

Clay Sand Unified Harding(CSUH)模型验证

本章节案例通过三轴排水压缩试验,介绍 Clay Sand Unified Harding 模型的使用过程。计算模型为边长为 1m 的六面体单元,如图 1 所示。

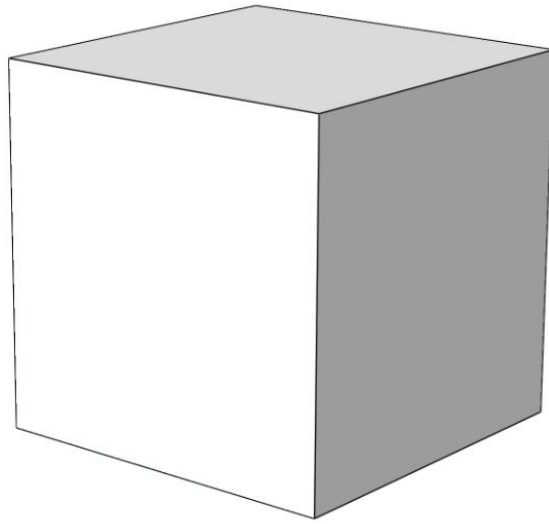


图 1 计算模型示意图

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 GID 中建立的六面体单元,如图 2 所示。

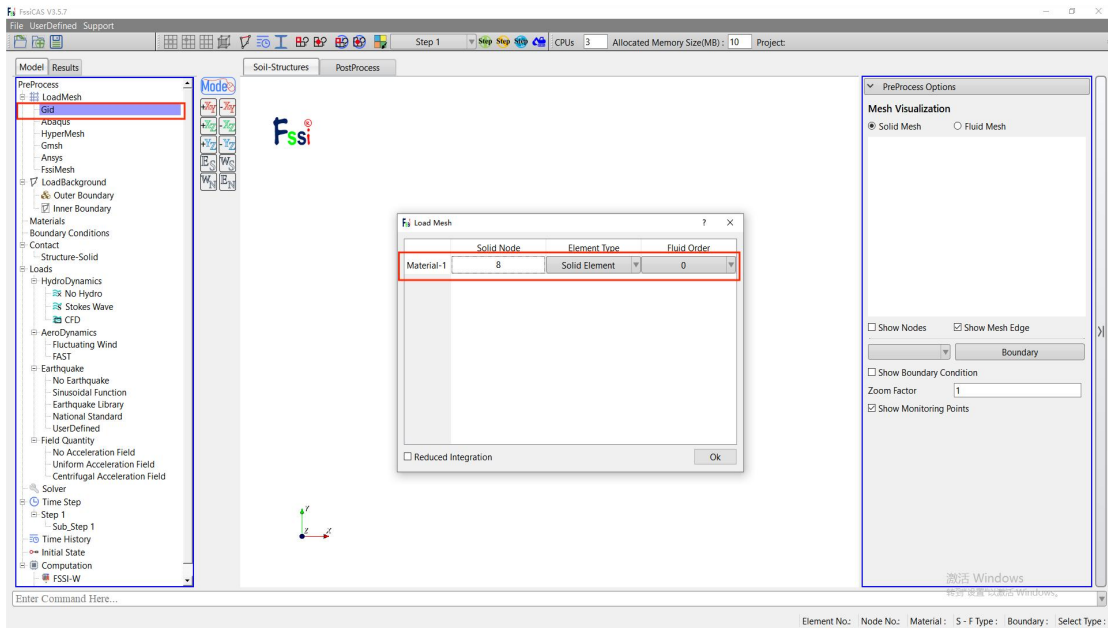


图 2 导入 GID 模型文件

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，固体节点数设置为 8，流体节点阶次设置为 0（即没有流体存在），点击 OK。在工作区中显示的几何模型如图 3 所示。

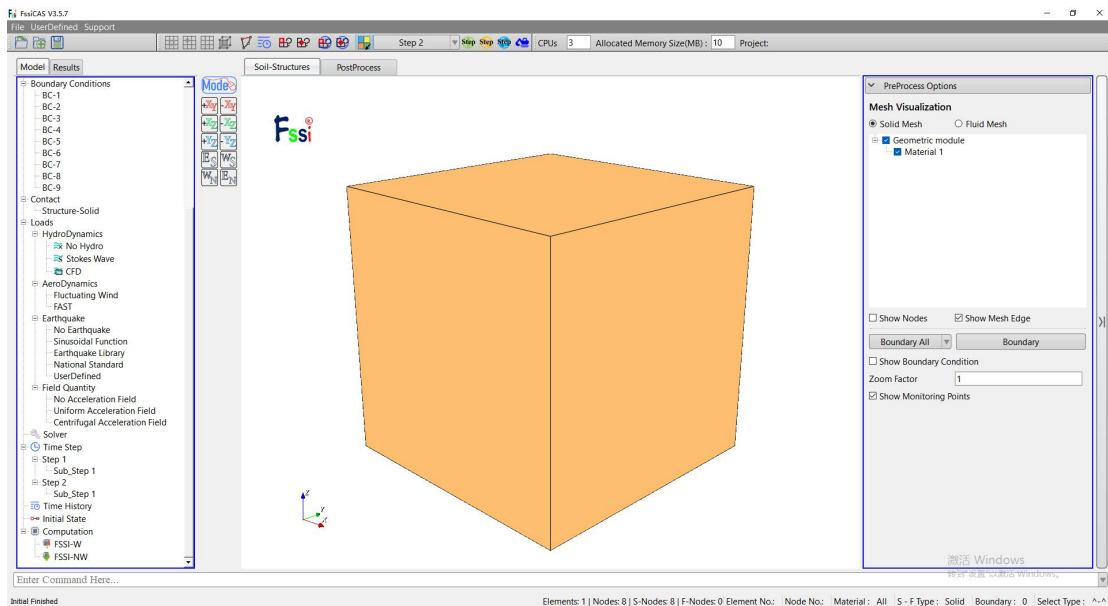


图 3 几何模型的显示

1.1.3 设置初始应力场

为模拟围压 $\sigma_3 = 3000\text{kPa}$ 、孔隙比 $e_0 = 0.833$ 的三轴排水压缩试验，需要利用弹性分析步 (Step 1) 提供一个初始应力状态场。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 $x = 1\text{m}$ 、 $y = 1\text{m}$ 以及 $z = 1\text{m}$ 的面上施加 3000kPa 的压应力。边界条件施加完成后如图 4 所示。

