

# 南海岛礁护岸防波堤-吹填地基系统水平承载力计算

## 1.案例说明

本章节采用一个简单案例让用户使用软件计算岛礁地基防波堤在随时间线性增长的水平、垂直荷载作用下的承载能力。并从云图分析其可能的破坏趋势。

本案例中，海床宽度为 50m，厚度为 10m，吹填钙质砂的厚度为 5m，防波堤尺寸如图 1.1 所示。本案例为三维案例，Y 方向宽度为 5m，模型如图 1.2 所示。

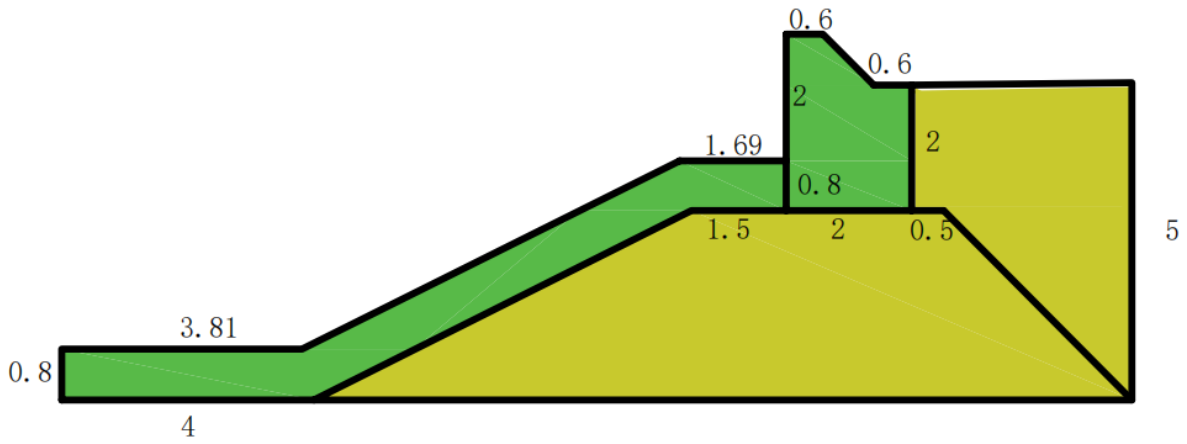


图 1.1 防波堤尺寸示意图

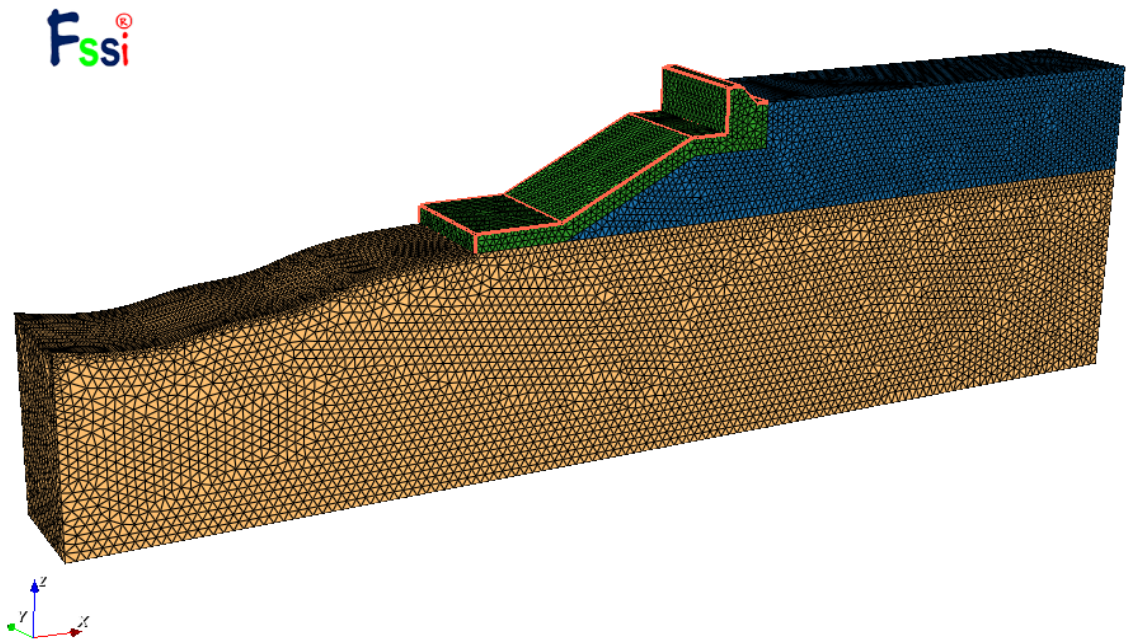


图 1.2 整体模型示意图

本案例中材料的参数设置如下：

表 1-1 材料参数（线弹性本构）

	原状钙质砂	吹填钙质砂	防波堤
<b>YOUNG'S MODEL</b>	1.0e7Pa	1.0e7Pa	20.0e9Pa
<b>POISSON'S RATIO</b>	0.3	0.3	0.33
<b>GRANULAR DENSITY</b>	2800kg/m <sup>3</sup>	2800kg/m <sup>3</sup>	2500
<b>VOID RATIO</b>	0.4	0.4	1.0e-5


表 1-2 材料参数（Mohr Coulomb Class DP）

	原状钙质砂	吹填钙质砂
<b>YOUNG'S MODEL</b>	4.805e7Pa	1.293e7Pa
<b>POISSON'S RATIO</b>	0.26	0.3628
<b>UNIAXIAL TENSILE STRENGTH</b>	1.704e7Pa	4.9953e4Pa
<b>FRICTIONAL ANGLE</b>	45.71	42.68
<b>DENSITY</b>	2700kg/m <sup>3</sup>	2726kg/m <sup>3</sup>
<b>VOID RATIO</b>	0.6545	0.8828

