

## Bounding Surface Sanisand(2004)本构模型验证

本章节案例通过三轴排水压缩试验，介绍 Bounding Surface Sanisand(2004) (Dafalias et al. 2004)本构模型的使用过程。计算模型为边长为 0.1m 的六面体单元，如图 1 所示。

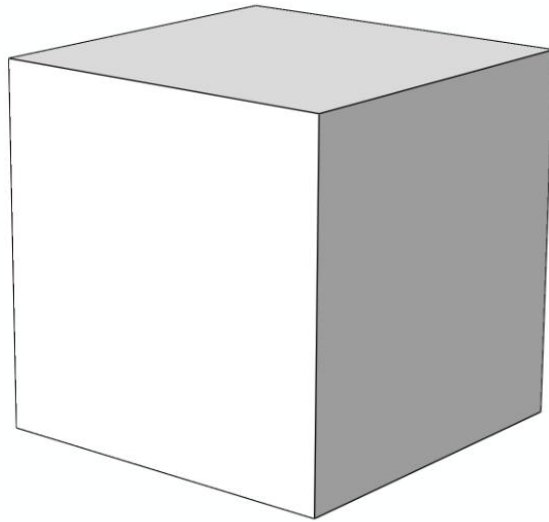


图 1 计算模型示意图

### 1.1 FssiCAS 图形界面操作——前处理

#### 1.1.1 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。在启动 FssiCAS 软件后，点击 File—New，即可新建一个项目；点击 File—Save，选择之前新建的文件夹，即可将新建的项目保存在之前新建的文件夹里。

#### 1.1.2 导入模型

导入 Abaqus 中建立的六面体单元，如图 2 所示。

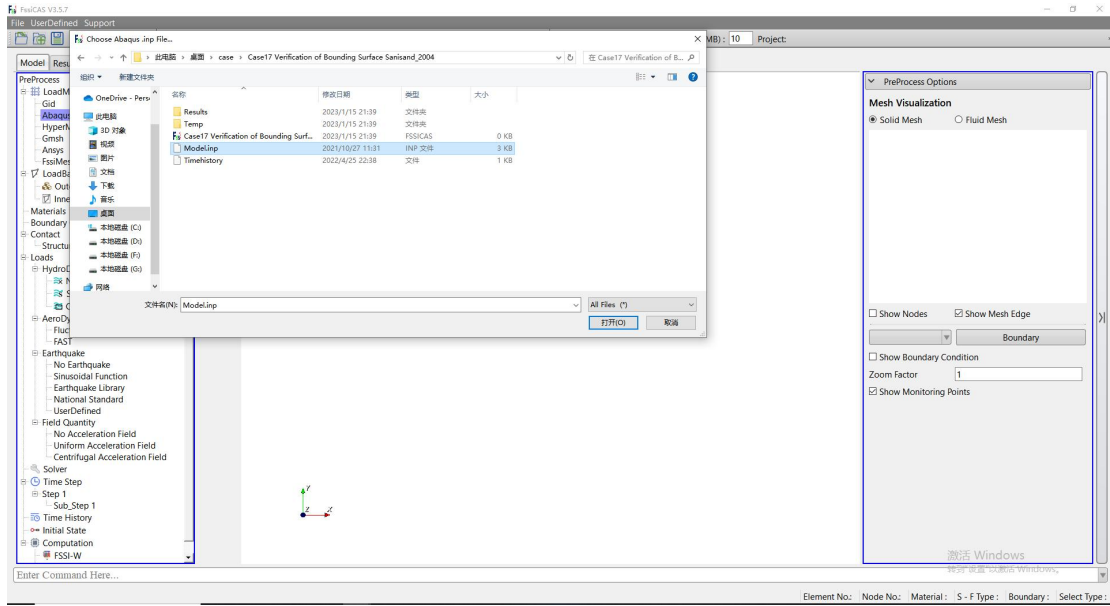
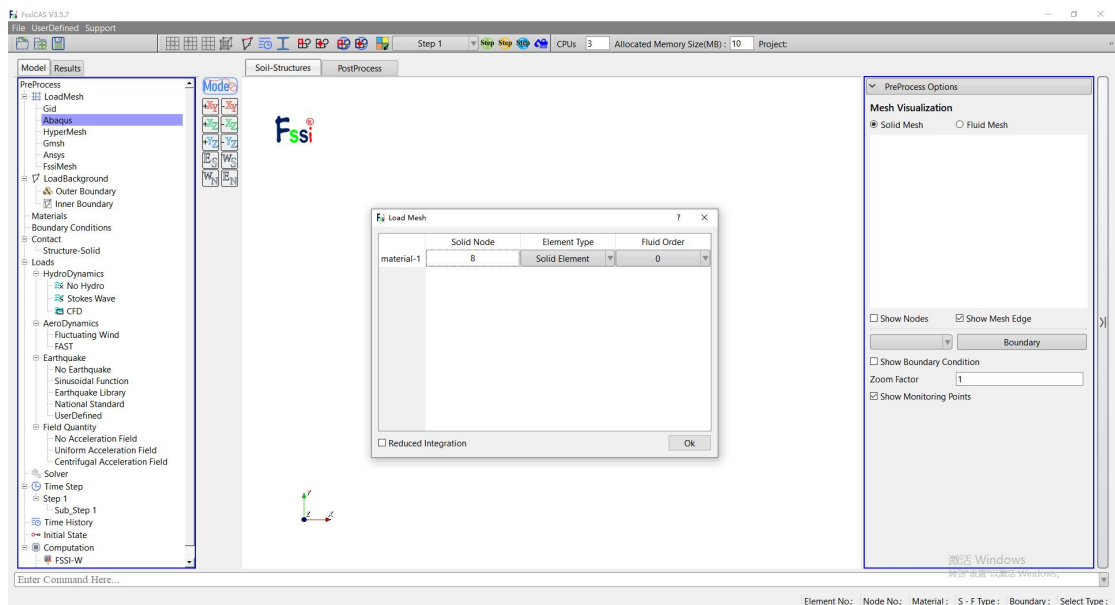


图 2 导入 Abaqus 模型文件

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八节点单元，不设置流体单元。因此，固体节点阶次设置为 8，流体节点阶次设置为 0（即没有流体存在），点击 OK。在工作区中显示几何模型如图 3 所示



