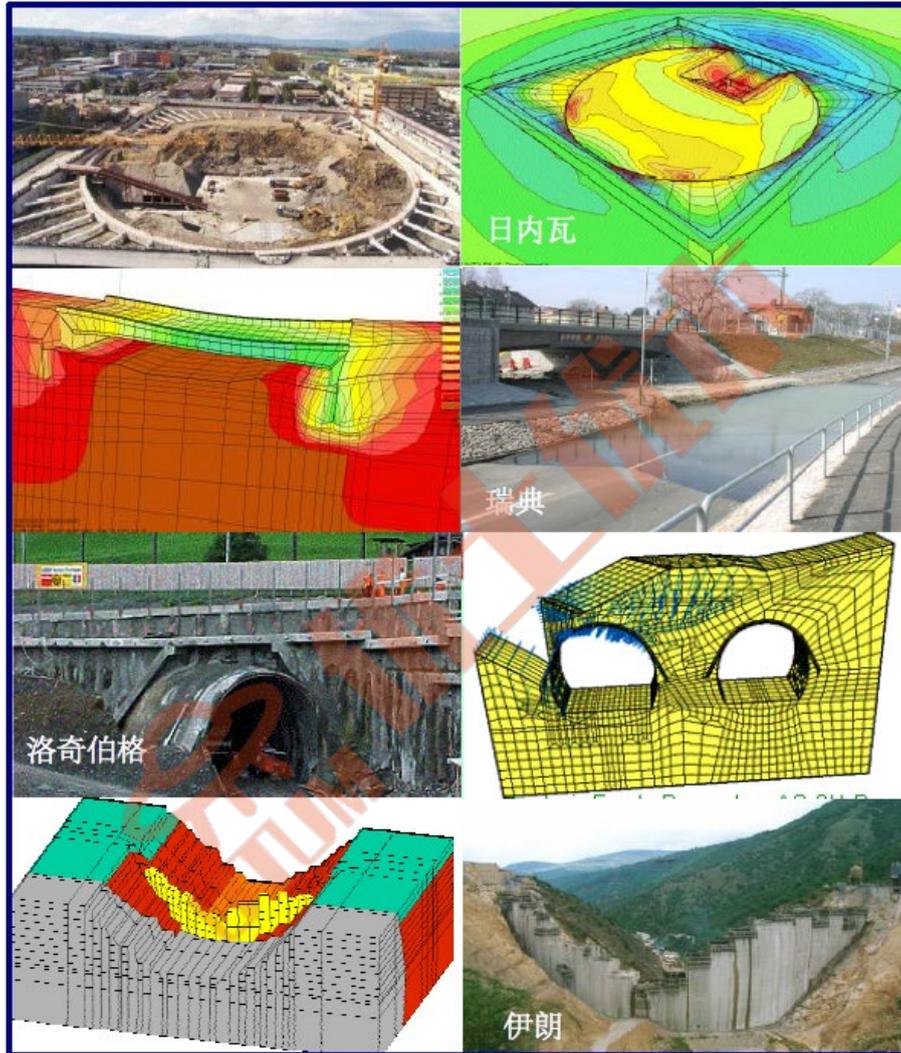
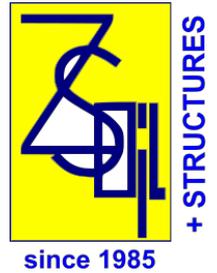


ZSOIL.PC 2020

用户手册

教程



在干燥或部分饱和介质中的
土壤、岩石和结构力学

Copyright 1985-2020
Zace Services Ltd, Software engineering
P.O.Box 2, 1015 Lausanne, Switzerland
Tel.+41 21 802 46 05, Fax 802 46 06
<https://www.zsoil.com>, **Hotline** hotline@zsoil.com

教程

ZSoil[®].PC 2020 手册

A. Truty Th. Zimmermann K. Podleś R. Obrzud
with contribution by **A. Urbański and S. Commend**



Zace Services Ltd, Software engineering
P.O.Box 2, CH-1015 Lausanne
Switzerland
(T) +41 21 802 46 05
(F) +41 21 802 46 06
<http://www.zsoil.com>,
hotline: hotline@zsoil.com

提醒

ZSoil.PC 会定期更新以进行细微更改。我们建议您以 ZSoil 所有者的身份向我们发送邮件，以便我们通知您更新内容。否则，请定期访问我们的网站并下载免费升级到您的版本。

手册的最新更新始终包含在联机帮助中，因此与您印刷的手册的细微差别可能会表现在时间上；如有疑问，请始终参阅最新版本的在线手册。

ZSoil.PC 2020 手册:

- 1.数据准备
- 2.教程和基准测试
- 3.理论

ISBN 2-940009-08-2

Copyright ©1985–2020 by Zace Services Ltd, Software engineering. All rights reserved.

Published by Elmpress International, Lausanne, Switzerland

Zace的ZSoil®软件的最终用户协议

适用于V2020所有版本：专业&学术、单用户&网络

基于Windows 7, 8, 10

仔细阅读本文件，它是您与 Zace Services SA (Zace) 之间针对上述标识软件产品的协议。通过安装、复制或以其他方式使用上述标识软件产品，即表示您同意受本协议条款的约束。如果您不同意本条款协议，请及时将未使用的软件产品全额返还至您获取的地方，退还已付价款。ZACE SERVICES SA 对 ZSOIL 提供 60 天退款保证。

ZSOIL（适用的软件及相关热线服务）软件产品许可：

ZSOIL软件受版权法和国际版权条约以及其他知识产权法和条约保护。ZSOIL软件产品通过授权的形式使用，而非出售。

1. 授权许可

- A: Zace Services SA (Zace)**授权您（客户），一个非独占许可来使用 $N_{\text{购买}}$ （=购买的许可数量）ZSOIL的副本。您可以在不限数量的计算机上安装ZSOIL的副本，前提是您仅能使用 $N_{\text{购买}}$ 时的副本。
- B:** 您可以制作无限数量的ZSOIL随附文件的副本，前提是此类副本只能用于用于内部使用，不得重新发布或分发给任何第三方。
- C:** 协议的期限可能是有限的，也可能是无限的，具体取决于购买的许可证。
ZSOIL V2020 永久许可自购买之日起，将获得为期 4 年的支持。此支持仅限于 ZSOIL V2020 升级，基于Windows 7、8、10。

2. 版权

软件（ZSOIL）产品的所有所有权和版权（包括但不限于图像、照片、文本、小程序等），随附材料和ZSOIL的任何副本均归Zace Services SA所有。ZSOIL受版权法和国际条约规定。因此，您必须像对待任何其他受版权保护的材料一样对待ZSOIL，除非您可以制作用于备份或存档目的的软件副本，或按照上述第 1 节的规定安装软件。

3. 其他权利和限制

- A:** 对于逆向工程、反编译、反汇编的限制。您不得反向工程，反编译或拆卸软件（ZSOIL）
- B:** 没有模块的分割。ZSOIL是作为单一产品许可的，既不是软件的模块，也不是任何升级可以分开使用当超过 $N_{\text{购买}}$ 使用的时候。
- C:** 出租。您不得出借、出租或租赁软件产品。
- D:** 软件转让。您可以永久转让您在本协议项下以及在领土（所在国内购买和交付的所有权），前提是您不保留任何副本，并且收方同意本协议的所有条款。
- E:** 终止。如果您不遵守本协议的条例，Zace Services SA可以在不损害任何其他权利的情况下终止本协议。在这种情况下，您必须销毁本软件的所有副本。

保证和保证的限制

1. 免责声明

ZSOIL，由Zace Services SA开发的一个用于分析地上或地下结构的有限元程序，其中土壤/岩石和结构模型被用来模拟土壤，岩石和/或结构的行为。ZSOIL代码及其土壤/岩石和结构模型是经过精心开发的。虽然已经进行了系统的测试和验证，但这也并不能保证ZSOIL代码没有错误。此外，通过模拟岩土和/或结构问题有限元方法隐含地涉及一些不可避免的数值和建模错误。ZSOIL是一款旨在提供给仅由经过培训的专业人员所使用的工具，不能替代用户的专业判断或独立测试。模拟现实的准确性在很大程度上取决于用户对问题建模的专业知识，理解土和结构模型及其局限性，模型参数的选择，以及判断可靠性的能力的计算结果。因此，ZSOIL只能由拥有上述专业知识的专业人员使用。当用户将计算结果用于岩土工程设计时，他/她必须意识到他/她的责任。Zace Services SA对于基于ZSOIL计算输出的设计错误，Services SA不承担任何责任。用户全权负责建立独立程序，以测试ZSOIL计算的任何输出结果的可靠性、准确性和完整性。

2.有限保证

Zace Services SA保证**ZSOIL**将 a) 自收到之日起 90 天内,基本上按照随附的书面材料执行,并且 b) 自收到之日起一年内,产品随附的任何硬件都不会存在材料缺陷正常使用和服务的工艺。

3.客户补救措施

Zace Services SA的全部责任和您的唯一补救措施应由**Zace**选择,要么 a) 退回已支付的价格,要么 b) 修理或更换不符合 **Zace** 有限保修的软件或硬件组件,并被退回到**Zace Services SA**,并附上付款证明的副本。如果软件或硬件组件是由事故、滥用或误用造成的故障,则此有限保证无效。任何软件或硬件组件的更换都将得到保证原始保修期的剩余时间或 30 天,以较长者为准。

没有其他保证。

您承认并同意 **ZSOIL** 是在“原样”和“可用”的基础上提供的,并且您对**ZSOIL**以及由此访问的任何第三方内容和服务的使用或依赖于您的唯一风险和自由裁量权。**ZACE SERVICES SA**及其附属公司、合作伙伴、供应商和许可方特此拒绝任何和所有关于**ZSOIL**和第三方的陈述、保证和保证派对内容和服务,无论是明示的、暗示的还是法定的。在最大范围内根据适用法律,**ZACE SERVICES SA** 不承担所有其他明示或暗示的保证,包括但不限于对特定商品的适销性和适用性的暗示保证目的,关于软件产品和任何随附硬件。不承担任何责任间接损害。在法律允许的最大范围内,**ZACE** 服务在任何情况下均不得对任何特殊的偶然事件、间接事件或后果性事件承担任何责任(直接由您承担)任何损害(包括但不限于因业务、利润、业务损失而造成的损害)中断、业务信息丢失或任何其他经济损失)因使用或无法使用 **ZSOIL**,即使 **ZACE SERVICES SA** 已被告知发生此类损害的可能性。

其他规定。

热线: 如果包括在内,在购买后的第一年,**Zace Services SA** 将通过专门的电子邮件提供热线帮助。本服务不包括对实际项目的所有形式的咨询。此热线援助可以在接下来的几年中续订(最多 3 年),平均成本为当前全包价格的 15%。

专业版的**ZSOIL**是指在实践中与研究中心使用。

学术**VERSIONS**的**ZSOIL**都是为了学术机构的教学和研究,以独占使用。

学术的咨询**VERSIONS**的**ZSOIL**都是为了教学,科研要专用,学术机构的咨询。

适用法律及管辖权本协议受瑞士(实证法)管辖,因本协议或使用ZSOIL而产生的或与之相关的所有争议均由沃州(洛桑区)的普通法院独家解决。

Copyright©1985-2020 Zace Services SA, Lausanne, Switzerland

LAUSANNE 18.02.2020



教程目录

前言	9
第一章 二维问题	11
1.1 开挖稳定性分析	12
1.2 如何在外部荷载下求解轴对称问题	15
1.3 如何求解固结问题	19
1.4 求解桩板墙问题	23
1.5 如何求解稳态流问题	28
1.6 如何在城市环境中模拟隧道	31
1.7 热传导的力学分析	38
1.8 基于区域折减法的土-结构动力相互作用	48
1.9 土钉支护垂直开挖	78
第二章 三维问题	95
2.1 混凝土箱容器	96
2.2 排水混凝土坝	101
2.3 加筋土桥台	105
2.4 采用桩加固的基础筏	112
索引	117



前言

本部分所包含的示例如下所示：

- 说明数据准备技术的某些方面；
- 展示程序处理不同真实案例的能力；
- 展示后处理器使用中最重要方面。

在模型生成的过程中描述操作的方式是最佳的，为了尽可能减小用户学习的难度，并尽可能自动化数据生成的过程。

本章中包含的所有示例将首先简要介绍，然后是创建模型的所有主要步骤，计算和可视化结果将以视频链接的形式呈现在手册中。

有关理论背景，请参阅**理论手册**。对于系统描述 od 数据准备技术见**数据准备**。

二维问题

三维问题



第一章 二维问题

1.1 开挖稳定性分析

如何.....

1.2 在外部荷载下求解轴对称问题

1.3 求解固结问题

1.4 求解桩板墙问题

1.5 求解稳态流问题

1.6 在城市环境中模拟隧道

1.7 热传导的力学分析

1.8 基于区域折减法模拟土-结构动力相互作用

1.9 模拟土钉的垂直开挖的

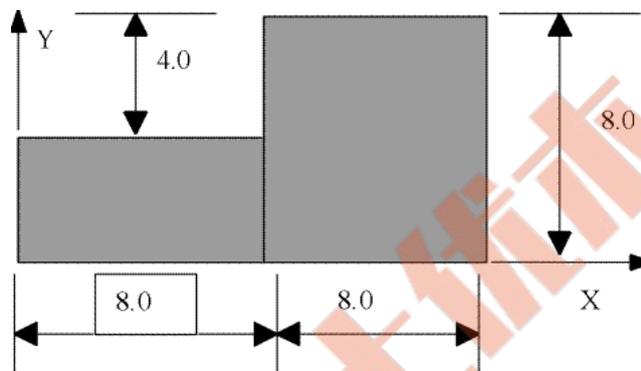
1.1 开挖稳定性分析

- 数据文件: tutorials/cut.inp
- 问题描述

本课程的目的是熟悉 ZSoil 的环境，特别是图形化的面向对象的前处理器和后处理器。在这篇教程中，会用到半自动网格的宏-建模方式。

- 工程草图

下图显示了开挖 4m 深的几何形状。



- 项目预选

在项目预选对话框中（在 ZSoil® 主界面中选择 File/New 时，会自动出现），Analysis type 选择 Plane Strain，Problem type 选择 Deformation，这样就可以进行单相平面应变分析。



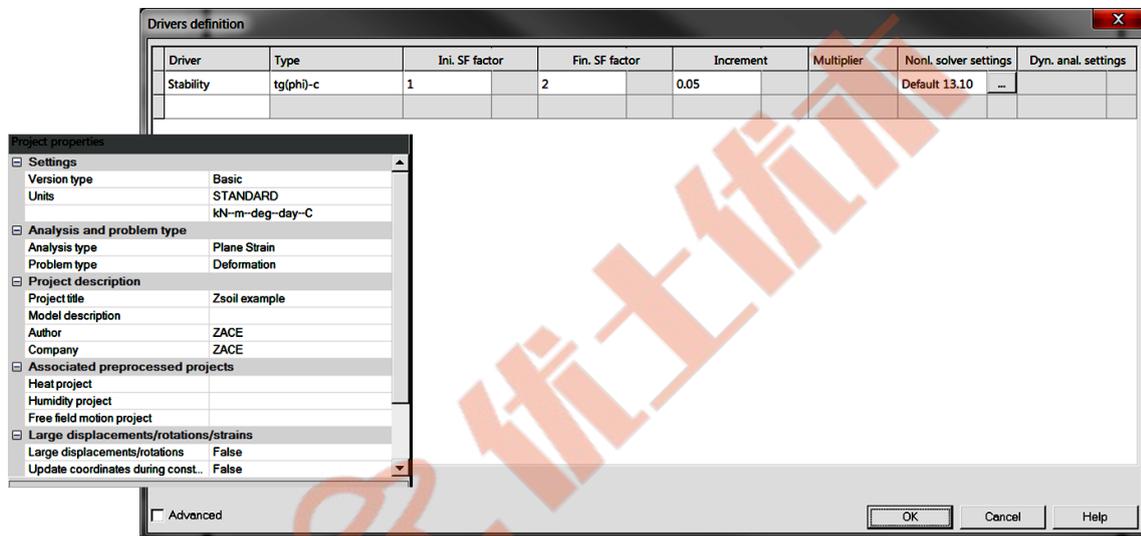
• 驱动器

在 ZSoil 中驱动列表包含计算模块需要以什么顺序计算什么的信息。

在岩土工程中为了获得开挖分阶段施工的所有主要步骤的结果，必须考虑到固体和流体边界条件的改变，必须复制现实中的主要步骤。

选择 **Control/drivers** 来设置驱动器列表。Driver 选择 **Stability**，Type 选择 **tan(ϕ)-c** 强度折减法，指定安全系数的初始值、结束值和增量。本示例计算将从安全系数（FS）等于 1 开始，然后 1.05，... 直到发生发散（检测到失稳）或者到达了结束值。

学习如何设置驱动器列表，观看视频[设置驱动器](#)。



• 材料

在这个例子中，使用了由莫尔-库仑弹性-完美塑性模型描述的单一种材料。材料的属性在下表中给出。

材料	模型	数据组	属性	单位	值
1 土层	Mohr-Coulomb	弹性	E	[kN/m ²]	40000
			ν	-	0.3
		重度	γ	[kN/m ³]	19
		非线性	φ	[°]	30
			ψ	[°]	0
			C	[kN/m ²]	16
			Rankine cut-off	-	OFF
		Dilatancy cut-off	-	OFF	

要编辑材料属性，请使用 Assembly/Materials 菜单。

要了解如何输入材料数据，请观看视频[编辑材料](#)。

• 所有数据准备步骤的总结(视频)

1. 创建一个新项目
2. 创建宏模型
3. 在子域中创建网格
4. 创造固体边界条件
5. 编辑材料
6. 设置驱动器
7. 运行计算
8. 可视化结果

1.2 如何在外部荷载下求解轴对称问题

- 数据文件： tutorials/foota.INP
- 描述

本例中考虑的是典型的圆形基础。图 1.1 说明了基础的总体结构。

求解承载力问题的传统方法是将朗肯场与普朗特场结合，以满足静力容许破坏区。这些失效区域的不同组合可能导致大量可能的解决方案。为了验证这些解，需要证明这些解中所采用的应力场对应一个唯一的位移场。这几乎是不可能实现的。ZSoil[®].PC 在另一方面采用一种简洁的解决方案来找到满足塑性理论要求的位移和应力相容的解。

- 工程草图

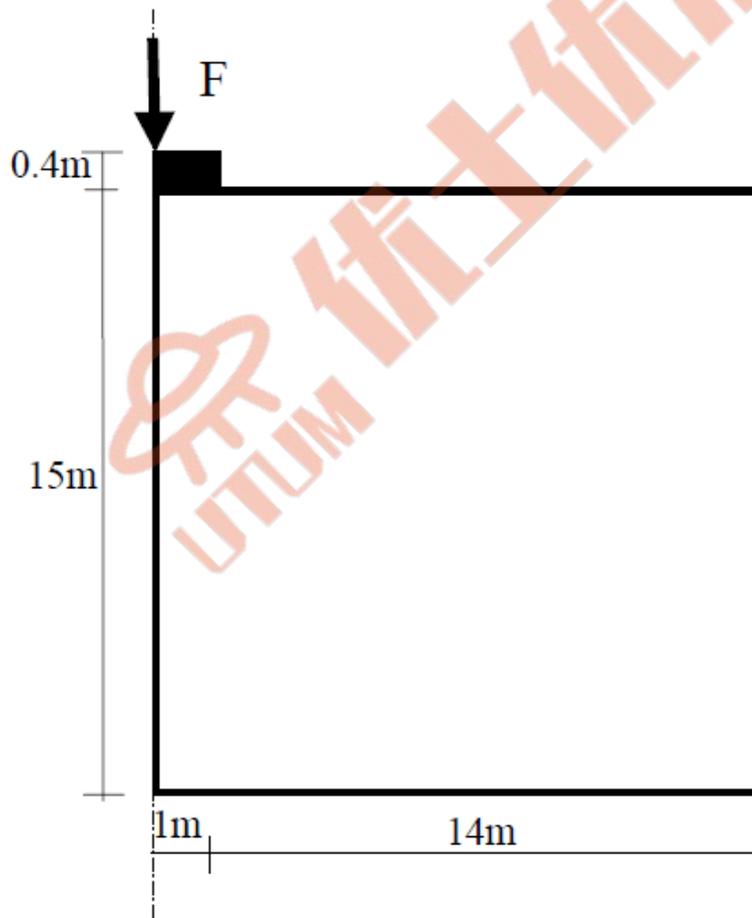
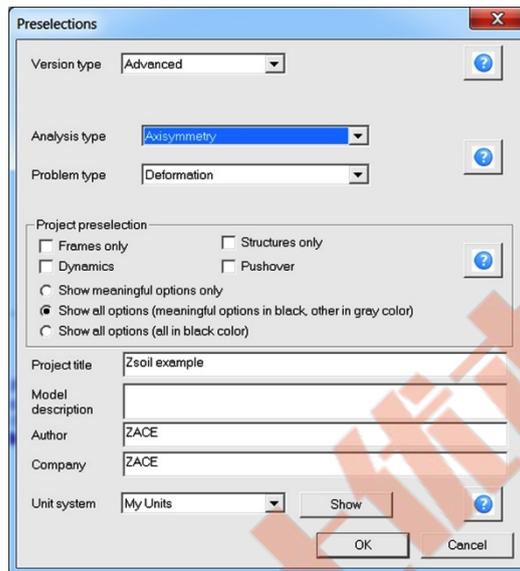


图 1.1 轴对称基础问题

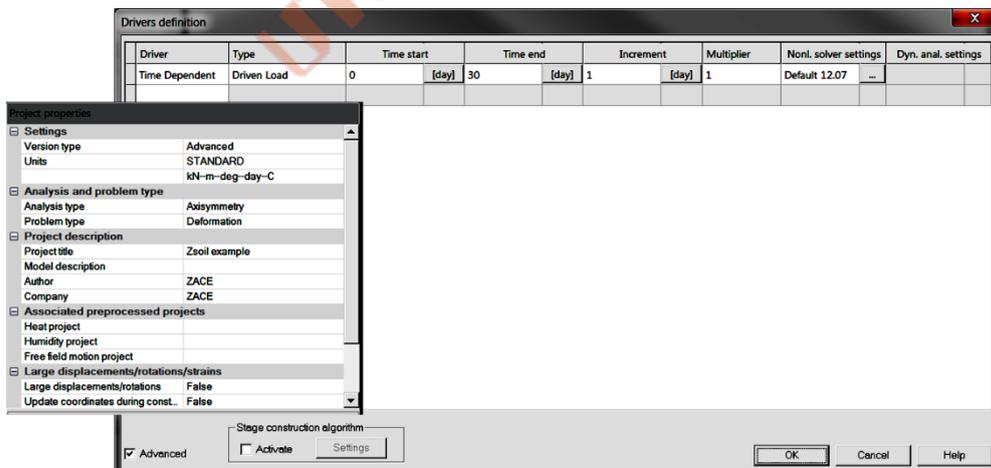
• 项目预选

在项目预选对话框中（在 ZSoil 主界面中选择 File/New 时，会自动出现），Version type 选择 Advanced，Analysis type 选择 Axisymmetry，Problem type 选择 Deformation，这样就可以进行单相轴对称承载力分析。



• 驱动器

选择 Control/drivers 来设置驱动列表。Driver 选择 Time dependent，Type 选择 Driven load，指定初始时间值、结束时间值、初始时间步、时间步乘子。本示例计算将从时间（FS）等于 1 天开始（这里时间只是一个虚拟参数），然后下一个时间步为 2、3...，直到发生发散（检测到失稳）或者到达了 30 天。当乘子等于 1 时，时间步保持为常数，即 $\Delta t = 1.0$ 。



学习如何设置驱动器列表，观看视频[设置驱动器](#)。

• 材料

本示例中有两种材料，第一种是地基土，第二种是混凝土基础。全部参数见下表。

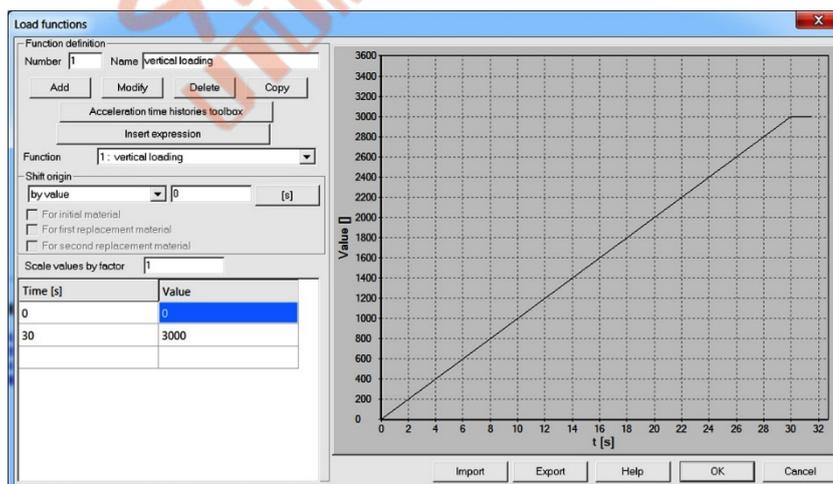
材料	模型	数据组	属性	单位	值
1 土层	Drucker-Prager	弹性	E	[kN/m ²]	30000
			ν	-	0.3
		重度	γ	[kN/m ³]	0
		非线性	φ	[°]	25
			ψ	[°]	0
			C	[kN/m ²]	15
			Adjustment	-	Intermediate
cut off	-	OFF			
2 混凝土	弹性	弹性	E	[kN/m ²]	30000000
			ν	-	0.2
		重度	γ	[kN/m ³]	0

要编辑材质属性，请使用 **Assembly/Materials** 菜单。

要了解如何输入材料数据，请观看视频 [编辑材料](#)。

• 加载函数

ZSoil®的加载函数用来描述变化（实时、真实或虚构），如应用荷载、强制位移、压力、温度、湿度和开挖后的逐步卸荷。示例中竖向里的发展是由荷载时间函数编号 1 驱动的，标记为竖向荷载，并在下图中详细说明。



要编辑加载时间功能，请使用菜单 **Assembly/ Load function**。

了解如何进入荷载时间函数观看视频 [编辑荷载时间函数](#)。

- 所有数据准备步骤的总结(视频格式)

1. 创建一个新项目
2. 创建宏模型/网格/荷载/边界条件
3. 编辑材料
4. 设置驱动器
5. 编辑荷载时间函数
6. 运行计算
7. 可视化结果



1.3 如何求解固结问题

• 数据文件: CONSP2D.INP

• 问题描述

由于荷载增加，水从细粒土孔隙中挤出，导致地面压缩的过程称为“初始固结”，对应的沉降称为“主固结沉降”。初始固结结束后，土壤压缩和其他相关沉降继续以非常缓慢的速度进行，由于粘土颗粒及其粒子连接的逐步断裂，土壤颗粒的塑性发生改变。这种现象称为“二次压缩或蠕变”，对应的沉降称为“二次沉降”。

ZSoil®使用一种多相算法模拟这两种过程，用户手册的“理论部分”描述了这种算法。该算法遵循土力学中的传统方法，但开发了一些新的数值工具准确模拟这些自然过程。该示例中使用对称地基模型来强调固结问题的基本特征，如下图所示。

固结分析只能在变形+流动模式下进行，可在初始预选对话框中或稍后通过菜单 Control/Project Preselection 进行设置。

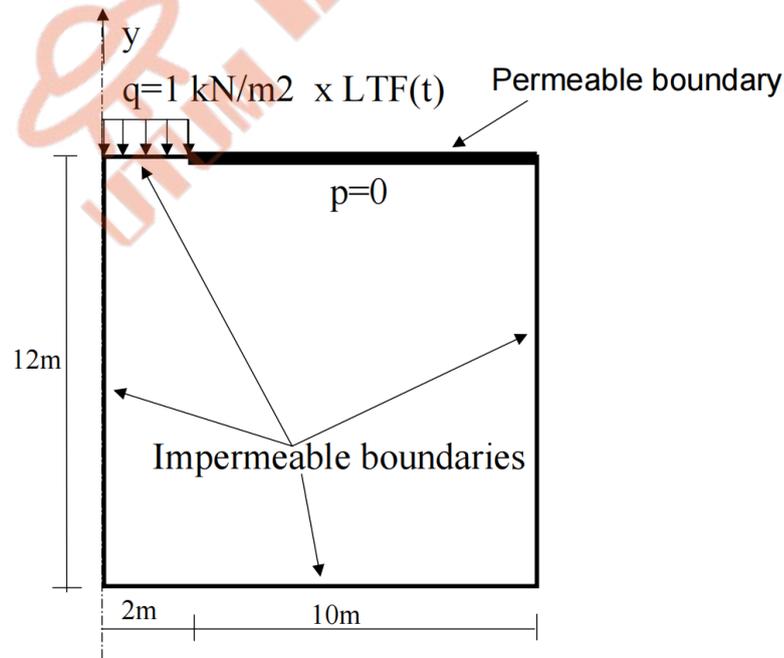
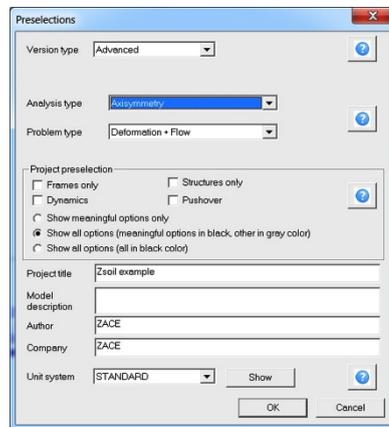


图 1.2 轴对称固结问题

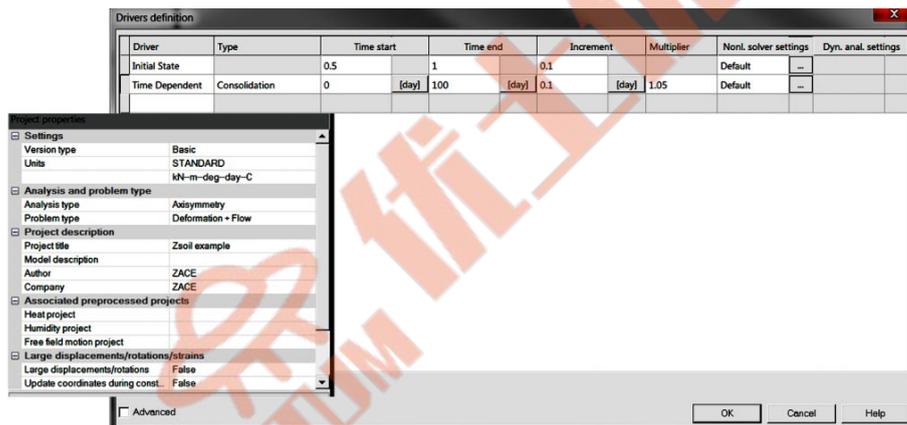
• 项目预选

在项目预选对话框中选择 **Axisymmetry** 和 **Deformation+Flow**。数据准备和结果查看的单位体系可在 **Control/Units** 下修改。



• 驱动器

我们需要设置两个驱动来解决固结问题，见下图。



驱动 **Initial** 是为了设置流体压力和 $t=0$ 时刻有效地应力的初始条件。

在 **Deformation+Flow** 模式下的驱动会执行两个计算步骤：

- 稳态流流动分析，在时间 $t=0$ 时产生区域内的压力分布（对于渗透边界处，假定孔隙水压力边界条件（ $p=0$ ））。

- 从稳态获得的压力场进行标准初始状态计算。

此设置相当于非耦合总应力分析。第二个驱动可激活完全耦合固结分析，根据荷载时间函数来变化的竖向荷载密度，之后会定义。

学习如何设置驱动器表，观看视频[设置驱动](#)。

• 材料

固结土的材料属性见下表。

材料	模型	数据组	属性	单位	值
1 土层	莫尔-库仑	弹性	E	[kN/m ²]	30000
			ν	-	0.3
		重度	γ_D	[kN/m ³]	16.52
			γ^F	[kN/m ³]	10
		非线性	e_o	-	0.60
			φ	[°]	25
			ψ	[°]	0
		渗流	C	[kN/m ²]	5
			β^F	[kN/m ²]	10^{38}
			k_x^l	[m/d]	10^{-4}
			k_y^l	[m/d]	10^{-4}
			a	[1/m]	1
		$K^{in situ}$	S_r	-	0.0
			K_o^{α}	-	0.6
			K_o^{β}	-	0.6

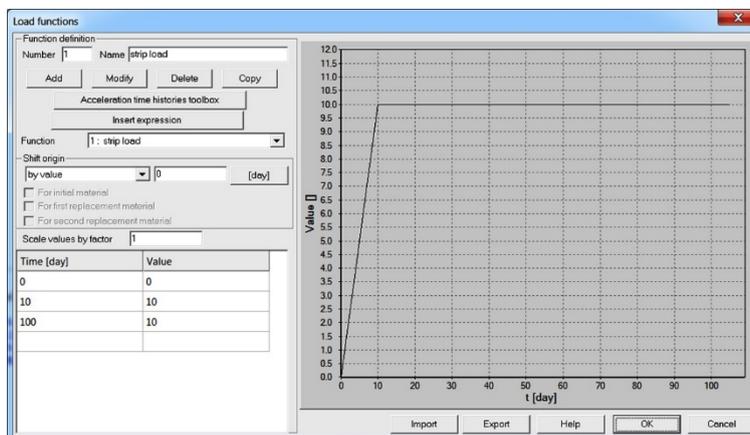
在示例中假设的流体边界条件形成了完全饱和状态的介质。因此，参数 α 和 S_r ，需要部分饱和介质，在这里是无意义的。通过假定 $k_x^l = k_y^l$ ，就满足了各项同性达西渗流条件， $\beta^F = 10^{38}$ 即可等价于完全不可压缩流体的条件。

要编辑材质属性，请使用 Assembly/Materials 菜单。

要了解如何输入材料数据，请观看视频 [编辑材料](#)。

• 加载函数

荷载时间函数展示了荷载随时间的变化。在初始状态 ($t=0$) 时，必须为 0，然后增加到结束值。本示例中垂直荷载时间函数见下图。



要编辑荷载时间函数，请使用菜单 Assembly/ load 功能。.