## 2. FssiCAS 图形界面操作——前处理（施加水平荷载）

### 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 Breakwater；

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。

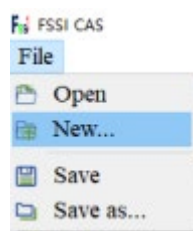


图 2.1 在 FssiCAS 新建项目示意图

### 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，在本案例中固体节点采用四面体四节点二阶单元，无流体单元，

因此，固体节点数设置为 4，流体节点阶次设置为 0，点击 OK，如图 2.3 所示。

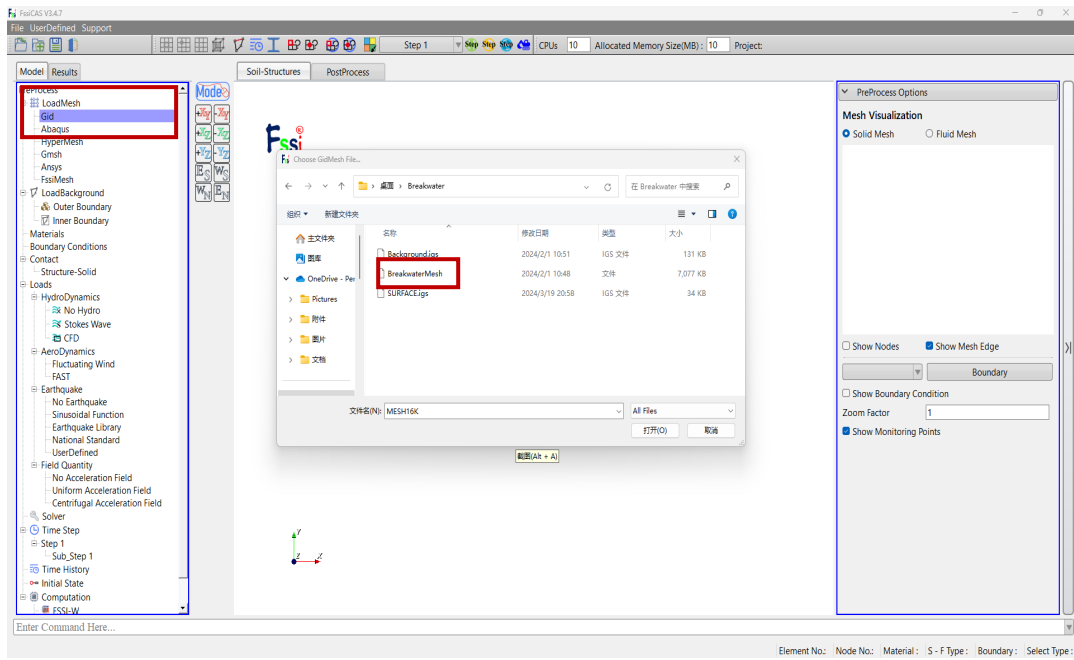


图 2.2 导入 Gid 软件输出的网格文件

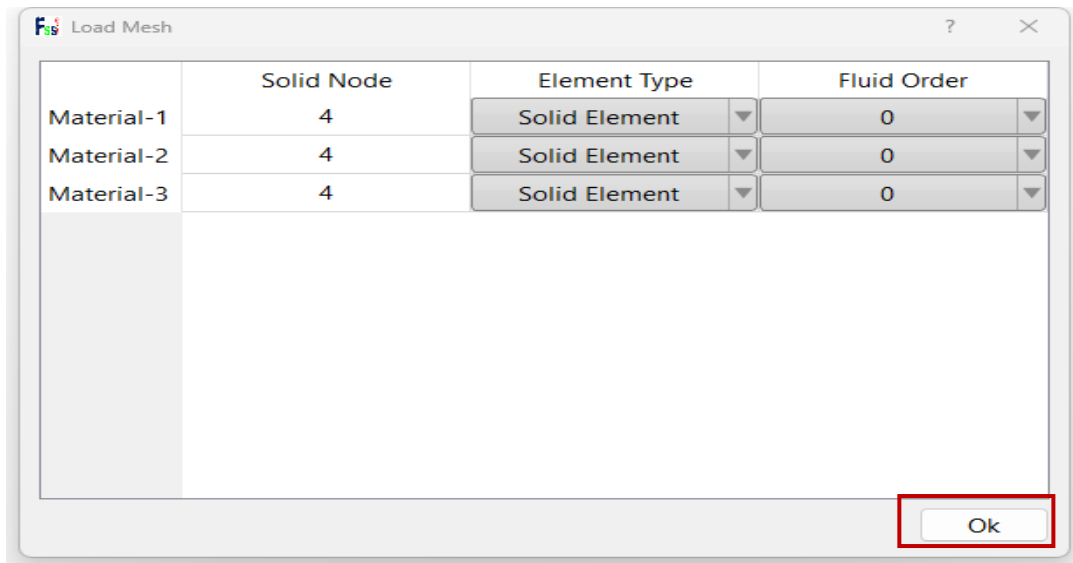


图 2.3 设置固体节点数和流体节点阶次

加载几何模型的背景线，是为了后续施加边界条件、区分材料以及设置输出时程结果的线。在 Model 树状菜单栏中的 Load Background 中，用户点击 Outer Boundary，在弹出的 Outer Boundary 窗口中点击 Choose File，选择从 Gid 或 Solidworks 等建模软件中导出的背景线.igs 文件，如图 2.4 所示。

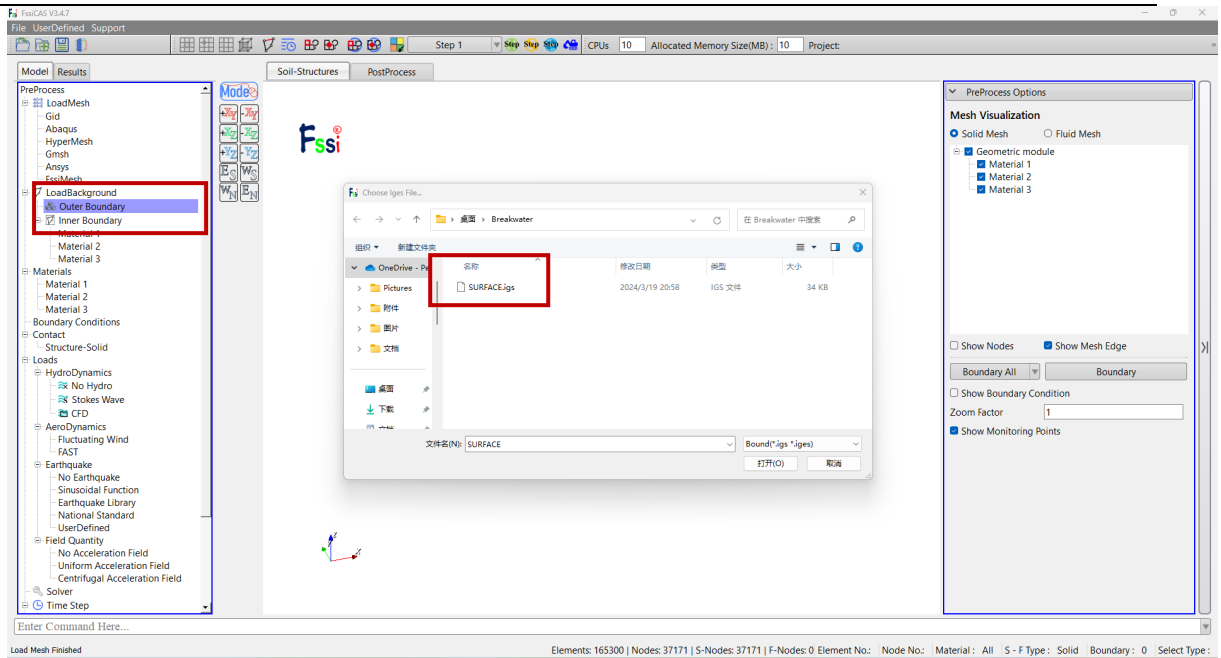


图 2.4 导入背景线

## 2.3 添加位移边界条件

本案例需要将边界条件设置为：左右两面 X 方向位移固定、前后两面 Y 方向位移固定、底部 XYZ 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，进入单元选择模式，如图 2.6 所示。

