

# Liakopoulos 砂柱排水试验模拟验证

## 1. 案例说明

本案例模拟的是著名的 Liakopoulos 砂柱排水试验。该试验采用高为 1m、直径为 0.1m 的砂柱，砂柱底部设透水石，侧面采用圆筒隔水。试验在室温条件下进行，试验开始之前，首先从砂柱顶端注入稳态水流，直至砂柱底端自由排水为止，以确保整个砂柱处于完全饱水状态。试验开始时，试样顶端停止供水。此后，受重力作用，砂柱中的孔隙水逐渐从试样底端排出，砂柱同时发生沉降变形。

本案例中，Liakopoulos 试验可以简化为平面问题，砂柱模型的尺寸及网格示意图如图 1-1 所示。

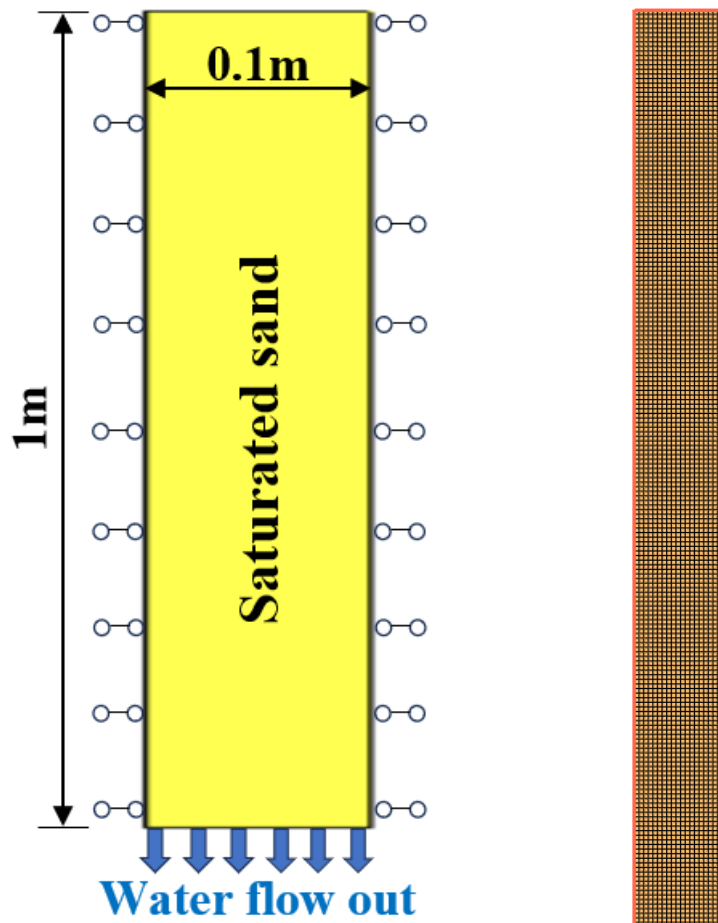



图 1-1 模型尺寸及网格示意图

## 2.FssiCAS 图形界面操作——前处理

### 2.1 新建工程文件

用户首先在任何路径新建一个文件夹，自定义文件名，比如命名为 24-1028-SZ-AL；用户点击图标，即可启动 FssiCAS 软件。在 FssiCAS 软件中，用户点击 File—New，即可新建一个项目，操作如图 2-1 所示。

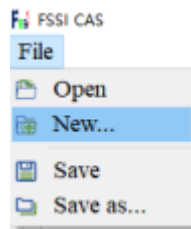


图 2-1 在 FssiCAS 新建项目示意图

### 2.2 导入网格及背景线

用户点击在前处理界面上 Model 树状菜单栏中的 Load Mesh，在弹出 Choose Gid mesh File 窗口中，选择从 Gid 软件中导出的网格文件，双击或点击打开按钮，可导入几何模型的网格，如图 2-2 所示。在弹出的 Load Mesh 窗口中设置固体节点数和流体单元阶次，在本案例中固体单元和流体单元均采用四节点四边形网格，因此，土体部分固体节点数设置为 4，流体节点阶次设置为 1，点击 OK，如图 2-3 所示。