了解如何进入荷载时间函数，请观看视频编辑荷载时间函数。

• 模型的生成

计算模型是在以下步骤中建立的，并以视频的形式记录下来。

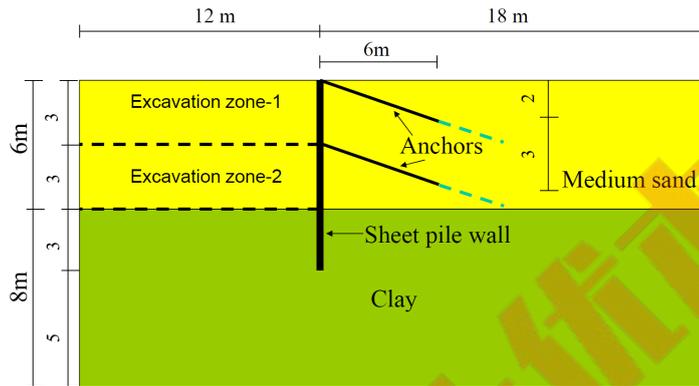
1. 创建一个新项目
2. 编辑加载时间功能
3. 创建宏模型/网格/负载和边界条件
4. 编辑材料
5. 设置驱动器
6. 运行计算
7. 可视化的结果



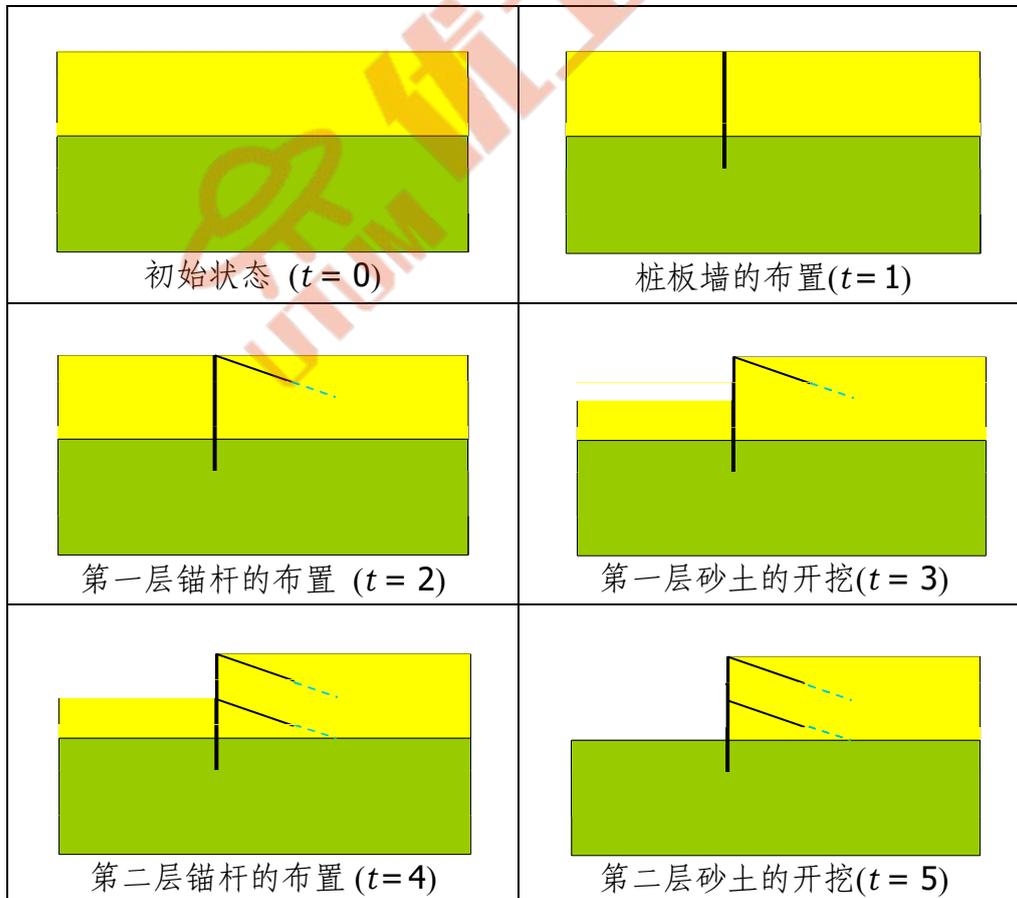
1.4 求解桩板墙问题

- 数据文件: tutorials/sheet-pile-wall.INP
- 描述

本示例模拟了复杂岩土模型中安装锚杆板桩墙，然后进行基坑开挖。模型的几何模型会随着时间改变，如墙、锚杆、开挖土层会根据假设情况出现或消失。模型的几何模型见下图：

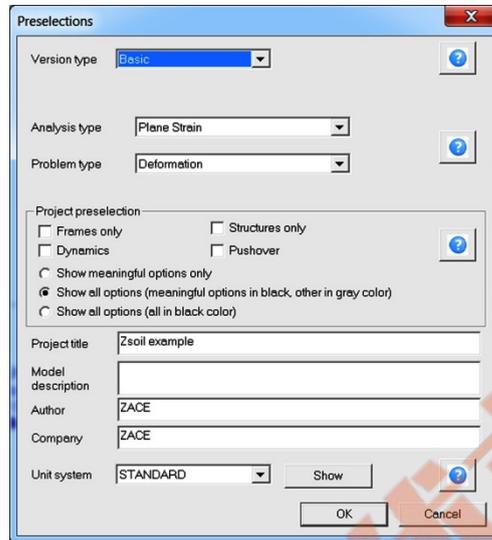


全部步骤的顺序见下图：



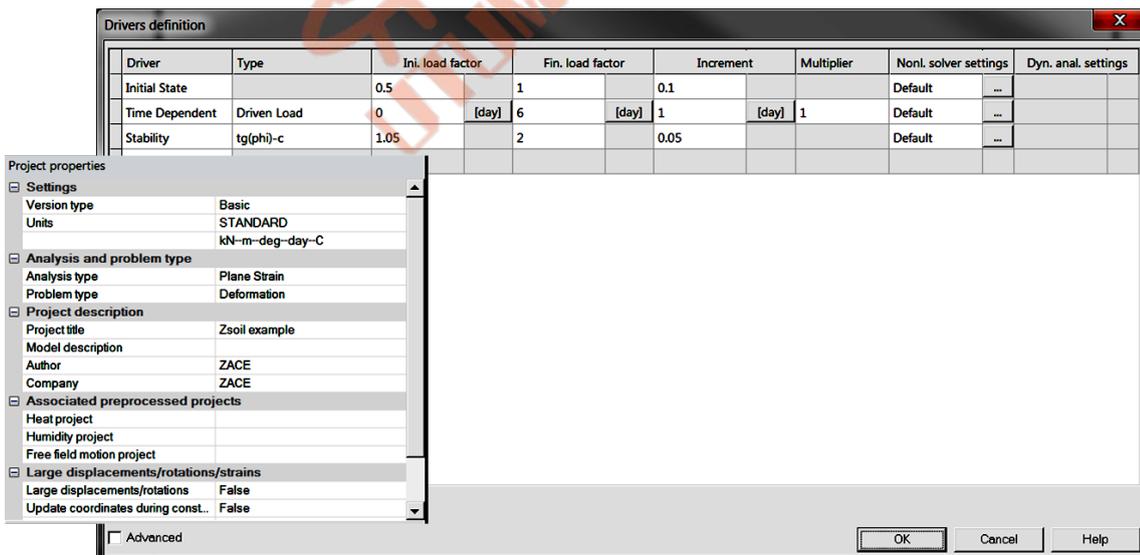
• 项目预选

在预选框中选择 Plane strain、Deformation。预定义的单位体系可以在 Control/Units 中修改。



• 驱动器

整个计算过程包括三个驱动，即 Initial（形成初始应力场分布，包括用户定义的黏土层的原位侧向土压力系数 $K_0=0.8$ ）、Time dependent/Driven load（分析分析全部施工和开挖步骤）、Stability（用 $c-\tan(\varphi)$ 强度折减法评估全局安全系数）。驱动的完整设置见下图。



学习如何设置驱动器列表，观看视频[设置驱动器](#)。

• 材料

中砂和粘土层的材料属性见下表:

材料	模型	数据组	属性	单元	值
1 粘土	莫尔-库仑	弹性	E	[kN/m ²]	30000
			ν	-	0.32
		重度	Y_D	[kN/m ³]	18
			Y^F	[kN/m ³]	10
			e_o	-	0.0
		非线性	φ	[°]	20
			ψ	[°]	0
			C	[kN/m ²]	15
		初始 K_0 状态	K_{ox}^I	-	0.8
			K_{oz}^I	-	0.8
			倾角	-	0.0
		2 砂	莫尔-库仑	弹性	E
ν	-				0.25
重度	Y_D			[kN/m ³]	17.5
	Y^F			[kN/m ³]	10
	e_o			-	0.0
非线性	φ			[°]	30
	ψ			[°]	0
	C			[kN/m ²]	0.0
初始 K_0 状态	K_{ox}^I			-	0.5
	K_{oz}^I			-	0.5
	倾角			-	0.0
3 墙	弹性梁			弹性	E
		ν	-		0.2
		重度	Unit weight	[kN/m ³]	0.0
		几何	Type	-	Values
			Interval	[m]	1.0
			I_z	[m ⁴]	$11352 \cdot 10^{-8}$
			A_x	[m ²]	$2462 \cdot 10^{-4}$
		A_y	[m ²]	$2462 \cdot 10^{-4}$	
4 锚杆	桁架	弹性	E	[kN/m ²]	300000000
		重度	Unit weight	[kN/m ³]	0.0
		几何	Interval	[m]	4.0
			Area	[m ²]	0.000829
5 接触面	接触	非线性	φ	[°]	inherit*
			ψ	[°]	0
			C	[kN/m ²]	0.0

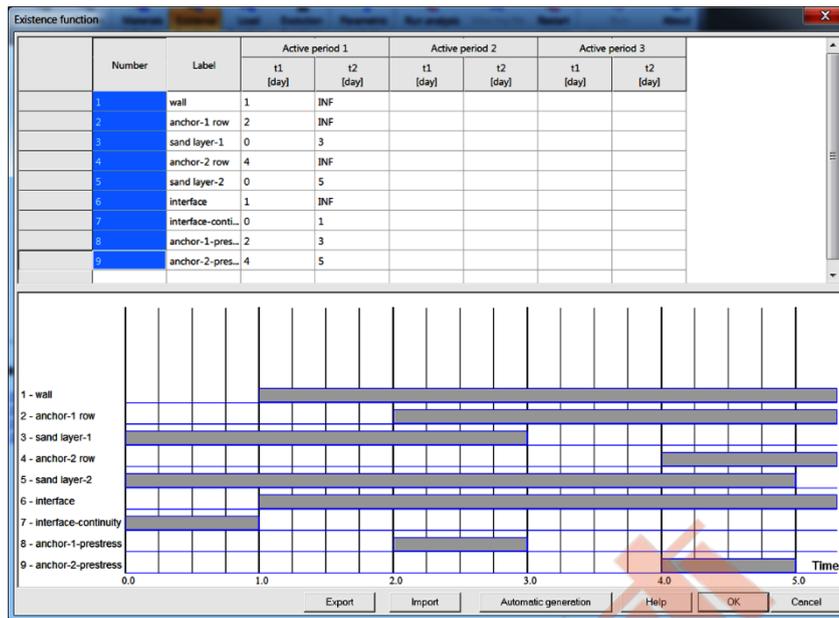
界面的摩擦角满足条件： $\tan(\varphi^{\text{interface}}) = 0.5 \tan(\varphi^{\text{soil}})$ 。在本示例中，初始孔隙比和流体比重无意义。

要编辑材质属性，请使用 Assembly/Materials 菜单。

要了解如何输入材料数据，请观看视频[编辑材料](#)。



• 存在函数



接触单元的引入会导致沿界面的网格连接中断。因此，在安装板桩墙之前，必须保留界面的位移场完全兼容性。这种效果很容易达到，在生产界面单元的过程中，定义接触为双模（首先是完全连续，然后是真实的界面行为）。两种模式由两种存在函数控制（本示例中，存在函数 7 控制着连续，函数 6 控制真实的接触行为）。强烈建议每个存在函数使用不同的标签（label）。

要编辑存在函数，请使用 Assembly/ Existence 菜单。

了解如何输入存在函数，观看视频[编辑存在函数](#)。

• 模型的生成

计算模型在以下步骤中建立，其中一些步骤以视频的形式记录下来。

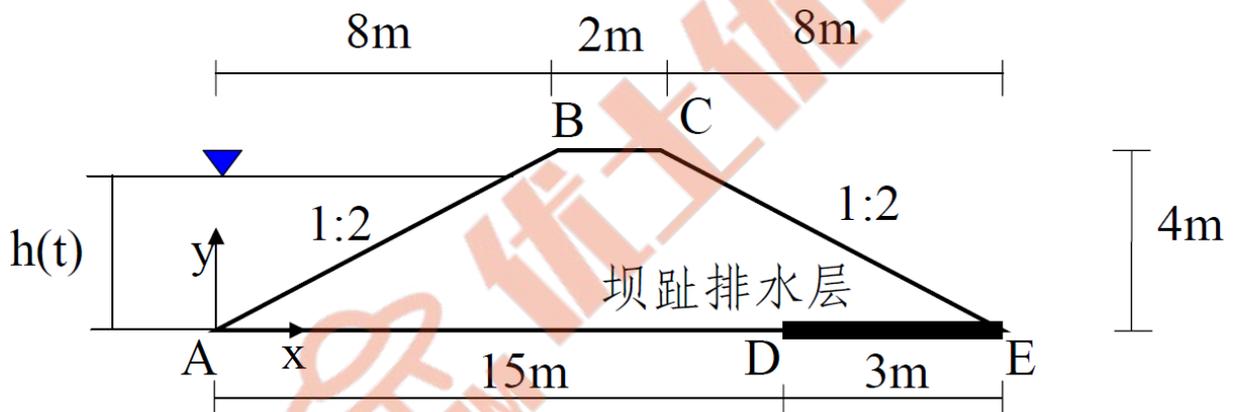
1. 创建一个新项目
2. [编辑材料](#)
3. [编辑存在函数](#)
4. [编辑施工线](#)
5. [生成宏-模型](#)
6. [设置驱动器](#)
7. [运行计算](#)
8. [可视化结果](#)

1.5 如何求解稳态流问题

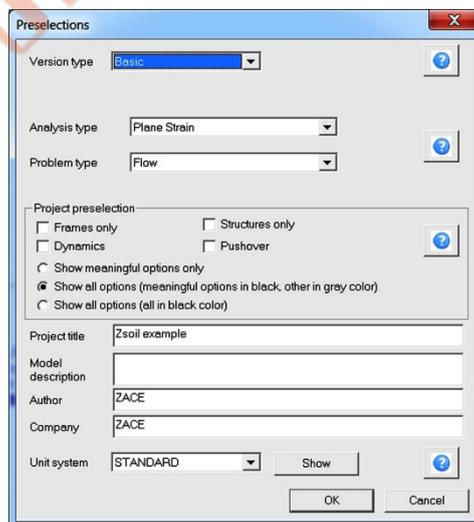
• Data file: tutorials/ssf.INP

• 描述

考虑如下所示堤坝，堤坝的流动条件：沿边界 **AB** 施加静水压力，通过指定压力水头值 $h(t)$ 定义，在 **DE** 部分存在趾沟。我们会在单程分析两种稳定状态方案， $h(t=0)=3\text{m}$ 和 $h(t=1\text{d})=2\text{m}$ 。通过水头 $h(t)$ 定义的随时间变化的压力边界条件和趾沟需要通过所谓的渗透单元特色处理。这些单元允许在压力和流量边界条件之间自动切换（在 **AB** 边界，地下水位以下，我们需要设置压力边界条件，当流量在 0 以上时假定静水压力剖面，在趾沟部分，水流向排水沟，在剩余部分 0 流量时，强制执行 0 压力）。

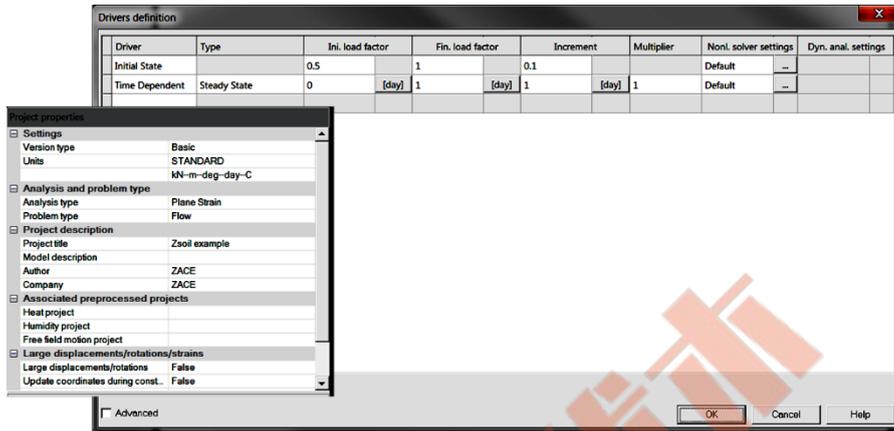


• 项目预选



• 驱动器

整个计算过程包括两个驱动，Initial 状态和 Time dependent/Steady 状态。第一个驱动会在 $t=0$ 时的压力边界条件产生稳定态方案，第二个会在 $t=1d$ 再次生成稳定态方案。



学习如何设置驱动器列表，观看视频[设置驱动器](#)。

• 材料

土壤的材料属性如下表所示：

材料	模型	数据组	属性	单位	值
1 土层	重度	弹性	Y_D	[kN/m ³]	0
			Y^F	[kN/m ³]	10
			e_o	-	0.0
	渗流		β^F	[kN/m ³]	10^{38}
			k_x^t	[m/d]	10^{-4}
			k_y^t	[m/d]	10^{-4}
			β	[°]	0.0
			a	[m ⁻¹]	5.0
S_r	-	0.0			

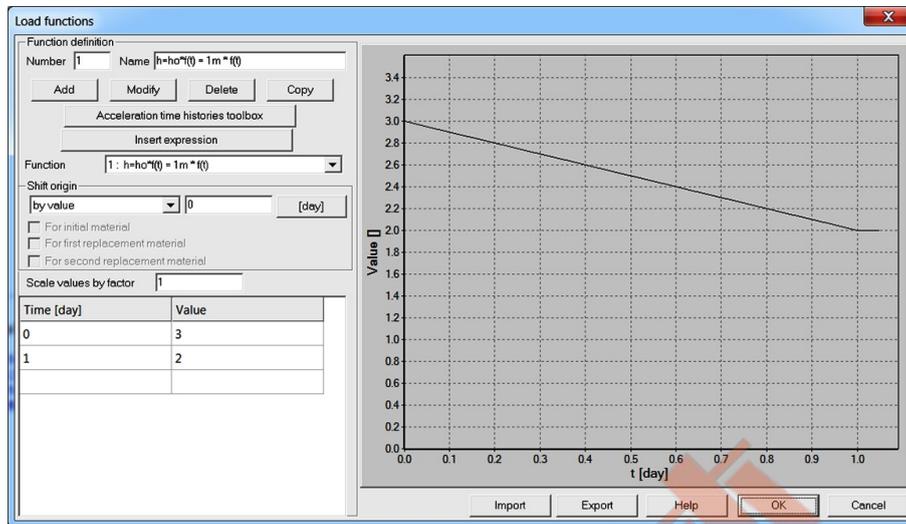
本示例中可使用任何实体材料模型，只有 Density 和 Flow 组中的参数有意义。初始孔隙比 e^0 和流体体积模量 β^F 对稳态分析没有意义。当 $k_x^t = k_y^t$ 时，流动正交各向异性角 β 也没有意义。应用于渗流表面单元中的虚构材料在这里没有指定（自动估计惩罚参数乘子等于默认值 1）。

要编辑材质属性，请使用 Assembly/Materials 菜单。

要了解如何输入材料数据，请观看视频[编辑材料](#)。

• 荷载时间函数

与边界条件的压力水头相关的荷载时间函数演变如下图：



学习如何输入材料数据观看视频[编辑荷载时间函数](#)。

• 生成模型

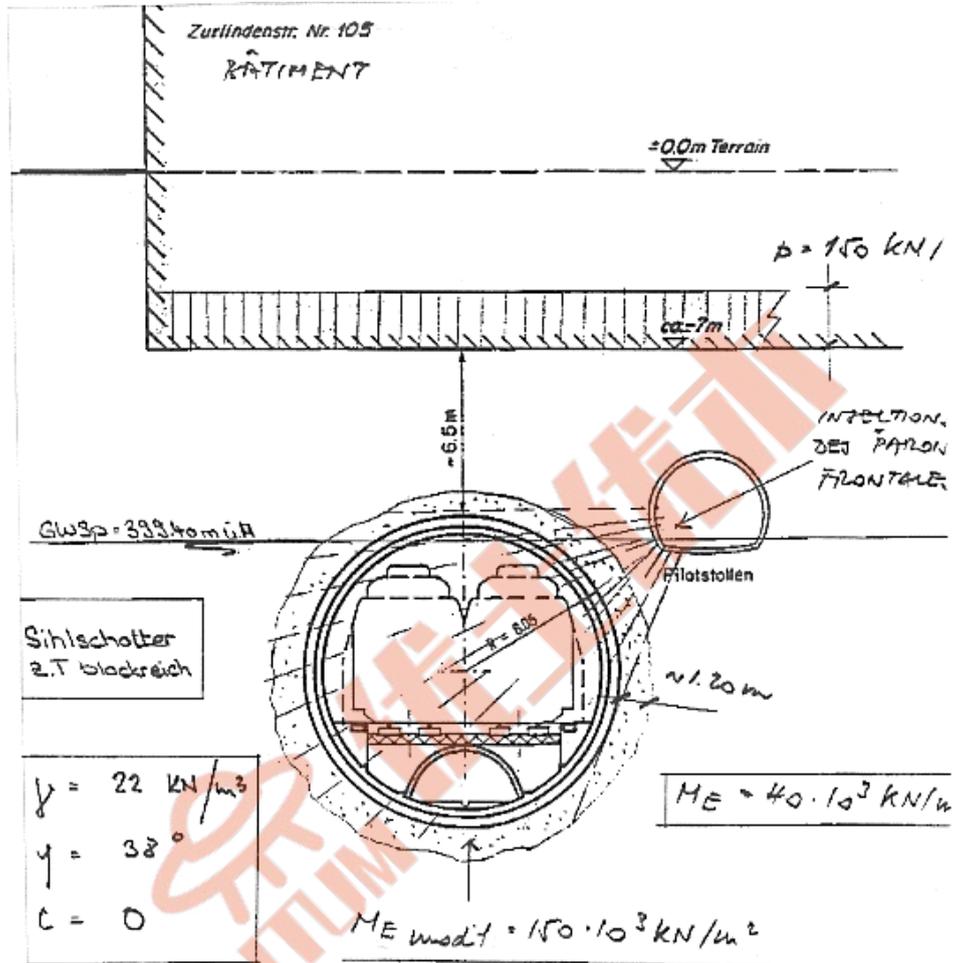
计算模型在以下步骤中建立，其中一些步骤以视频的形式记录下来。

1. 下创建一个新项目命名为:ssf.inp
2. 设置驱动器
3. 编辑荷载时间函数
4. 编辑材料
5. 创建宏-模型和网格
6. 运行计算
7. 可视化的结果

1.6 如何在城市环境中模拟隧道

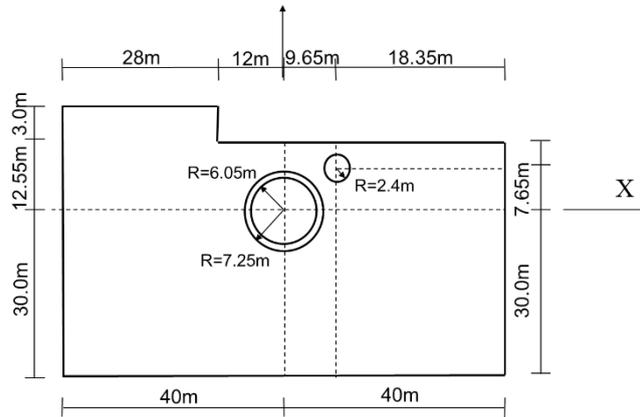
- Data file: tutorials/tunnelzh.INP
- 描述

本示例探讨了城市环境中的隧道问题。工程草图如下图所示。



创建一个外半径 6.05m 的隧道，先挖一个小技术隧道（外半径 2.4m）和混凝土衬砌（厚 0.2m）。然后冰冻围绕主隧道的整个区域（半径 7.25m），开挖主隧道，安装衬砌（厚 0.7m）。一旦衬砌设置好，就解冻。

带有全部尺寸的几何模型见下图：



事件的顺序见下表：

必须强调的是由于开挖面的影响，这一问题三维的。本示例中，我们将此考虑了进来，假设开挖后只有部分应力消散（小隧道为 30%，主隧

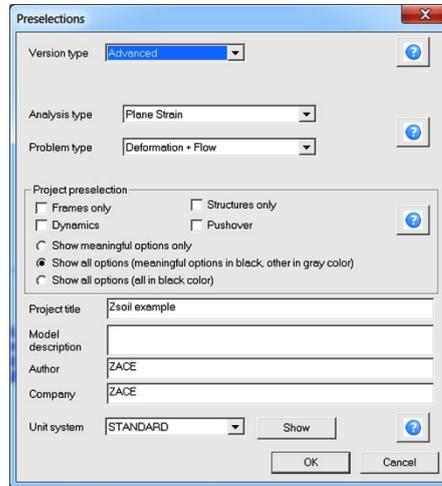
		Time [d]									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	无限
1	小型隧道区开挖	▶									
2	小型隧道区降水		■								
3	小型隧道衬砌布置			■							
4	主隧道冻结区				■						
5	主隧道主区间开挖					▶					
6	主隧道主衬砌布置						■				
7	主隧道增加渗流面							■			

道为 20%)，而其余部分则逐步施加到安装的衬砌上。只要考虑了冰冻影响，我们假定刚度模量 E 从 $E=40000\text{kPa}$ (原位值) 增加到 $E=150000\text{kPa}$ (这产生了一个因子 $150000/40000=3.75$)，粘聚力从 $c=1\text{kPa}$ 变化到 $c=80\text{kPa}$ ，内摩擦角从 $\phi=38^\circ$ 到 $\phi=45^\circ$ 。我们假设内摩擦角的残留值 ($c=1\text{kPa}$)，以简化改参数随时间演化的数据设置。逐步卸载和材料参数随时间的改变见下图：

		Time [d]									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	无限
小隧道内外力的耗散				70%							
主隧道外力的耗散						80%					
冻结区E模量的放大					1.0	3.75		1.0			
冻结区粘聚力的放大					1.0	80.0		1.0			
冻结区内摩擦角的放大					1.0	1.18		1.0			

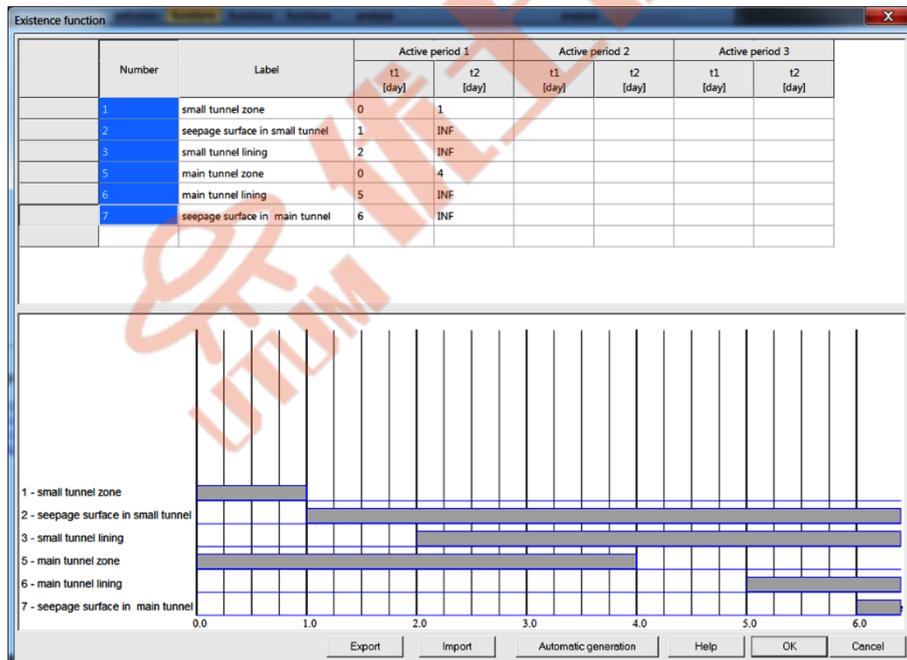
• 项目预选

在项目预选框选择 Plane Strain 和 Deformation+flow



• 存在函数

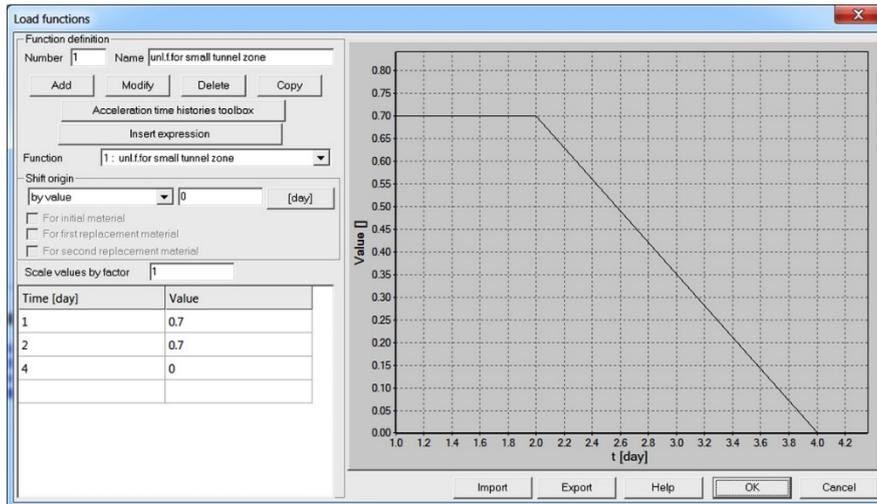
开挖和施工事件的顺序由以下存在函数确定。所有这些存在函数都是根据前面在描述中指定的事件序列定义的。



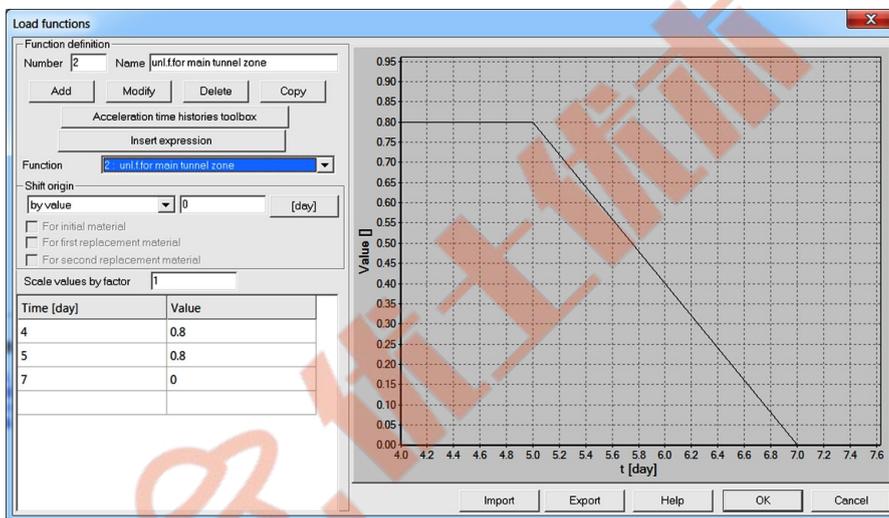
了解如何输入存在函数，观看视频[编辑存在函数](#)。

• 荷载时间函数

荷载时间函数涉及到开挖力的消散，也涉及到由于冰冻而引起的刚度和强度参数随时间变化的描述。每个荷载时间函数都有各自独立的标签，见下图：



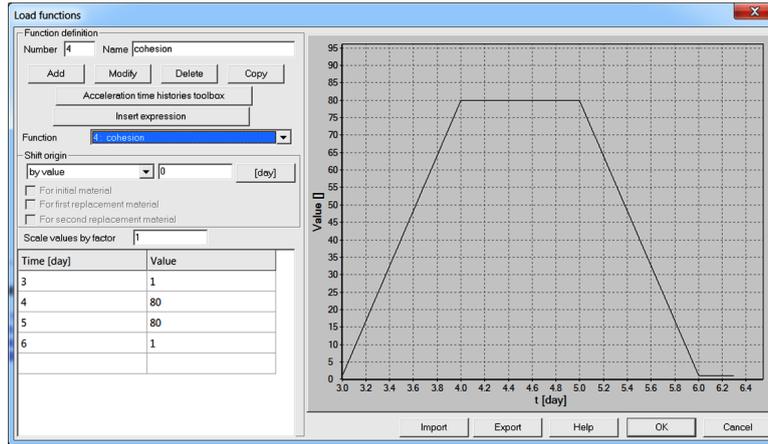
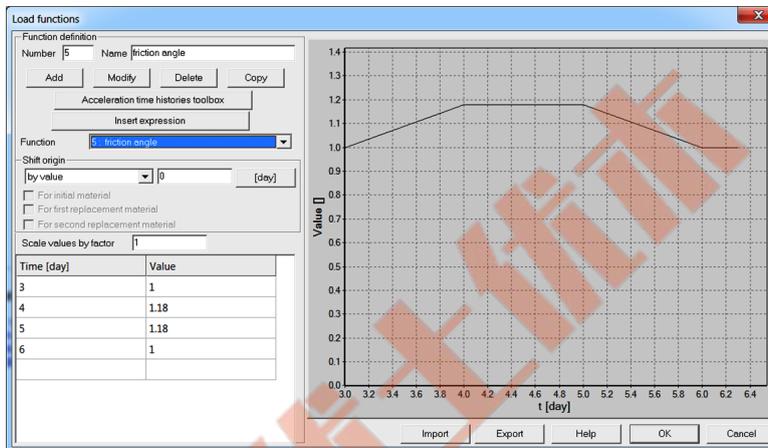
LTF = 1 小型隧道区域开挖应力耗散



LTF = 2 主隧道区域开挖应力耗散



E 模量乘数在时间上的演化(由于冻结)


 LTF = 4 黏聚力 c 乘数在时间上的演变(由于冻结)


LTF = 5 摩擦角-乘数在时间上的演变(由于冻结)

了解如何编辑荷载时间函数，观看视频编辑[荷载时间函数](#)。

• 材料

地基土和隧道衬砌的材料特性如下表所示：

材料	模型	数据组	属性	单位	值
1 地基土	莫尔-库仑	弹性	E	[kN/m ²]	40000
			ν	-	0.25
		重度	γ_D	[kN/m ³]	18
			γ^F	[kN/m ³]	10
			e_o	-	0.32
		渗流	$k_x = k_y$	[m/day]	0.0864
			S_r	-	0
			a	[1/m]	5
		非线性	φ	[°]	38
			ψ	[°]	10
			C	[kN/m ²]	1
		初始 K_0 状态	k_{ox}^t	-	0.45
k_{oz}^t	-		0.45		
倾角	-		0.0		

2 地基土	莫尔-库仑	弹性	E	[kN/m ²]	40000
			ν	-	0.25
		重度	γ_D	[kN/m ³]	18
			γ^F	[kN/m ³]	10
			e_o	-	0.32
		非线性	φ	[°]	38
			ψ	[°]	10
			C	[kN/m ²]	1
		初始 K_0 状态	k_{ox}^t	-	0.45
			k_{oz}^t	-	0.45
倾角	-		0.0		
3 小隧道	弹性梁	弹性	E	[kN/m ²]	25000000
			ν	-	0.2
		重度	容重	[kN/m ³]	24.0
			形式	-	用户定义 (矩形)
		几何形状	间距	[m]	1.0
			b	[m]	1.0
			h	[m]	0.2
4 主隧道	弹性梁	弹性	E	[kN/m ²]	30000000
			ν	-	0.2
		重度	容重	[kN/m ³]	24.0
			形式	-	用户定义 (矩形)
		几何形状	间距	[m]	1.0
			b	[m]	1.0
			h	[m]	0.7
		5 基础	弹性梁	弹性	E
ν	-				0.2
重度	容重			[kN/m ³]	0.0
	形式			-	用户定义 (矩形)
几何形状	间距			[m]	1.0
	b			[m]	1.0
	h			[m]	1.0

需要注意的是材料 2 和材料 1 是一样的，但是材料 2 的刚度和强度参数会随着时间变化来模拟冰冻过程。

在这里没有定义用于渗流表面单元的虚拟材料 6 (自动估计惩罚参数乘子等于默认值 1)

要编辑材质属性，请使 **Assembly/Materials** 菜单。

要了解如何输入材料数据，请观看视频[编辑材料](#)。

• 随时间变化的材料属性

可以在编辑材料数据的时候设置随时间变化的材料属性。任何荷载时间函数（除了有意义的值）都能和任何（如果允许）材料参数联系起来。要对选定的材料参数应用荷载时间函数，请从组合框数据模式中选择一个荷载时间函数选项（总是放置在材料数据对话框的底部）。在荷载时间函数模式下，可按下 Set（设置）按钮，从已定义的荷载时间函数列表中选择荷载时间函数。也可以直接输入荷载时间函数的 ID（当它不存在时，会自动创建并添加为零值函数添加到荷载时间函数列表中）。

要了解如何定义随时间变化的材料属性，请观看视频[定义随时间变化的材料属性](#)。

• 生成模型

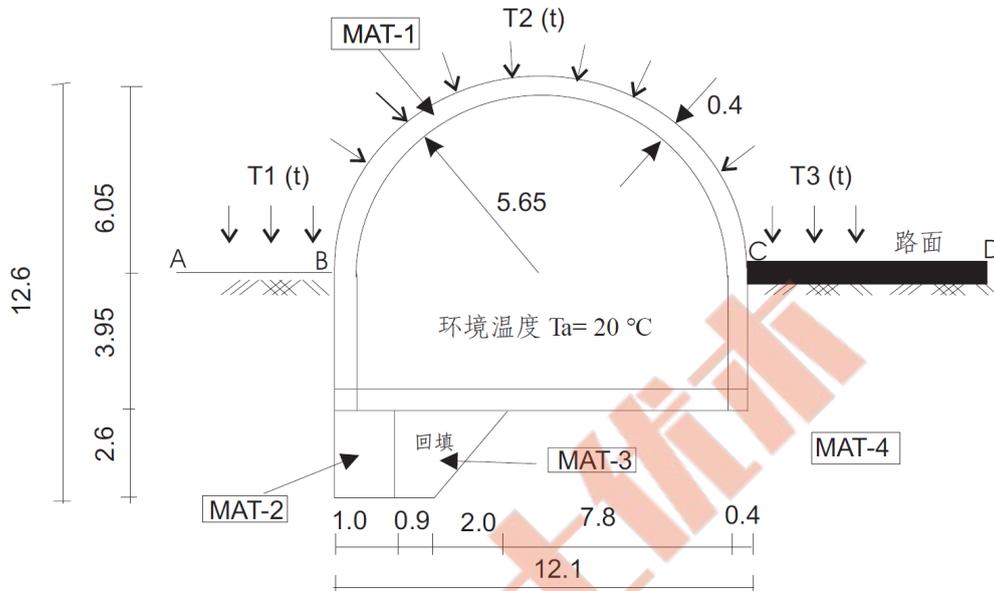
计算模型在以下步骤中建立，其中一些步骤以视频的形式记录下来。

1. 创建一个新项目命名为：tunnelzh.inp
2. [编辑荷载时间函数](#)
3. [编辑存在函数](#)
4. [编辑材料](#)
5. [创建施工线](#)
6. [绘制模型骨架](#)
7. [创建宏-模型和网格](#)
8. [设置驱动器](#)
9. [运行计算](#)
10. [可视化的结果](#)

1.7 热传导的力学分析

- 数据文件: tutorials/tunnelheat.INP, tutorials/tunnelmech.INP
- 描述

本示例展示了隧道衬砌外表面在外加温度时的热应力。工程草图如下:



这个问题需要分两步进行分析。第一，我们将进行热分析，包括初始状态计算（在热分析中，它相当于 $t=0$ 时的稳态），然后是随时间变化的温度 $T1(t)$ 、 $T2(t)$ 、 $T3(t)$ 驱动的瞬态分析。在隧道内部表面，我们假定对流型的边界条件，由恒定的环境温度等于 20°C 控制的。

热分析完成后，我们将进行力学分析，由热分析产生的温度场产生的应变来驱动。这一复杂问题由两个独立的项目组成，先是热分析，然后是力学分析。

注意:

1、热分析和力学分析中使用的网格可能完全不同，在几何意义上甚至可能覆盖不同的区域。在力学分析中使用的热解在网格上的投影将会自动由代码生成。

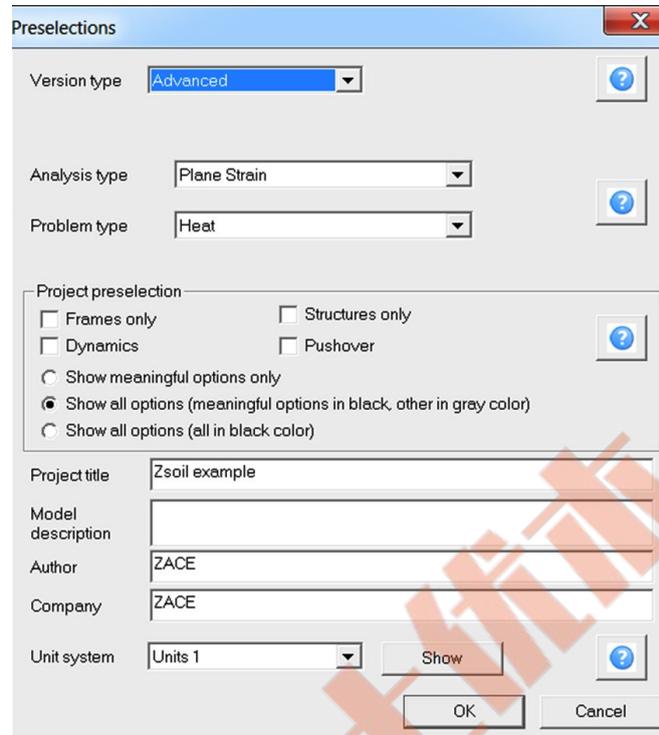
2、梁单元在热分析中无法使用。

3、梁单元在力学分析中可以使用（替换等效连续单元），但是仅限于分层版本（ Nonlinear 设置为 ON）。

4、本示例中，热分析和力学分析的有限元模型将是唯一的。热分析的典型特征，如对流边界条件、施加的温度，将在力学项目中自动忽略。力学分析的典型特征，如唯一边界条件等，将在热分析中忽略。

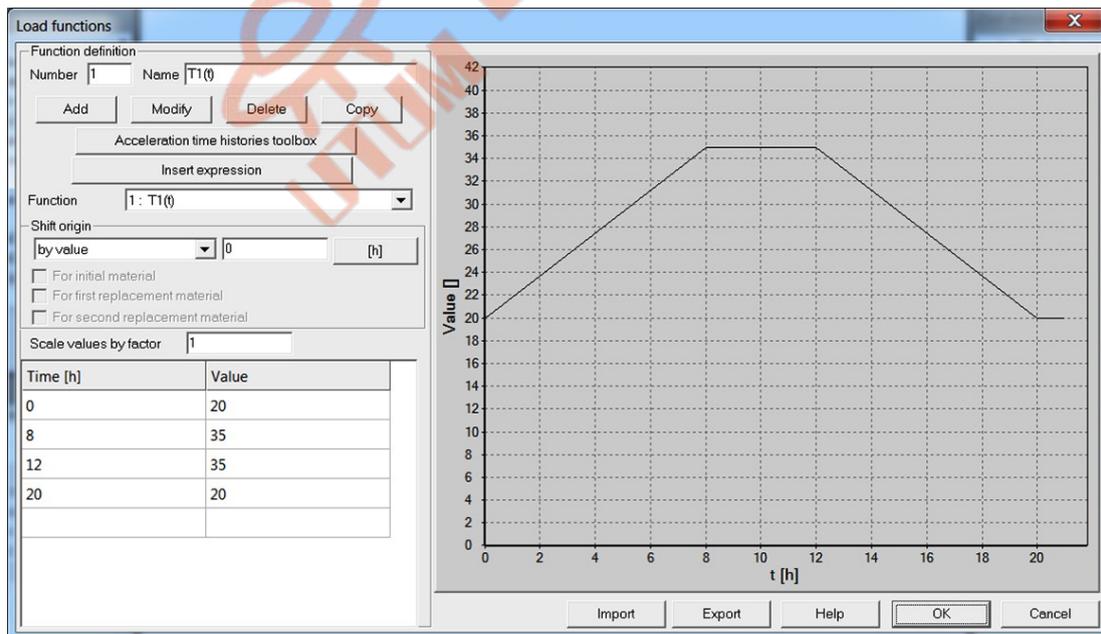
• 项目预选

在预选框中选择 Plane strain 和 Heat。



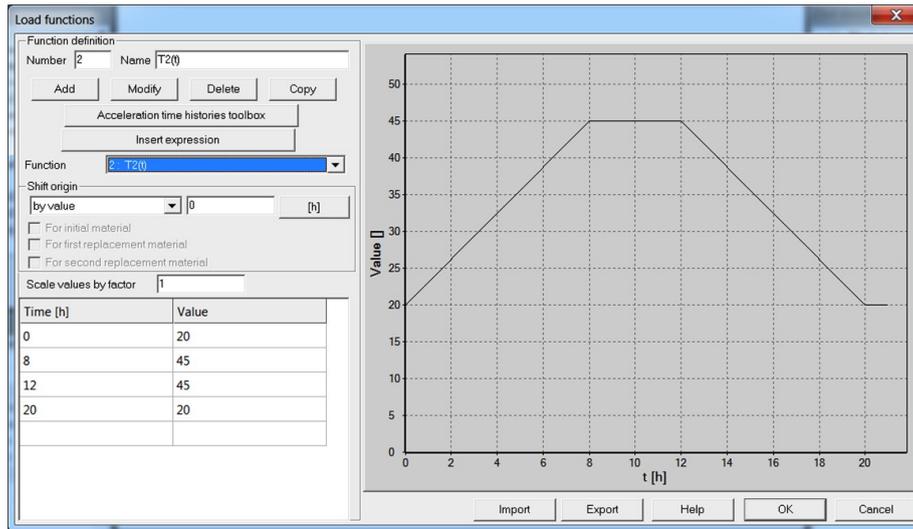
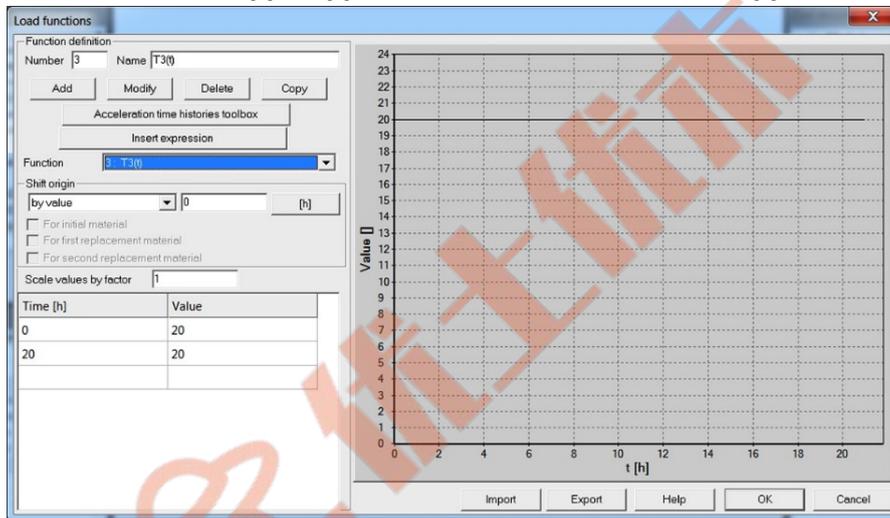
• 荷载时间函数

和沿着边界 A-B、B-C、C-D 施加的温度边界条件相关的荷载时间函数如下图：



$LT F_1(t) T_1(t) = 1^\circ\text{C}$ 是的演变曲线 $LT F_1(t)$

$LT F_2(t)$ Evolution of $T_2(t) = 1^\circ\text{C}$ $LT F_2(t)$


 $LT F_2(t) T_2(t) = 1^\circ\text{C}$ 时的演变曲线 $LT F_2(t)$

 $LT F_3(t) T_3(t) = 1^\circ\text{C}$ 时的演变曲线 $LT F_3(t)$

请注意，这些荷载时间函数仅对热分析有意义。

了解如何编辑荷载时间函数，观看视频[编辑荷载时间函数](#)。

• 材料

地基土、隧道衬砌、填土、接触面、对流面的材料属性见下表：

材料	模型	数据组	属性	单位	值
1 隧道衬砌	弹性	弹性	E	[kN/m ²]	30000000
			ν	-	0.2
		重度	γ_D	[kN/m ³]	24
			γ^F	[kN/m ³]	10
			e_o	-	0.0
			热	$c^* = c \rho$	[kJ/(m ³ K)]
		λ		[kJ/(m K h)]	8.64
		a		[1/°C]	10^{-5}
		Source		-	OFF
		2 隧道衬砌	弹性	弹性	E
ν	-				0.2
重度	γ_D			[kN/m ³]	24
	γ^F			[kN/m ³]	10
	e_o			-	0.0
	Heat			$c^* = c \rho$	[kJ/(m ³ K)]
λ				[kJ/(m K h)]	8.64
a				[1/°C]	10^{-5}
Source				-	OFF
3 填土	莫尔-库仑			弹性	E
		ν	-		0.3
		重度	γ_D	[kN/m ³]	20
			γ^F	[kN/m ³]	10
			e_o	-	0.0
			非线性	φ	[°]
		ψ		[°]	10
		C		[kN/m ²]	0
		初始 K_o 状态	K_{ox}	-	1.0

• 热分析、力学分析模型的生成

计算模型在以下步骤中建立，其中一些步骤以电影的形式记录下来。

1. 创建一个新项目命名为: tunnelheat.inp
2. 编辑荷载时间函数
3. 编辑材料
4. 创建骨架模型
5. 创建宏-模型
6. 创建网格



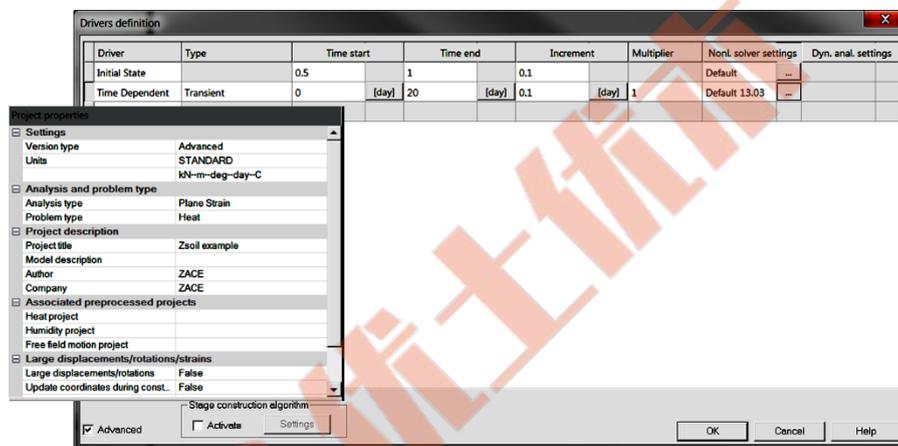
1.7.1 热分析

第 1.7 节详细描述了进行热分析和力学分析的计算模型。在本节中，我们将定制模型，以运行热分析。唯一的修改为驱动程序列表的设置。

- 数据文件： tutorials/tunnelheat.INP
- 驱动器

之前在预选框中已经选择了热分析，现在只要正确设置驱动器即可。

本例中，我们需要跟踪由于瞬态边界条件引起的温度在空间和时间上的演变，因此必须设置初始条件。在运行瞬态分析之前，我们声明了一个



初始状态驱动，相当于 $t=0$ 时求解的稳态热传导情况。所有节点温度边界条件都是这样的，即 $t=0$ 时的节点温度 $T=20^{\circ}\text{C}$ ，环境温度也是 $T=20^{\circ}\text{C}$ 。因此，很明显，在 $t=0$ 时，作为稳态分析的结果，我们必须在整个区域内获得统一的温度 $T=20^{\circ}\text{C}$ 。注意：假设另一个初始条件，可以使用初始温度超单元。

• 自定义模型以运行热分析

计算模型在以下步骤中建立，其中一些步骤以视频的形式记录下来。

1. 打开项目:tunnelheat.inp
2. 设置驱动器
3. 运行计算
4. 可视化的结果

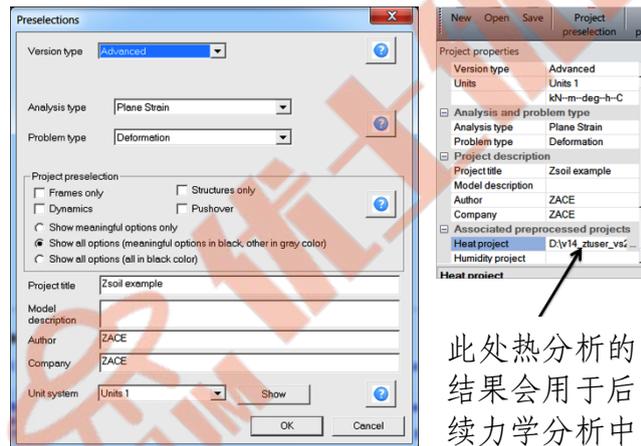
1.7.2 力学分析（连续介质单元模拟隧道衬砌）

在这种情况下，隧道衬砌将借助特殊类型的连续体单元进行建模（具有增强剪切和弯曲表示的 EAS 单元），该连续体单元属于结构连续体组。当使用这些类型的单元时，唯一的限制是只能应用弹性模型。弯矩、剪力和轴向力可以在后处理器中恢复。

以 `tunnelheat.inp` 名称准备的数据集必须以 `tunnelmech.inp` 名称保存（不保存结果）。

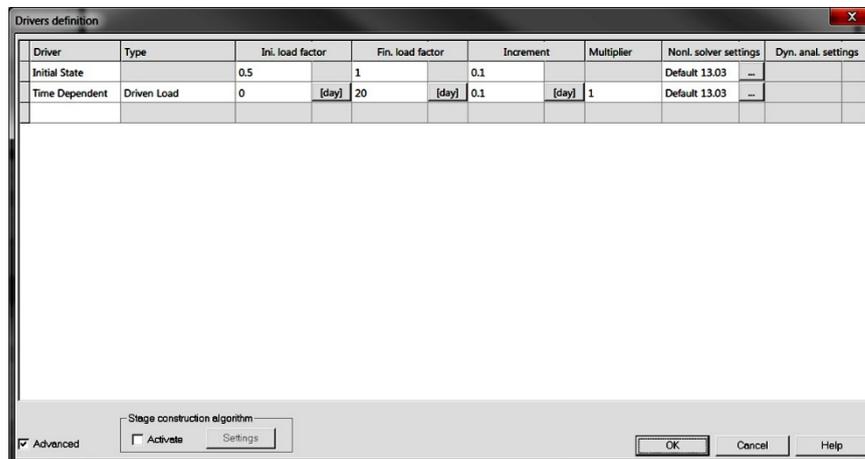
- 数据文件： `tutorials/tunnelmech.INP`
- 项目预选

在项目预选框中将问题类型从 Heat 改为 Deformation，注意，时间单位不能改变（热分析中也要使用同样单位）。



此处热分析的结果会用于后续力学分析中

- 驱动器



为了将热解应用于力学模型，我们在 Associated preprocessed projects 对话框中点击浏览，导入 tunnelheat.inp 文件。

• 自定义步骤进行力学分析

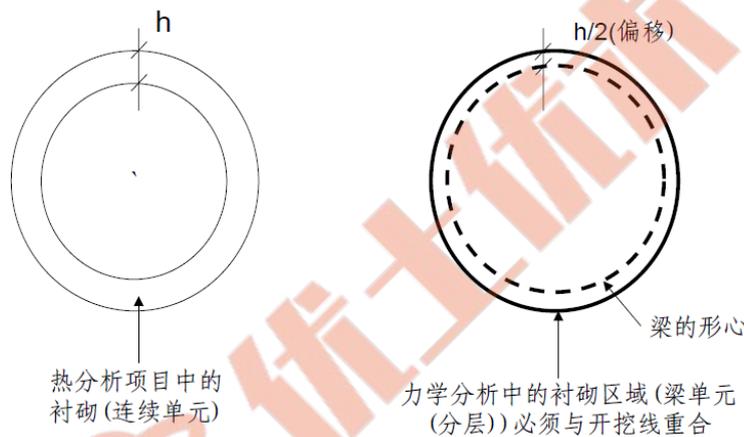
计算模型在以下步骤中建立，其中一些步骤以视频的形式记录下来。要了解如何从应力场中恢复集成的 M, N, T 图，请参见结果可视化视频。

1. 打开项目:tunnelheat.inp
2. 保存为:tunnelmech.inp
3. 设置驱动，附加热分析项目
4. 运行计算
5. 可视化的结果



1.7.3 力学分析（用梁来模拟隧道衬砌）

在这种情况下，隧道衬砌将借助梁单元进行建模。第一个要求是，为了处理温度场的空间分布，必须使用分层梁模型（材料定义中的 Nonlinear 按钮需切换到 ON）。第二个要求是，关于主节点（偏移选项），必须使用“梁偏移选项”来转移梁形心。在创建梁的过程中，可以在宏观模型或 FE 模型层面进行此设置。关于热项目中使用的连续单元设计的横截面（参见下图中的说明），设置偏移的目的是正确定位梁的横截面。



- Data file: tutorials/tunnelmech-b.INP
- 材料

用分层梁定义的衬砌替换连续体衬砌需要对材料数据进行额外的修改。我们必须添加一种新材料，编号 7。

材料	模型	数据组	属性	单位	值
7 衬砌	弹性梁	弹性	E	[kN/m ²]	210000000
			ν	-	0.2
		重度	容重	[kN/m ³]	0.0
			类型	-	用户定义
		几何形状	间距	[m]	1.0
			形状		矩形
			b	[m]	1.0
			h	[m]	0.4
			ν	-	0.2

• 自定义步骤进行力学分析

1. 打开项目:tunnelmech.inp
2. 另存为:tunnelmech-b.inp
3. 内衬(梁)添加新材料
4. 用梁代替连续统一体
5. 运行计算
6. 可视化的结果



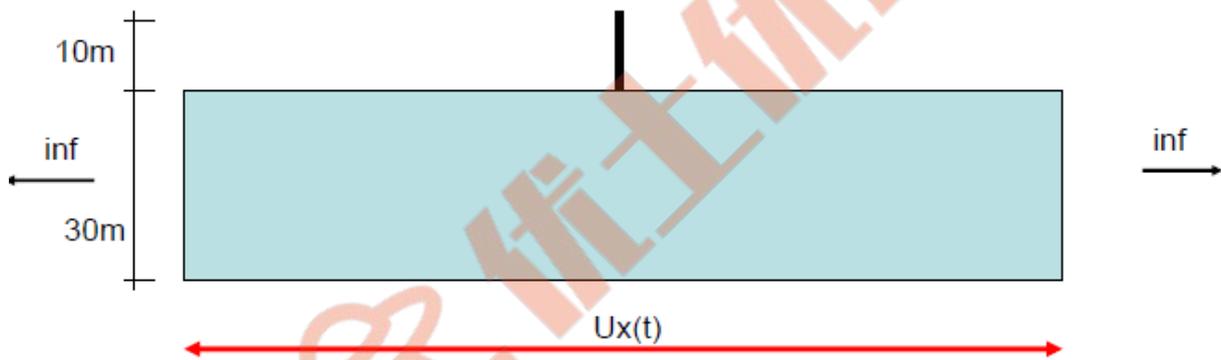
1.8 基于区域折减法的土-结构动力相互作用

• 数据文件:

tutorials/dynamics/SOILCOLUMN.inp
tutorials/dynamics/DRM-S-FF-SHL.inp
tutorials/dynamics/FF-SHL.inp

• 描述

本示例考虑了混凝土柱-地基动力相互作用。为了减少计算工作量，将使用 DRM 方法，因此计算模型将包括两个模型，背景模型和简化模型。背景模型将建立为剪切层模型（是 1D 模型），使用四边形单元和周期性实体边界条件离散，将自由度绑定在相对的垂直墙上。背景模型将会由施加于基础上的谐波位移激发，周期 $T=0.5s$ 。



该简化问题（DRM）用两步解决。第一，我们将对剪切层进行瞬态动力分析，该剪切层将由初始状态驱动组成，然后是瞬态动力驱动，由施加于基底（30m 深度处）的谐波 $u_x(t)$ 驱动（FF-SHL.inp）。一旦剪切层项目完成，我们会运行简化模型（DRM-S-FF-SHL.inp）包括柱的瞬态动力分析，由背景模型计算的位移、速度和加速度驱动。为了比较缩小模型和全尺寸模型的结果，还将生成一个额外的全尺寸模型（SOIL-COLUMN.inp）。

• 材料

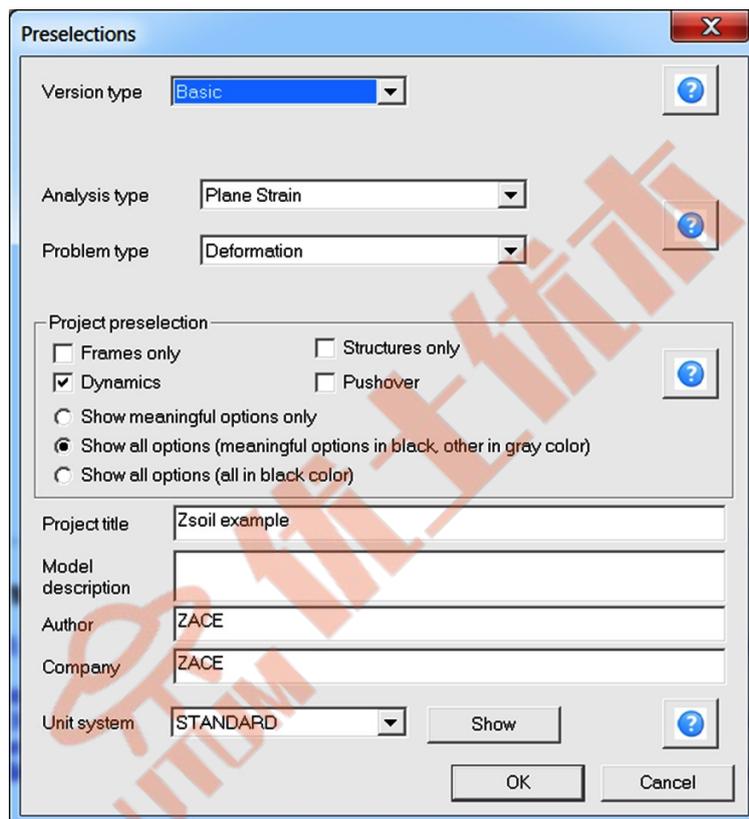
对于地基土、混凝土柱和粘性阻尼器，所有例子中常见的材料特性总结如下表：

材料	模型	数据组	属性	单位	值
1 地基土	弹性	弹性	E	[kN/m ²]	192000
			ν	-	0.2
		重度	γ_D	[kN/m ³]	19.61
			γ^F	[kN/m ³]	10
			e_o	-	0.0
2 柱	弹性	弹性	E	[kN/m ²]	20000000
			ν	-	0.2
		几何形状	γ	[kN/m ³]	24.52
			矩形断面	-	
			b	[m]	1.0
h	[m]	1.0			
3 粘性阻尼器	—	弹性	E	[kN/m ²]	192000
			ν	-	0.2
		重度	γ_D	[kN/m ³]	19.61
			γ^F	[kN/m ³]	10
			e_o	-	0.0

1.8.1 全尺寸模型

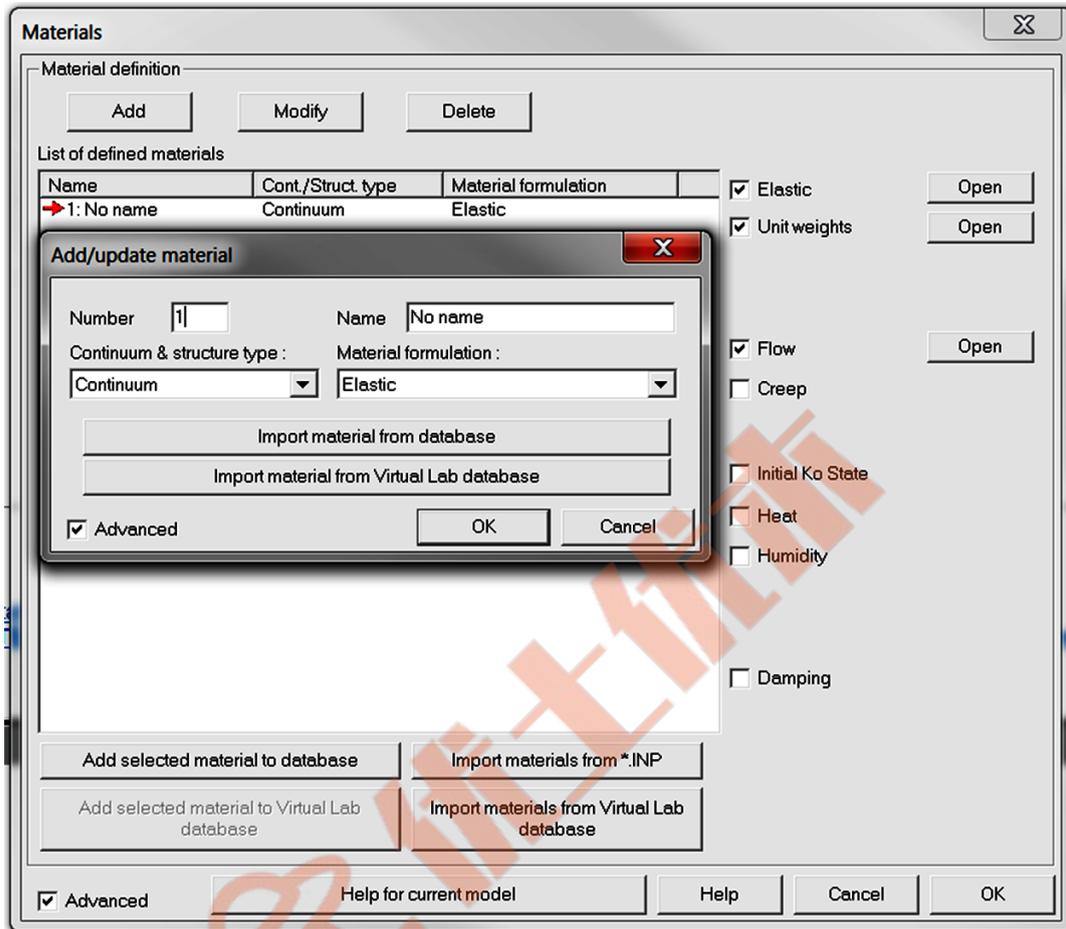
为了进行柱-地基相互作用的时程分析，在没有额外单元抵消刚性边界的波浪反射的情况下，必须生成大型计算模型。本例中，生成了 3600m 长的模型。在以 2Hz 频率进行激发的前 5s 内，可进行此类分析。下面将总结最终模型的所有主要步骤。

第一步：打开新项目



1. 选择平面应变
2. 勾选 Dynamics
3. 点击 OK
4. 文件另存为 SOIL-COLUMN.inp

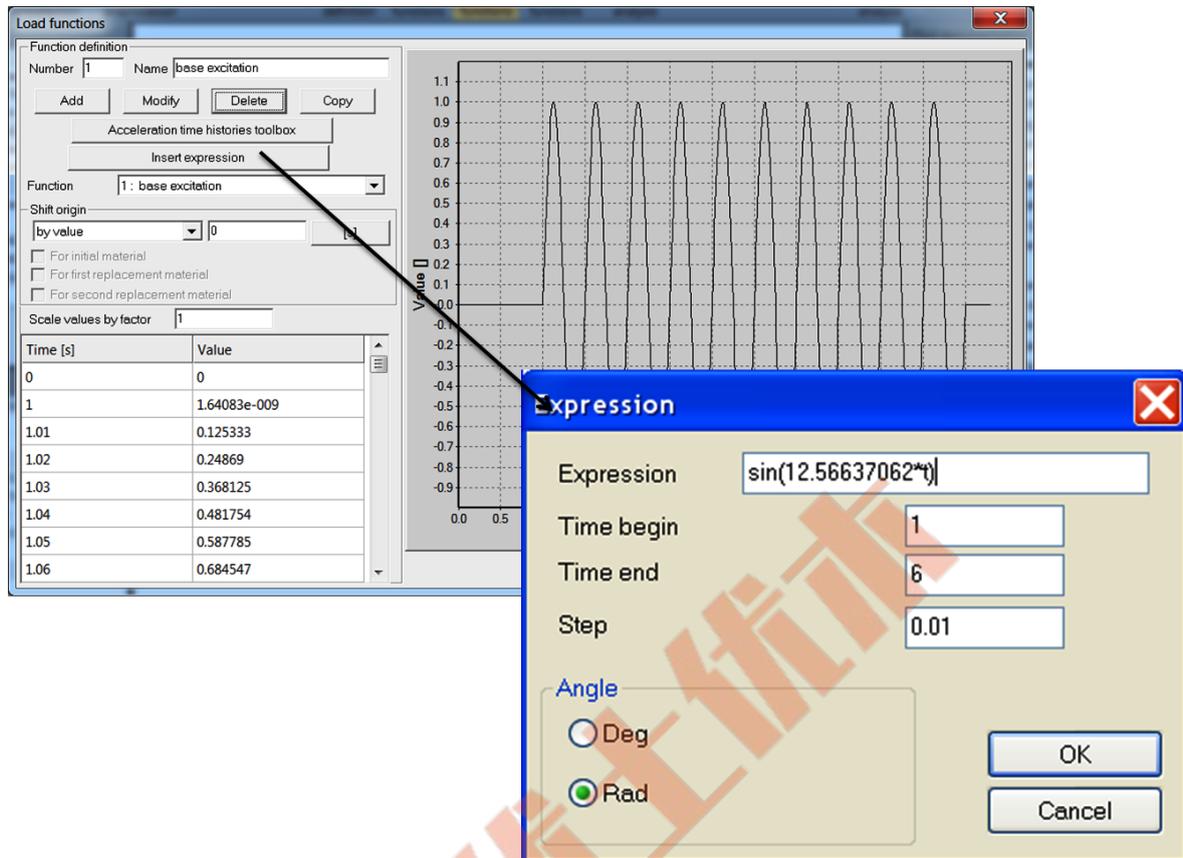
第二步：创建材料列表



1. 添加新材料，选择 Elastic 本构模型，编号为 1。
2. 添加新材料，选择 Beams，编号为 2。
3. 根据本示例主教程设置两种材料的属性。

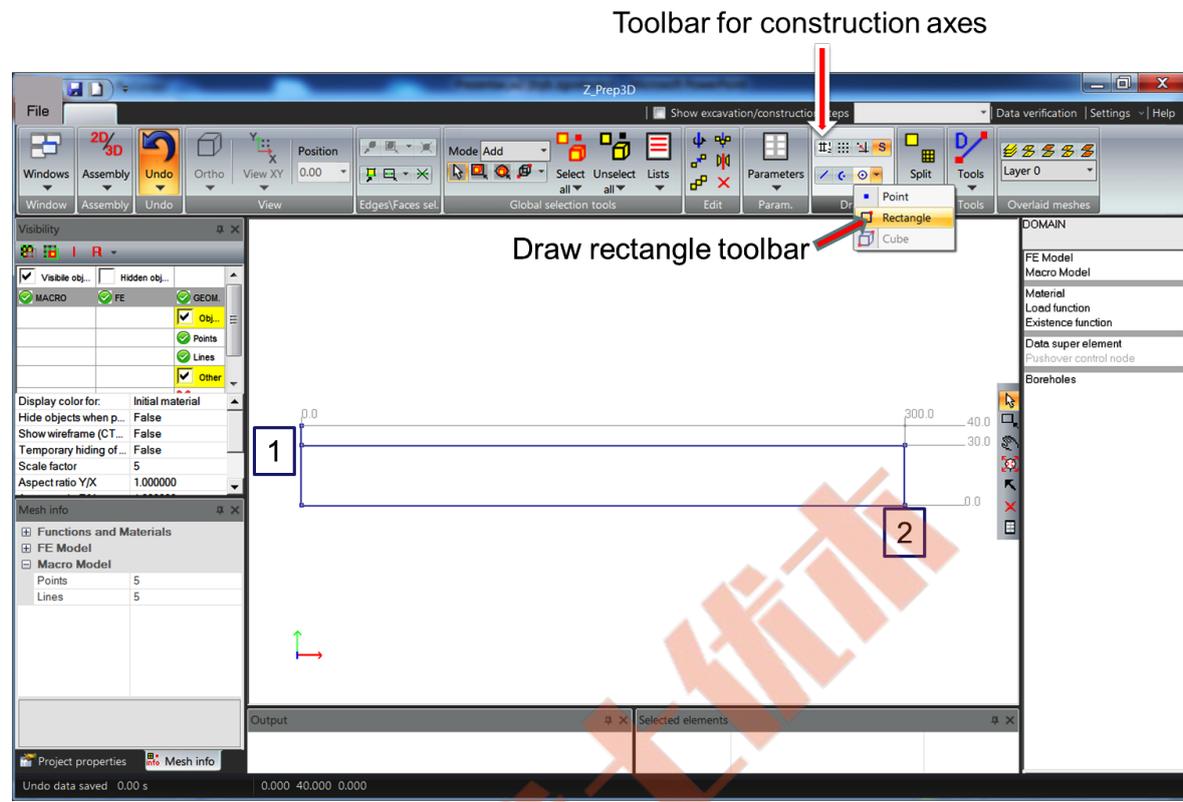
注意：如果你想了解更多关于如何编辑材质属性的内容，请观看视频[编辑材质属性](#)。

第三步：创建荷载时间函数列表



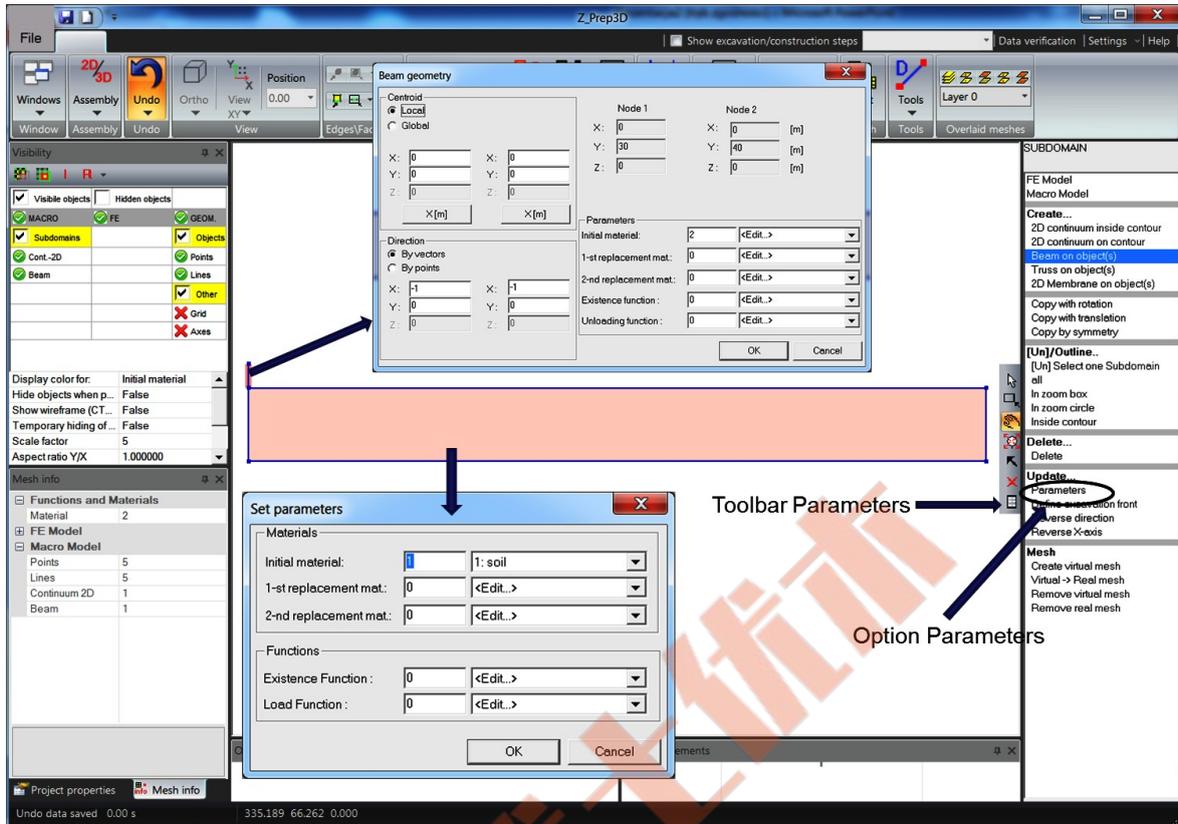
1. 打开荷载时间函数对话框
2. 添加新函数，编号 1
3. 通过表达式定义函数
4. 角度选择 Rad，时间输入 1 到 6s，表达式中输入 $\sin(12.56637062*t)$ （周期等于 0.5s，因此 $\omega = 4\pi$ ）。

