

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。

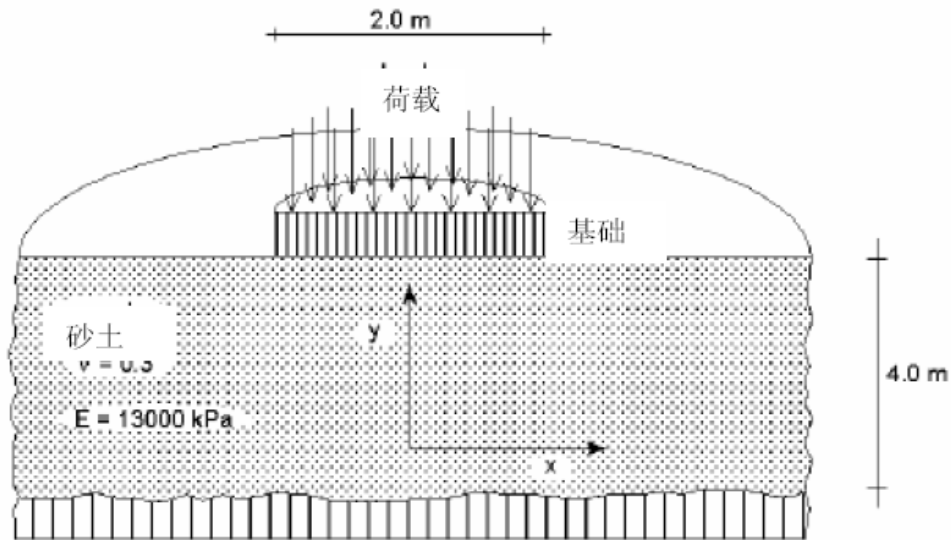


图 1 砂土层上圆形基础的沉降

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。

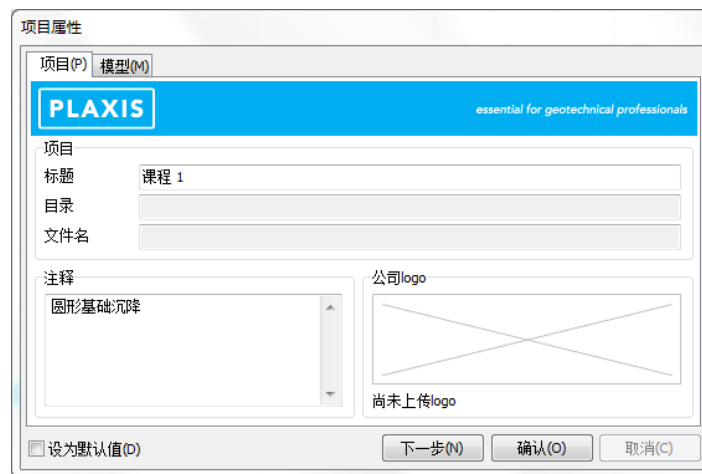


图 3 项目属性窗口项目标签

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）。

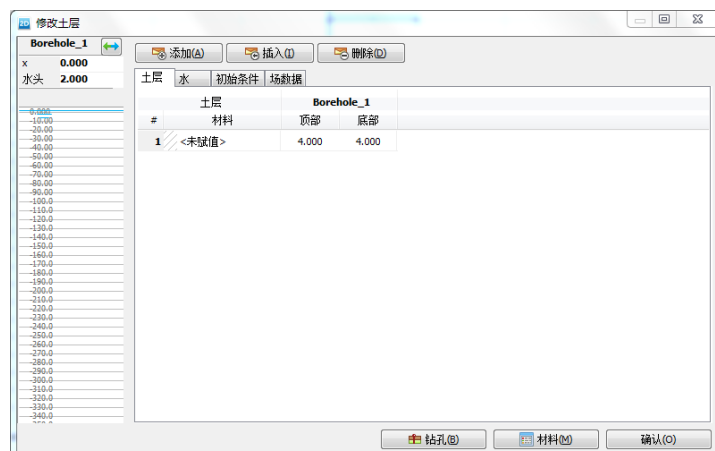