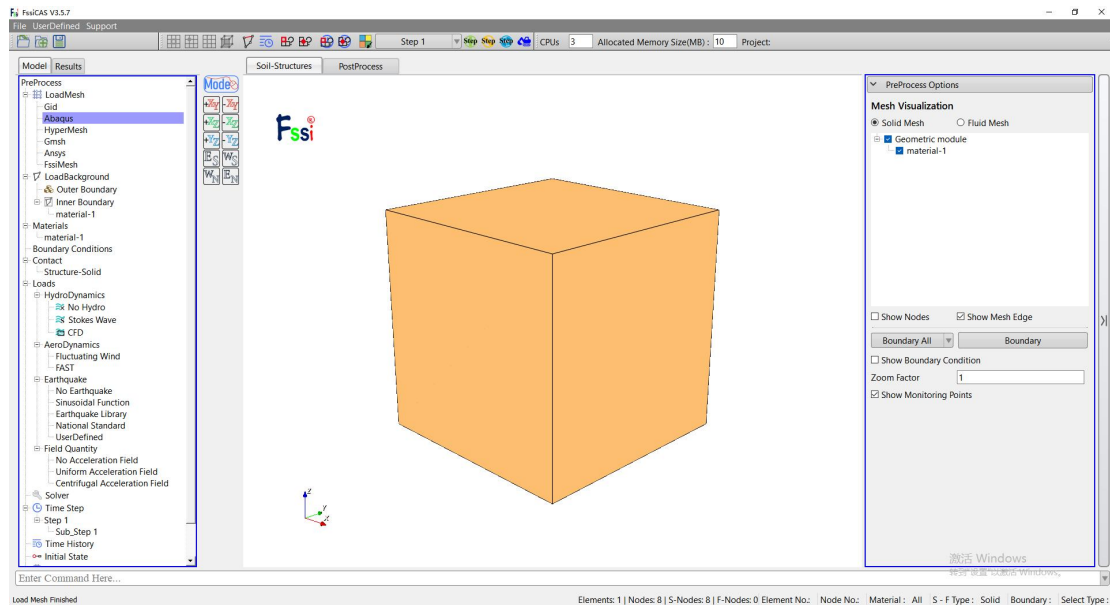


图 3 几何模型的显示

### 1.1.3 设置初始应力场

为模拟围压 $\sigma_3 = 100\text{kPa}$  情况下, 孔隙比  $e_0 = 0.831$  Toyoura 砂的三轴排水试验(Dafalias et al. (2004)中 Fig. 9(b)), 需要利用弹性分析步 (Step 1) 提供一个初始应力状态。具体步骤如下:

#### (1) 设置边界条件

在  $x = 0$ 、 $y = 0$  以及  $z = 0$  的面上施加法线方向的位移约束; 在  $x = 0.1\text{m}$ 、 $y = 0.1\text{m}$  以及  $z = 0.1\text{m}$  的面上施加  $100\text{kPa}$  的压应力。边界条件施加成功后如图 4 所示。

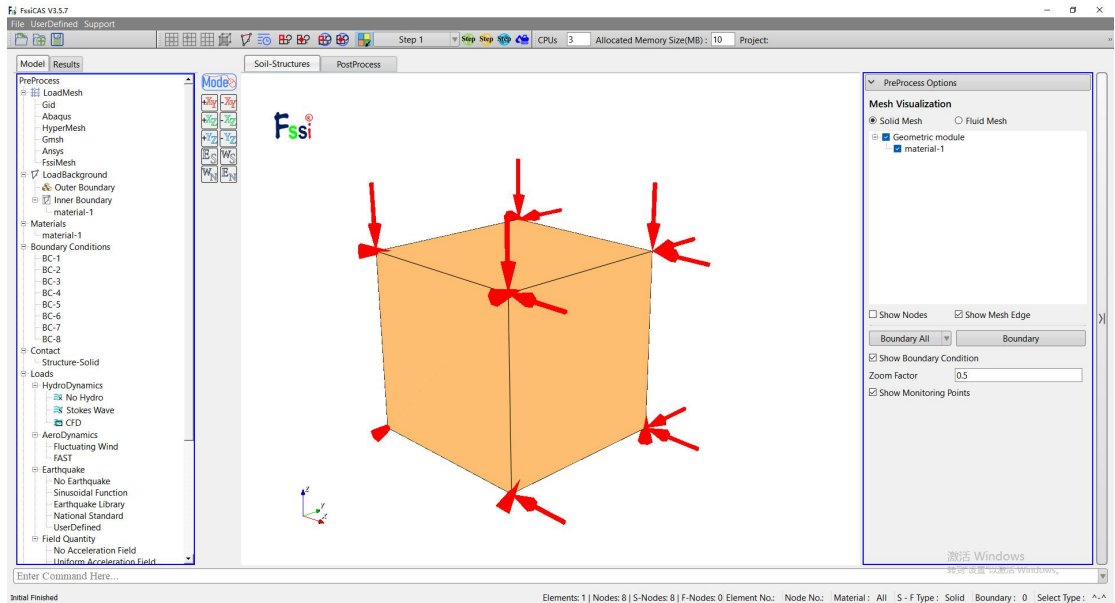


图 4 弹性分析步 Step 1 的边界条件

## (2) 设置计算参数

为保证弹性分析步结束后，单元体不会产生太大的应变，将弹性模量设置为一个较大值，如图 5 所示。注意：本案例不考虑重力对三轴试验结果的影响，因此，设置 Granular Density 为 0。

