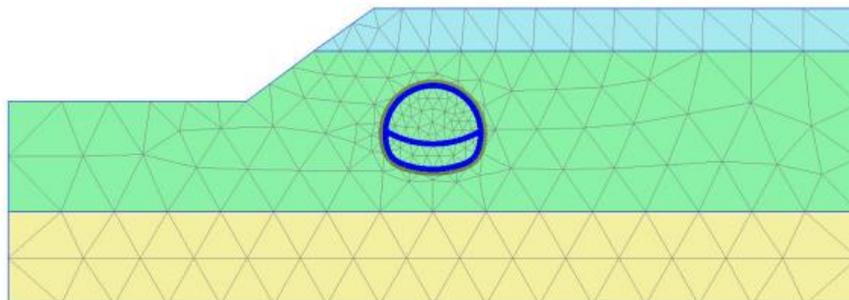


图 1.5 生成的网格

1.3 计算

为了模拟隧道的施工过程，要进行分步施工。

- 切换到分步施工模式中，定义计算阶段。
- ☒ 由于土层非水平，因此，不能使用 K0 过程生成初始应力。使用阶段窗口一般标签中重力加载生成土层。
- 本例中不考虑地下水。水位线在模型底部。
- 确保处于隧道冻结状态。

1.3.1 模拟隧道施工过程

隧道是分步开挖，因此要分步施工计算。冻结隧道内部的土层仅仅影响土的刚度、强度和有效应力。计算阶段选择塑性计算，分步施工。使用所谓的 β -法模拟隧道开挖产生的三维自然拱效应。 β -法的思想是：作用在隧道上的初始应力为 p_k ，隧道分两部分开挖，隧道开挖未支护时作用 $(1-\beta)p_k$ 和支护时作用 βp_k 。在 PLAXIS 中实现该方法，是通过使用分步施工选项和减小的 $\Sigma Mstage$ 值来控制。

定义分步施工阶段：

Phase 1

 添加新的阶段。

- 在阶段窗口一般子目录下定义 $\Sigma Mstage$ 为 0.6。对应的 β 值为 $1-\Sigma Mstage=0.4$
- 在分步施工模式中冻结隧道中的上层土。不要激活隧道衬砌。如图 1.6.

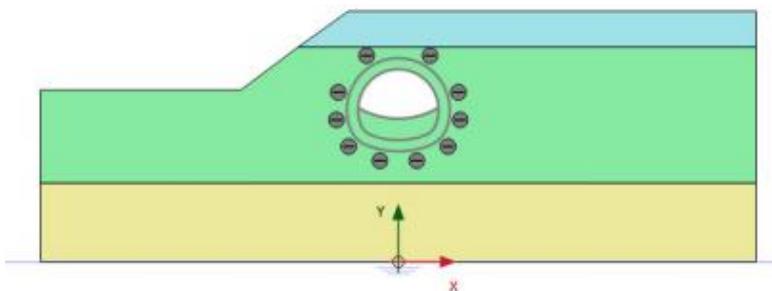


图 1.6 Phase 1

Phase 2

 添加新的阶段。

- 在分步施工模式中激活上一步隧道开挖部分的衬砌和界面，如图 1.7。

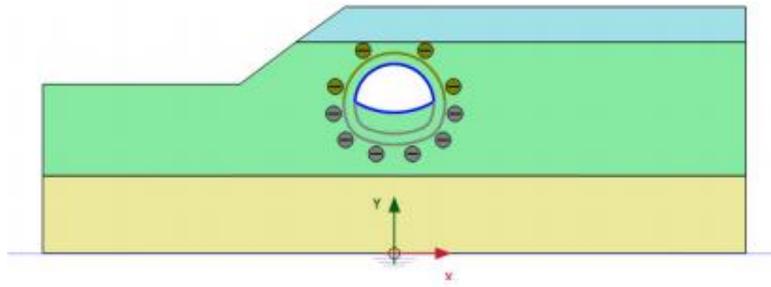


图 1.7 Phase 2

Phase 3

 添加新的阶段。

- 在阶段窗口一般子目录下定义 $\sum Mstage$ 为 0.6。对应的 β 值为 $1-\sum Mstage=0.4$ 。
- 在分步施工模式中冻结隧道中的下层土和隧道中间的临时支护，如图 1.8。

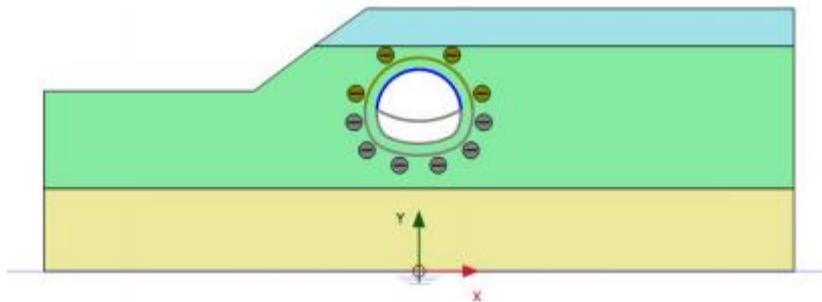


图 1.8 Phase 3

Phase 4

 添加新的阶段。

- 激活剩余的衬砌和界面。激活整个隧道的板和界面，如图 1.9。

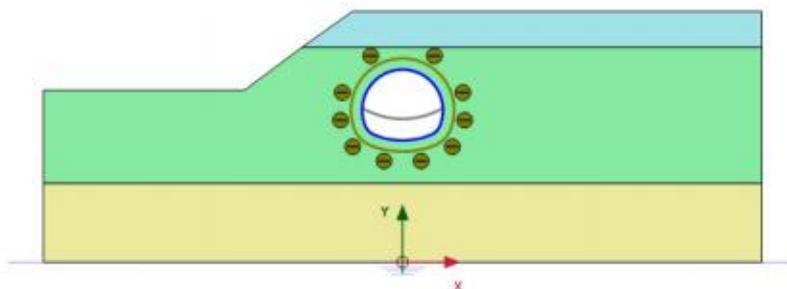


图 1.9 Phase 4

- 注意： $\sum Mstage$ 的值自动设置为 1 了。
- 👉 在坡顶和隧道顶部选择生成曲线所需的点。这些点可以评估在施工阶段的变形。
- 📄 计算工程

计算完成后，保存。

1.4 结果

计算完成后，选择最后计算阶段并单击查看计算结果按钮。输出程序显示了最后计算阶段的变形，如图 1.10。

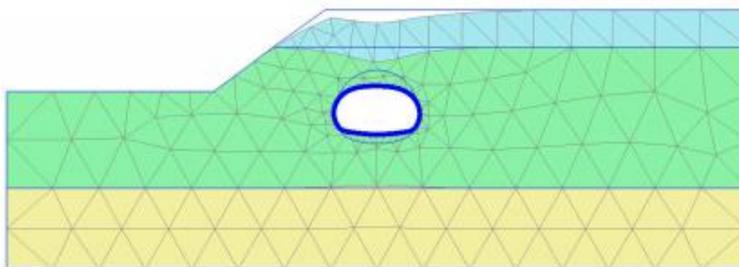


图 1.10 最后计算阶段网格变形

为了显示隧道的弯矩：

单击竖向工具栏中的拖拽窗口选择结构按钮，拖拽鼠标，选择隧道的所有部分。在弹出的窗口中选择板选项，并单击视图按钮。注意在结构视图中显示了隧道的衬砌。

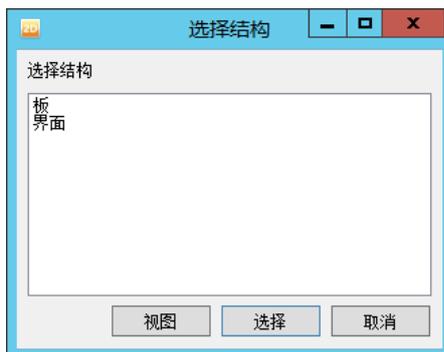


图 1.11 选择结构窗口

- 在菜单栏中力菜单中选择弯矩 M 选项。程序自动缩放一个适合的比例值，如图 1.12.

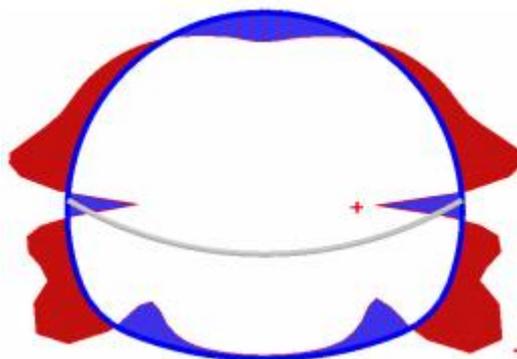


图 1.12 NATM 隧道弯矩图

本教程到此结束！

目录

库水位不同下降方式对库坝稳定性的影响分析	1
1.1 输入	2
1.2 生成网格	3
1.3 计算	4
1.4 结果	12

库水位不同下降方式对库坝稳定性的影响分析

本例分析水位不同下降方式对库坝稳定性影响。库水位的快速下降，会对库坝内部土体产生超孔隙水压力，进而导致库坝的不稳定。因此有必要利用有限元方法，分析地下水瞬态流动对库坝稳定性影响。由于地下水流动土体内部生成超孔隙水压力，孔隙水压力会转换到变形分析和稳定性分析中。本例展示在 PLAXIS 2D 中如何交互执行变形分析、瞬态地下水流动和稳定性分析。

大坝高 30m，底部宽度 172.5m，顶部宽 5m。大坝由黏土核心层及两边级配良好的填土组成。大坝的几何尺寸如图 1.1。大坝后正常水位时 25m 高。考虑水位下降 20m 的情况。大坝右手边的正常水位是地表下 10m。大坝和地基土层的材料见表 1.1。

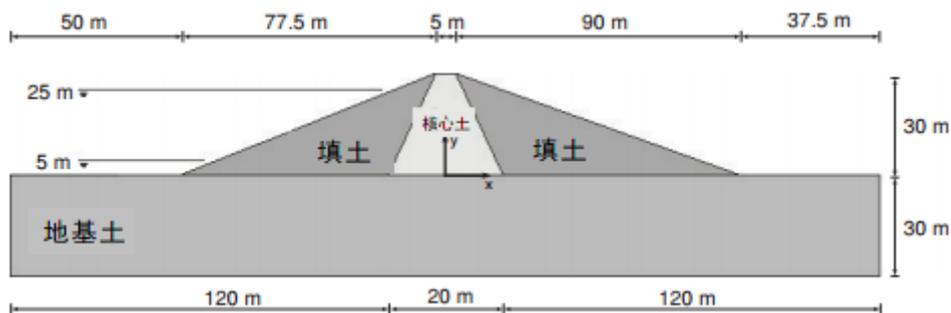


图 1.1 大坝几何尺寸

目标:

- 定义和时间相关的水力条件（流动函数）。
- 使用水位线定义瞬态流动条件。

1.1 输入

1.1.1 一般设置

- 打开 PLAXIS 2D AE 软件，在出现的快速选择对话框中选择一个新的项目。
- 在工程属性窗口的工程标签下，键入一个合适标题。
- 在模型标签下，模型（平面应变）和单元（15-Node）保持默认选项。
- 保持单位和一般设置框为默认值。
- 在几何形状设定框中设定土层模型尺寸 $x_{min}=-130$, $x_{max}=130$, $y_{min}=-30$, $y_{max}=30$ 。
- 点击 OK 即关闭工程属性窗口，完成设定。

1.1.2 土层定义

利用钻孔生成地基土层，模型中考虑 30m 厚的超固结粉砂土作为模型的底层土层，定义土层：

-  在 $x=0$ 处创建第一个钻孔。
- 修改土层窗口将出现。土层的顶部=0 和底部=-30。
-  打开材料设置窗口。
- 根据表 1.1 定义土层材料属性。注意界面和初始条件标签不相关（不使用界面和 K_0 过程）。将地基土材料赋值给钻孔土层。
- 关闭修改土层窗口，切换到结构模式定义结构单元。

表 1.1 土层材料属性

参数	名称	核心土	填土	地基土	单位
一般					
材料模型	模型	摩尔库伦	摩尔库伦	摩尔库伦	-
材料类型	类型	不排水(B)	排水的	排水的	-
水位以上土体容重	γ_{unsat}	16	16	17	kN/m^3
水位以下土体容重	γ_{sat}	18	20	21	kN/m^3
参数					
弹性模量	E'	1500	20000	50000	kN/m^2
泊松比	ν'	0.35	0.33	0.3	-
黏聚力	c_{ref}'	-	5	1	kN/m^2
参考不排水剪切强度	$s_{u,ref}$	5	-	-	kN/m^2
内摩擦角	φ'	-	31	35	°
剪胀参数	ψ	-	1	5	°

弹性模量增量	E'_{inc}	300	-	-	kN/m^2
参考位置	y_{ref}	30	-	-	m
不排水剪切强度增量	$s_{u,inc}$	3	-	-	kN/m^2
流动参数					
数据组	-	Hypres	Hypres	Hypres	-
模型	-	Van Genuchten	Van Genuchten	Van Genuchten	-
土	-	下层土	下层土	下层土	-
土的类型	-	非常细	粗	粗	-
水平渗透系数	k_x	0.0001	1	0.01	m/day
竖向渗透系数	k_y	0.0001	1	0.01	m/day

1.1.3 定义大坝

在结构模式中定义大坝：



指定点 (-80 0)、(92.5 0)、(2.5 30)、(-2.5 30) 创建土多边形。



使用切割土多边形命令，分割刚创建好的土多边形。创建两条切割线 (-10 0) 到 (-2.5 30) 和 (-10 0) 到 (2.5 30)

- 指定相应的材料数据组给相应土层

1.2 生成网格

- 切换标签进入网格模式



划分网格。使用单元分布参数默认选项。



查看网格，生成的网格如图 1.2.

- 单击关闭按钮退出输出程序。

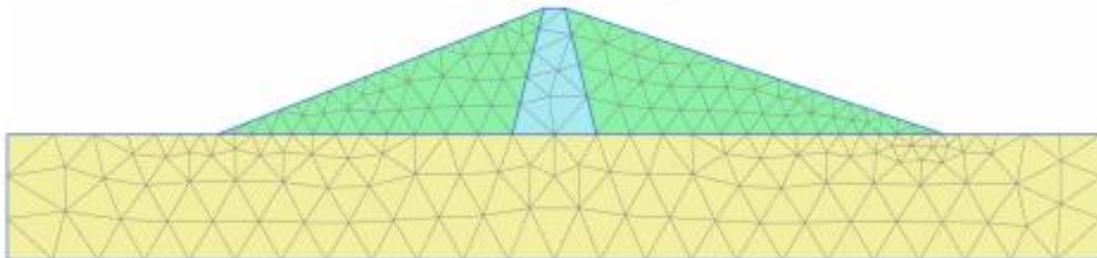


图 1.2 生成的网格

1.3 计算

考虑下面的几种情况：

- 保持水位在 25m 的长期效应。
- 水位从 25m 到 5m 的快速下降情况。
- 水位从 25m 到 5m 的缓慢下降情况。
- 保持水位在 5m 的长期效应。

包括初始阶段，一共有八个计算阶段。初始阶段利用重力加载，计算大坝在正常工作条件下，大坝的孔隙水压力和初始应力。对于这种情况，使用稳态的地下水流动计算生成水压力分布。初始阶段（大坝水位在 25m）后的第一个和第二个阶段水位都降低至 5m，但是下降的时间不同（例如水位不同的下降速度：快速下降和缓慢下降）。两种情况下使用瞬态地下水流动计算水压力分布。第三个计算阶段也从初始阶段开始，考虑大坝水位处于 5m 时的长期效应，使用稳态地下水流动计算水压力分布。最终，对于大坝的安全性分析时，所有的水压力由强度折减法计算。

注意不同计算阶段只是定义不同的水力条件。几何模型不做任何改变。水位线在水力模式中定义。

- 通过切换标签至水力条件模式

初始阶段：重力加载

程序默认在阶段浏览器添加了初始阶段

- 在阶段浏览器双击初始阶段。
- 在阶段窗口的一般标签指定阶段的名称（例如，High reservoir）。



计算类型选择重力加载。



孔压计算类型选择稳态地下水流动。

- 阶段窗口如图 1.3，单击 OK 关闭阶段窗口。

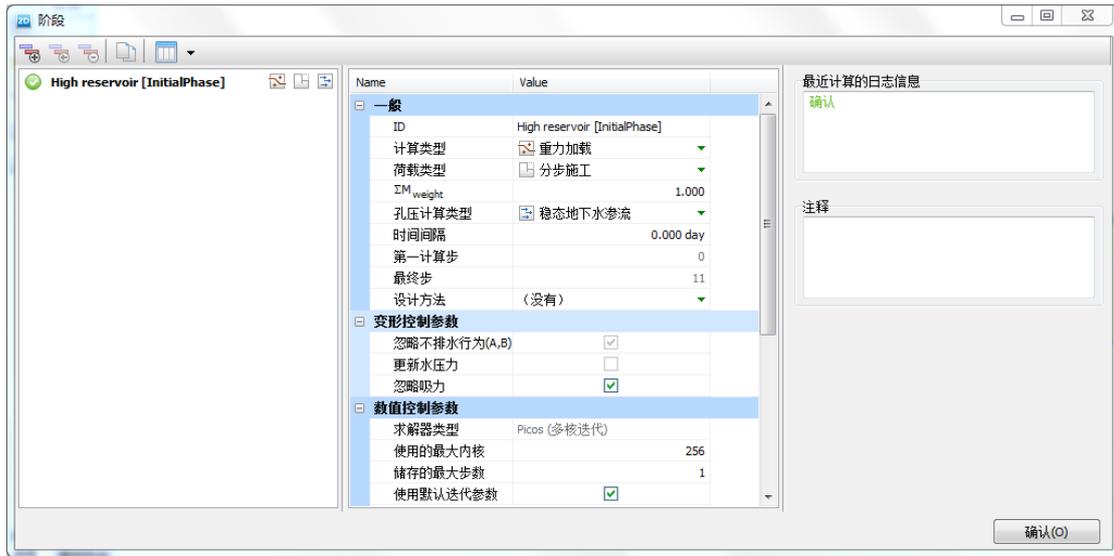


图 1.3 阶段窗口

提示：对于重力加载计算类型，默认忽略不排水（A）和（B）。对应的选项在阶段窗口变形控制参数子目录下。

根据库水位下降情况定义对应库水位线。水位线由 4 个点组成；左边起点在地表上 25m (-132 25)；第二点在大坝内部，位于 (-10 25)；第三个点在坝踵附近 (93 -10)；第四个点在右侧边界地表下 10m，位于 (132 -10)。定义好的水位线如图 1.4.

- 右键创建好的水位线并选择全局化选项。注意全局水位线也可以通过选择模型浏览器水子目录下的全局水位选项指定。

提示：绘制几何线的时候通过按住<Shift>键可以绘制直线。

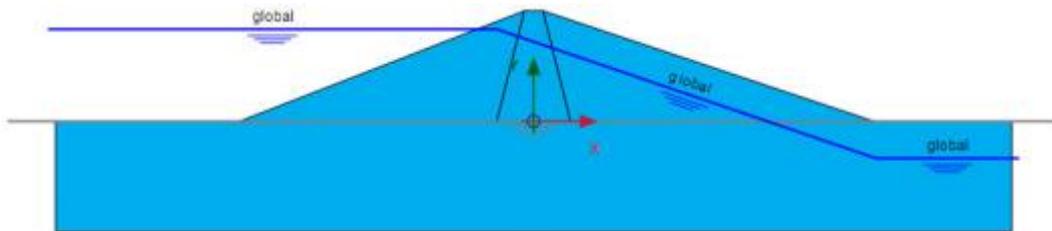


图 1.4 库水位处于高水位线

- 展开模型浏览器中的属性库
- 展开水位目录，刚才在水力模式中创建的水位线，被编成组，放在用户水位内。
- 展开用户水位子目录。刚才创建的水位线被命名为 'UserWaterLevel_1'。模型浏览器中水位线的位置，如图 1.5.



图 1.5 模型浏览器中的水位线

- 双击创建的水位线并重命名为 ‘FullReservoir_Steady’。这个名称最好有实际的意义。
- 展开模型条件子目录
- 展开 GroundWaterFlow 子目录。注意默认模型底部边界为关闭。本例取默认边界。如图 1.6。

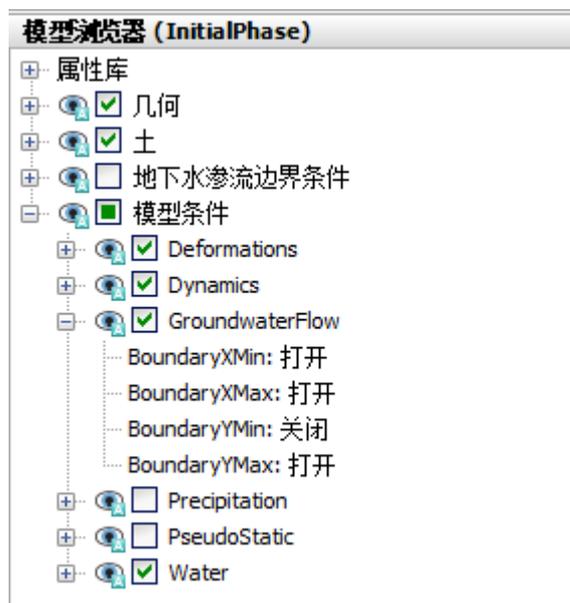


图 1.6 模型浏览器 GroudwaterFlow 边界条件

Phase 1: Rapid drawdown

这个阶段考虑库水位快速下降的情况：

- ➕ 添加新的阶段。

- 在阶段窗口一般子目录下指定阶段名称（如，Rapid drawdown）注意该阶段自动选择从 High reservoir 阶段。



计算类型选择完全流固耦合分析。

- 时间间隔指定为 5 天。
- 确保变形控制参数子目录下重置为零和重置小应变选项选择上。
- 单击 OK 按钮关闭阶段窗口。
- 由于土层水压力根据全局水位生成，因此如果指定水位将影响所有阶段。这个阶段的水位线和前面的阶段有相同的几何模型，但是需要给水位指定和时间相关的函数。因此要创建一条新的水位线。在模型浏览器中，右键 FullReservoir_Steady 并选择复制选项，如图 1.7.复制一条水位线。

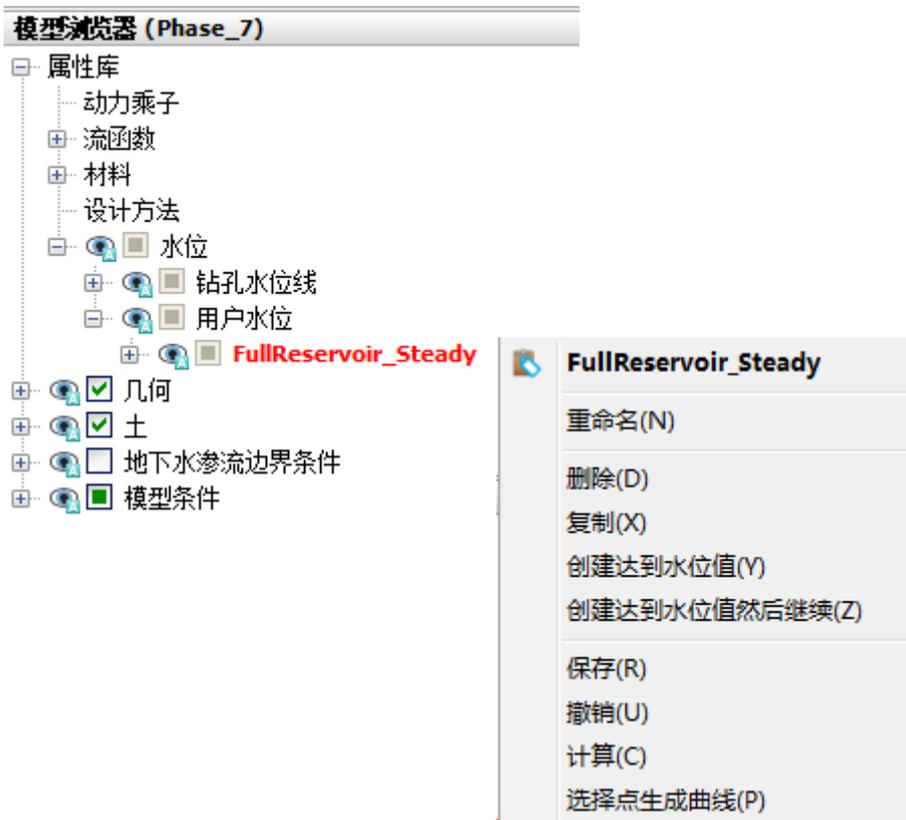


图 1.7 模型浏览器中复制水位线

- 重命名刚才创建的水位线为 ‘FullReservoir_Rapid’ .

水位线的变化情况可以利用流动函数定义。注意流动函数具有全局属性，它位于模型浏览器的属性库中。定义流动函数：

- 右键流动函数选项并选择编辑选项。弹出流动函数窗口



在水头函数标签中添加一个新的函数。这个新的函数以列表的形式表示。

- 为快速下降函数指定一个合适的名称（例如，Rapid）。
- 从信号下拉菜单选择线性选项。

PLAXIS 2D AE 案例教程：库水位不同下降方式对库坝稳定性的影响分析

- 指定时间间隔为 5 天。
- 指定变化高度为-20m，代表水头下降高度。程序以图表的形式显示定义好的函数，如图 1.8。

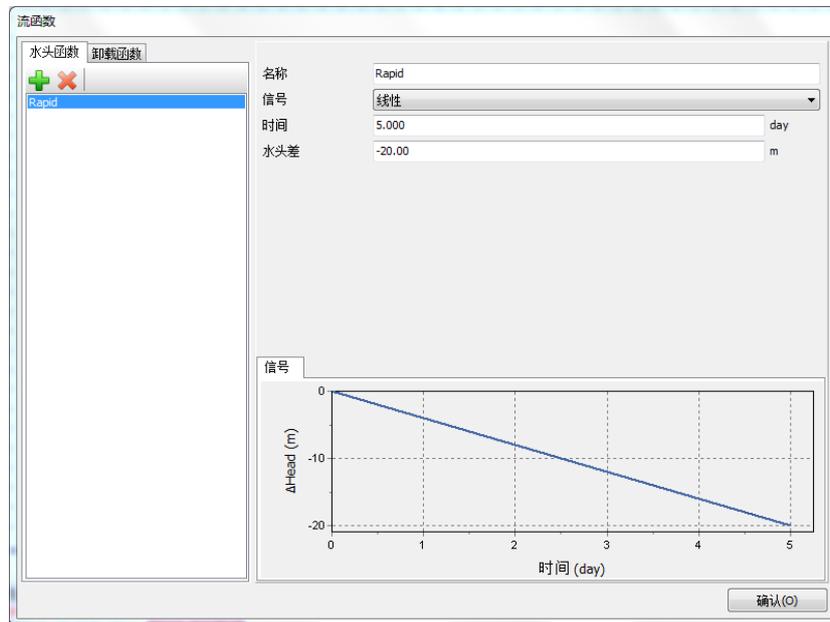


图 1.8 快速下降情况下的流动函数

- 单击 OK 关闭流动函数窗口。
- 在模型浏览器右键 FullReservoir_Rapid 并在出现的下拉菜单中选择使用全局潜水位选项。
- 展开 FullReservoir_Rapid 子目录。注意水位线由 3 部分组成。选择代表大坝左边，水库的位置水位线。
- 展开选择的水位线段并将时间依赖性选项选为时间相关。
- 水头函数选为 Rapid。如图 1.9。
- 在模型浏览器模型条件的水子目录下将 FullReservoir_Rapid 指定为全局水位。

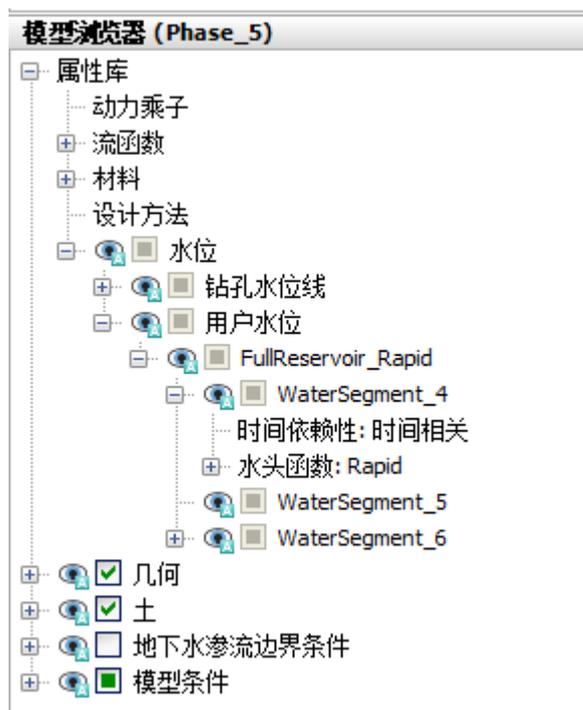


图 1.9 水位线属性

定义好的阶段如图 1.10，注意图中阴影代表在本阶段水位线的变化情况。

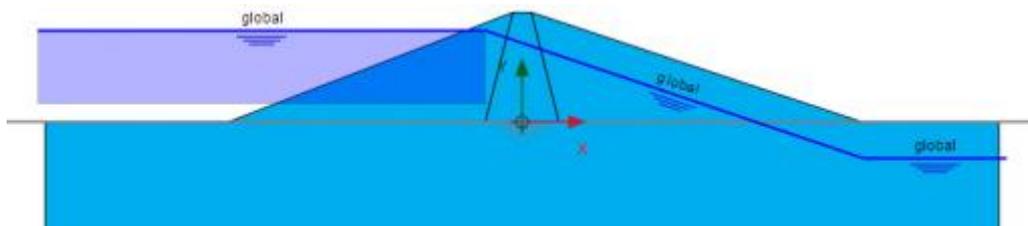


图 1.10 水位快速下降阶段

阶段 2: Slow drawdown

本阶段库水位下降速度较慢。

- 选择 High reservoir 阶段

 添加新的阶段。

- 在阶段浏览器中双击新添加的阶段。弹出阶段窗口。
- 在一般子目录下为本阶段指定一个名称（例如，Slow drawdown）。High reservoir 自动选为起始阶段。