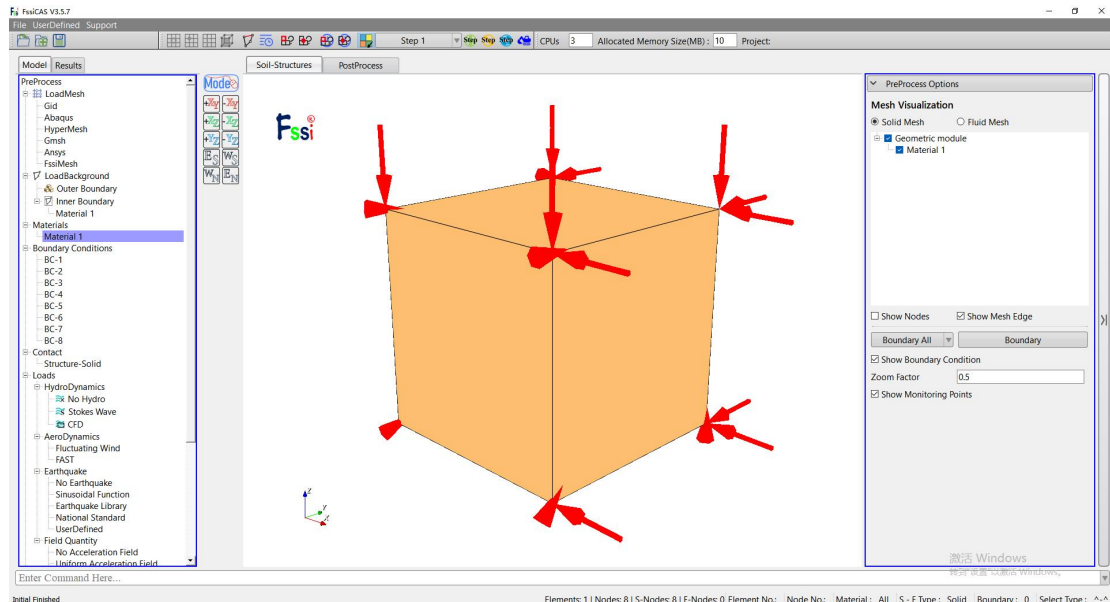


图 4 弹性分析步 Step 1 的边界条件

(2) 设置本构参数

为保证弹性分析步结束时，单元体不会产生太大的应变，因此将弹性模量设置为一个较大值，如图 5 所示。注意：由于不考虑重力的影响，所以设置 Granular Density = 0。