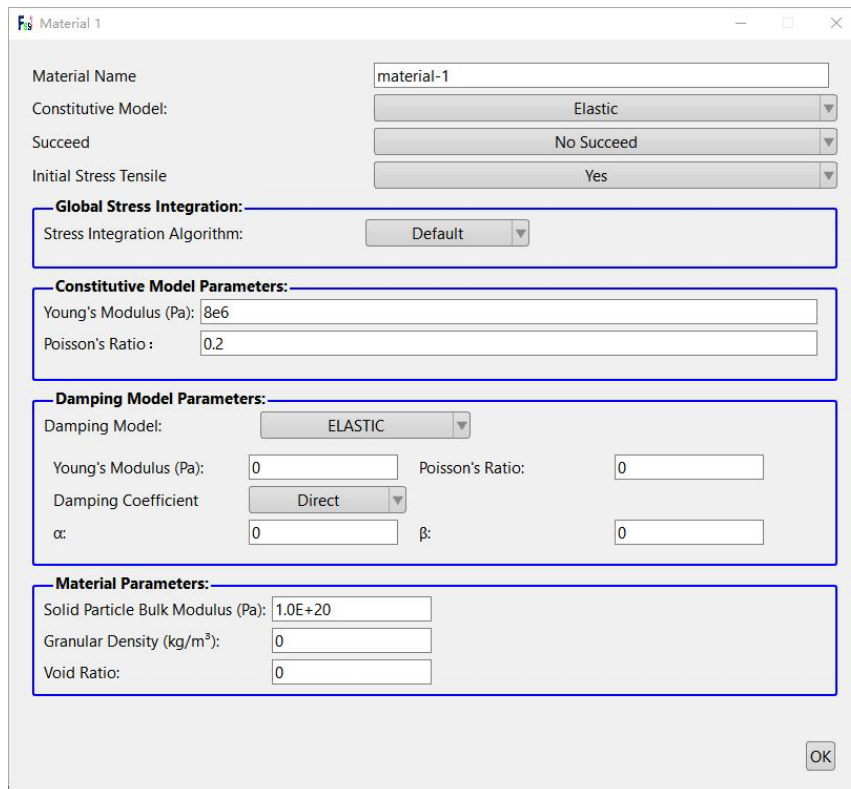


图 5 弹性分析步 Step 1 的计算参数

### (3) 设置 Step 1 求解器参数

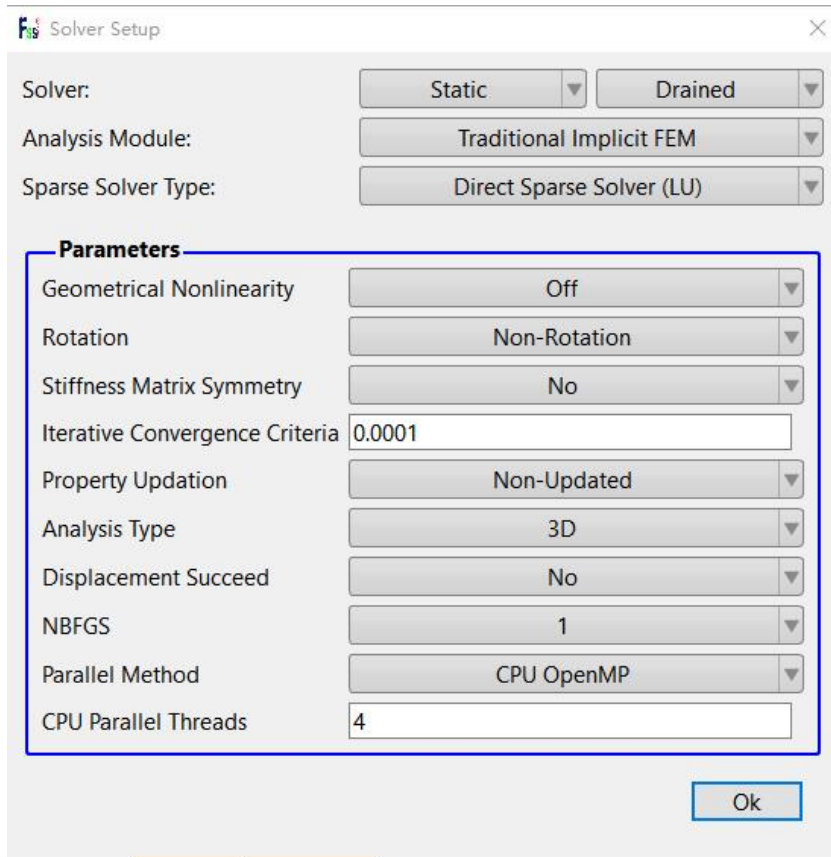


图 6 Step 1 的求解器参数

### (4) 设置时间步参数

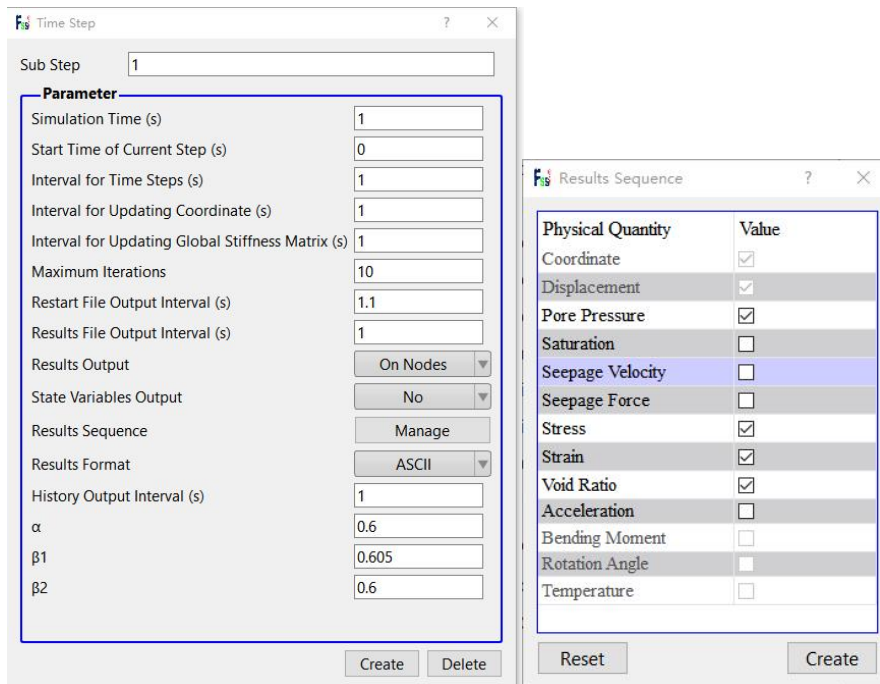


图 7 弹性分析步 Step 1 的参数

### (5) 设置初试状态

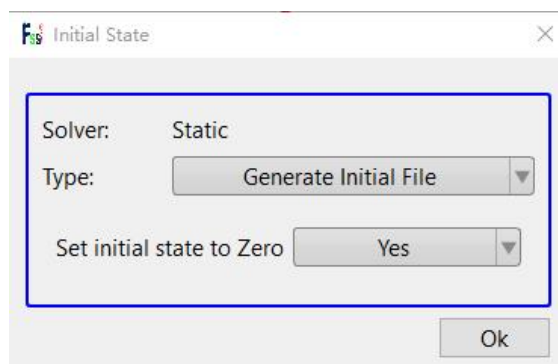



图 8 初试状态设置

### 1.1.4 模拟三轴排水压缩试验

基于 Step 1 提供的应力场，通过添加新的分析步模拟围压 $\sigma_3 = 100\text{kPa}$ 、孔隙比  $e_0 = 0.831$  Toyoura 砂的三轴排水压缩试验，具体步骤如下：

#### (1) 添加时间步

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，如图 9 所示。

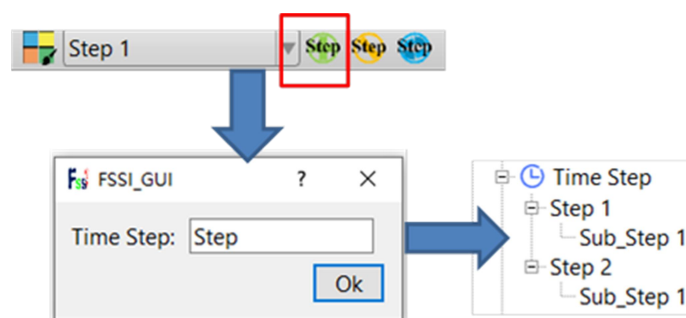


图 9 增加时间步的步骤示意图

#### (2) 施加边界条件

在 Step 2 中，除了延续 Step 1 的边界条件外，还需要在  $z = 0.1\text{m}$  的面上施加  $-0.027$  的位移边界来模拟三轴试验过程中施加 27% 的轴向应变。为此，通过添加位移时程曲线来实现该功能，具体步骤如图 10、11 所示。施加成功之后，Step 2 的边界条件如图 12 所示。