第四步：绘制 CAD

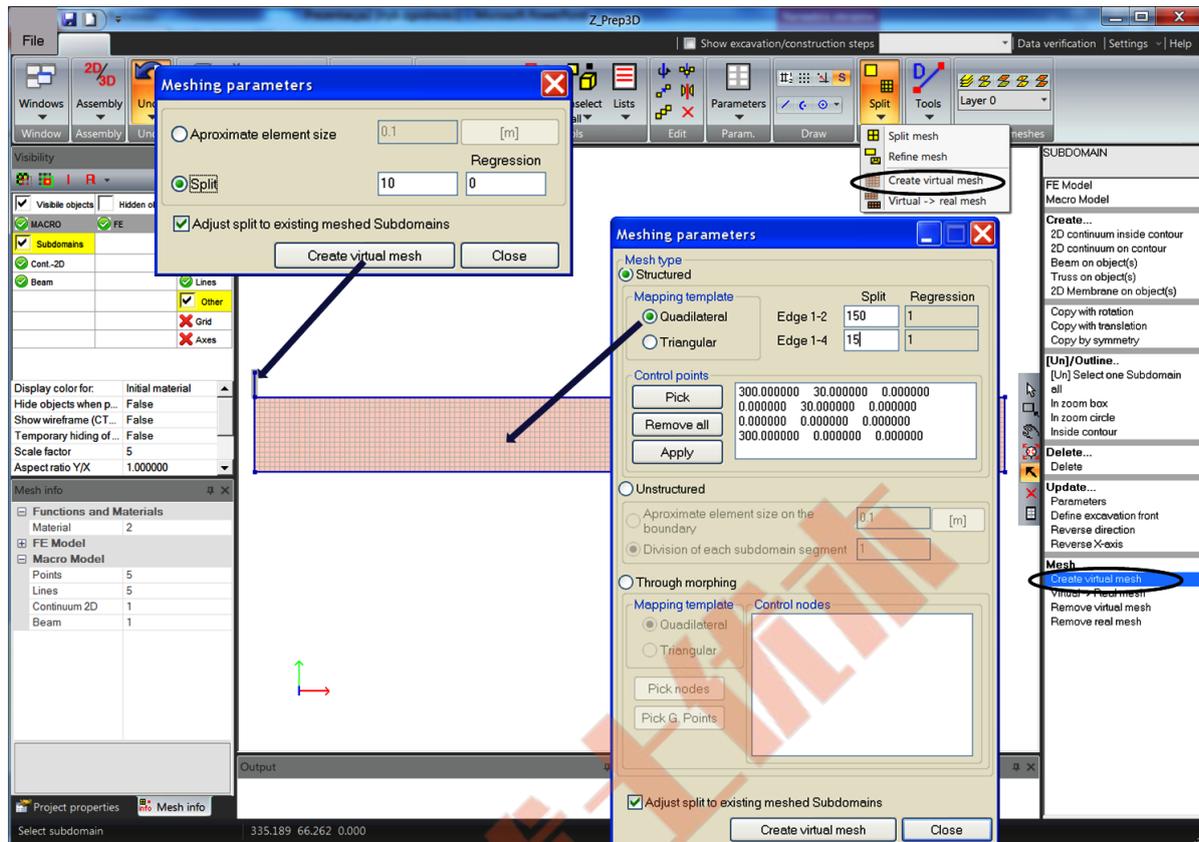


1. 为了加快绘制模型，创建结构坐标，添加特征 X 坐标 0 和 300m，Y 坐标 0、30 和 40m。
2. 绘制矩形 300m*30m，现在我们将绘制模型的一部分，纵横比等于 $3600/30=120$ 。
3. 绘制线段 (0, 30)、(0, 40)，用于创建混凝土柱。

第五步：创建子域（在宏观模型层面）

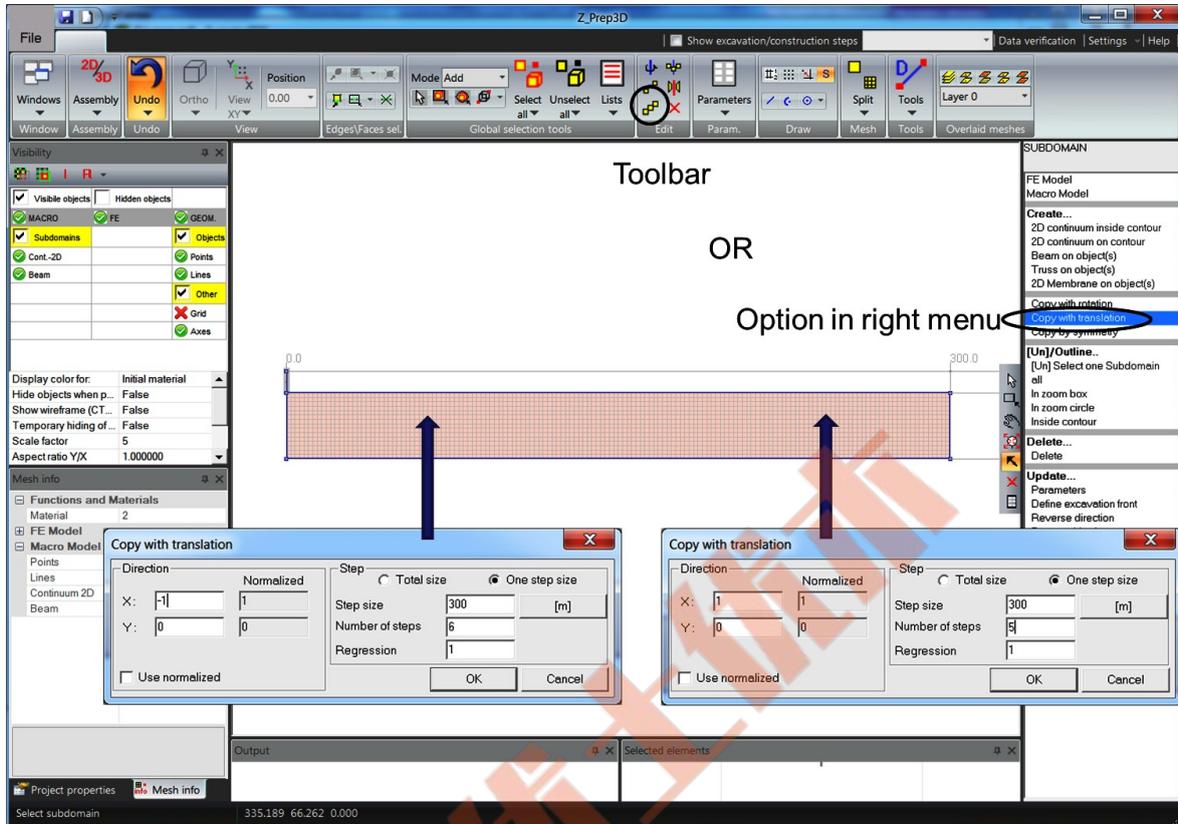


1. 通过 Macro model/Subdomain/2D continuum inside contour 创建连续子域，选择闭合轮廓内的点。
2. 通过 Macro model/Subdomain/Update/Parameters 应用正确的材料（编号 1）到连续子域。
3. 通过 Macro model/Subdomain/Beam 选择垂直线单元。
4. 通过 Macro model/Subdomain/Update/Parameters 应用合适的材料（编号 2）到梁子域。

第六步：为子域创建虚拟网格（在宏观模型层面）


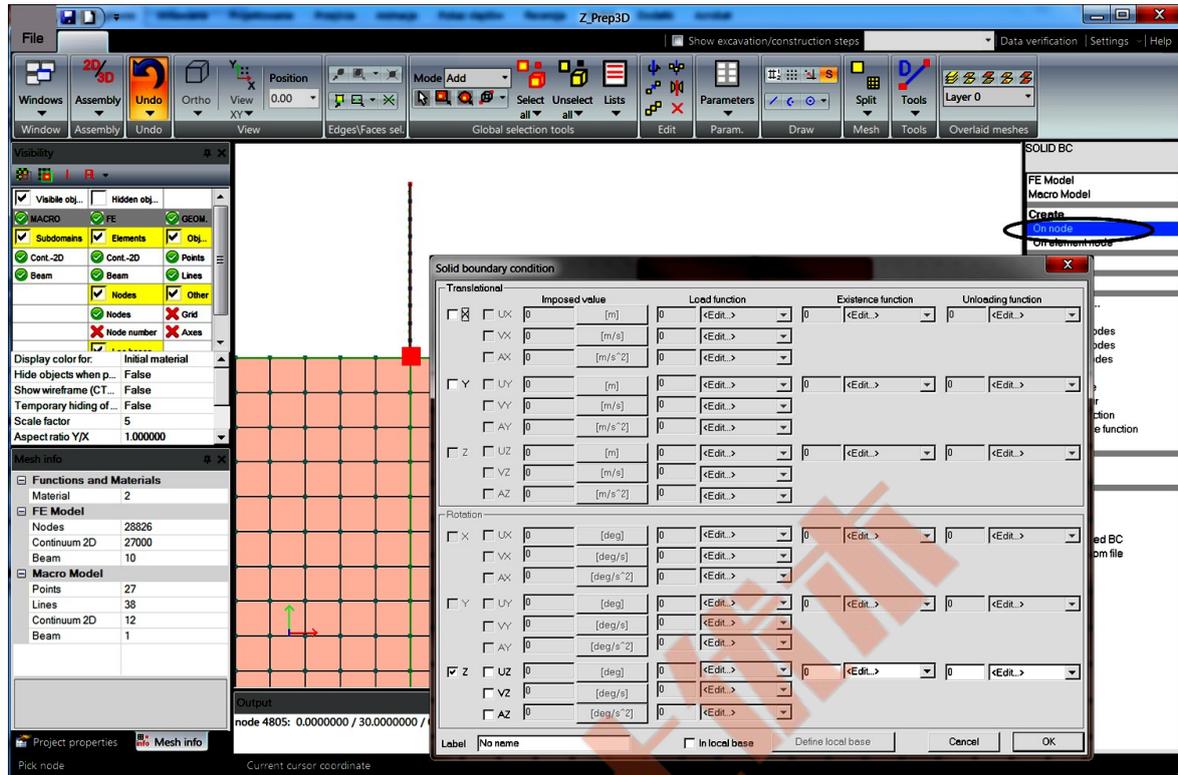
1. 通过 Macro model/Subdomain/Mesh/Create virtual mesh，点击子域弹出对话框，在连续子域创建虚拟结构网格。
2. 沿着 1-2 和 1-4 边界设置单元的数量。
3. 通过 Macro model/Subdomain/Mesh/Create virtual mesh，点击子域弹出对话框，在梁子域里创建真实网格。
4. 设置梁的子域单元数量。

第七步：通过复制 2D 子域创建整个连续体区域，然后创建真实网格（在宏观模型层面）

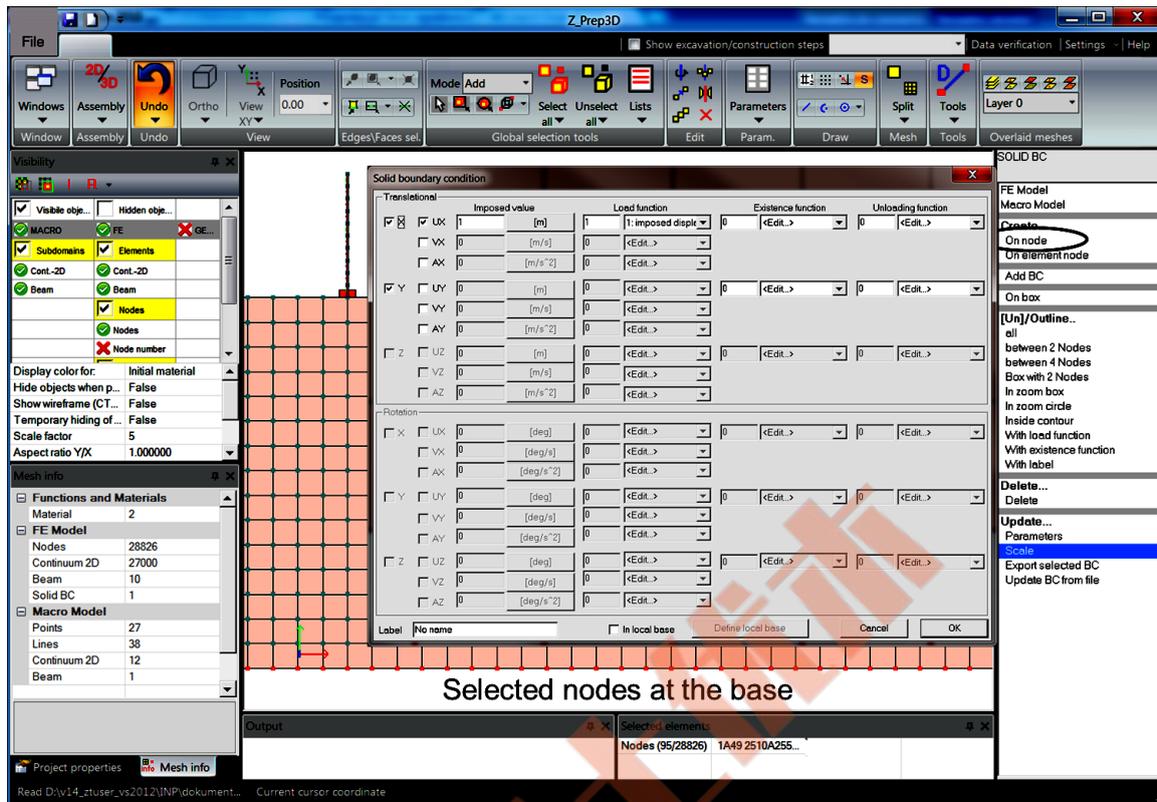


1. 通过 Macro model/Subdomain/Copy with translation，将选中的 2D 子域向右边复制 5 次。
2. 通过 Macro model/Subdomain/Copy with translation，将选中的 2D 子域向左边复制 6 次。
3. 通过 Macro model/Subdomain/Outline/all，选择全部区域，通过 Macro model/Subdomain/Mesh/Virtual → Real，创建真实网格。

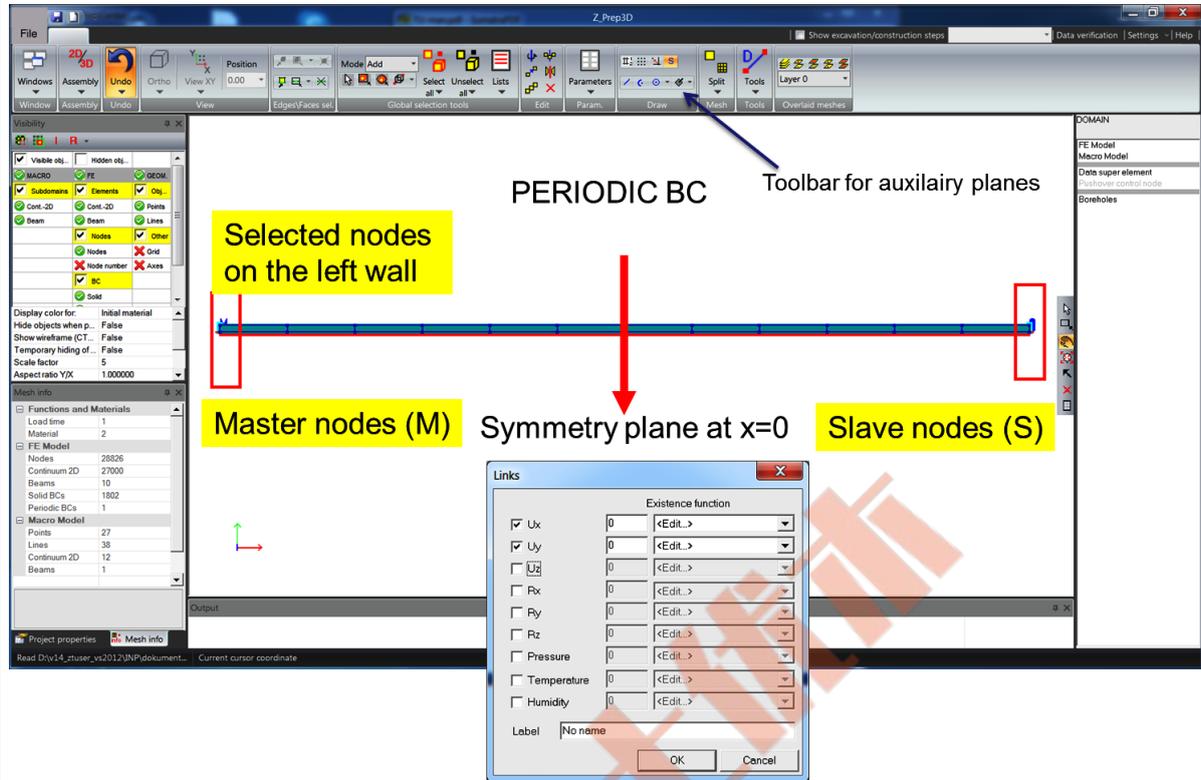
第八步：为梁创建边界条件（在有限元层面）



1. 通过 FE model/Boundary conditions/Solid BC/On node，选择节点，在梁的底部固定旋转。

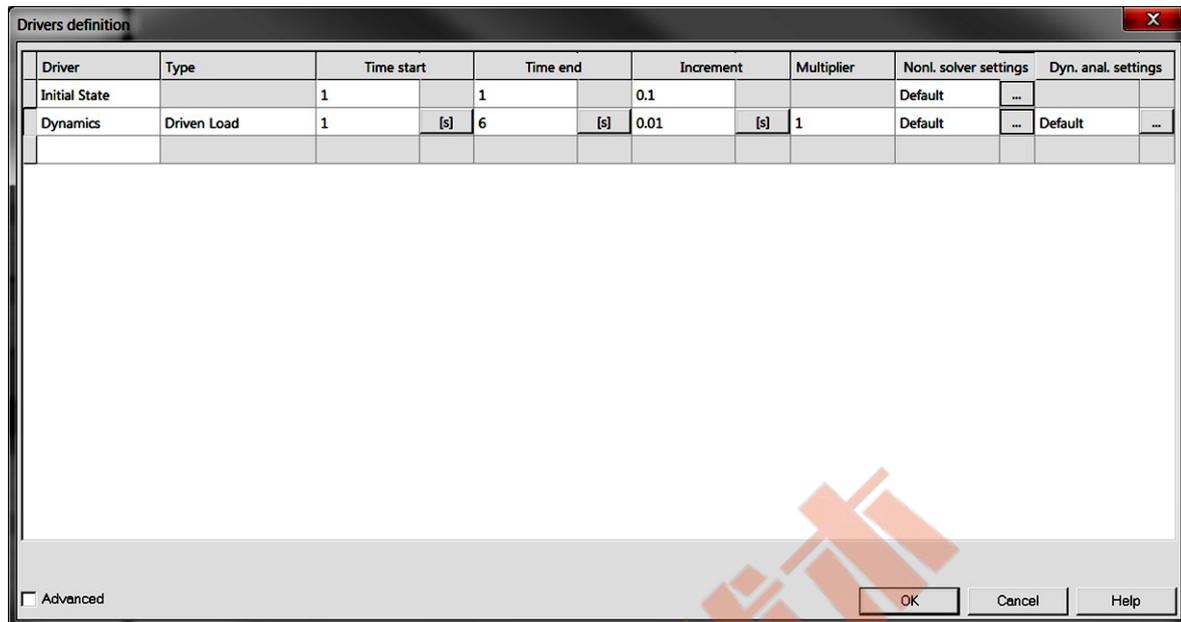
第九步：为底部边界创建边界条件（在有限元层面）


1. 选择 2D 区域底部边界的所有节点。
2. 通过 FE model/Boundary conditions/Solid BC/On node，固定 UY 和 UX 的 dofs（自由度），此外，将沿 x 方向施加的位移振幅值设置为 1.0，并将其与荷载时间函数 1 关联。

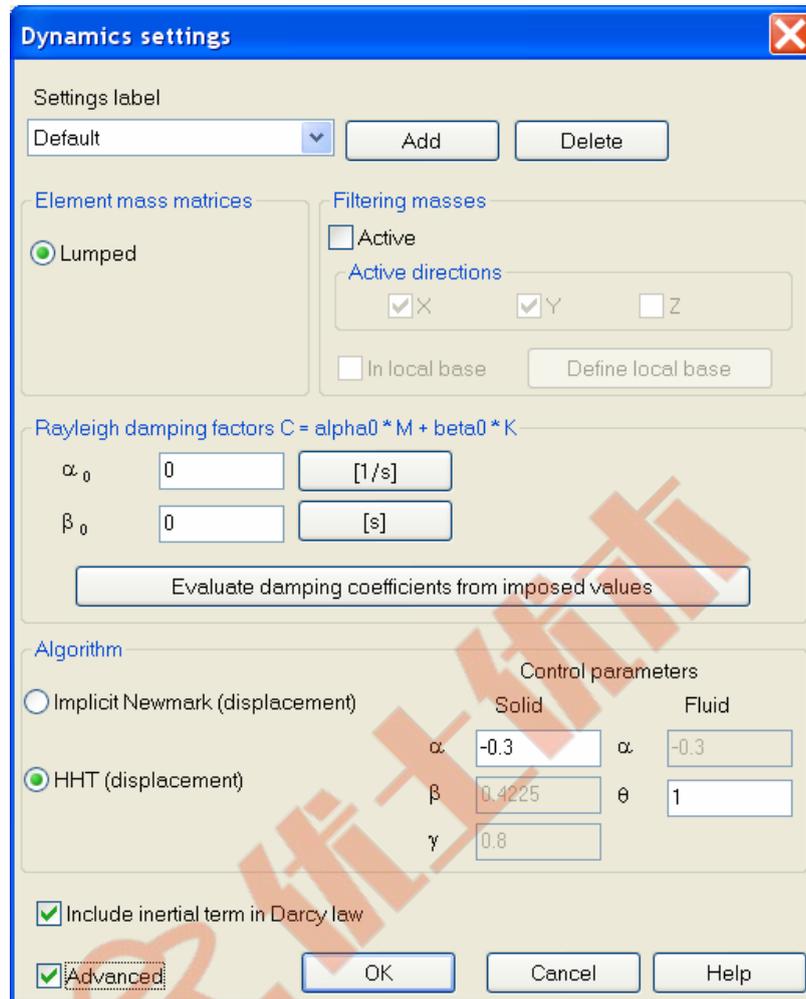
第十步：为左右垂直墙创建周期边界条件（在有限元层面）


1. 在 $x=0$ 处创建辅助平面，法线朝向 x 轴（功能区菜单“绘制”中的选项）。
2. 选择左边墙的全部节点，除了基地的。
3. 通过 FE model/Boundary Conditions/Periodic BC/Nodes and Plane，生成周期边界条件 $u_M=u_S$ 。将所有自由度绑定在两个垂直边界上（注意，在这种特定情况下，无需定义垂直网格墙上的标准位置 BC，然后对其进行挖掘）。

第十一步：设置驱动器



1. 添加初始状态驱动以生成地应力。
2. 从时间 1.6 s 添加瞬态动力学驱动以执行动态时程分析。注意：在主菜单和 Assembly/Drivers 中都可设置驱动。

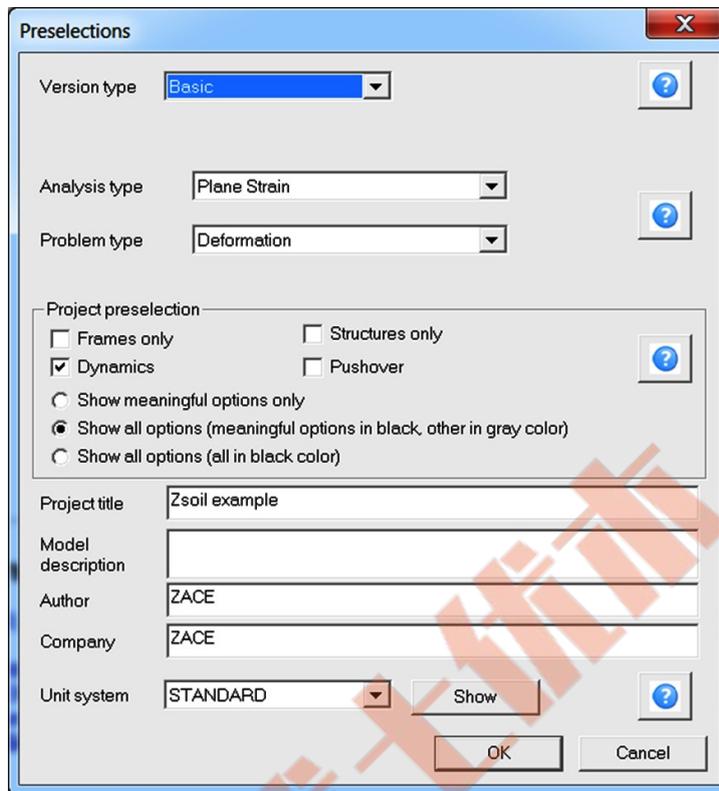
第十二步：设置瞬态动态驱动


1. 使用带有默认积分系数的 HHT 积分方案（ZSoil® 主菜单 Control/Dynamics）。

1.8.2 背景模型

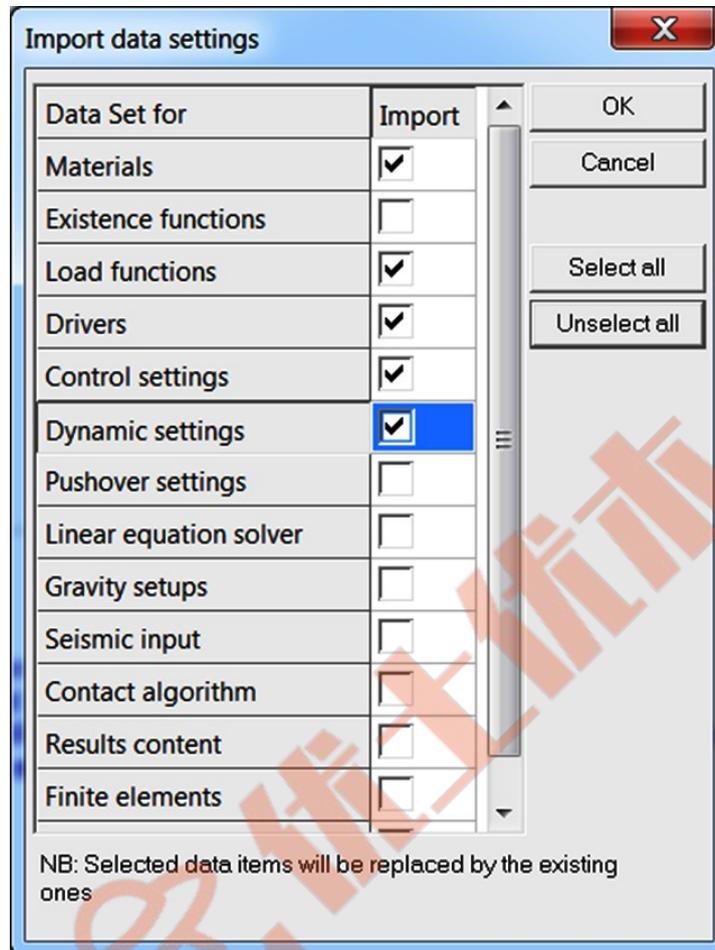
背景模型需要借助区域简化法进行时程分析。本示例中，我们将制作一个简单的有一列 Q4 单元的剪切层模型，两个垂直墙上有周期性边界条件。沿 x 轴的模型尺寸将等于 3600 米，尽管这足以使其与下一小节中描述的 DRM 模型长度一样长。该简化模型将以与全尺寸模型相同的方式受到频率为 2Hz 的谐波激发。为了进行柱-地基相互作用的时程分析，在没有额外单元抵消刚性边界的波反射的情况下，必须生成大型计算模型。在考虑的情况下，生成了 3600m 长的模型。在以 2Hz 频率进行的激励的前 5s，可进行此类分析。下面将总结最终模型的所有主要步骤。

第一步：新建项目



1. 选择平面应变
2. 打开 Dynamics
3. 接受这些设置按按钮 OK
4. File/Save As **SOIL-COLUMN.inp**

第二步：从 SOIL-COLUMN.inp 中导入材料、荷载时间函数、驱动、控制设置。



1. 通过 File/Import data from another *.inp file，从全尺寸模型 SOIL-COLUMN.inp 中导入材料、荷载时间函数、驱动、控制设置。
2. 第二种材料，混凝土柱，不需要，在数据中出现了也是没有意义的。

第三步：绘制 CAD

1. 添加特征 X 坐标-1800, 0, 1800, Y 坐标 0, 30。
2. 绘制矩形 3600m*30m。在这种情况下，由于模型的纵横比很大，建议直接通过对话框输入顶点坐标，而不是绘制；请注意，该模型的水平尺寸可以减小到简化模型的尺寸（100m），如下一小节所示。

注意：域轮廓的绘制可以直接用鼠标绘制，也可以在对话框中设置端点的坐标；端点的坐标可以定义为绝对坐标，也可以定义为相对坐标(在本例中，在 X, Y, Z 坐标前放置@字符)。

第四步：创建 2D 连续体子域

按照与全尺寸项目相同的方式，创建一个二维子域，进行 1×15 的虚拟拆分（沿长度 1 个元素），然后将其转换为真实网格。

第五步：为底部边界创建边界条件（在有限元层面）

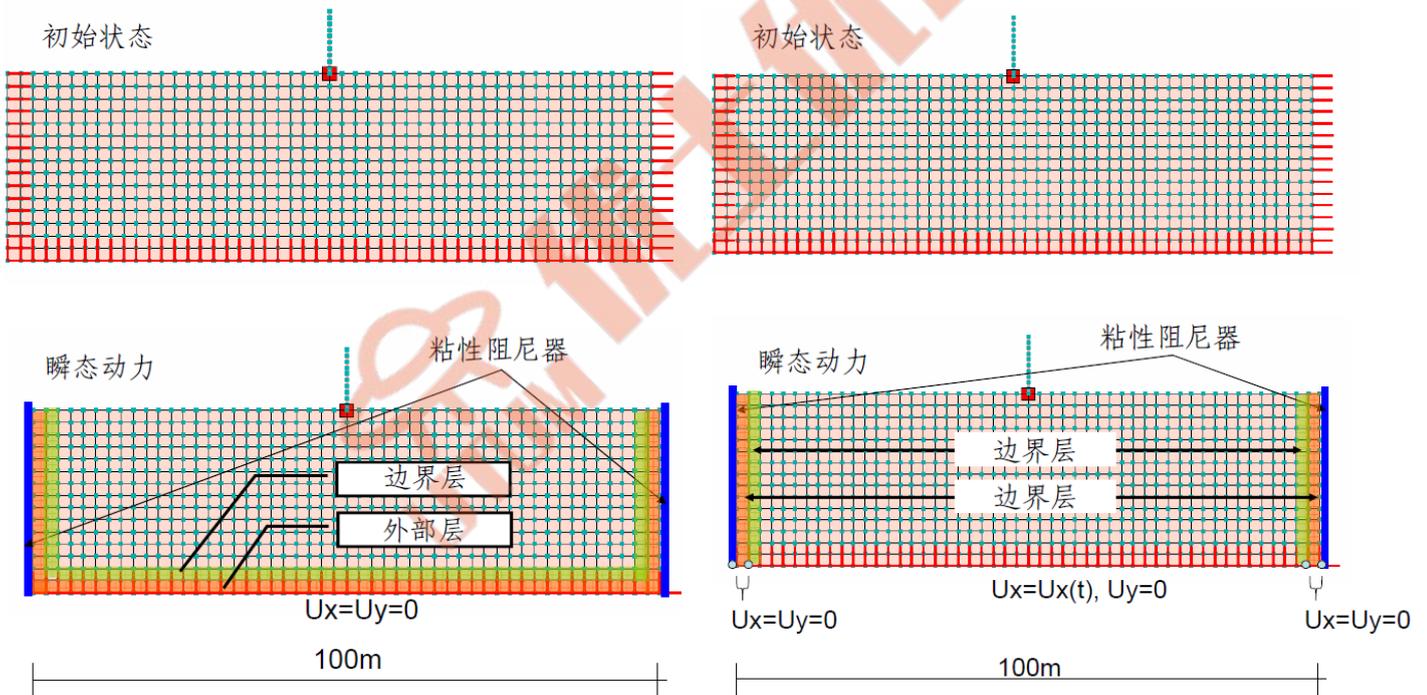
固定 UY 和 UX dofs;另外，将沿 x 方向施加的位移幅值设为 1.0，并将其与荷载时间函数编号 1 相关联；使用 FE 模型/边界条件/固体边界条件/节点选项来设置此设置；这个操作与全尺寸模型完全相同。

第六步：为左右垂直墙创建周期边界条件（在有限元层面）

生成周期边界条件 $u_M = u_S$ (选项 FE 模型/边界)条件/周期边界条件)将所有自由度捆绑在两个垂直边界上；这个操作与描述的全尺寸模型完全相同。

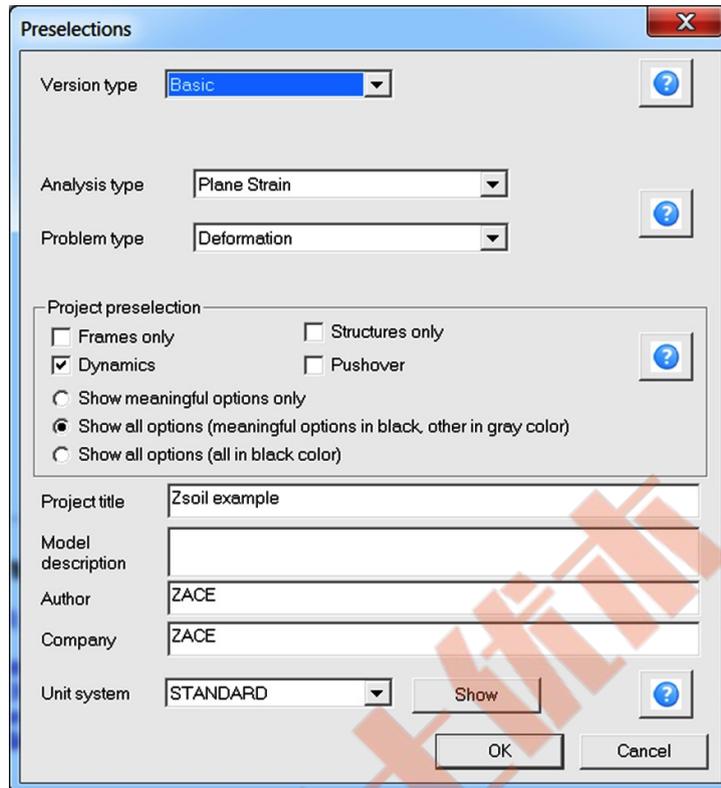
1.8.3 DRM 简化模型

简化模型将由混凝土柱附近的一小部分底土以及已求解的相关背景模型组成。DRM 模型可以通过多种方式构建。两种可能的情况如下图所示。在本教程中，我们将使用第一种方案，因为它简单得多（两者实际上是等效的）。由于模型是对称的，我们可以用周期边界条件替换两个垂直网格墙上的标准水平固定件。然而，在更复杂的情况下，我们可能需要假设标准的箱型边界条件来求解初始状态，随后，当动态驱动被激活时，将不得不删除它们。因此，在所考虑的情况下，将首先使用箱型边界条件求解初始状态，然后释放水平固定件（但保持反作用力），并执行简化模型，从简化背景模型导入自由场运动。