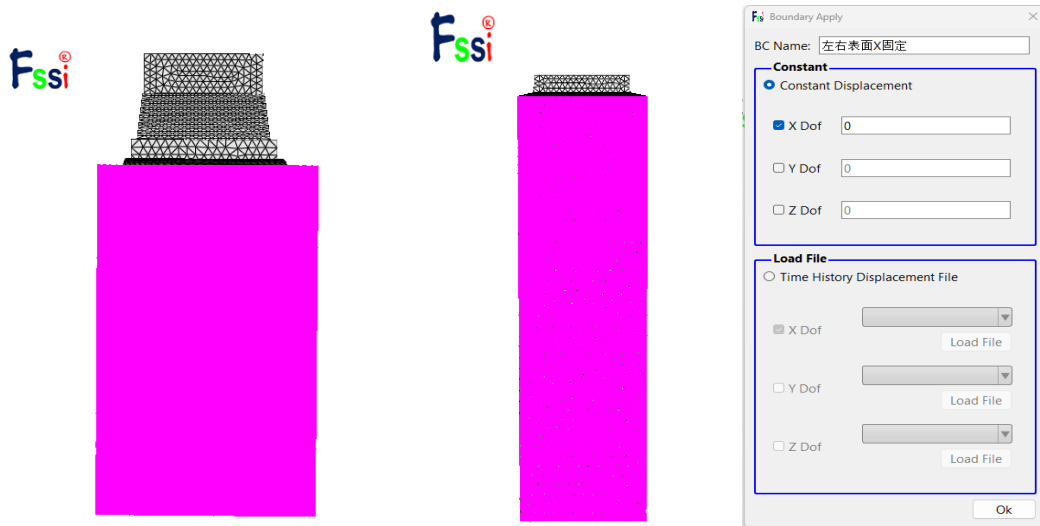


图 2.5 进入边界选择模式

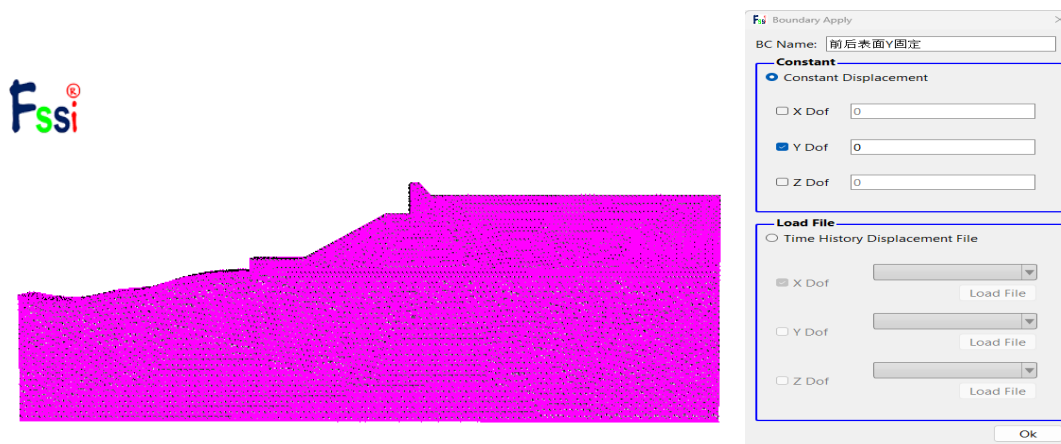


图 2.6 进入单元选择模式

在工作区中拖动鼠标框选前后左右及底部表面的单元，点击选择后被选择的线出现高亮；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) 左右表面 X 方向位移固定



(b) 前后表面 Y 方向位移固定



(c) 底部表面 XYZ 方向位移固定

图 2.7 添加位移边界条件

## 2.4 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 Step1 采用线弹性本构，在左侧工具栏点击与模型相对应的材料，并输入防波堤、原状钙质砂、吹填钙质砂的属性参数，点击 OK，即可设置材料属性和参数，如图 2.8 所示。



图 2.8 Step1 材料参数设置

## 2.5 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 m/s<sup>2</sup>，Z 方向为 -9.806 m/s<sup>2</sup>，如图 2.9 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。

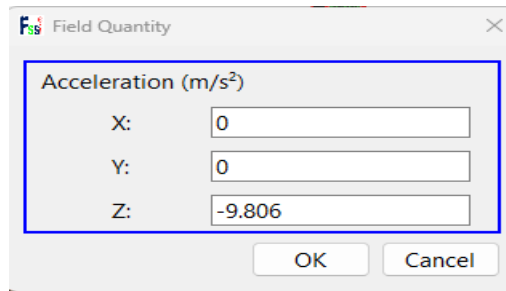


图 2.9 重力加速度设置

## 2.6 设置水动力边界条件

由于本案例不考虑流体节点，因此不需要设置水动力边界条件，并且设置耦合方式为非耦合，点击 FssiCAS—Preprocess—Load—Hydrodynamics—No Hydro— Yes。如图 2.10 所示。

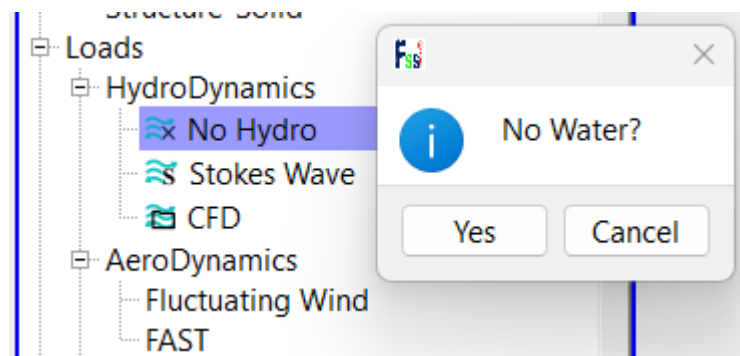


图 2.10 流固耦合方式设置界面

## 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 2.11 所示；

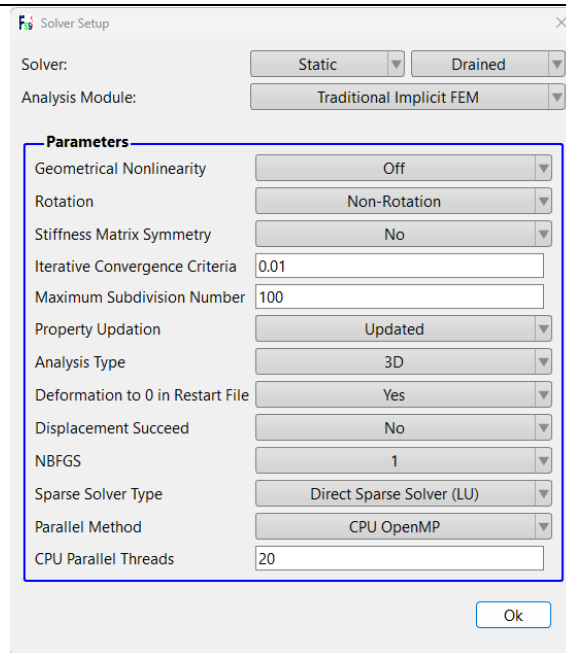


图 2.11 设置求解器的相关属性参数

## 2.8 时间步设置

点击 Time Step, Simulation Time (s)为计算总时间, 设置为 1s; Interval for Time Steps (s) 为时间步长, 设置为 1 s; Interval for Updating Coordinate (s)为坐标更新时间, 设置为 1 s (大于计算总时间, 意为不更新坐标); Interval for Updating Global Stiffness Matrix (s)为刚度矩阵更新时间, 设置为 1s (不更新刚度矩阵); 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 1s (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 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 2s 输出 一次 (意为不输出)。 $\alpha$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  为时间系数, 保持默认值即可。具体设置如图 2.12 所示。可在 Results Sequence 中选择输出流速、流线图, 每一步均需要选择。(本案例无流体节点, 故输出流速、连线图勾选与否皆可)