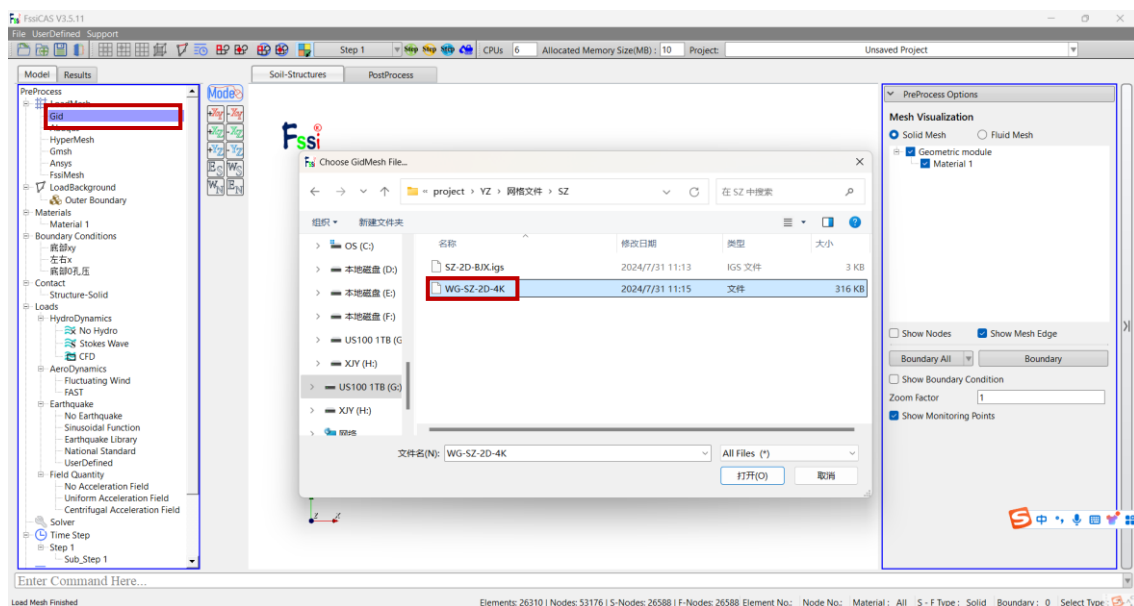


图 2-2 导入 Gid 软件输出的网格文件

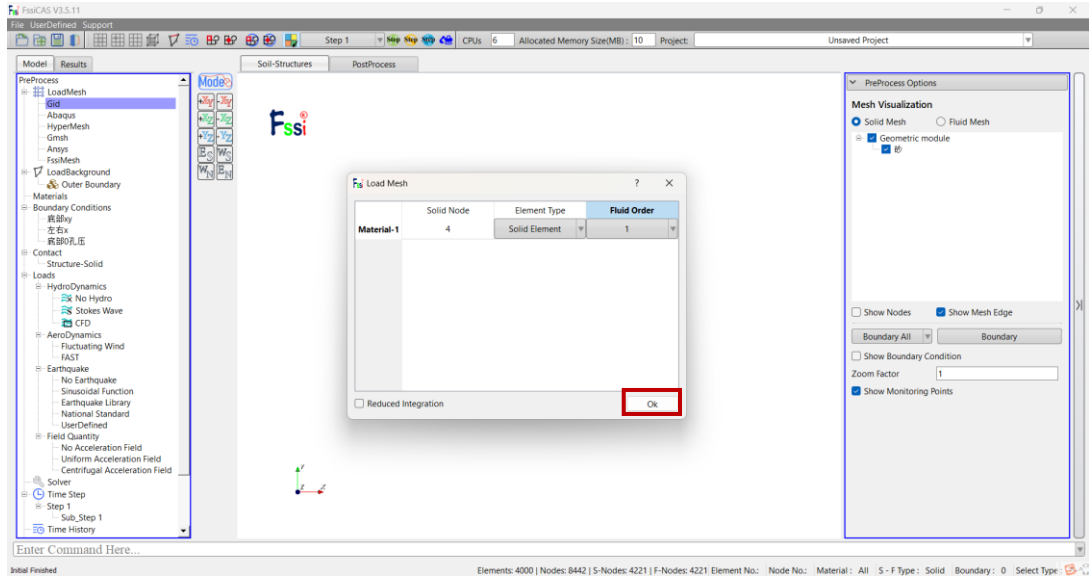


图 2-3 设置固体节点数和流体节点阶次

点击 Preprocess—Load Background—Outer Boundary，在弹出的文件选择对话框中选择 \*.iges 背景线文件，双击或点击打开按钮，如图 2-4 所示。