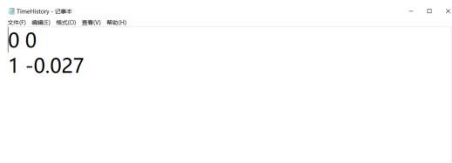


图 10 位移时程曲线的文本文件

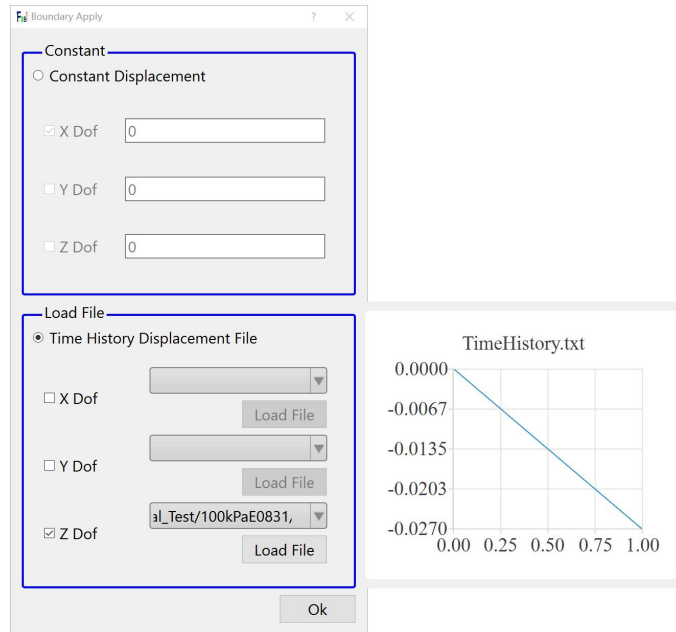


图 11 添加位移时程曲线

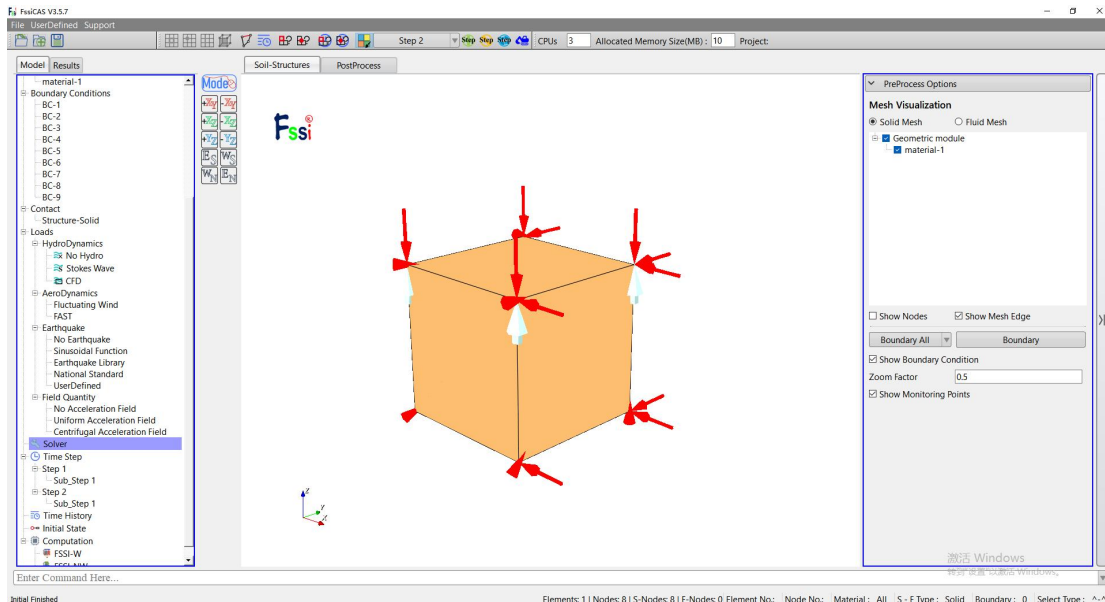


图 12 Step 2 的边界条件

### (3) 设置计算参数

在 Step 2 的材料属性设置对话框里，选择 Bounding Surface Sanisand(2004) 模型，具体参数如图 13 所示。

The screenshot shows the 'Material 1' dialog box with the following settings:

- Material Name:** material-1
- Constitutive Model:** Bounding Surface\_Dafalias (2004)
- Succeed:** No Succeed
- Initial Stress Tensile:** Yes
- Global Stress Integration:**
  - Stress Integration Algorithm: Default
- Constitutive Model Parameters:**
  - $P_0$ : 101
  - $e_0$ : 0.934
  - $\lambda$ : 0.019
  - $\xi$ : 0.7
  - $M_c$ : 1.25
  - $M_e$ : 0.89
  - $m$ : 0.01
  - $G_0$ : 125
  - $v$ : 0.05
  - $h_0$ : 7.05
  - $c_n$ : 0.968
  - $n^p$ : 1.1
  - $A_0$ : 0.704
  - $n_d$ : 3.5
  - $z_{max}$ : 4
  - $C_z$ : 600
  - $k_{wz}$ : 0
- Damping Model Parameters:**
  - Damping Model: ELASTIC
  - Young's Modulus (Pa): 0
  - Poisson's Ratio: 0
  - Damping Coefficient: Direct
  - $\alpha$ : 0
  - $\beta$ : 0
- Material Parameters:**
  - Solid Particle Bulk Modulus (Pa): 1.0E+20
  - Granular Density (kg/m<sup>3</sup>): 0
  - Void Ratio: 0.831