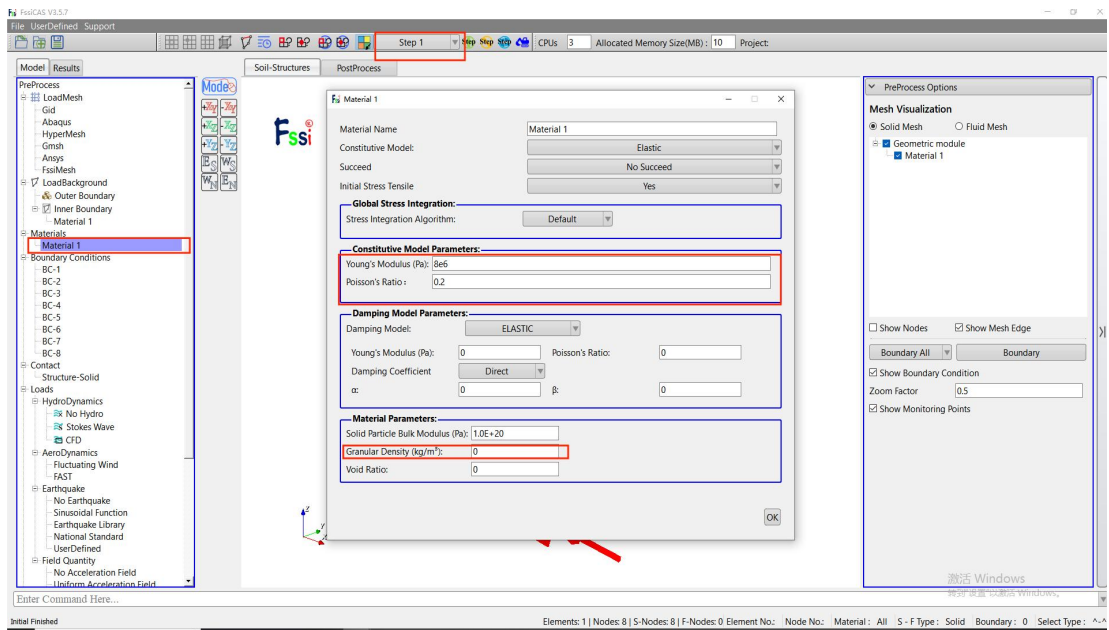


图 5 弹性分析步 Step 1 的计算参数

(3) 设置 Step 1 求解器参数

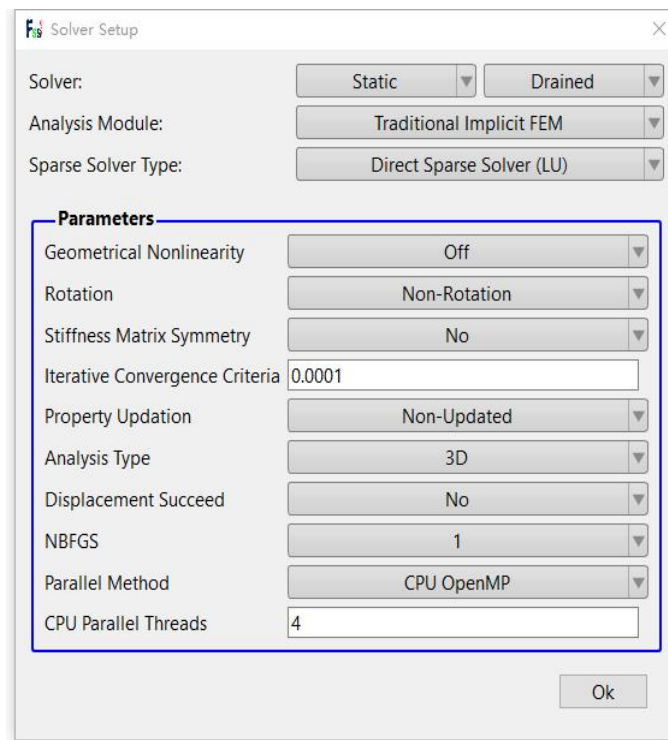


图 6 弹性分析步 Step 1 的求解器参数

(4) 设置时间步参数

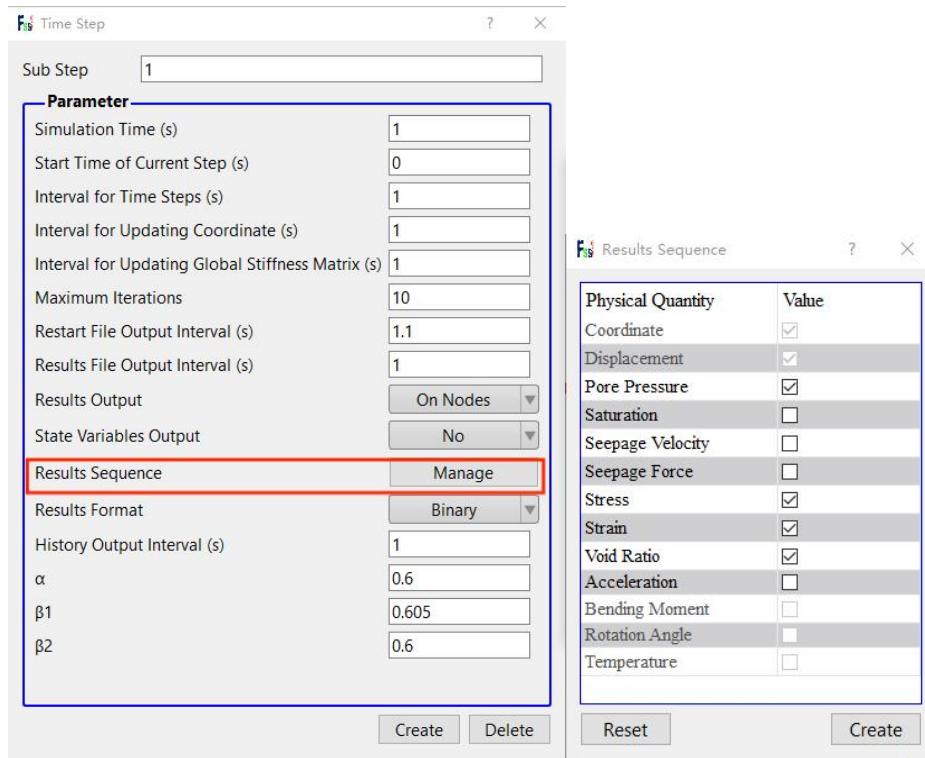


图 7 弹性分析步 Step 1 的参数

(5) 设置初试状态

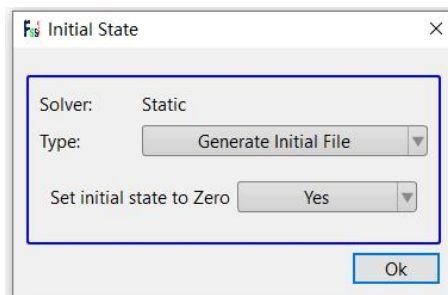



图 8 初试状态设置

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 $\sigma_3 = 3000\text{kPa}$ 、孔隙比 $e_0 = 0.833$ 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。

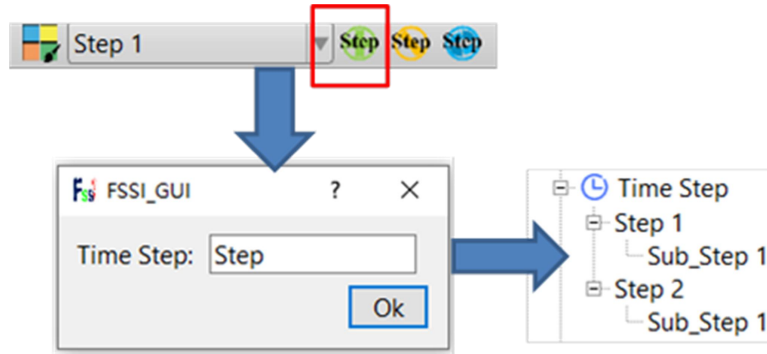


图 9 增加时间步的步骤示意图

(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 $z = 0.1\text{m}$ 的面上施加动态的位移边界，以模拟三轴试验的加卸载过程。为此，需要通过添加位移时程曲线来实现该功能，如图 10、11 所示。施加成功之后，Step 2 的边界条件如图 12 所示。

