

Clay Sand Unified Harding (CSUH) 模型

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。

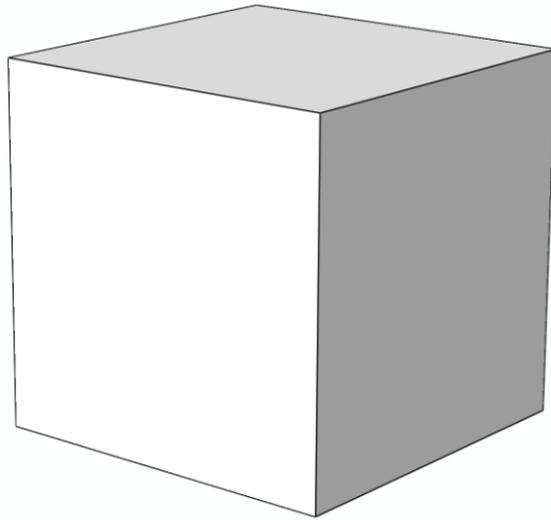


图 1 计算模型示意图

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。

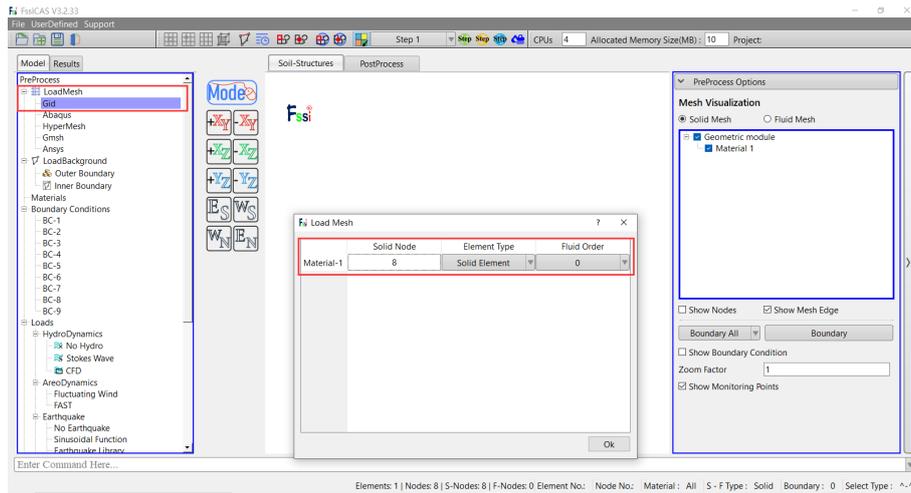


图 2 导入 GID 模型文件

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。

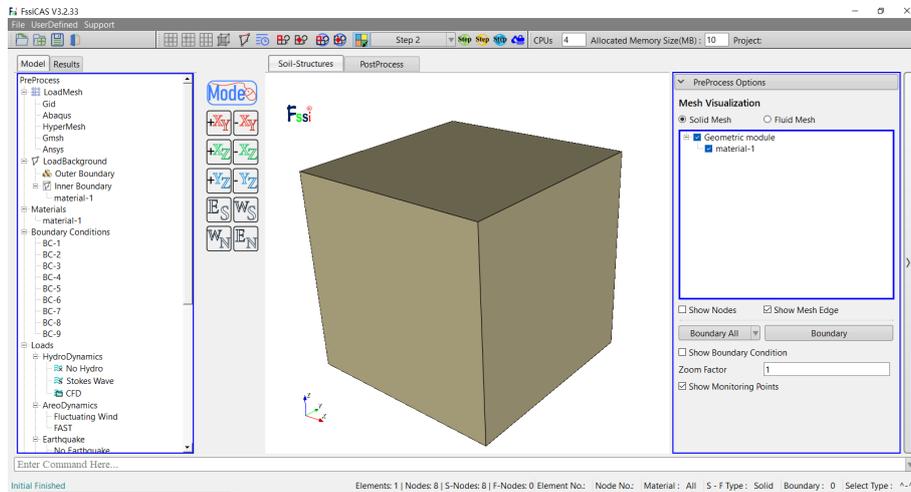


图 3 几何模型的显示

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。

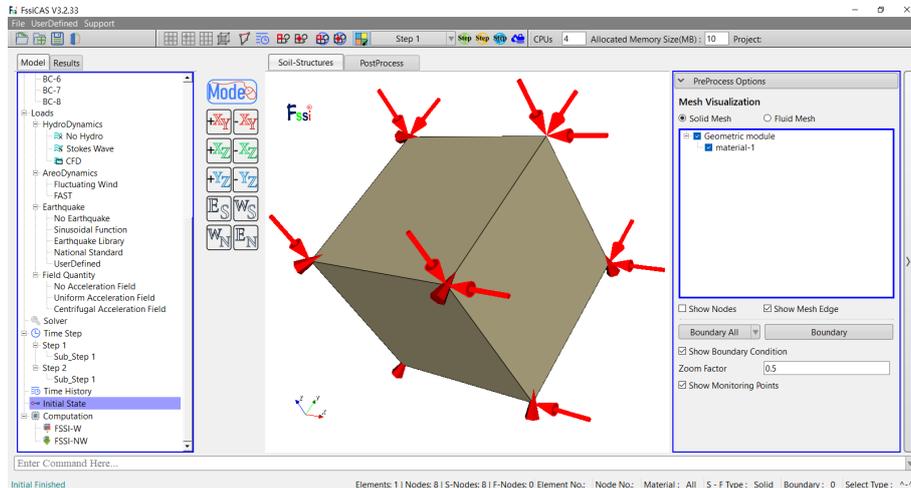


图 4 弹性分析步 Step 1 的边界条件