图 13 Bounding Surface Sanisand(2004)本构模型参数

#### (4) 设置 Step 2 求解器参数

为保证计算的收敛性以及结果的可靠性，本案例设置 Step 2 的迭代收敛标准为  $1e-5$ ，最大迭代步数为 100，如图 14 所示。



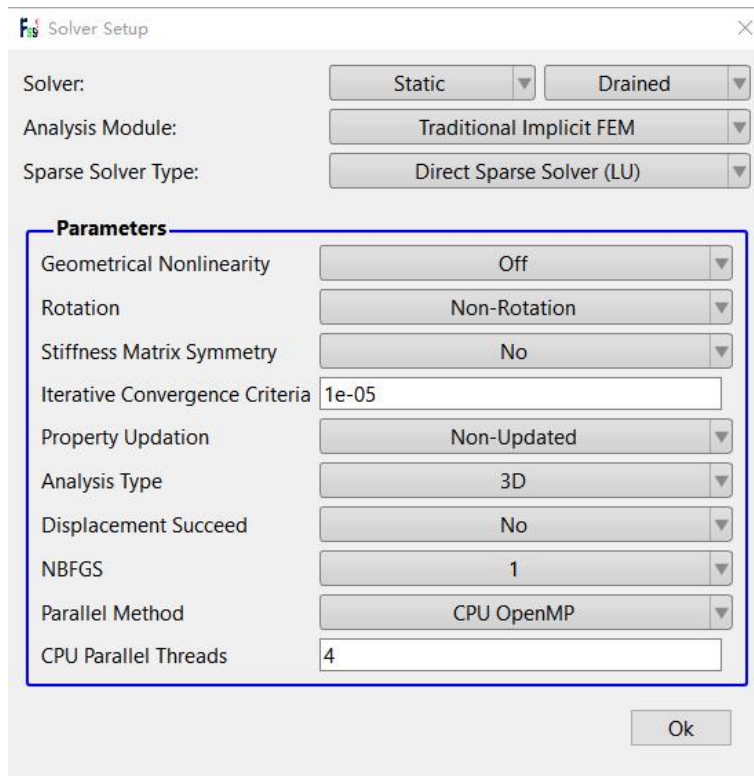


图 14 Step 2 的求解器参数

(5) 设置时间步参数

注意：在 Step 2 中的计算过程中，设置坐标更新的时间为 1(即不更新坐标)。

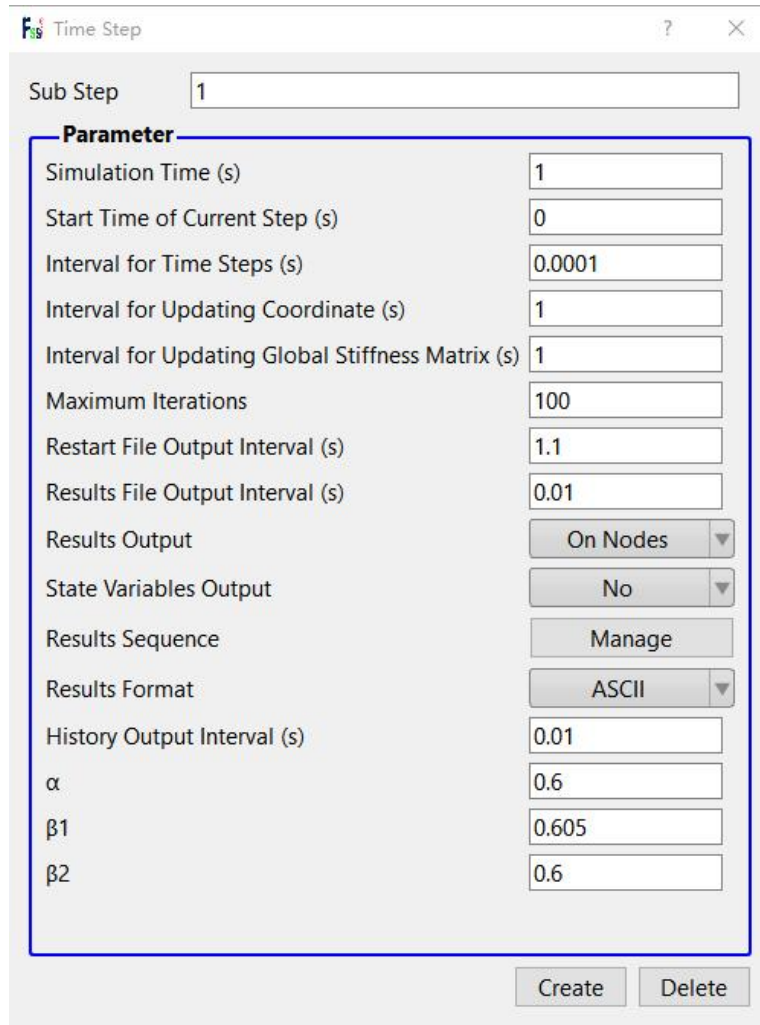


图 15 Step 2 的时间步参数

(6) 设置初试状态

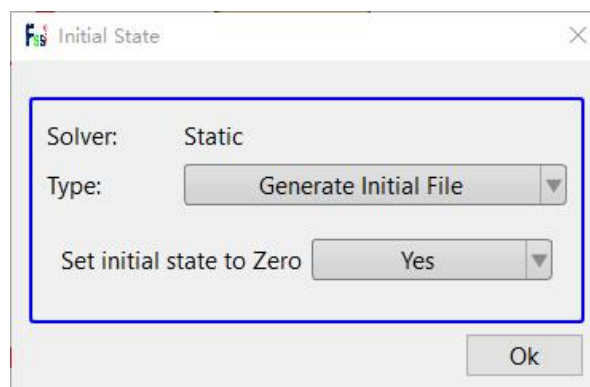


图 16 Step 2 的初试状态设置

### 1.1.5 设置输出参数



通过按钮，输出单元内任意一个高斯点的应力、应变以及位移数据。

本案例输出节点 1 的位移以及高斯点 1 上的应力应变，如图 17 所示。

Coordinate	Type	No.	
(0.10000,0.10000,0.10000)	Element_Strain	1	×
(0.10000,0.10000,0.10000)	Element_Stress	1	×
(0.10000,0.10000,0.10000)	Node_Disp_X	1	×
(0.10000,0.10000,0.10000)	Node_Disp_Y	1	×
(0.10000,0.10000,0.10000)	Node_Disp_Z	1	×

图 17 输出时程数据

### 1.1.6 计算并保存

点击树状菜单栏内的 Computation-FSSI-W，在弹出的对话框中选择 All Step 进行计算。点击 OK 后，软件会提示将结果文件以及条件设置进行保存，选择一个文件夹进行保存后，即可进行计算。

## 1.2 FssiCAS 图形界面操作——后处理

用户点击树状菜单栏上的 Results，即可进入后处理界面。

## 1.2.1 加载文件

点击在后处理界面上 Results 树状菜单栏中的 Open Results File, 在弹出的窗口中点击 Soil Result Files Director—Load Files, 选择需要处理的结果文件夹, 即可进入后处理阶段, 如图 18 所示。

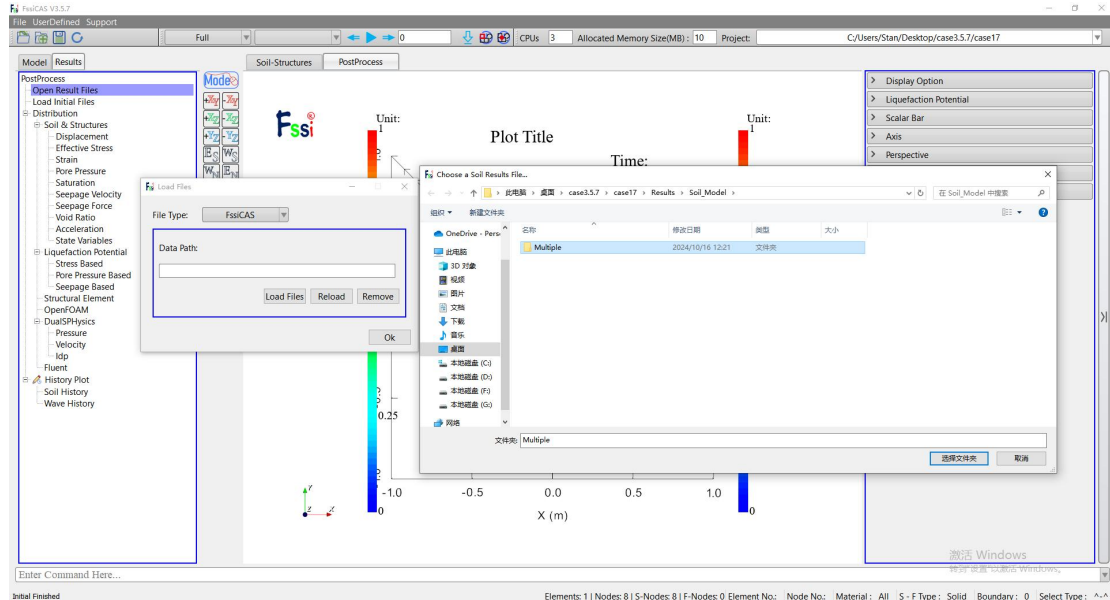


图 18 加载结果文件

## 1.2.2 绘制分布图

在树状菜单栏中点击 Effective Stress, 可以在在工具栏 2 中显示选择, 在工具栏 2 的输入窗口   处输入时间步, 按键盘上的“回车键”, 即可在工作区中显示该时间步的  $x$  方向的应力分布图;