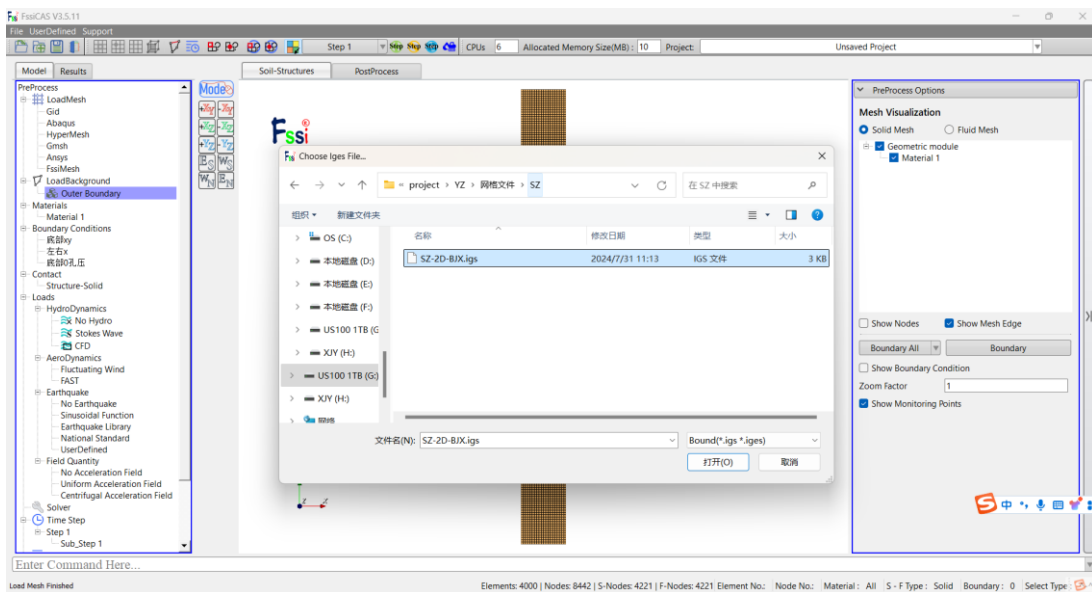


图 2-4 加载外背景线 (Outer Boundary)的步骤示意图

## 2.3 添加位移边界条件

本案例需要将边界条件设置为：左右两侧 X 方向位移固定、底部 XY 方向位移固定。

点击顶部边界栏  按钮，进入边界选择模式，如图 2-5 所示。


点击顶部边界栏  按钮，进入背景线选择模式，如图 2-6 所示。

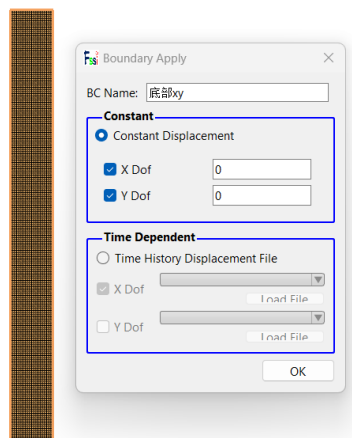


图 2-5 进入边界选择模式

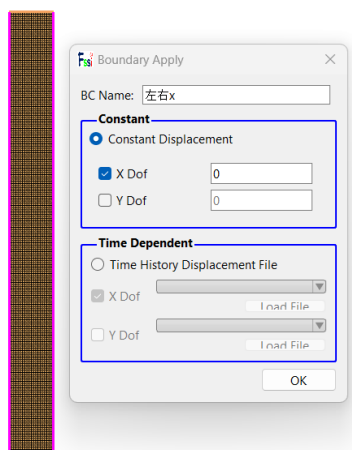


图 2-6 进入背景线选择模式

通过点击键盘 ‘R’ 键，进入边界选择模式，当单击边界线被选择线变亮时，点击鼠标右键，在显示边界条件下拉菜单中选择 Displacement—Add，在弹出的窗口中勾选 Constant Displacement 相应的 Dof 并点击 OK。操作流程如图 2-7 所示。



(a) 底部 XY 方向位移固定



(b) 两侧 X 方向位移固定

图 2-7 添加位移边界条件

## 2.4 添加水动力边界条件

本案例顶部设置相应深度的静水水位水动力边界条件，如图 2-8 所示。按上节的方法进入背景线选择模式后，选中需要添加边界条件的背景线，本案例为砂柱的顶端，被选择线显示高亮，然后右击选择 Hydrodynamic，点击 Apply 按钮，具体操作如图 2-8 所示。

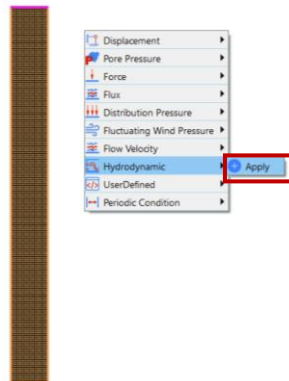


图 2-8 添加水动力边界条件

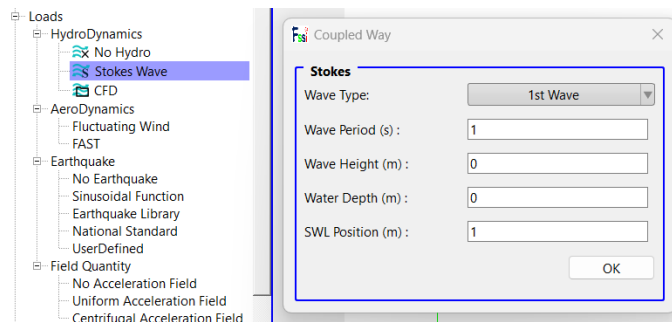


图 2-9 波的参数信息设置界面

此外，砂柱砂柱底部为自由排水边界，所以要在底部设置 0 孔压边界。按上述的方法进入背景线选择模式后，选中底部的背景线，被选择线显示高亮，然后右击选择 Pore Pressure，点击 Apply 按钮，在 Constant 框中输入 0，具体操作如图 2-10 所示。

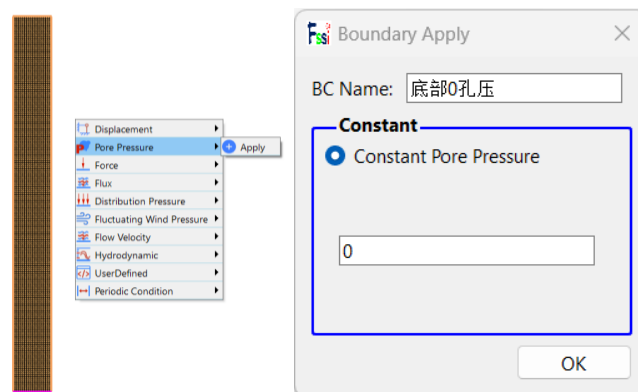


图 2-10 添加底部 0 孔压边界条件

## 2.5 设置材料参数

在前处理界面正上方的工具栏 2 中，点击设置材料属性和参数的功能按钮 **Material**。在本案例中砂柱采用 **Elastic** 线弹性本构，在左侧工具栏点击与模型相对应的材料，并输入砂柱的属性参数，点击 **OK**，即可设置材料属性和参数，如图 2-11 所示。