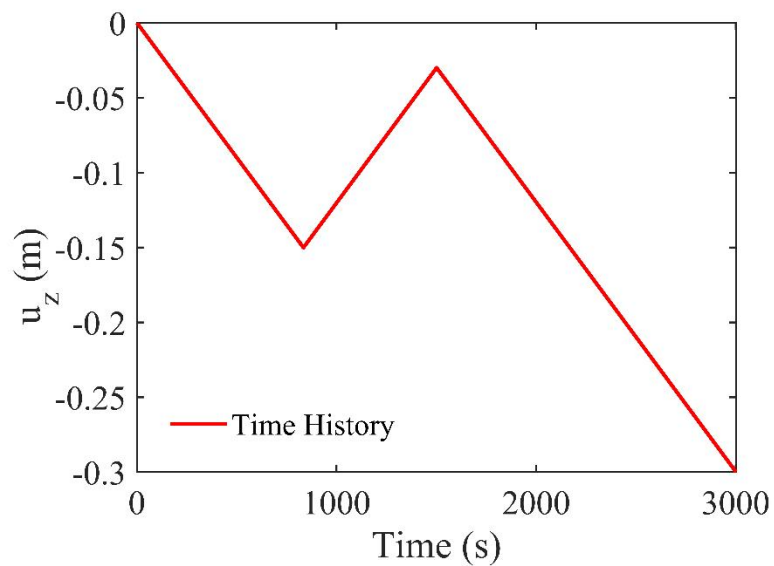


图 10 位移时程曲线

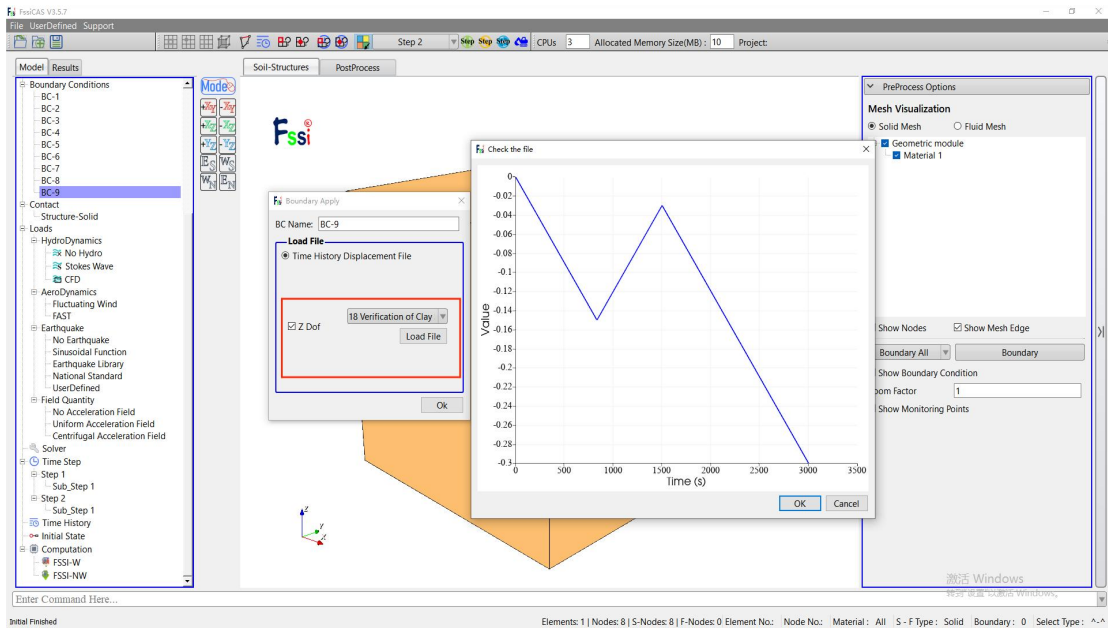


图 11 添加位移时程曲线

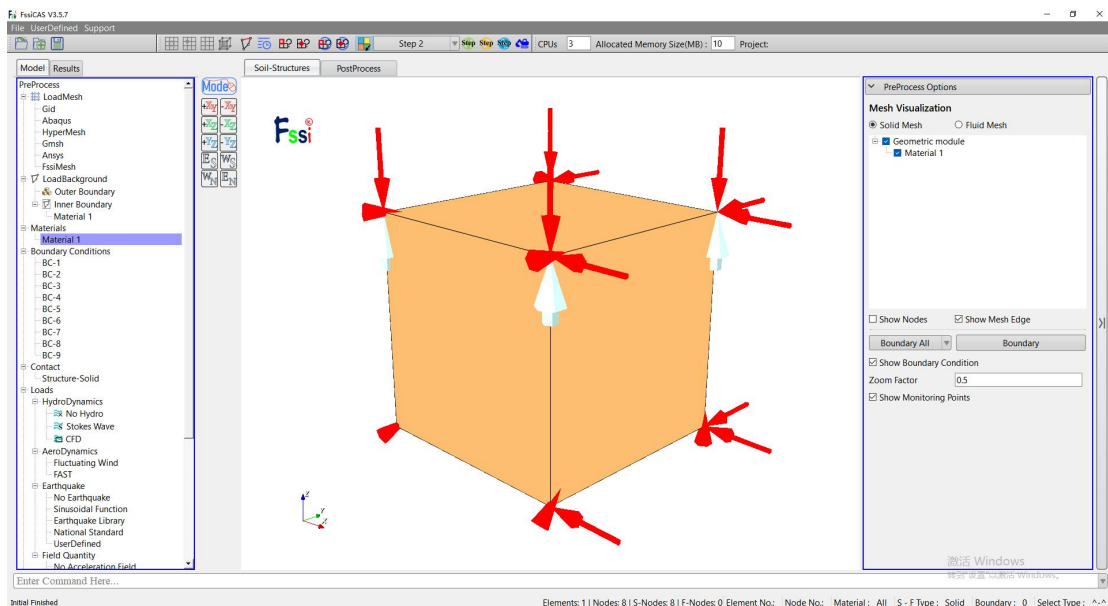


图 12 Step 2 的边界条件

(3) 设置计算参数

在 Step 2 的材料属性设置对话框里，选择 Clay Sand Unified Harding Model 本构模型，计算参数如图 13 所示。需要注意的是：为模拟正常固结粘土的应力应变特征，本部分设置先期固结压力为 0kPa。除此之外，为满足实际工程和单

元体试验的数值计算，FssiCAS 提供了三种考虑 CSUH 模型中先期固结压力 P_x 的方法，如图 14 所示。

The screenshot displays the 'Material 1' configuration window in FssiCAS. The 'Constitutive Model' is set to 'Clay Sand Unified Hardening (Yao)'. The 'Global Stress Integration' section shows 'Stress Integration Algorithm' as 'Default'. The 'Constitutive Model Parameters' section includes the following values: M=1.25, N=1.937, v=0.3, c=0, κ=0.04, Z=0.934, λ=0.135, X=0.4, e₀=0.833, and m=1.8. The 'Pre Consolidation Pressure' is set to 'Value' with a value of 0. The 'Damping Model Parameters' section shows 'Damping Model' as 'ELASTIC', 'Young's Modulus (Pa)' as 0, 'Poisson's Ratio' as 0, 'Damping Coefficient' as 'Direct', α=0, and β=0. The 'Material Parameters' section shows 'Solid Particle Bulk Modulus (Pa)' as 1.0E+20, 'Granular Density (kg/m³)' as 0, and 'Void Ratio' as 0. The 'OK' button is visible at the bottom right.

图 13 Clay Sand Unified Hardening Model 本构模型参数设置

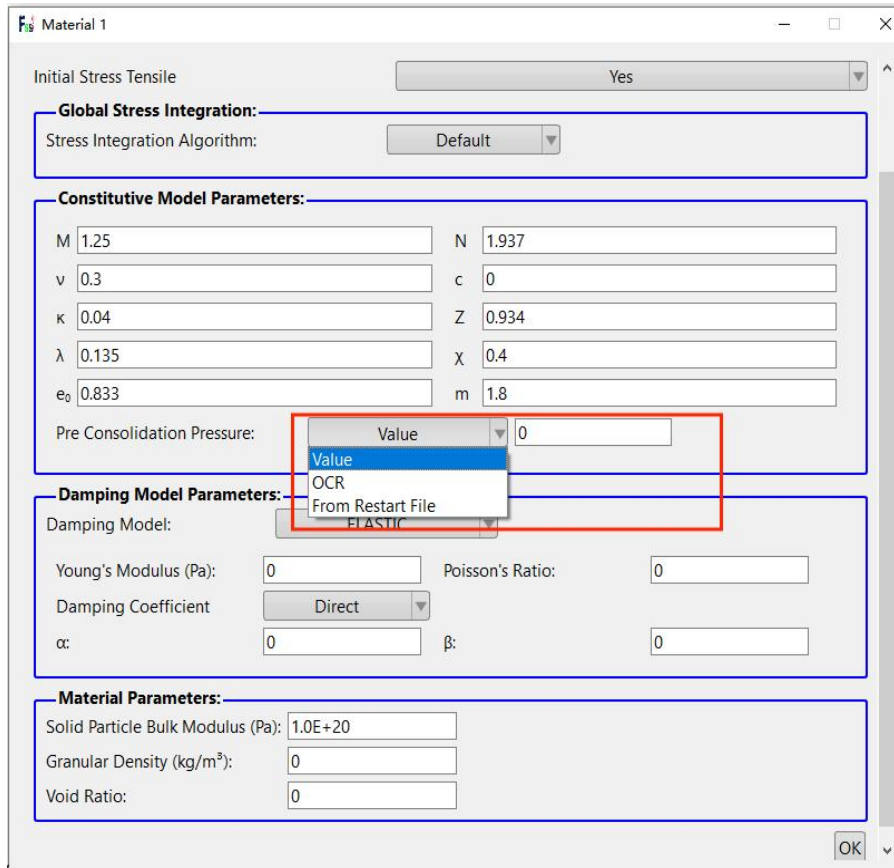


图 14 CSUH 模型中先期固结压力 P_x 的设置方法

(4) 设置求解器参数

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 $1e-4$ ，最大迭代步数为 100，如图 15 所示。为平衡初始固结引起的变形，在 Step 2 的求解器设置中，设置 Displacement Succeed 为 No。