 计算类型选择完全流固耦合分析。

- 时间间隔指定为 50 天。
- 确保变形控制参数子目录中的重置位移为零和重置小应变选项选中。

PLAXIS 2D AE 案例教程：库水位不同下降方式对库坝稳定性的影响分析

- 单击 OK 按钮关闭阶段窗口。
- 复制一条新的高水位线。新建的水位线将作为 Slow drawdown 阶段的全局水位。即使这个阶段的水位和先前定义的有相同的几何条件，但是流动函数是不同的。
- 将新创建的水位线重命名为 ‘FullReservoir_Slow’ 。

 在水头函数标签中添加一个新的函数。

- 为快速下降函数指定一个合适的名称（例如，Slow）。
- 从信号下拉菜单选择线性选项。
- 指定时间间隔为 50 天。
- 指定变化高度为 -20m，代表水头下降高度。程序以图表的形式显示定义好的函数，如图 1.9。

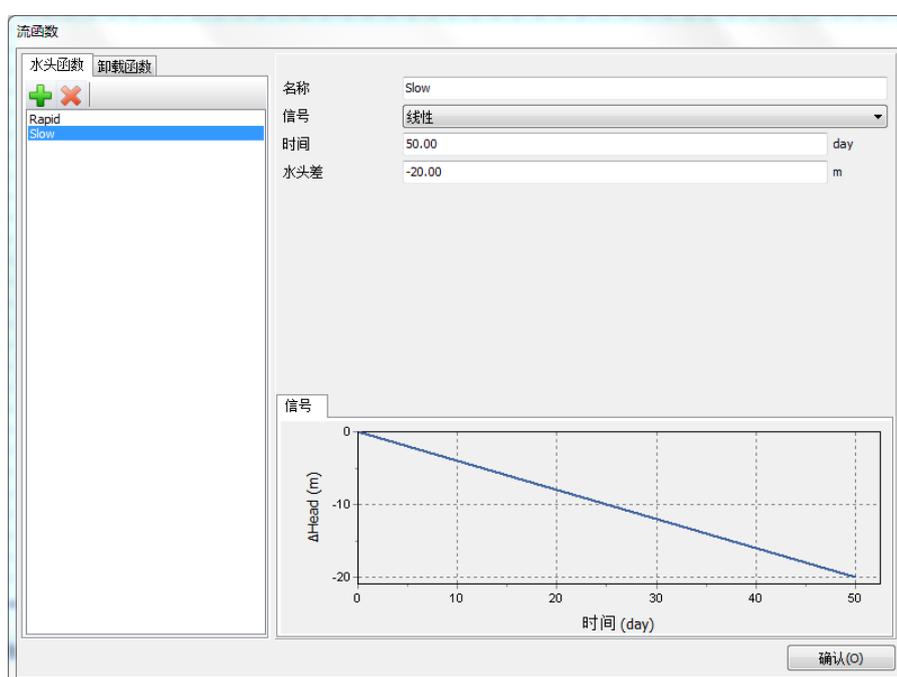


图 1.11 缓慢下降情况下的流动函数

- 右键模型浏览器 FullReservoir_Slow 并选择作为全局水位。
- 展开 FullReservoir_Slow 子目录。选择选择代表大坝左边，水库的位置水位线。
- 展开选择的水位线段并将时间依赖性选项选为时间相关。
- 水头函数选为 Slow。
- 在模型浏览器模型条件的水子目录下将 FullReservoir_Slow 指定为全局水位。

Phase 3: Low level

本阶段考虑库水位处于长期低水位稳定的情况。

- 选择 High reservoir 阶段

 添加新的阶段。

- 在阶段浏览器中双击新添加的阶段。弹出阶段窗口。
- 在一般子目录下为本阶段指定一个名称（例如，Low level）。High reservoir 自动选为起始阶段。



计算类型选择塑性计算选项。



孔隙水压力计算类型选择为稳态地下水流动选项。

- 确保变形控制参数子目录中的忽略不排水（A, B），重置位移为零和重置小应变选项选中。
- 单击 OK 按钮关闭阶段窗口。



根据库水位下降情况定义对应库水位线。水位线由 4 个点组成；左边起点在地表上 5m (-132 5)；第二点在大坝内部，位于 (-60 5)；第三个点在坝踵附近 (93 -10)；第四个点在右侧边界地表下 10m，位于 (132 -10)。定义好的水位线如图 1.4.

- 通过选择模型浏览器水子目录下的全局水位线选项指定 (LowLevel_Steady) 为全局水位。前面定义好的所有水位线如图 1.12 所示。

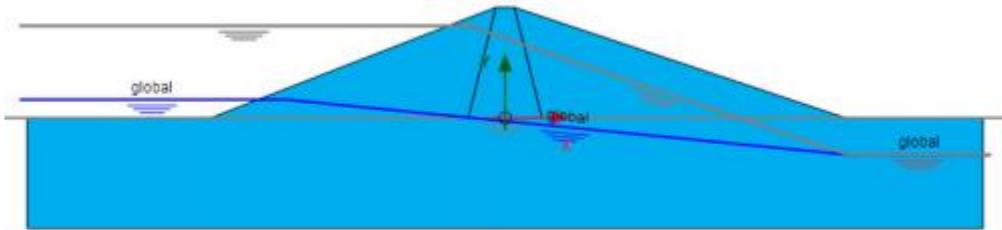


图 1.12 水力模式下低水位模型

Phase 4 至 7:

阶段 4 至 7 定义前几个阶段的安全性分析

- 在阶段浏览器相应的选择各自母阶段。



添加新的阶段。



选择计算类型为安全性分析。

- 变形控制子目录中选择重置位移为零。
- 将数值控制参数子目录中最大计算步参数修改，阶段 4 修改为 30，阶段 5 到 7 为 50.阶段浏览器最终所有阶段，如图 1.13.

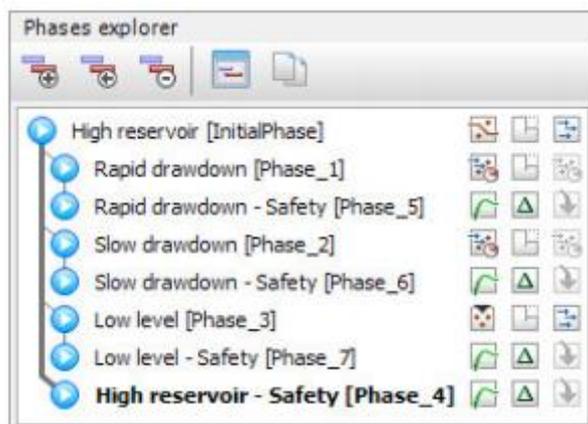


图 1.13 阶段浏览器最终视图

 选择为曲线生成的点顶点 (-2.5 30) 和坝趾 (-80 0)。

 通过单击分步施工模式中的计算按钮，计算该项目。

 计算完成后保存项目。

1.4 结果

四个阶段计算的地下水流动生成孔隙水压力的分布结果见图 1.14 至 17.考虑四个不同情况：

- 高库水位稳态渗流情况下孔隙水压力分布，图 1.14。

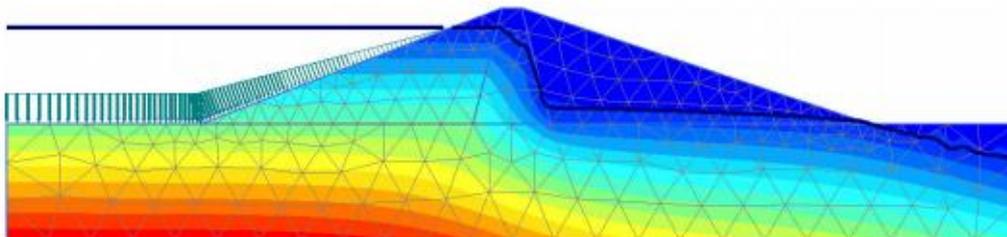
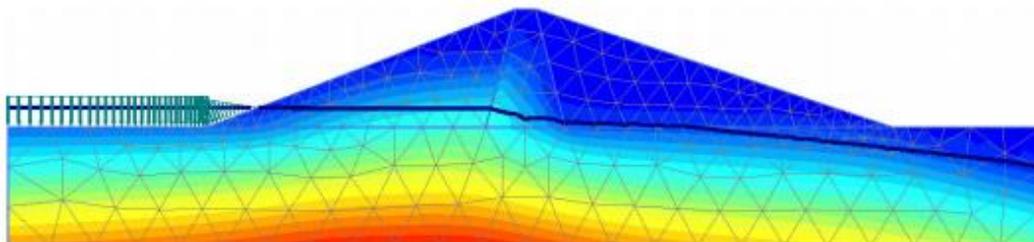


图 1.14 高库水位孔隙水压力 (Pactive) 分布

- 库水位快速下降情况下孔隙水压力分布，图 1.15。



图

1.15 水位快速下降孔隙水压力 (Pactive) 分布

- 库水位缓慢下降情况下孔隙水压力分布，图 1.16。

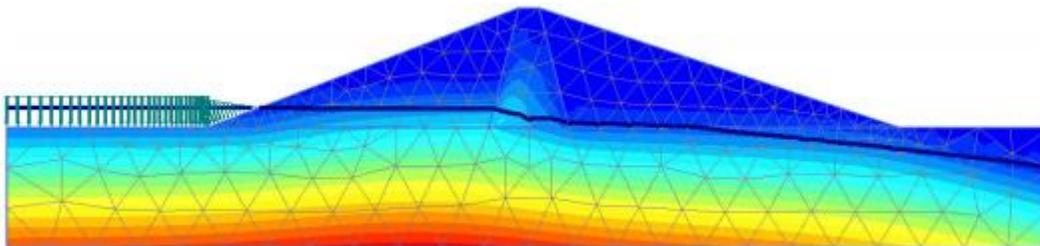


图 1.16 水位快速下降孔隙水压力 (Pactive) 分布

- 低库水位稳态渗流情况下孔隙水压力分布，图 1.17。

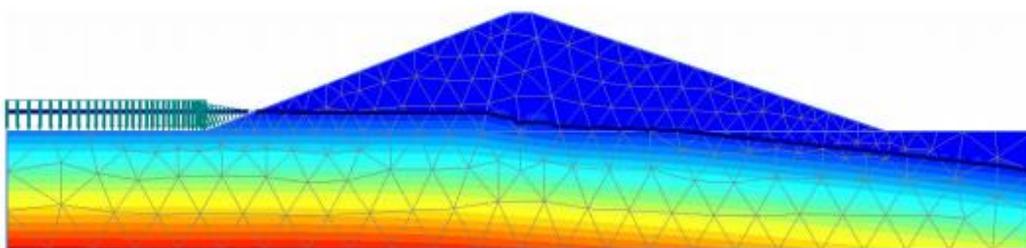


图 1.17 水位快速下降孔隙水压力 (Pactive) 分布

对于变形分析，孔隙水压力的改变会对大坝的变形产生额外变形。查看前四个阶段的计算结果可以看到大坝的变形和有效应力分布情况。这里我们主要关心不同情况下大坝安全系数的变化。因此，绘制了大坝顶点 4 至 7 阶段的 ΣMsf 和位移曲线，见图 1.18。

库水位的快速下降会导致大坝安全性迅速减小。使用 PLAXIS 2D AE 进行完全流固耦合分析和稳定性分析可以有效地分析这种情况。

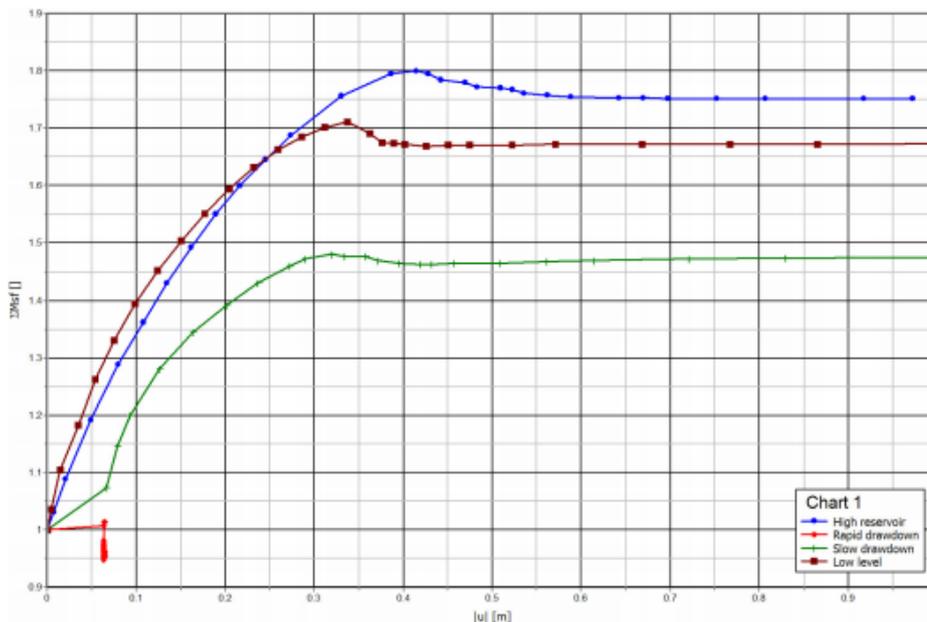


图 1.18 不同阶段的安全系数

本教程到此结束！

岩土工程有限元分析软件

PLAXIS 2D 2015[®]

案例教程



北京筑信达工程咨询有限公司
北京市古城西街 19 号研发主楼 4 层, 100043

版 权

计算机程序 PLAXIS 及全部相关文档都是受专利法和版权法保护的产品。全球范围的所有权属于 Plaxis bv。如果没有 Plaxis 和北京筑信达工程咨询有限公司的预先书面许可，未经许可的程序使用或任何形式的文档复制一律禁止。

更多信息和此文档的副本可从以下获得：

北京筑信达工程咨询有限公司

北京市古城西街 19 号研发主楼 4 层 100043

电话：86-10-6892 4600

传真：86-10-6892 4600 - 8

电子邮件：support@cisec.cn

网址：www.cisec.cn

北京筑信达工程咨询有限公司版权所有©, 2015.

目录

锚杆+挡墙支护结构的基坑降水开挖-承载能力极限状态	1
1 输入.....	2
2.计算.....	4
3 结果.....	4

锚杆+挡墙支护结构的基坑降水开挖-承载能力极限状态

本例将定义承载能力极限状态计算并分析基坑降水开挖的承载能力极限状态下的稳定性。使用预应力锚杆+挡墙支护结构的基坑降水开挖模型。本例将说明设计方法工具的特性。在计算正常使用状态后，执行考虑荷载和模型参数分项系数设计方法的计算。

目标：

- 使用设计方法工具

1 输入

定义设计方法，按照下列步骤：

- 打开预应力锚杆+挡墙支护结构的基坑降水开挖项目，以一个不一样的名字保存。
- 在土或结构模式下选择设计方法选项。弹出对应的窗口。
- 单击添加按钮。列表中添加了一个新的设计方法。
- 本例将使用欧洲规范 7 的设计方法 3.这种设计方法包括荷载分项系数和材料分项系数（强度）。单击列表中的设计方法，并指定一个有实际意义的名称（例如：欧洲规范 7-DA3）。
- 窗口下部可以定义荷载和材料的分项系数。设置不利系数为 1.3.

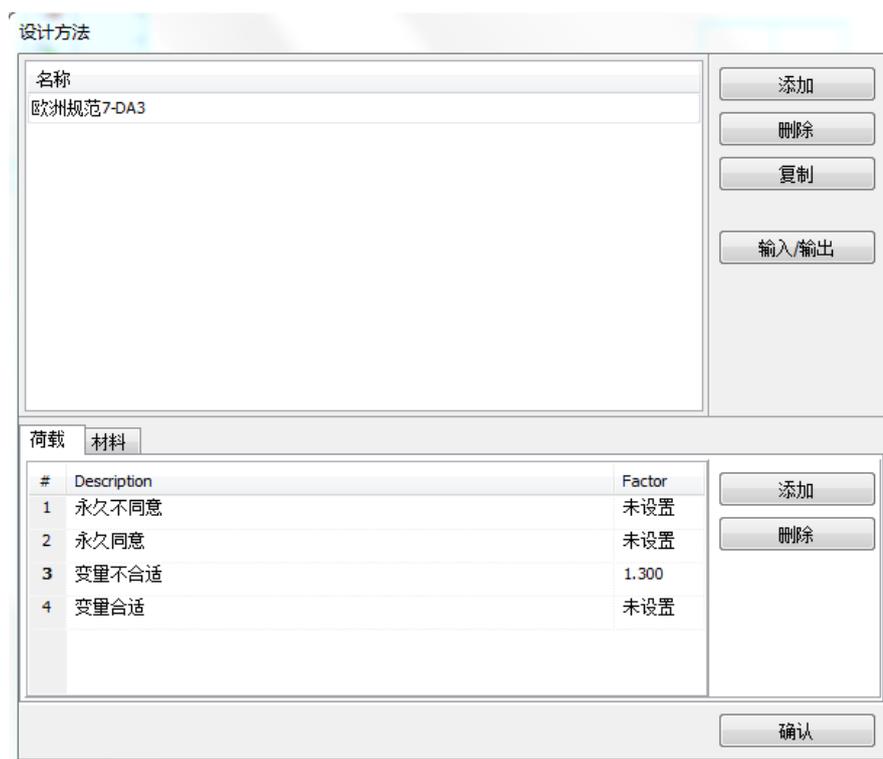


图 1 荷载的分项系数

- 单击材料标签。
- 指定有效摩擦角和有效粘聚力为 1.25。

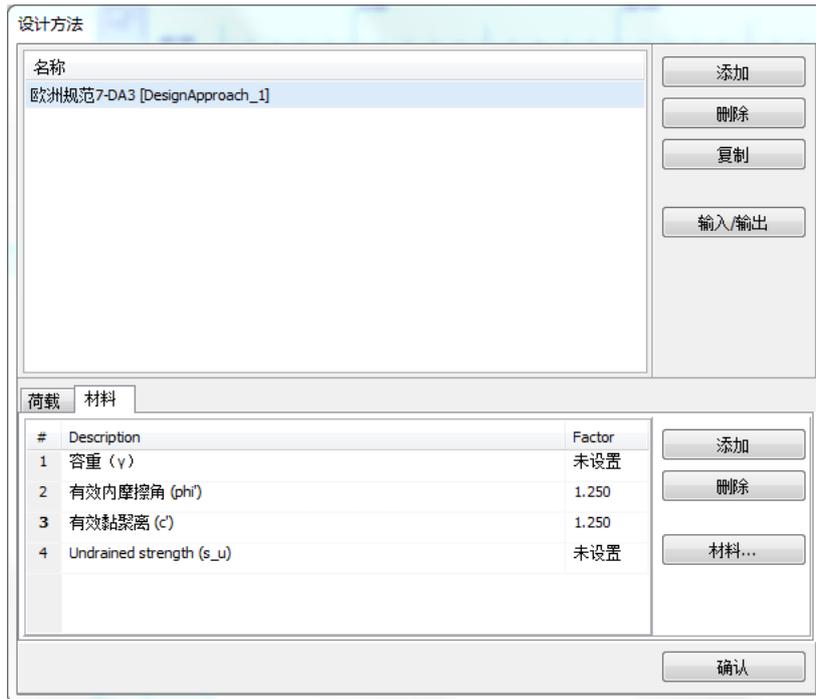


图 2 材料的分项系数

- 单击材料按钮，弹出材料设置窗口。
- 打开壤土材料设置窗口。注意此时视图已经改变。当前视图，可以给不同土层参数指定分项系数，同时也可以查看这些分项系数的效果。
- 单击材料标签。在材料标签中 C'_{ref} 和 ϕ' 选择对应的列表。
- 其他土层做上述同样的操作。
- 关闭设计方法窗口。



图 3 给材料参数指定的分项系数

PLAXIS 2D AE 案例教程：锚杆+挡墙支护结构的基坑降水开挖-承载力极限状态

提示：注意 ϕ 和 ψ 的分项系数也适用于 $\tan \phi$ 和 $\tan \psi$ 。

2. 计算

相对应正常使用计算，有两种主要的方案执行设计计算。本例使用第一种方案。

- 切换到分步施工模式。
- 单击阶段浏览器 Phase_1。
- 添加一个新的阶段。
- 双击新添加的阶段，打开阶段窗口。
- 阶段窗口一般标签中对应的位置选择刚才定义的设计方法。
- 在模型浏览器中展开线荷载和它的子目录。
- 选择静力荷载部分荷载系数标签下拉菜单中不利变量选项。

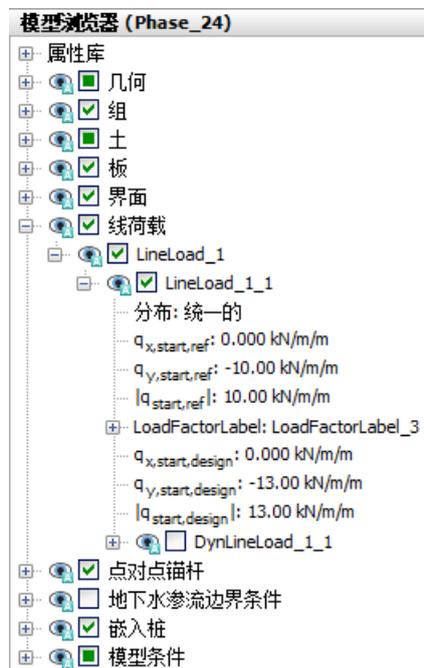


图 4 选择浏览器中指定荷载系数标签

- 按照上述相同的步骤为其余土层（正常使用极限状态）定义承载力极限状态。确保 Phase 7 起始于 Phase 1，Phase 8 起始于 Phase 2，Phase 9 起始于 Phase 3 等等。

 单击生成曲线所需的点。（例如锚杆和地连墙的连接点，例如（40 27）和（40 23））。

 计算项目。

 计算完成后，保存项目。

3 结果

在输出窗口中可以评价设计方法阶段的计算结果。图 5 显示了节点（40 27）的 $\sum M_{stage} - |u|$ 。

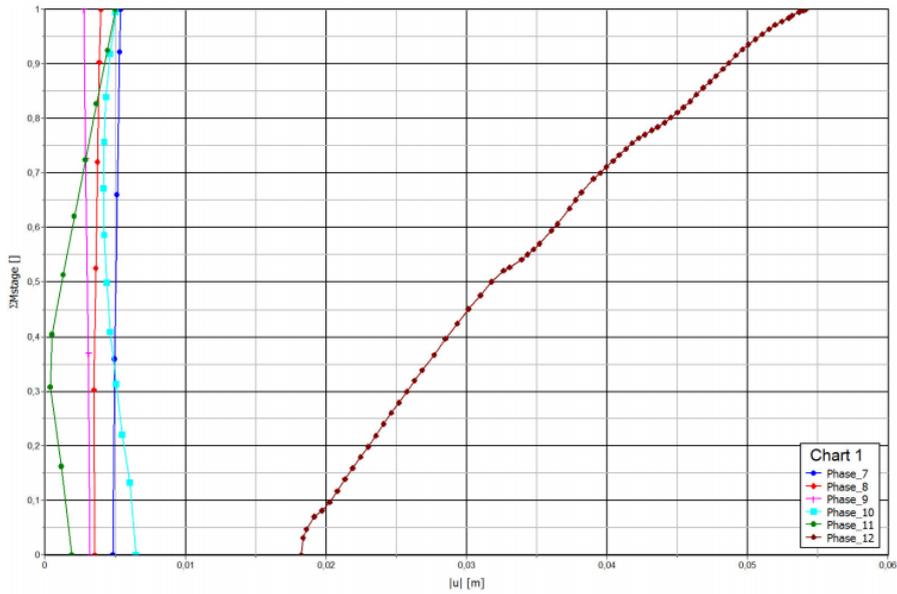


图 5 承载力极限状态下 $\sum M_{stage} - |u|$

如果承载力极限状态阶段成功的计算过去，那么就说明模型满足对应的设计方法。如果由于过大的变形，会怀疑模型是否安全，那么需要使用相同的设计方法，增加一步安全性计算，会得到稳定的大于 1 的 $\sum Msf$ 值。注意如果已经使用了分项系数，就没有必要使安全系数 $\sum Msf$ 大于 1 很多。因此，这种情况下 $\sum Msf$ 只要大于 1 就够了。图 6 显示了 $\sum M_{stage} - |u|$ 阶段 6 的安全性计算和对应的承载力极限状态（Phase 12）。因此可以得出结论这种设计方法符合要求。

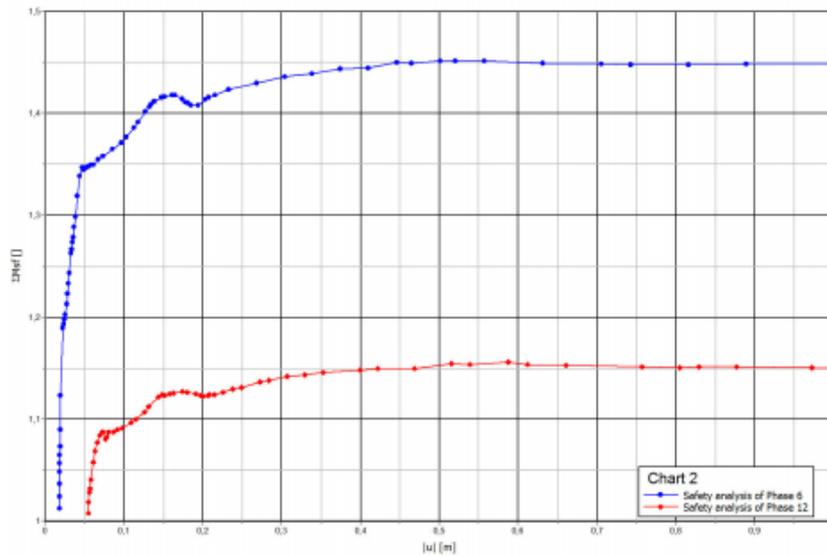


图 6 正常使用计算阶段和对应的承载力极限状态下 $\sum M_{stage} - |u|$

本教程到此结束！

岩土工程有限元分析软件

PLAXIS 2D 2015[®]

案例教程



北京筑信达工程咨询有限公司
北京市古城西街 19 号研发主楼 4 层, 100043

版 权

计算机程序 PLAXIS 及全部相关文档都是受专利法和版权法保护的产品。全球范围的所有权属于 Plaxis bv。如果没有 Plaxis 和北京筑信达工程咨询有限公司的预先书面许可，未经许可的程序使用或任何形式的文档复制一律禁止。

更多信息和此文档的副本可从以下获得：

北京筑信达工程咨询有限公司

北京市古城西街 19 号研发主楼 4 层 100043

电话：86-10-6892 4600

传真：86-10-6892 4600 - 8

电子邮件：support@cisec.cn

网址：www.cisec.cn

北京筑信达工程咨询有限公司版权所有©, 2015.

目录

大坝的渗流分析.....	1
1 输入.....	2
2 网格生成.....	3
3 计算.....	3
4 结果.....	7

大坝的渗流分析

本例讲解大坝的渗流分析。大坝顶部宽 2m。开始时河中水位 1.5m 深。堤田和水位线的高差为 3.5m。

图 1 显示了大坝的几何尺寸。地下水从左侧河流渗流到右侧堤田，因此会形成潜水位线。潜水位线的位置随着河流水位变化而变化。

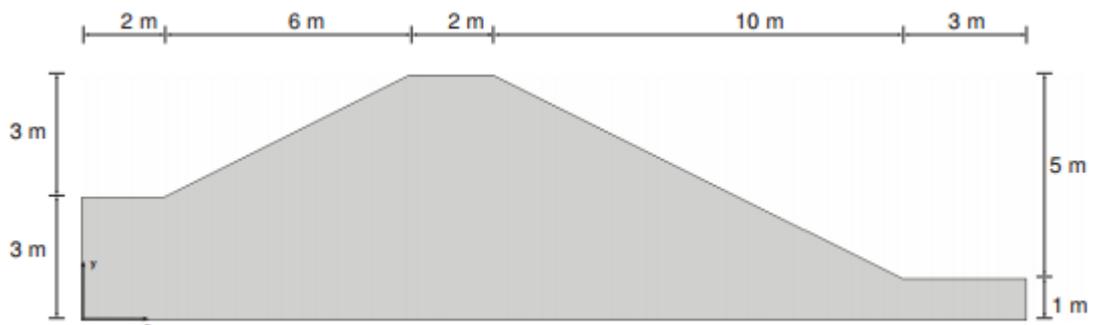


图 1 大坝的几何模型

目标:

- 仅地下水流动分析
- 使用剖面曲线功能

1 输入

创建几何模型，按照下列步骤：

1.1 一般设置

- 打开 PLAXIS 2D AE 程序。将会弹出快速选择对话框，选择一个新的工程。
- 在工程属性窗口的工程标签下，键入一个合适标题。
- 在模型标签下，模型（平面应变）和单元（15-Node）保持默认选项。
- 在几何形状设定框中设定土层模型尺寸 $X_{min}=0$ ， $X_{max}=23$ ， $Y_{min}=0$ ， $Y_{max}=6$ 。
- 点击 OK 即关闭工程属性窗口，完成设定。

1.2 土层定义

定义土层：

- 🚩 点击创建钻孔命令，在 $x=2$ 处单击，修改土层窗口将出现。
- 水位线位于 $y=4.5m$ 。在钻孔柱状图上边指定水头为 14.5m。
- 添加上层土并指定其高度，顶部 3m，底部 0m。
- 根据表 1 创建其它钻孔。

表 1 模型钻孔信息

钻孔编号	X 位置	水头	顶部	底部
1	2	4.5	3	0
2	8	4.5	6	0
3	10	4.5	6	0
4	20	4.5	1	0



打开材料设置窗口，为土层定义材料属性,并将材料给砂土赋值。

表 2 大坝（砂土）的材料属性

参数	名称	砂土	单位
一般			
材料模型	模型	线弹性	-
材料类型	类型	排水的	-
水位以上土体容重	γ_{unsat}	20	kN/m^3
水位以下土体容重	γ_{sat}	20	kN/m^3
参数			
黏聚力	E'	10000	kN/m^2
泊松比	ν'	0.3	-
流动参数			
材料设置	-	标准的	-
土类	-	中细	-
渗透系数默认	-	是的	-

水平渗透系数	k_x	0.02272	m/天
竖向渗透系数	k_y	0.02272	m/天

2 网格生成

- 切换到**网格模式**

 按照图 2 所示局部细化绿颜色线，将粗糙系数指定为 0.5.