当时间步为 1s 时,  $x$ 、 $y$  以及  $z$  方向应力分布图如图 19、20 以及 21 所示; 当时间步为 2s 时,  $x$ 、 $y$  以及  $z$  方向应力分布图如图 22、23 以及 24 所示。

当时间步为 1s 时,  $z$  方向应变分布图如图 25 所示; 当时间步为 2s 时,  $z$  方向应变分布图如图 26 所示。

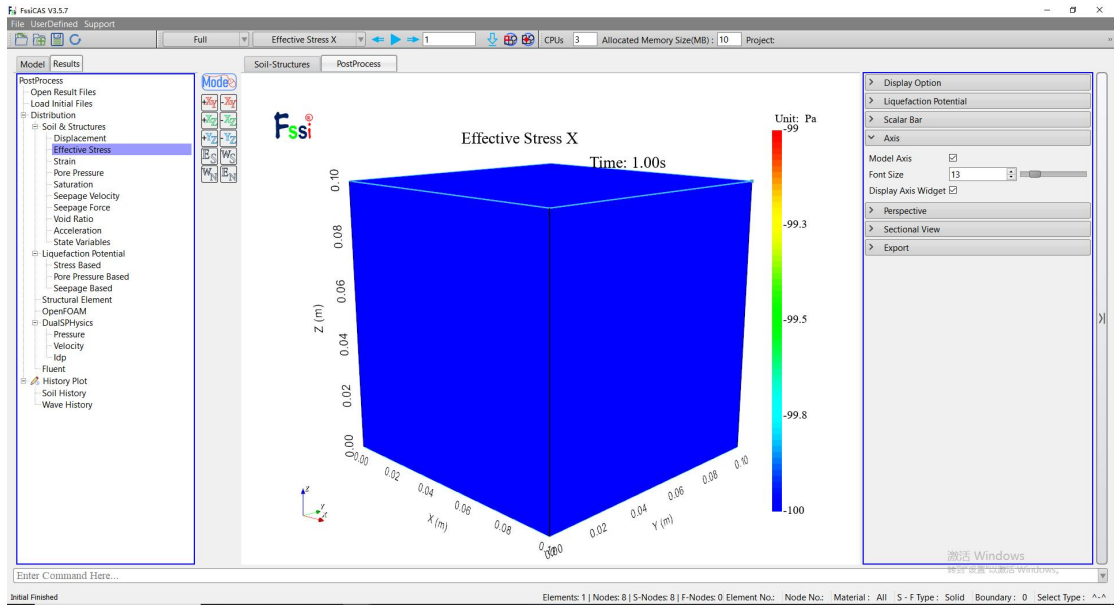


图 19 Step 1 结束时 x 方向应力分布图

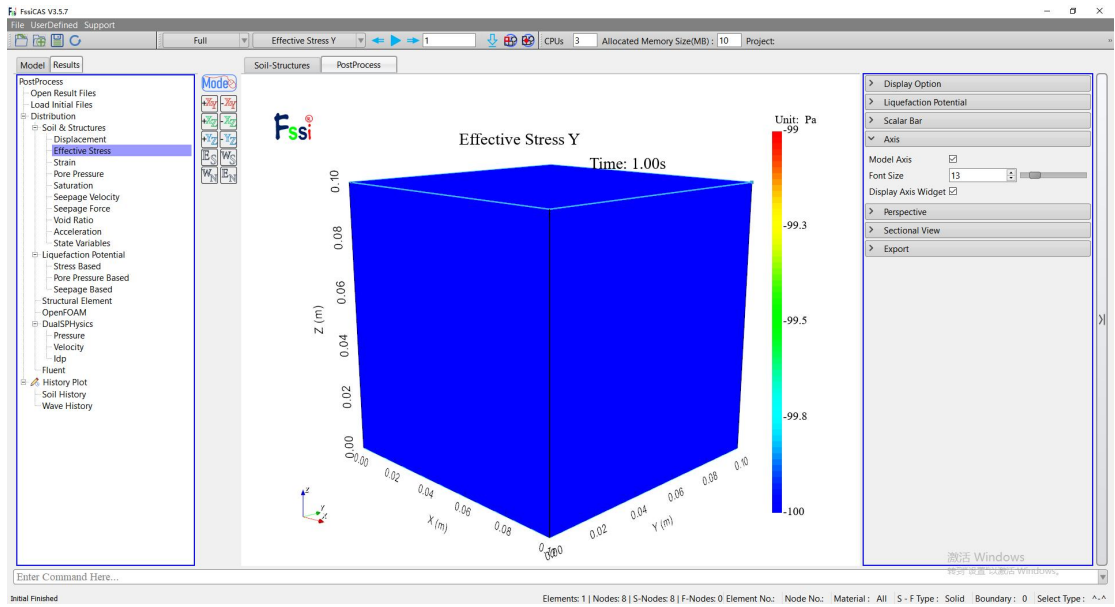


图 20 Step 1 结束时 y 方向应力分布图

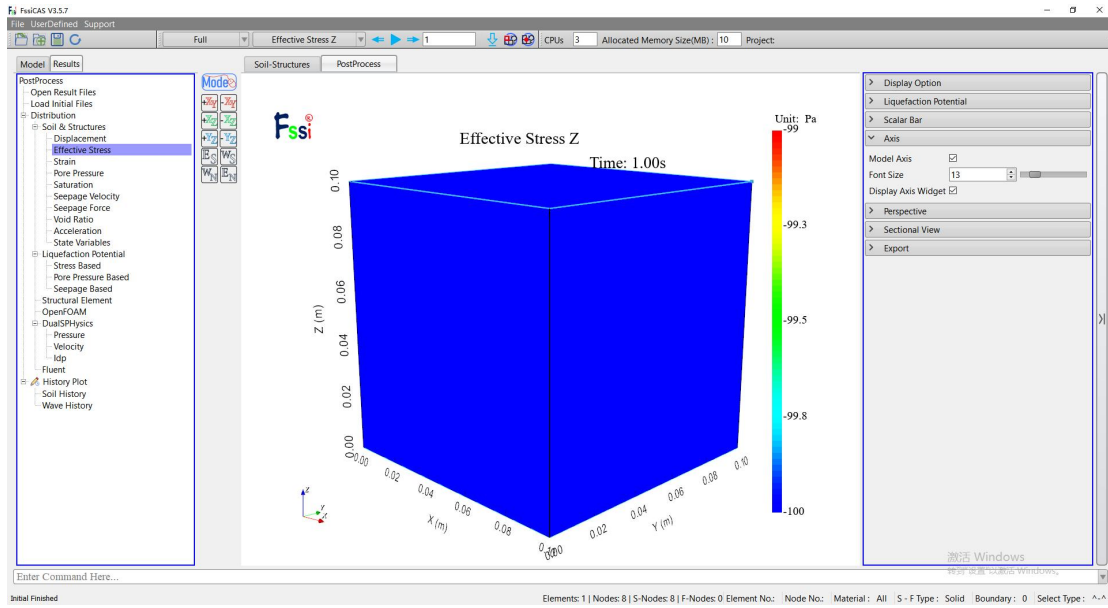


图 21 Step 1 结束时  $z$  方向应力分布图