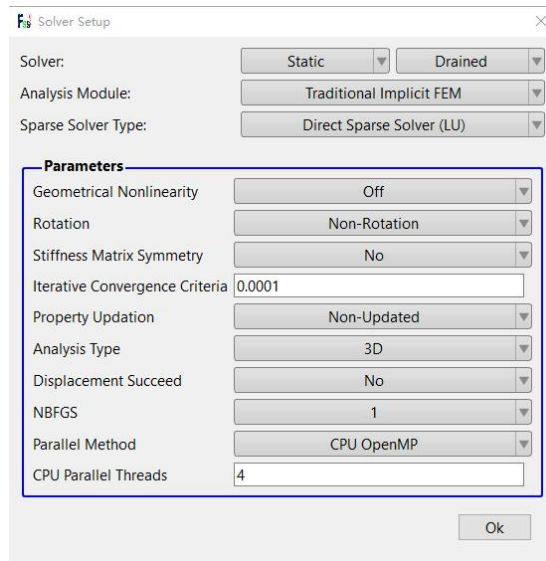


图 15 Step 2 的求解器参数

(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 3000(即不更新坐标)。

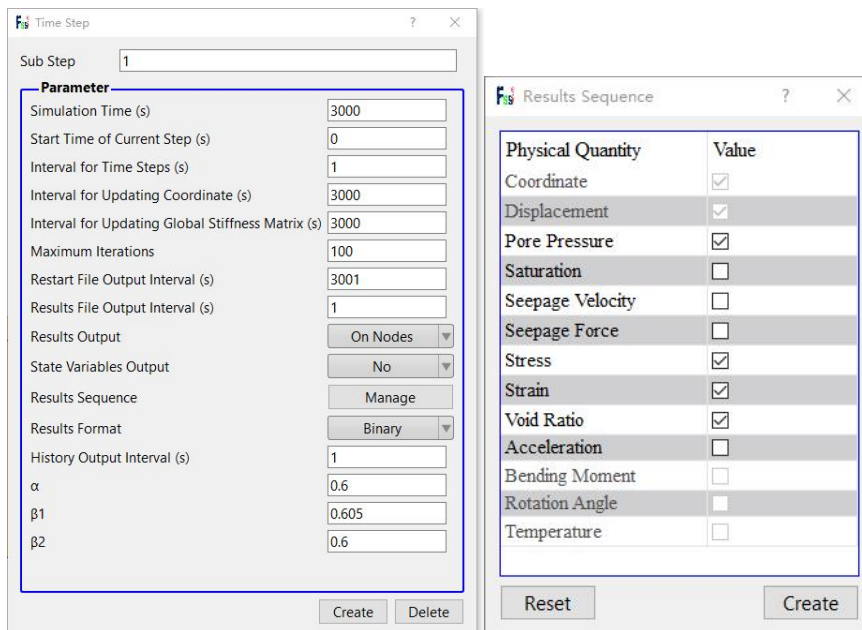


图 16 Step 2 的时间步参数

(6) 设置初试状态

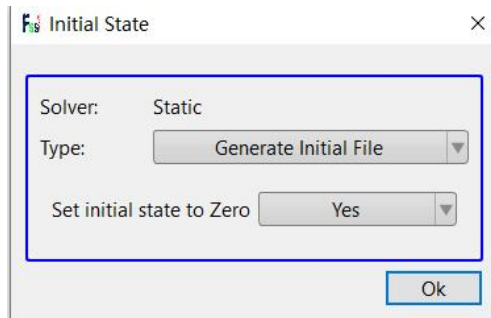

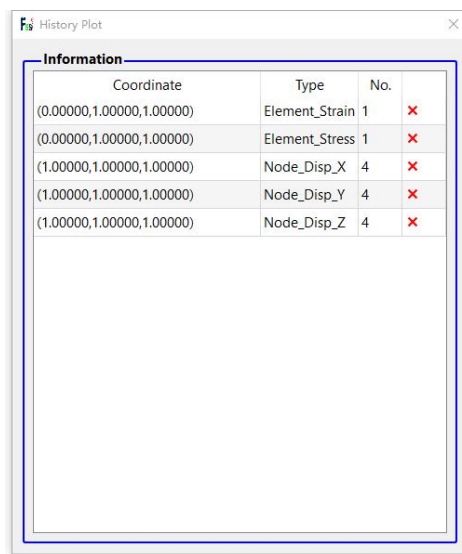


图 17 Step 2 的初试状态设置

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。施加完成结果，如图 18 所示。



Coordinate	Type	No.	
(0.00000,1.00000,1.00000)	Element_Strain	1	X
(0.00000,1.00000,1.00000)	Element_Stress	1	X
(1.00000,1.00000,1.00000)	Node_Displ_X	4	X
(1.00000,1.00000,1.00000)	Node_Displ_Y	4	X
(1.00000,1.00000,1.00000)	Node_Displ_Z	4	X

图 18 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，选择对应文件夹保存后，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 Load Files，即可进入后处理阶段，如图 19 所示。

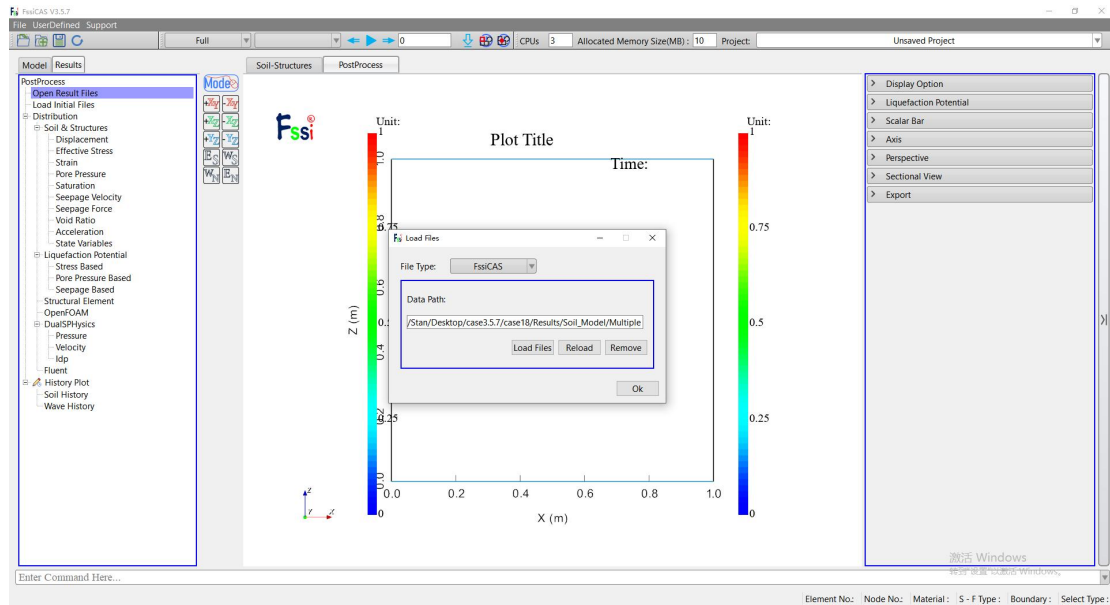


图 19 加载结果文件

1.2.2 绘制分布图

在树状菜单栏中点击 Effective Stress，可以在在工具栏中显示选择，在工具栏的输入窗口 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 20、21 以及 22 所示；
当时间步为 3000s 时， x 、 y 以及 z 方向应力分布图如图 23、24 以及 25 所示。