 单击单元分布参数，在下拉菜单中选为细。

 生成的结果如图 3.

- 单击关闭按钮，关闭输出窗口。

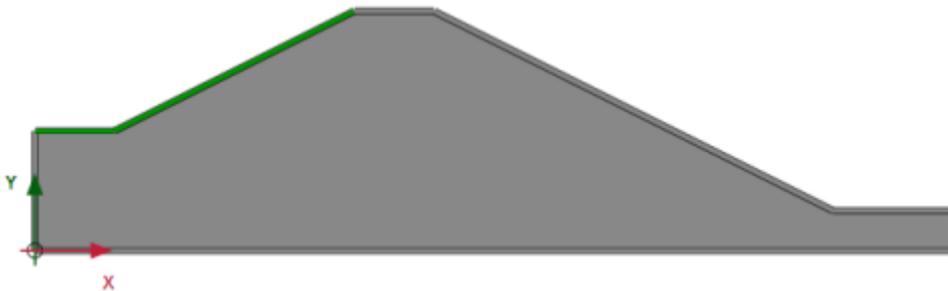


图 2 局部细化网格

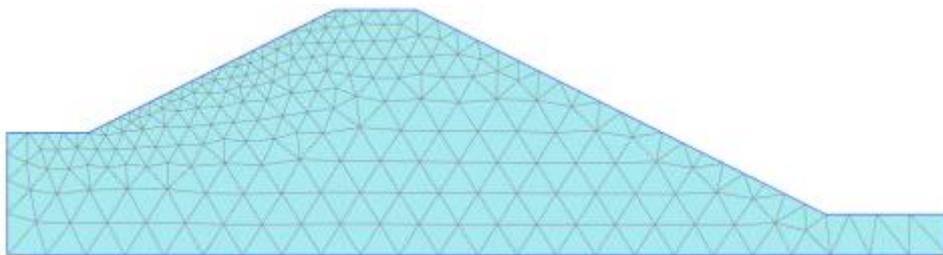


图 3 生成的网格

3 计算

这个项目主要分析地下水流动。计算过程包含三个阶段。初始阶段，计算平均河水位时稳态地下水流动。阶段 1，计算河水位简谐波变化下，瞬态地下水流动分析。阶段 2，计算过程和阶段 1 相似，只不过增加了时间间隔。

- 单击分步施工模式定义计算阶段。根据表 1，程序自动生成一个全局水位分步施工模式下的模型如图 4 所示。

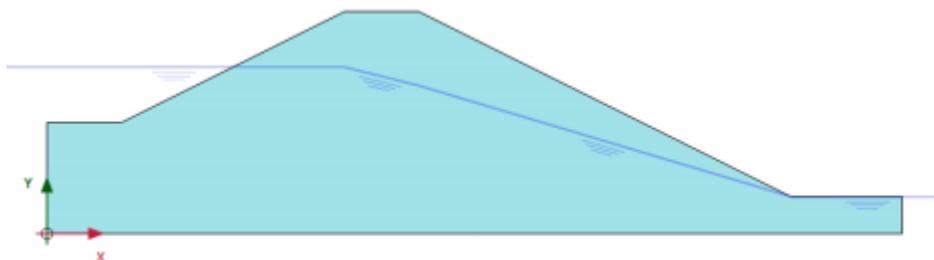


图 4 分步施工模式中的模型

提示：全局水位线内部的水位线会被地下水流动计算结果代替。

初始阶段

- 双击阶段浏览器中的初始阶段。
- 将阶段窗口一般标签计算类型选择仅地下水流动。
- 其他的值使用默认值。单击 OK 关闭阶段窗口。
- 展开模型浏览器中的模型条件菜单。
- 展开模型条件中的地下水流动标签。默认的边界如图 5 所示。本例使用默认边界条件。



图 5 初始阶段的地下水流动边界条件

- 模型浏览器展开地下水流动边界条件子目录。模型外部边界条件由程序自动定义。

提示：地下水流动边界条件下的子目录激活时，模型条件中指定的地下水流动将被忽略。

Phase 1



添加新的阶段。

- 双击阶段浏览器的当前阶段。
- 将阶段窗口一般标签孔隙水压力计算类型选择瞬态地下水流动。

- 设置时间间隔为 1 天。
- 数值控制参数标签设置最大储存步骤为 50.其余的值默认。
- 单击 OK 关闭阶段窗口。
- 单击竖向工具栏中选择多个对象按钮
- 选择线，并在下拉菜单中选择水力条件选项，如图 6 所示。

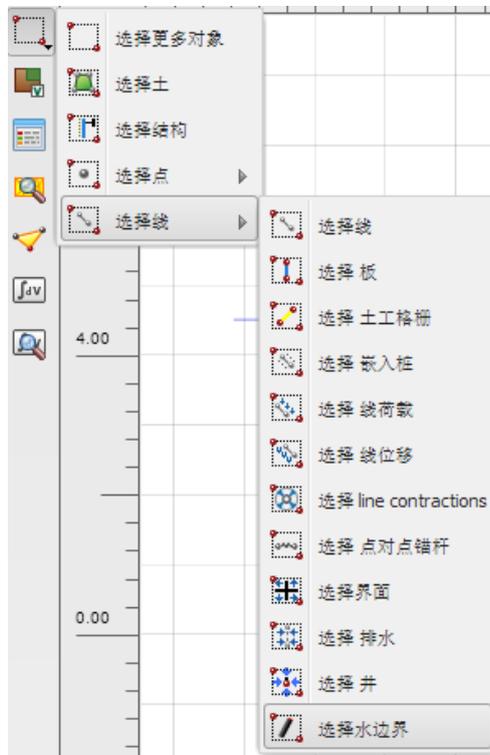


图 6 多选菜单中选择水边界

- 如图 7 选择水力边界。
- 右键并在出现的菜单中选择激活选项。

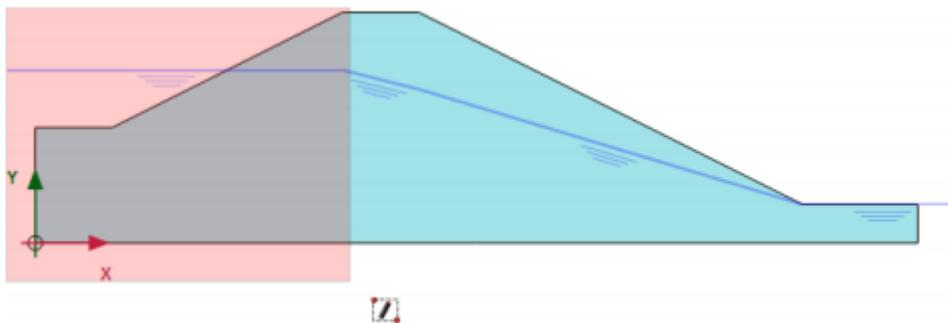


图 7 和时间相关的边界

- 在选择对象浏览器设置行为参数为水头。
- 设置 href=4.5。
- 在和与时间相关的下拉菜单中选择和时间相关选项
- 单击水头函数参数。

 添加一个新的水头函数。

- 在流动函数窗口信号选择简谐波选项。设置振幅为 1m，阶段为 0° ，间隔为 1 天，如图 8 所示。

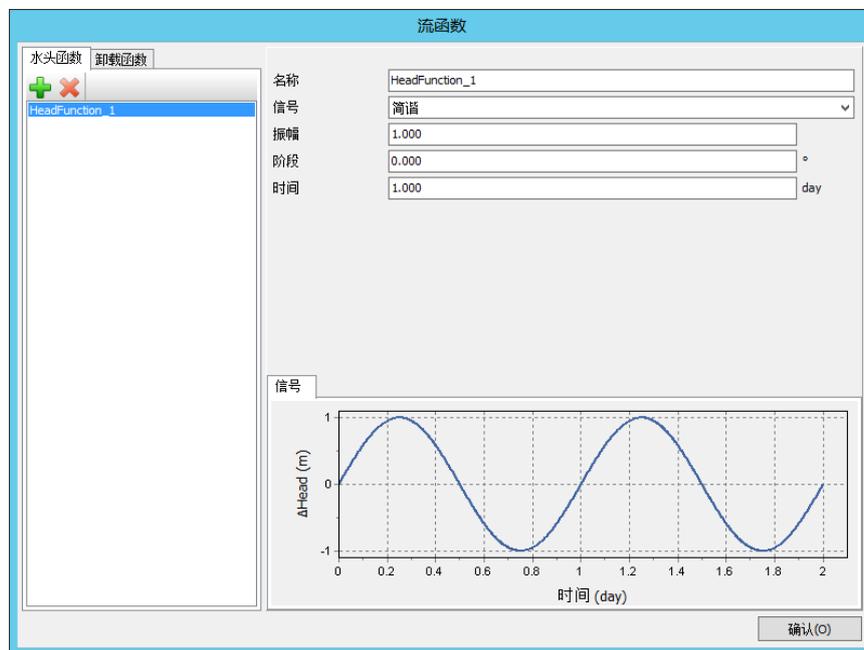


图 8 快速流动时的流动函数

- 单击 OK 关闭流动函数窗口。

Phase 2

 添加新的阶段。

- 双击阶段浏览器的当前阶段。
- 将阶段窗口一般标签起始阶段选择为初始阶段。
- 将孔隙水压力计算类型选择瞬态地下水流动。
- 设置时间间隔为 1 天。
- 数值控制参数标签设置最大储存步骤为 50.其余的值默认。
- 单击 OK 关闭阶段窗口。

 添加一个新的水头函数。

- 在流动函数窗口信号选择简谐波选项。设置振幅为 1m，阶段为 0° ，间隔为 10 天，如图 9 所示。
- 单击 OK 关闭流动函数窗口。

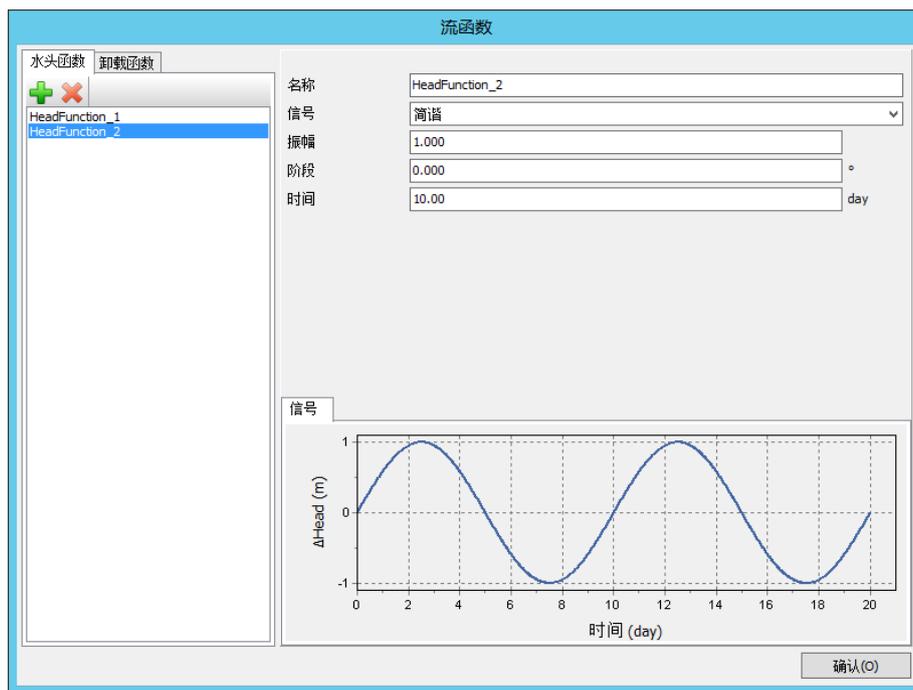


图 9 慢速流动时的流动函数

- 📍 单击生成曲线所需的点。输出窗口显示了单元节点连接图，并显示选择点窗口。
- 在选择点窗口中显示指定节点附近的节点。选中 (0 3) 和 (8 2.5) 附近的的节点。关闭选择点窗口。
- 单击更新标签关闭输出窗口并回到输入程序。

 计算项目。

 计算完成后保存项目。

4 结果

输出窗口使用生成动画工具可以动态显示计算结果。生成动画的步骤如下：

- 选择应力菜单中孔隙水压力<地下水水头。
- 选择温建成菜单中生成动画选项。弹出对应窗口。
- 定义动画文件的名称和保存位置。默认情况下，动画文件名称和项目名称一致，保存位置和项目文件保存位置一致。对比孔隙水压力或者渗流场的变化同样也可以生成动画。
- 不要勾选初始阶段和阶段 2，这样动画中只有阶段 1。生成动画窗口如图 10 所示。

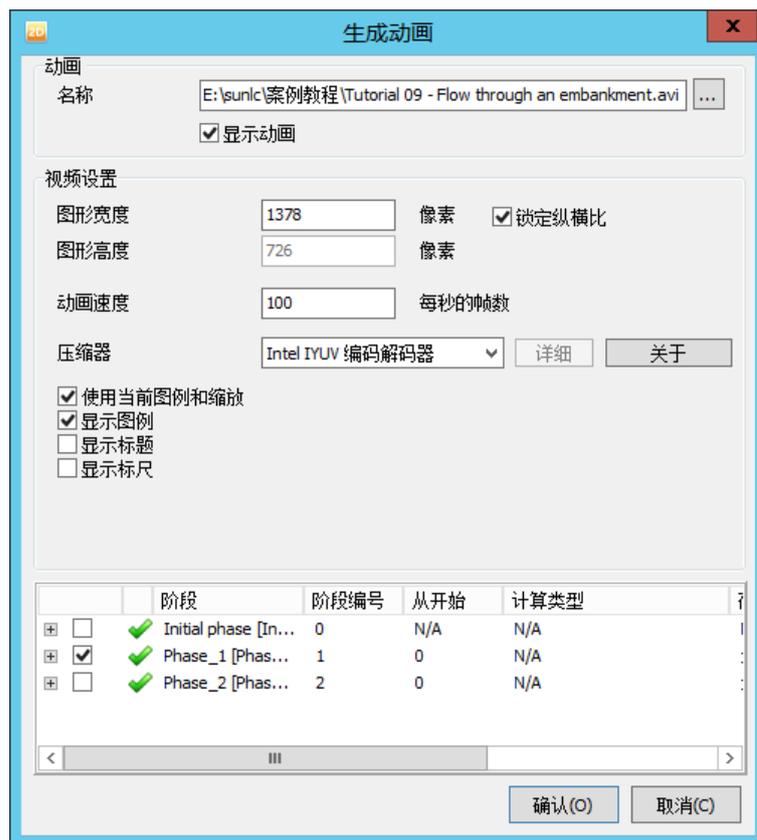


图 10 生成动画窗口

利用剖面查看计算结果：

单击竖向工具栏中剖面按钮。弹出剖面点窗口，定义剖面的起点和终点坐标。画一个通过点（2 3）和（20 1）的剖面。在新的窗口中以剖面形式显示计算结果。

- 在剖面视图中选择应力菜单中孔隙水压力<Pactive。
- 选择工具菜单中剖面曲线选项。弹出剖面曲线窗口。
- 为阶段 2 做相同的操作。这可能需要 30 秒。
- 可以对比在一个指定剖面以简谐波变化下不同时间间隔的计算结果。如图 11 和图 12 所示。

可以看出外部水位变化较慢情况下对大坝的孔隙水压力有更大的影响并且影响距离更远。

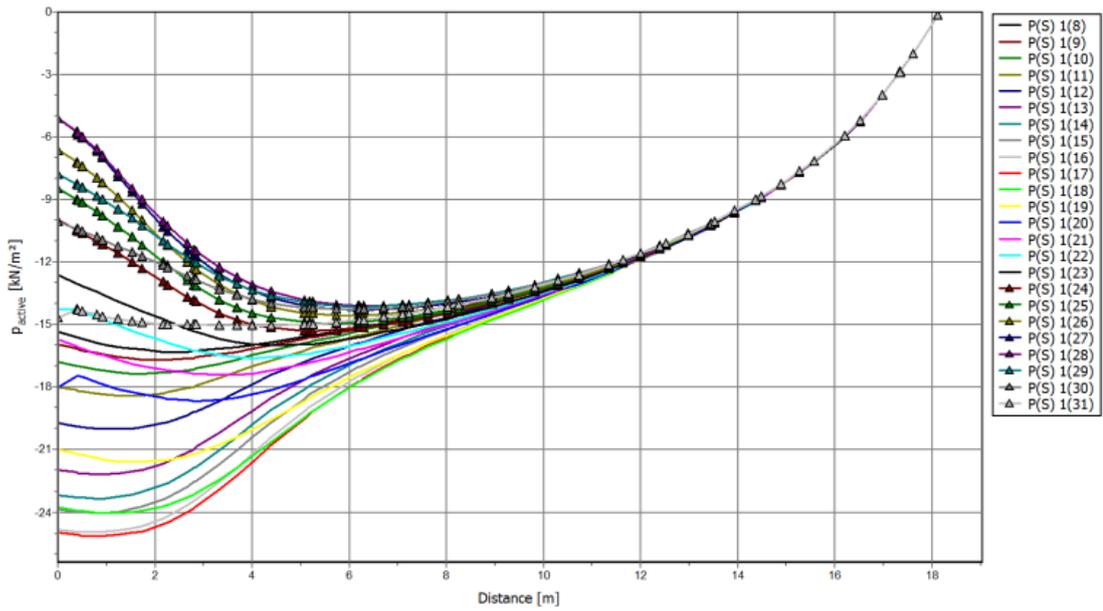


图 11 阶段 1 剖面的主动孔隙水压力变化

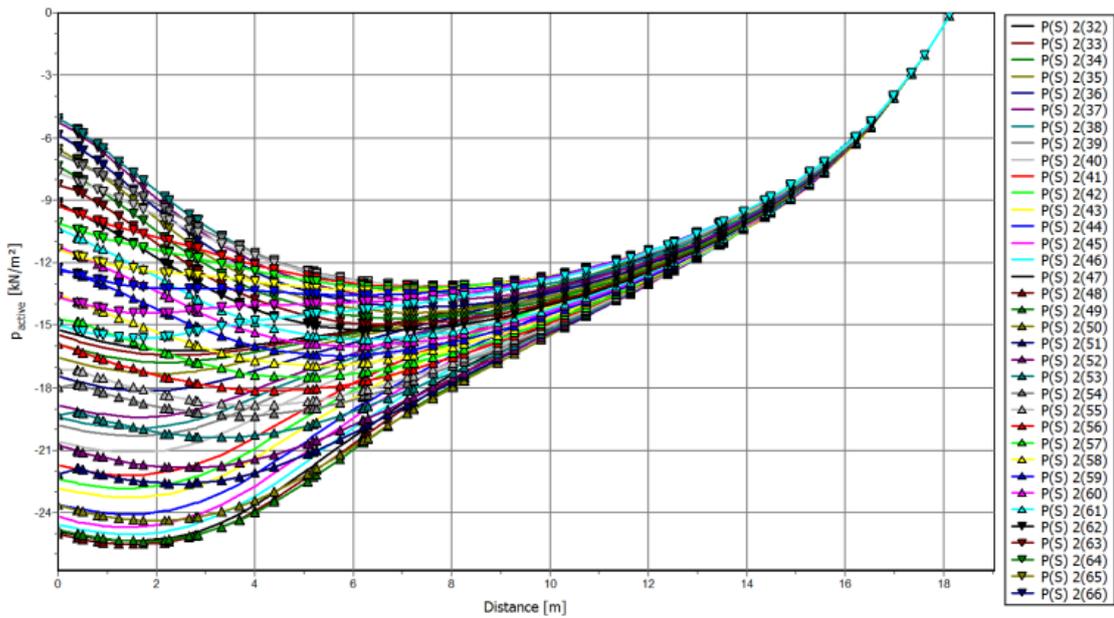


图 12 阶段 2 剖面的主动孔隙水压力变化

本教程到此结束！

岩土工程有限元分析软件

PLAXIS 2D 2015[®]

案例教程



北京筑信达工程咨询有限公司
北京市古城西街 19 号研发主楼 4 层, 100043

版 权

计算机程序 PLAXIS 及全部相关文档都是受专利法和版权法保护的产品。全球范围的所有权属于 Plaxis bv。如果没有 Plaxis 和北京筑信达工程咨询有限公司的预先书面许可，未经许可的程序使用或任何形式的文档复制一律禁止。

更多信息和此文档的副本可从以下获得：

北京筑信达工程咨询有限公司

北京市古城西街 19 号研发主楼 4 层 100043

电话：86-10-6892 4600

传真：86-10-6892 4600 - 8

电子邮件：support@cisec.cn

网址：www.cisec.cn

北京筑信达工程咨询有限公司版权所有©, 2015.

目录

板桩墙渗流分析.....	1
1 输入.....	2
2 网格生成.....	2
3 计算.....	3
4 结果.....	4

板桩墙渗流分析

本例分析板桩墙渗流。使用预应力锚索+挡墙支护结构的基坑降水开挖的几何模型。本例将分析井的特性。

目标:

- 使用井

1 输入

创建几何模型，按照下列步骤：

- 打开预应力锚索+挡墙支护结构的基坑降水开挖。
- 用另外一个名字保存项目（例如“板桩墙渗流分析”）。材料参数不变，使用的地下水参数如表 1。

表 1 土的材料属性

参数	名称	淤泥	砂	亚粘土	单位
地下水					
数据组	-	USDA	USDA	USDA	-
模型	-	Van Gunuchten	Van Gunuchten	Van Gunuchten	-
土类	-	淤泥	砂	亚粘土	-
>2 μm	-	6.0	4.0	20.0	%
2 μm -50 μm	-	87.0	4.0	40.0	%
50 μm -2mm	-	7.0	92.0	40.0	%
设置参数为默认	-	Yes	Yes	Yes	-
水平方向渗透系数	k_x	0.5996	7.128	0.2497	m/day
竖直方向渗透系数	k_y	0.5996	7.128	0.2497	m/day

 单击结构模式竖向工具栏中的创建水利条件按钮。

 在出现的菜单中选择创建井选项。

- 单击（42 23）和（42 20）绘制第一个井
- 单击（58 23）和（58 20）绘制第一个井

2 网格生成

- 切换到**网格模式**

 使用默认的单元分布参数（中等）。

 生成的结果如图 1。

- 单击关闭按钮，关闭输出窗口。

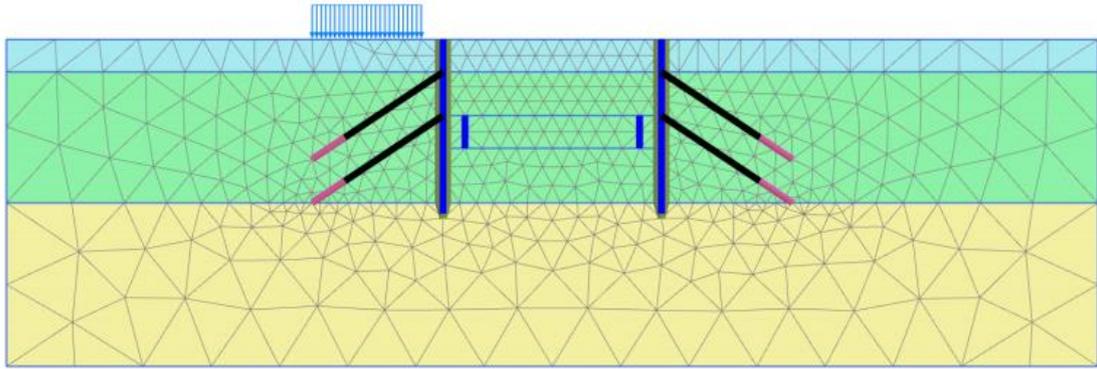


图 1 生成的网格

3 计算

- 单击分步施工模式定义计算阶段，本项目仅进行地下水流动计算。



在阶段浏览器中删除已经存在的阶段（阶段 1 到 6）

初始阶段

这个阶段考虑初始的稳态孔压分布。定义过程如下：

- 阶段窗口一般标签计算类型中选择仅地下水流动。
- 其他参数使用默认选项。
- 使用默认的地下水流动边界。仅模型底部的边界（边界 Ymin）是关闭的，其余边界都是打开的。
- 根据钻孔中指定的水头生成水位，默认指定为全局水位。

Phase 1

这个阶段将水位降低至开挖面 $y=20\text{m}$ 。这对应预应力锚索+挡墙支护结构的基坑降水开挖最终开挖面的位置。



添加新的阶段。

- 阶段窗口一般标签计算类型默认为仅地下水流动。
- 孔压计算类型默认使用（稳态地下水流动）。
- 在分步施工模式模式中激活墙的界面。
- 选中模型中所有的井并激活他们。
- 选择浏览器中井的行为默认设置为抽水。
- 设置排水量为 $0.7\text{m}^3/\text{day}/\text{m}$ 。
- 设置水头高度为 20m 。这意味着，只要地下水水头高于 20m ，水将要被抽走。图 2 显示了选中浏览器中需要为井指定的参数。

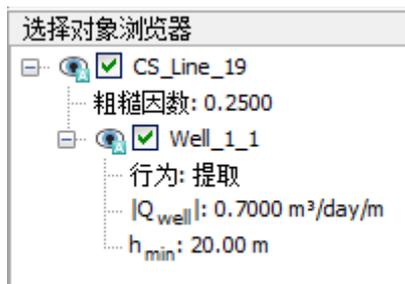


图 2 井属性

 计算项目。

 计算完成后保存项目。

4 结果

显示渗流场：

- 在阶段下拉菜单中选择阶段 1。
- 从应力菜单中选择地下水流动 $\ll |q|$ 。图 3 以缩放（5 倍）显示计算结果。

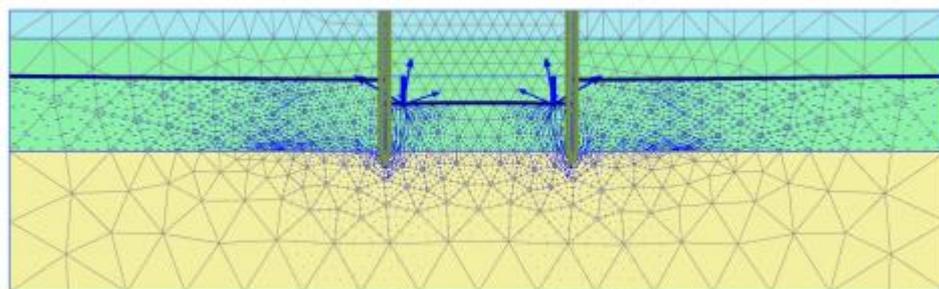


图 3 阶段 1 计算渗流场结果

从应力菜单中选择孔压力 \ll 主动孔隙压力 p_{active} 。对比预应力锚索+挡墙支护结构的基坑降水开挖阶段 6 的结果。

图 4、图 5 显示了两个项目当基坑内水位线在 $y=20m$ 时主动孔隙压力 p_{active} 的计算结果。

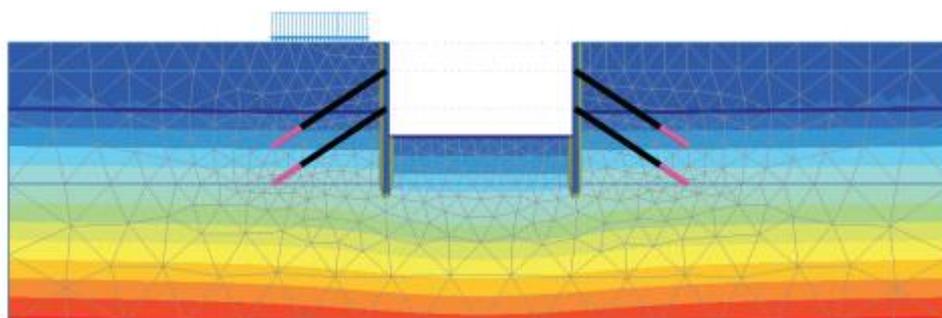


图 4 主动孔隙水压力（预应力锚索+挡墙支护结构的基坑降水开挖阶段 6）

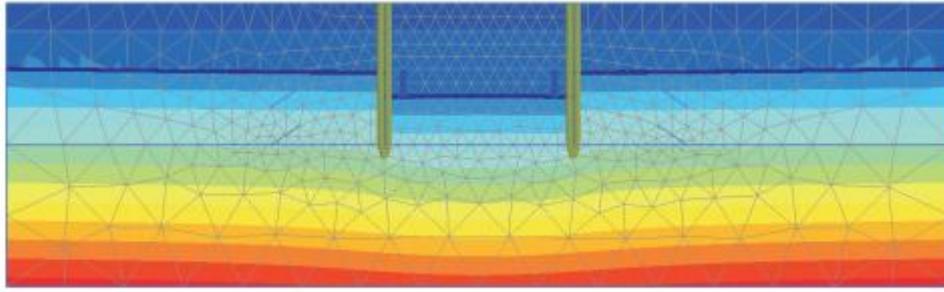


图 5 主动孔压力（当前项目阶段 1）

本教程到此结束！

岩土工程有限元分析软件

PLAXIS 2D 2015[®]

案例教程



北京筑信达工程咨询有限公司
北京市古城西街 19 号研发主楼 4 层, 100043

版 权

计算机程序 PLAXIS 及全部相关文档都是受专利法和版权法保护的产品。全球范围的所有权属于 Plaxis bv。如果没有 Plaxis 和北京筑信达工程咨询有限公司的预先书面许可，未经许可的程序使用或任何形式的文档复制一律禁止。

更多信息和此文档的副本可从以下获得：

北京筑信达工程咨询有限公司

北京市古城西街 19 号研发主楼 4 层 100043

电话：86-10-6892 4600

传真：86-10-6892 4600 - 8

电子邮件：support@cisec.cn

网址：www.cisec.cn

北京筑信达工程咨询有限公司版权所有©, 2015.