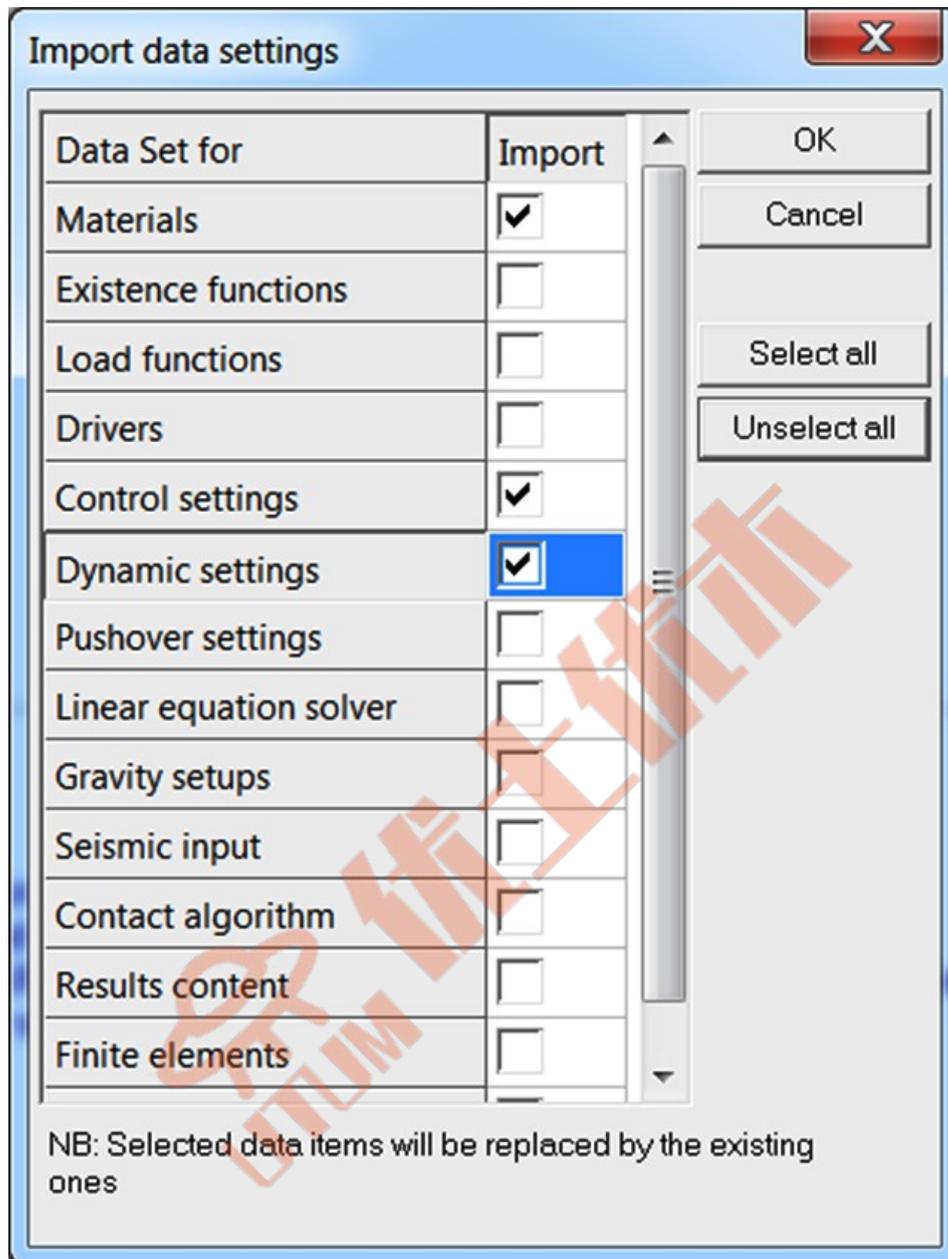


情况 1:外部/边界层放置在底部和沿垂直墙壁

情况 2:仅沿垂直壁面放置的外部/边界层

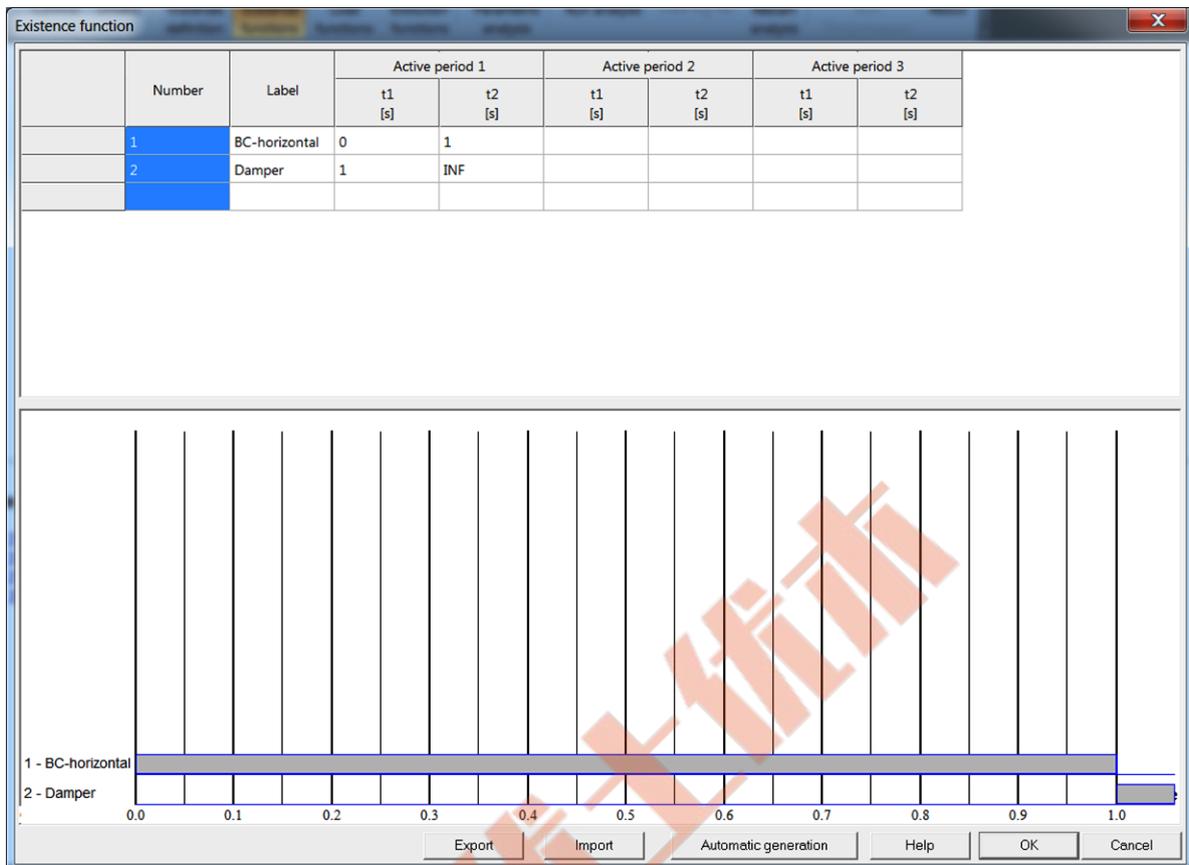
第一步：新建项目


1. 选择平面应变
2. 打开 Dynamics
3. 接受这些设置按按钮 OK
4. File/Save As **DRM-S-FF-SHL.inp**

第二步：从 SOIL-COLUMN.inp 导入材料、动态控制


1. 通过 File/Import data from another *.inp file，从全尺寸模型 SOIL-COLUMN.inp 中导入材料、动态设置。
2. 通过 assembly/Materials/Add material，为粘滞阻尼器添加新材料并设立标志，勾选 Inherit properties from adjacent continuum，这样，每个阻尼器将从相邻的连续单元继承其机械和流动特性。

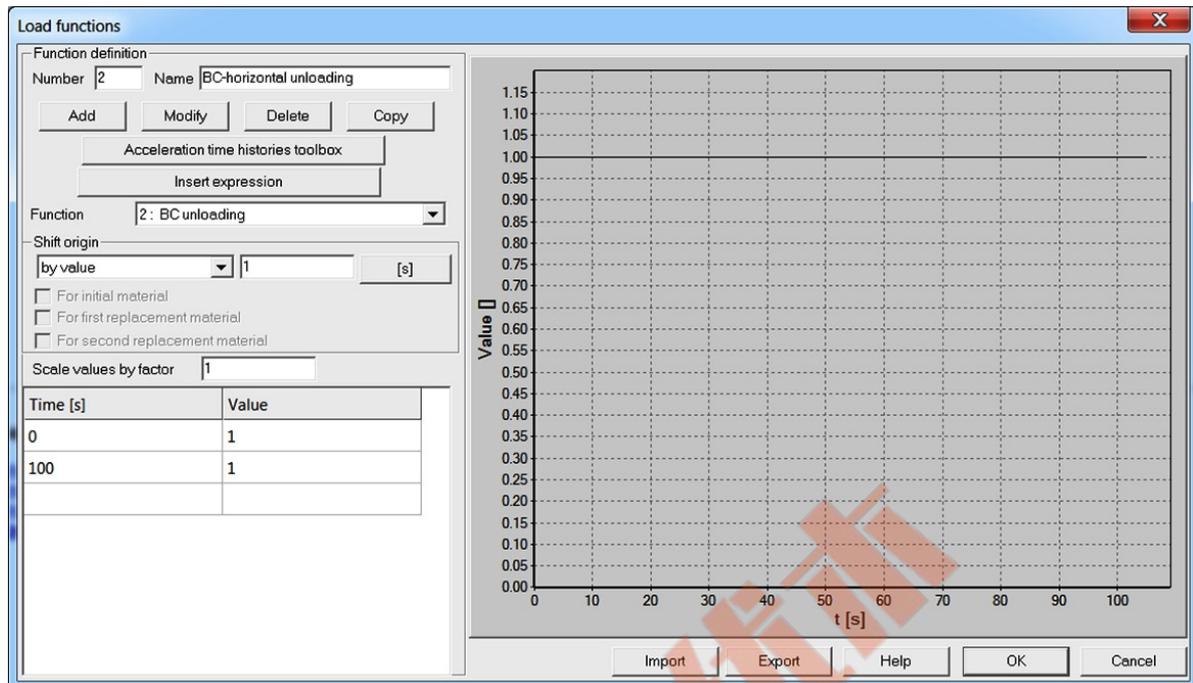
第三步：创建存在函数



1. 通过 Assembly/Existence functions 或者主界面 Existence functions 打开编辑对话框。
2. 添加新函数，编号 1，标签：水平边界条件。
3. 定义该函数在 0-1 期间激活，此功能稍后将与垂直墙处的水平边界条件相关联。
4. 添加新函数，编号 2，标签：阻尼器。
5. 定义该函数在 1- ∞ 激活，此功稍后将与粘滞阻尼器相关联。

注意：如果您想了解如何编辑存在函数，请观看视频[编辑存在函数](#)。

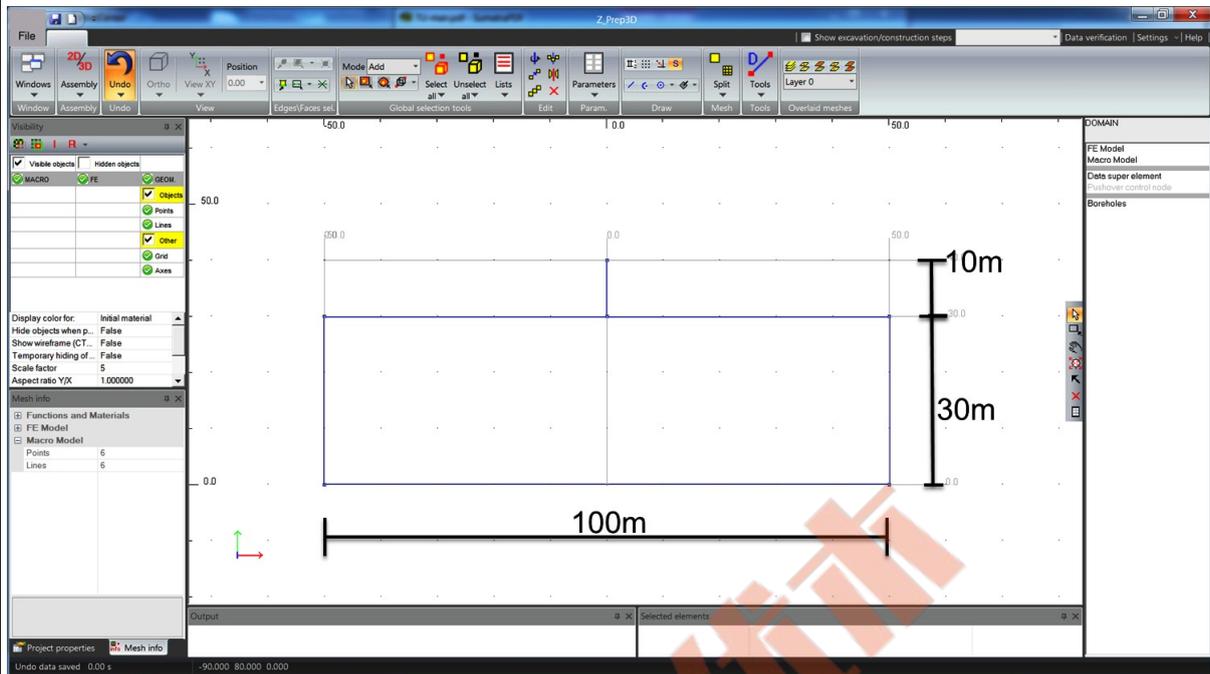
第四步：创建荷载时间函数列表



1. 通过 Assembly/Load functions 或者主界面 Load functions 打开编辑对话框。
2. 添加新函数，编号 2。
3. 假设此函数的时间原点偏移值 1.0。
4. 编辑该函数，设置 3 个点 $LTF_2(t=0)=1, LTF_2(t=100)=1$ ，当运行动态驱动时，该功能将用作垂直壁上水平反力的卸荷函数（反作用力不会消散）。

注意：如果你想了解更多关于如何编辑荷载时间函数，观看视频编辑加载时间函数。

第五步：绘制 CAD

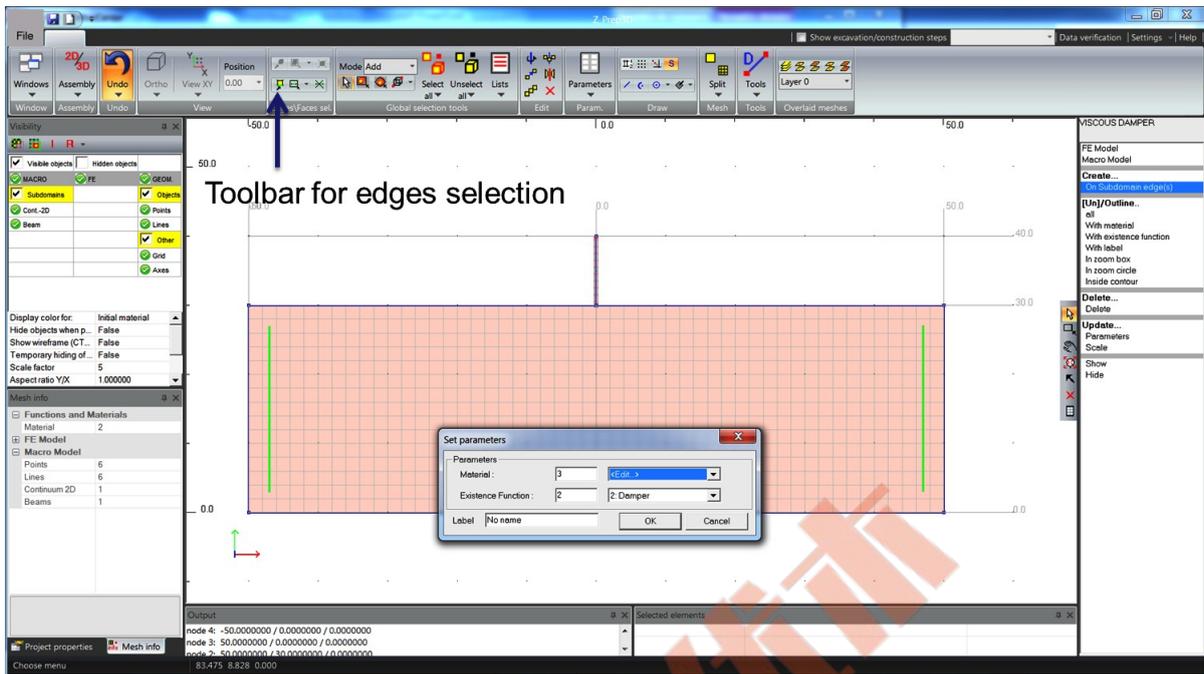


1. 构造轴线，在 X 坐标添加-50，0，50，Y 坐标添加 0，30，40。
2. 绘制矩形 100m*30m。
3. 绘制垂直线， $x=0$ ， y 从 30 到 40。

第六步：创建 2D 连续体子域

1. 与创建全尺寸项目 2D 子域的方法相同，设置虚拟网格 50×15 （沿长边划分 50 个单元）。
2. 使用虚拟网格 10 个，创建梁子域。

第七步：创建粘滞阻尼器

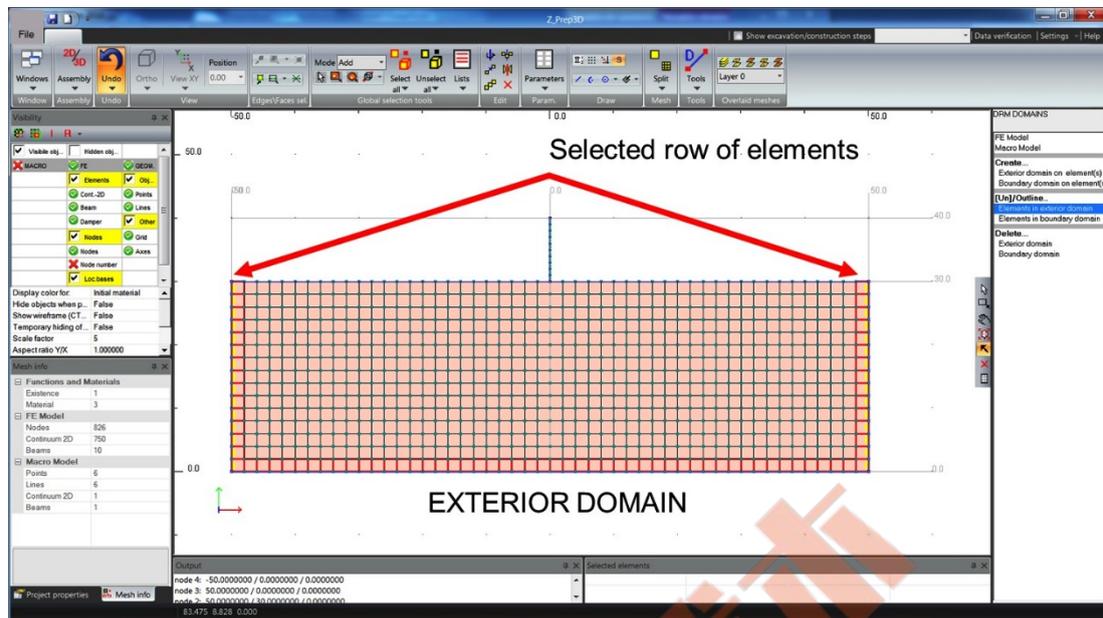


1. 通过 Macro model/Viscous dampers/Create/On subdomain edge(s), 选择 2D 子域的垂直外部边缘并创建粘滞阻尼器。
2. 为阻尼器设置 3 号材料和 2 号存在函数。

第八步：将虚拟网格转换为真实网格

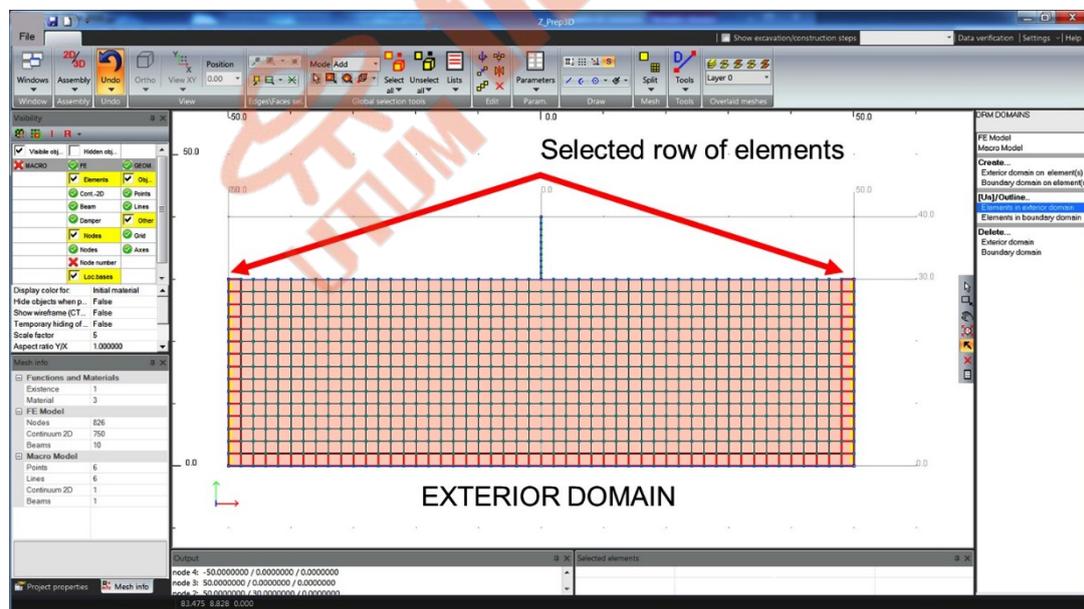
1. 选择所有子域 (Macro model/Subdomain/Outline/all 或者通过主界面 Global selection tools/Select all)。
2. 转换虚拟网格为真实网格 (Macro model/Subdomain/Mesh/Virtual to real 或者主界面 Mesh/Virtual to real)。

第九步：创建 DRM 外部域



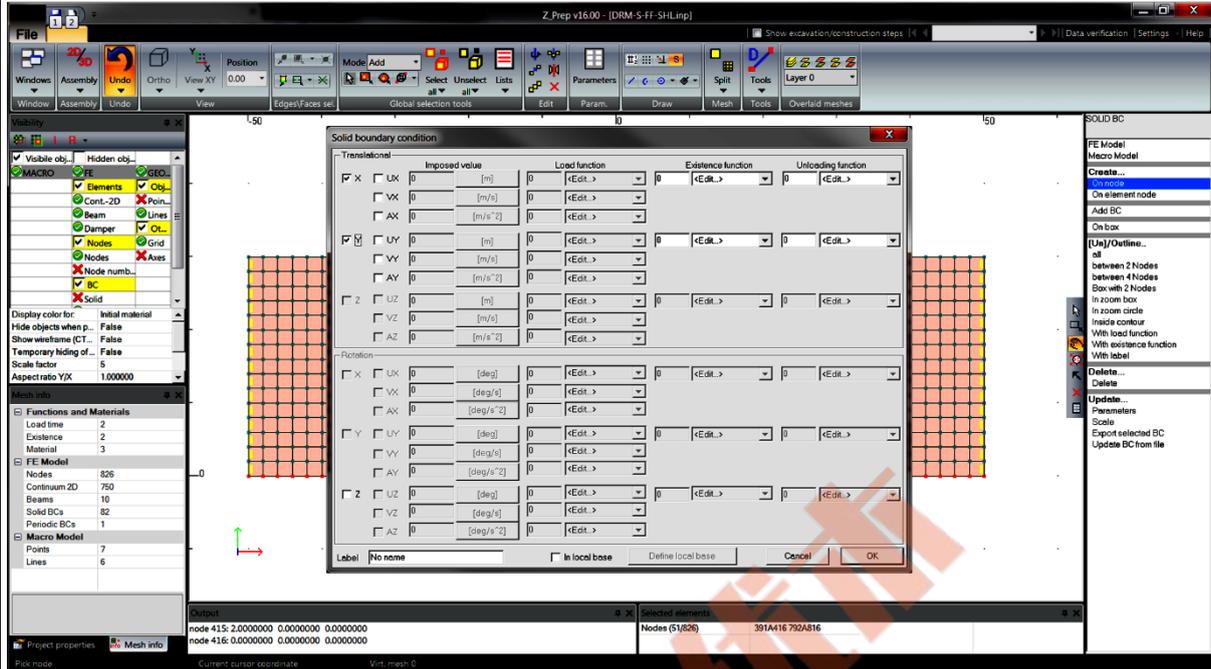
选择构成外部层的单行单元，并在其中设置外部 DRM 区域；使用 FEMODEL/DRM domains/Create/External domain on element 选项进行设置。

第十步：创建 DRM 边界层



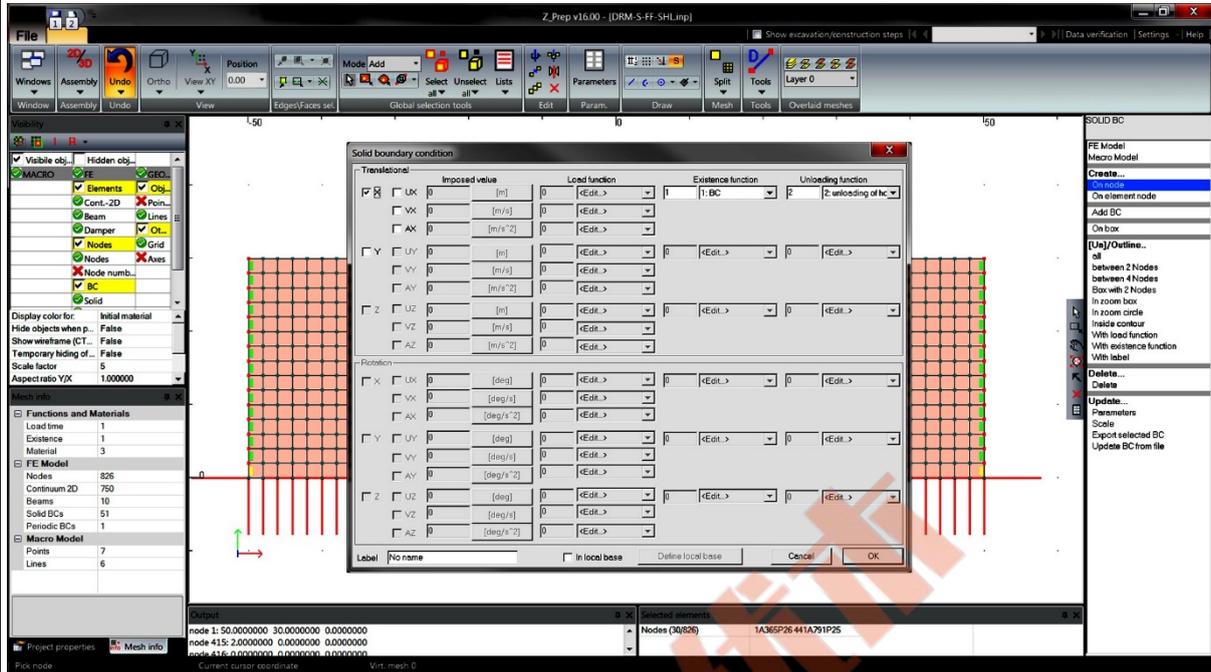
选择形成边界层的单行单元，并在其中设置边界 DRM 区域；使用 FEMODEL/DRM domains/Create/Boundary domain on element (s) 选项进行此设置。

第十一步：在底部边界创建边界条件



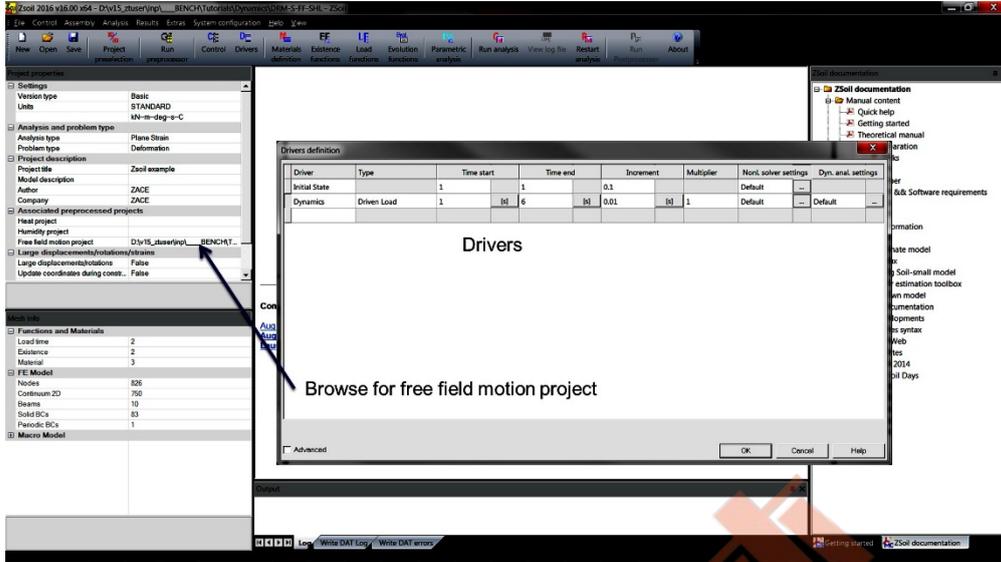
在底部节点固定 UY 和 UX 自由度；请注意，在这种特定情况下，基座上的节点属于外部域，因此对于刚性基座模型，所有这些点的相对运动均为零（在外部域中，我们在计算期间寻求相对/残余运动）

第十二步：为垂直墙创建水平固定（在有限元层面）

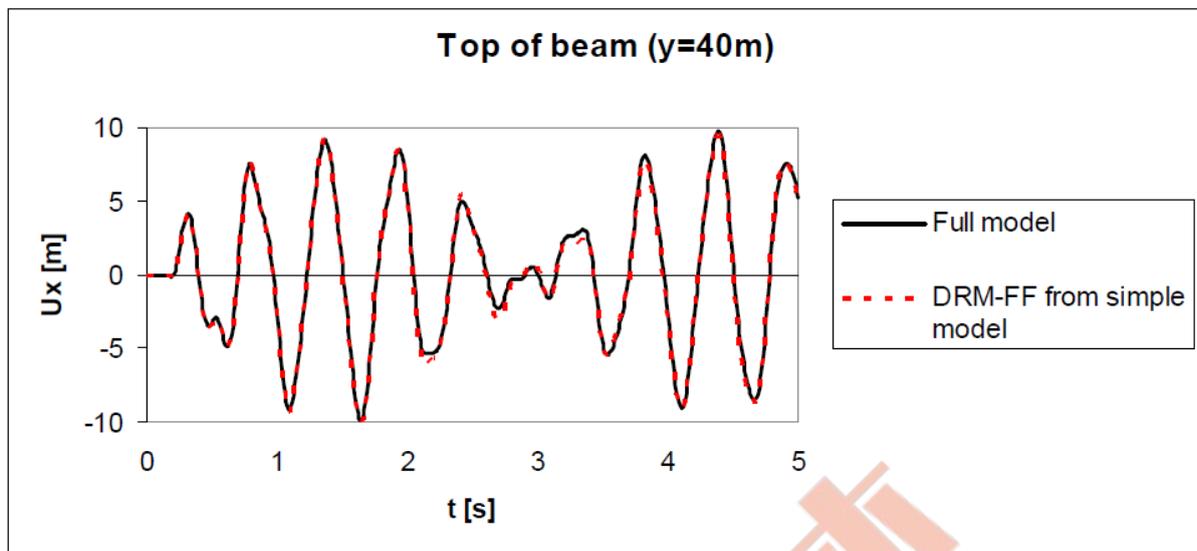


1. 选择左边和右边墙的所有节点，除了基地的。
2. 生成边界条件（FE model/Boundary Conditions/Solid BC） $u_x=0$ ，存在函数为 1，卸载函数为 2；这样，在初始状态计算期间，水平固定将处于活动状态，在动态分析期间，水平固定将处于非活动状态；通过在运行动态驱动器之前保持静态平衡，卸荷函数有助于代替固定。

第十三步：设置驱动并插入运动项目自由场



1. 创建和全尺寸同样的驱动列表
2. 浏览背景模型的输入文件

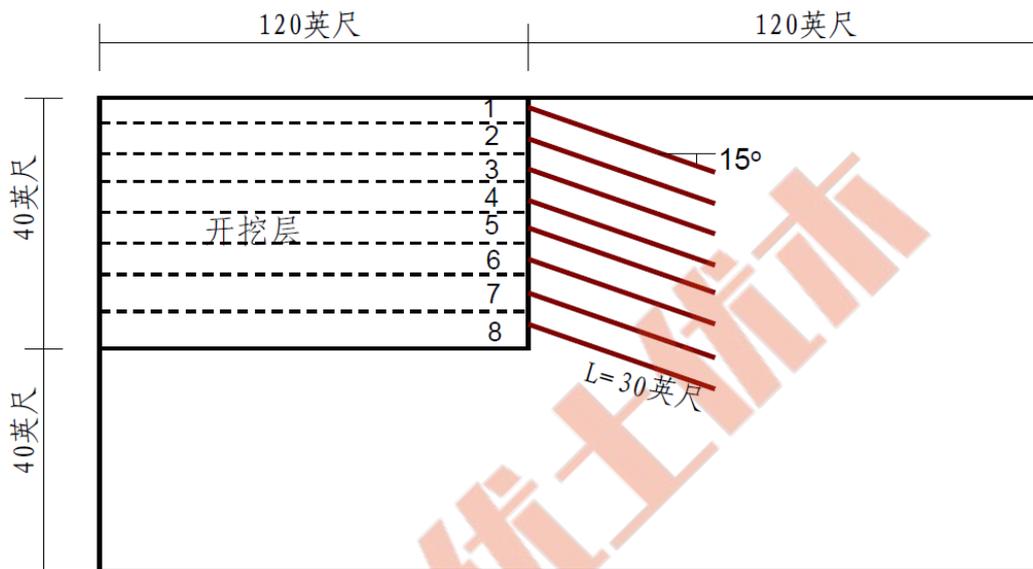
第十五步：结果


1. 打开全尺寸模型项目
2. 选择混凝土柱的顶部节点
3. 打开后处理器，使用 Graph. option/Nodal time history 绘制所选节点的 $u_x(t)$ 变化
4. 保存时程为 *.csv 格式
5. 打开简化模型项目
6. 选择混凝土柱的顶部节点
7. 打开后处理器，使用 Graph. option/Nodal time history 绘制所选节点的 $u_x(t)$ 变化
8. 保存时程为 *.csv 格式
9. 使用 Excel 应用绘制两个结果

1.9 土钉支护垂直开挖

- 数据文件： tutorials/NAIL2Da.inp
- 描述

本示例模拟了土钉支护垂直开挖。与一些简单的极限平衡方法相反，有限元模型需要一个多步骤的开挖和土钉安装过程，以消除土钉中的假力和潜在的数值发散问题。工程草图如下：



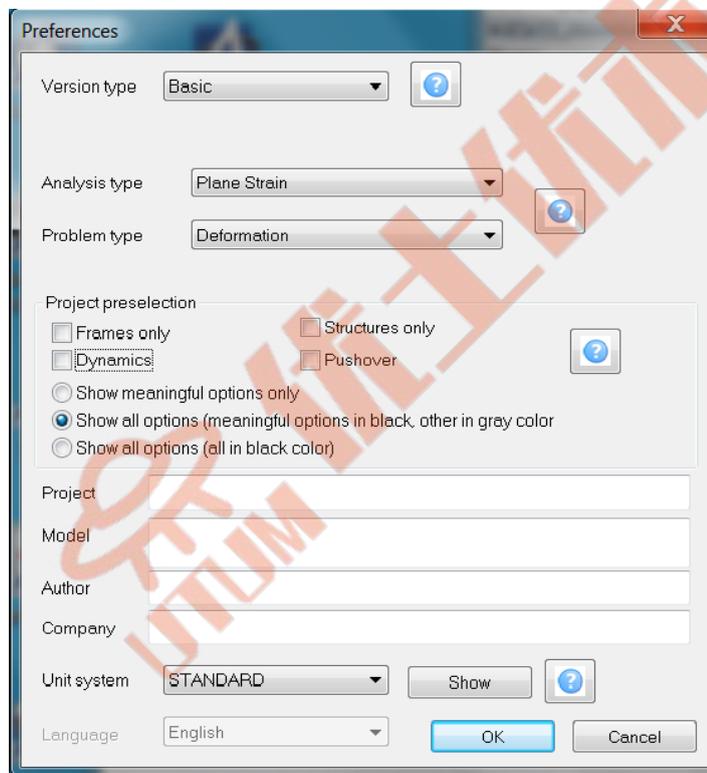
- 材料

地基土、混凝土面层、土钉和土钉界面的材料属性如下表：

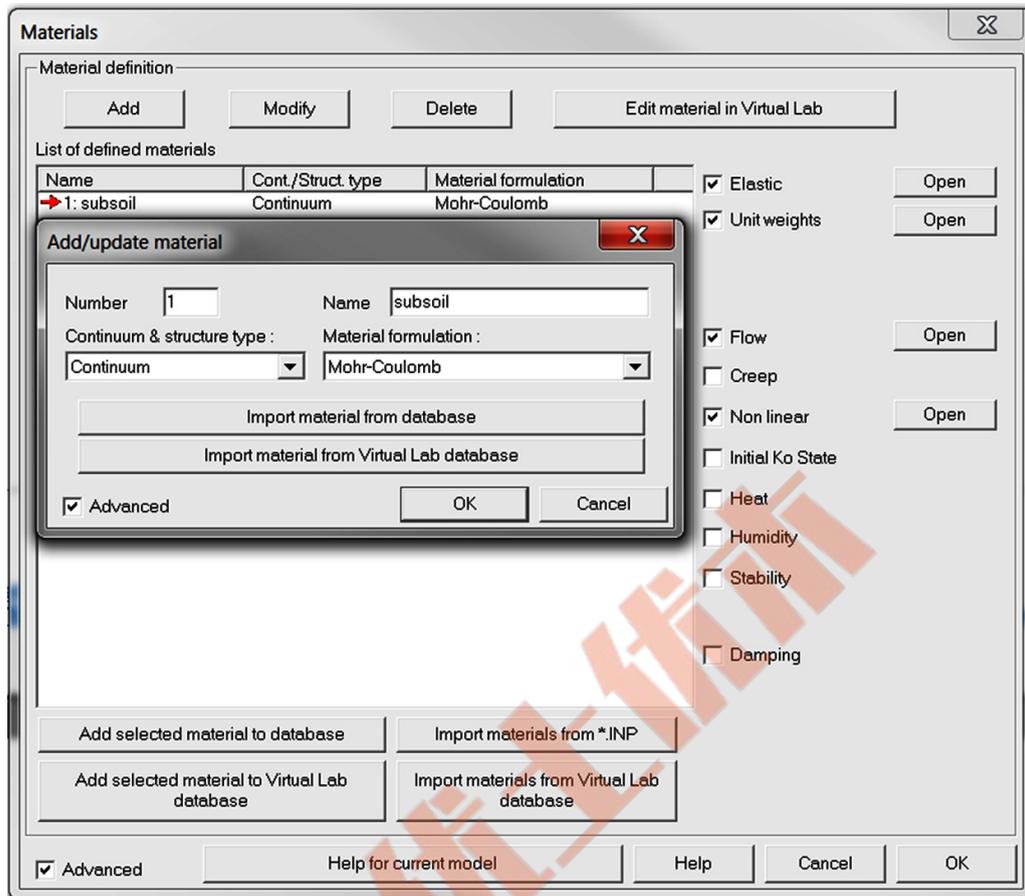
材料	模型	数据组	属性	单位	值
1 地基土	莫尔-库仑	弹性	E	[lbf/ft ²]	2088650
			ν	-	0.3
		重度	γ_D	[lbf/ft ³]	120
			γ^F	[lbf/ft ³]	63.7
			e_o	-	0.0
		非线性	c	[lbf/ft ²]	100
			ϕ	[°]	32
	ψ	[°]	0		
2 面层	梁	初始状态 K_o	K_{ox}	-	0.5
			K_{oz}	-	0.5
		弹性	E	[lbf/ft ²]	417729000
			ν	-	0.2
		重度	γ	[lbf/ft ³]	0
		几何形状	矩形	-	
			b	[ft]	1.0
			h	[ft]	0.5