(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。

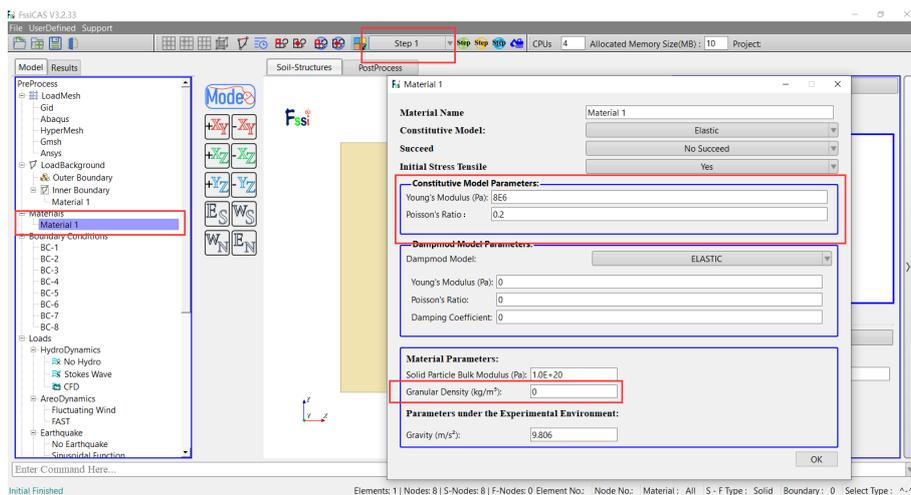


图 5 弹性分析步 Step 1 的计算参数

(3) 设置求解器参数

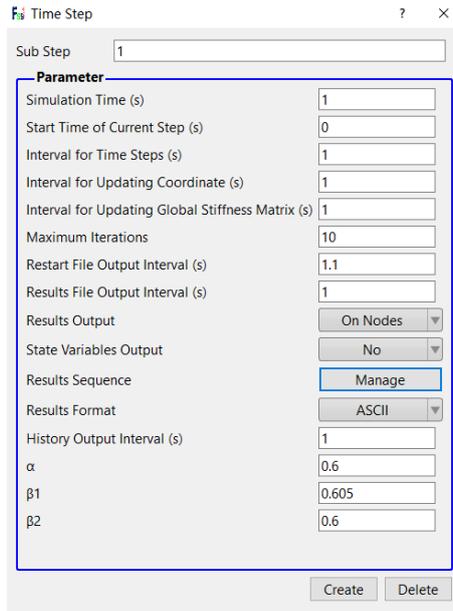


图 6 弹性分析步 Step 1 的求解器参数

(4) 设置初试状态

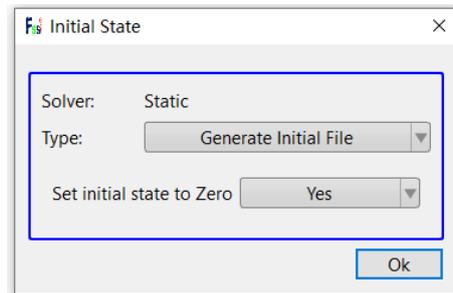


图 7 初试状态设置

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 8 所示。

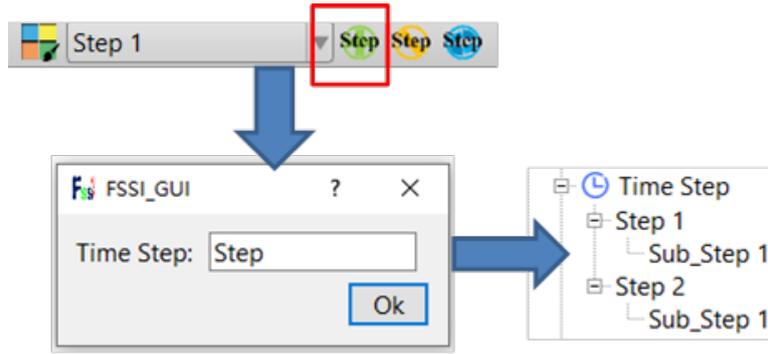


图 8 增加时间步的步骤示意图

(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 9、10 所示。施加成功之后，Step 2 的边界条件如图 11 所示。