目录

降雨过程中渗流分析.....	1
1 输入.....	2
2 网格生成.....	4
3 计算.....	4
4 结果.....	7

降雨过程中渗流分析

本例展示 PLAXIS 在农业问题中的适用性。该田地主要由砂土层和上覆沃土层组成。沟渠中的初始水位条件不变。降雨和蒸发随天气条件变化，该计算旨在预测分析在降雨条件下沃土层中含水量的变化情况。降雨条件通过施加和时间相关的边界条件。

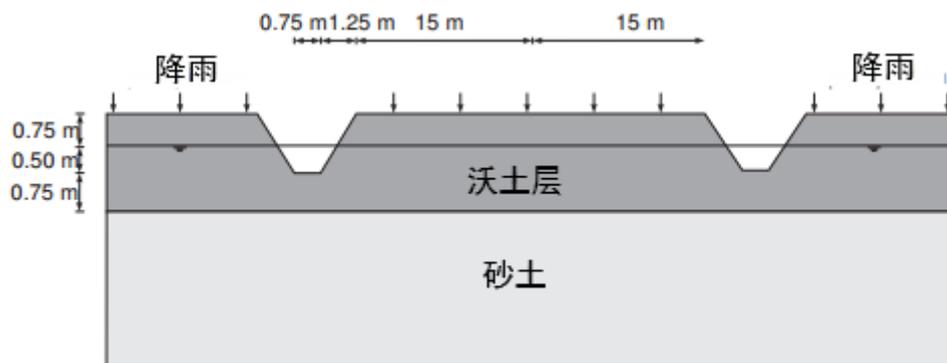


图 1 农田几何模型

目标:

- 定义降雨

1 输入

鉴于问题的对称性，建模时我们取宽为 15m，如图 1 所示。上覆沃土层厚 2m，砂土层深 3m。

创建几何模型，按照下列步骤：

1.1 一般设置

- 打开 PLAXIS 2D AE 程序。将会弹出快速选择对话框，选择一个新的工程。
- 在工程属性窗口的工程标签下，键入一个合适标题。
- 在模型标签下，模型（平面应变）和单元（15-Node）保持默认选项。
- 在几何形状设定框中设定土层模型尺寸 $X_{min}=0$ ， $X_{max}=15$ ， $Y_{min}=0$ ， $Y_{max}=5$ 。
- 点击 OK 即关闭工程属性窗口，完成设定。

1.2 土层定义

由于模型的几何问题，需要修改捕捉选项。



单击底部工具栏中捕捉选项

- 在弹出的窗口中设置间隔数为 100，如图 2 所示。
- 单击 OK，关闭捕捉窗口。

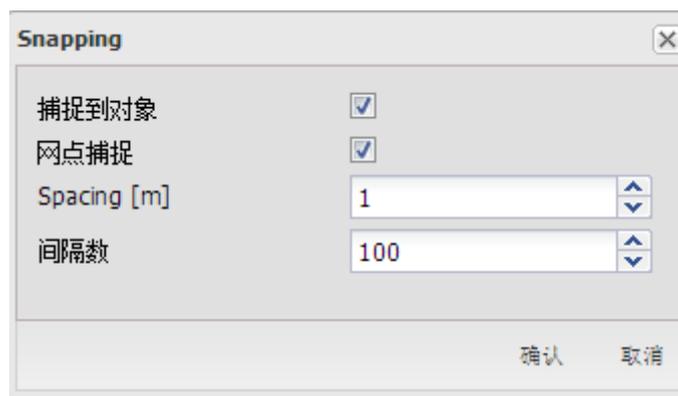


图 2 捕捉选项

定义土层：

- 创建两个钻孔命令，分别在 $x=0.75$ 和 $x=2$ 处。
- 在修改土层窗口添加两层土。
- 第一个钻孔，设置上层土顶部 3.75m，底部 3m，底层土设置底部为 0m。
- 第二个钻孔，设置上层土顶部 5m，底部 3m，底层土设置为底部为 0m。
- 两个钻孔水位线都位于 $y=4.25m$ 。图 3 显示了修改水位线窗口中土层信息。

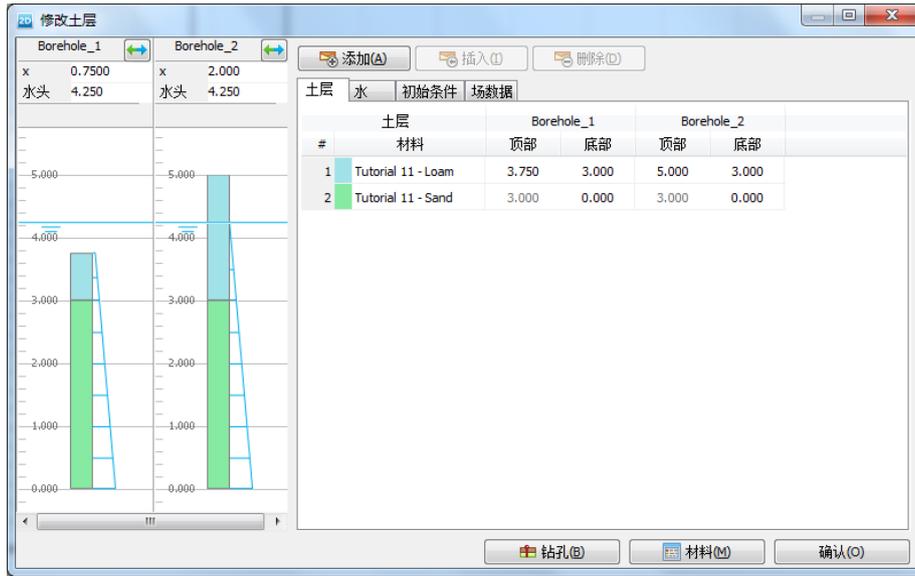


图 3 修改土层窗口中土层信息



根据表 1，创建材料数据。

- 按表 1 中的参数定义土层并分别指定给相应土层。

表 1 土的材料属性

参数	名称	沃土	砂土	单位
一般				
材料模型	模型	线弹性	线弹性	-
材料类型	类型	排水	排水	-
水位以上土体容重	γ_{unsat}	19	20	kN/m ³
水位以下土体容重	γ_{sat}	19	20	kN/m ³
流动参数				
数据设置	类型	Staring	Staring	-
模型	-	Van Genuchten	Van Genuchten	-
上/下层土	-	上层土	下层土	-
类型	-	亚粘土	壤质砂土	-
设置参数为默认值	-	是的	是的	-
水平渗透系数	k_x	0.01538	0.1270	m/day
竖向渗透系数	k_y	0.01538	0.1270	m/day

2 网格生成

- 切换到网格模式
- 多选代表模型的上边界（如图 4 所示）。
- 将选择浏览器中的粗糙系数设置为 0.5.

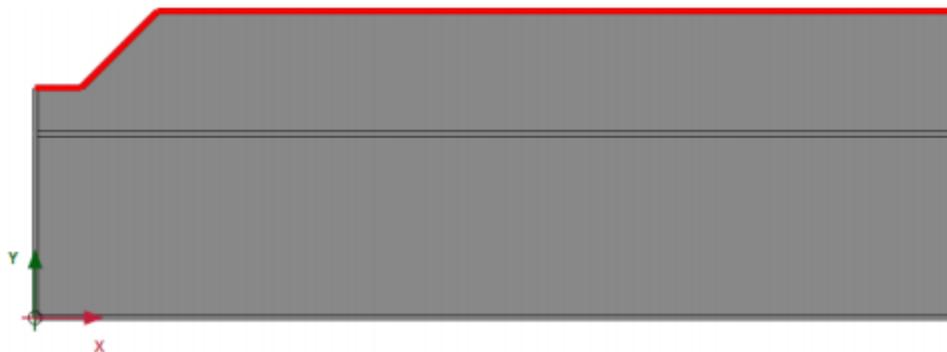


图 4 模型上边界

 使用默认的单元分布参数（中等）。

 生成的结果如图 5.

- 单击关闭按钮，关闭输出窗口。

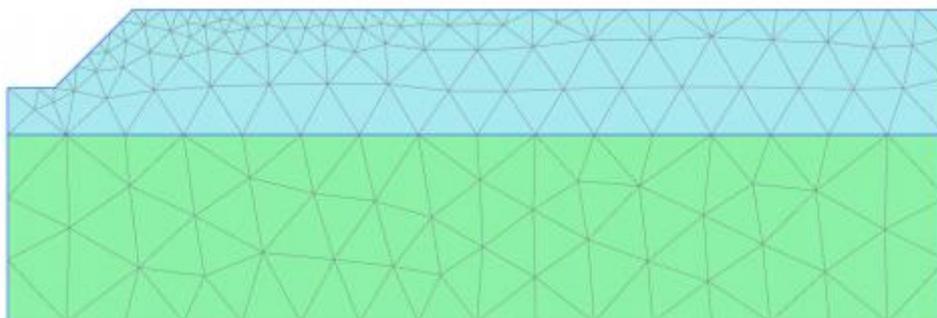


图 5 农田网格

3 计算

计算过程包含两个阶段。初始阶段，稳态地下水流动计算。阶段 1，瞬态地下水流动计算。

初始阶段

- 切换到分步施工模式，本阶段进行仅流动计算。
- 阶段窗口一般标签计算类型选择仅流动计算选项。
- 其余值使用默认值，单击 OK 按钮关闭阶段窗口。
- 右键模型底部边界并在下拉菜单中选择激活选项。

- 在选择浏览器中地下水流动边界条件行为选择水头，并设置高度 h_{ref} 为 3m，如图 6 所示。



图 6 模型底部边界条件

- 展开模型浏览器中模型条件子目录树。
- 展开地下水流动标签，设置边界 Xmin 和 Xmax 为关闭。
- 展开水子目录，将钻孔水位指定为全局水位。

瞬态渗流阶段

瞬态渗流阶段定义和时间相关的降雨变化。



添加新的阶段。

- 阶段窗口一般标签孔压计算类型选择瞬态地下水流动计算选项。
- 设置时间间隔为 15 天。
- 数值控制参数子目录设置最大储存步骤为 250。
- 其余值使用默认值，单击 OK 按钮关闭阶段窗口。

定义降雨量函数。

- 模型浏览器展开属性库子目录。
- 右键选择流动函数并选择编辑选项。弹出流动函数窗口。
- 在排泄量函数标签中添加一个新的函数。
- 为函数指定一个名字并在信号下拉菜单选择表选项。
- 单击添加列按钮，添加新列。按照表 2 完成输入。

表 2 降雨量数据

ID	Time [day]	$\Delta Discharge [m^3/day/m]$
1	0	0
2	1	$1 \cdot 10^{-2}$
3	2	$3 \cdot 10^{-2}$
4	3	0
5	4	$-2 \cdot 10^{-2}$
6	5	0
7	6	$1 \cdot 10^{-2}$
8	7	$1 \cdot 10^{-2}$
9	8	0
10	9	$-2 \cdot 10^{-2}$
11	10	$-2 \cdot 10^{-2}$
12	11	$-2 \cdot 10^{-2}$
13	12	$-1 \cdot 10^{-2}$
14	13	$-1 \cdot 10^{-2}$
15	14	0
16	15	0

- 图 7 显示了定义好的降雨函数。单击 OK 关闭窗口。

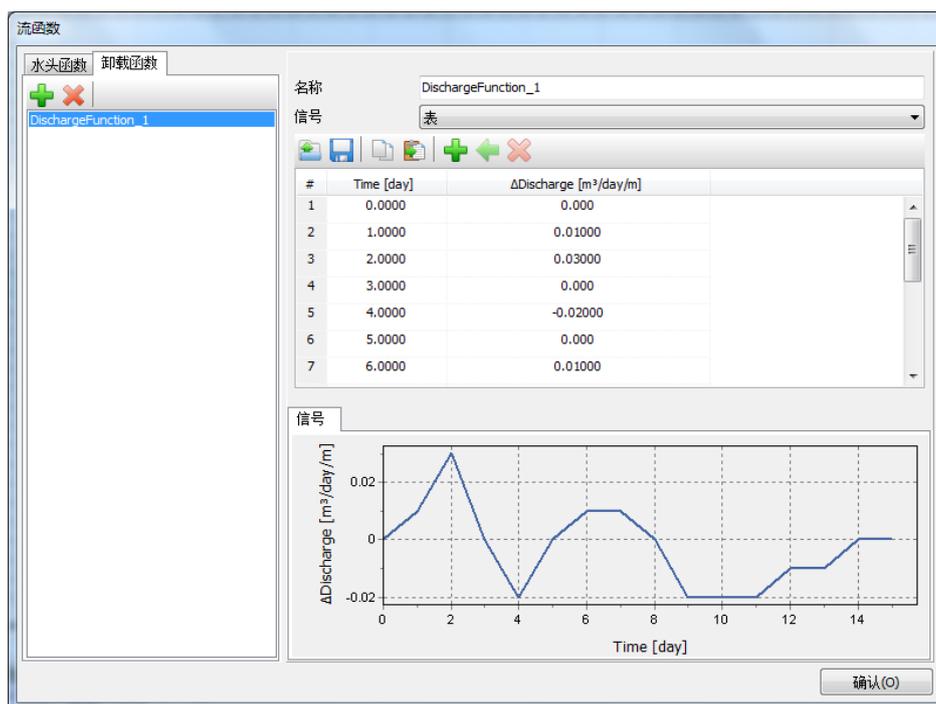


图 7 流动函数窗口显示降雨数据和图形

- 模型浏览器<<模型条件展开降雨子目录树并激活它。排泄量默认值 q 和条件参数 $\psi_{min}=-1m$ 和 $\psi_{max}=0.1m$ 使用默认值。
- 降雨选项子目录树中选择和时间相关选项,并指定刚才定义好的函数,如图 8 所示。



图 8 模型浏览器中降雨选项

 计算项目。

 计算完成后保存该项目。

4 结果

计算主要关注降雨过程中农田的饱和度情况，查看计算结果：

- 应力菜单中选择地下水流动-饱和度。
- 双击图例，弹出图例设置窗口，定义的设置如图 9。



图 9 设置值

PLAXIS 2D 2015 案例教程：降雨过程中渗流分析

- 图 10 显示了最后时间步饱和度的空间分布。
- 为了更好的查看计算结果可以创建瞬态渗流阶段的动画。
- 也可以再 $x=4\text{m}$ 的位置创建一个垂直断面，并绘制孔隙水压力和饱和度的断面曲线。

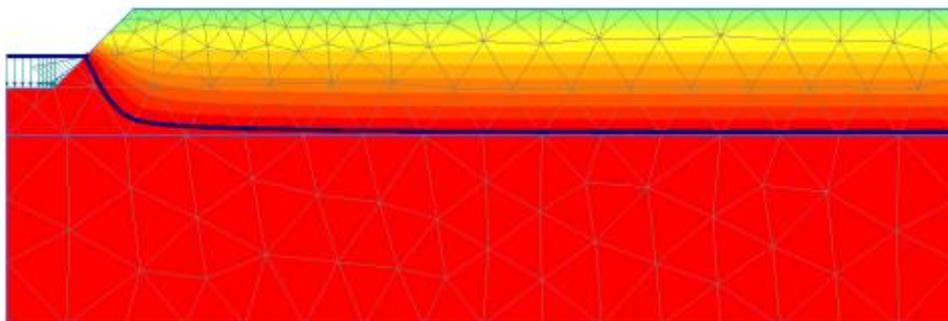


图 10 15 天时场地饱和度

本教程到此结束！

目录

发电机对弹性基础的动力影响分析.....	1
1.1 输入.....	2
1.2 生成网格.....	4
1.3 计算.....	4
1.4 结果.....	8

发电机对弹性基础的动力影响分析

使用 PLAXIS 可以模拟土与结构相互作用的动力效应。本例研究振动源对周围土体的动力影响。振动源是一个发电机，固定在直径为 1m，厚度为 0.2m 的混凝土基础上，如图 1.1 所示。发电机激发的振动通过基础传递给周围土层。

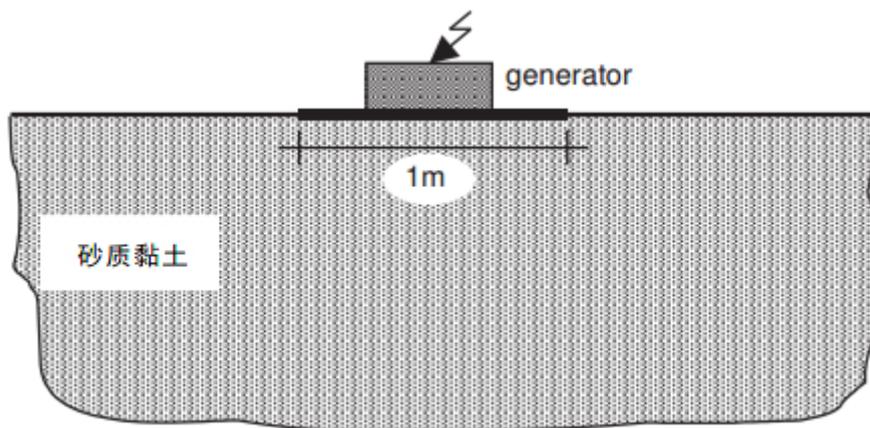


图 1.1 研究问题的几何尺寸

用瑞利阻尼来考虑由粘滞作用引起的物理阻力。同时由于径向波的传播，几何阻尼对减弱振动有明显作用。

边界条件的模拟是动力计算的关键点之一。为了避免在模型边界上产生伪波反射（实际情况中不存在），需要施加特殊的边界条件吸收到达边界的振动波。

目标：

- 动力分析
- 定义动力荷载
- 使用瑞利阻尼定义材料阻尼

1.1 输入

1.1.1 一般设置

- 打开 PLAXIS 2D AE 软件，在出现的快速选择对话框中选择一个新的项目。
- 在工程属性窗口的工程标签下，键入一个合适标题。
- 由于是三维问题，使用轴对称模型。在模型标签下，模型(轴对称)和单元(15-Node)保持默认选项。
- 保持单位和一般设置框为默认值。
- 在几何形状设定框中设定土层模型尺寸 $x_{min}=0$, $x_{max}=20$, $y_{min}=0$, $y_{max}=20$ 。
- 点击 OK 即关闭工程属性窗口，完成设定。

提示：模型边界距离关注区域应该足够远，以避免可能产生的反射波的干扰。尽管我们采取了特殊的措施(吸收波边界)来避免伪波反射，但仍会存在一些小的影响，因此将边界设置足够远是一个好的习惯。对于边界范围，动力分析要比静力分析的远。

1.1.2 土层定义

利用钻孔生成地基土层，模型中考虑 10m 厚的土层，地下水位 $y=0$ 。本例不考虑地下水的情况。定义土层：

-  在 $x=0$ 处创建第一个钻孔。
- 修改土层窗口将出现。土层的顶部=0 和底部=-10。
- 水头高度 $y=0$ m。



打开材料设置窗口。

- 根据表 1.1 定义土层材料属性。土层为砂质黏土，认为是弹性的。赋予土的弹性模型的值相对很高，这是因为动态分析时，动力荷载施加的非常快且因其土的变形非常小，土的刚度要比静态的大。建议土的单位重量是饱和重度，忽略地下水的存在。
- 关闭修改土层窗口，切换到结构模式定义结构单元。

表 1.1 土层材料属性

参数	名称	地基土	单位
一般			
材料模型	模型	线弹性	-
材料类型	类型	排水的	-
水位以上土体容重	γ_{unsat}	20	kN/m^3
水位以下土体容重	γ_{sat}	20	kN/m^3
参数			
弹性模量	E'	50000	kN/m^2

泊松比	ν'	0.3	-
初始条件			
K_0	-	manual	-
静止侧压力系数	$K_{0,y}$	0.5	-

提示：当使用摩尔库伦或线弹性模型时， V_p 和 V_s 根据弹性参数和土的重度计算。 V_p 和 V_s 也可以输入；接着弹性参数自动计算。详细信息请查看参考手册弹性参数和波速关系相关章节。

1.1.3 定义结构单元

在结构模式中定义发电机：

 指定点 (0,0) 至 (0.5,0) 创建板，代表基础。

 打开材料设置窗口。

- 根据表 1.2 定义基础材料属性。基础假定为弹性材料，重度为 5kN/m^3 。

表 1.2 板的材料属性

参数	名称	建筑	单位
材料类型	类型	弹性；各向同性	-
轴向刚度	EA	7.6×10^6	kN/m
抗弯刚度	EI	2.4×10^4	kNm^2/m
重度	w	5	kNm/m^3
泊松比	ν	0	-

施加分布荷载模拟发电机的重量以及由它产生的振动。荷载的真实值后面在定义。施加后的模型如图 1.2。

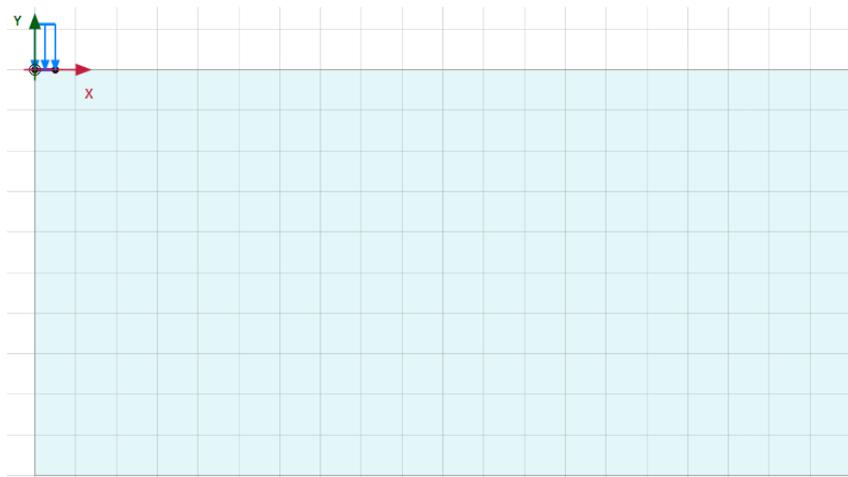


图 1.2 模型

1.2 生成网格

- 切换标签进入网格模式
- 🎮 划分网格。使用单元分布参数默认选项。
- 🔍 查看网格，生成的网格如图 1.3.
- 单击关闭按钮退出输出程序。

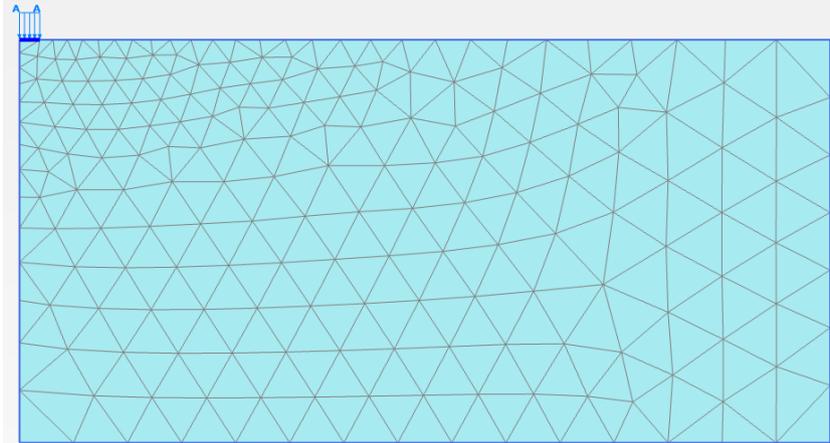


图 1.3 生成的网格

1.3 计算

计算分四个阶段，在分步施工模式中定义。

初始阶段

程序默认在阶段浏览器添加了初始阶段，本例使用默认的设置。

Phase 1

- ➕ 添加新的阶段，使用默认的设置。
- 激活基础。
- 激活分布荷载的静力部分。在选择浏览器中修改 $q_{y,start,ref}$ 值设置为-8 kN/m/m.不要激活动力荷载部分。如图 1.4

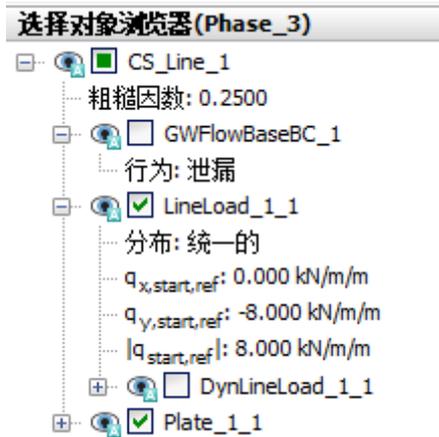


图 1.4 选择浏览器指定静力部分荷载

阶段 2

这个阶段，施加垂直方向简谐波，振动简谐波模拟频率为 10Hz，振幅 10 kN/m²。总的的时间间隔为 0.5 秒，5 个循环。

 添加新的阶段。

 阶段浏览器中一般子目录下计算类型选择动力分析。

- 设置动力时间间隔为 0.5 秒。
- 在阶段窗口变形控制参数子目录，选中重置位移为零。其它值默认。
- 展开模型浏览器的属性库子目录。
- 右键动力乘子子目录并在出现的菜单中选择编辑。将弹出乘子窗口。
- 单击荷载乘子标签。

 为荷载添加一个乘子。

- 定义信号为简谐波，振幅为 10，阶段为 0°，频率为 10Hz，如图 1.5。

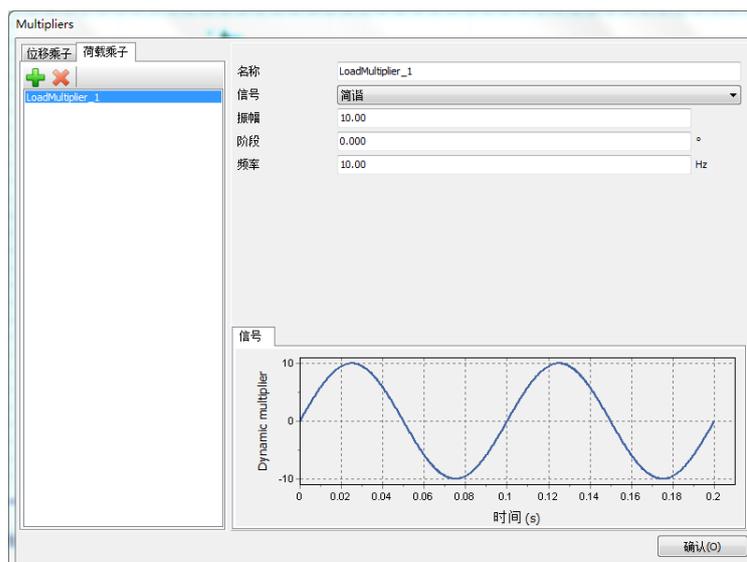


图 1.5 定义简谐波乘子

在**选择浏览器**中，激活动力荷载部分。

- 指定荷载 $(q_x, q_y) = (0, -1)$ 。单击乘子_y，从下拉菜单中选择 **LoadMultiplier_1**，如图 1.6。

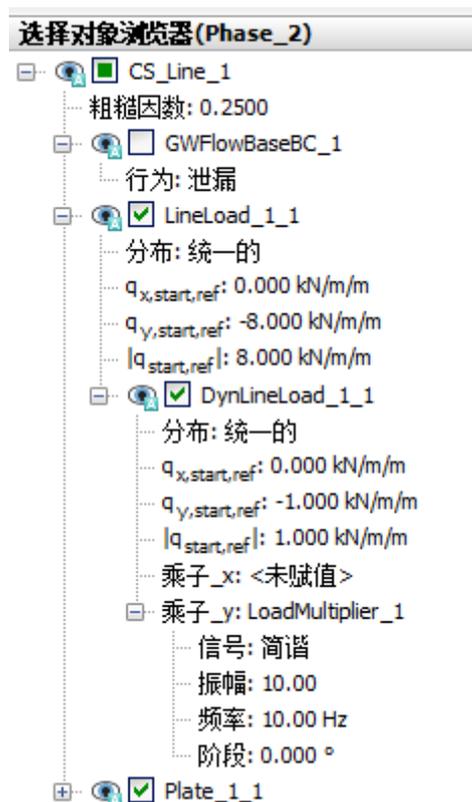


图 1.6 选择浏览器指定动力荷载部分

提示：动力乘子既可以在激活模式又可以在计算模式中指定。

实际上土是半无限介质，因此需要定义特殊的边界条件。如果没有这些特殊的边界条件，振动波将在模型边界上发生反射，造成扰动。为了避免这种不真实的反射，要在 Xmax, Ymin 处指定粘性边界。在模型浏览器中的模型条件下的动力子目录中指定动力边界条件，如图 1.7。