3 接触面	土钉接触面	弹性	k_n mult.	-	0.1
			k_t mult.	-	1.0
		非线性	直径 D	[ft]	0.333
			τ_{ult}	[lbf/ft ²]	7200
4 土钉	梁	弹性	E	[lbf/ft ²]	4177290000
			ν	-	0.2
		重度	γ	[lbf/ft ³]	0
		几何形状	圆	-	
			直径	[ft]	0.083
	间距.	[ft]	5		

第一步：新建项目

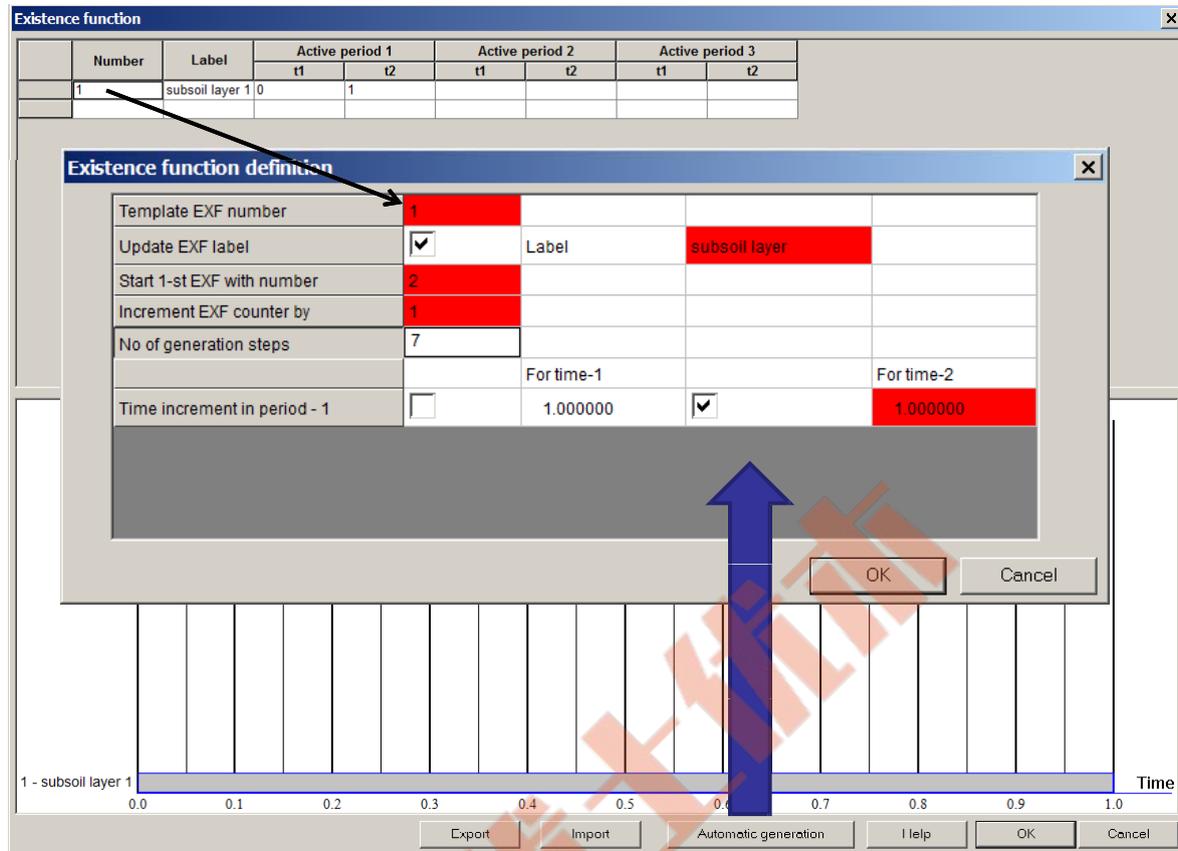


1. 选择平面应变
2. 同意这些设置按下按钮 **OK**
3. File/Save As **NAIL2Da.inp**

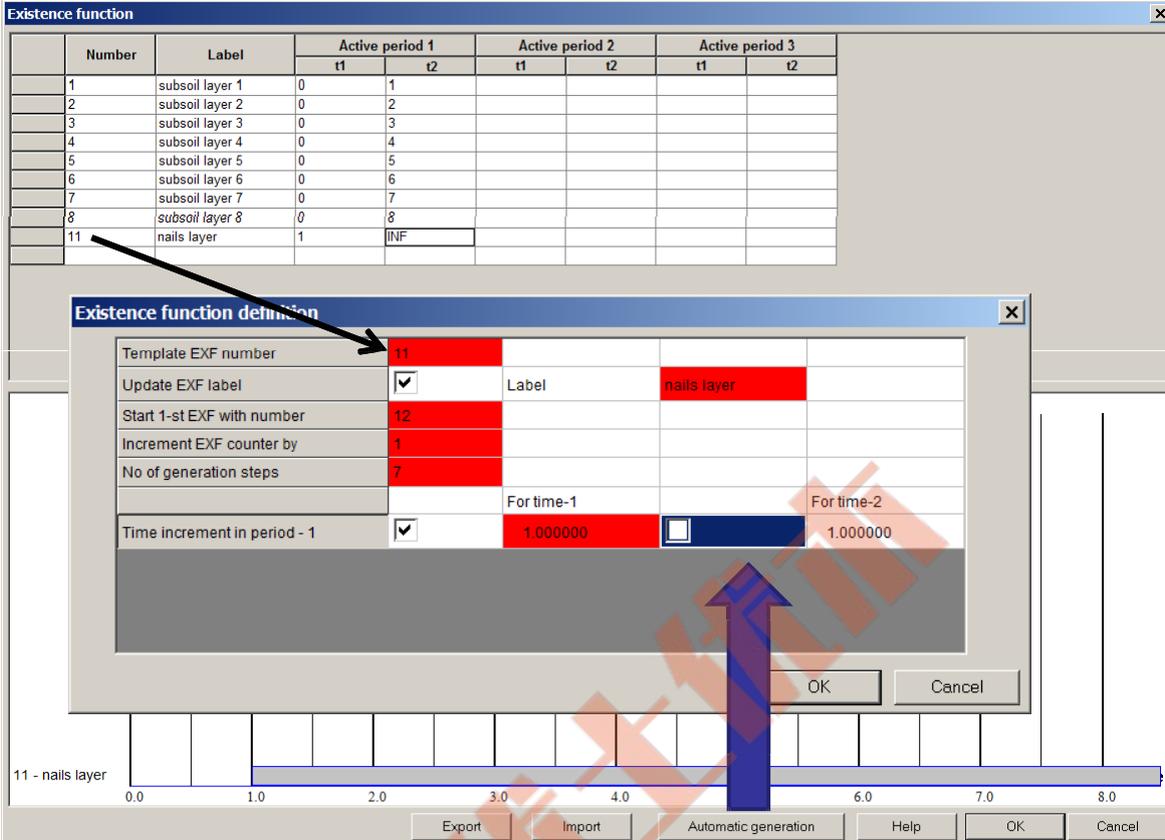
第二步：创建材料列表


1. 在主菜单中通过装配/材料添加新材料(底土)1号采用莫尔-库仑本构模型。
2. 通过 Assembly/Materials 在主菜单中添加新材料(混凝土饰面)2号梁。
3. 在主菜单中通过 Assembly/Materials 添加新材料(钉接口)3号钉界面。
4. 在主菜单中通过 Assembly/Materials 添加新材料(钢钉)4号梁。
5. 根据本教程主要部分中指定的数据设置所有材料的属性。

注意：如果你想了解更多关于如何编辑材质属性的内容，请观看视频[编辑材质属性](#)。

第三步：为地基土层的开挖创建存在函数列表


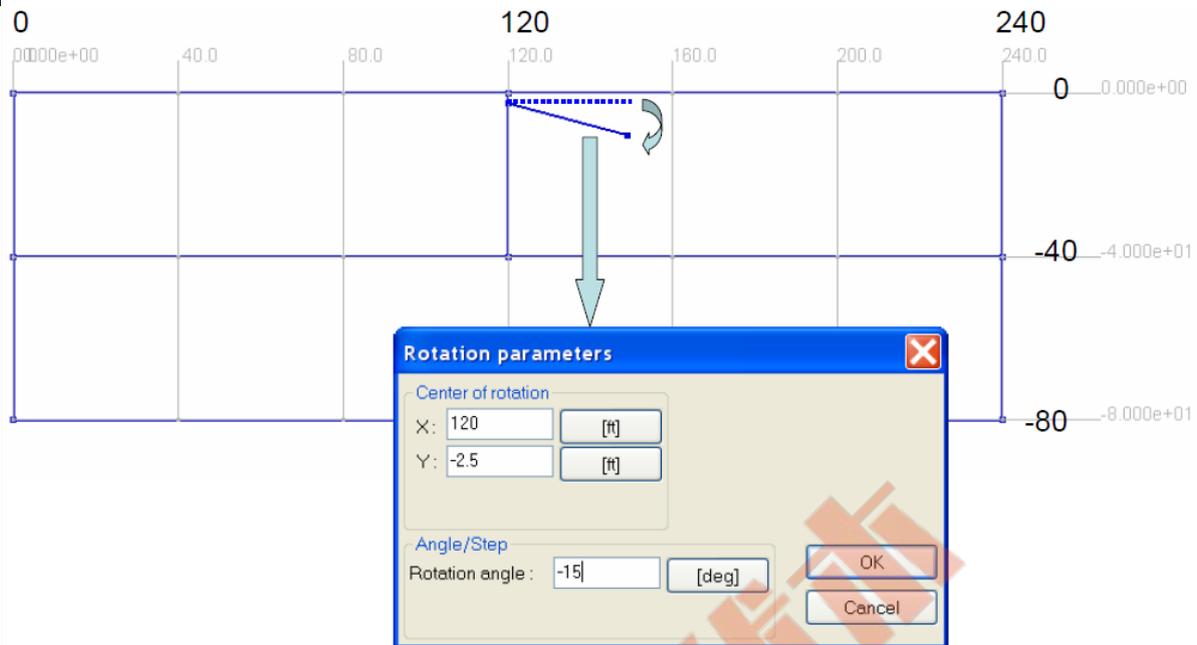
1. 打开存在函数对话框。
2. 添加新函数 1，标签：地基土层。
3. 定义该函数在 $<0.1>$ 时激活，该函数后期会关联到第一层土钉。
4. 点击 **Automatic generation**，设置如上图。

第四步：为土钉和面层部分创建存在函数


Number	Label	Active period 1		Active period 2		Active period 3	
		t1	t2	t1	t2	t1	t2
1	subsoil layer 1	0	1				
2	subsoil layer 2	0	2				
3	subsoil layer 3	0	3				
4	subsoil layer 4	0	4				
5	subsoil layer 5	0	5				
6	subsoil layer 6	0	6				
7	subsoil layer 7	0	7				
8	subsoil layer 8	0	8				
11	nails layer	1	INF				

Template EXF number	11		
Update EXF label	<input checked="" type="checkbox"/>	Label	nails layer
Start 1-st EXF with number	12		
Increment EXF counter by	1		
No of generation steps	7		
		For time-1	For time-2
Time increment in period - 1	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000000	1.000000

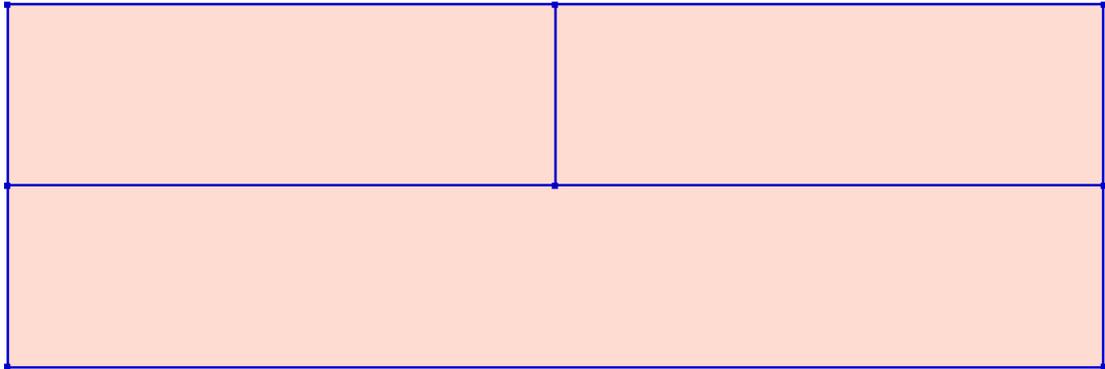
1. 打开存在函数对话框
2. 添加新函数 1，标签：地基土层
3. 定义该函数在 1- ∞ 时激活，该函数后期会关联到第一层土钉
4. 点击 Automatic generation，设置如上图所示。

第五步：绘制 CAD


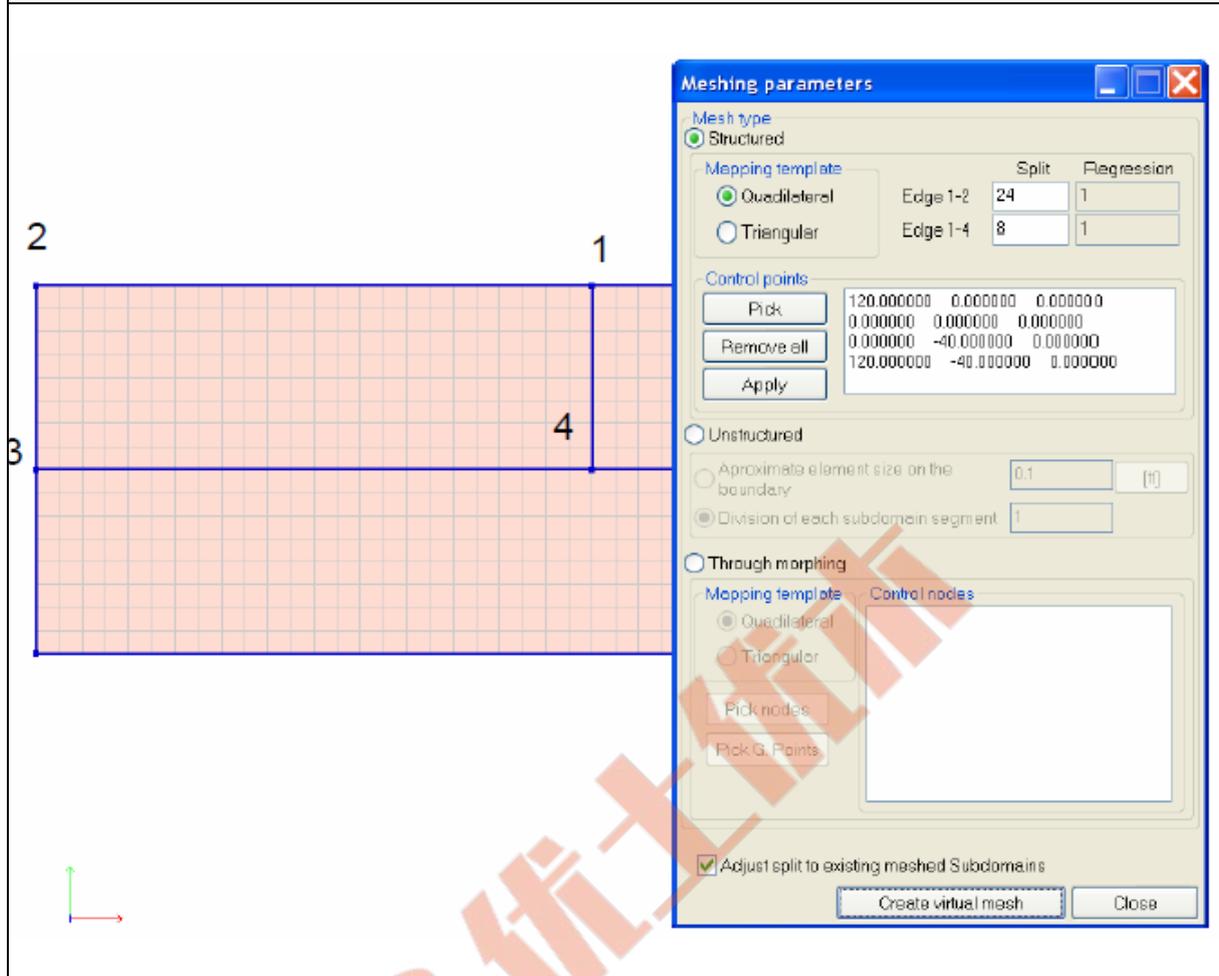
1. 添加 X 坐标 0, 120, 240, Y 坐标 -80, -40, 0。
2. 绘制矩形 240ft*80ft。
3. 绘制线段 (0, -40)、(240, -40) (接受交叉点)。
4. 绘制线段 (120, -40)、(120, 0) (接受交叉点)。
5. 绘制线段 (120, -2.5)、(150, -2.5) (不接受交叉点)。
6. 围绕点 (120, -2.5) 旋转最后一条线段 (Macro model /Objects /Update /Rotate)，这条线段后期会生成第一层土钉。

注意：域轮廓的绘制可以直接用鼠标绘制，也可以在对话框中设置端点的坐标；端点的坐标可以定义为绝对坐标，也可以定义为相对坐标(在本例中，在 X, Y, Z 坐标前放置@字符)。

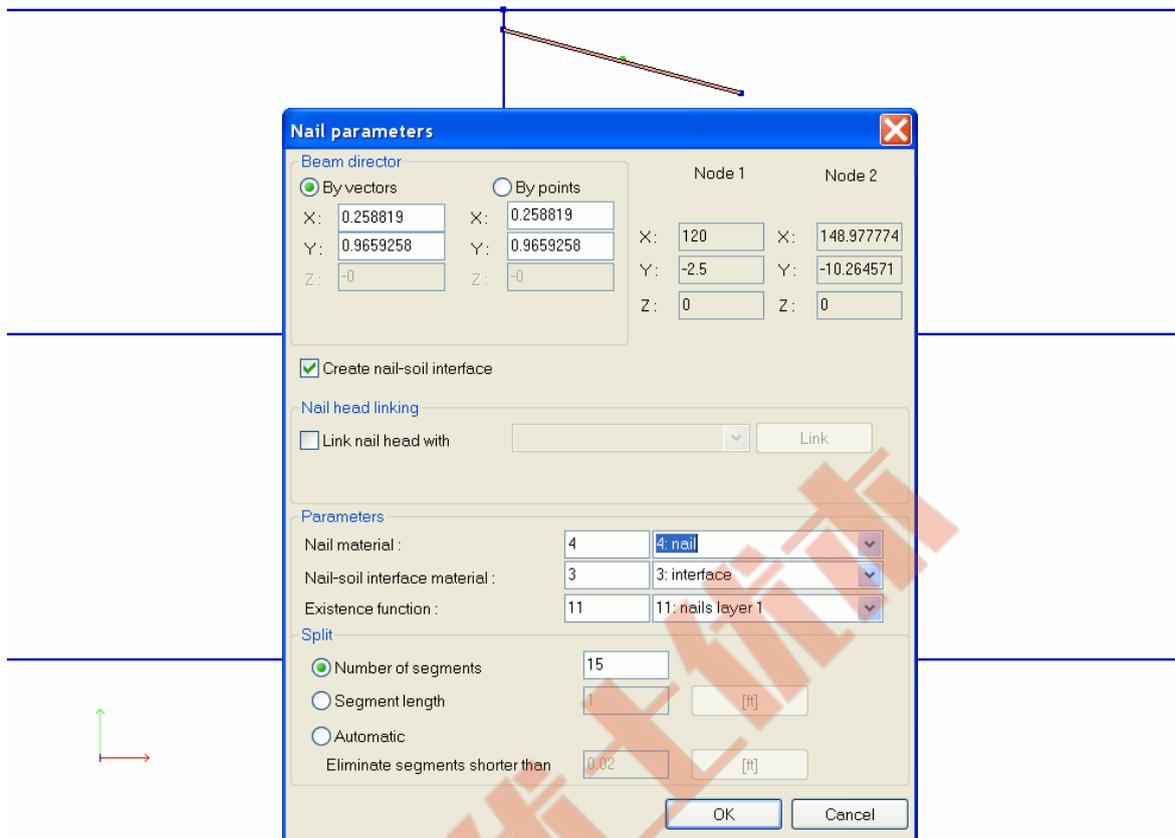
第六步：创建区域（在宏观模型层面）



1. 选取闭合轮廓内的点，Macro model/Subdomain/2D continuum 在轮廓内创建三个二维连续体子域。
2. 使用 Macro model/Subdomain/Update/Parameters 选项对连续体子域应用合适的材料号(1)。
3. 通过选择垂直线段，在对象上通过 Macro model/Subdomain/Beam 方法创建梁子域。
4. 使用 Macro model/Subdomain/Update/Parameters 选项将合适的材料号(2)应用到梁子域。

第七步：为地基土和面层创建虚拟网格（在宏观模型层面）


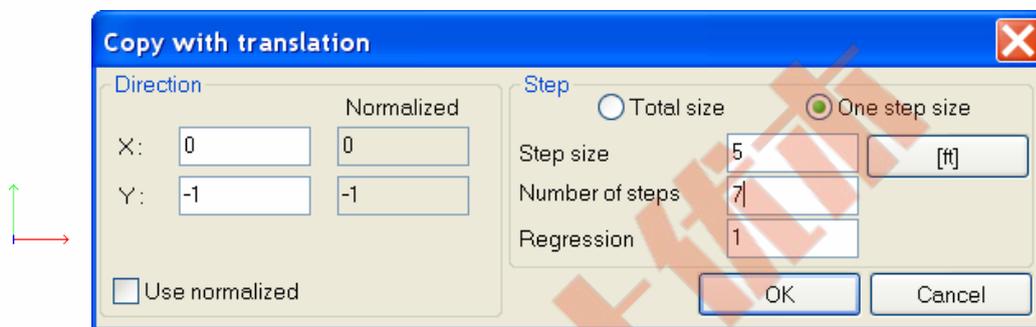
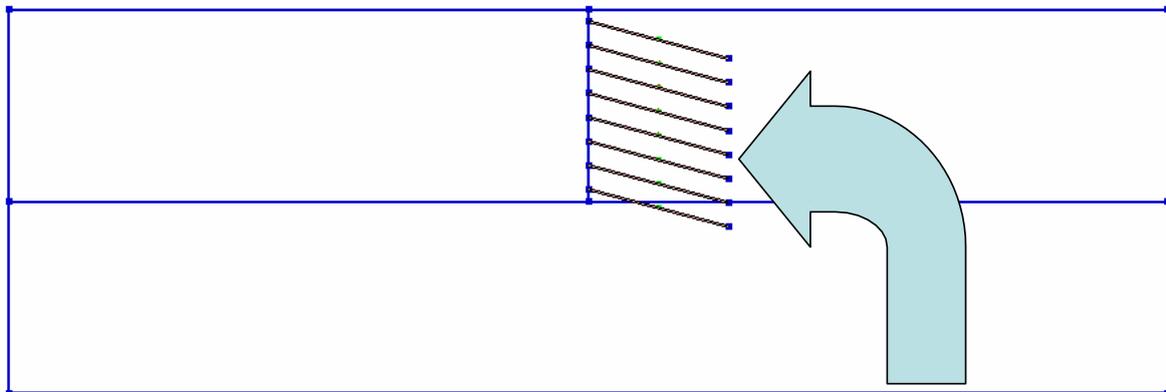
1. 在连续体子域中创建虚拟网格。
2. 沿着 1-2 和 1-4 边界设置单元数量，顶部连续体用 24*8，底部用 48*8
3. 在梁子域中创建虚拟网格。
4. 设置梁子域的单元数量（如果勾选了自适应，不需要设置分割参数，因为它将从相邻的连续体子域继承）。

第八步：创建土钉（在宏观模型层面）


1. 通过 Macro model/Nail/Create/On object(s)选中之前的线段。
2. 通过 Macro model//Nail/Update/Parameters 编辑土钉属性。在对话框中，勾选 Create nail-soil interface，应用材料 4 到土钉内部及材料 3 到土钉表面。假设分段数为 6（为避免力振荡，土钉的网格应与用于地基土的网格相似）。

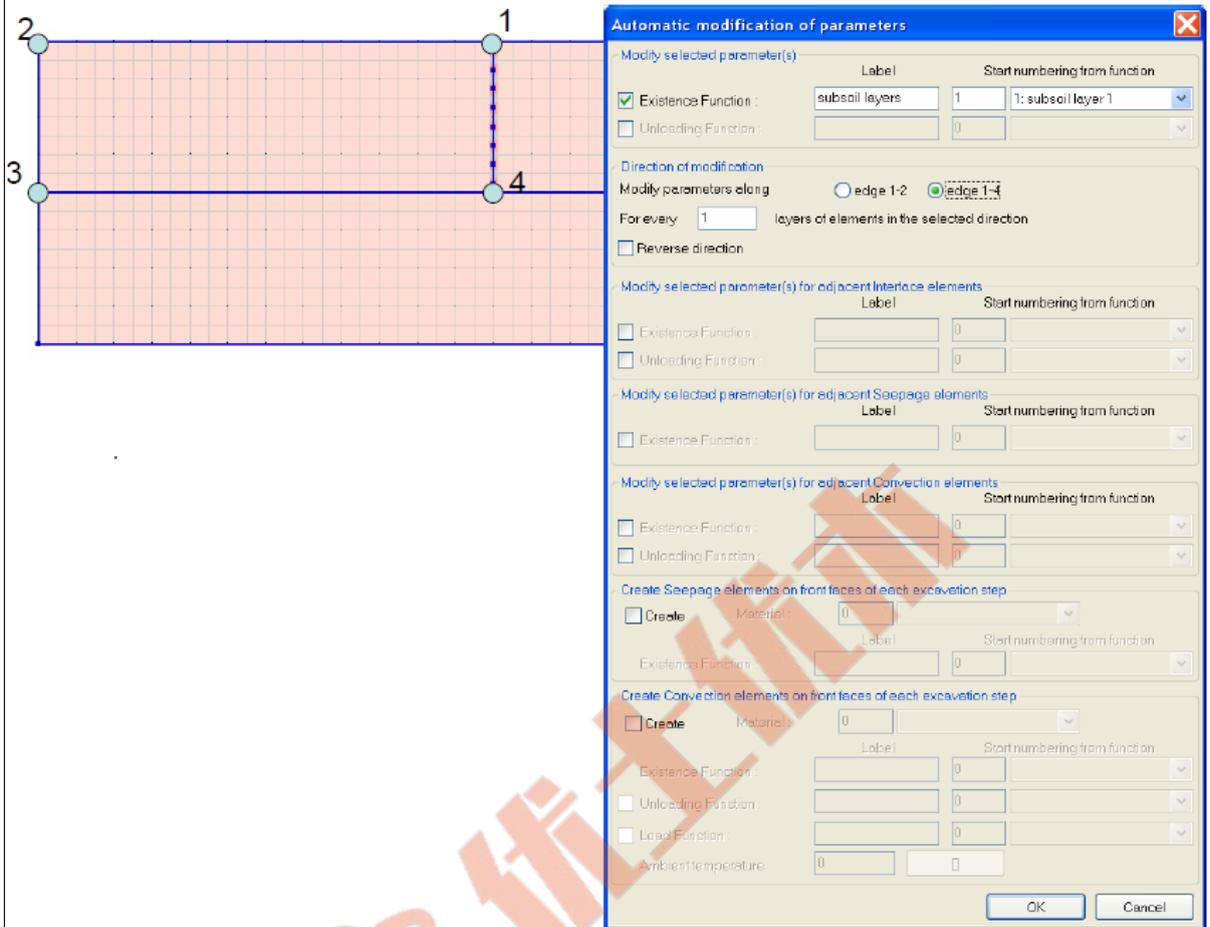
讨论：

- 一旦生成真实网格，必须在有限元模型层面将土钉头与面层连接起来
- z 方向土钉之间的距离在材料数据 Interval between beams 选项中设置

第九步：复制土钉（在宏观模型层面）


1. 选择创建的土钉，通过 Macro model/Nail/Create/Copy with translation 复制 7 次，步长 5ft（不接受与现有图形对象的交点）
2. 通过 Macro model/Nail/Update/Parameters，应用对应的存在函数到每层土钉。

第十步：为开挖土体设置存在函数（在宏观模型层面）

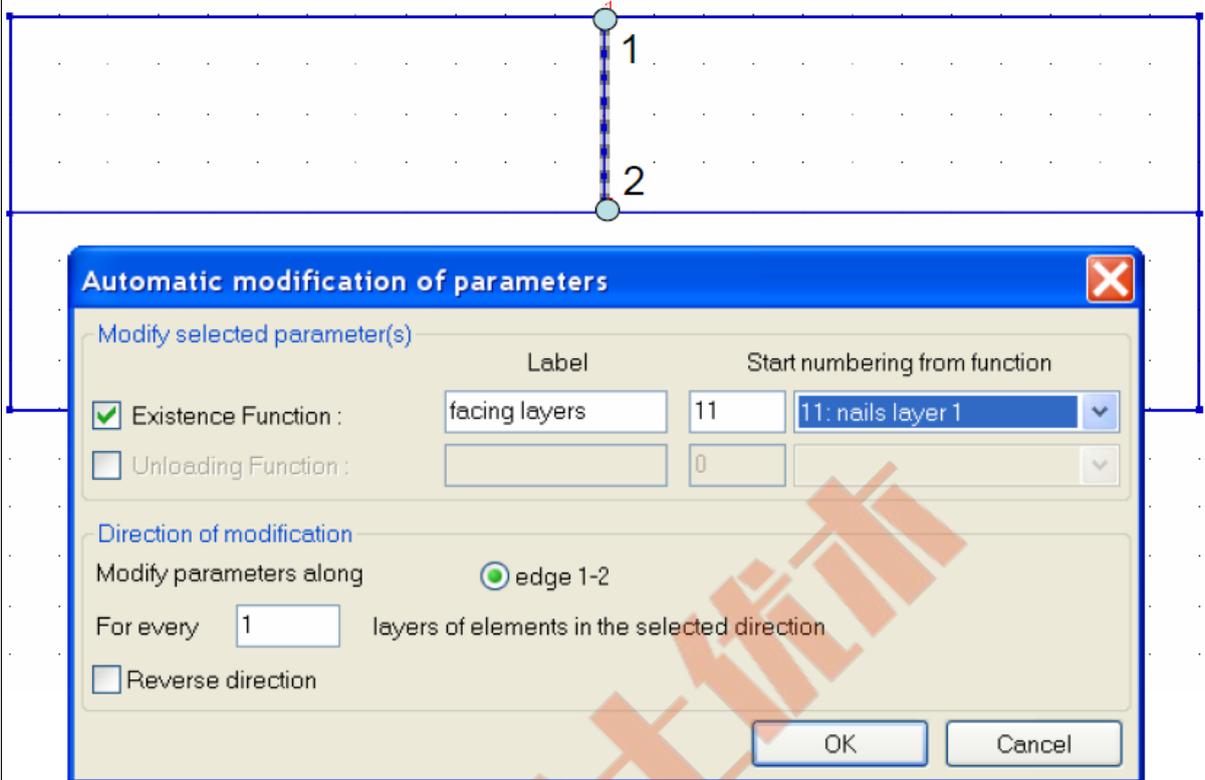


1. 通过 Run method Macro model/Subdomain/Update/Define excavation front，为后续开挖层设置存在函数。
2. 在开挖面对话框中，勾选存在函数，设置标签为地基土层，选择第一个已经定义的存在函数，如下图所示：
3. 上述设置将强制将存在函数 No.1 应用于实际网格中的第一个顶层单元，No.2 应用于第二个等等。

讨论

- 一旦生成真实网格，每个开挖土层的存在函数可以在有限元模型层面上建立。
- 每个开挖土层的存在函数也可以在宏观模型层面上设置，但在这种情况下，我们需要在考虑的区域中创建 8 个子域，而不是 1 个子域。

第十一步：为构造的面层设置存在函数（在宏观模型层面）

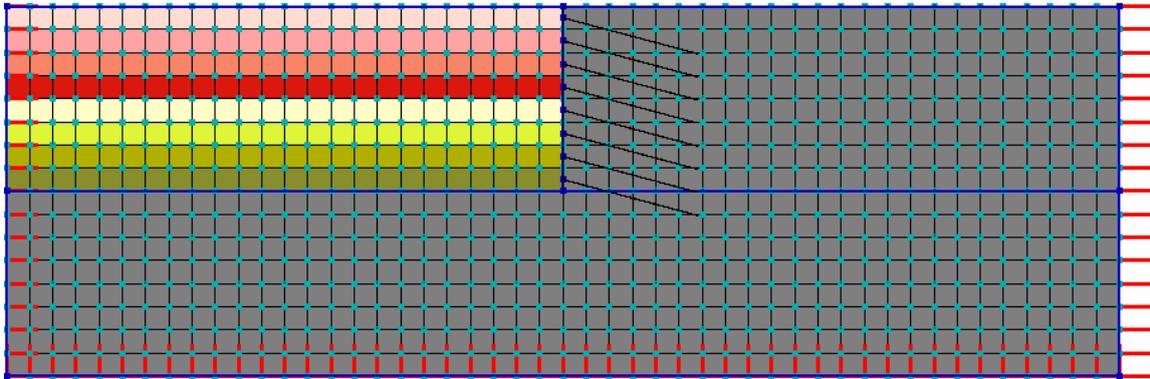


1. 通过 Macro model/Subdomain/Update/Define excavation front，设置待施工后续面层的存在函数
2. 在开挖面对话框中勾选 Existence function，设置土钉层，为编号 11 的土钉选择第一个存在函数，如上图所示。
3. 上述设置将强制将存在函数 No.11 应用于实际网格中的第第一排面层单元（梁）。

评论

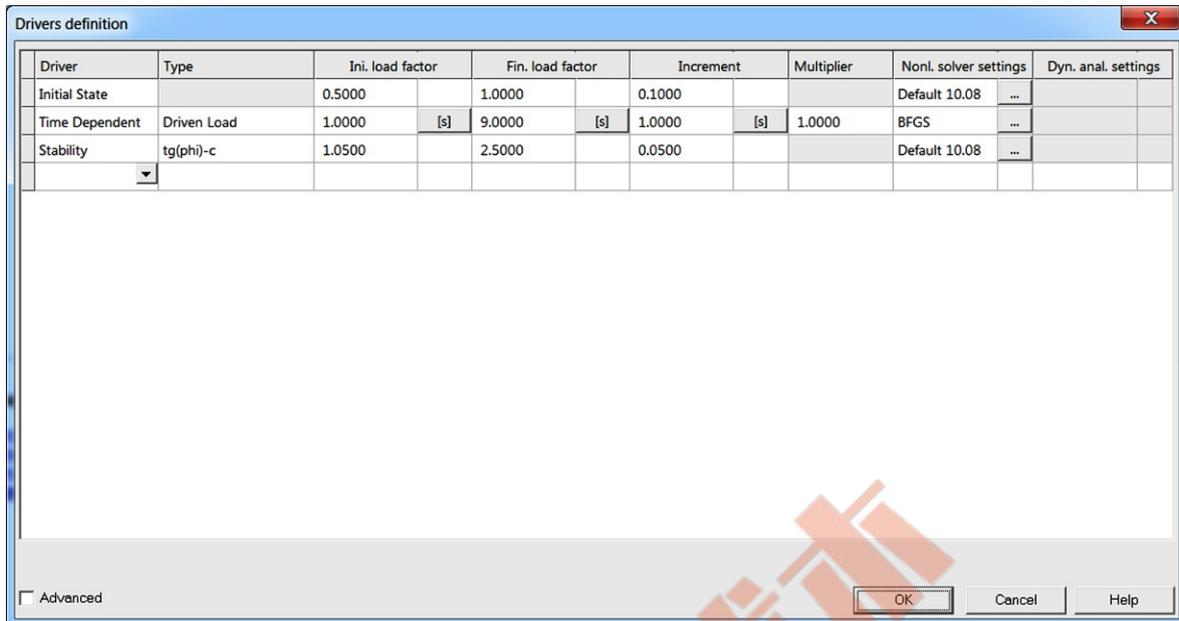
- 一旦生成真实网格，每个构造面层的存在函数可以在有限元模型层面上建立。
- 每个构造面层的存在函数也可以在宏观模型层面上设置，但在这种情况下，我们需要在考虑的区域中创建 8 个子域，而不是 1 个子域。