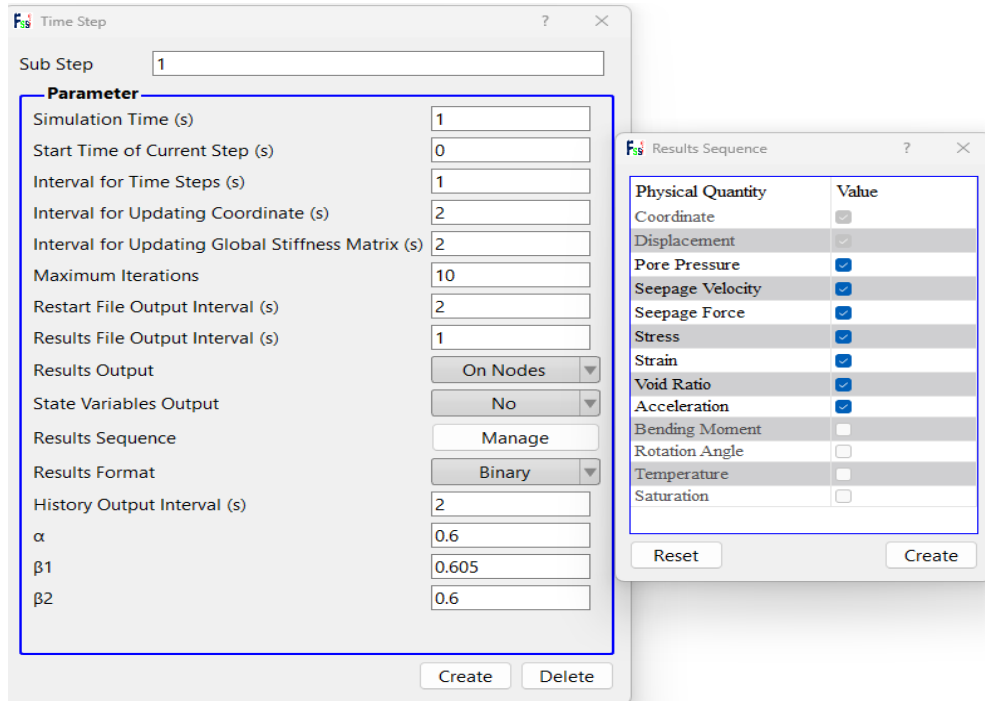


图 2.12 设置时间步和相关属性参数

## 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 2.13 所示。

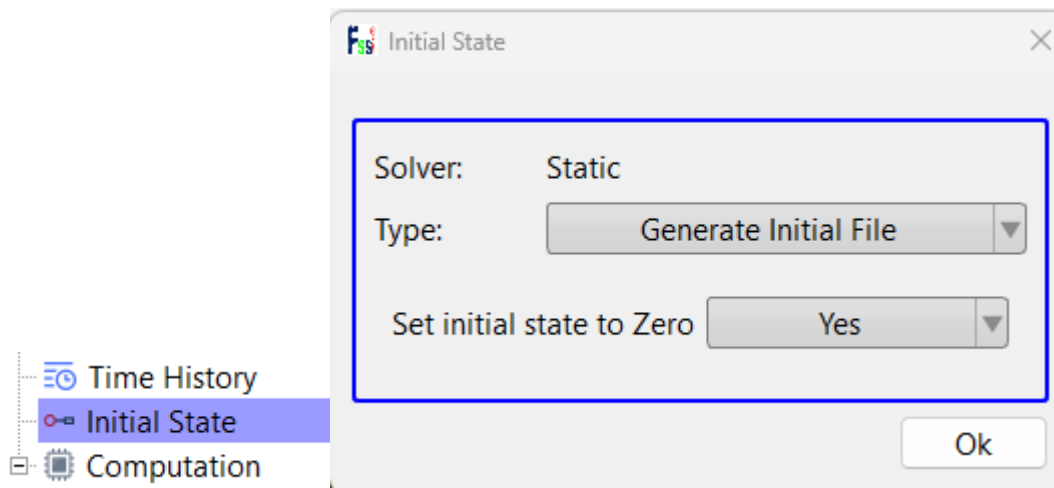


图 2.13 设置初始状态和指定初始条件

## 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 为正式加载计算时间步。点击  按钮可增加时间步，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 2.14 所示。