当时间步为 1s 时， z 方向应变分布图如图 26 所示；当时间步为 3000s 时， z 方向应变分布图如图 27 所示。

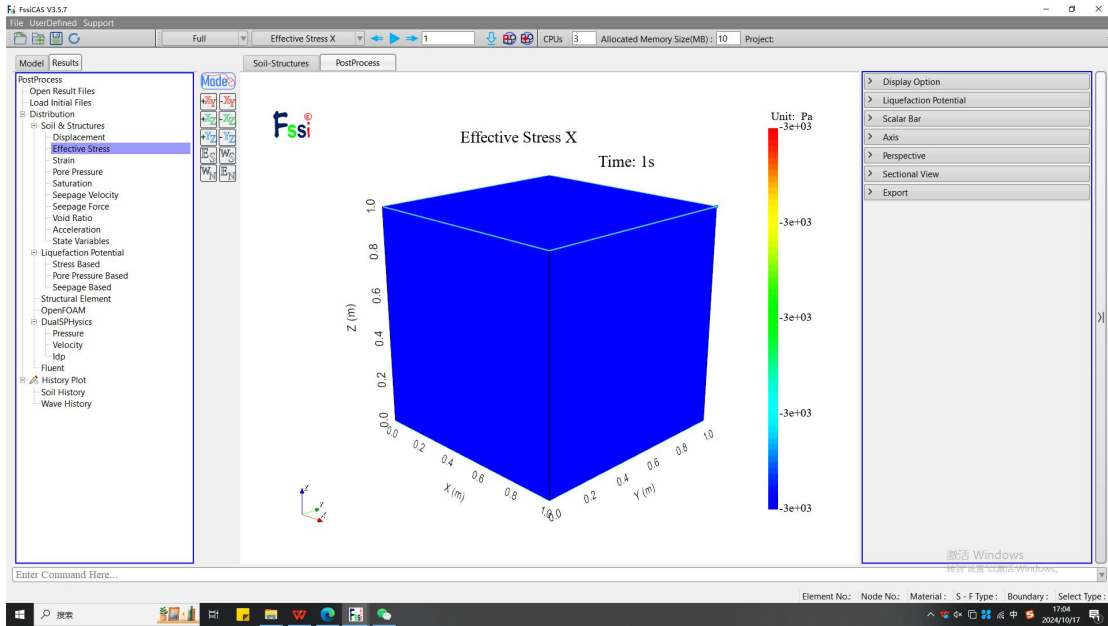


图 20 Step 1 结束时 x 方向应力分布图

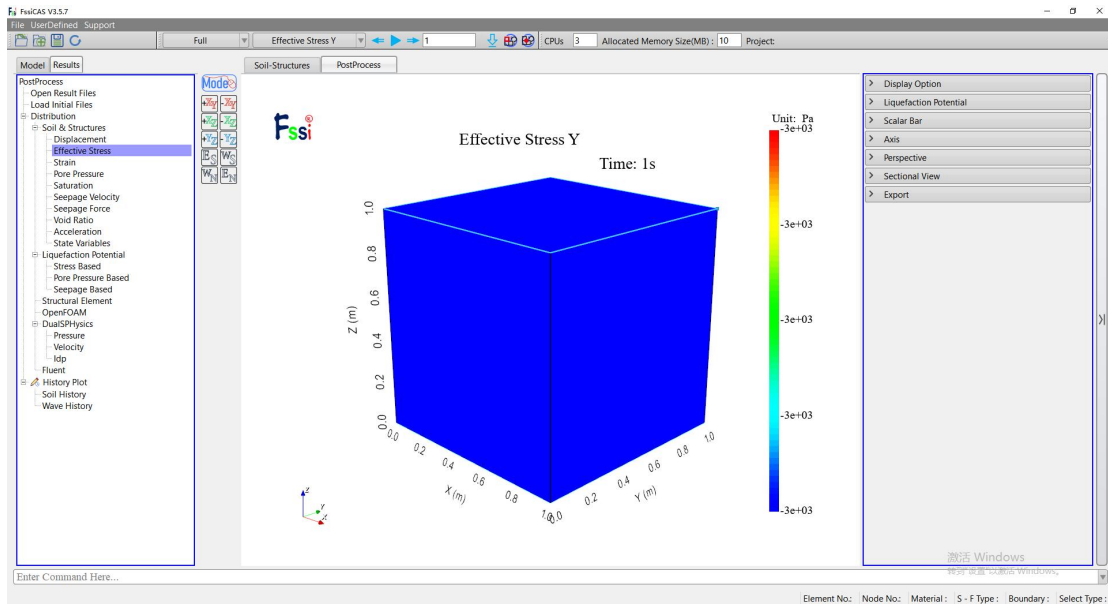


图 21 Step 1 结束时 y 方向应力分布图

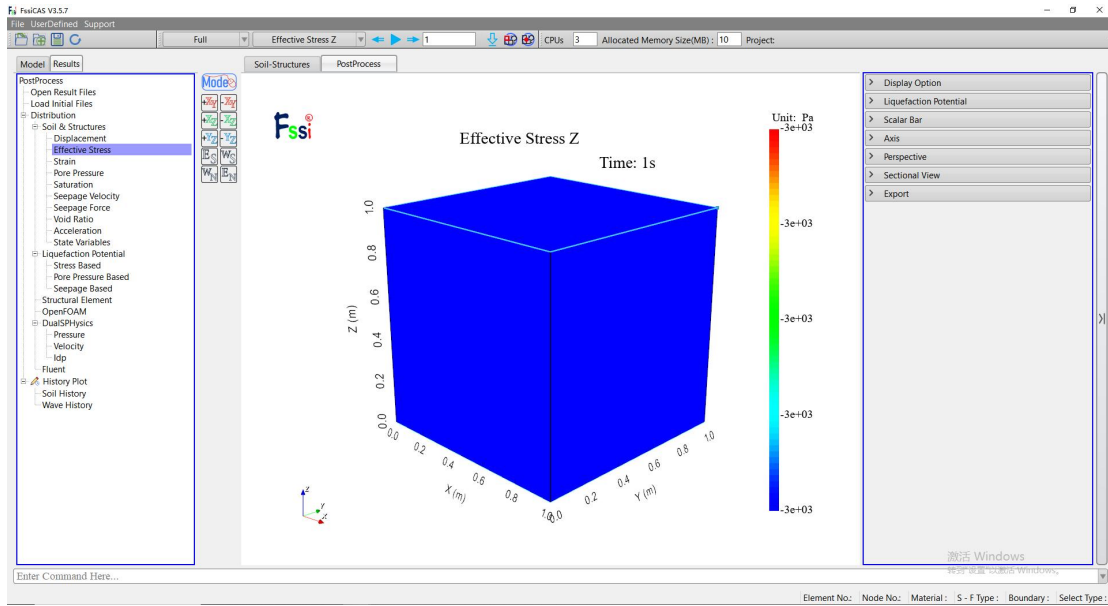


图 22 Step 1 结束时 z 方向应力分布图

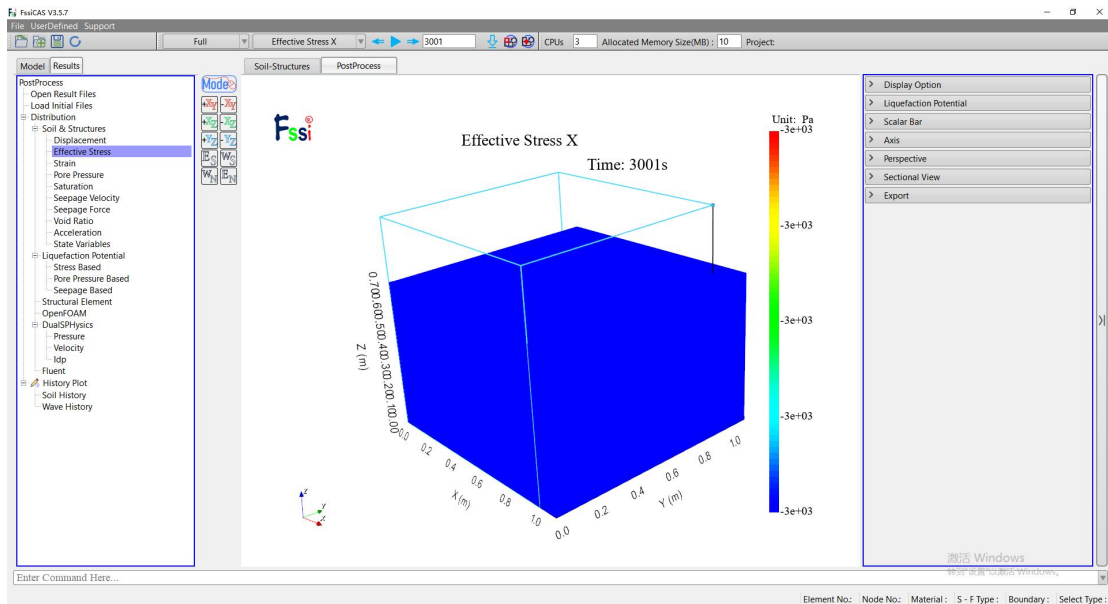