第十二步：创建真实网格并设置实体边界条件

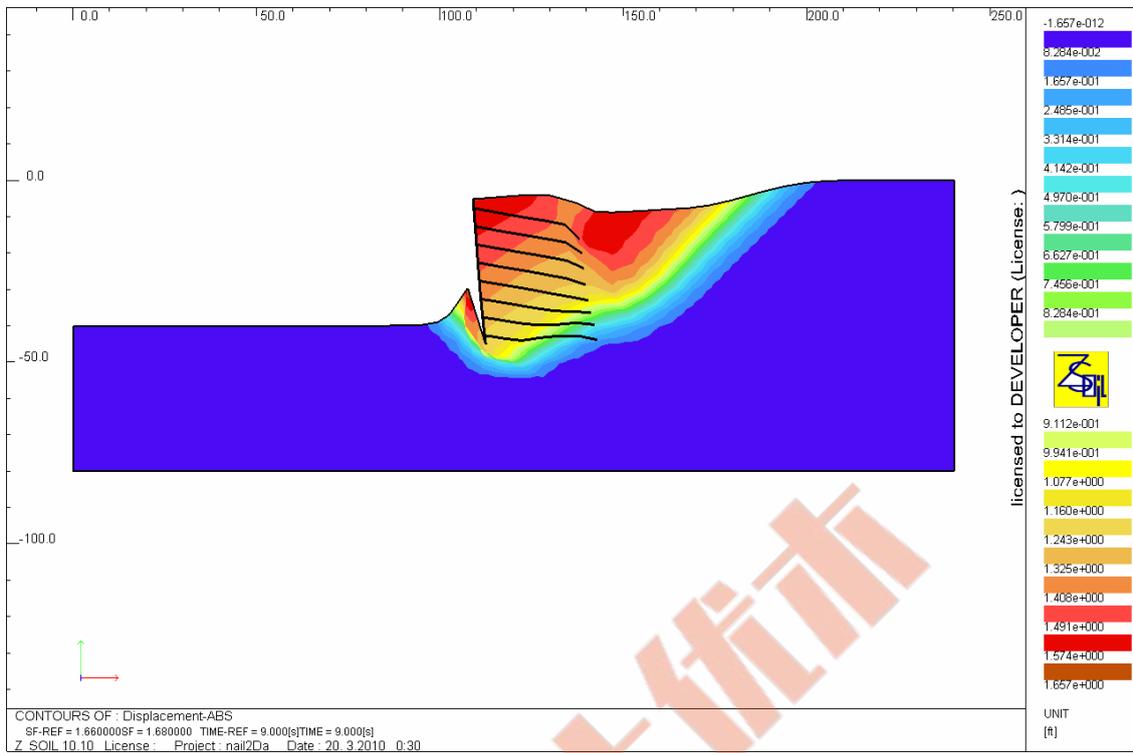


1. 按 CTRL+A 或者 Macro model/Subdomain/Outline/all 选择所有子域，将其转换为真实网格。
2. 切换到有限元模型层面。
3. 通过 FE model/Boundary conditions/Solid BC/Create/On box 生成标准箱型实体边界条件。

第十三步：设置驱动

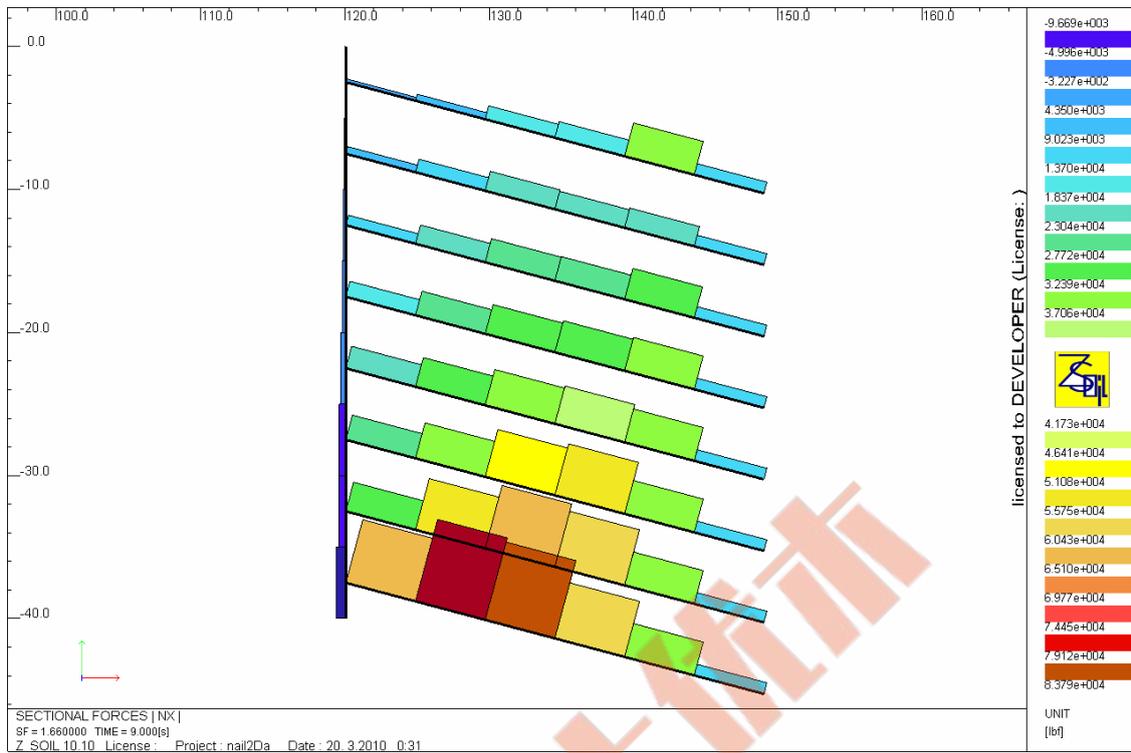


1. 添加初始状态驱动生成初始地应力
2. 添加时间相关/荷载驱动，从 1-9s 执行分阶段施工过程
3. 添加稳定性/ $\tan(\phi)$ -c 驱动， $FS_0=1.05-2.50$ ，步距 0.05

第十四步：结果（破坏模式）


1. 打开后处理器，使用 Graph.option/Time/Select reference time step，设置 reference time step ($t = 9$, $SF = 1.66$)，将增量变形可视化，有助于识别破坏模式。
2. 使用 Maps 绘制增量位移振幅的彩色等值图。
3. 使用 PgUp 或 PgDn 键增加或减少变形构件的尺寸。

第十五步：结果（土钉的力）



1. 打开后处理器
2. 使用 MNT for beams，绘制土钉的受力图
3. 使用选项设置将绘制弯矩切换为绘制轴力
4. 使用 PgUp 或 PgDn 键增加或减少显示的比例



第二章 三维问题

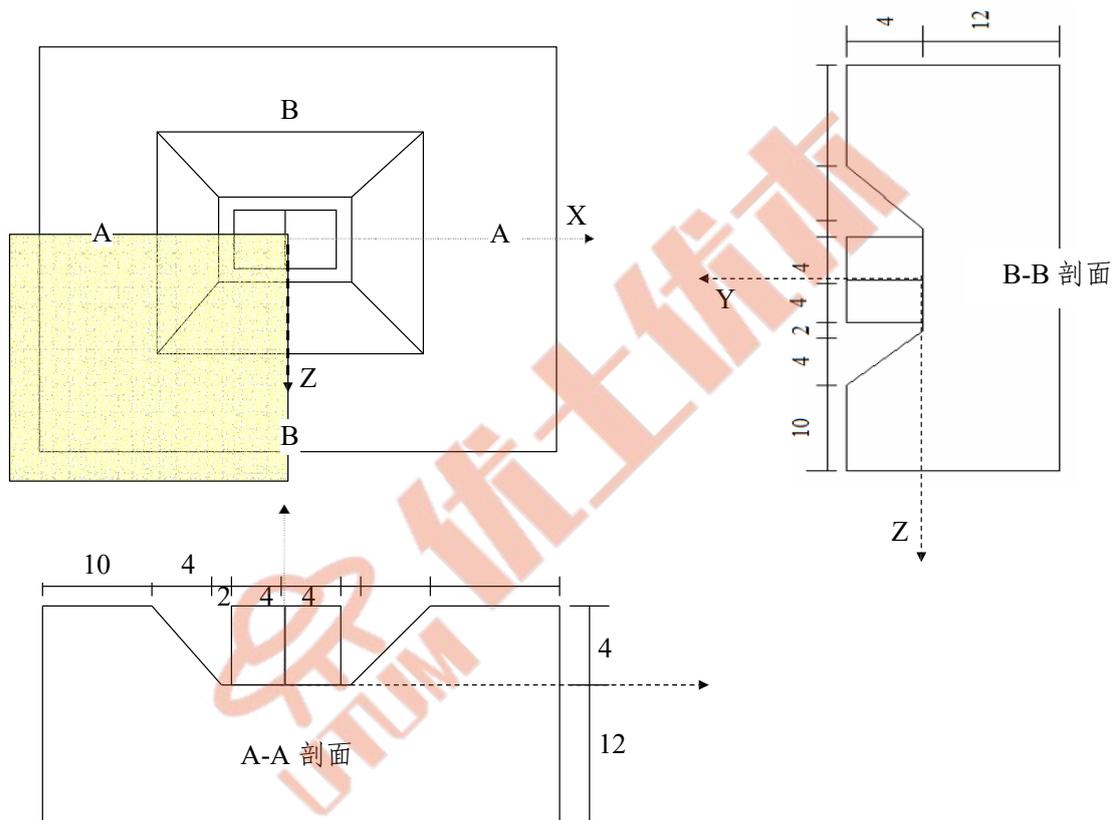
- 2.1 混凝土箱型容器
- 2.2 混凝土坝的排水
- 2.3 加筋土桥台
- 2.4 桩加固的筏板基础



2.1 混凝土箱容器

- 数据文件: tutorials/box-container.INP
- 描述

这个例子涉及一个开挖建模，然后是一个建筑钢筋混凝土外壳容器。模型几何尺寸如下图所示。由于相对于 XY 平面的对称性，所以本次仅

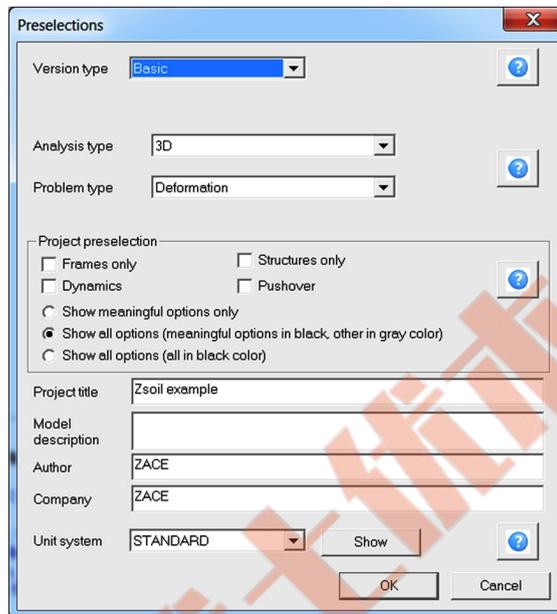


仅对模型的一半作为分析对象。

开挖完成后，先在左腔诱导水压力加载，然后在右腔诱导水压力加载，最后在容器外墙与开挖之间填充土。

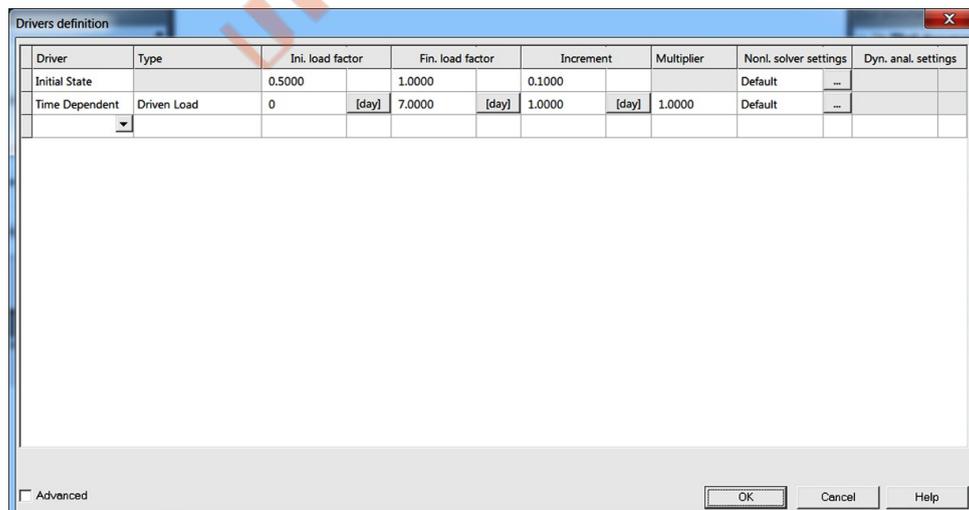
• 项目预选

在项目预选对话框中(在 ZSoil 的主菜单选项 File/NEW 中会自动出现)分析类型选择到 **3D**，并从问题类型栏中选择“变形”。预定义的单元系统用于数据准备和可视化结果可以在菜单控制/单元验证。



• 驱动器

整个计算过程将由两个驱动程序组成，即初始状态和时间相关性/驱动负载。第一个驱动程序将给出 $t = 0$ 时刻的地应力状态，而第二个驱动程序可以跟踪所有的挖掘/施工步骤，包括试加载。

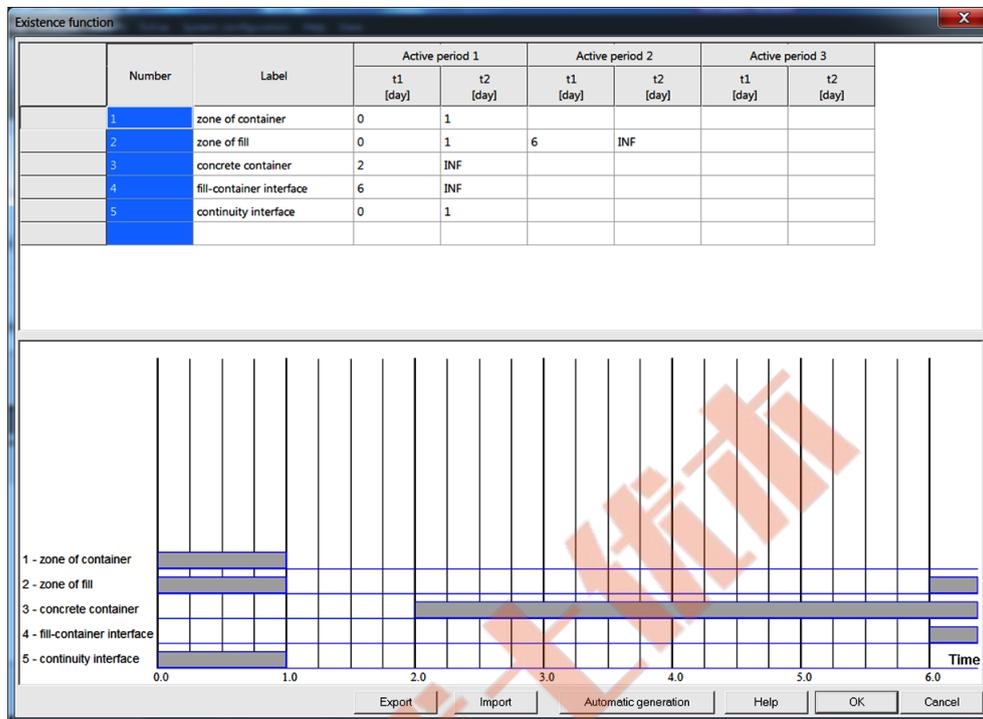


Driver	Type	Ini. load factor	Fin. load factor	Increment	Multiplier	Nonl. solver settings	Dyn. anal. settings
Initial State		0.5000	1.0000	0.1000		Default	...
Time Dependent	Driven Load	0	7.0000	1.0000	1.0000	Default	...

要了解如何设置驱动程序列表，请观看视频设置驱动程序。

• 存在函数

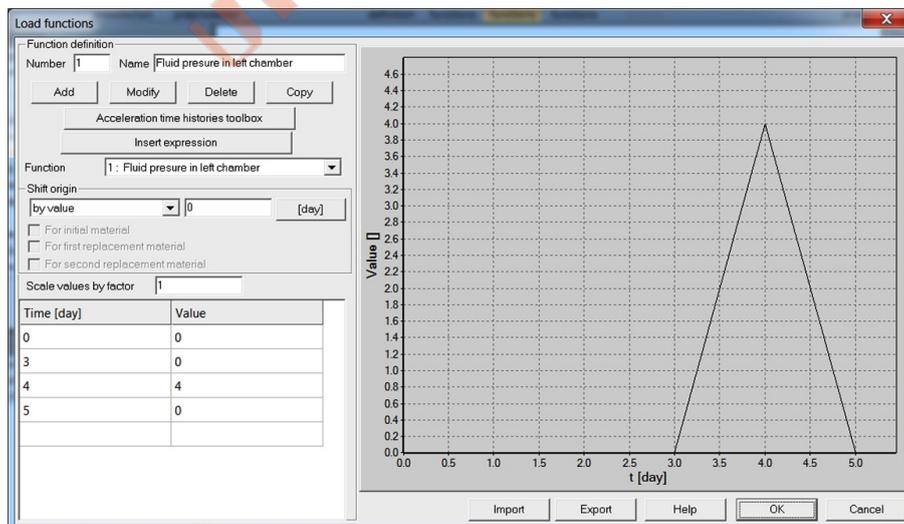
挖掘/建造事件的顺序由下图所示的存在函数控制。所有这些存在函数都是根据前面在问题描述中指定的事件序列定义的。



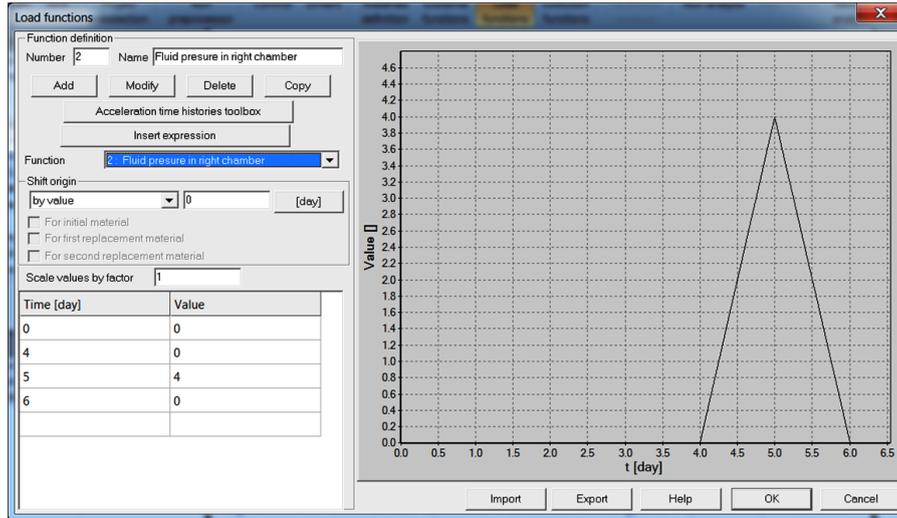
了解如何输入存在函数观看视频[编辑存在函数](#)。

• 荷载时间函数

与试验加载(定义为通过流体头部的压力)相关的荷载时间函数,首先在左腔,然后在右腔,如下图所示。



LTF1(t) 左室压头的演化



LTF1(t) 右室压头的演化

了解如何编辑荷载时间函数，观看视频[编辑荷载时间函数](#)。

• 材料

地基土、混凝土容器、填料、接触界面的材料特性汇总如下表：

材料	模型	数据组	属性	单位	值
1 混凝土	弹性壳	弹性	E	[kN/m ²]	30000000
			ν	-	0.2
		重度	γ	[kN/m ³]	24
2 地基土	莫尔-库仑	弹性	E	[kN/m ²]	60000
			ν	-	0.32
		重度	γ_D	[kN/m ³]	20
			γ^F	[kN/m ³]	10
		非线性	e_0	-	0.0
			ϕ	[°]	20
			ψ	[°]	0
起始状态 K_0	K_{0x}	-	0.7		
	K_{0z}	-	0.7		
3 填充物	莫尔库仑	弹性	E	[kN/m ²]	60000
			ν	-	0.32
		重度	γ_D	[kN/m ³]	20
			γ^F	[kN/m ³]	10
		非线性	e_0	-	0.0
			ϕ	[°]	20
4 界面	接触	非线性	ψ	[°]	0
			C	[kN/m ²]	15
			C	[kN/m ²]	0.0

注意：假设混凝土容器的厚度为 0.2m，在预处理器中定义。

• 回填建模过程

在这个例子中，应用了一个最简单的填充模型。这个过程在这里以单时间步进行建模。在实际应用中，建议在几个步骤中完成，并在新建层中同时施加初始应力。这样我们可以模拟任何回填技艺。为了避免在宏观模型中生成多个填充层，可以将其设置在 FE 模型级别。

• 模型的生成

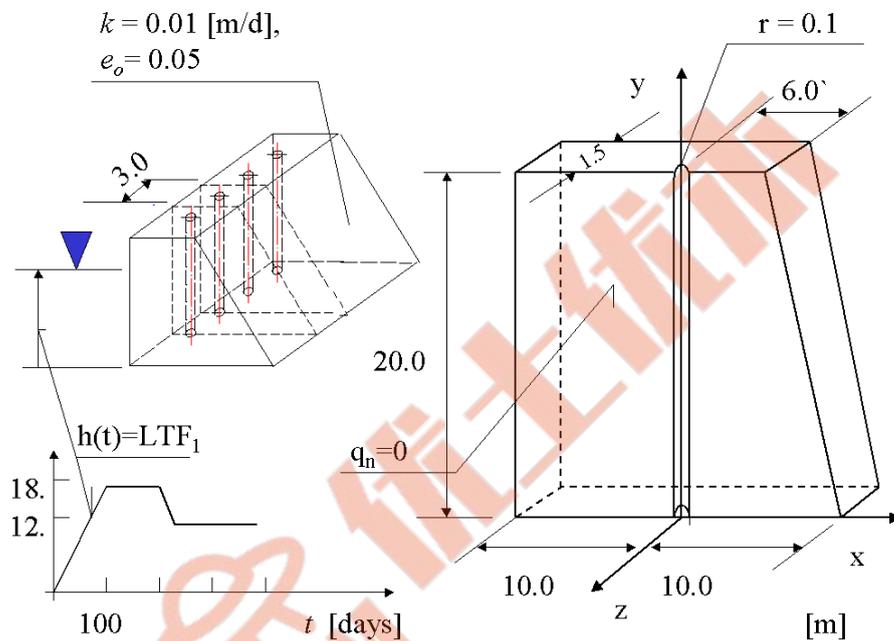
计算模型在以下步骤中建立，其中一些步骤以视频的形式记录下来。

1. 创建一个新项目命名为:box-container.inp 下
2. 编辑存在函数
3. 编辑荷载时间函数
4. 编辑材料
5. 编辑驱动器
6. 创建宏观模型
7. 创建虚拟网格
8. 创建负载
9. 创建真实的网格和边界条件
10. 运行计算
11. 可视化的结果

2.2 排水混凝土坝

- 数据文件: tutorials/drain.INP
- 描述

本教程将考虑混凝土坝的三维瞬态流动分析。大坝由等距垂直孔($r = 0.1\text{m}$)排水。考虑到系统的周期性,以厚度等于排水管间距一半的代表性管段为例,建立了计算模型。上游水位根据假定的负荷时间函数变



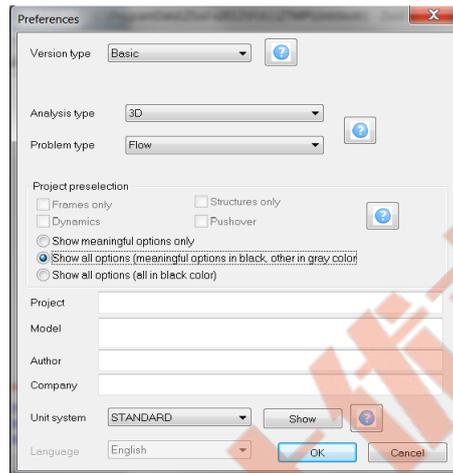
化。工程草图如下图所示。

得出下列结果:

- 压力场(特别是自由表面演化)
- 速度场
- 透过排水及下游面流出的时间历程,以评估系统的效率

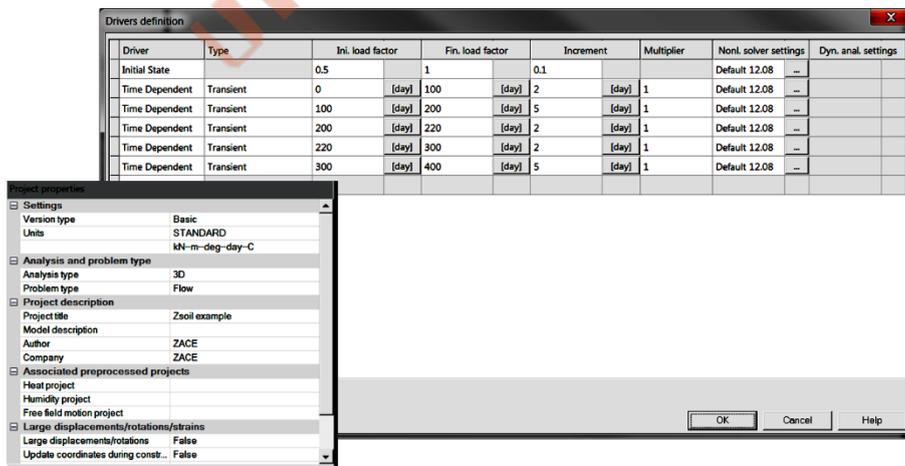
• 项目预选

在项目预选对话框中(在 ZSoil 的主菜单选项 File/NEW 中会自动出现) 分析类型选择 **3D**，并从问题类型列表中选择 Flow 项目。预定义的系统的单位，无论是数据准备和可视化的结果，可以在 menu Control/Units 中确认。



• 驱动器

整个计算过程将由两个驱动程序组成，即初始状态和时间相关/瞬态。拳头驱动程序的初始条件将产生孔隙压力在时间 $t = 0$ (流问题的初始状态相当于稳态解在时间 $t = 0$), 第二个司机需要跟踪的进化压力和速度场由于变压边界条件应用于上游坝面。



学习如何设置驱动器列表，观看视频 [设置驱动器](#)。

• 材料

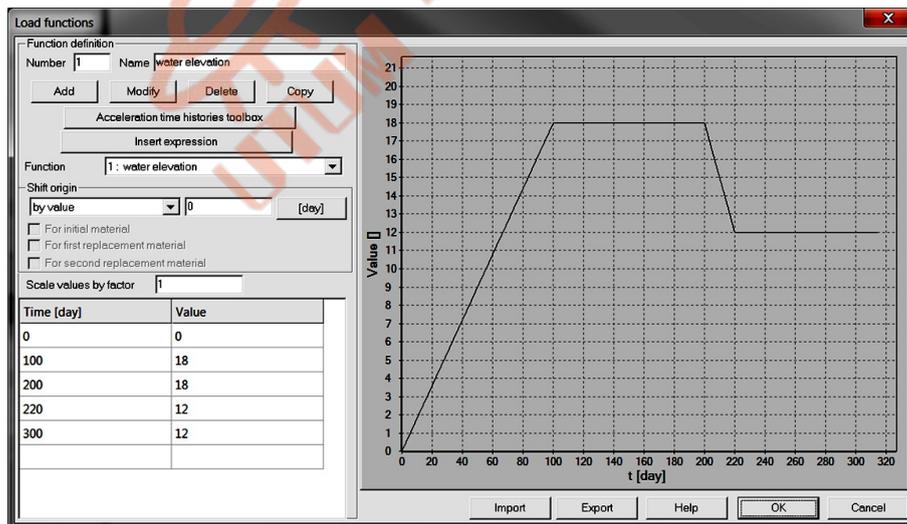
混凝土的材料属性如下表所示：

材料	模型	数据组	属性	单位	值
1 混凝土	弹性	重度	Y_D	[kN/m ³]	0
			γ^F	[kN/m ³]	10
			e_o	-	0.05
		渗流	β^F	[kN/m ³]	10^{38}
			K_x^t	[m/d]	10^{-2}
			K_y^t	[m/d]	10^{-2}
			K_z^t	[m/d]	10^{-2}
			a	[m ⁻¹]	0.5
			S_r	-	0.2

在最初构思的情况下，任何固体材料模型都可以使用，唯一有意义的参数被设置在重度和渗流组。初始孔隙比 e_o 和流体体积模量 β^F 是瞬态分析的重要参数。这里没有指定应用于渗流表面单元的虚拟材料 (2)(自动估计惩罚参数的乘数等于默认值 1.0)。

荷载时间函数

与大坝上游面水位相关的荷载时间函数(定义为通过流体头的压力 BC)如下图所示。



了解如何编辑荷载时间函数，观看视频[编辑荷载时间函数](#)。

• 模型的生成

计算模型在以下步骤中建立，其中一些步骤以视频的形式记录下来。

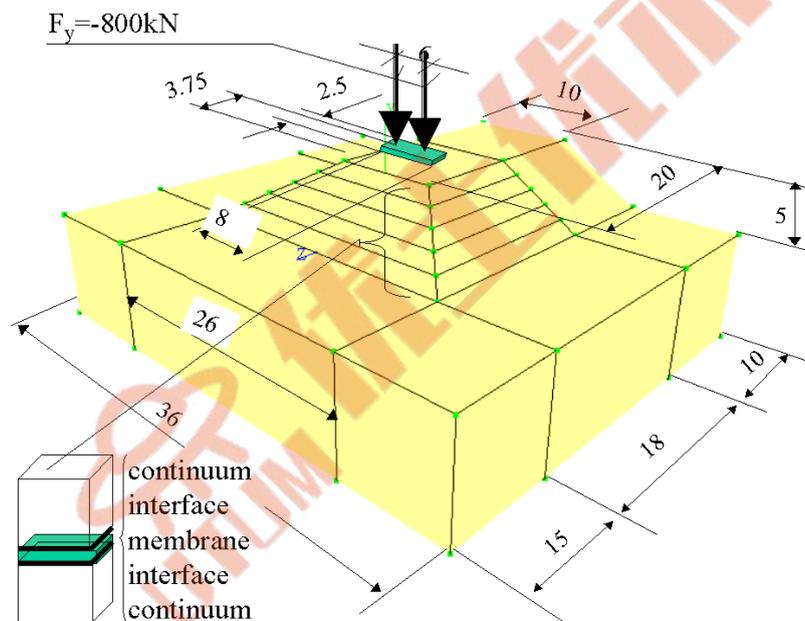
2. 创建一个新项目命名为:box-container.inp
2. 编辑荷载时间函数
3. 编辑材料
4. 创建建筑轴线
5. 创建宏观模型
6. 创建边界条件
7. 创建虚拟/真实的网格
8. 运行计算
9. 可视化的结果



2.3 加筋土桥台

- 数据文件: tutorials/rfslope.INP
- 描述

土工布加固桥台的安全性分析是本教程的目的。采用各向异性薄膜模型，利用薄膜单元对五层土工织物进行建模。采用受柯仑摩擦定律控制的界面接触单元，建立了土工织物与土的界面模型。桥台由主体荷载和施加在桥顶混凝土基础上的两种集中力共同作用。在本教程中，我们将展示如何及时生成模型，以考虑构建阶段的影响。桥台将分六步建造。建造桥台需要五个步骤，在第六个步骤中将增加混凝土板。



问题的工程草图如下图所示：

以下方面是本示例中的兴趣点：

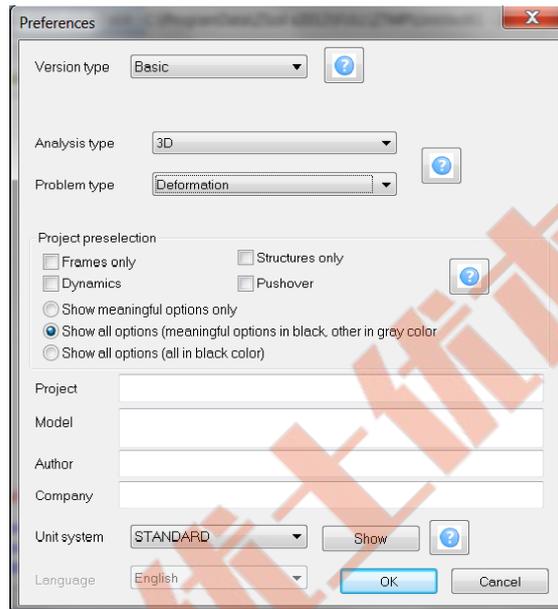
- 整体结构在条形荷载作用下的变形
- 土工格栅膜和界面的应力状态
- 结构整体安全系数

备注：

由于问题的对称性，只会生成一半的模型。

• 项目预选

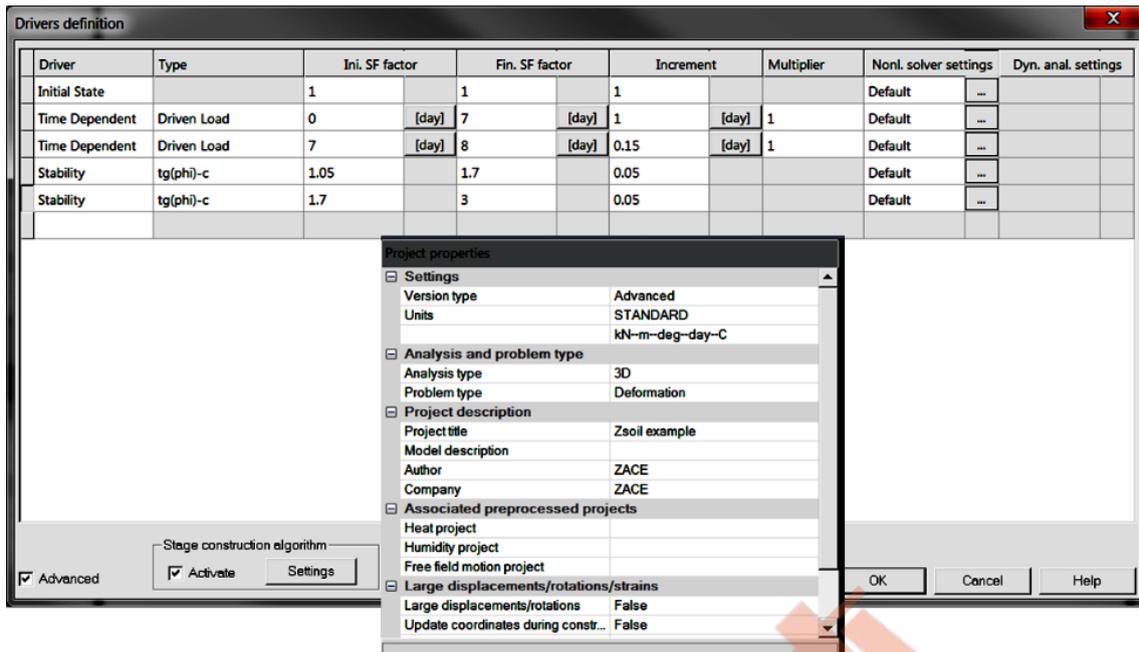
在项目预选对话框中(在 ZSoil 的主菜单选项 File/NEW 中会自动出现)分析类型选择 **3D**，并从问题类型列表中选择 Deformation 项目。预定义的系统单位，无论是数据准备和可视化的结果，可以在 menu Control/Units 中确认。



• 驱动器

整个计算过程将由两个驱动程序组成，即初始状态和时间相关/驱动负载。第一个驱动程序将给出 $t = 0$ 时刻的地应力状态，而第二个驱动程序可以跟踪所有的挖掘/施工步骤，包括试加载。

通过将 **Stage construction algorithm** 选项设置为 ON，可以启用处理构造阶段分析的特殊增量过程。所有施工步骤将按新层自重的 50%、75% 和 100% 3 个增量来解决。此外，在第一次步骤中(通过所有增量)每个新添加的层都表现为不可压缩材料(通过内部设置 $\nu = 0.49999$)。在接下来的时间步中，将使用泊松比的原始值。通过点击下图 **Stage construction algorithm** 旁边的按钮 **setting**，可以设置施工阶段分析的增量处理。对应设置如下图所示：