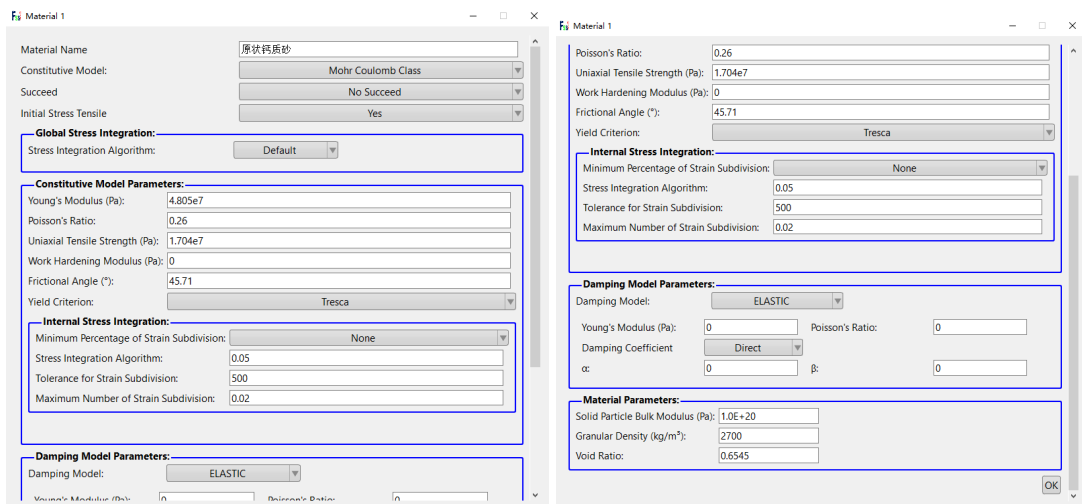


图 2.14 增加时间步的步骤示意图

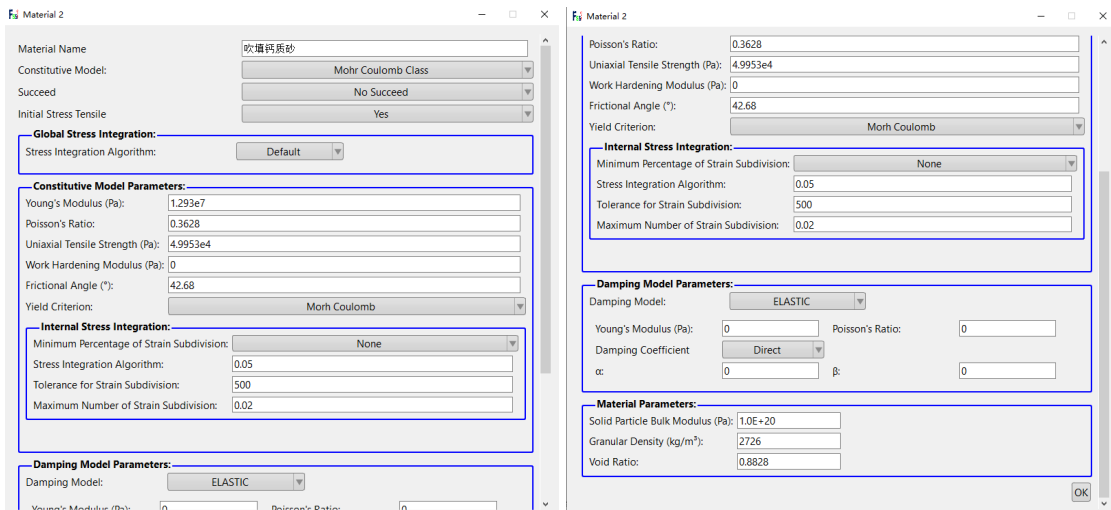
如果先设置 Step 1 的边界条件和前处理的各项参数再添加新的时间步，新的时间步会自动复制 Step 1 的所有设置；如果先添加新的时间步再设置 Step 1，每个时间步都需要重新设置对应的边界条件和参数。为了提高操作效率，一般情况下先将 Step 1 的所有参数都设置完整再创建新的时间步。本案例 Step 2 的相关参数设置如下。

## 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 Step2 原状钙质砂和吹填钙质砂均采用 Mohr Coulomb Class 本构模型，海床依旧采用线弹性本构。在左侧工具栏点击与模型相对应的材料，并输入防波堤、原状钙质砂、吹填钙质砂的属性参数，点击 OK，即可设置材料属性和参数，如图 2.15 所示。



(a) 原状钙质砂参数设置



(b) 吹填钙质砂参数设置

图 2.15 Step2 中材料参数设置

## 2.12 边界条件设置

本案例中的 Step2 将进行加载，向防波堤表面施加 X 方向和 Z 方向随时间线性增加的力。

点击顶部边界栏  按钮，进入边界选择模式，如图 2.16 所示。

点击顶部边界栏  按钮，进入单元选择模式，如图 2.17 所示。



图 2.16 进入边界选择模式



图 2.17 进入边界面选择模式

选择需要施加力的边界面后显示高亮，右击高亮面施加 Force，并添加文件导入随时间线性增长的力（力作用于单元的每一个节点，若要换算成应力，需将力的大小乘节点数，并除以作用面的面积）操作如图 2.18-2.19 所示。