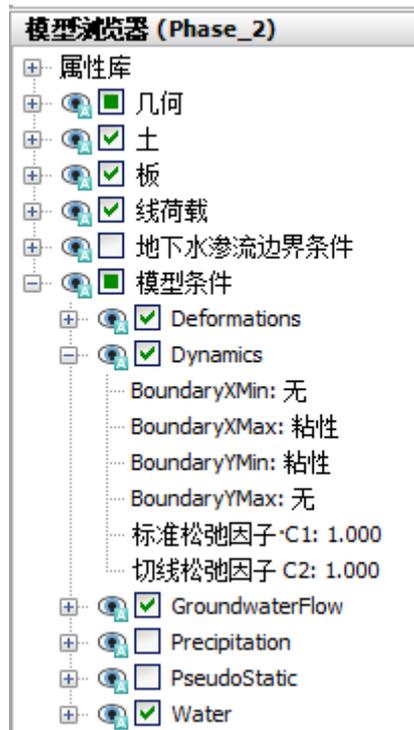


图 1.7 模型浏览器模型条件下动力边界

Phase 3

 添加新的阶段。

 阶段浏览器中一般子目录下计算类型选择动力分析。

- 设置动力时间间隔为 0.5 秒。
- 在分步施工模式中冻结面荷载的动力荷载。但是静力荷载仍然处于激活状态。这个阶段的动力边界条件和前述一样。

 选择为曲线生成的点地面点（如（1.40），（1.90），（3.60））。

 通过单击分步施工模式中的计算按钮，计算该项目。

 计算完成后保存项目。

1.3.1 考虑阻尼的计算

PLAXIS 2D AE 案例教程：发电机对弹性基础的动力影响分析

在第二次计算中,通过瑞利阻尼的形式引入材料阻尼。瑞利阻尼可以在材料组中进行输入。步骤如下:

- 用另一名字保存项目。
- 打开土体材料组窗口。
- 在一般页面中点击瑞利 α 参数框。注意一般页面右伴部分显示单自由度等效框。
- 设置两个目标的 ξ 参数均为 5%。
- 分别将目标 1 和目标 2 的频率值设为 9 和 11。
- 点击瑞利参数的其中一个定义框。程序自动计算出 α 和 β 值。
- 点击确定, 关闭数据组。
- 查看各计算阶段是否正确定义(根据前面给出的信息), 然后开始计算。

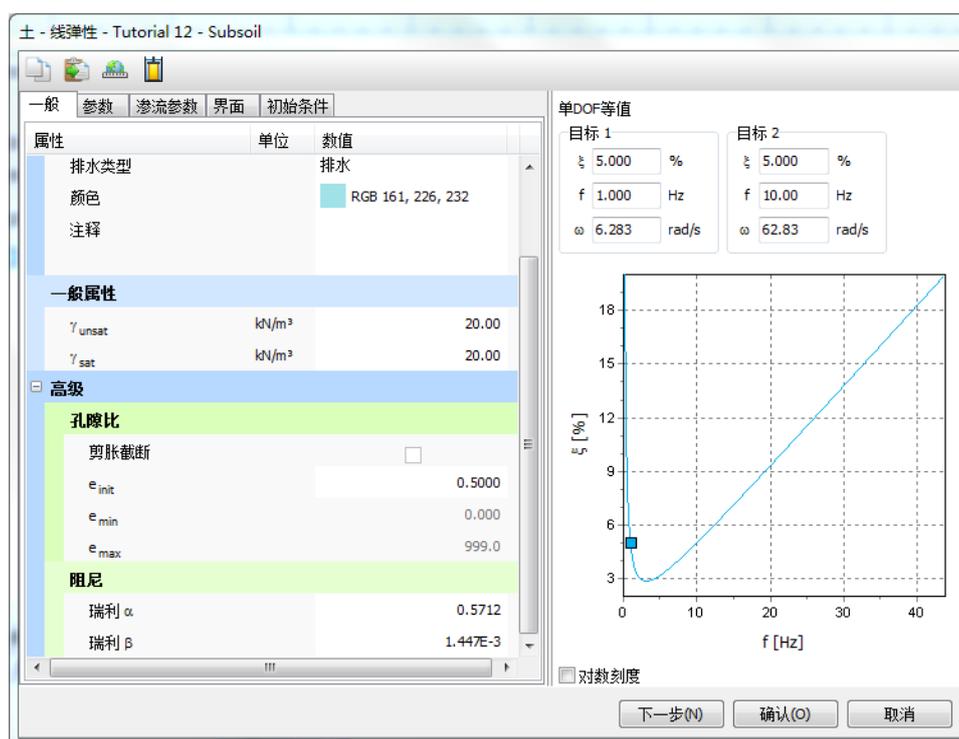


图 1.8 瑞利阻尼的输入

1.4 结果

曲线管理器工具对动力分析特别有用。可以很容易的绘制加载-时间曲线(输入值), 以及选定点的位移、速度和加速度随时间变化的曲线。乘子随时间变化曲线可以通过设定 x 轴为动力时间, y 轴为 U_z 来绘制。图 1.9 显示了结构表面选取点的响应。可以看出即使没有阻尼, 振动波也将由于几何阻尼而发生衰减。

图 1.10 中存在明显的阻尼现象。可以看出力被撤销之后 ($t=0.5s$) 一段时间, 振动波完全衰减掉。同时, 位移振幅也变的很小。对比图 1.9 (无阻尼) 和图 1.10 (有阻尼)。

也可以通过选择变形菜单中适当的选项, 在输出程序中显示某一特定时间的位移, 速度和加速度。图 1.11 显示了阶段 2 结束时 ($t=0.5s$) 土体内的总加速度。

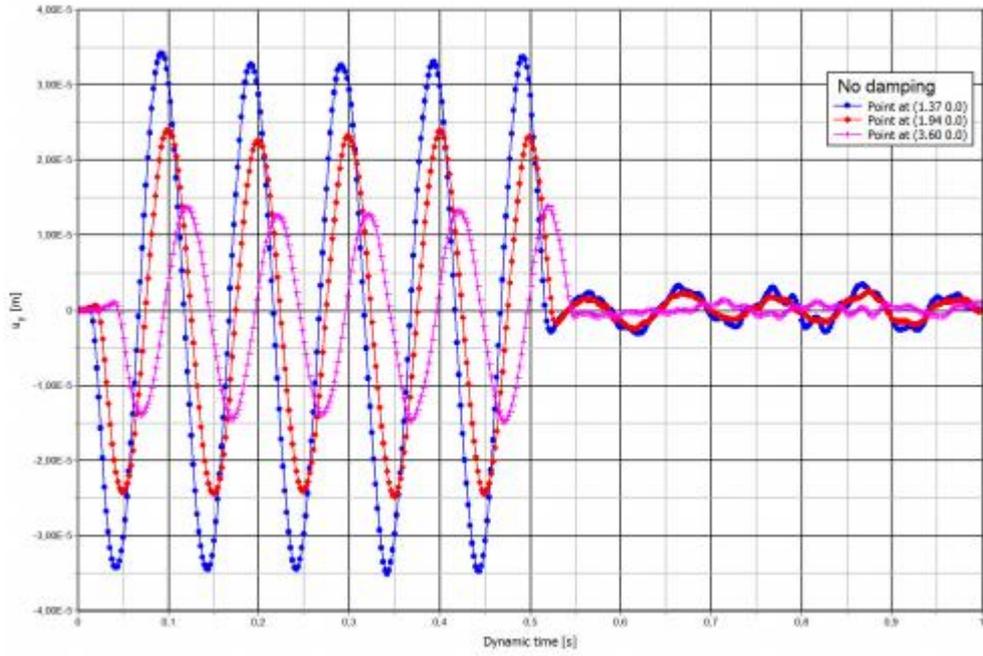


图 1.9 距振源不同距离处地表的垂直位移-时间曲线（无阻尼）

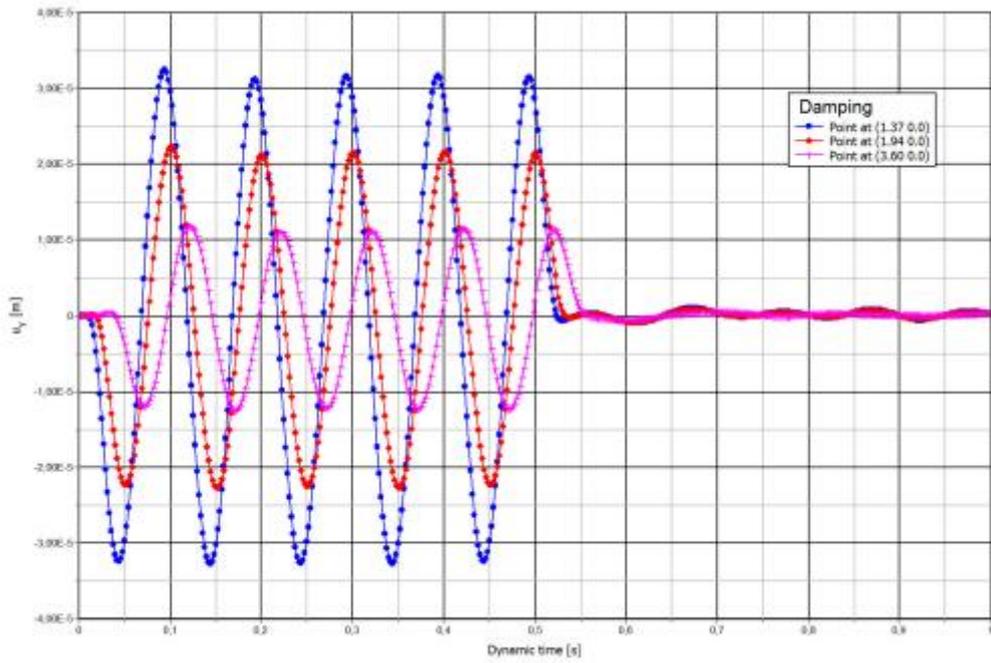


图 1.10 距振源不同距离处地表的垂直位移-时间曲线（有阻尼）

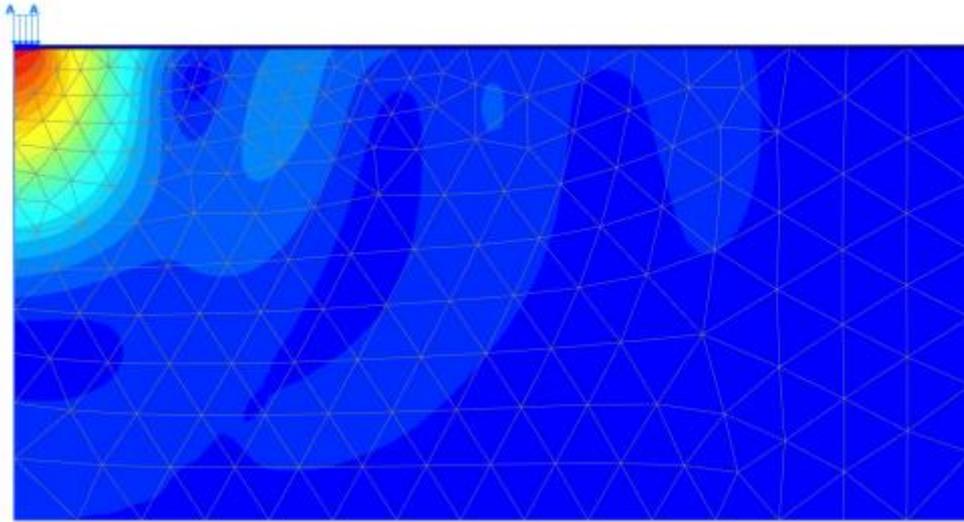


图 1.11 阶段 2 结束时土体中的总加速度（无阻尼）

本教程到此结束！

岩土工程有限元分析软件

PLAXIS 2D 2015[®]

案例教程



北京筑信达工程咨询有限公司
北京市古城西街 19 号研发主楼 4 层, 100043

版 权

计算机程序 PLAXIS 及全部相关文档都是受专利法和版权法保护的产品。全球范围的所有权属于 Plaxis bv。如果没有 Plaxis 和北京筑信达工程咨询有限公司的预先书面许可，未经许可的程序使用或任何形式的文档复制一律禁止。

更多信息和此文档的副本可从以下获得：

北京筑信达工程咨询有限公司

北京市古城西街 19 号研发主楼 4 层 100043

电话：86-10-6892 4600

传真：86-10-6892 4600 - 8

电子邮件：support@cisec.cn

网址：www.cisec.cn

北京筑信达工程咨询有限公司版权所有©, 2014.

目录

打桩对周围土体影响分析.....	1
1 输入.....	2
2 网格生成.....	5
3 计算.....	5
4 结果.....	8

打桩对周围土体影响分析

该例题是打混凝土桩，桩穿过 11m 厚黏土进入砂土，如图 1 所示。桩的直径为 0.4m。打桩是动力过程，会引起周围土体的振动。由于桩周围土体中的应力快速增加，土体中会产生超孔隙水压力。

本例题着重研究桩下土体的塑性变形。为了精确模拟实际情况，砂层的土体模型采用 HS 模型。

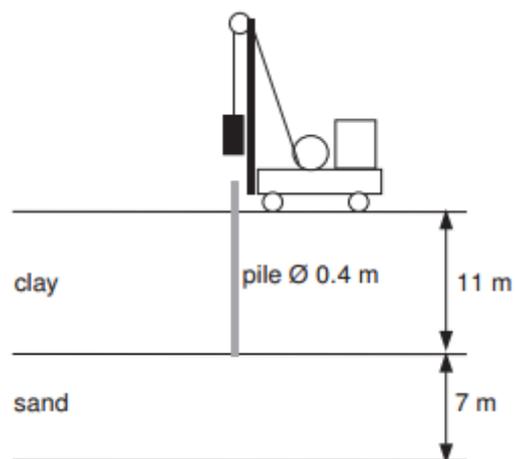


图 1 打桩模拟

1 输入

创建几何模型，按照下列步骤：

1.1 一般设置

- 打开 PLAXIS 2D AE 程序。将会弹出快速选择对话框，选择一个新的工程。
- 在工程属性窗口的工程标签下，键入一个合适标题。
- 在模型标签下，模型（轴对称）和单元（15-Node）保持默认选项。
- 在几何形状设定框中设定土层模型尺寸 $X_{min}=0$, $X_{max}=30$, $Y_{min}=0$, $Y_{max}=18$ 。
- 点击 OK 即关闭工程属性窗口，完成设定。

1.2 土层定义

地基由 11 米厚的黏土层和 7 米厚的砂层组成。水位线认为在地表。根据这条水位线生成整个模型中的静水压力。

定义土层：

-  点击创建钻孔命令，在 $x=0$ 处单击，修改土层窗口将出现。
- 添加两层土并指定其高度，分别为 $y=18$ 到 $y=7$ 和 $y=7$ 到 $y=0$ 。
- 水位线位于 $y=18m$ 。

黏土采用摩尔库伦本构模型，认为不排水（B）。用界面折减系数模拟桩侧减少的摩擦力。

为了正确模拟桩端非线性变形，砂土层采用小应变土体硬化本构模型。因为快速的加载过程，砂层被认为是不排水的。砂层中的延长界面并不模拟土体-结构间相互作用，所以，界面强度折减系数应当设置为刚性的。



打开材料设置窗口。

- 根据表 1 的信息，在土和界面类型中创建土层材料属性,并将材料属性赋值给相应土层。

表 1 地基土层的材料属性

参数	符号	黏土	砂土	桩	单位
一般设定					
材料模型	<i>Model</i>	摩尔库伦	硬化土模型	线弹性模型	--
排水类型	<i>Type</i>	不排水(B)	不排水(A)	非多孔	--
地下水以上重度	γ_{unsat}	16	17	24	kN/m^3
地下水以下重度	γ_{sat}	18	20	-	kN/m^3
参数					
弹性模型	E'	5×10^3	-	3×10^7	kN/m^2
标准三轴排水试验割线刚度	E_{50}^{ref}	-	5×10^4	-	kN/m^2
主固结加载切线刚度	E_{oed}^{ref}	-	5×10^4	-	kN/m^2

卸载/重加载刚度	E_{ur}^{ref}	-	1.5×10^5	-	kN/m^2
刚度的应力水平相关幂值	m	-	0.5	-	-
泊松比	ν_{ur}	0.3	0.2	0.1	-
内聚力	c_{ref}	-	0	-	kN/m^2
不排水抗剪强度	$S_{u,ref}$	5	-	-	kN/m^2
摩擦角	ϕ'	0	31	-	°
剪胀角	ψ	0	0	-	°
剪应变 $G_s=0.722G_0$	$\gamma_{0.7}$	-	1×10^{-4}	-	-
小应变时剪切模量	G_0^{ref}	-	1.2×10^5	-	kN/m^2
杨氏模量增量	E'_{inc}	1×10^3	-	-	kN/m^2
参考位置	y_{ref}	18	-	-	m
不排水抗剪强度增量	$S_{u,inc}$	3	-	-	kN/m^2
参考位置	y_{ref}	18	-	-	m
界面					
界面强度	--	手动	刚性	刚性	-
强度折减因子	$R_{int \phi'}$	0.5	1	1	-
初始条件					
K_0 的确定	--	手动	自动	自动	-
侧压力系数	K_0, x	0.5	0.485	1	-

1.3 定义结构单元

桩宽度 0.2m。桩体周围设置界面单元，模拟桩和土体的相互作用。界面需要延伸入砂土层 0.5m（见图 2）。注意界面定义在有土这一侧。适当的桩-土界面模型对材料阻尼很重要，这个阻尼由于桩体周围土体滑移而且允许桩端周围充分变形而产生的（模拟桩-土界面对于考虑在打桩过程中由于土体滑移所产生的材料阻尼以及使桩尖具有足够的弹性而言都是很重要的）。使用放大选项来生成桩和界面。

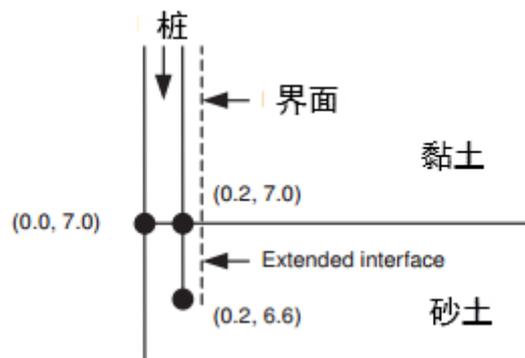


图 2 界面延长

为了定义混凝土桩：

PLAXIS 2D 2015 案例教程：打桩对周围土体影响分析

- 单击结构模式模式，在结构模式中定义结构单元。
- 📐 选择竖向工具栏中的创建多边形，单击 (0 18)，(0.2 18)，(0.2 7) 和 (0 7)。
- 🔗 创建负向界面模拟桩土相互作用，通过单击 (0.2 6.6) 和 (0.2 18)。

桩体是混凝土材料，用线弹性模型来模拟。首先，桩并不存在，所以桩体赋予了粘土层参数。两层土和混凝土桩的参数在下表中列出。

为了模拟打桩力，在桩顶部施加分布荷载。创建动力荷载过程如下：



通过单击 (0 18) 和 (0.2 18) 定义分布荷载。

- 在选择浏览器中定义荷载分量。注意本例不使用静力荷载。如果静力荷载不激活程序将忽略静力荷载。
- 展开动力荷载子目录并延重力方向指定单位荷载。



单击乘子_y 下拉菜单并单击出现的+按钮。弹出乘子窗口，并自动添加了一个位移乘子。

- 在信号下拉菜单选择简谐波选项。设置振幅为 5000，阶段是 0，频率为 50Hz，如图 3。

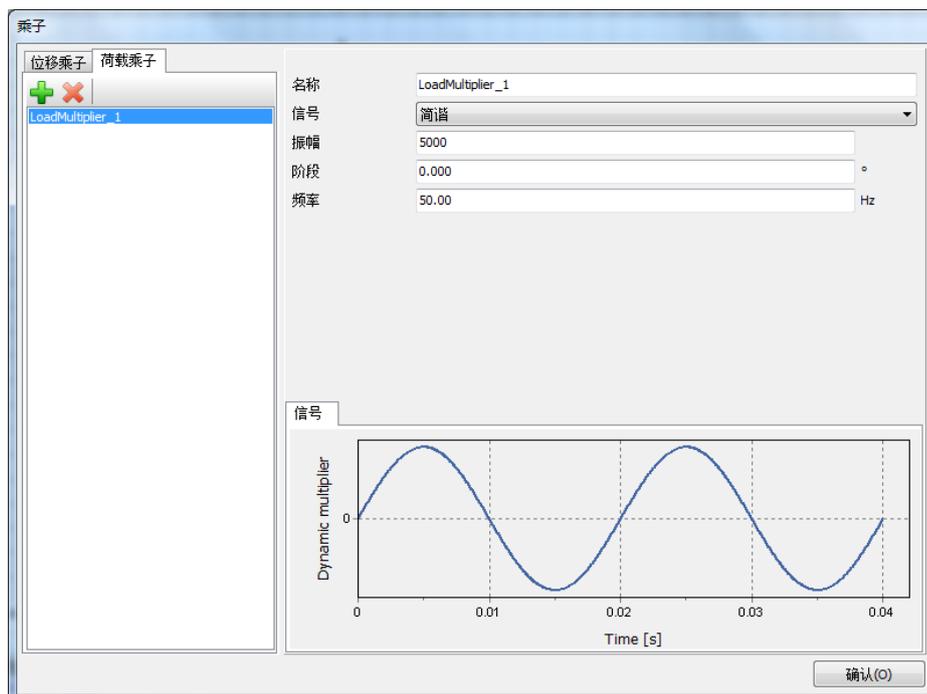


图 3 简谐波乘子的定义

最终的几何模型如图 4 所示。



图 4 模型几何图形

2 网格生成

- 切换到网格模式

 单击单元分布参数，使用默认中等。

 生成的结果如图 5。

- 单击关闭按钮，关闭输出窗口。

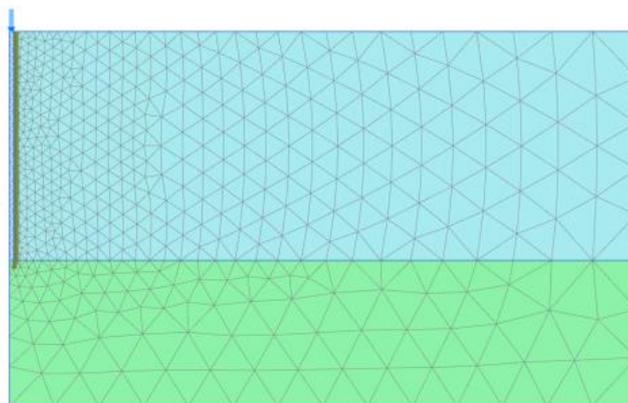


图 5 生成的网格

3 计算

计算过程包含三个阶段。初始阶段，生成初始应力场。阶段 1 生成桩；阶段 2 通过激活半个周期的简谐波荷载给桩施加一个冲击；阶段 3 冻结荷载，分析桩土的动力响应。后两步都是动力分析计算。

阶段 1

 添加新的阶段。

- 阶段窗口一般标签中选择塑性计算。
- 默认荷载类型为分布施工。
- 在分步施工模式中指定桩的材料给代表桩的土层。
- 激活界面。在分步施工模式中阶段 1 的模型如图 6 所示。

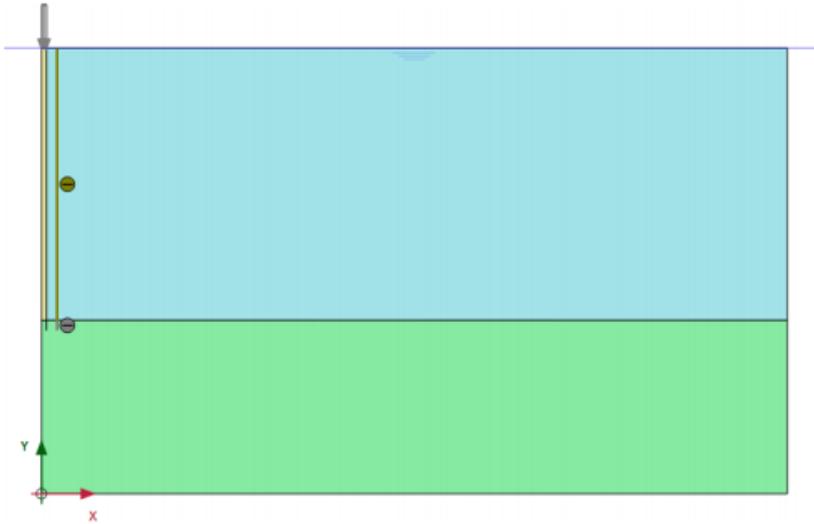


图 6 分步施工模式阶段 1 几何模型

阶段 2

 添加新的阶段。

- 阶段窗口一般标签中选择动力计算。
- 设置动力时间间隔为 0.01s。
- 选中阶段窗口变形参数标签中的重置位移为零选项。其余的值采用默认的值。
- 在分步施工模式中激活分布荷载动力分量。选择浏览器中激活的动力荷载分量如图 7 所示。
- 展开模型浏览器模型条件中动力子目录树。
- 指定 Xmax 和 Ymin 为粘性边界（如图 8）。

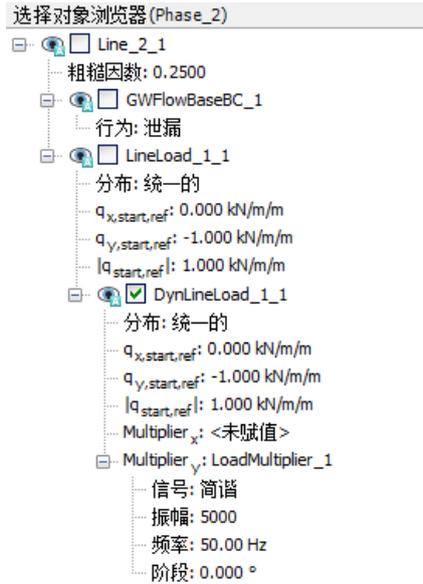


图 7 选择浏览器中动力荷载分量

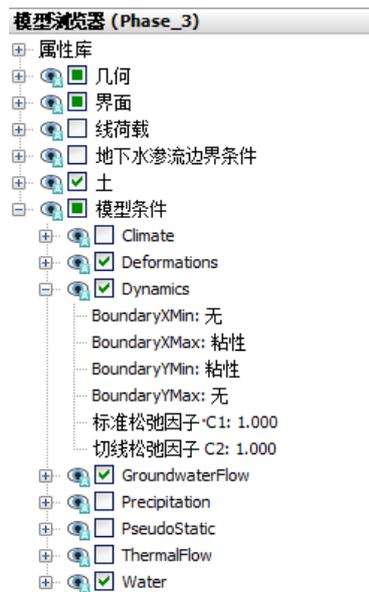


图 8 动力计算边界条件

这一步的结果是在荷载上施加半个周期的简谐波荷载。在本步结束后荷载值归为 0。

阶段 3

 添加新的阶段。

 阶段窗口中计算类型选择为动力计算。

- 设置动力时间间隔为 0.19 秒。
- 在分步施工模式中冻结点荷载。

 单击桩顶部位的节点，生成荷载位移曲线所需的点。

 计算项目。

 计算完成后保存项目。

4 结果

图 9 显示了桩（顶点）的时间位移曲线。从图中可以看出：

- 由于冲击产生的桩顶最大沉降为 13mm，最终沉降为 10mm。
- 大部分的沉降发生在阶段 3 冲击结束后。这是因为压缩波沿着桩体向下传播，引起附加沉降。
- 虽然没有瑞利阻尼，但由于土体的塑性和振动波能量在模型边界上被吸收，桩体的振动逐渐减弱。

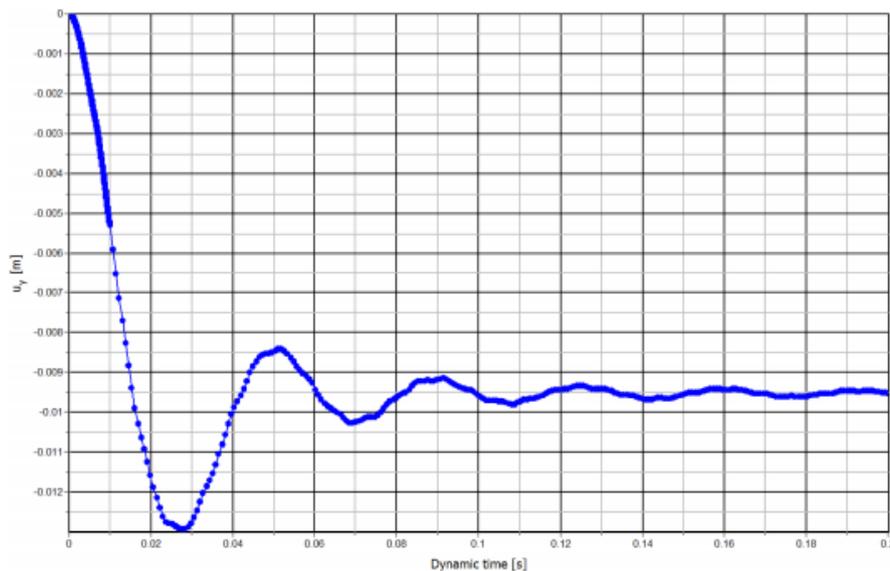


图 9 桩的位移-时间曲线

当查看第二计算步的输出结果时（ $t = 0.01$ s，冲击发生后），可以发现在桩端周围产生了很大的超孔隙水压力，这减小了土体的抗剪强度，使桩体沉入砂土层。超孔隙压力持续到阶段 3，因为例题中没有考虑固结。

图 10 为 0.01 秒时界面单元上的剪切应力。这个图已经使用缩放因子手动放大了 10 倍，显示一小部分桩体的应力分布。图形显示出沿桩长所有部分都达到了最大剪应力，表明土体已经开始沿桩体滑移。

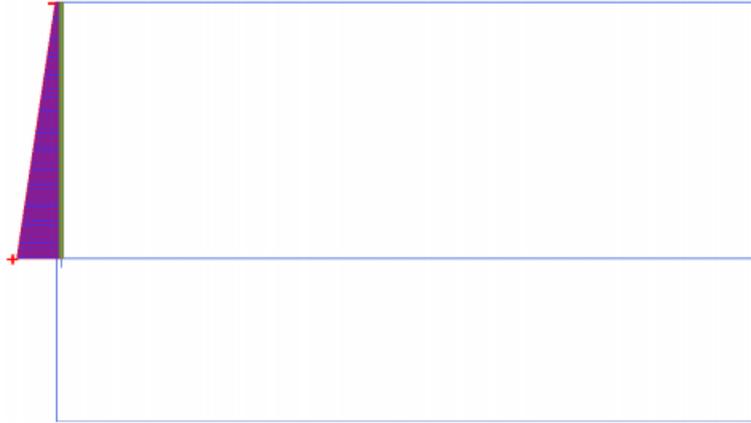


图 10 $t=0.01s$ 时界面单元上的最大剪应力

当查看最后计算步($t = 0.2 s$)的变形网格时，也可以发现桩体的最终沉降为 10mm。为了观察到全部动力过程，建议使用生成动画来查看变形网格随时间的“运动”。你会注意到第一部分的动画比第二部分要慢。

本教程到此结束！

岩土工程有限元分析软件

PLAXIS 2D 2015[®]

案例教程



北京筑信达工程咨询有限公司
北京市古城西街 19 号研发主楼 4 层, 100043

版 权

计算机程序 PLAXIS 及全部相关文档都是受专利法和版权法保护的产品。全球范围的所有权属于 Plaxis bv。如果没有 Plaxis 和北京筑信达工程咨询有限公司的预先书面许可，未经许可的程序使用或任何形式的文档复制一律禁止。

更多信息和此文档的副本可从以下获得：

北京筑信达工程咨询有限公司

北京市古城西街 19 号研发主楼 4 层 100043

电话：86-10-6892 4600

传真：86-10-6892 4600 - 8

电子邮件：support@cisec.cn

网址：www.cisec.cn

北京筑信达工程咨询有限公司版权所有©, 2014.