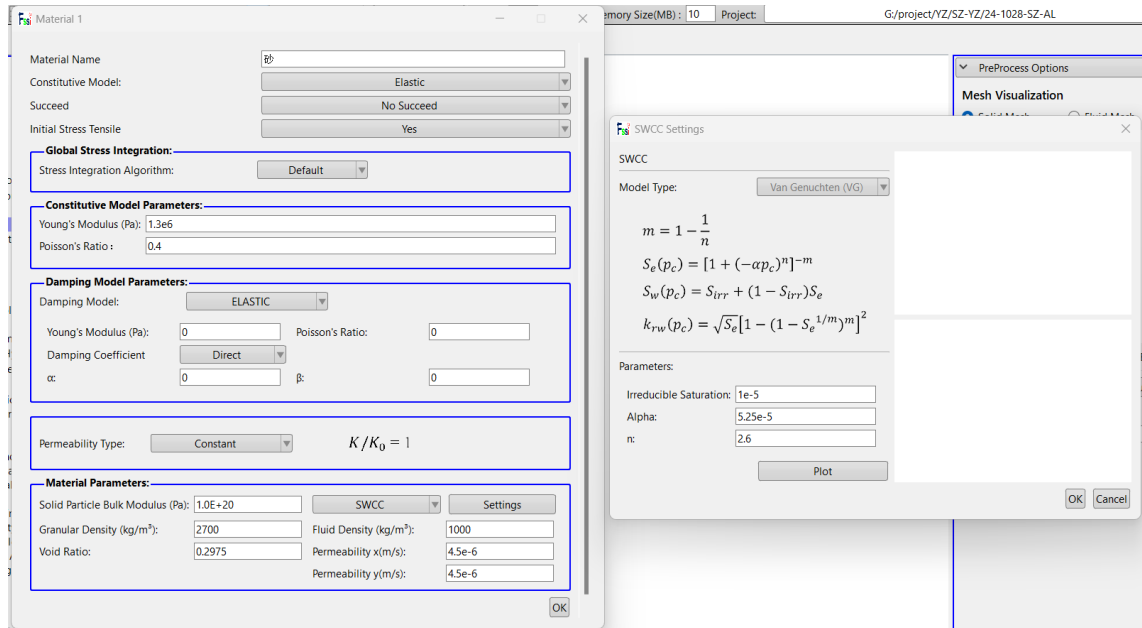


图 2-11 材料参数设置

## 2.6 设置重力加速度

点击 **FssiCAS—Preprocess—Load—Filed Quantity—Uniform Field**，为整个案例施加重力载荷。即加速度场的 X、Y 方向为  $0 \text{ m/s}^2$ ，Z 方向为  $-9.806 \text{ m/s}^2$ ，如图 2-12 所示。**Step 2** 的重力场在新建时间步时后自动复制当前时间步的设置，因此后续时间步不再重复施加加速度场。

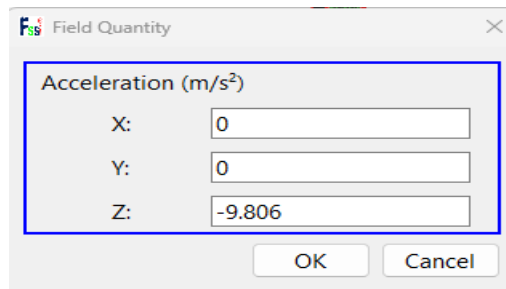


图 2-12 重力加速度设置

## 2.7 求解器设置

点击前处理界面上 Model 树状菜单栏里的 Solver，在弹出的对话框中设置求解器类型，求解器设置为 Static（Static 表示与时间无关的静态，为了获得初始状态最好用 Static 求解器），并进行相关属性参数设置，如图 2-13 所示：

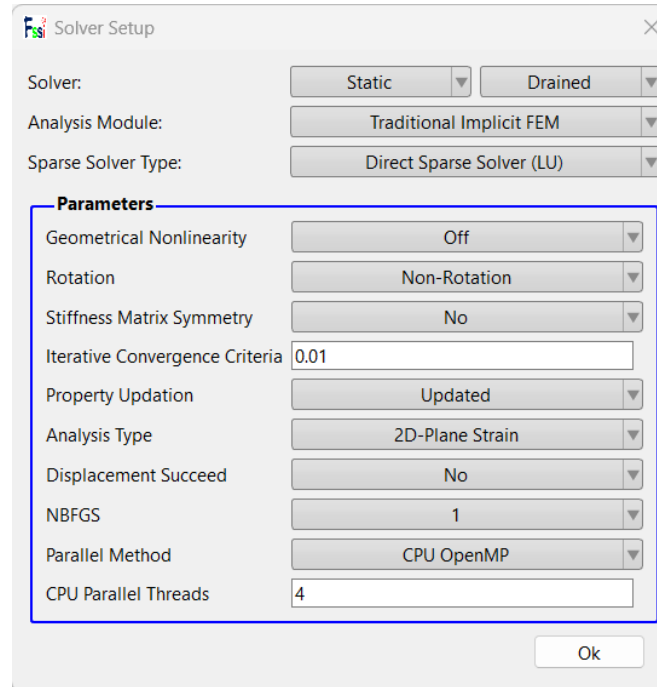


图 2-13 Step1 求解器的相关属性参数

## 2.8 时间步设置

点击 Time Step, Simulation Time (s)为计算总时间，设置为 2s；Interval for Time Steps (s) 为时间步长，设置为 0.1s；Interval for Updating Coordinate (s)为坐标更新时间，设置为 6s（不更新坐标）；Interval for Updating Global Stiffness Matrix (s)为刚度矩阵更新时间，设置为 6s（不更新矩阵）；Maximum Iterations 为每个时间步最大迭代次数，设置为 10 步；Restart File Output Inveral (s)为输出重启文件的时间，设置为 6s（不生成重启文件）；Result File Output Inveral (s)为输出某一时刻所有节点/高斯点上的位移、应力、应变等结果文件的时间间隔，设置为每 0.1s 输出一次结果文件；Results Output 为选择输出节点上的结果；History Output Interval (s)为输出特定的节点或单元上的应力、应变等结果文件的时间间隔，设置为每 0.1s 输出一次。 $\alpha$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  为时间系数，保持默认值即可。具体设置如图 2-14 所示。可在 Results Sequence 中选择输出流速、流线图，每一步均需要选择。