图 5 修改土层窗口

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。

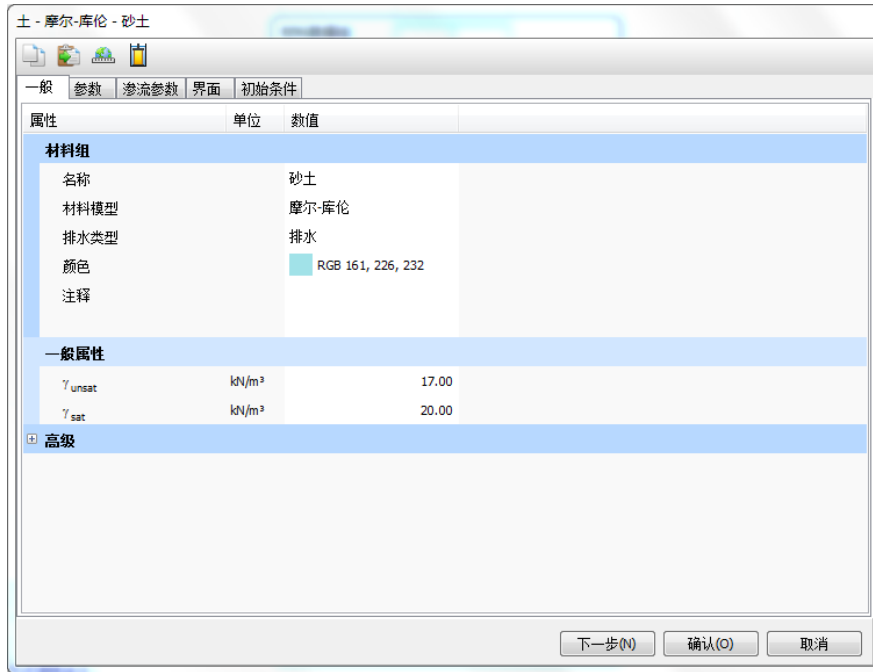


图 7 土和界面材料数据组一般标签

- 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。

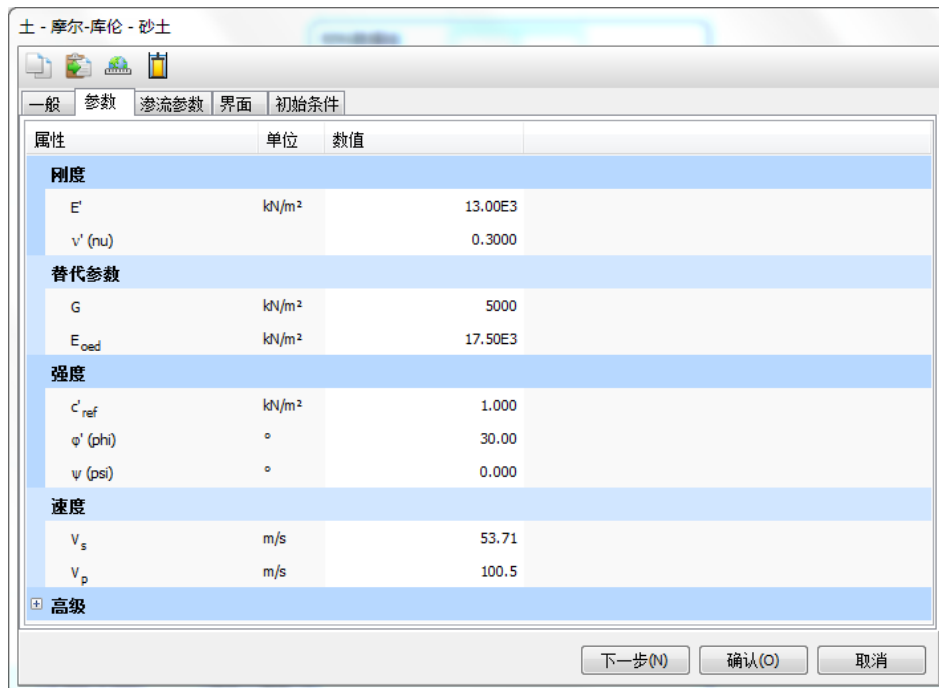


图 8 参数标签

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）。

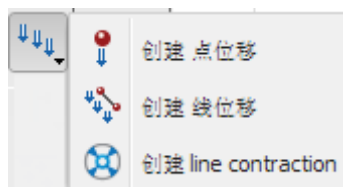