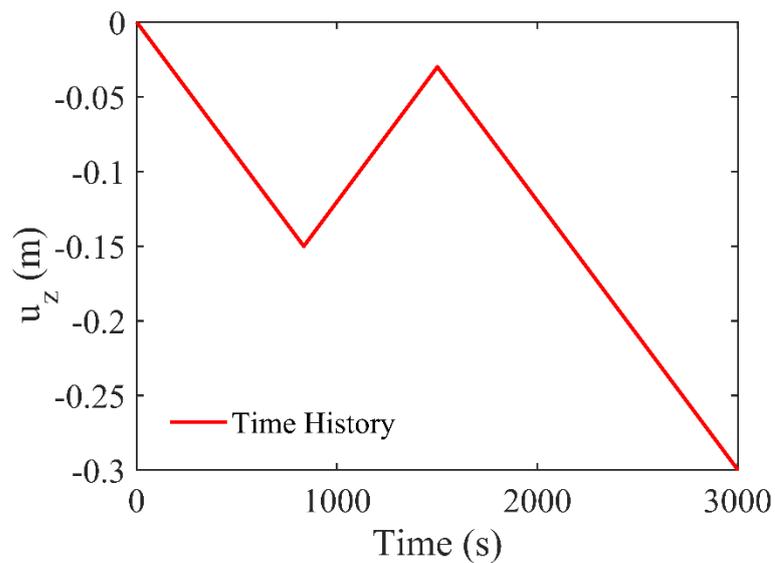


图 9 位移时程曲线

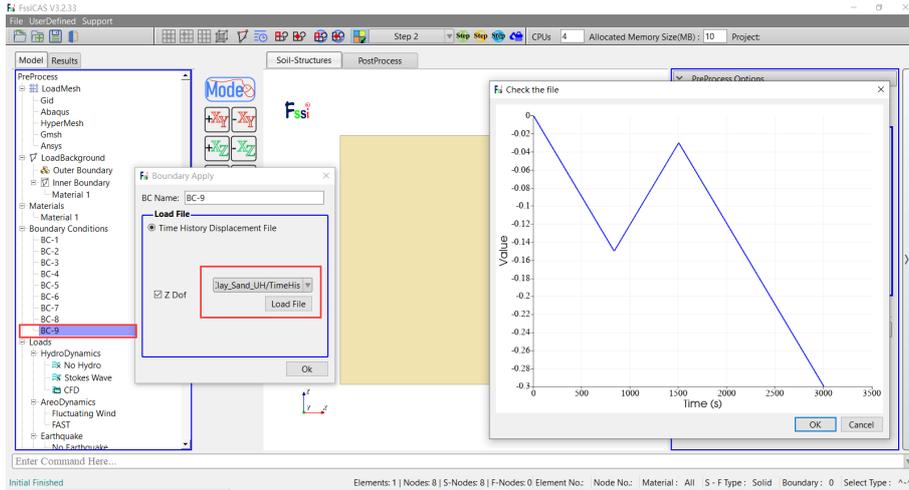


图 10 添加位移时程曲线

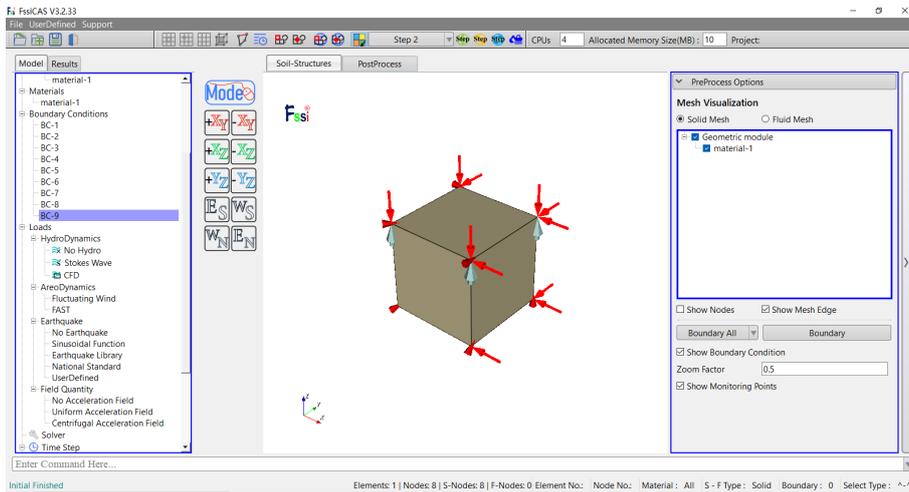


图 11 Step 2 的边界条件

(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 Hardening Model 本构模型，计算参数如图 12 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 13 所示。

