

Bounding Surface Sanisand(2004) 本构模型

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。

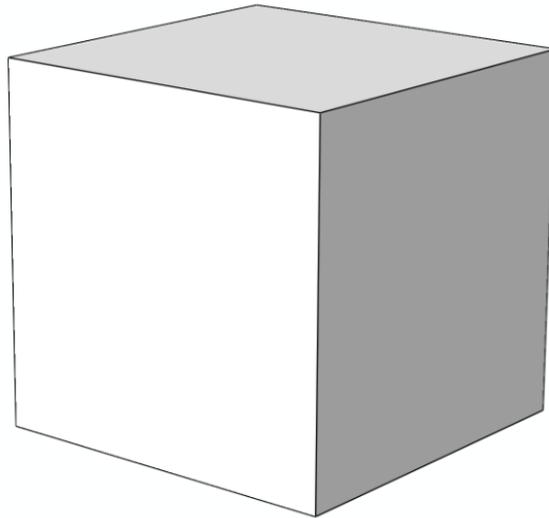


图 1 计算模型示意图

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。

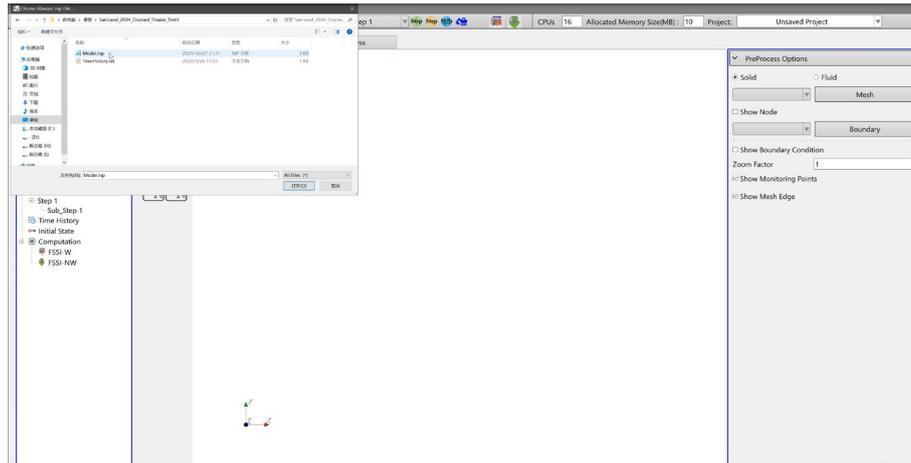


图 2 导入 Abaqus 模型文件

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

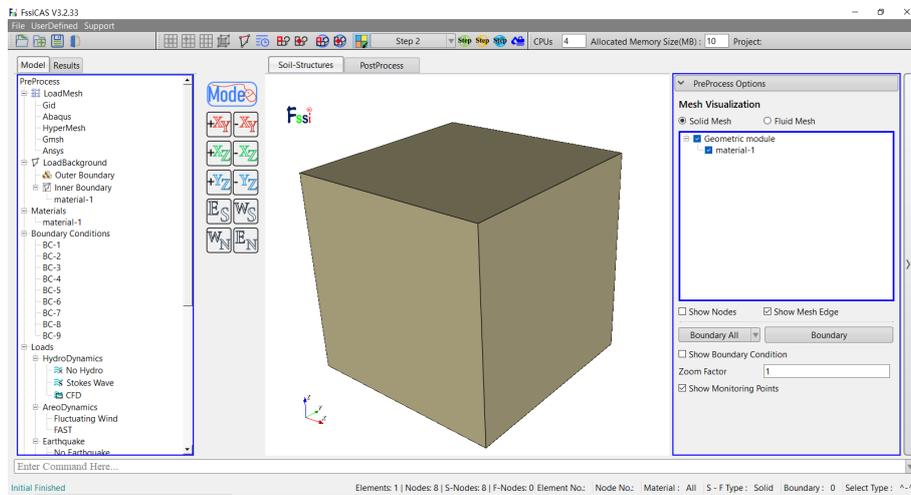


图 3 几何模型的显示

1.1.3 设置初始应力场

为模拟围压 $\sigma_3 = 100\text{kPa}$ q 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 100kPa 的压应力。边界条件施加成功后如图 4 所示。