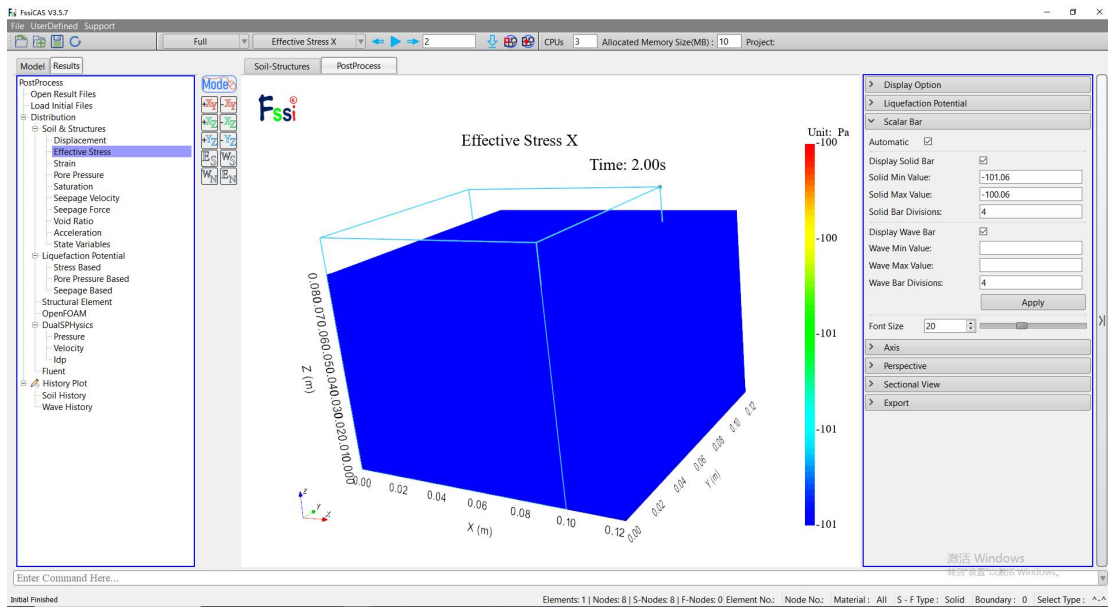


图 22 Step 2 结束时  $x$  方向应力分布图

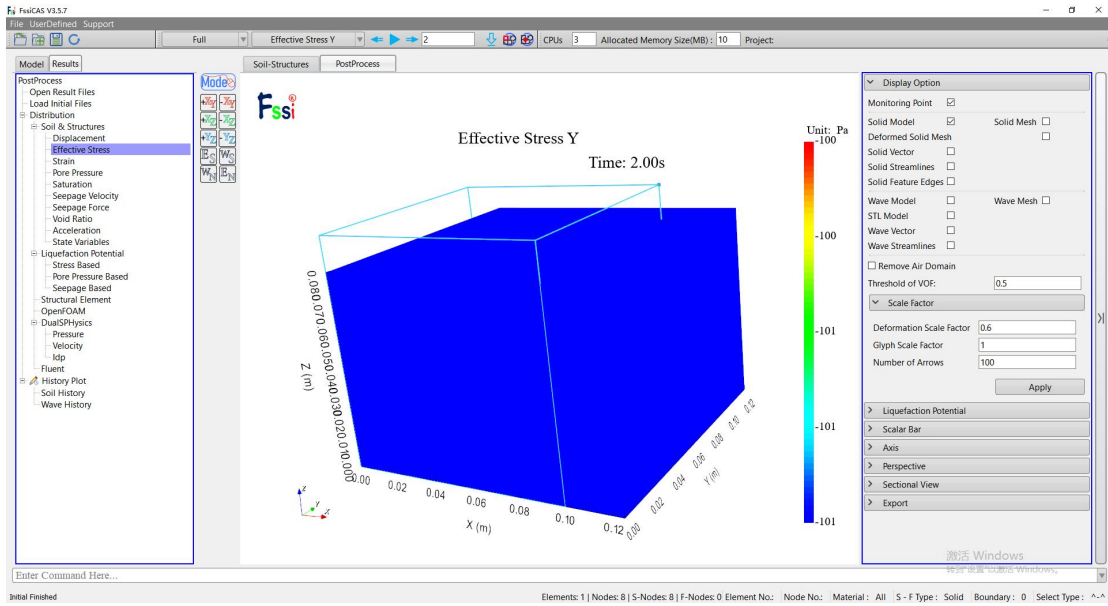


图 23 Step 2 结束时  $y$  方向应力分布图

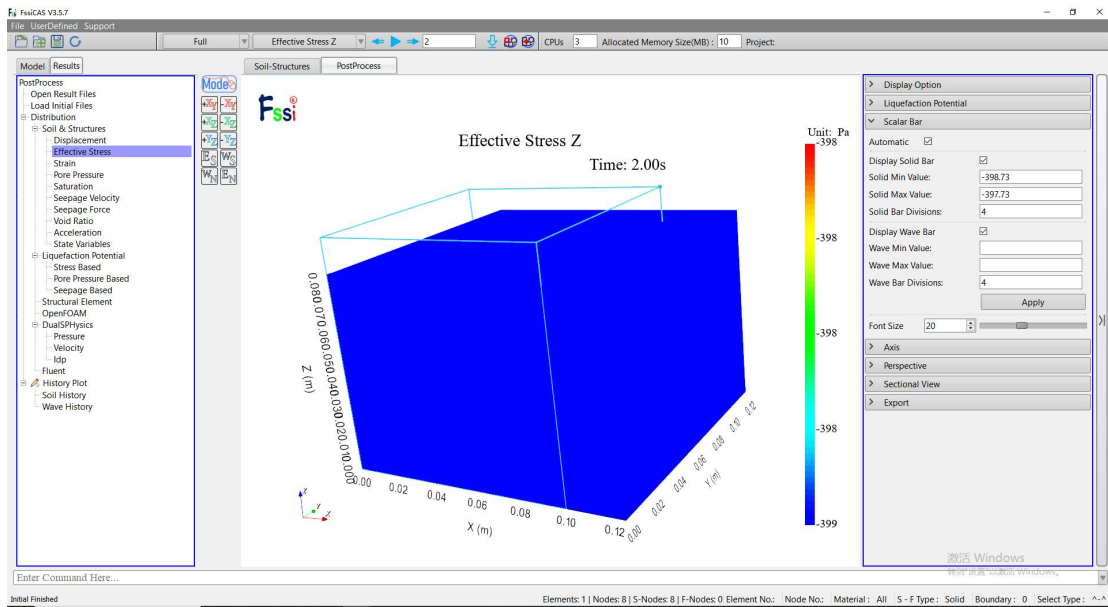


图 24 Step 2 结束时  $z$  方向应力分布图

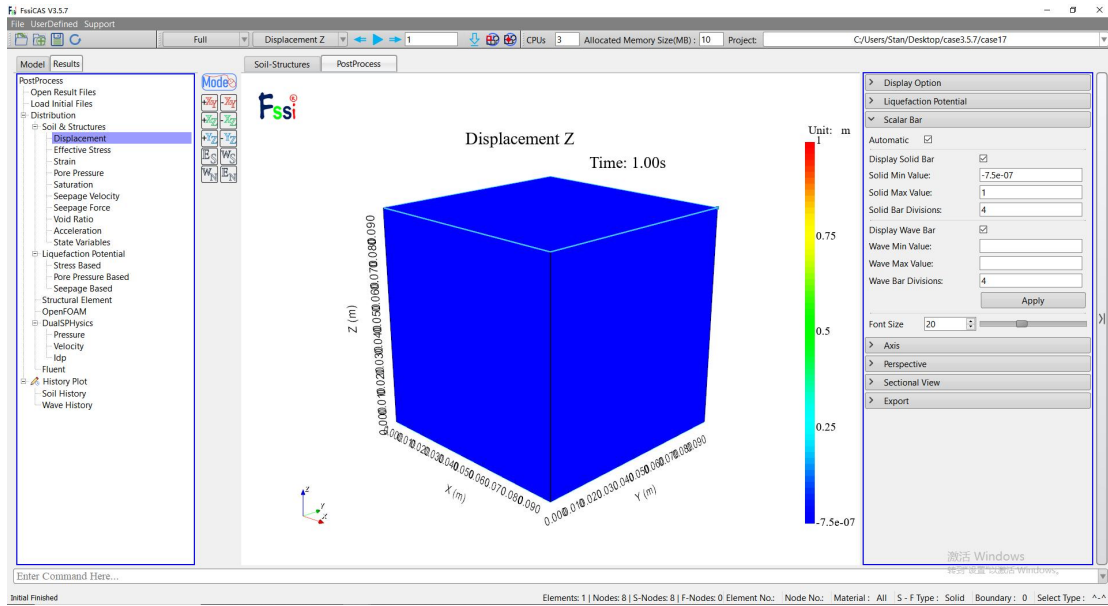


图 25 Step 1 结束 z 方向位移分布图

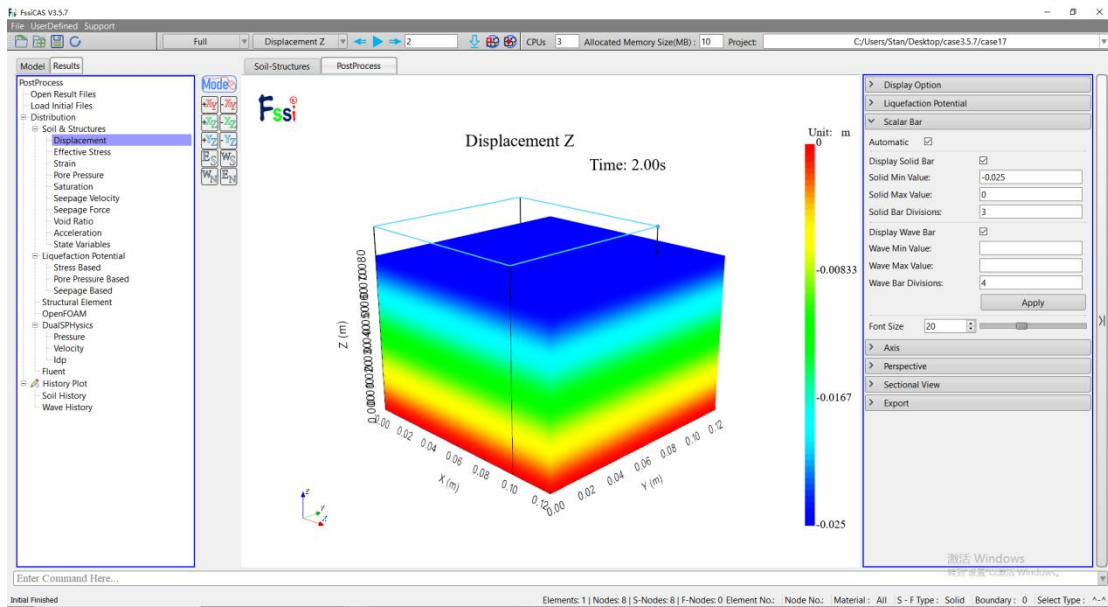


图 26 Step 2 结束时 z 方向位移分布图

### 1.3 结果对比

利用 Matlab 读取 TimeHistory 中的相关数据, 绘制轴向应变与偏应力曲线, 并与 Dafalias et al. (2004) 中 Fig. 9(b) 中的数据对比, 对比结果如图 27 所示。