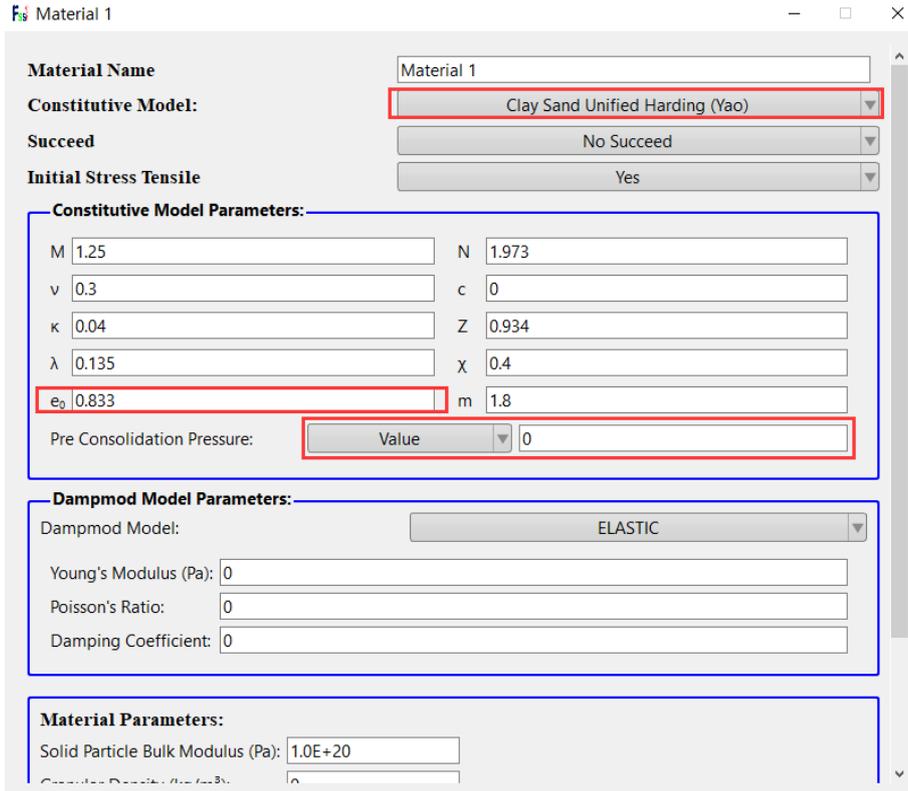


图 12 Clay Sand Unified Harding Model 本构模型参数设置

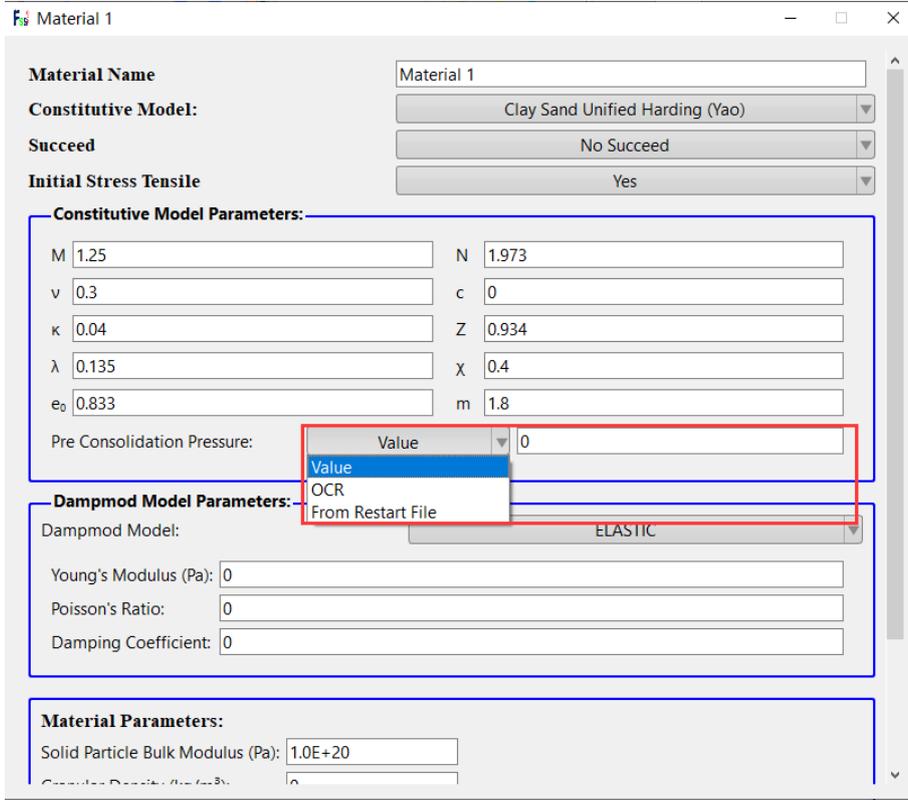


图 13 CSUH 模型中先期固结压力 P_x 的设置方法

(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 14 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。