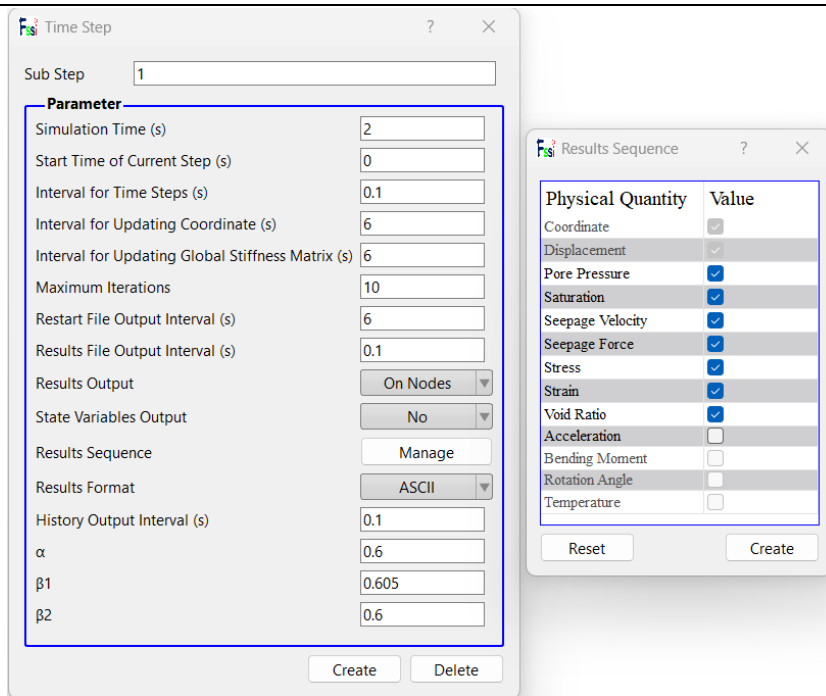


图 2-14 设置时间步和相关属性参数

## 2.9 设置初始条件

在前处理界面上 Model 树状菜单栏中，点击 Initial State，点击 OK，即可完成初始状态设置，如图 2-15 所示。

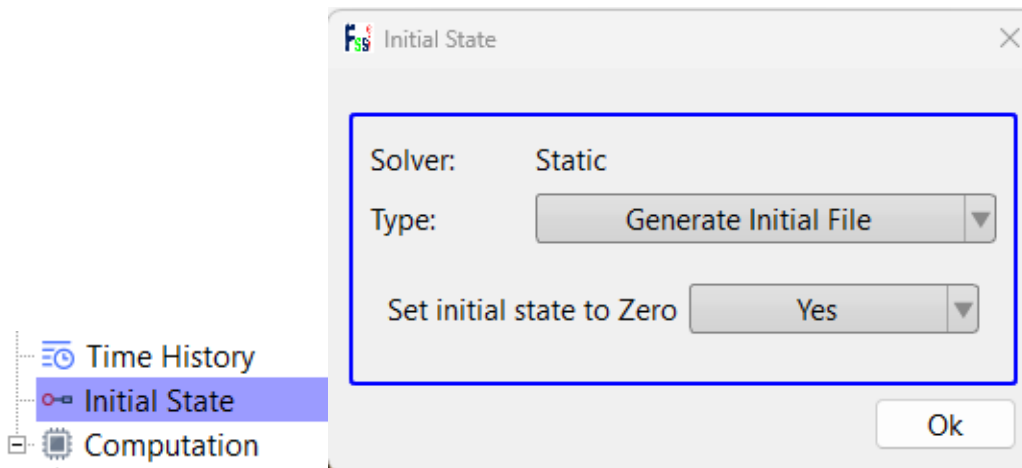




图 2-15 设置初始状态和指定初始条件

## 2.10 时间步 Step 2 设置

本案例设置 Step 1、Step 2 两个时间步，Step 1 用于给后续计算提供一个良好的初始状态，Step 2 为正式计算时间步。点击  按键可增加时间步，添加成功后左端



任务栏会显示添加的时间步，点击按钮可以对需要设置的时间步进行设置，如图 2-16 所示。

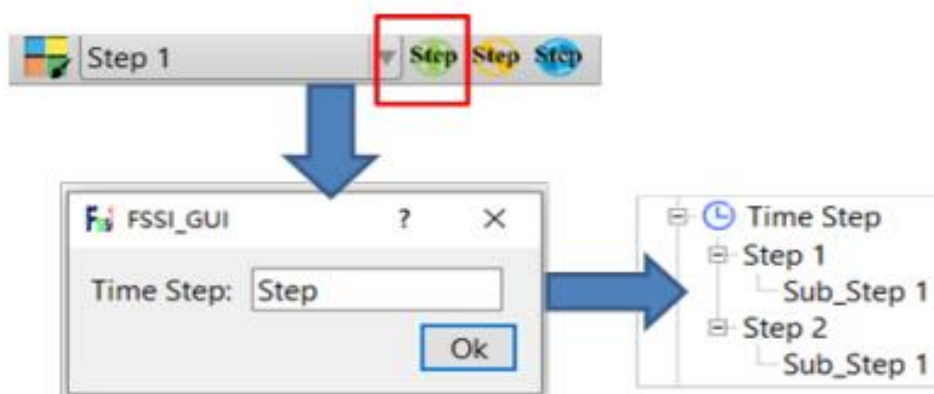


图 2-16 增加时间步的步骤示意图

如果先设置 Step 1 的边界条件和前处理的各项参数再添加新的时间步，新的时间步会自动复制 Step 1 的所有设置；如果先添加新的时间步再设置 Step 1，每个时间步都需要重新设置对应的边界条件和参数。为了提高操作效率，一般情况下先将 Step 1 的所有参数都设置完整再创建新的时间步。本案例 Step 2 的相关参数设置如下。

## 2.11 设置边界条件

本案例 Step 2 与 Step 1 的材料属性完全相同，故在 Step 2 中无需对材料参数进行修改。在 Step 2 的边界条件中，位移边界条件与 Step 1 一致，但在水动力边界条件中，不再施加顶部静水水位水动力边界条件，故需要在设置边界条件时，将随 Step 1 自动复制的水动力边界条件删除，如图 2-17 所示。



图 2-17 Step 2 删除水动力边界条件

## 2.12 Step 2 求解器设置

点击前处理界面上 Model 树状菜单栏里的 Solver，在弹出的对话框中设置求解器类型，求解器设置为 Consolidation，并进行相关属性参数设置，如图 2-18 所示；