图 9 创建位移选项

- 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。

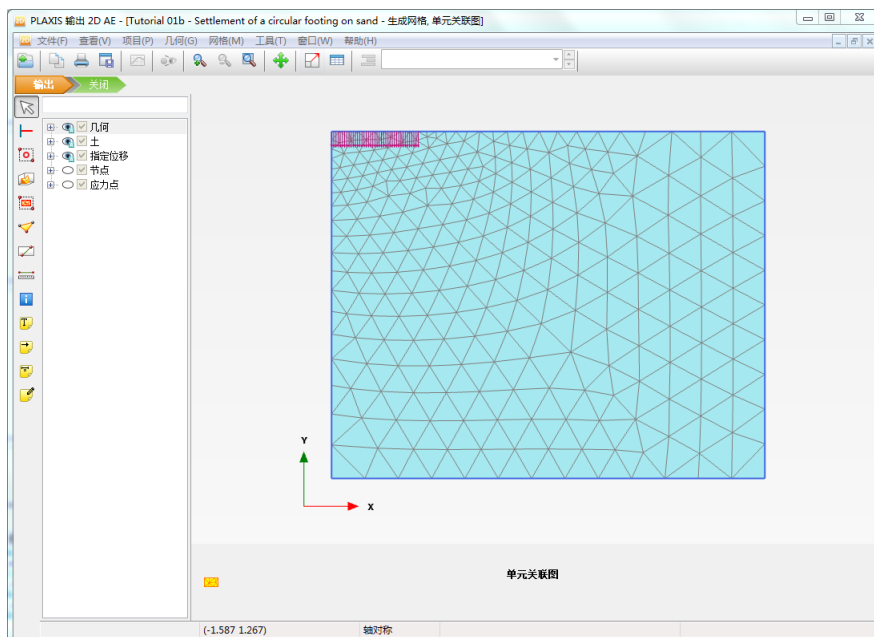


图 12 输出窗口生成的网格

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。

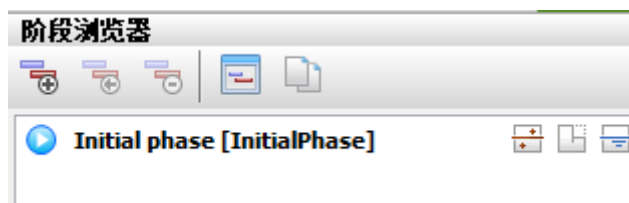


图 13 阶段浏览器

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）。