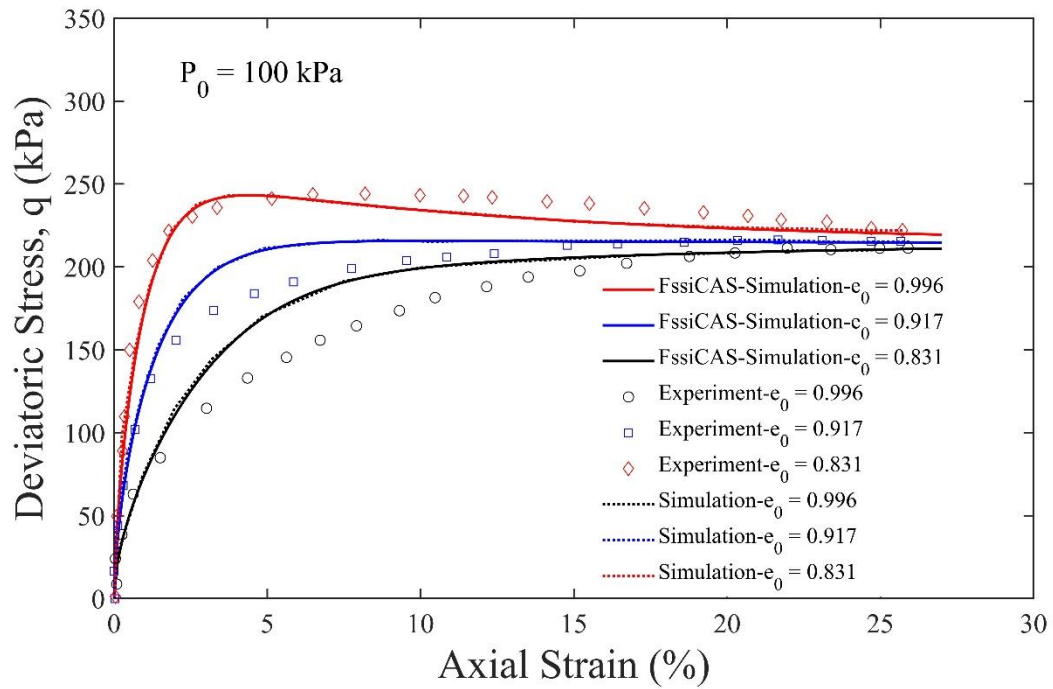


图 27 FssiCAS 上搭载的 Sanisand(2004)模型的三轴排水压缩试验计算结果与 [Dafalias et al. \(2004\)](#) 中 Fig. 9(b) 中结果的对比

## Reference

Dafalias, Y. F., & Manzari, M. T. (2004). Simple Plasticity Sand Model Accounting for Fabric Change Effects. *Journal of Engineering Mechanics*, 130(6), 622-634. doi:doi:10.1061/(ASCE)0733-9399(2004)130:6(622)