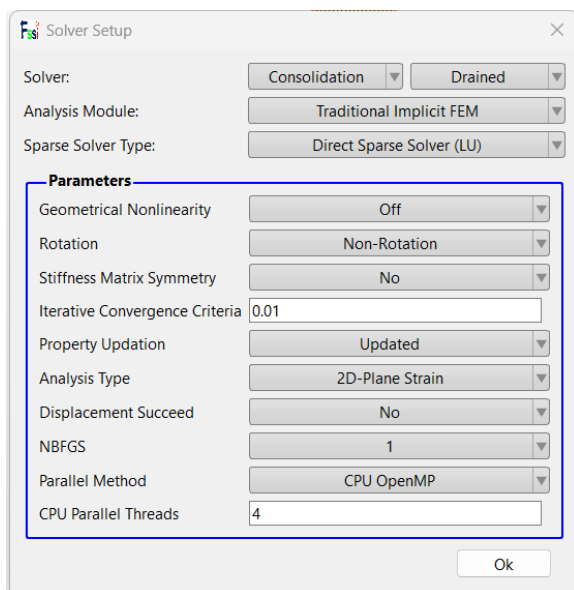
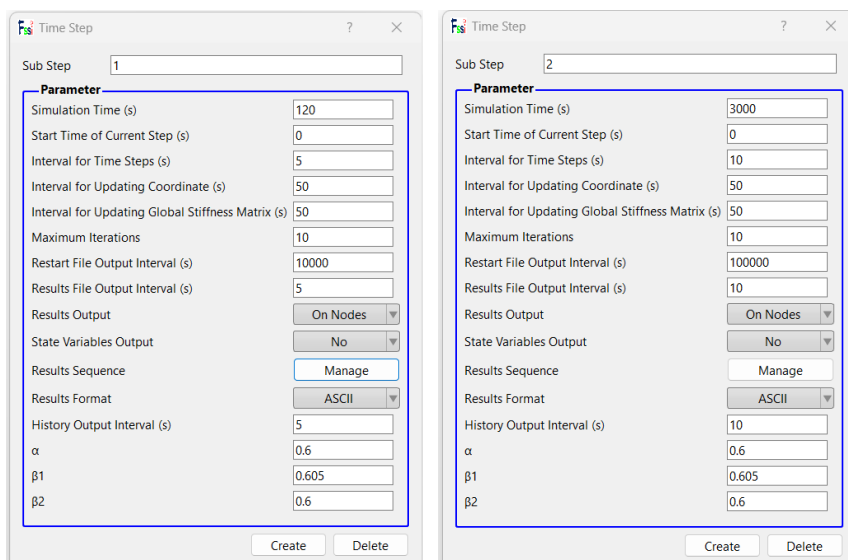


图 2-18 Step 2 求解器设置

## 2.13 Step 2 时间步设置

点击 Time Step, Step 2 时间步中设置了 4 个子时间步, 具体设置如图 2-19 所示。Simulation Time (s)为计算总时间; Interval for Time Steps (s) 为时间步长; Interval for Updating Coordinate (s)为坐标更新时间; Interval for Updating Global Stiffness Matrix (s)为刚度矩阵更新时间; Maximum Iterations 为每个时间步最大迭代次数, 设置为 10 步; Restart File Output Inveral (s)为输出重启文件的时间; Result File Output Inveral (s)为输出某一时刻所有节点/高斯点上的位移、应力、应变等结果文件的时间间隔; Results Output 为选择输出节点上的结果; History Output Interval (s)为输出特定的节点或单元上的应力、应变等结果文件的时间间隔。 $\alpha$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  为时间系数, 保持默认值即可。可在 Results Sequence 中选择输出流速、流线图, 每一步均需要选择。