目录

自由振动和地震对建筑物的影响.....	1
1 输入.....	2
2 网格生成.....	7
3 计算.....	8
4 结果.....	10

自由振动和地震对建筑物的影响

该例题演示了一个五层楼房当遭遇自由振动和地震时的固有频率。

建筑物由地下室和地上五层组成。建筑物宽 10 米，包括地下室总共高 17 米，地面以上的高度为 $5 \times 3 \text{ m} = 15 \text{ m}$ ，地下室深 2 米。楼板和墙体的荷载总和为 5 kN/m^2 。地基包括 15m 厚的黏土层，其下为砂层。模型中砂层只考虑 25 米。

1 输入

创建几何模型，按照下列步骤：

1.1 一般设置

- 打开 PLAXIS 2D AE 程序。将会弹出快速选择对话框，选择一个新的工程。
- 在工程属性窗口的工程标签下，键入一个合适标题。
- 在模型标签下，模型（平面应变）和单元（15-Node）保持默认选项。
- 在几何形状设定框中设定土层模型尺寸 $X_{min}=-80$, $X_{max}=80$, $Y_{min}=-40$, $Y_{max}=15$ 。
- 点击 OK 即关闭工程属性窗口，完成设定。

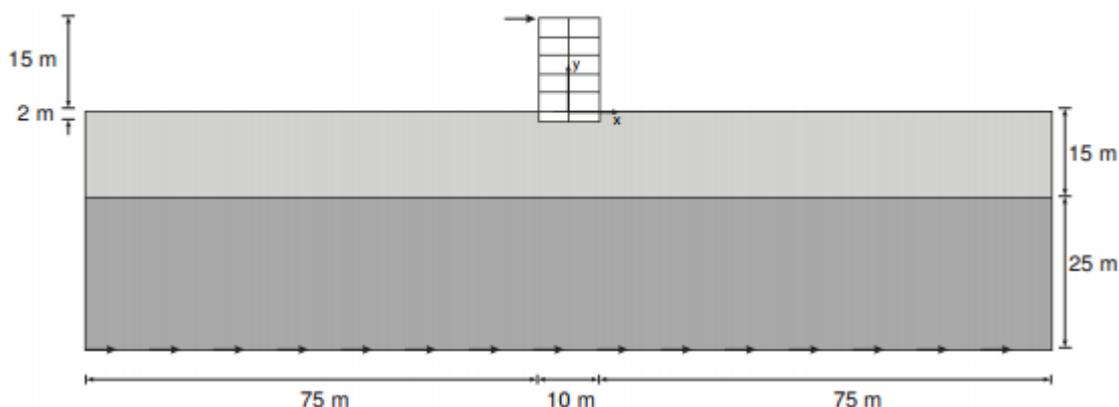


图 1 项目的几何模型

1.2 土层定义

地基由 15 米厚的黏土层和 25 米厚的砂层组成。水位线认为在 $y=-15$ 米。根据这条水位线生成整个模型中的静水压力。

定义土层：

- 点击创建钻孔命令，在 $x=0$ 处单击，修改土层窗口将出现。
- 添加两层土并指定其高度，分别为 $y=0$ 到 $y=-15$ 和 $y=-15$ 到 $y=-40$ 。
- 水位线位于 $y=-15m$ 。

上层土大部分是黏土，下部分是砂土。都采用小应变硬化土本构模型，忽略地下水的存在。土层采用小应变硬化土本构模型材料参数，包括了材料固有的滞后阻尼。



打开材料设置窗口。

- 根据表 1 的信息，在土和界面类型中创建土层材料属性,并将材料属性赋值给相应土层。

表 1 地基土层的材料属性

参数	符号	上层土	下层土	单位
一般设定				
材料模型	<i>Model</i>	小应变硬化土	小应变硬化土	-
排水类型	<i>Type</i>	排水	排水	-

地下水位以上重度	γ_{unsat}	16	20	kN/m^3
地下水位以下重度	γ_{sat}	20	20	kN/m^3
参数				
标准三轴排水试验割线刚度	E_{50}^{ref}	2×10^4	3×10^4	kN/m^2
主固结加载切线刚度	E_{oed}^{ref}	2.561×10^4	3.601×10^4	kN/m^2
卸载/重加载刚度	E_{ur}^{ref}	9.484×10^4	1.108×10^5	kN/m^2
刚度的应力水平相关幂值	m	0.5	0.5	-
内聚力	c'_{ref}	10	5	kN/m^2
摩擦角	φ'	18	28	°
剪胀角	ψ	0	0	°
剪应变 $G_s=0.722G_0$	$\gamma_{0.7}$	1.2×10^{-4}	1.5×10^{-4}	-
小应变时剪切模量	G_0^{ref}	2.7×10^5	1.0×10^5	kN/m^2
泊松比	ν'_{ur}	0.2	0.2	-

当遇到循环剪切荷载时，小应变硬化土模型将显示典型的滞回性能。从小应变剪切刚度开始 G_0^{ref} ，实际刚度将随着剪切力的增大而减小。图 2 和图 3 显示了模量减小曲线，例如剪切模量随应变增加而衰减。上边的曲线显示了割线剪切模量，下边的曲线显示了切线剪切模量。

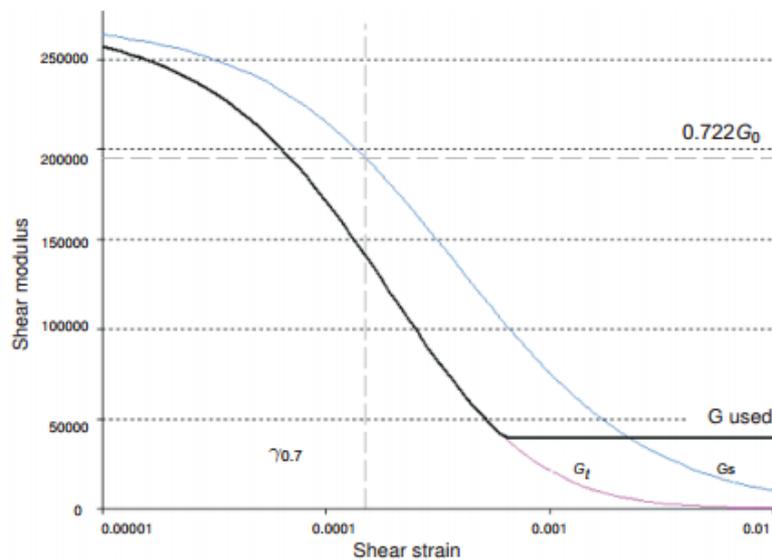


图 2 上层黏土的模量下降曲线

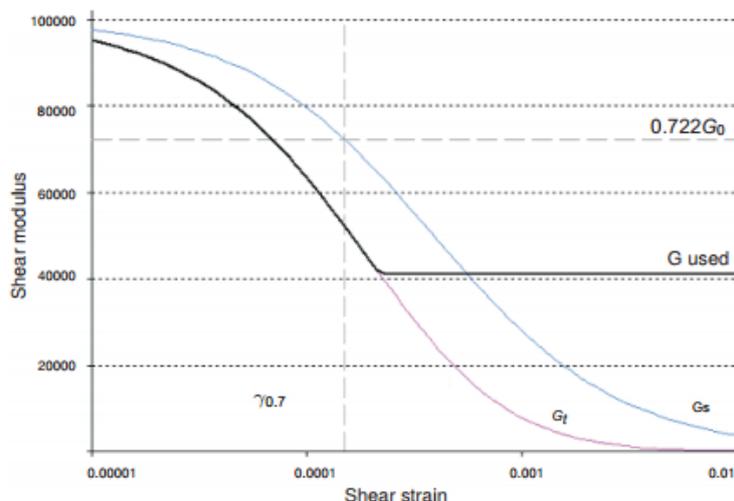


图 3 下层砂土的模量下降曲线

小应变硬化土模型，切线剪切模量有一个下限值， G_{ur} 。

$$G_{ur} = \frac{E_{ur}}{2(1 + \nu_{ur})}$$

G_{ur}^{ref} 和 G_0^{ref} 与 G_{ur}^{ref} 的比值见表 2。这个比值确定了可能得到的最大阻尼比。

表 2 G_{ur} 值和其与 G_0^{ref} 的比率

参数	单位	上层黏土	下层砂土
G_{ur}	kN/m^2	39517	41167
G_0^{ref}/G_{ur}	-	6.75	2.5

图 4 和图 5 显示了模型中使用的材料的阻尼比和剪应变之间的函数关系。对于更详细的描述可以查看相关文献找到模量减小曲线和阻尼曲线。

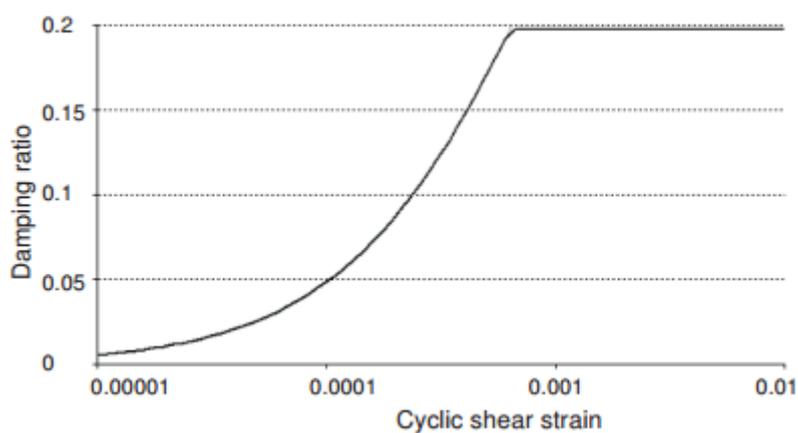


图 4 上层黏土的阻尼曲线

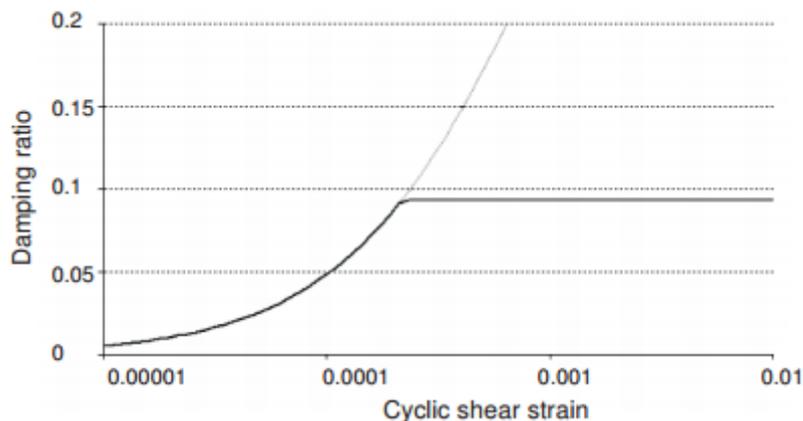


图 5 下层砂土的阻尼曲线

1.3 定义结构单元

模型中的结构单元在结构模式中定义。定义过程如下：

- ❗ 创建建筑物的垂直方向墙，通过点 (-5 0) 到 (-5 15) 和 (5 0) 到 (5 15)。
- 用相同的特性定义地下室垂直墙，通过点 (-5 -2) 到 (-5 0) 和 (5 -2) 到 (5 0)。
- 定义建筑物的楼板和地下室楼板，用板单元模拟，通过点 (-5 -2) 到 (5 -2)，(-5 0) 到 (5 0)，(-5 3) 到 (5 3)，(-5 6) 到 (5 6)，(-5 9) 到 (5 9)，(-5 12) 到 (5 12) 和 (-5 15) 到 (5 15)。

板单元，代表建筑物墙和楼板，认为是线弹性的。注意地下室和建筑物地上竖墙和楼板使用了两种不同的材料。建筑物的物理阻尼通过瑞利阻尼来模拟，参考手册 6.1.1 节有关于瑞利阻尼参数的解释。

 根据表 3 为建筑物结构单元定义材料数据组。

表 3 建筑物材料属性（板单元属性）

参数	名称	建筑物地上竖墙和楼板	地下室结构	单位
材料模型	模型	弹性；各向同性	弹性；各向同性	-
法向刚度	EA	9×10^6	1.2×10^7	kN/m
弯曲刚度	EI	6.75×10^4	1.6×10^5	kNm ² /m
密度	w	10	20	kN/m/m
泊松比	v	0	0	-
瑞利阻尼	α	0.232	0.232	-
	β	8×10^{-3}	8×10^{-3}	

- 将地下室材料赋值给代表地下室侧墙的垂直的两个板和最底层水平的板（都在地表以下）。
- 将建筑物地上竖墙和楼板材料赋值给其余的板单元。

PLAXIS 2D 2015 案例教程：自由振动和地震对建筑物的影响

- 使用点对点锚杆定义建筑物的柱，通过点（0 -2）到（00），（00）到（03），（03）到（06），（06）到（09），（09）到（012），（012）到（015）。
- 按照表 4 定义锚杆材料属性，并赋值。

表 4 点对点锚杆材料属性

材料	名称	柱	单位
材料类型	类型	弹性	-
法向刚度	EA	2.5×10^6	kN
间距	Lspacing	3	m



定义界面单元用来模拟地下室和土相互作用。



在建筑物左侧顶点处创建点荷载。

- 指定点荷载值为（100）

通过在底部边界施加指定位移来模拟地震。指定位移的定义过程如下：



在模型底部定义指定位移，通过点（-80 -40）和（80 -40）。

- 通过指定位移 x 分量值为 1，y 分量固定，采用默认的均匀分布。

定义指定位移的动力乘子过程如下：

- 展开动力位移



单击乘子_x 下拉菜单并单击出现的+按钮。弹出乘子窗口，并自动添加了一个位移乘子。

- 在信号下拉菜单选择表选项。
- 在 PLAXIS 知识库里面有包含地震的数据文件。复制所有的数据到 text 编辑器编辑（例如 notepad）并保存在个人电脑中。
- 在浏览器中打开，并复制所有数据。



在乘子窗口单击粘贴按钮。在导入数据窗口粘贴方法语法分析下拉菜单中选择强震 CD-ROM 文件，并单击 OK。

- 选择数据类型下拉菜单中加速度选项
- 选中修正偏离，并单击 OK。完成乘子定义。定义好的乘子如图 6 所示。

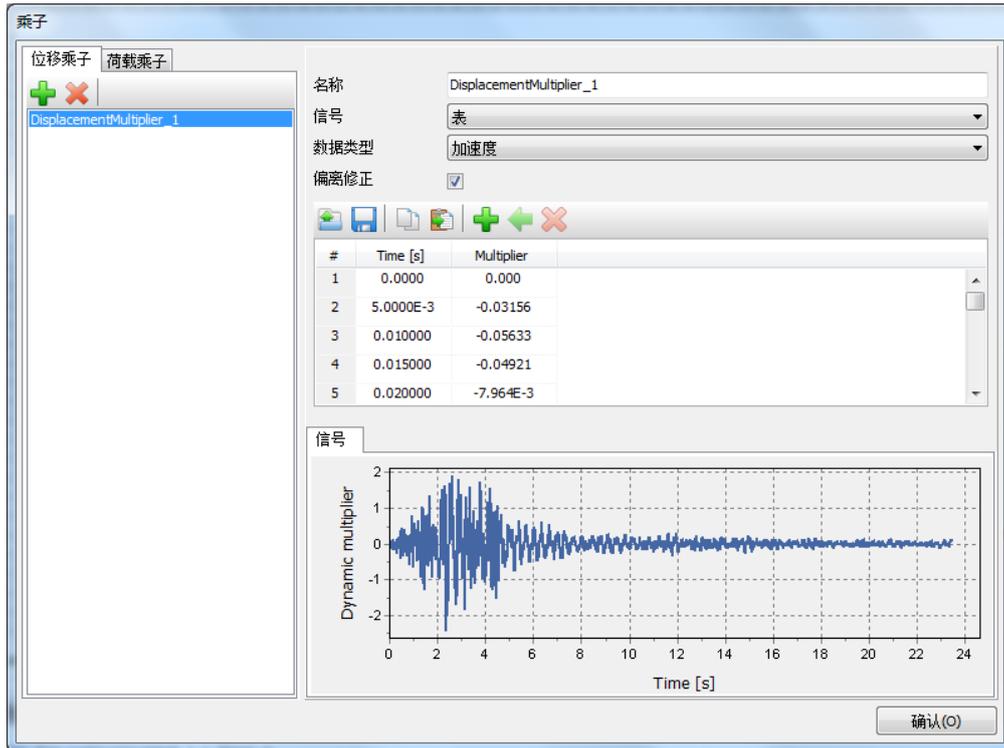


图 6 动力乘子窗口

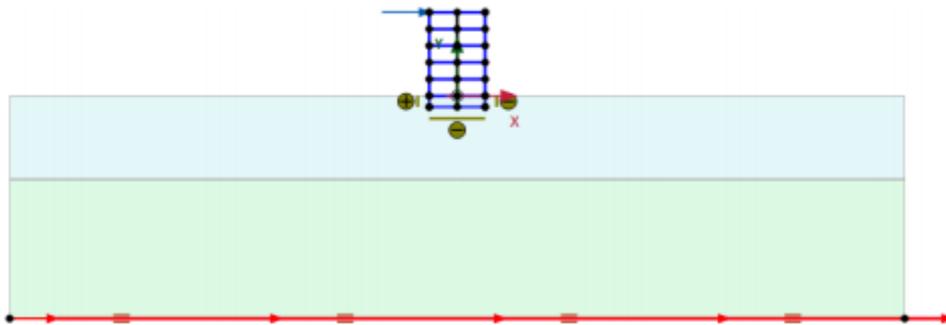


图 7 模型几何图形

图 7 显示了模型的几何图形。

2 网格生成

- 切换到网格模式
-  单击单元分布参数，在下拉菜单中选为细。
-  生成的结果如图 8。
- 单击关闭按钮，关闭输出窗口。

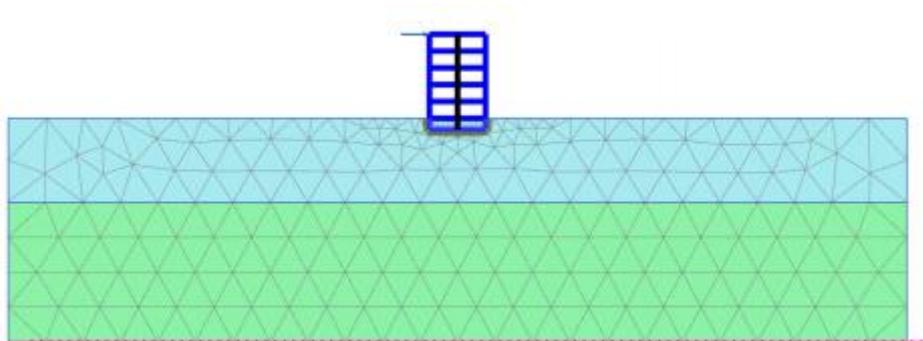


图 8 生成的网格

3 计算

计算过程包含三个阶段。初始阶段，模拟建筑物施工过程，加载，自由振动分析和地震分析。

初始阶段

- 单击分步施工模式，定义计算阶段。
- 初始阶段已经自动添加。本例使用默认设置。
- 在分步施工模式中检查建筑物和荷载是冻结的（如图 9 所示）

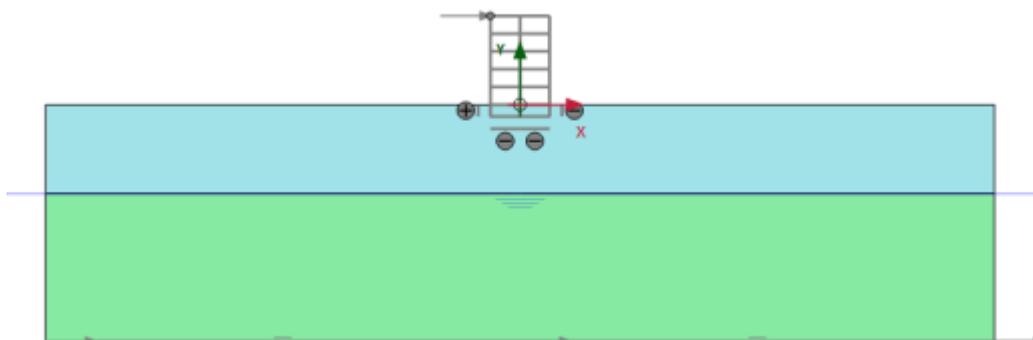


图 9 初始阶段

阶段 1



添加新的阶段。这个计算阶段使用默认的设置。

- 在分步施工模式中模拟建筑物施工（激活所有板，界面和锚杆）并冻结地下室内土体（如图 10 所示）

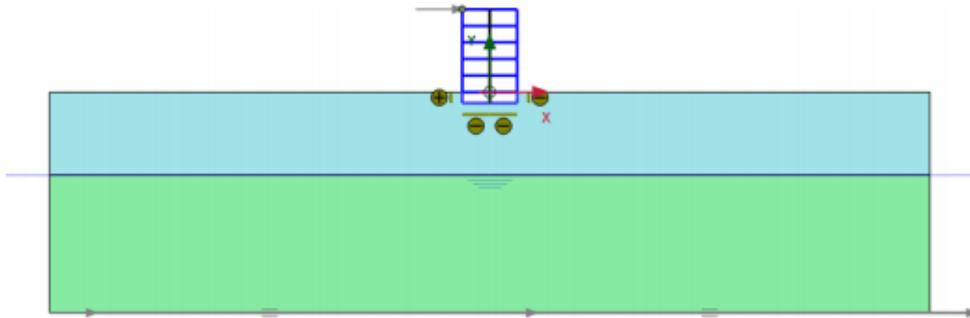


图 10 建筑物施工

阶段 2



添加新的阶段。

- 选中阶段窗口变形参数标签中的重置位移为零选项。其余的值采用默认的值。
- 在分步施工模式中激活荷载。荷载的值已经在结构模式中定义。

阶段 3



添加新的阶段。



阶段窗口中计算类型选择为动力计算。

- 设置动力时间间隔为 0.5 秒。
- 在分步施工模式中冻结点荷载。
- 在模型浏览器中展开模型条件子目录。
- 展开动力子目录，设置 ymin 边界为粘性边界（如图 11 所示）。

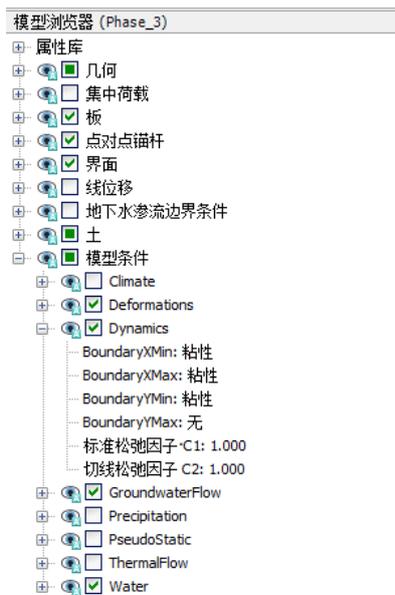


图 11 动力计算边界条件

阶段 4

 添加新的阶段。

- 在阶段窗口设置阶段起始于阶段 1 选项（建筑物施工）

 阶段窗口中计算类型选择为动力计算。

- 设置动力时间间隔为 20 秒。
- 选择变形控制参数子目录中的重置位移为零选择。其余设置使用默认的值。
- 模型浏览器激活指定位移和它的动力分量。此阶段 ymin 边界不要设置为粘性边界。