图 23 Step 2 结束时 x 方向应力分布图

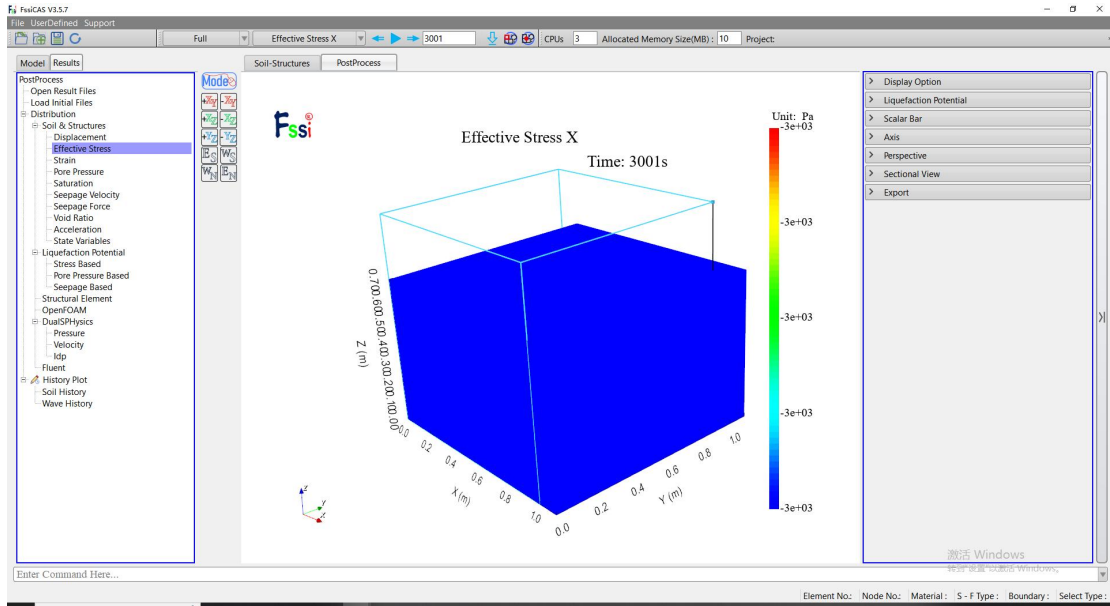


图 24 Step 2 结束时 y 方向应力分布图

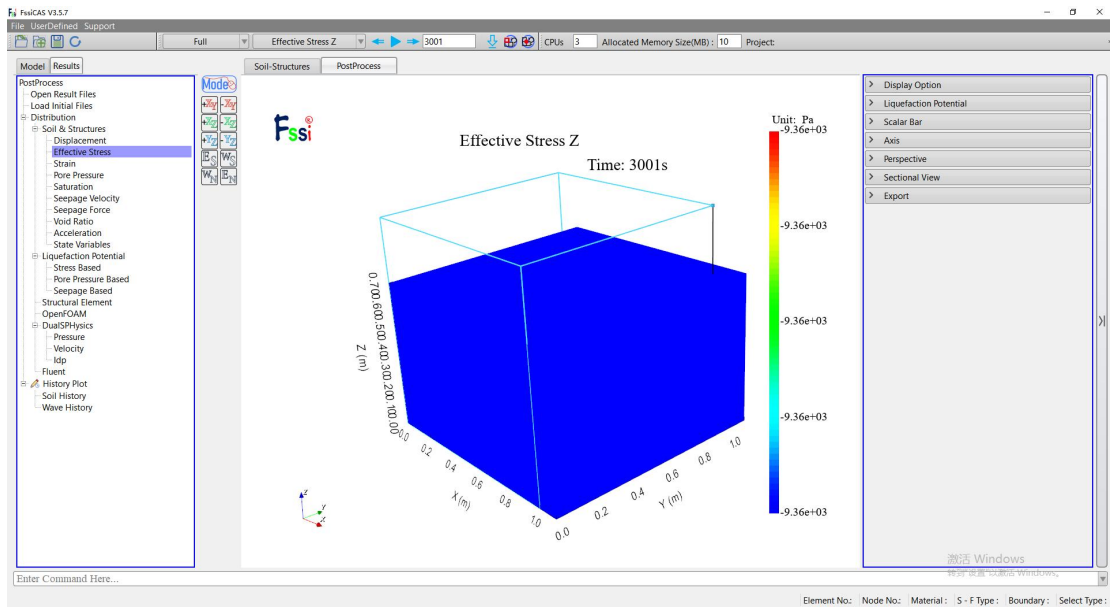


图 25 Step 2 结束时 z 方向应力分布图

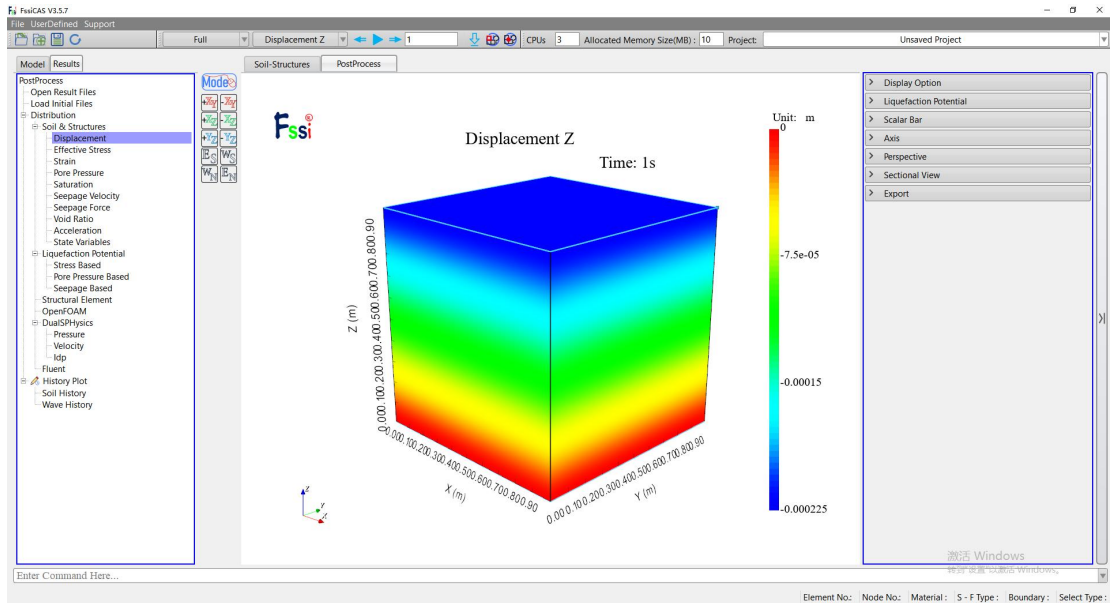


图 26 Step 1 结束 z 方向位移分布图

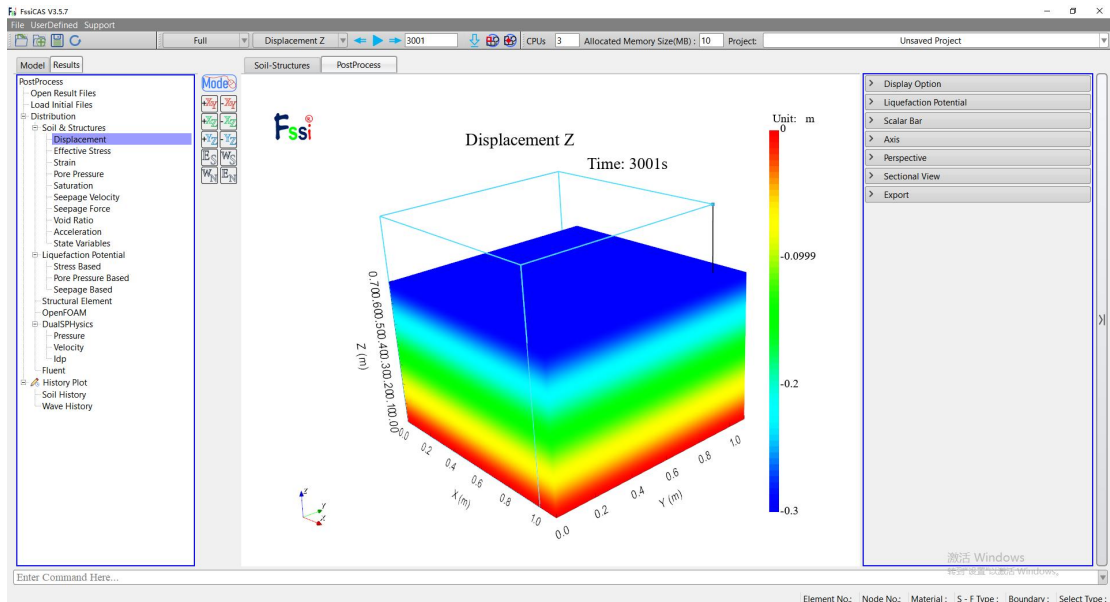