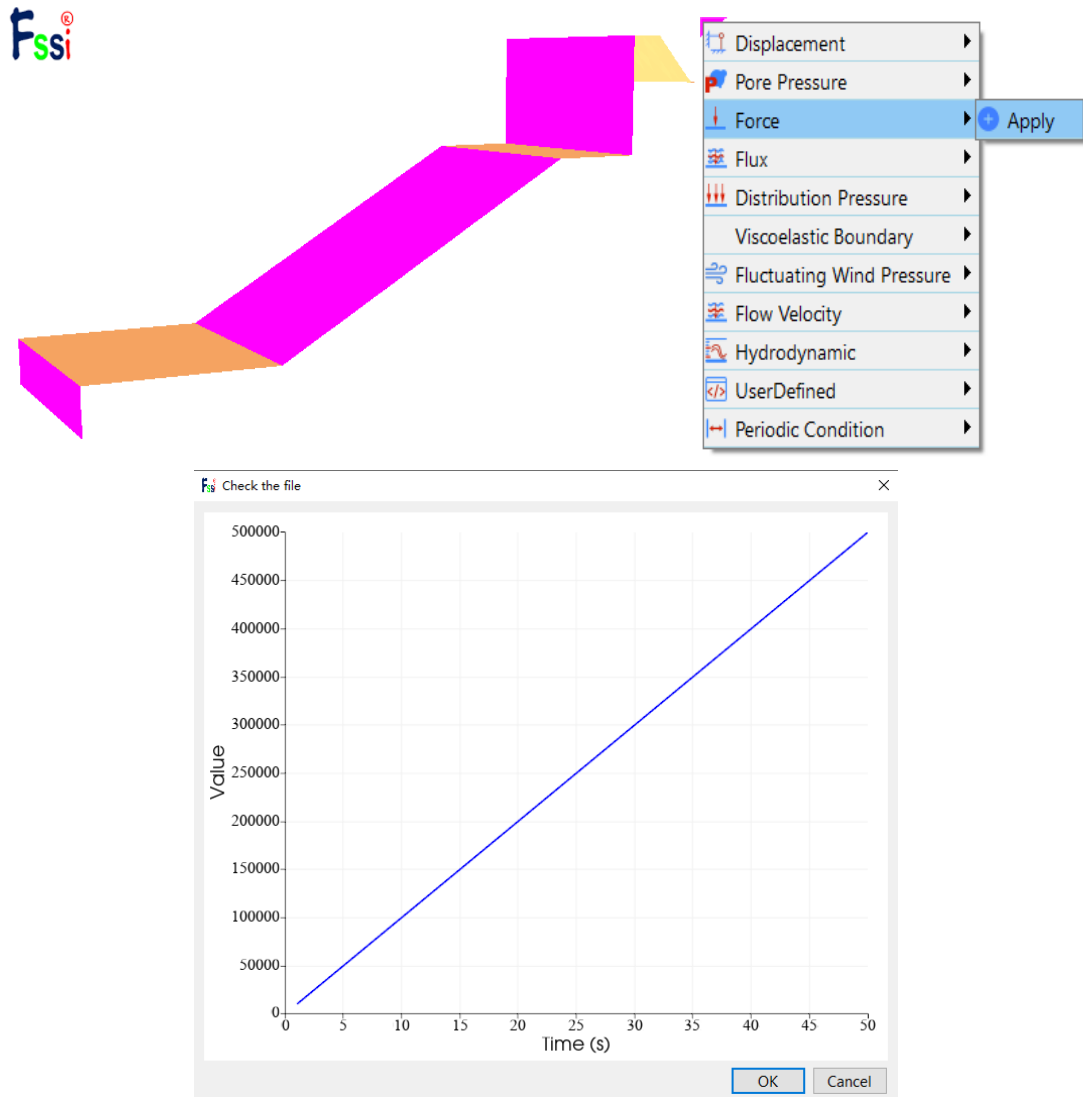


图 2.18 施加 X 方向 Force 操作示意图

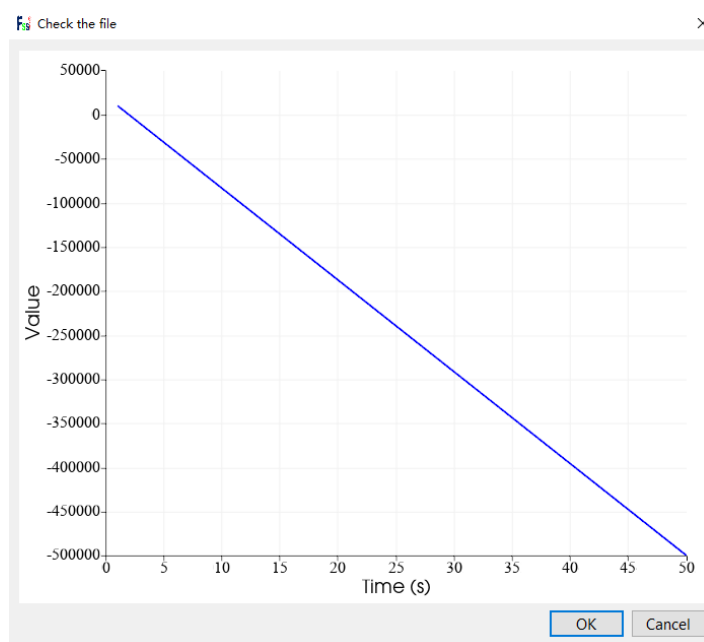
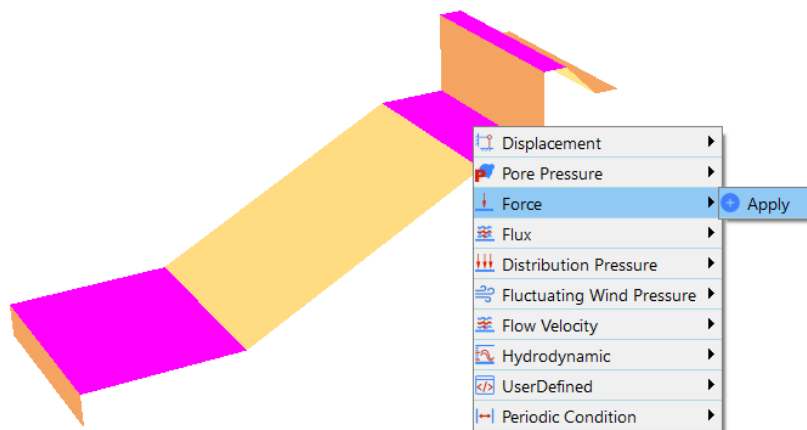


图 2.19 施加 Z 方向 Force 操作示意图

## 2.13 水动力边界设置

Step2 的水动力边界设置同 Step1，点击 FssiCAS—Preprocess—Load—Hydrodynamics—No Hydro—Yes。如图 2.20 所示。

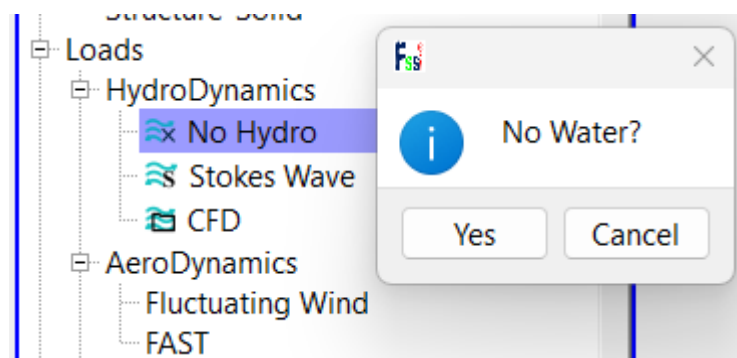


图 2.20 Step2 流固耦合方式设置界面

## 2.14 求解器类型设置

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，Step2 与 Step1 求解器一致，均设置为 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 2.21 所示；

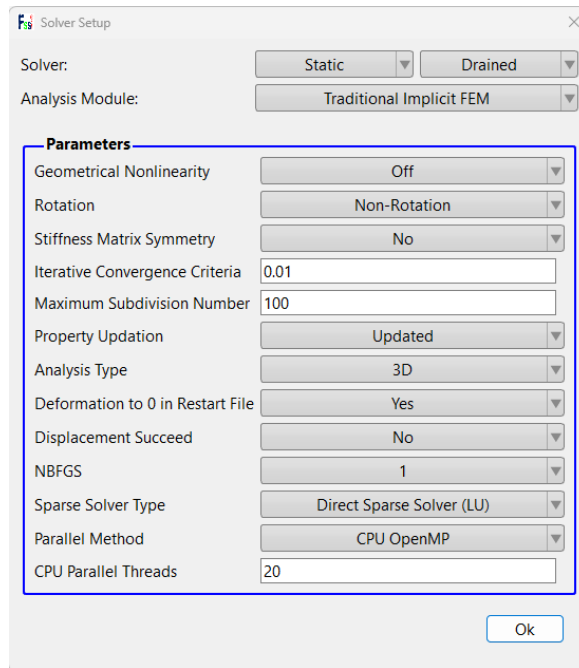


图 2.21 设置求解器的相关属性参数

## 2.15 时间步设置

点击 Time Step, Simulation Time (s)为计算总时间，设置为 50s；Interval for Time Steps (s) 为时间步长，设置为 0.05s；Interval for Updating Coordinate (s)为坐标更新时间，设置为 101s（大于计算总时间，意为不更新坐标）；Interval for Updating Global Stiffness Matrix (s)为刚度矩阵更新时间，设置为 101s（不更新刚度矩阵）；Maximum Iterations 为每个时间步最大迭代次数，设置为 30 步；Restart File Output Inveral (s)为输出重启文件的时间，设置为 101s（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 0.05s 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 0.05s 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 2.22 所示。可在 Results Sequence 中选择输出流速、流线图，每一步均需要选择。