 击生成曲线所需的点。为了生成曲线选择建筑物的一个顶点（0 15）。

 计算项目。

 计算完成后保存项目。

4 结果

图 12 显示了阶段 2 计算完成后结构的变形图（施加水平荷载）。

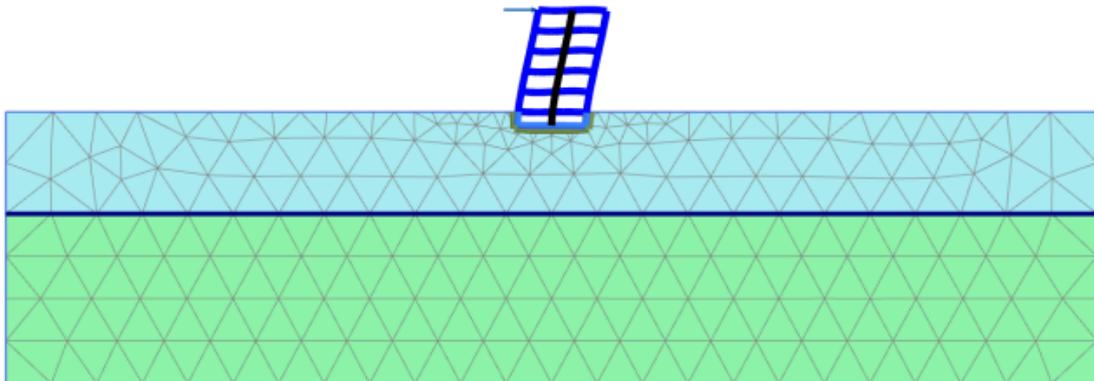


图 12 变形网格

图 13 显示了自由振动阶段选择点 A（0 15）的位移时间曲线。可以看出由于土和建筑的阻尼作用，振动随时间缓慢的衰减。

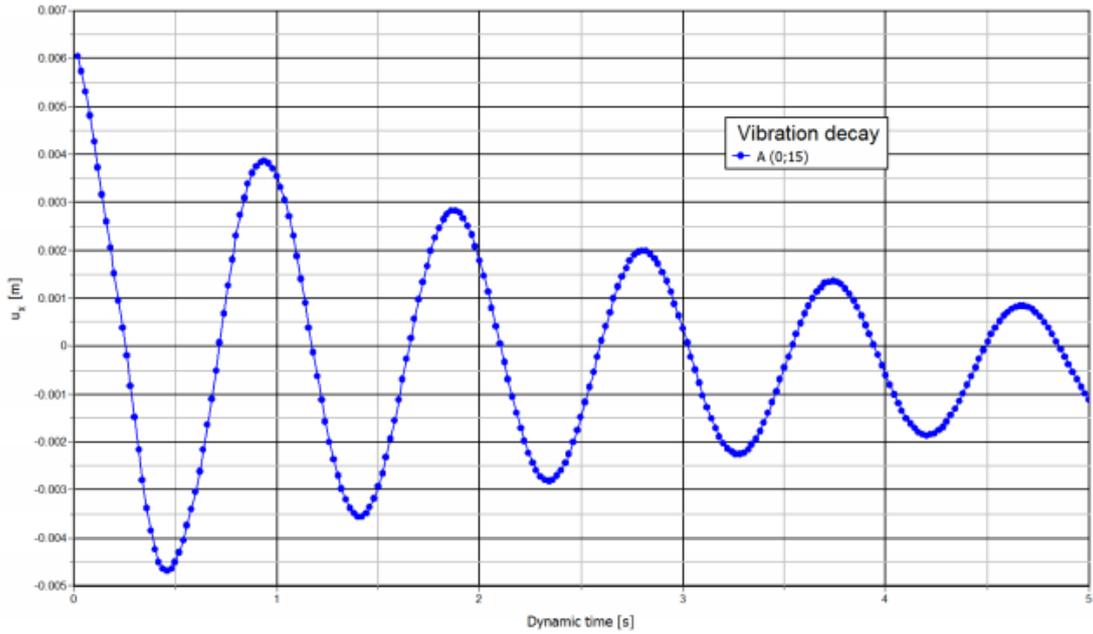


图 13 选择点位移时间历史

设置窗口的图表<<动力<<选择使用频率表示（频谱）<<标准频率（Hz）选项。如图 14 所示。从图中可以评估建筑物主频在 1Hz 左右。

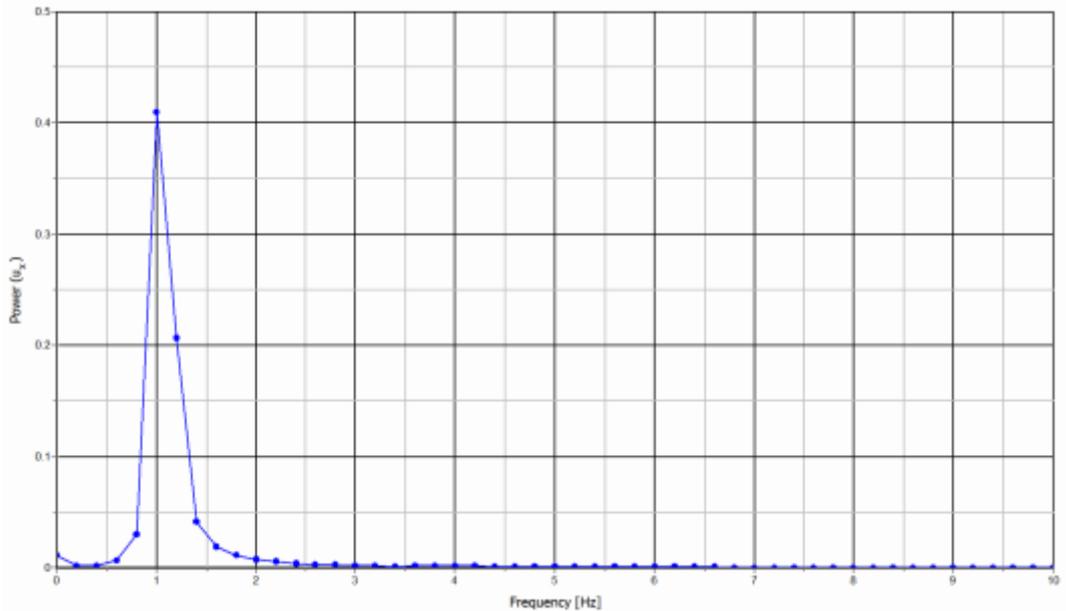


图 14 频率表示（频谱）

PLAXIS 2D 2015 案例教程：自由振动和地震对建筑物的影响

图 15 显示地震阶段（动力分析）选择点 A(0 15)的侧向加速度时间曲线。为了更好的显示计算结果，可以生成自由振动和地震阶段的动画。

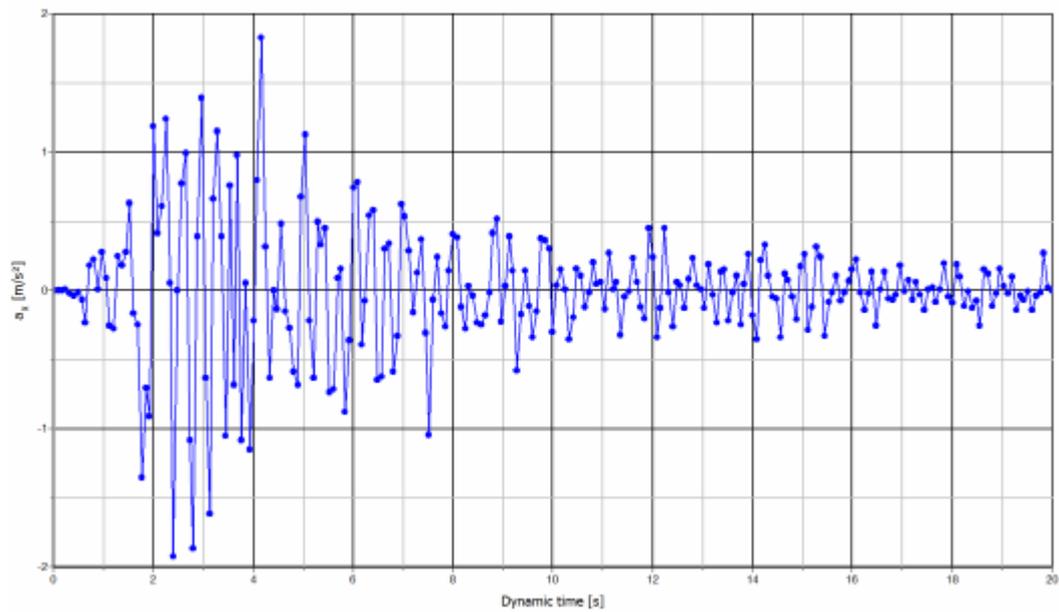


图 15 加速度随动力时间变化曲线

本教程到此结束！

岩土工程有限元分析软件

PLAXIS 2D 2015[®]

案例教程



北京筑信达工程咨询有限公司
北京市古城西街 19 号研发主楼 4 层, 100043

版 权

计算机程序 PLAXIS 及全部相关文档都是受专利法和版权法保护的产品。全球范围的所有权属于 Plaxis bv。如果没有 Plaxis 和北京筑信达工程咨询有限公司的预先书面许可，未经许可的程序使用或任何形式的文档复制一律禁止。

更多信息和此文档的副本可从以下获得：

北京筑信达工程咨询有限公司

北京市古城西街 19 号研发主楼 4 层 100043

电话：86-10-6892 4600

传真：86-10-6892 4600 - 8

电子邮件：support@cisec.cn

网址：www.cisec.cn

北京筑信达工程咨询有限公司版权所有©, 2015.

目录

通航船闸的热膨胀.....	1
1.几何模型.....	2
2 网格划分.....	4
3 执行计算.....	5
4 查看计算结果.....	10

通航船闸的热膨胀

由于要维修通航船闸（材料为混凝土），因此需要将其临时“挖空”。“挖空”一段时间后，空气温度上升很多，这将引起船闸里侧受热膨胀，然而靠近土一侧的船闸温度相对来说较低。这将使墙体产生向后的弯矩，进而增加了墙后土体的侧向应力，同时增加了墙体本身的弯矩。

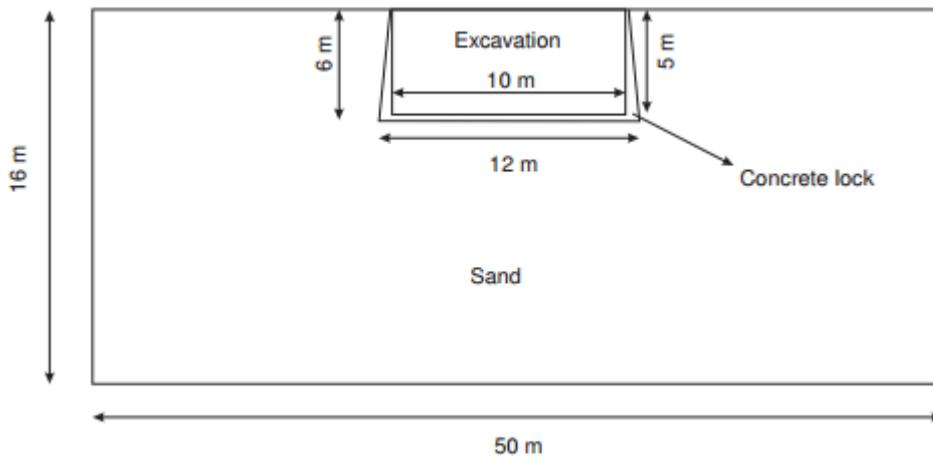


图 1 混凝土船闸

本例将展示如何使用温度模块进行这类问题的分析。

目标:

- 定义热力函数
- 使用热膨胀
- 执行完 THM(热-水-力学)全耦合计

1.几何模型

按照如下步骤创建几何模型：

1.1 一般设置

- 打开 PLAXIS 2D 2015 程序。将会弹出快速选择对话框，选择一个新的工程。
- 在工程属性窗口的工程标签下，键入一个合适标题。
- 在模型标签下，模型（平面应变）和单元（15-Node）保持默认选项。
- 在几何形状设定框中设定土层模型尺寸 $X_{min}=0$, $X_{max}=25$, $Y_{min}=-16$, $Y_{max}=0$ 。
- 点击 OK 即关闭工程属性窗口，完成设定。

1.2 土层定义

 在点 $x=0$ 处创建钻孔。这时修改土层窗口自动弹出。

- 本项目只有一层土。添加土层并指定其高度，顶部 0m，底部-16m。
- 水位线位于 $y=-4m$ 。在钻孔柱状图上边指定水头为-4m。

 打开材料设置窗口，为砂土和混凝土定义材料属性。

- 按表 1 中的参数定义土层并分别指定给相应土层。
- 关闭修改土层窗口。

表 1.1 土层材料属性

参数	符号	砂土	混凝土	单位
一般设定				
材料模型	$Model$	硬化土模型	线弹性模型	-
排水类型	$Type$	排水	非多孔	-
地下水位以上重度	γ_{unsat}	20	24	kN/m^3
地下水位以下重度	γ_{sat}	20	-	kN/m^3
初始孔隙比	e_{int}	0.5	0.5	-
参数				
弹性模型	E'	-	25×10^6	kN/m^2
泊松比	ν	-	0.15	-
标准三轴排水试验割线刚度	E_{50}^{ref}	40×10^3	-	kN/m^2
主固结加载切线刚度	E_{oed}^{ref}	40×10^3	-	kN/m^2
卸载/重加载刚度	E_{ur}^{ref}	1.2×10^5	-	kN/m^2
刚度的应力水平相关幂值	m	0.5	-	-
内聚力	c'_{ref}	1	-	kN/m^2
摩擦角	ϕ'	32	-	°
剪胀角	ψ	2	-	°

剪应变 $G_s=0.722G_0$	$\gamma_{0.7}$	0.1×10^{-3}	-	-
小应变时剪切模量	G_0^{ref}	8×10^4	-	kN/m^2
地下水				
数据组	-	USDA	-	-
模型	-	Van Gunuchten	-	-
土类	-	Sandy clay	-	-
设为默认	-	Yes	-	-
热力				
比热容	Cs	1000	900	$kJ/t/K$
导热系数	λ_s	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	$kW/m/K$
土密度	ρ_s	2.6	2.5	t/m^3
热膨胀 X 分量	α_x	0.5×10^{-6}	0.1×10^{-4}	$1/k$
热膨胀 Y 分量	α_y	0.5×10^{-6}	0.1×10^{-4}	$1/k$
热膨胀 Z 分量	α_z	0.5×10^{-6}	0.1×10^{-4}	$1/k$
界面				
界面强度	-	刚性	手动	-
强度折减因子	R_{inter}	1	0.67	-
初始条件				
K_0 的确定	1	自动	自动	-

1.3 结构单元定义

在分步施工模式下，船闸用混凝土块来模拟。

- 切换到结构模式

 单击竖向工具栏中的创建土层多边形命令，并在出现的下拉菜单选择创建土层多边形。

- 在绘图区单击(0-5)、(5-5)、(5,0)、(5.5,0)、(6-6)、(0-6)和(0-5)。

提示：可以选择捕捉选项，并将间距设置为 0.5，这可以很方便生成多边形。

混凝土材料稍后将在分步施工模式中指定。

 单击竖向工具栏中的创建热流动边界按钮，并创建竖向边界和底部边界。

- 竖向边界默认行为选项为关闭。
- 选中底部边界，并将选择对象浏览器中的行为选择为温度。
- 设置参考温度 Tref 为 283.4K，如图 2 所示。

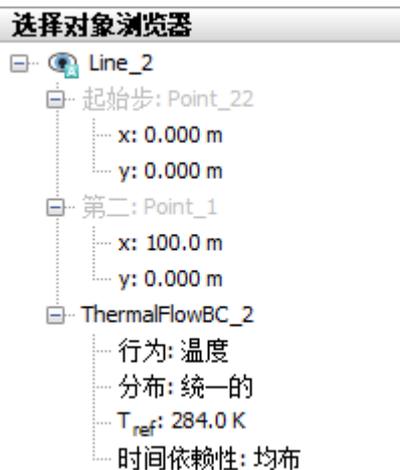


图 2 选择对象浏览器中的热边界条件

模型的几何的形状现在已经完成，如图 3 所示。

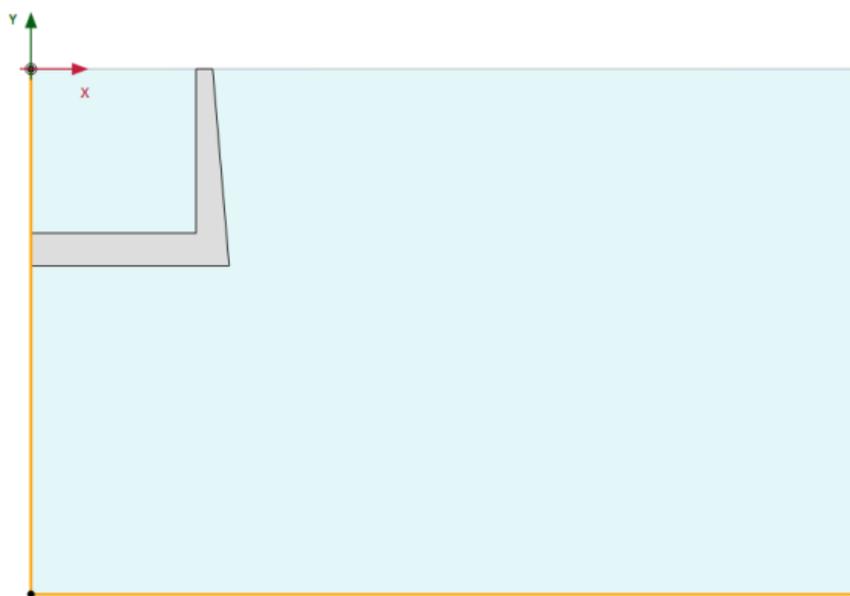


图 3 模型的几何形状

2 网格划分

- 进入网格模式。
- 选择刚才创建的土多边形，并将选择对象浏览器中的粗糙度设置为 0.25。

 创建网格。设置单元分布为中等。

 查看网格。生成的网格如图 4 所示。

- 单击关闭按钮，退出输出程序。

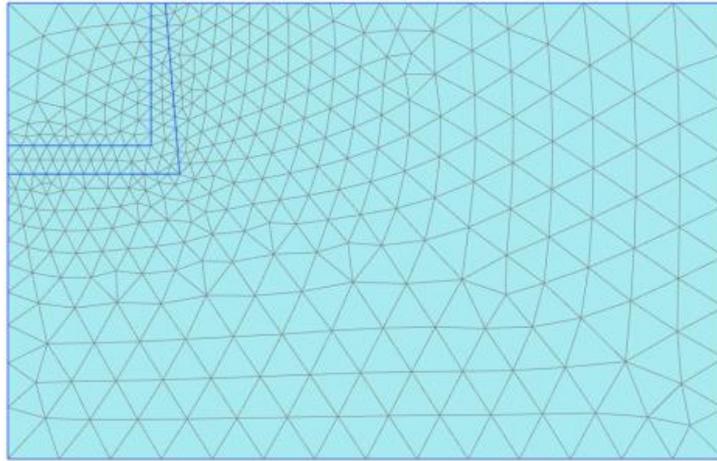


图 4 生成的网格

3 执行计算

本例的计算过程分三个阶段。在塑性计算阶段激活混凝土块，激活之后增加混凝土块的温度，同时定义为完全耦合流动变形分析。

初始阶段

- 切换至分步施工模式。
- 双击阶段浏览器的初始阶段。
- 本例中计算类型和孔压计算类型使用默认的选项。
- 选择热计算类型选项选为地温梯度，并关闭阶段窗口。
- 在分步施工模式中激活模型条件子目录下的热流动，并设置 T_{ref} 的值为 283K。 h_{ref} 和地温梯度取默认的值。如图 5 所示。

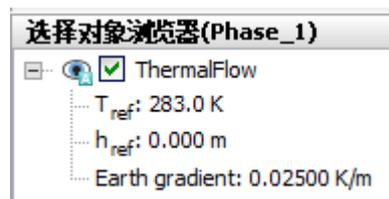


图 5 选择对象浏览器的热流动选项

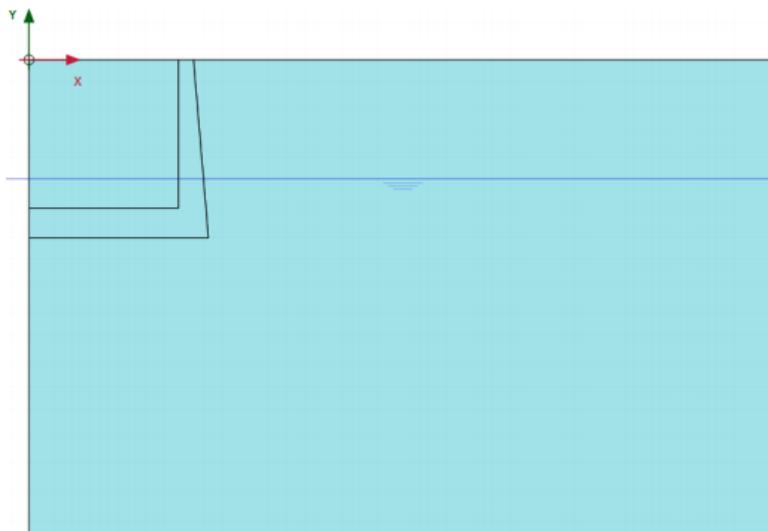


图 6 初始阶段

阶段 1

 添加一个新的阶段（阶段 1）。

- 双击阶段浏览器中的阶段 1。

 在阶段浏览器，ID 名称中键入一个合适的名字并将孔压计算类型选择为稳态地下水流动。

 热计算类型选择为稳态热流动。

- 注意重置位移为零和忽略吸力都勾选上。
- 在分步施工模式下，为生成的土多边形（代表通航船闸）选择材料为混凝土，如图 7 所示。

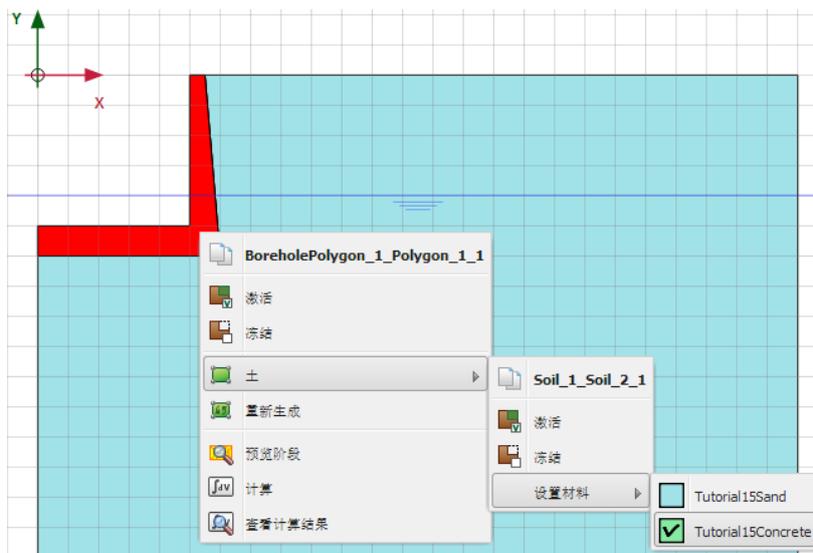


图 7 为通航船闸指定混凝土材料数据

 右键要挖空的土层类组，选择下拉菜单中的冻结选项。

- 将选择对象浏览器中该土层类组的水力条件设置为干。
- 多选开挖墙的侧向竖直和底部水平边界线。
- 激活选择对象浏览器中地下水流动边界条件。
- 将行为设置为水头， h_{ref} 为-5m，如图 8 所示。这用来模拟被“挖空”的船闸。

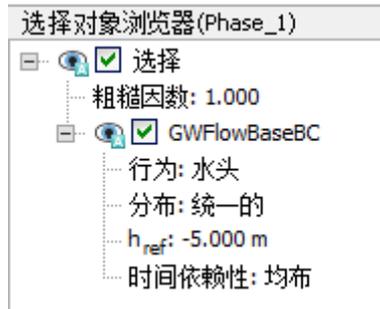


图 8 选择对象浏览器地下水流动边界条件

- 激活模型浏览器中的全部的热流边界条件。
- 激活模型浏览器中模型条件子目录中的气候条件。
- 设置空气温度为 283K 和表面热传递 1kW/m^2 ，如图 9 所示。这用来定义地面和船闸内侧的温度条件。

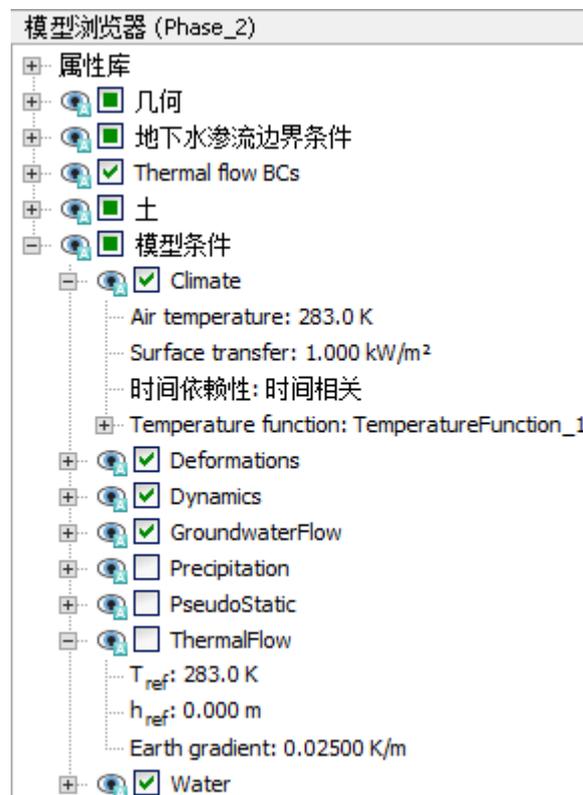


图 9 阶段 1 的模型条件

- 冻结热流选项。这是因为进行稳态热流计算时才使用包含气候条件的热流边界条件，而选择地温梯度选项时，不使用热流边界条件。
- 如图 10 所示，显示了阶段 1 定义完成后的模型。

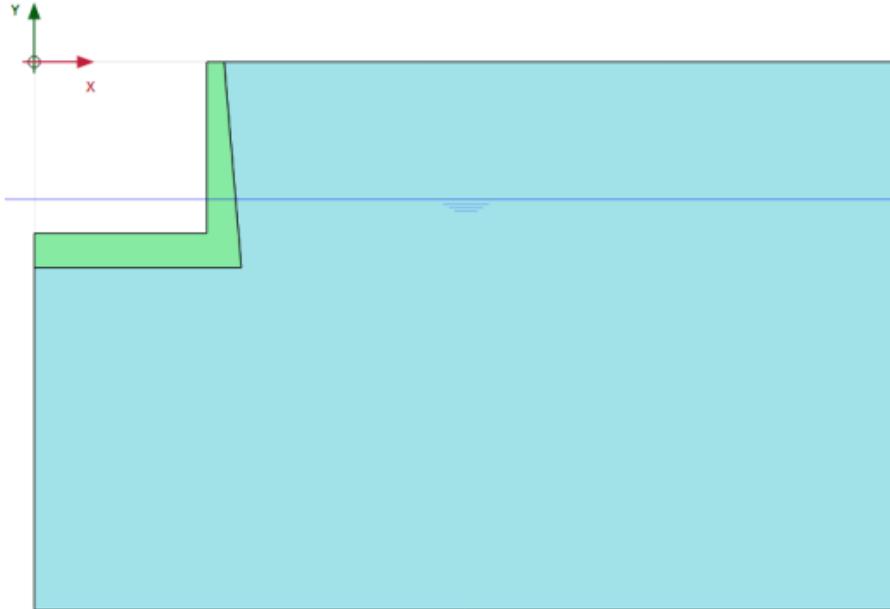


图 10 阶段 1 的模型

阶段 2

 添加一个新的阶段 *Phase_2*。

- 双击阶段浏览器中的 *Phase_2*。
- 设置计算类型为渗流与变形完全耦合分析。
- 热计算类型设置为使用前一阶段温度。这意味着计算时考虑了温度效应并且初始温度使用前一阶段温度。
- 时间间隔设置为 10 天。
- 选中重置位移为零和忽略吸力选项。

本阶段气候选项需要定义一个和时间相关的温度函数。创建温度函数的具体步骤如下：

- 右键模型浏览器属性库中的热函数选项，在出现的下拉菜单中选择编辑选项。将弹出热函数窗口。



在温度函数标签中，通过单击对应按钮添加一个新的函数。这个新的函数默认被高亮显示，同时右侧显示需要定义的信息。

- 信号栏中默认选项为简谐波。
- 为振幅指定值为 15，时间为 40 天。图表显示了定义的函数，如图 11。因为阶段的时间间隔定义为 10 天，本阶段仅考虑了温度循环的四分之一，这意味着 10 天后温度增加到 15K。

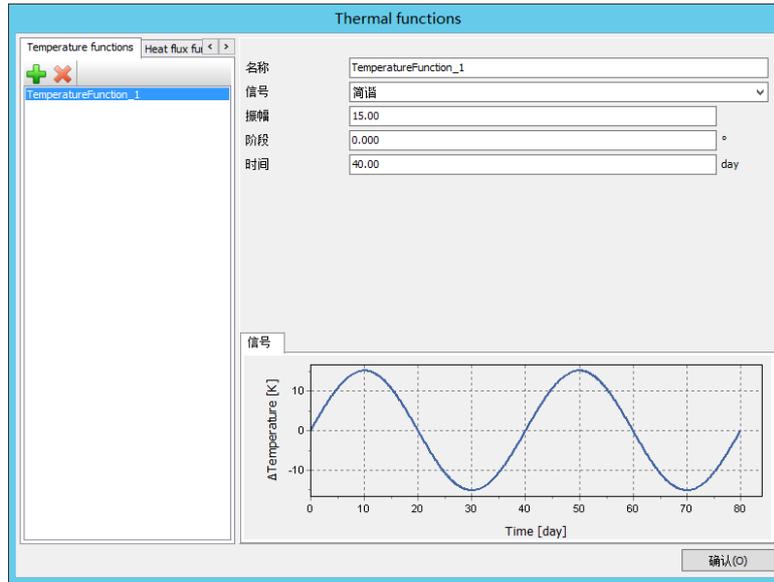


图 11 温度函数窗口

- 单击 OK，关闭热函数窗口。
- 展开模型浏览器中模型条件子目录。
- 将气候选项中的与时间相关选项选择为和时间相关，并指定上面定义好的温度函数，如图 12 所示。