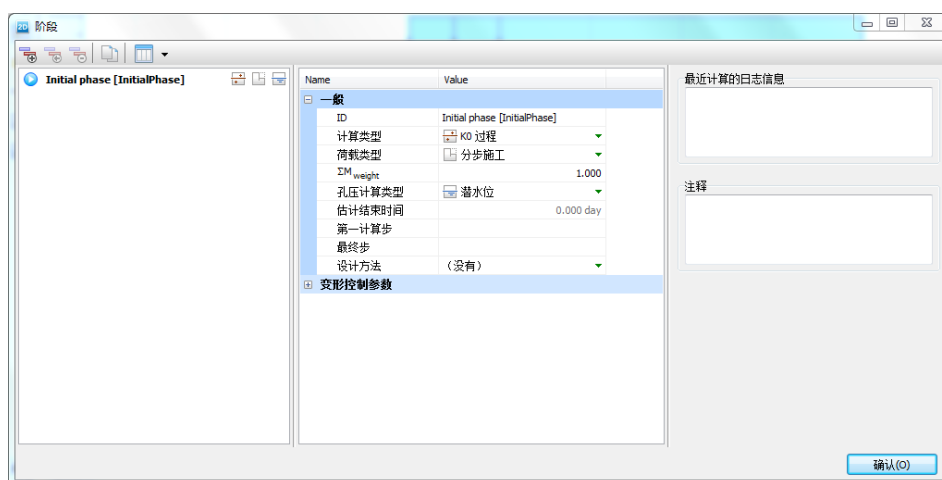


图 14 初始阶段阶段窗口



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）。

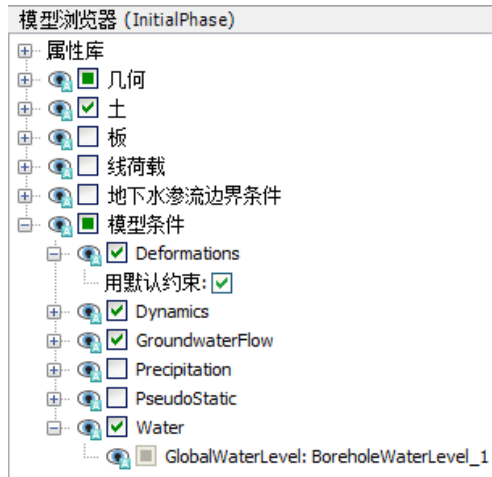


图 15 模型浏览器变形和水子目录

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。

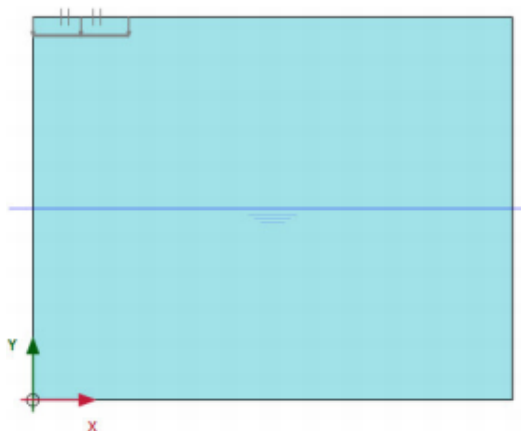


图 16 初始阶段分步施工模式

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）。