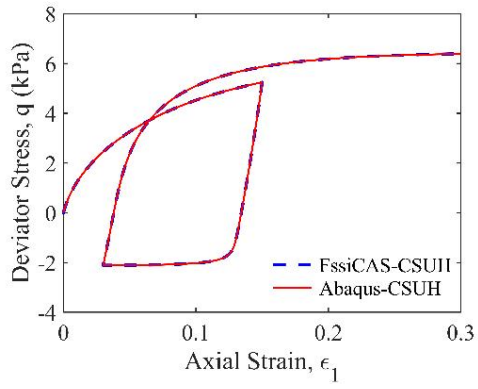


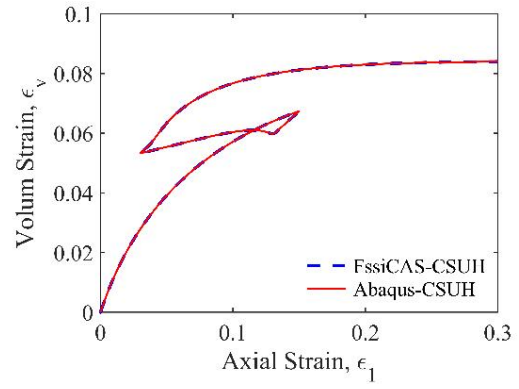
图 27 Step 2 结束时 z 方向位移分布图

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, 并与北京航空航天大学姚仰平教授团队提供的 Abaqus 计算结果对比, 结算结果如图 27 所示。



(a) $\varepsilon_1 - q$



(b) $\varepsilon_1 - \varepsilon_v$

图 28 FssiCAS 计算结果与姚仰平教授团队提供 Abaqus 计算结果的对比