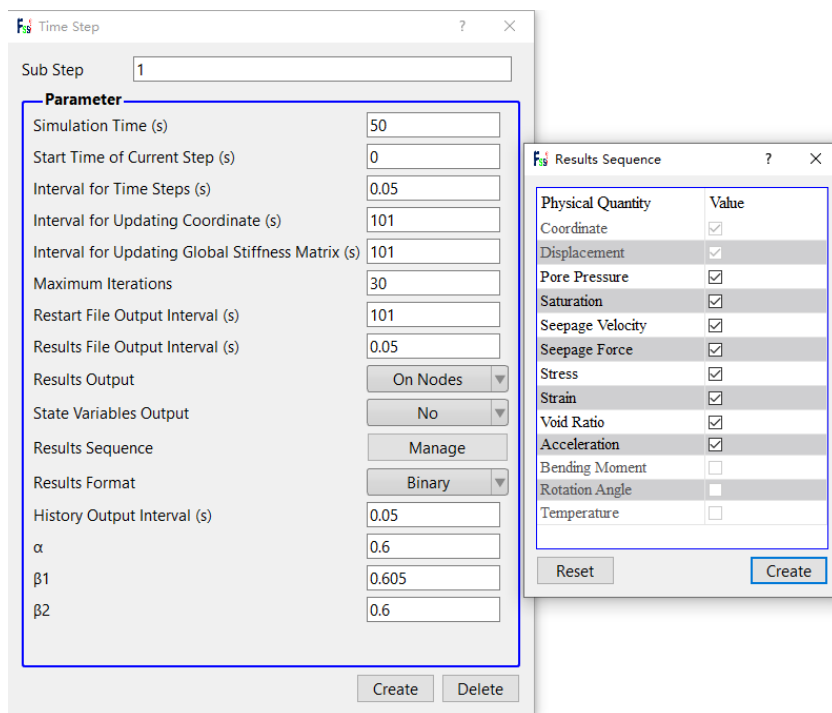


图 2.22 设置时间步和相关属性参数

## 2.16 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 2.23 所示。

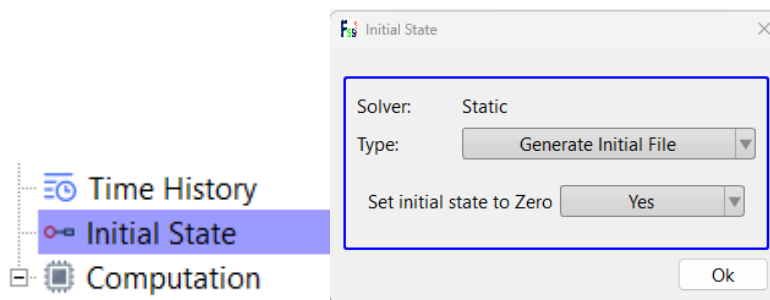


图 2.23 设置初始状态和指定初始条件

## 2.17 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（施加水平荷载）

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。

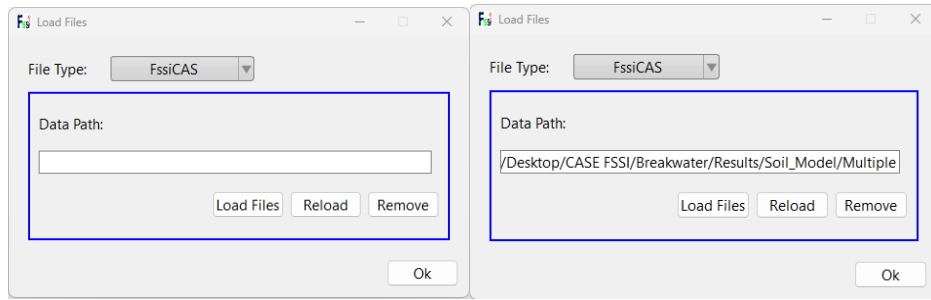
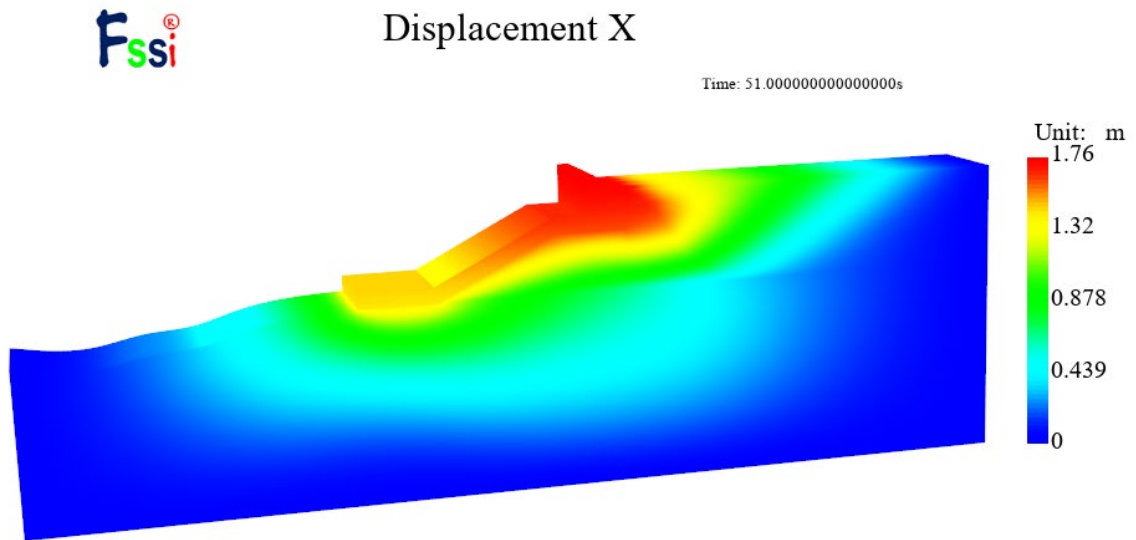


图 3.1 加载结果文件

### 3.1 绘制云图

在左侧菜单栏中选择 Displacement，然后在上方菜单栏选择显示各个方向的位移云图，再通过调整 Scalar Bar 和 Axis 的相关参数即可对图像进行优化。这里以第 51s 的结果为例。如图 3.2 所示。

在上方菜单栏选择 Displacement Vector，可以显示位移矢量云图。并且点击右侧 Display Option 中的 Scale Factor，调整相关参数对图像进行优化便可显示位移矢量及变形云图。这里以第 51s 的结果为例。如图 3.3 所示。