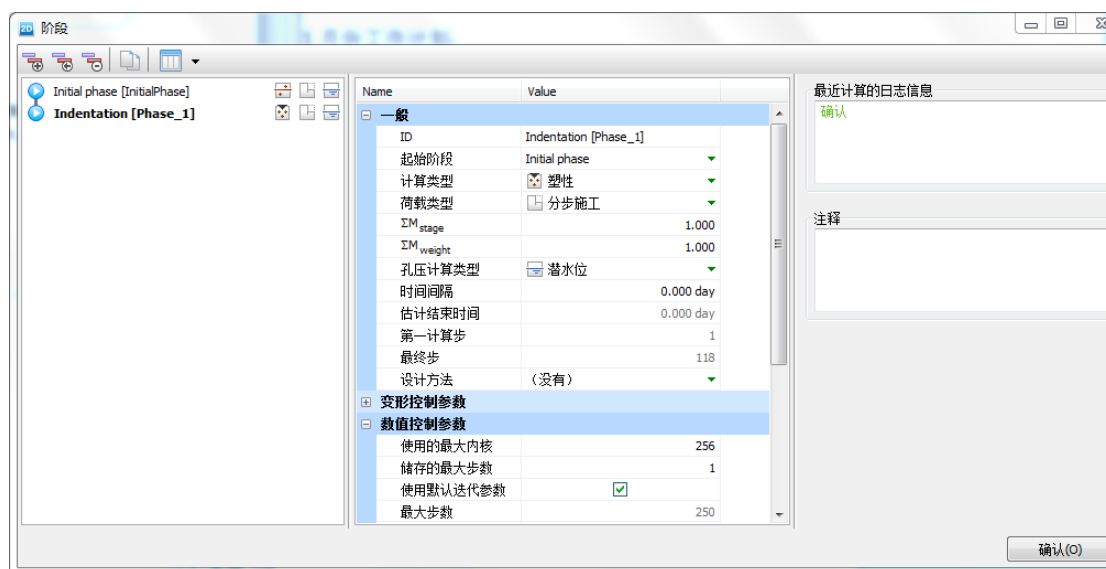


图 17 阶段窗口 Indentation 阶段

- 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）。

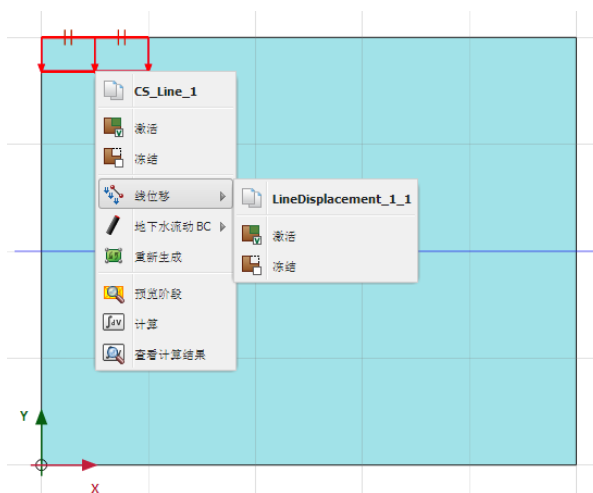



图 18 分步施工模式中激活指定位移

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。

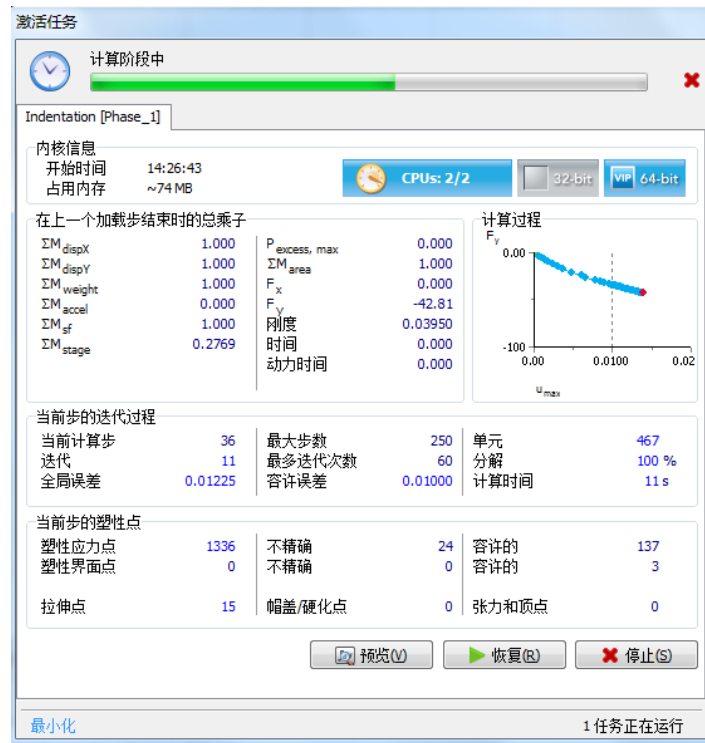


图 19 计算窗口