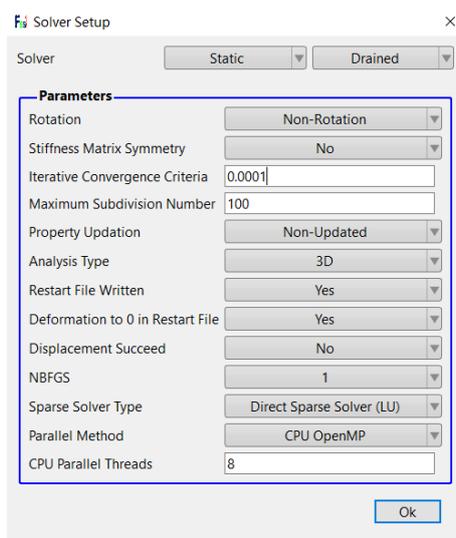


图 14 Step 2 的求解器参数

(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 3000(即不更新坐标)。

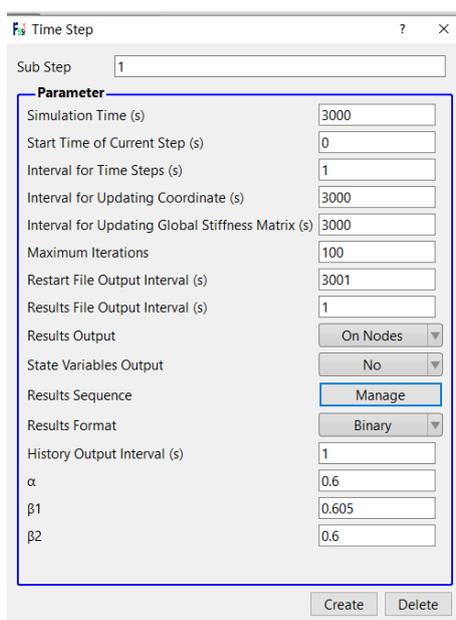


图 15 Step 2 的时间步参数

(6) 设置初试状态

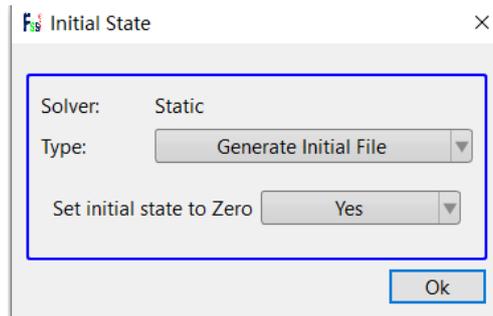


图 16 Step 2 的初试状态设置

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。施加完成结果，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_Displacement_X	1 ✘
(0.10000,0.10000,0.10000)	Node_Displacement_Y	1 ✘
(0.10000,0.10000,0.10000)	Node_Displacement_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 18 所示。

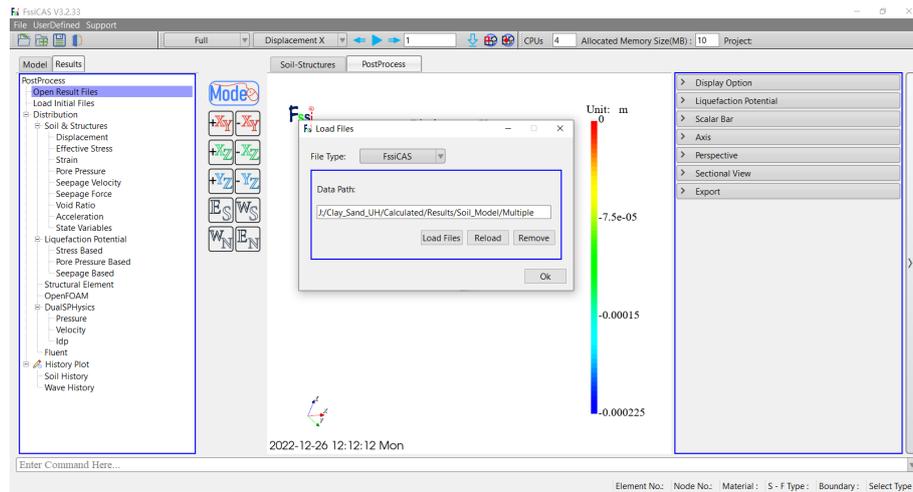


图 18 加载结果文件

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 19、20 以及 21 所示；
当时间步为 3000s 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 3000s 时， z 方向应变分布图如图 26 所示。