## Displacement Z

Time: 51.000000000000000s

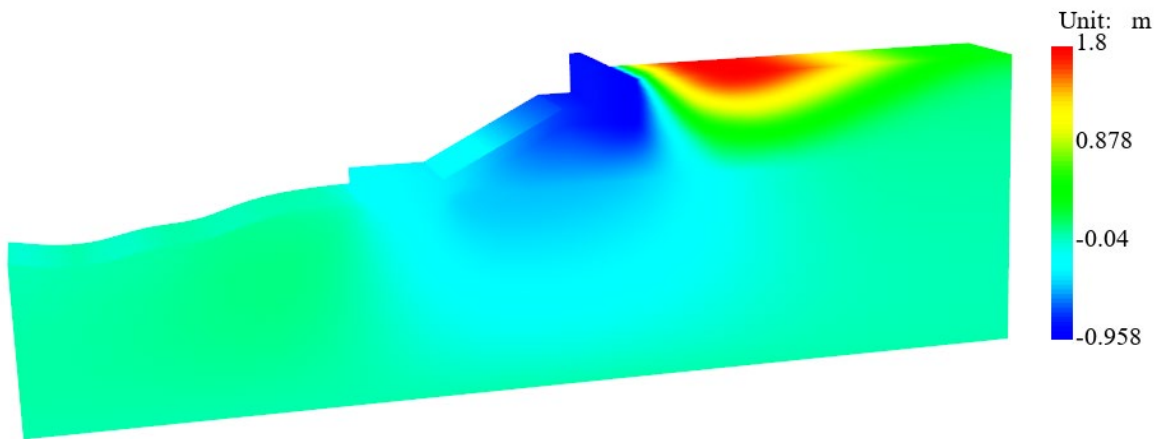


图 3.2 t=51s 位移分布云图



## Displacement Vector

Time: 51.000000000000000s

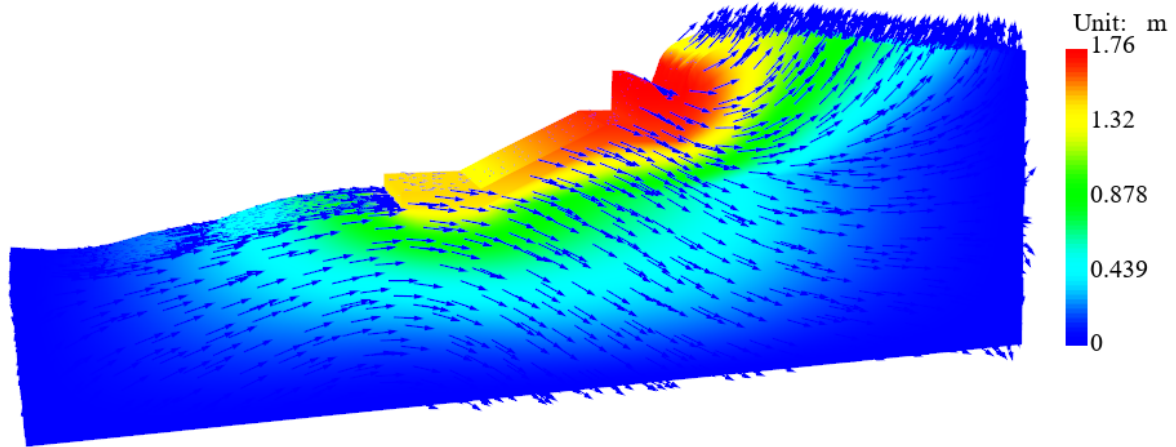


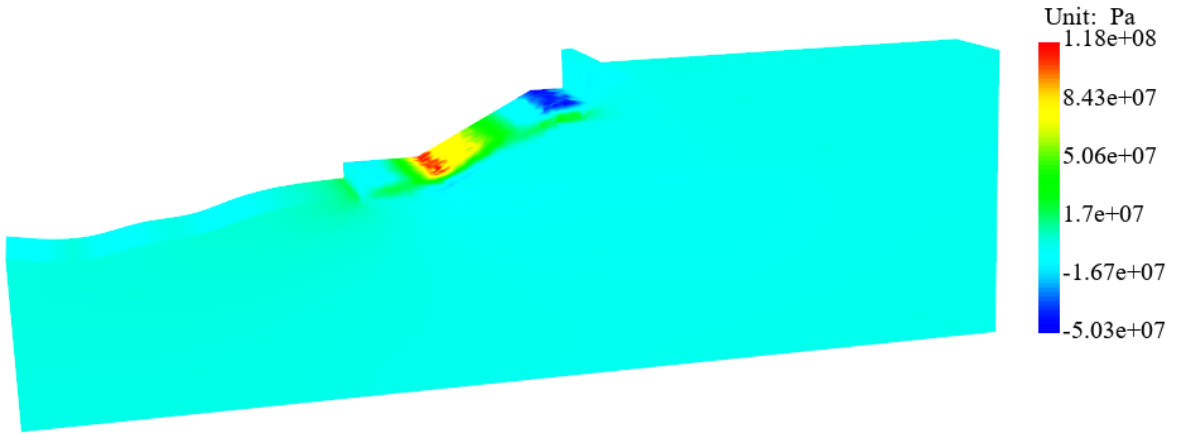
图 3.3 t=51s 位移矢量及变形云图

类似的，可以选择 Effective Stress，显示有效应力云图，再通过调整 Scalar Bar 和 Axis 的相关参数即可对图像进行优化。这里以 X 方向第 100s 的结果为例。如图 3.4 所示。



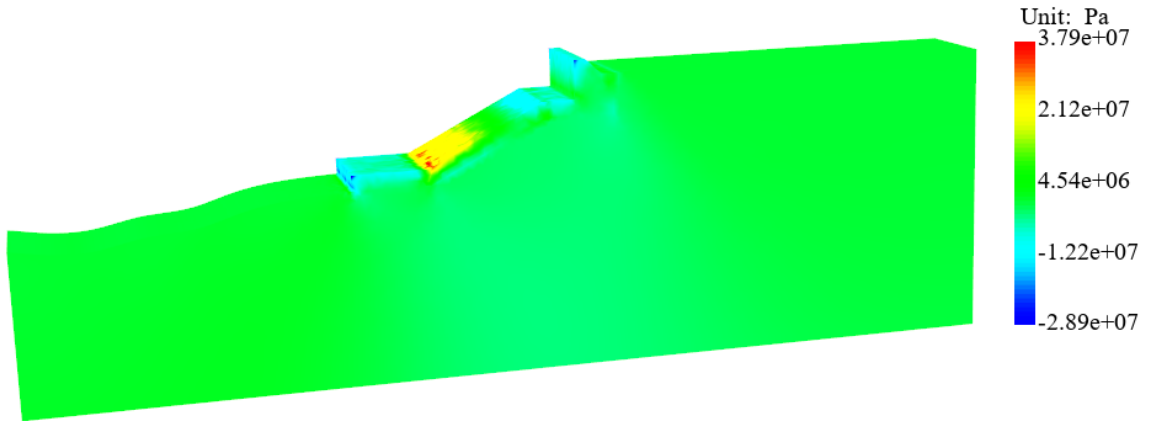
### Effective Stress X

Time: 51.000000000000000s



### Effective Stress Z

Time: 51.000000000000000s





Mean Effective Stress

Time: 51.000000000000000s

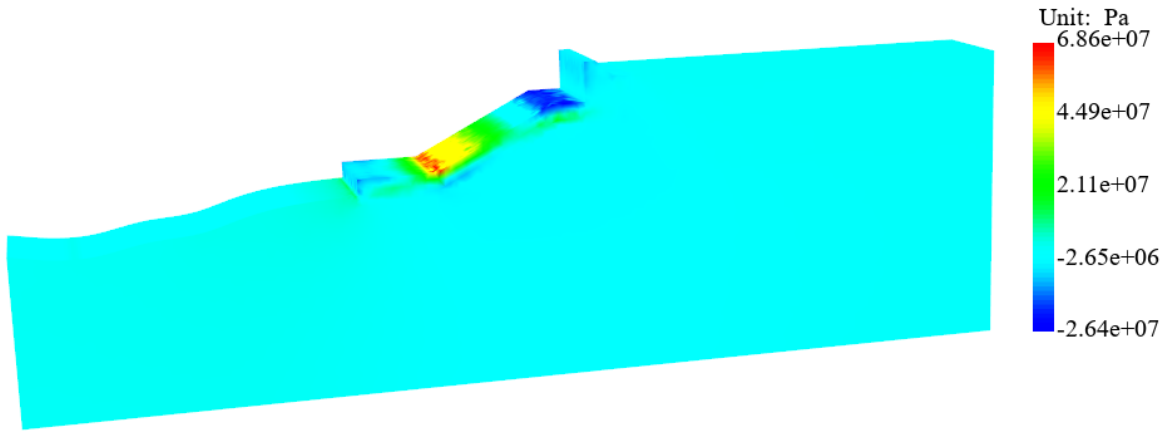


图 3.4 t=51s 有效应力分布云图