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。

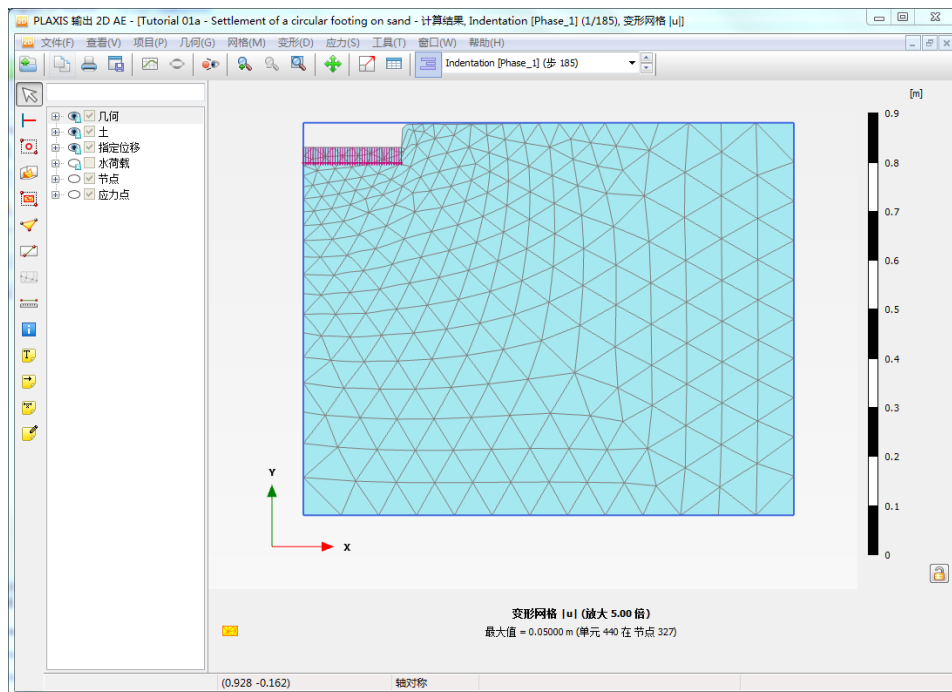




图 20 计算完成后的变形网格

- 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）。

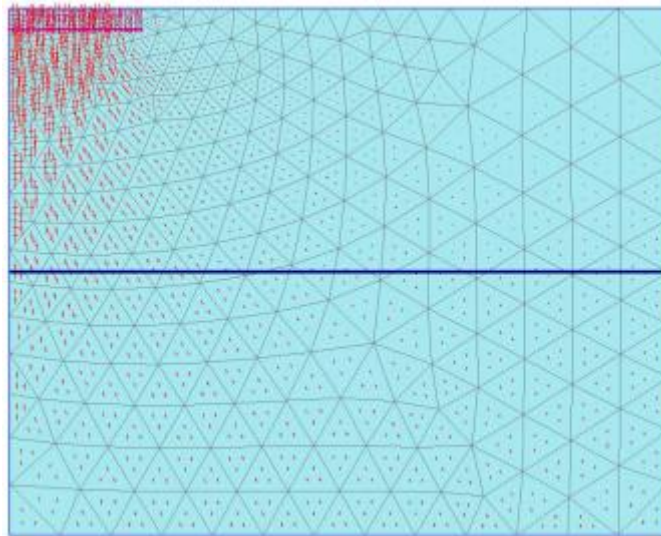


图 21 有效主应力

- 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）。

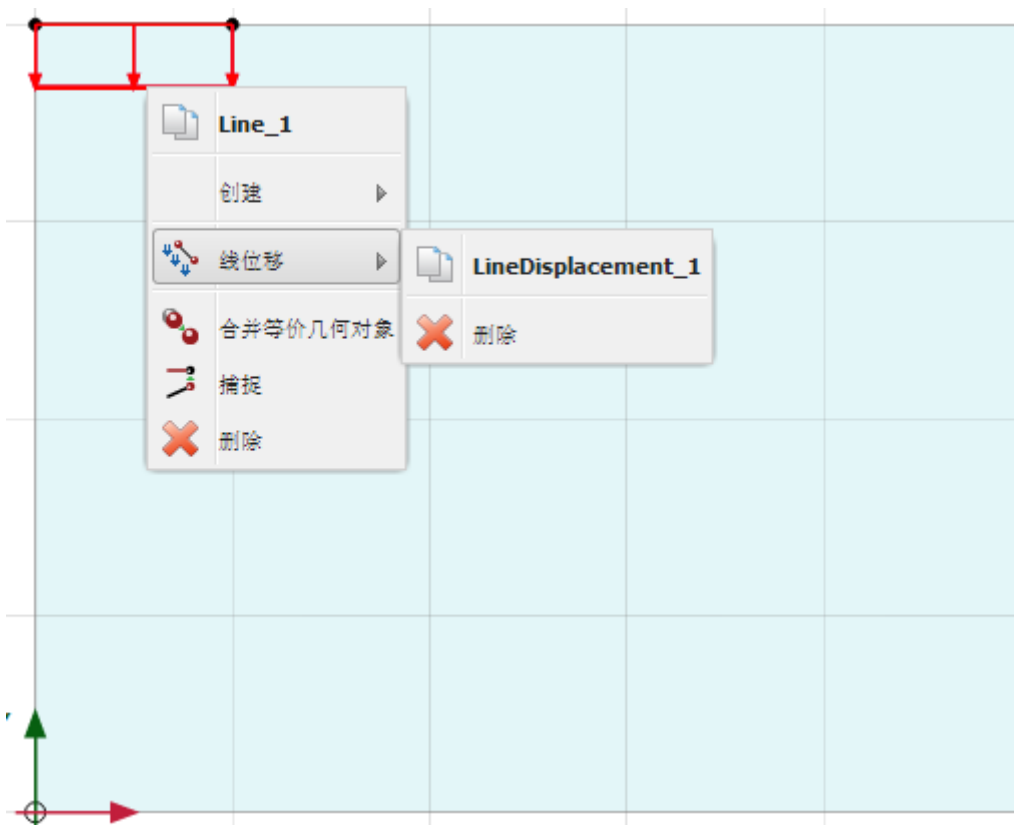


图 22 删除指定位移