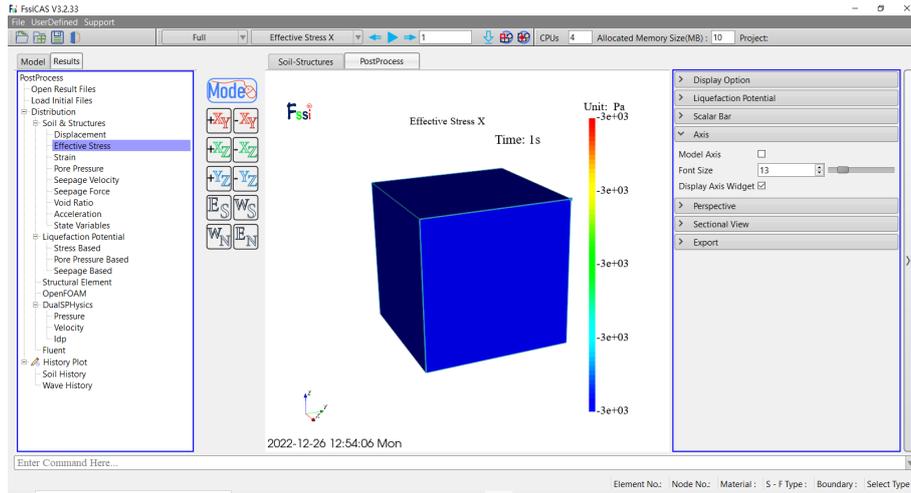


图 19 Step 1 结束时 x 方向应力分布图

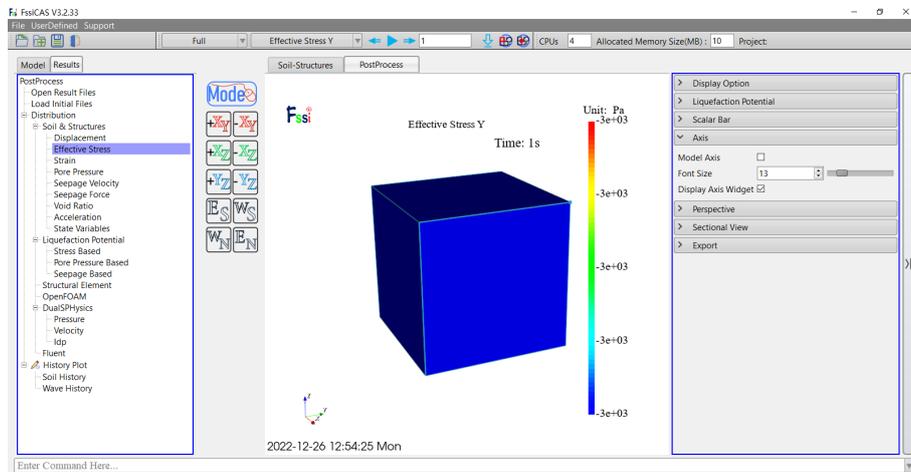


图 20 Step 1 结束时 y 方向应力分布图

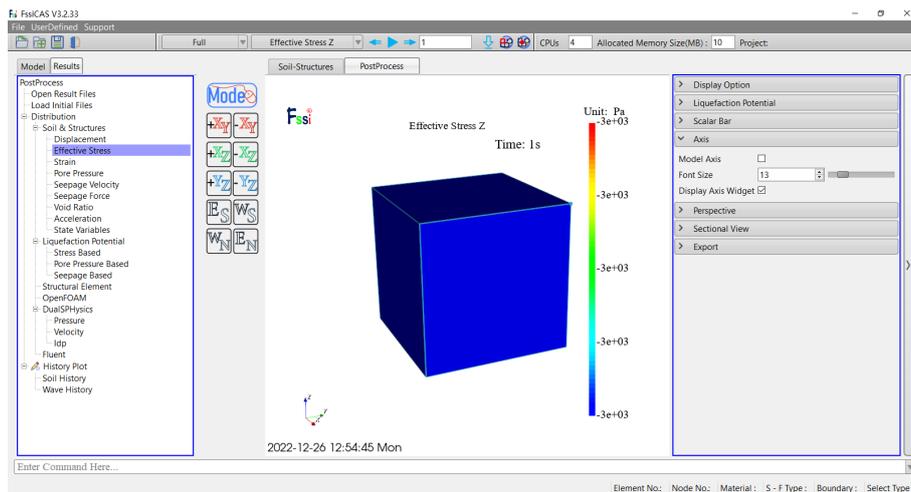


图 21 Step 1 结束时 z 方向应力分布图