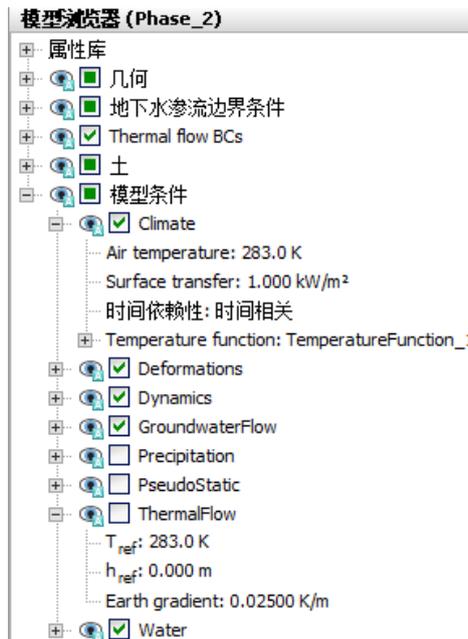


图 12 阶段 2 模型条件

计算的定义现在已经完成。在开始计算前，建议为稍后生成的曲线选择节点或应力点。

 单击竖向工具栏中为生成曲线选择点按钮。选择一些为生成曲线的特殊的点（例如开挖的顶点，（50））

 开始运行计算。

 计算完成之后保存。

4 查看计算结果

在阶段浏览器, 选择初始阶段并单击竖向工具栏中的查看计算结果按钮。在输出程序中, 选择应力菜单中热流动<<温度选项。

图 13 显示了初始温度分布, 初始温度基于参考地面温度和地温梯度。视图显示了地面温度为 283K 和模型底部为 283.4。

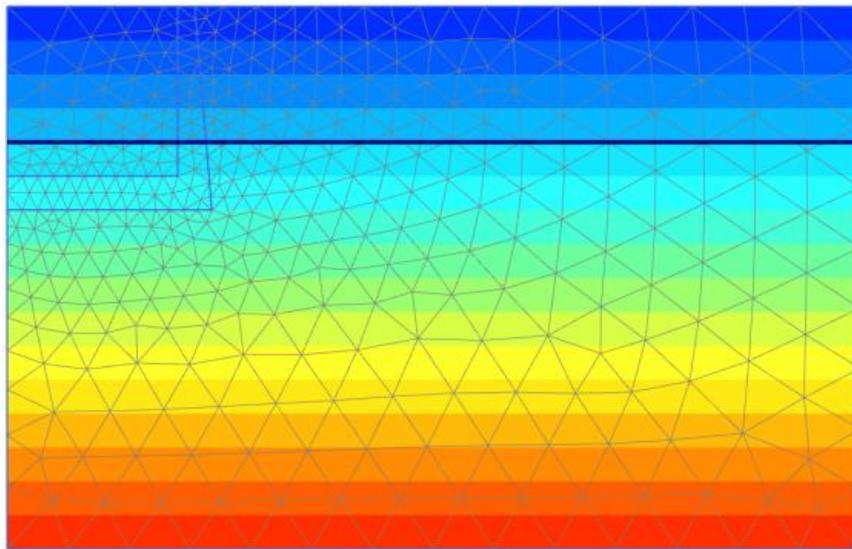


图 13 初始温度分布

图 14 显示了阶段 1 稳态热流计算的温度分布。事实上, 模型顶部和底部的温度和初始阶段的温度一样。然而, 因为地表温度现在定义为气候条件 (空气温度), 这个温度也施加在船闸内侧, 影响地表的温度分布。

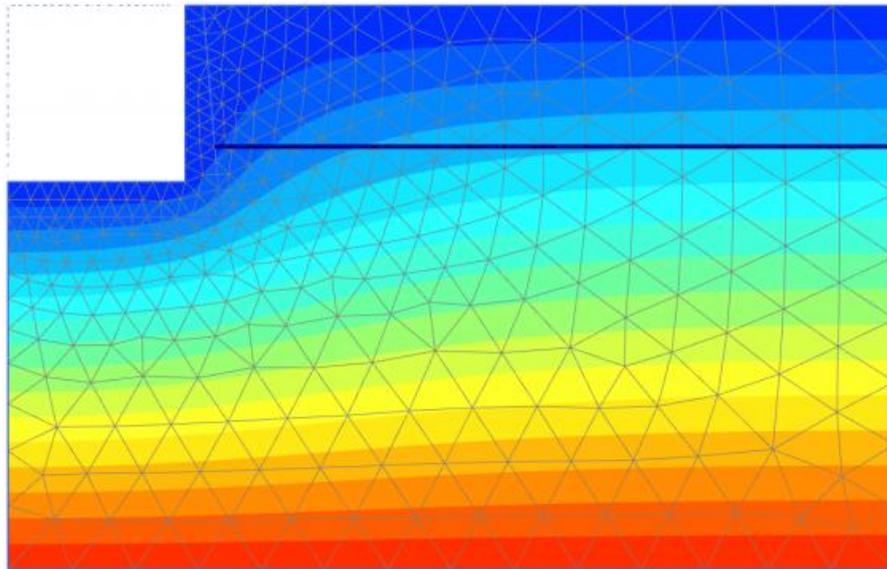


图 14 阶段 1 稳态温度分布

阶段 2，气候条件中的空气温度逐渐从 283K 到 298K（通过定义振幅为 15K,四分之一的简谐波），得到了最关注的计算结果。图 15 显示了地表的温度与时间的函数。

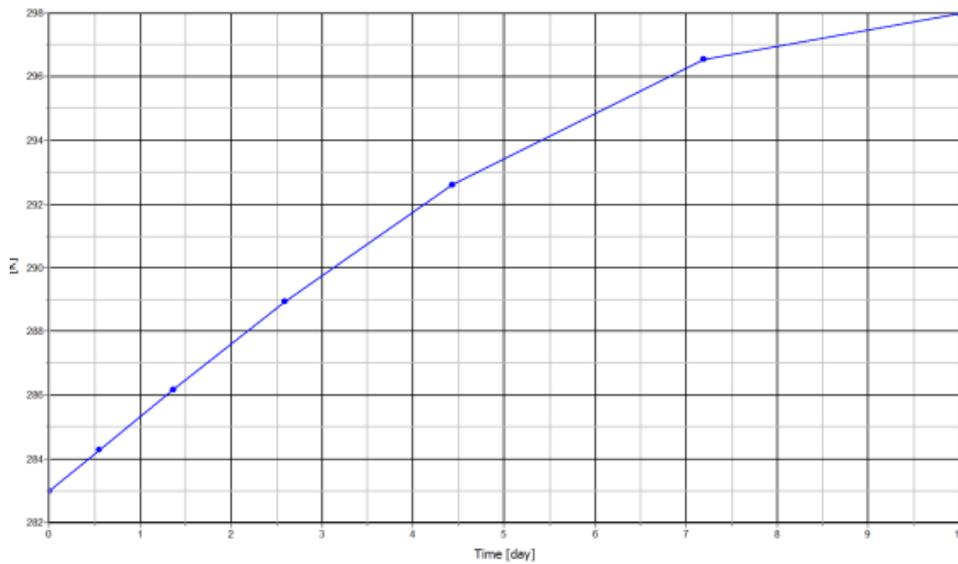


图 15 A 点随时间函数变化的温度分布

由于船闸内侧温度的增加，然而船闸外侧的温度保持不变，这将使墙弯向土体。图 16 显示了阶段 2 的变形网格。这个弯向后面的弯矩，将使船闸后面土体的侧向应力增大，向被动土压力状态发展，如图 17.注意，图 17 的图形是不同的。因为它只显示了多孔介质的应力。在后处理窗口中，点击查看菜单<<设置，设置窗口结果标签下可以改变(参考手册 8.5.2 节)。

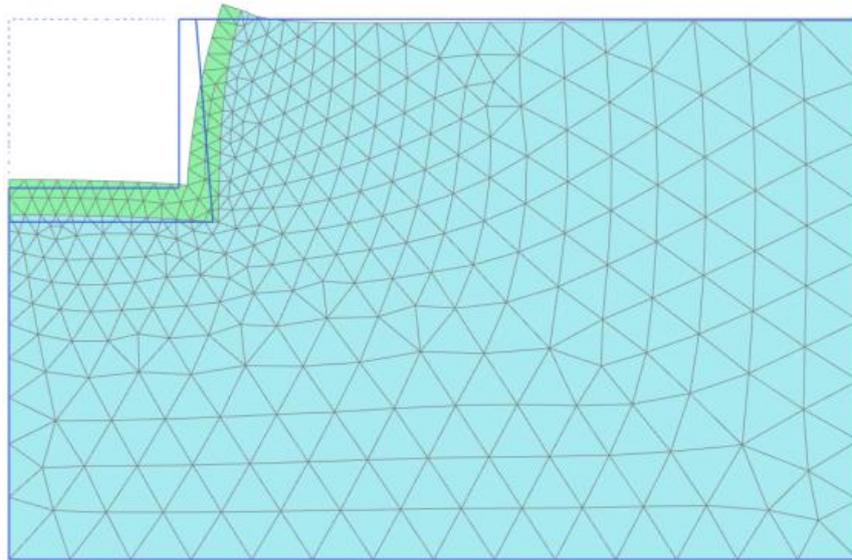


图 16 阶段 2 变形的网格

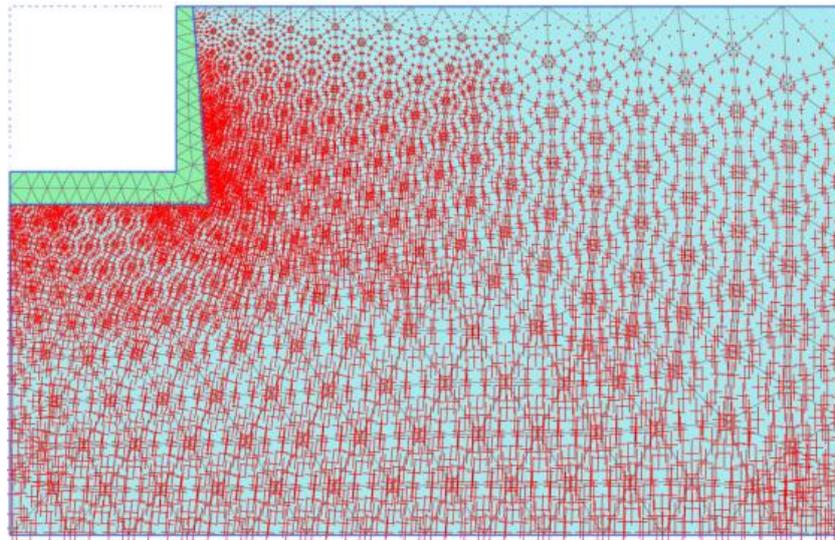


图 17 阶段 2 的有效主应力

本教程到此结束！

岩土工程有限元分析软件

PLAXIS 2D 2015[®]

案例教程



北京筑信达工程咨询有限公司
北京市古城西街 19 号研发主楼 4 层, 100043

版 权

计算机程序 PLAXIS 及全部相关文档都是受专利法和版权法保护的产品。全球范围的所有权属于 Plaxis bv。如果没有 Plaxis 和北京筑信达工程咨询有限公司的预先书面许可，未经许可的程序使用或任何形式的文档复制一律禁止。

更多信息和此文档的副本可从以下获得：

北京筑信达工程咨询有限公司

北京市古城西街 19 号研发主楼 4 层 100043

电话：86-10-6892 4600

传真：86-10-6892 4600 - 8

电子邮件：support@cisec.cn

网址：www.cisec.cn

北京筑信达工程咨询有限公司版权所有©, 2015.

目录

隧道施工中冻结管的应用.....	1
1 输入.....	2
2 网格生成.....	5
3 计算.....	6
4 结果.....	7

隧道施工中冻结管的应用

本例展示由于地层冻结导致耦合地下水流动和热流动的变化。隧道的施工中使用冻结管。首先在土层中安装冻结管，冻结土层使土层不透水，以便开挖隧道。这种施工方法需要很多能量冷却土层，所以当存在地下水流动时通过模拟制冷行为，以便设计最佳的冷冻系统。

本例半径为 3m 的隧道，在厚度为 30m 的土层中施工，如图 1。从左到右都存在地下水流动，进而影响着土层的热力学行为。首先土层遭受低温的冻结管，一旦土层充分冻结，就开始隧道施工。本例中不包含隧道施工过程。

因为地下水流动引起温度的不对称分布，因此模拟整个模型，然而在原来的案例中仅取一半模型就足够了。

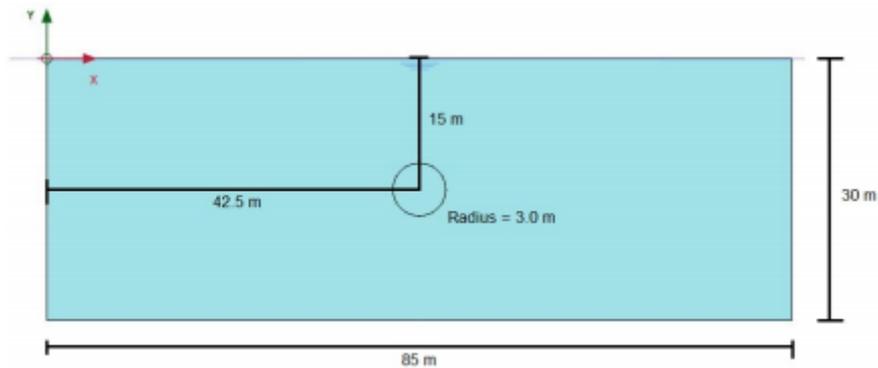


图 1 几何模型

目标:

- 模拟土层冻结，热流动和地下水流动耦合。
- 模拟未冻含水量。
- 使用命令行定义结构单元。

1 输入

1.1 一般设置

- 打开 PLAXIS 2D AE 程序。将会弹出快速选择对话框，选择一个新的工程。
- 在工程属性窗口的工程标签下，键入一个合适标题。
- 在模型标签下，模型（平面应变）和单元（15-Node）保持默认选项。单位值也取默认值。注意质量的单位自动设置为吨。
- 在几何形状设定框中设定土层模型尺寸 $X_{min}=0$, $X_{max}=85$, $Y_{min}=-30$, $Y_{max}=0$ 。
- 在物理常数标签中，设置 T_{water} 和 T_{ref} 为 283K,其他物理常数保持默认值。物理常数的描述可以查看参考手册。
- 点击 OK 即关闭工程属性窗口，完成设定。

1.2 土层定义

定义土层：

-  创建钻孔命令，在 $x=0$ 处。弹出修改土层对话框。
- 在修改土层窗口添加一层土，顶部=0m，底部=-30m。设置水头高度为地表位置 0m。



根据表 1，创建材料数据。

- 按表 1 中的参数定义一般、参数和地下水流动标签。

表 1 土的材料属性

参数	符号	砂土	单位
一般			
材料模型	$Model$	摩尔库伦	--
排水类型	$Type$	排水	--
地下水位以上重度	γ_{unsat}	18	kN/m^3
地下水位以下重度	γ_{sat}	18	kN/m^3
初始孔隙比	e_{int}	0.5	-
参数			
弹性模型	E'	1.0×10^5	kN/m^2
泊松比	ν	0.3	-
内聚力	c'_{ref}	0	kN/m^2
摩擦角	φ'	37	$^\circ$
剪胀角	ψ	0	$^\circ$
地下水			
数据组	-	标准的	-
土类	-	中等	-
水平渗透系数	K_x	1	m/day
垂直渗透系数	K_y	1	m/day
渗透率的改变量	C_k	1.0×10^{15}	-

热力			
比热容	C _s	850	kJ/t/K
导热系数	λ _s	2.0×10 ⁻³	kW/m/K
土密度	ρ _s	2.1	t/m ³
热膨胀 X 分量	α _x	0.5×10 ⁻⁶	1/k
热膨胀 Y 分量	α _y	0.5×10 ⁻⁶	1/k
热膨胀 Z 分量	α _z	0.5×10 ⁻⁶	1/k
未冻结含水量	-	表 2	-
界面			
强度折减因子	-	刚性	-
热转换因子	R	0	m ² K/kW
初始条件			
K ₀ 的确定	-	自动	-

为了模拟特定温度下流过土层中的水流量,通过定义特定温度下未冻结含水量表确定未冻结含水量曲线。其他项目中也可以使用该表,因此可以保持这张表加载到其他项目中。更多的信息,参考参考手册 6.1.4.。

- 单击热标签,输入表 1 给定的值。
- 单击标签底部未冻结含水量前的复选框。



通过单击添加列按钮为表添加列。按照表 2 输入相应数据。

- 按照表 1 键入界面和初始标签中的值。
- 单击 OK 关闭数据组。
- 指定材料给土层。

表 2 砂土未冻结含水量

#	温度 [K]	未冻结含水量 [-]
1	273.0	1.00
2	272.0	0.99
3	271.6	0.96
4	271.4	0.90
5	271.3	0.81
6	271.0	0.38
7	270.8	0.15
8	270.6	0.06
9	270.2	0.02
10	269.5	0.00

1.3 定义结构单元

PLAXIS 2D 2015 案例教程：隧道施工中冻结管的应用

通过定义和冻结管直径（10cm）相同长度的线模拟冻结管，包括对流边界条件。为了简单，本例中只定义 12 根冷冻元件，然而实际上为了使土层足够的冻结，使用了更多的冷冻元件。

- 切换到结构模式
- 单击竖向工具栏中创建线按钮。
- 单击命令行，键入“line 45.141 -13.475 45.228 -13.425”。按<Enter>键创建第一个冻结管，关于命令行更多的信息查看参考手册 3.6 节。
- 根据表 3 类似的创建其余冻结管。



使用竖向工具栏中选择更多对象<<选择线,将刚才创建的线选中。



右键选择线，选择热流边界条件为冷冻管创建热流边界条件。

- 选中冻结管，展开选择浏览器中热流边界条件子目录树。
- 行为设置为对流， T_{fluid} 为 250K，传递系数指定为 $1.0\text{kW}/\text{m}^2/\text{K}$ 。

表 3 线模拟的冻结管坐标

线标号	X_{point1}	Y_{point1}	X_{point2}	Y_{point2}
1	45.141	-13.475	45.228	-13.425
2	44.025	-12.359	44.075	-12.272
3	42.500	-11.950	42.500	-11.850
4	40.975	-12.359	40.925	-12.272
5	39.859	-13.475	39.772	-13.425
6	39.450	-15.000	39.350	-15.000
7	39.859	-16.525	39.772	-16.575
8	40.975	-17.641	40.925	-17.728
9	42.500	-18.050	42.500	-18.150
10	44.025	-17.641	44.075	-17.728
11	45.141	-16.525	45.228	-16.575
12	45.550	-15.000	45.650	-15.000



绘制代表边界条件的线（00）和（850）。



右键创建的线并从下拉菜单中选择热流边界条件选项。



再次右键创建的线并从下拉菜单中选择地下水流动边界创建边界条件。

- 相似的创建边界（850）到（85 -30）；（85 -30）到（0 -30）和（0 -30）到（00）。

PLAXIS 允许施加不同热力边界条件。本例中冻结管模拟为对流边界条件。

- 多选创建的边界。
- 热流边界条件行为设置为温度， T_{ref} 为 283K。

为了指定地下水边界条件，按照下列步骤：

- 多选顶部和底部边界。
- 对于地下水流动边界，设置行为为关闭。
- 选择左边边界，设置行为为流入 $q_{ref}=0.1m/day$ 。
- 右边界有默认的渗漏行为。

使用隧道设计器创建隧道。因为本例中不考虑变形，因此没有必要为隧道指定板的材料属性。生成的隧道仅用来沿冻结管周围生成更密实和均匀的网格。在任何阶段都不激活隧道，但是 PLAXIS 将会发现线单元并根据这些单元生成网格。改变冻结管单元的粗糙系数将生成更密实，但是相对不均匀的网格。

单击竖向工具栏中的创建隧道按钮，在绘图区单击（42.5 -18）。

- 形状类型选择圆，注意默认选项是自由。
- 本例使用默认的定义整个隧道选项。
- 切换至线段标签，为生成的两个线段半径定义为 3m。
- 单击生成按钮，生成定义的隧道。关闭隧道设计器窗口。

模型的几何信息如图 2 所示。

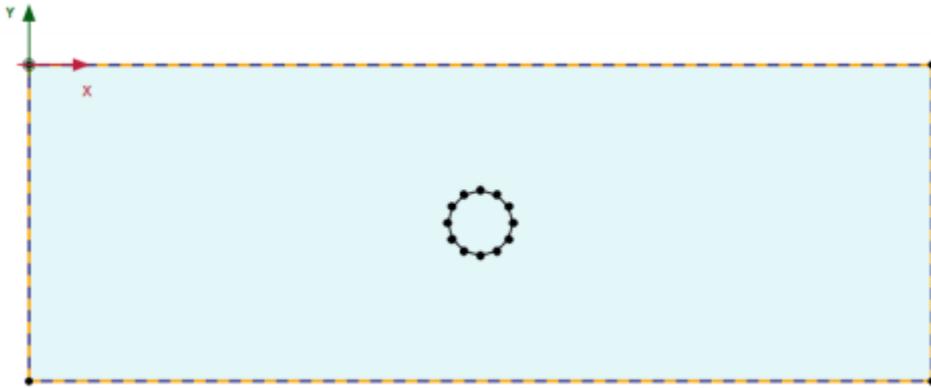


图 2 模型几何信息

2 网格生成

- 切换到**网格模式**
 -  使用默认的单元分布参数（中等）。
 -  生成的结果如图 3。
- 单击关闭按钮，关闭输出窗口。

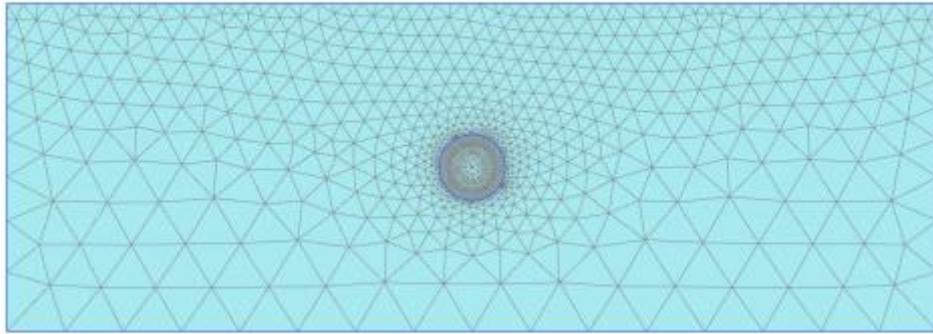


图 3 生成的网格

3 计算

本例计算执行仅流动计算。

初始阶段

- 切换到分步施工模式。
- 双击阶段浏览器的初始阶段。
- 阶段窗口一般标签计算类型选择仅流动计算选项。
- 热力计算类型选择地温梯度选项。
- 在分步施工模式中激活模型条件子目录的热流动并将 T_{ref} 值改为 283K, h_{ref} 为 0.地温梯度为 0 K/m。

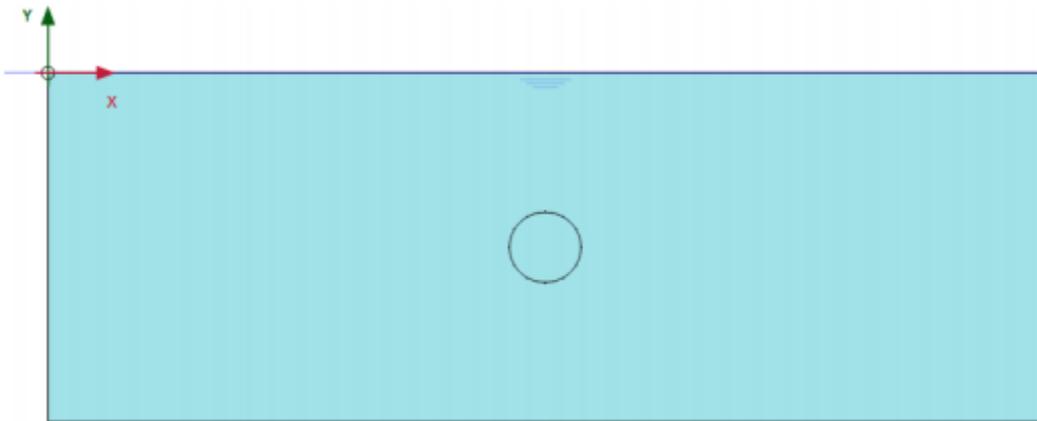


图 4 初始阶段

阶段 1



添加新的阶段。

- 双击阶段浏览器中阶段 1.
- 在阶段窗口，为本阶段键入一个合适的名称（例如“瞬态计算”）。



将孔压计算类型选择为瞬态地下水流动。

 热计算类型选择为瞬态热流选项。

- 设置时间间隔为 180 天, 储存最大步骤为 100. 这样计算完成后能够查看中间时间步。
- 在分步施工模式中, 通过单击模型浏览器热流边界条件前复选框, 激活所有的热力边界条件。
- 在模型浏览器中, 激活地下水渗流边界条件子目录中的左边、顶部、右边和底部四个地下水渗流边界条件。
- 在模型浏览器中冻结模型条件子目录中的热流条件选项。

 单击竖向工具栏中的为生成曲线选择点按钮。为生成曲线选择一些特征点（例如两个冻结管中间的节点）。

 在分步施工模式中选择计算按钮, 计算项目。

 计算完成后保存该项目。

4 结果

这个计算感兴趣的计算结果可能是两个冻结管间最终没有地下水流动, 地下水流过整个模型和稳态和瞬态计算温度分布的情况。

输出程序中查看计算结果:

 单击工具栏中的查看计算结果。

- 选择菜单应力<<热流动<<温度。
- 如图 15 显示了瞬态计算最后计算步温度的空间分布。

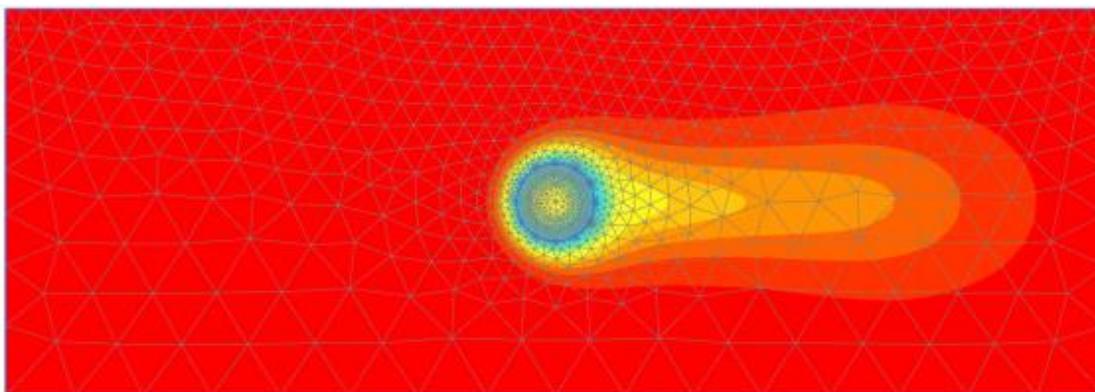


图 5 瞬态计算阶段温度分布

- 菜单应力<<地下水流动<< | q | .

 在视图菜单中选择箭头选项或者单击对应的按钮以矢量图的形式显示。

PLAXIS 2D 2015 案例教程：隧道施工中冻结管的应用

在输出程序中，可以查看计算结果的中间保存的计算步。更多详细的信息查看参考手册 8.4.9 章节。也可以查看隧道冻结过程。

- 图 6 显示了瞬态计算某一个中间步的地下水渗流场分布（大约 80 天）。
- 图 7 显示了瞬态渗流计算最后时间步渗流场。可以非常清楚的看到整个隧道内部都冻结了，没有渗流发生。

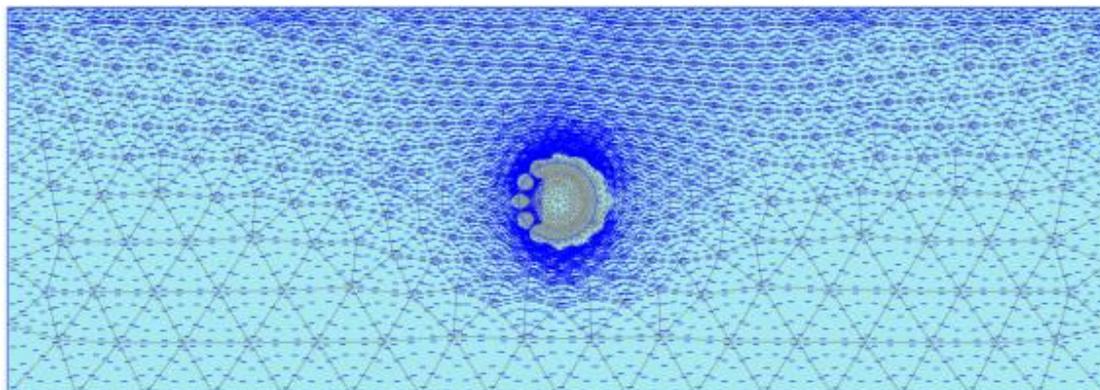


图 6 瞬态计算阶段中间步地下水渗流场 ($t \approx 80$ 天)

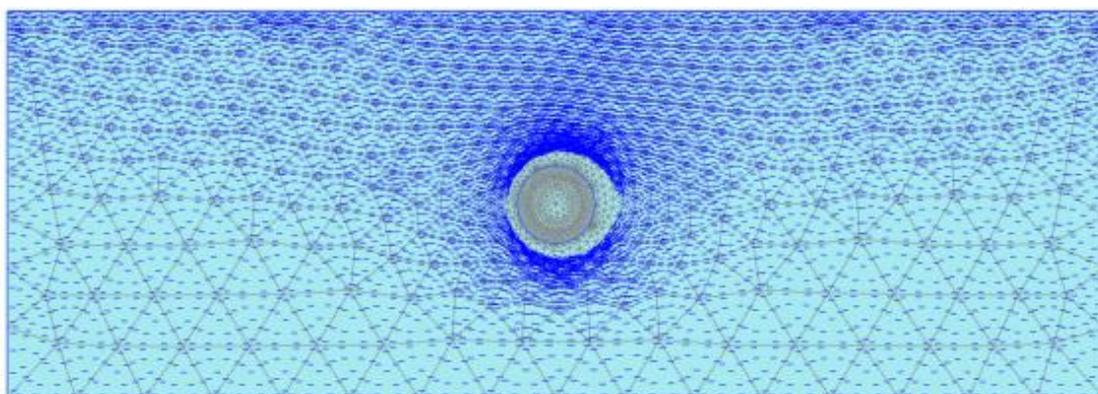


图 7 180 天后地下水渗流场

本教程到此结束！