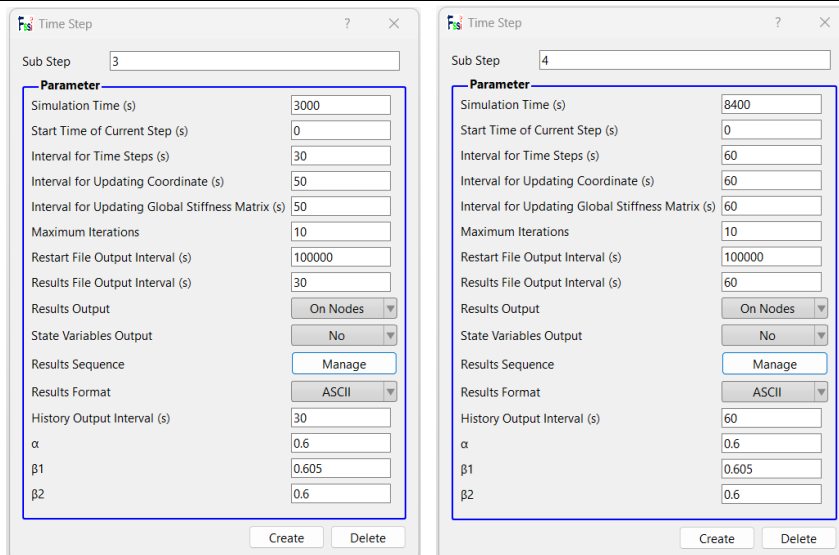


图 2-19 Step 2 时间步中各子时间步设置

## 2.14 设置初始条件

在前处理界面上 Model 树状菜单栏中，点击 Initial State，点击 OK，即可完成初始状态设置，如图 2-20 所示。

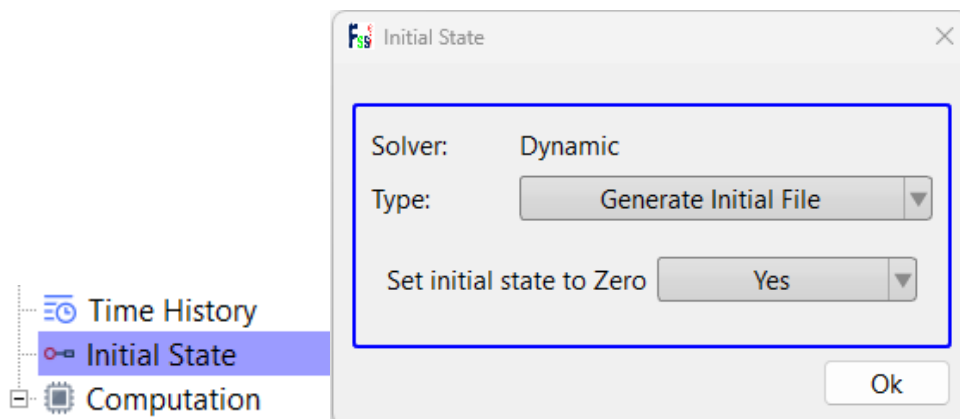


图 2-20 设置初始状态和指定初始条件

## 2.15 计算并保存

点击左侧菜单栏中的 FSSI-W，即可保存当前项目到指定目录并开始计算。

## 3 FssiCAS 图形界面操作——后处理

待计算结束后，点击左侧菜单栏的 Results 标签进入后处理界面。点击 Post Process—Open Result Files，点击 Soil Result Files Director 下方的 Load Files 来选择结果文件所在路径并加载，即可对固体结果进行处理。如图 3-1 所示。

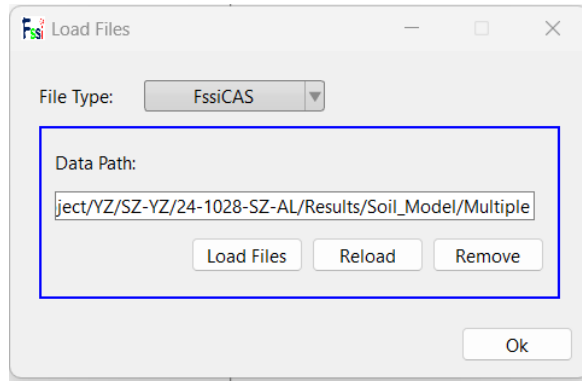


图 3-1 加载结果文件

### 3.1 绘制分布图及时程曲线

点击 FssiCAS—Postprocess—Distribution—Soil & Structures—Pore Pressure，在界面上方工具栏选择 Pore Pressure，输入想要查看的时间步点击回车。