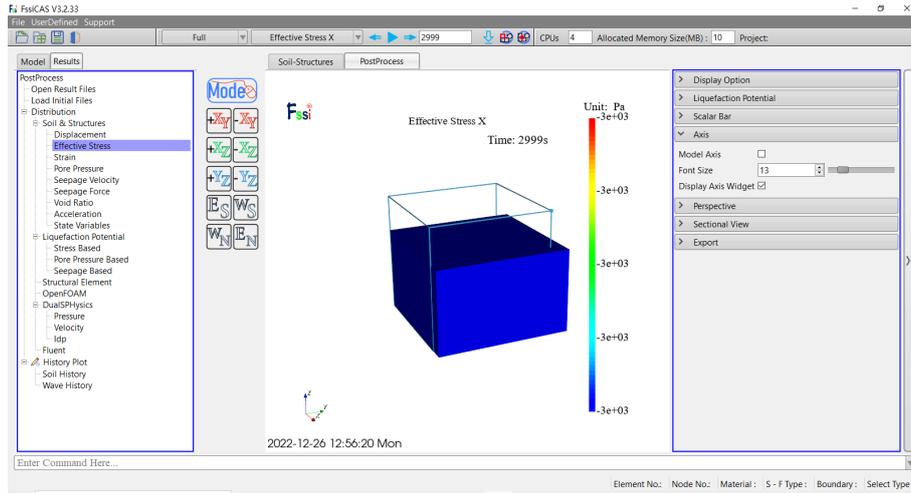


图 22 Step 2 结束时 x 方向应力分布图

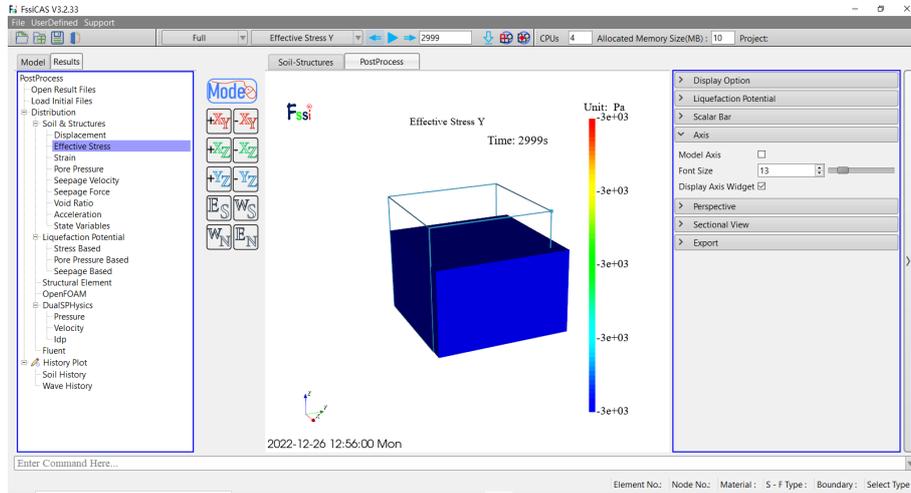


图 23 Step 2 结束时 y 方向应力分布图

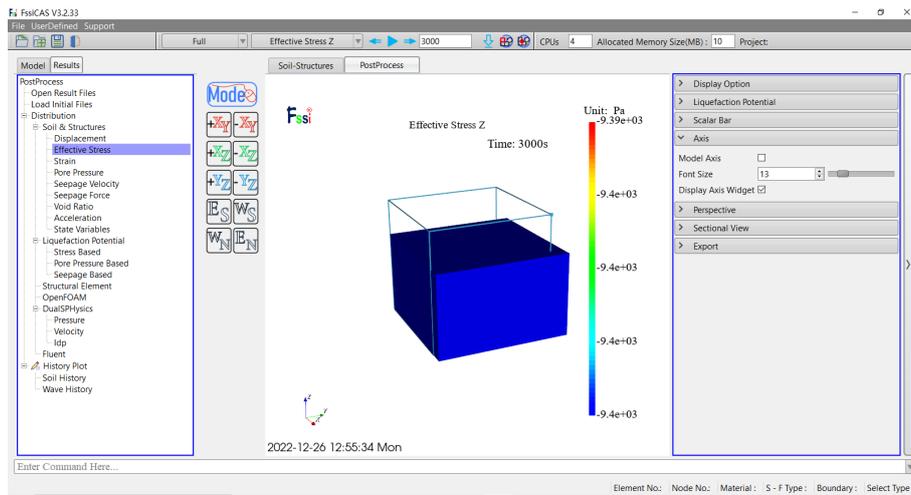


图 24 Step 2 结束时 z 方向应力分布图

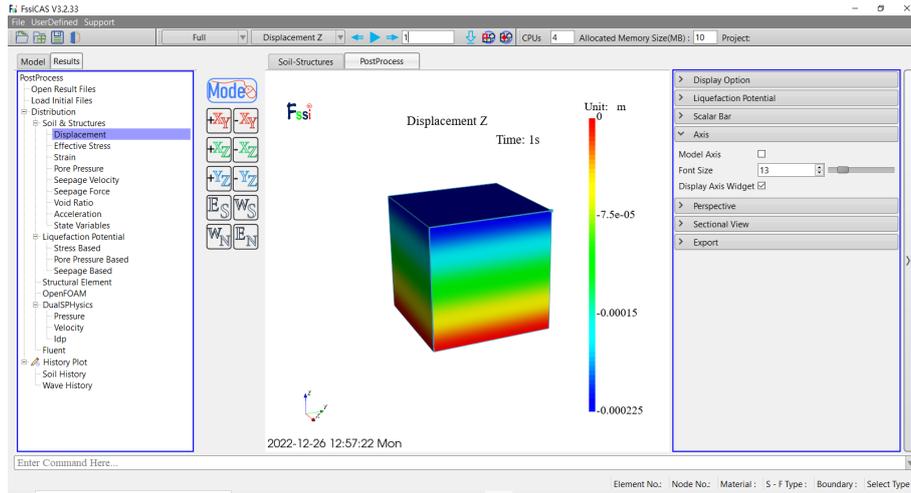