- 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。

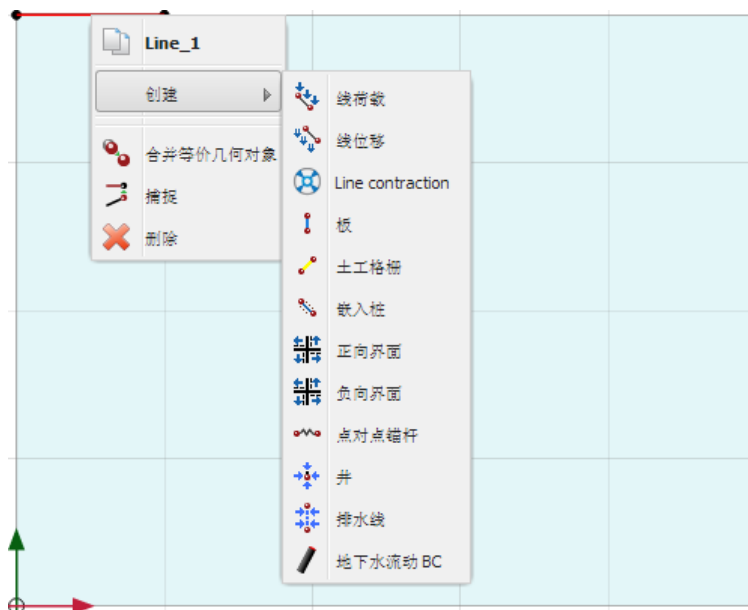


图 23 为线指定板

- 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）

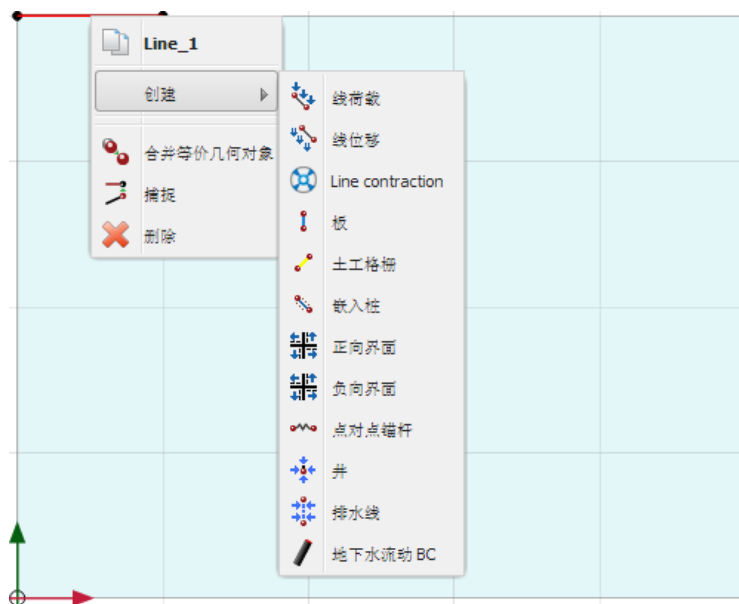


图 24 为线指定线荷载

- 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。

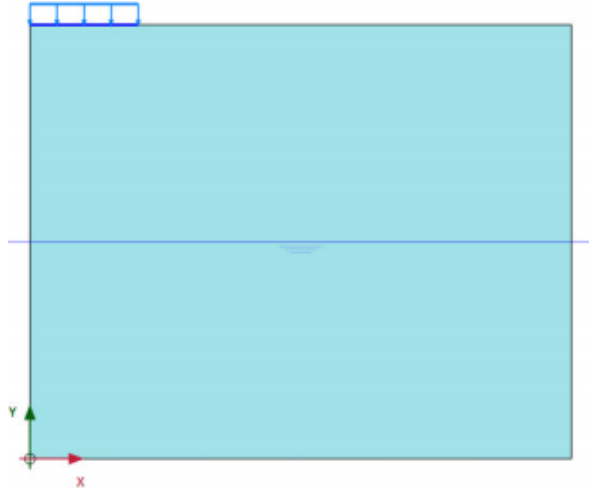