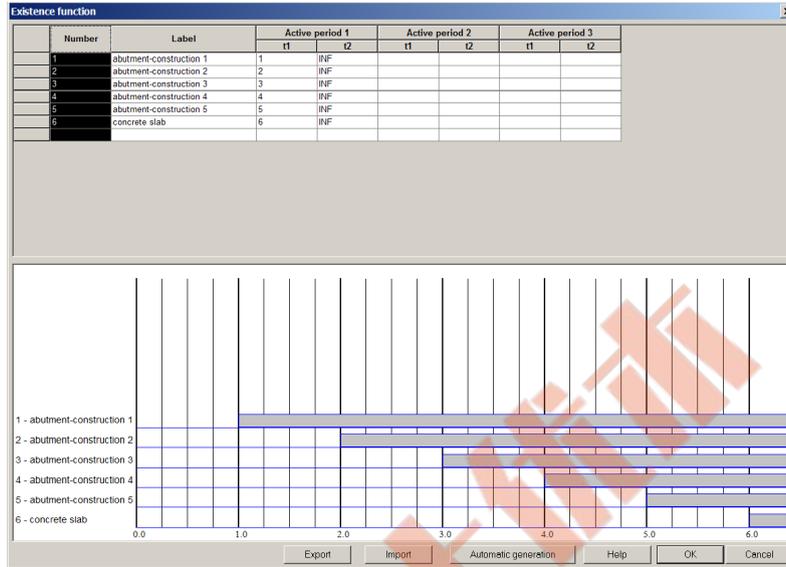


在有限元模型级定义的两个外部节点力的一对外部载荷，按第三驱动定义的 7 个步骤施加。

学习如何设置驱动器列表，观看视频[设置驱动器](#)。

• 存在函数

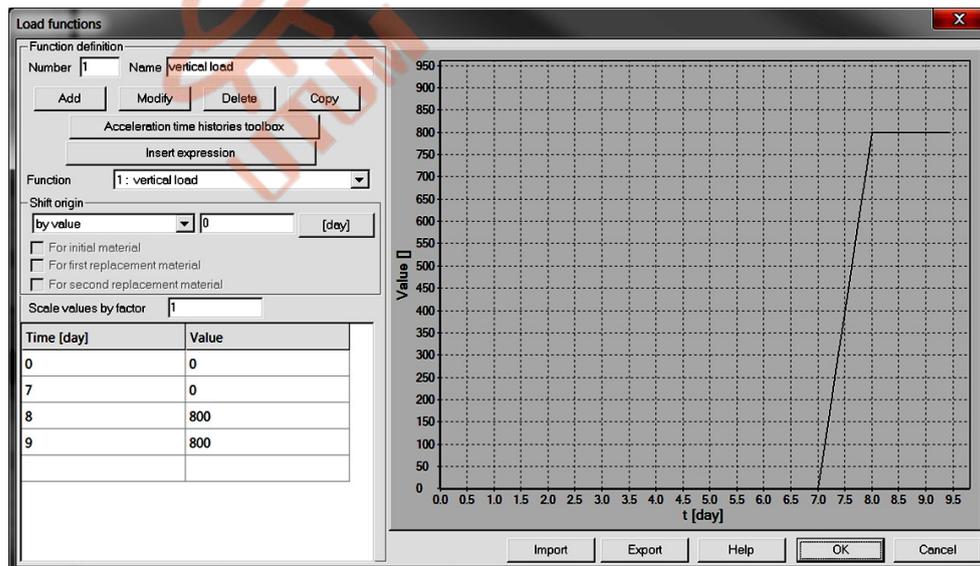
挖掘/建造事件的顺序由下图所示的存在函数控制。所有这些存在函数都是根据前面在问题描述中指定的事件序列定义的。在本教程中，我们将展示如何自动生成存在函数。



如需了解如何自动输入存在函数，请观看视频[编辑存在函数](#)。

• 荷载时间函数

与施加在混凝土板上的垂直集中力相关的荷载时间函数如图所示。



了解如何编辑荷载时间函数，观看视频[编辑荷载时间函数](#)。

• 材料

地基土、桥台土、土工布、接触面和混凝土板的材料特性如下表所示：

材料	模型	数据组	属性	单位	值
1 地基土	莫尔-库仑	弹性	E	[kN/m ²]	80000
			ν	-	0.32
		重度	γ_D	[kN/m ³]	19
			γ^F	[kN/m ³]	10
			e_o	-	0.0
		非线性	φ	[°]	20
			ψ	[°]	0
			C	[kN/m ²]	30
		初始 K_0 状态	K_{ox}^t	-	0.6
			K_{oz}^t	-	0.6
2 土工布	各向异性膜	弹性	K_{xx}	[kN/m]	600
			K_{yy}	-	200
			K_{xy}	-	0
		重度	γ	[kN/m ³]	0.0
		几何结构	Direction	-	0/0/1
		非线性	f_{tx}	[kN/m]	15.0
			f_{ty}	[kN/m]	5.0
			f_{cx}	[kN/m]	0.3
	f_{cy}	[kN/m]	0.1		
3 接触面	接触	Non-linear	φ	[°]	20
			ψ	[°]	0
			C	[kN/m ²]	10.0
4 桥台土	莫尔-库仑	Elastic	E	[kN/m ²]	110000
			ν	-	0.32
		Density	γ_D	[kN/m ³]	18.5
			γ^F	[kN/m ³]	10
			e_o	-	0.0
		Non-linear	φ	[°]	30
ψ	[°]		0		
C	[kN/m ²]		15		
5 混凝土底脚	弹性	Elastic	E	[kN/m ²]	30000000
			ν	-	0.2
		Density	γ_D	[kN/m ³]	24.0
			γ^F	[kN/m ³]	10
			e_o	-	0.0

在最初构思情况下，初始孔隙比和流体比重不起任何作用。要编辑材质属性，请使用“组装/材质”菜单。要了解如何输入材料数据，请观看视频[编辑材料](#)。

• 模型的生成

计算模型在以下步骤中建立，其中一些步骤以视频的形式记录下来。

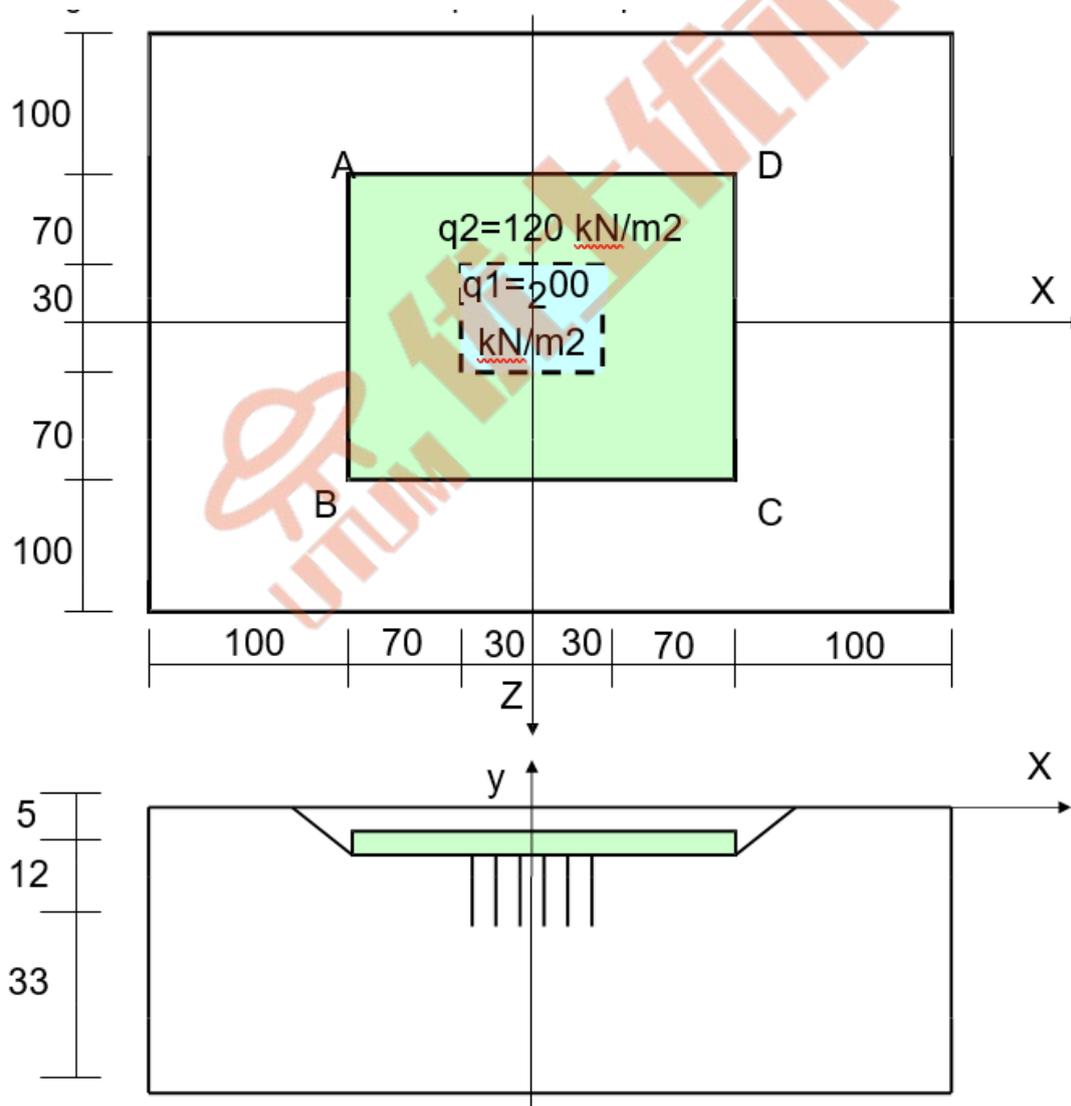
1. 创建一个新项目，命名为:rslope.inp
2. [编辑存在函数](#)
3. [编辑加载时间功能](#)
4. [编辑材料](#)
5. [编辑驱动器](#)
6. [创建建筑轴线](#)
7. [创建宏观模型](#)
8. [创建虚拟网格](#)
9. [创建真实的网格，边界条件和节点负载](#)
10. [运行计算](#)
11. [可视化的结果](#)



2.4 采用桩加固的基础筏

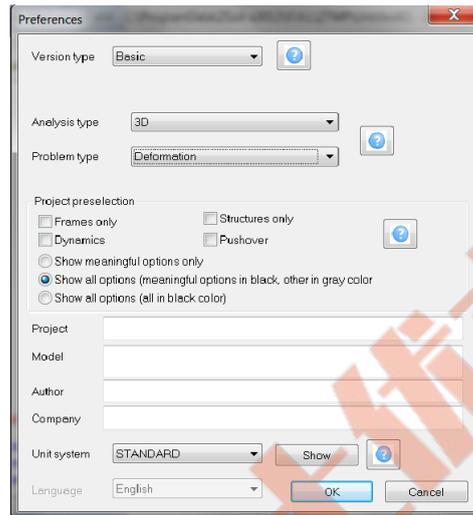
- 数据文件: tutorials/foundation-raft.INP
- 描述

本算例为 1.8m 厚的大型基础筏部分部位采用大量钻孔灌注桩加固的建模。模型的几何形状如下图所示。由于对偶对称，只对模型的四分之一进行分析。筏板中部的平均均布荷载($q_1 = 200\text{kN/m}^2$)高于其余部分($q = 120\text{kN/m}^2$), 因此预计该部分会有较大的差异沉降。为消除该部分的过度沉降, 设计了一组直径 $\phi = 80\text{cm}$ 、长 12m 的钻孔灌注桩, 置于 $6\text{m} \times 6\text{m}$ 的网格中。基础筏放置深度 5 米。



• 项目预选

在项目预选对话框中(在 ZSoil 的主菜单选项 File/NEW 中会自动出现) 分析类型选择 3D，并从问题类型列表中选择 Deformation 项目。预定义的系统的单位，无论是数据准备和可视化的结果，可以在 menu Control/Units 中确认。



整个计算过程将包括三个驱动程序，即初始状态和两个依赖于时间/驱动的负载驱动程序。第一个驱动器将屈服于时间 $t=0$ 的地应力状态，第二个驱动器将允许跟踪所有的挖掘/施工步骤，最后一个驱动器的设计是控制筏的加载。

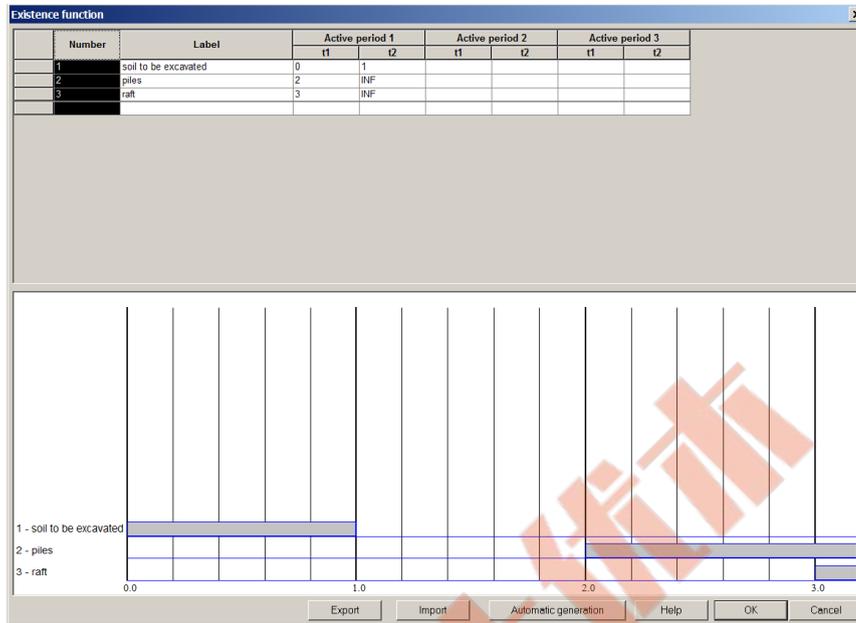
Driver	Type	Ini. load factor	Fin. load factor	Increment	Multiplier	Nonl. solver settings	Dyn. anal. settings
Initial State		1	1	0.1		Default	...
Time Dependent	Driven Load	0	[day] 3	[day] 1	[day] 1	Default	...
Time Dependent	Driven Load	3	[day] 5	[day] 0.5	[day] 1	Default	...

Advanced

学习如何设置驱动器列表，观看视频[设置驱动器](#)。

• 存在函数

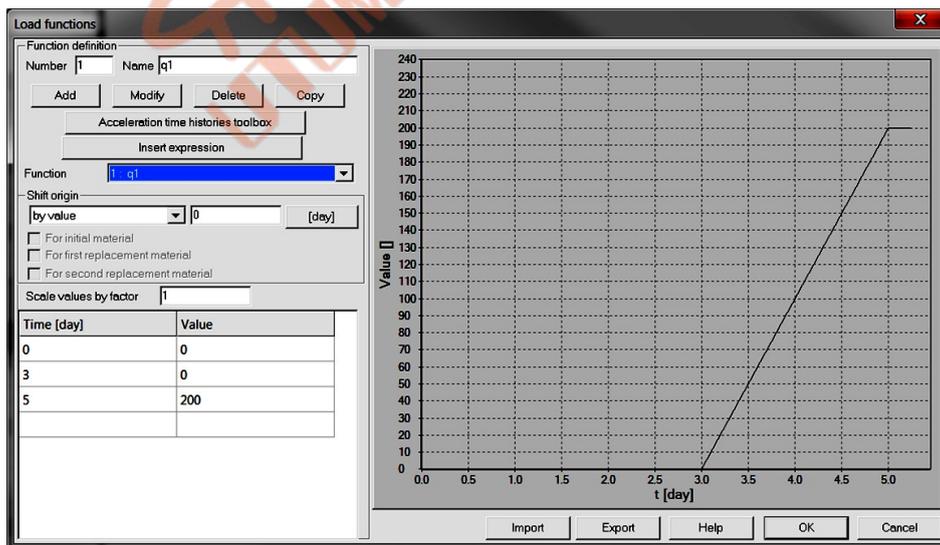
挖掘/建造事件的顺序由下图所示的存在函数控制。所有这些存在函数都是根据前面在问题描述中指定的事件序列定义的。



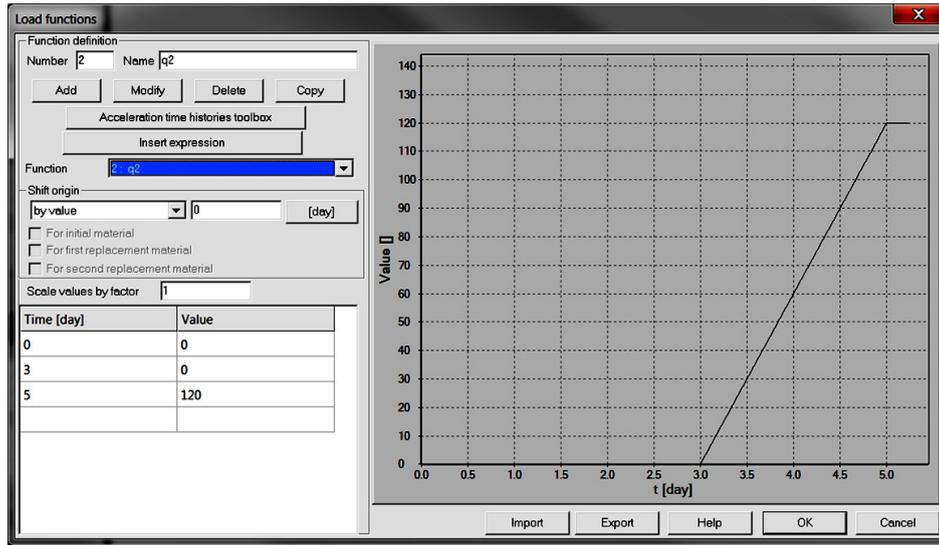
了解如何输入存在函数观看视频编辑存在函数

• 荷载时间函数

在两个区域中与筏板加载(定义为均匀加载)相关的荷载时间函数如下图所示。



LT F1(t)荷载演化 q1



LT F1(t)荷载演化 q2

了解如何编辑荷载时间函数，观看视频[编辑荷载时间函数](#)。

• 材料

地基土、混凝土基础筏板、桩、桩端界面材料特性汇总如下表：

Material	Model	Data group	Properties	Unit	Value
1 地基土	莫尔-库仑	弹性	E	[kN/m ²]	60000
			ν	-	0.32
		重度	γ_D	[kN/m ³]	20
			γ^F	[kN/m ³]	10
			e_o	-	0.0
		非线性	φ	[°]	25
			ψ	[°]	0
			C	[kN/m ²]	15
初始状态 K_0	K_{Ox}	[-]	0.7		
	K_{Oz}	[-]	0.7		
2 筏	弹性壳	弹性	E	[kN/m ²]	30000000
		重度	γ	[kN/m ³]	24
3 桩接触面	桩接触面	非线性	φ	[°]	20.46
			ψ	[°]	0
			C	[kN/m ²]	12
4 桩端界面	桩端界面	非线性	q_t	[kN/m ²]	0.0
			q_c	[kN/m ²]	2850
5 桩	梁	弹性	E	[kN/m ²]	30000000
		重度	γ	[kN/m ³]	0
		几何尺寸	Diameter	[m]	0.8

注意：混凝土容器的厚度假定为 1.8m，并在预处理器中定义。

• 模型的生成

计算模型在以下步骤中建立，其中一些步骤以视频的形式记录下来。

1. 创建一个新项目: foundation-raft.inp
2. 编辑材料
3. 编辑存在函数
4. 编辑荷载时间函数
5. 编辑驱动器
6. 创建建筑轴线
7. 创建宏观模型
8. 创建筏荷载
9. 创建真实的网格和边界条件
10. 用筏连接桩头
11. 运行计算
12. 可视化的结果

索引

三维

分析和驱动, DP: 15, 16, DP: 80

三维分析

梁, TM: 173, TM: 178, TM: 181, TM: 183, TM: 190

连续介质有限元, TM: 103,104

增强假定应变, TM: 113

弹性模型, TM: 41

膜, TM: 208、TM: 211、TM:216

数值积分, TM: 105, TM: 145

壳, TM: 198

桁架, TM: 157, TM: 160

分析

批处理, DP: 623

重启计算, DP: 622

运行计算, DP: 621

运行计算不写*.dat, DP: 636

辅助平面, DP: 129

轴对称

分析与驱动, DP: 15TU: 15, DP: 16, DP: 80

梁(壳), TM: 171, TM: 178, TM: 181, TM: 183, TM: 190

连续介质有限元, TM: 103,104

增强假定应变, TM: 113-115, TM: 117

弹性模型, TM: 43

基础基准, BM: 22, BM: 24

膜, TM: 208、TM: 211、TM: 216

数值积分, TM: 105, TM: 145

桁架和圆形结构: 156, TM: 160, TM: 164

梁铰链

基准, BM: 96, BM: 98, BM:101

梁, TU:23,TM: 170

分析解决方案基准, BM: 66 - 68, BM: 79, 80

轴对称壳基准, BM: 83 - 85

创建/大纲/更新/删除元素,DP: 275

创建/大纲/更新/删除二维子域名, TU: 31, DP: 164

创建/大纲/更新/删除三维子域名, DP: 164

铰链, TM: 188

二维定位, TU: 31, TM: 171

三维定位, TM: 171

钢筋混凝土基准, BM: 71,72, BM: 74

加固集, DP: 620

加固集, DP: 282, DP: 288

子域二维参数, DP: 183

子域三维参数, DP: 183

承载力 DP: 30-32

基础基准, BM: 16

边界条件

湿度, DP: 224, DP: 391

宏观单元湿度, DP: 224

孔隙压力, DP: 217, DP: 392

宏观单元孔隙压力, DP: 217

固相, DP: 379

温度, DP: 221, DP: 386

宏观单元温度, DP: 221

周期性, DP: 399

固结,TU:19

算法, TM: 138

基准分析解决方案, BM: 39

岩土方面;TM: 254

材料模型;TM: 44

数值实现, TM: 98

超固结比, TM: 263

问题陈述, TM: 29

2020.4.24

ZSoil[®]-3D-2PSHASE v.2020

www.utum.cn

快速帮助 数据准备 理论 基准测试

TU-117

027-59764518

utum@utum.cn

构造算法

分析和驱动程序, DP: 16, TM: 283

联系

 宏观模型, TU: 23, TU: 95, TU: 105,
TU:111

二维连续体单元, DP: 301
二维连续体宏观模型

 自动网格生成, DP: 198,199
 网格变形, DP: 200
 半自动网格生成, DP: 194, 195
 子域生成, DP: 163, 164
 虚拟网格, DP: 193-196

连续体三维元素, DP: 307
三维连续体宏观模型

 网格变形, DP: 201
 半自动网格生成, DP: 196, 197
 子域生成, DP: 165-168, DP: 170, DP:
172, DP: 174
 虚拟网格, DP: 196,197

二维对流宏观模型

子域生成, DP: 205

对流三维宏观模型

子域生成, DP: 205

对流单元, DP: 366
对流单元, TM: 130
蠕变

 分析解决方案基准, BM: 46
 标准属性, DP: 525
 膨胀属性, TM: 86, DP: 525

动力学

 增加质量, DP: 417
 相容质量矩阵, DP: 85
 控制参数, TU: 48, DP: 85,
 区域约简方法(DRM), TU:48, DP:
460 驱动器, TU:48
 HHT 组合, DP: 85
 总质量矩阵, DP: 85
 质量滤波, DP: 87
 Newmark 方案, DP: 85
 瑞利阻尼, DP: 85

地震输入, DP: 618

弹性

 常数, DP: 7
 材料属性, DP: 518

以为弹塑性

模型, TM: 227, DP: 594

演化函数, DP: 614
挖掘/阶段建设

 算法, TM: 283
 存在函数, TM: 283
 显示预处理步骤, TU: 31, TU: 95,
TU: 105, TU: 111

卸载功能, TM: 283

卸载功能基准, BM: 37

存在函数 TM: 283, DP: 608
有限元模型预处理

 复制元素/节点的常用方法, DP: 260
 删除元素/节点的常用方法, DP: 260
 移动元素/节点的常用方法, DP: 260
 描述元素/节点的常用方法, DP: 260
 旋转元素/节点的常用方法, DP: 260

有限单元

 选择策略, DP: 95, DP: 97
 压力振荡稳定, DP:97
 容积锁定, DP: 96

渗流

 分析, DP: 15, 16, TU: 28, DP: 50,
TU:101
 基准, BM: 57
 流体头边界条件, TU: 28, TU:101
 通量边界条件, DP: 51, DP: 227
 初始条件, DP: 51
 初始状态驱动, DP: 50, DP: 53,
TU:101
 材料数据, TU: 28, TM: 44-46, DP:
50, TU: 101, DP: 521
 压力边界条件, TU: 28, DP: 51, DP:
217
 稳态驱动, TU: 28, DP: 50, DP: 54
 时间相关驱动, DP: 54
 瞬态驱动, DP: 50, DP: 55

2020.4.24

 ZSoil[®]-3D-2PSHASE v.2020

www.utum.cn

快速帮助 数据准备 理论 基准测试

TU-118

027-59764518

utum@utum.cn

流动单元

液体, DP: 425

热, DP: 428

湿度, DP: 429

宏观流动模型

液体, DP: 227

热, DP: 230

湿度, DP: 233

重力, DP: 616

体载分量, DP: 616

方向, DP: 616

热

分析, DP: 15, 16, TU: 38, DP: 56

解析解基准, BM: 61

流动边界条件, TM: 36, DP: 57, DP: 230

初始条件, TM: 36, TU: 38, DP: 57, 58

初始状态驱动, TU: 38, DP: 56, DP: 58

材料性能, TM: 36, TU: 38, DP: 532

数字实现, TM: 100

问题陈述, TM: 36

稳态驱动, DP: 56, DP: 59

温度边界条件, TM: 36, DP: 57, DP: 221

热应变, TU: 38, DP: 81

时间相关驱动, DP: 56, DP: 59

瞬态驱动, TU: 38, DP: 56, DP: 60

铰链

梁单元, TM: 217, DP: 281, DP: 597

壳单元, TM: 219, DP: 375, DP: 600

湿度

分析, DP: 15, 16, 61

流动边界条件, TM: 38, DP: 62, DP: 233

湿度边界条件, TM: 38, DP: 62, DP: 224

湿应变, DP: 61, DP: 81

初始条件, TM: 38, DP: 62, 63

初始状态驱动, DP: 61, DP: 63

材料属性, TM: 38, DP: 61, DP: 534

问题陈述, TM: 38

稳态驱动, DP: 64

时间相关驱动, DP: 61, DP: 64

瞬态驱动, DP: 65

无限单元, TM: 120, DP: 334

解析解基准, BM: 52

初始条件

位移, DP: 454

湿度, DP: 438

孔压 DP: 441, DP: 431

固体速度, DP: 454

温度, DP: 435

初始状态

算法, TM: 133

 静止土压力(K_0), TM: 263, TM: 265

岩土工程方面, TM: 262

初始状态 K_0

材料属性, DP: 529

二维界面

材料数据组, TM: 230, TM: 241, TM: 246, TM: 251, 252

材质型号, TM: 230, TM: 241, TM: 246, TM: 251, 252

二维界面宏观模型

子域生成, DP: 211

三维界面

材料数据组, TM: 230, TM: 241, TM: 246, TM: 251, 252

材质型号, TM: 230, TM: 241, TM: 246, TM: 251, 252

三维界面宏观模型

子域生成, DP: 211

界面单元, TM: 230, TM: 241, TM: 246, TM: 251, 252, DP: 342

大变形界面单元, DP: 356

运动约束, DP: 462

大变形

分析和驱动程序, DP: 16

线性方程求解, DP: 90

天际线, DP: 90

稀疏, DP: 90

荷载时间函数, DP: 610

2020.4.24

 ZSoil[®]-3D-2PSHASE v.2020

www.utum.cn

快速帮助 数据准备 理论 基准测试

TU-119

027-59764518

utum@utum.cn

加载

体, DP: 404
 在梁单元上, DP: 415
 在单元表面, DP: 408
 在节点上, DP: 406
 在子域边界上, DP: 248

宏观模型

二维网格映射, DP: 156
 钻孔, DP: 471
 挤出方向, DP: 159
 流体流量, DP: 227
 热流量, DP: 230
 湿度, BC, DP: 224
 湿度通量, DP: 233
 土钉, TU: 78, DP: 241
 对象, DP: 146
 桩, TU: 111, DP: 236
 点, DP: 144
 点负载, DP: 256
 压力 BC, DP: 217
 子域, DP: 160
 子域参数, DP: 182
 表面负载, DP: 248
 温度 BC, DP: 221
 虚拟到真实的网格转换, DP: 201

宏观建模对象

弧度, DP: 149
 圆, DP: 150
 常用方法, DP: 147
 删除方法, DP: 155
 DXF 导入, DP: 154
 线, DP: 148
 线(S)在边缘(S), DP: 150
 大纲方法, DP: 155
 点, DP: 148
 乘飞机分离, DP: 154
 表面交叉, DP: 151, DP: 202
 表面上 Q4 骨架, DP: 151
 表面上 T3 骨架, DP: 151
 更新方法, DP: 156

ZSOIL 主菜单

2020.4.24

ZSoil®-3D-2PSHASE v.2020

www.utum.cn

分析选项, DP: 621
 装配选项, DP: 100
 控制选项, DP: 13, 14
 控制:分析和驱动, DP: 16
 额外, DP: 636
 文件选项, DP: 11
 帮助, DP: 638
 后处理, DP: 624
 系统配置, DP: III, DP: 637
 工具栏, DP: 10

材料

蠕变属性组, TM: 79, DP: 525
 数据组, DP: 518
 数据库, DP: 480
 弹性属性组, DP: 518
 流动属性组, TM: 44, DP: 521
 处理, DP: 478
 热属性组, DP: 532
 湿度性能组, DP: 534
 初始 K_0 性能组, DP: 529
 局部稳定性能组, DP: 535
 模型, TM: 39, DP: 480
 特性随空间变化, DP: 602
 特性随时间变化, DP: 602
 瑞利阻尼参数组, DP: 536
 单位重量属性组, DP: 519

轴对称壳单元材料

线性弹性模型, DP: 493, DP: 497
 非线性(层状)模型, DP: 493, DP: 497

横梁材料, DP: 482

光纤型号, TM: 227, 228
 线性弹性模型, TU: 23, DP: 483, DP: 487
 非线性(分层)模型, DP: 483, DP: 488, DP: 490

接触单元材料 DP: 499

摩擦接触模型, DP: 500

连续体单元材料, TM: 39, DP: 517

老化混凝土模型, TM: 90, DP: 538
 致密化模型, DP: 561
 DRUCKER-PRAGER 模型, TU: 15, TM: 51, DP: 546
 HOEK-BROWN 模型, DP: 566

快速帮助 数据准备 理论 基准测试

TU-120

- HOEK-BROWN 模型(2002 版), TM: 77
 HOEK-BROWN M-W 模型, TM: 66, DP: 547
 HS -小型号, TM: 76, DP: 556
 线弹性模型, TM: 40, DP: 537, DP: 543
 改进的 Cam Clay 模型, TM: 72, DP: 543
 莫尔-库仑(M-W)模型, TM: 62, DP: 549
 莫尔-库仑模型, TU: 11, TU: 19, TM: 50, DP: 554
 混凝土塑性损伤, TM: 78, DP: 551, TM: 91, DP: 570
 Rankine(M-W) 模型, DP: 553
 连续体单元结构材料, DP: 574
 固定锚点界面元件粘接接触模型材料, DP: 515
 固定锚固区界面材料, DP: 514
 对流热单元对流模型材料, DP: 574
 热辐射单元辐射模型材料, DP: 575
 湿度对流元素对流模型材料, DP: 576
 无限元线弹性模型材料, DP: 577
 薄膜单元材料, TM: 213, DP: 578
 各向异性弹塑性模型, TM: 213, DP: 583
 纤维弹塑性模型, TM: 213, DP: 579
 各向同性弹塑性模型, TM: 213, DP: 583
 平面应力弹性模型, TM: 213, DP: 582
 平面应力 HOEK-BROWN 模型, TM 213, DP 582
 平面应力 HUBER-MISES 模型, TM 213, DP 582
 平面应力朗肯模型, TM: 213, DP: 582
 土钉界面单元材料, TU: 78, DP: 511
 粘接接触模型, DP: 512
 桩界面单元材料, TU: 111, DP: 504
 摩擦接触模型, DP: 505, DP: 509
 桩端界面单元材料, TU: 111, DP: 508
 渗水单元材料, DP: 585
 壳单元材料, TM: 198, DP: 587
- 老化混凝土模型, TM: 198
 纤维模型, TM: 198
 非线性(分层)模型, TM: 198, DP: 589 - 591
 正交各向异性弹性模型, DP: 593, 594
- 二维膜**
 厚度, TM: 215
- 二维膜宏观模型**
 子域生成, DP: 164
- 三维膜宏观模型**
 子域生成, TU: 105, DP: 180
- 膜**, TU: 105, TM: 208, DP: 328
 加筋土基准, BM: 93
- 网结, DP: 467
 节点链路, DP: 464
 节点, DP: 268
 非线性求解器, DP: 83
 覆盖网格生成, DP: 138
- 平面应变**
 分析和驱动, DP: 15, 16, DP: 80
 梁, TM: 171, TM: 178, TM: 181, TM: 183, TM: 189
 盒形介质基准, BM: 9
 连续有限元单元, TM: 103, 104
 增强假定应变, TM: 113, TM: 117
 弹性模型, TM: 42
 基础基准, BM: 17
 膜, TM: 208、TM: 211、TM: 216
 数值积分, TM: 105, TM: 145
 桁架, TM: 156, TM: 160
- 后处理**
 结构单元围护结构, DP: 630
 我怎么 ... DP: 626
 使用宏, DP: 628
 偏好, DP: 143
- 预处理**
 有限元模型, DP: 102, DP: 259
 主菜单, DP: 103
 用户界面, DP: 102

2020.4.24

ZSoil®-3D-2PSHASE v.2020

www.utum.cn

[快速帮助](#) [数据准备](#) [理论](#) [基准测试](#)

TU-121

027-59764518

utum@utum.cn

预处理器

建筑线路, DP: 127
 复制旋转选择的对象, DP: 124
 对称复制, DP: 124
 通过翻译复制选定对象, DP: 123
 网格, DP: 128
 导入几何模型, DP: 107
 移动选定对象, DP: 122
 旋转选定对象, DP: 123
 选择有限元, DP: 119
 选择节点, DP: 120
 显示距离, DP: 136
 显示节点坐标, DP: 136
 显示矢量, DP: 136
 显示连续体元素的体积, DP: 136
 快速选择, DP: 128

预处理器菜单

组装, DP: 110
 画, DP: 125
 边缘/面选择, DP: 114
 编辑, DP: 121
 文件, DP: 106
 常用工具, DP: 138
 全局选择工具, DP: 117
 网格, DP: 133
 覆盖网格, DP: 136
 参数, DP: 124
 设置, DP: 141
 显示施工/挖掘步骤, DP: 140
 工具, DP: 135
 撤销, DP: 111
 视窗, DP: 112
 窗口, DP: 107

预处理器工具栏

二维网格加密, DP: 134
 三维网格加密, DP: 135
 选择边, DP: 116
 选择面, DP: 115

问题陈述, TM: 27

热, TM: 36
 湿度, TM: 38
 单相, TM: 28

两相, TM: 29

弹塑性分析

控制参数, DP: 87
 结果, DP: 625

弹塑性分析控制节点, DP: 469

重新启动

控制, DP: 83

结果

内容, DP: 98
 梁单元, DP: 99
 连续单元, TM: 189, DP: 99
 壳/膜元件, DP: 99, TM: 207
 节点固体加速度, DP: 100
 节点固体速度, DP: 100
 节点残差, DP: 100
 标准节点结果, DP: 100
 存储频率, DP: 83

渗流二维宏观模型

子域生成, DP: 202

渗流三维宏观模型

子域生成, TU: 101, DP: 202

渗流要素, DP: 360
壳 1L

厚度, TU: 95, TU: 111, TM: 194

壳 1L 宏观模型

挤出, TU: 95, TU: 111
 子域生成, DP: 176-179
 虚拟网格, TU: 95, TU: 111, DP: 197

壳单元, TM: 191, DP: 314

基准, BM: 87 - 91

带有一层节点的壳单元, TU: 95, TU: 111, DP: 321

壳铰链

基准, BM: 107, BM: 110, BM: 113

单相

分析, DP: 15、16、DP: 21
 驱动载荷驱动, TU: 15、DP: 28
 有效应力分, DP: 21

- 初始状态驱动, DP: 24
- 数值实现, TM: 97
- 问题陈述, TM: 28
- 稳定驱动, TU: 11, TU: 105
- 时间相关驱动, DP: 28
- 总应力分析, DP: 21, DP: 27, DP: 36
- 稳定性, TU: 11, DP: 33**
 - 算法, TM: 135
 - 分析, DP: 35, 36
 - 驱动器, TU: 11, DP: 33-36
 - 局部材料设置, DP: 34, DP: 535
 - 坡基准, BM: 25
- 应力**
 - 强制, DP: 449, DP: 457
 - 热, DP: 56 应力
- 应力**
 - 符号法则, DP: 3
- 结构**
 - 梁, TM: 171
 - 表面方向, TM: 225
 - 局部基底, TM: 226
 - 膜, TM: 216
 - 抵消, TM: 223
 - 壳, TM: 191
 - 桁架, TM: 155
- 子域**
 - 开挖前沿, DP: 185
 - 表面项目子域, DP: 202
- 膨胀**
 - 分析解基准, BM: 47
 - 材料属性, TM: 86, DP: 525
- 肌腱**
 - 在连续体/壳体, DP: 339
- 桁架二维宏观模型**
 - 子域生成, DP: 164
- 桁架三维宏观模型**
 - 子域生成, DP: 164
- 桁架单元, TM: 156, DP: 291**
 - 预应力基准, BM: 35
- 两相**
 - 分析, DP: 15, 16, 37
 - 盒形介质基准, BM: 11, BM: 13
 - 固结驱动, DP: 44
 - 驱动负载+稳态流驱动器, DP: 42
 - 驱动负载+瞬态流量驱动器, DP: 43
 - 基础基准, BM: 23
 - 初始状态驱动, DP: 40
 - 数值实现, TM: 98
 - 问题陈述, TM: 29
 - 边坡稳定基准, BM: 33
 - 稳定驱动, DP: 46, 47
 - 时间相关驱动, DP: 42
 - 不排水驱动, BM: 19, DP: 20, DP: 22, TM: 33, DP: 37 38, DP: 67, DP: 522, 523
- 单位重量,**
 - 定义, DP: 6
 - 单相问题, DP: 21, DP: 27
 - 在两相问题中, DP: 47
 - 材料属性, DP: 519
- 单位, DP: 91**
 - 基本, DP: 7, DP: 93
 - 化合物, DP: 94
 - 转换, DP: 92
 - 设置基本单位, DP: 91
- 粘性阻尼器二维宏观模型**
 - 子域生成, DP: 208
- 粘性阻尼器三维宏观模型**
 - 子域生成, DP: 208
- 粘性阻尼器, DP: 371, DP: 586**
 - 警告, DP: 142