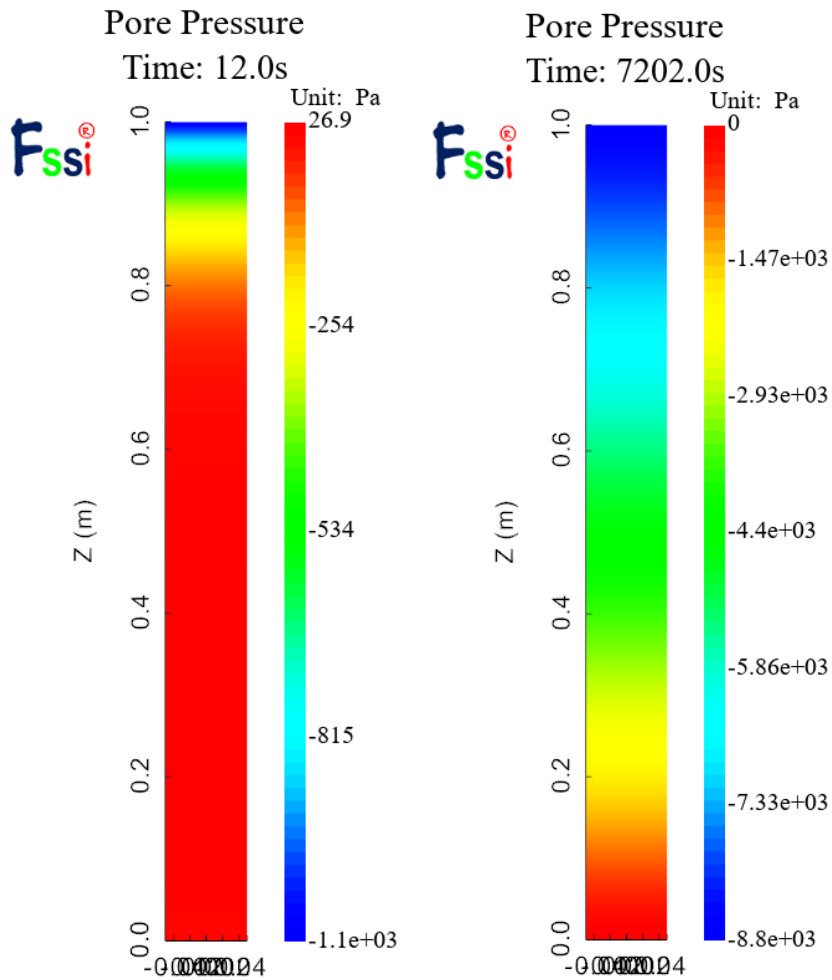


图 3-1 孔压分布图

点击 FssiCAS—Postprocess—Distribution—Soil & Structures—Saturation，在界面

上方工具栏选择 Saturation，输入想要查看的时间步点击回车。

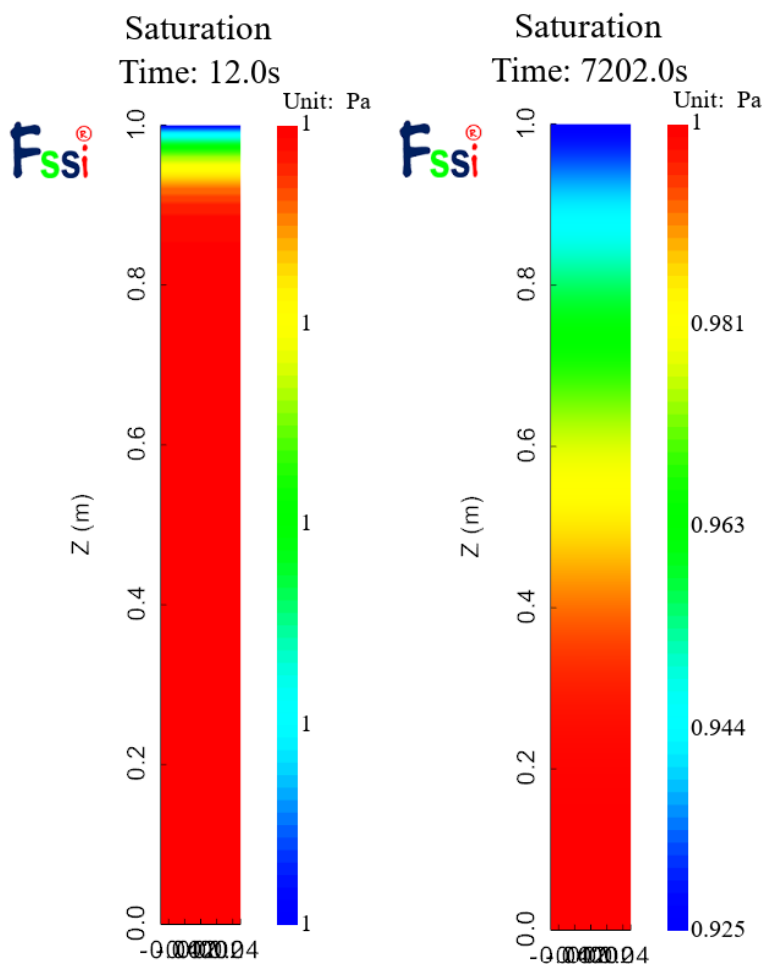


图 3-2 饱和度分布图

后处理部分不仅可以输出模型的位移、应力、应变、孔压、饱和度结果分布图，也可以输出模型上节点或单元的时程曲线。

首先点击 History Plot—Soil History，在右边的 Time History 框中选择 Plot by Interpolation，输入节点或单元的坐标，Plot Type 选择 Pore Pressure，点击 Plot 即可输出节点的孔压时程曲线，具体操作如图 3-3 所示。

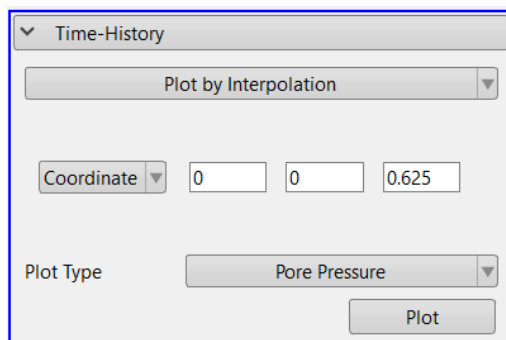


图 3-3 选择输出时程曲线的点的坐标

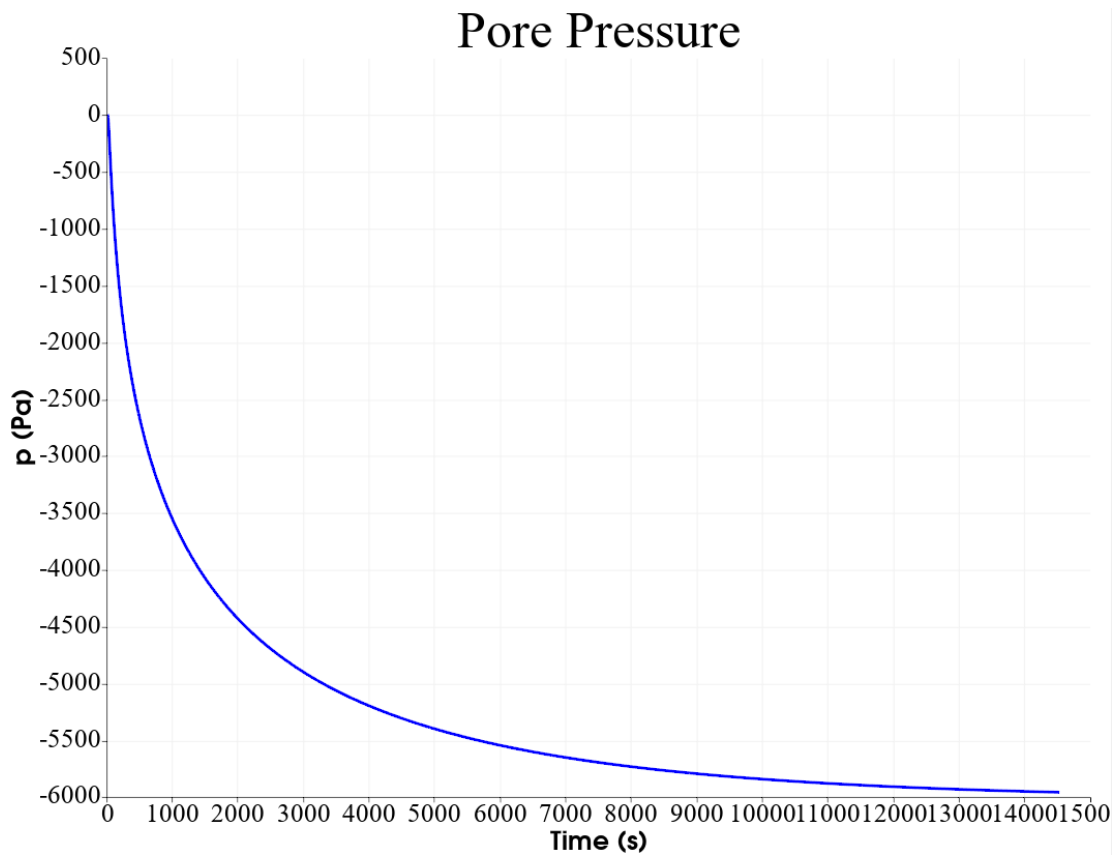


图 3-3 节点 (0, 0, 0.625) 孔压时程曲线图