图 25 Step 1 结束 z 方向位移分布图

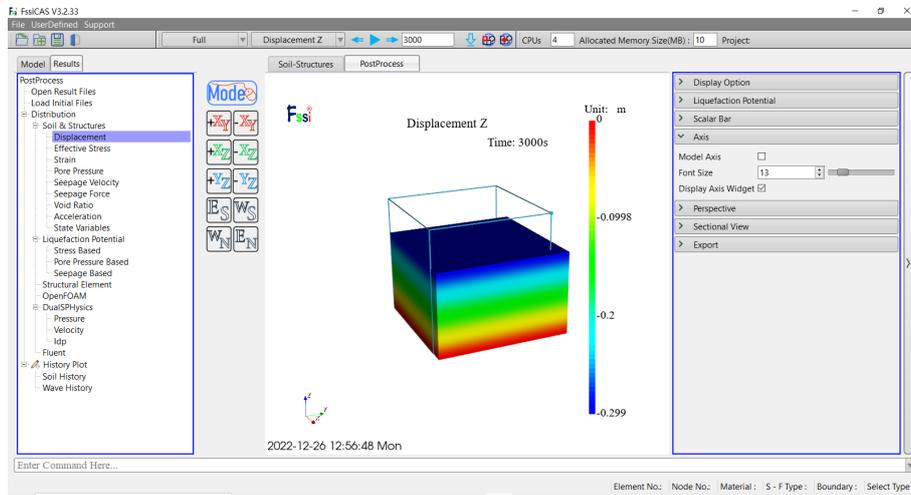
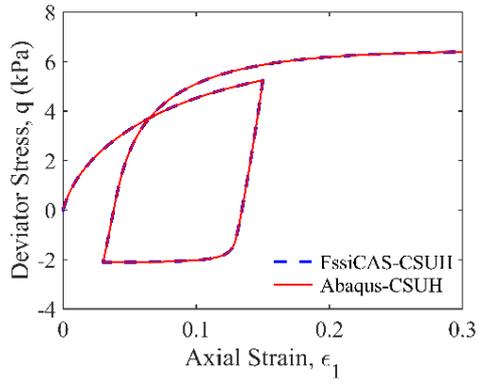


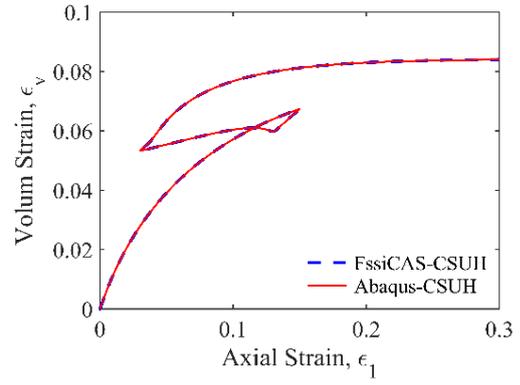
图 26 Step 2 结束时 z 方向位移分布图

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