图 25 激活模型中板和荷载


- 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。

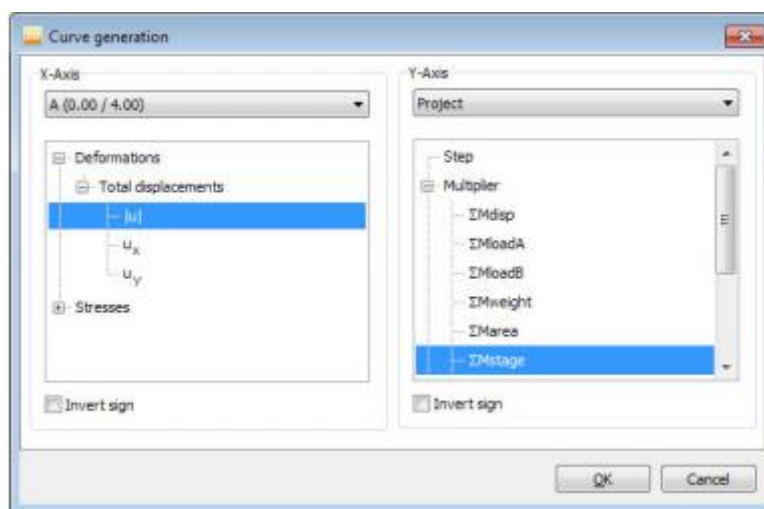


图 27 曲线管理器窗口

- 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 ΣM_{stage} 。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。

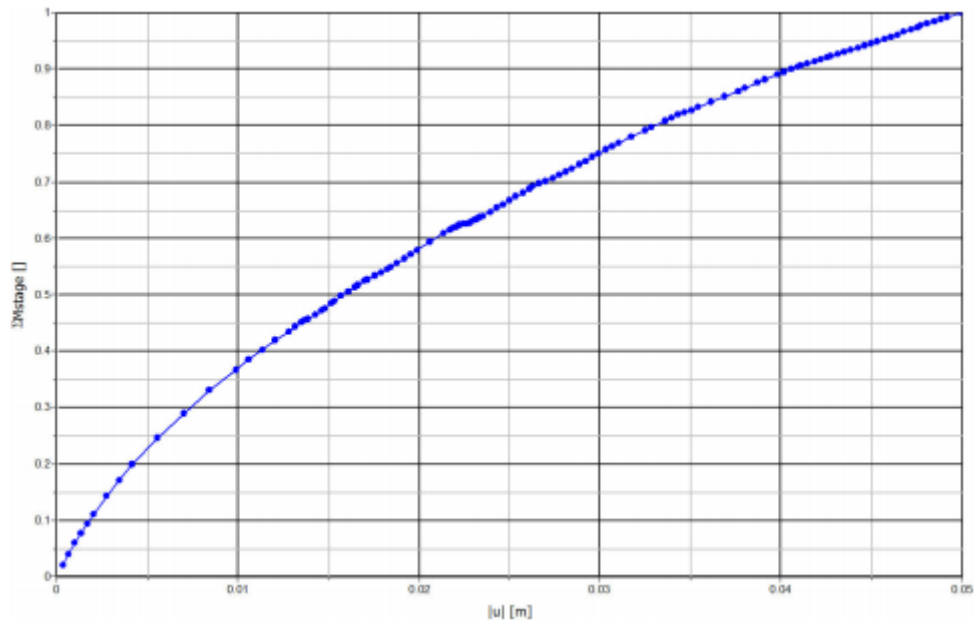


图 28 基础荷载-位移曲线

本教程到此结束！