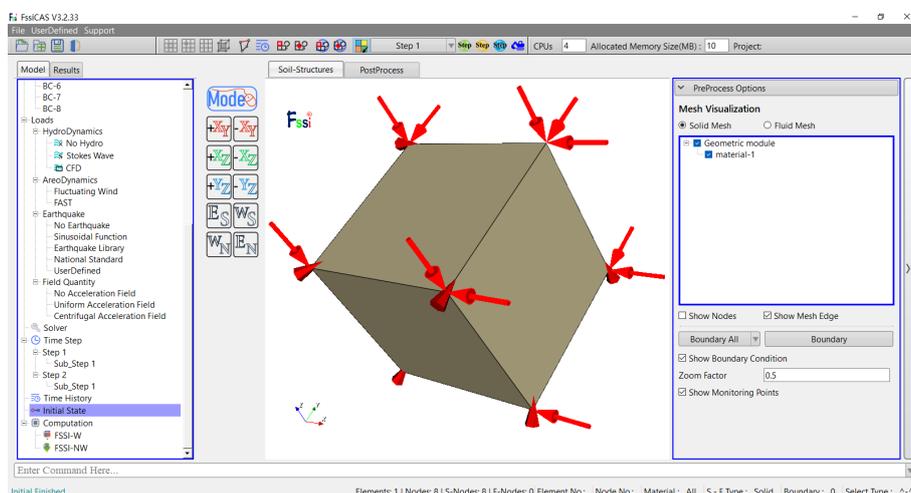


图 4 弹性分析步 Step 1 的边界条件

(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。

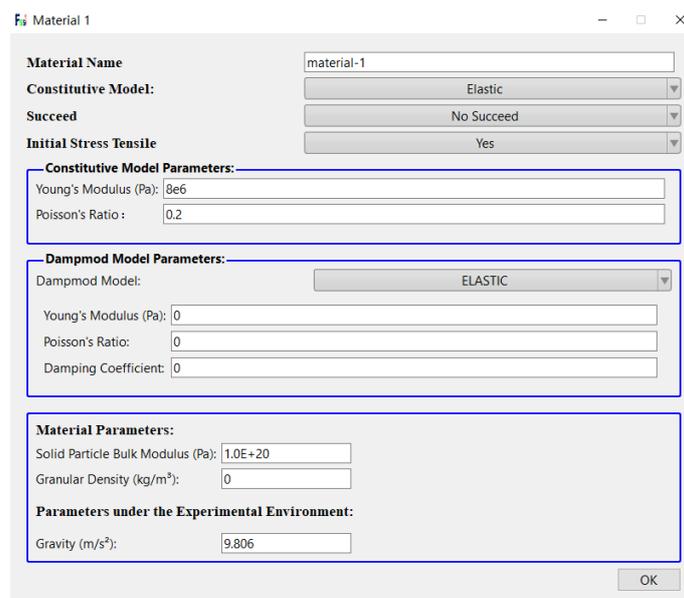


图 5 弹性分析步 Step 1 的计算参数

(3) 设置 Step 1 求解器参数

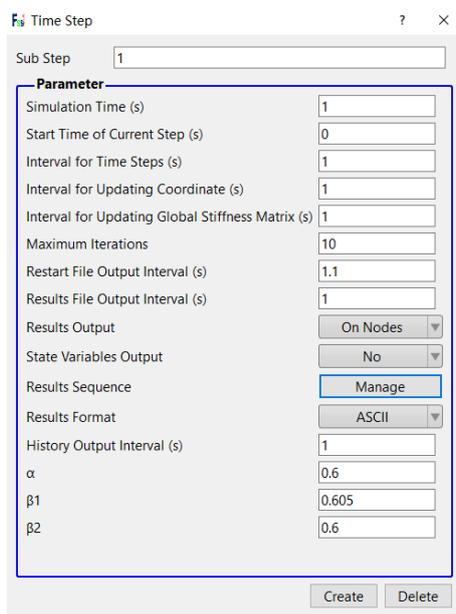


图 6 弹性分析步 Step 1 的求解器参数

(4) 设置初始状态

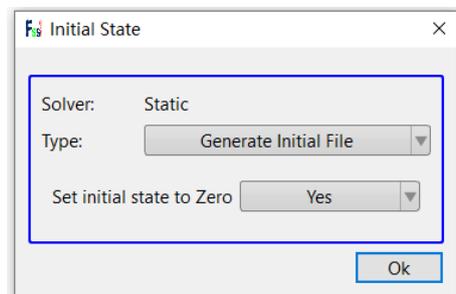


图 7 初始状态设置

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 8 所示。

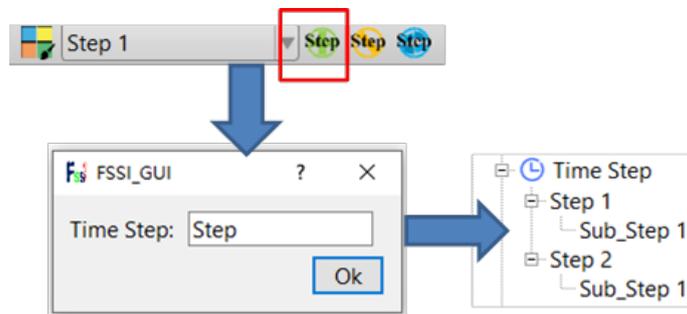


图 8 增加时间步的步骤示意图

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

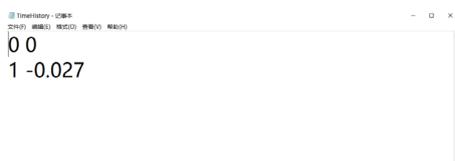


图 9 位移时程曲线的文本文件

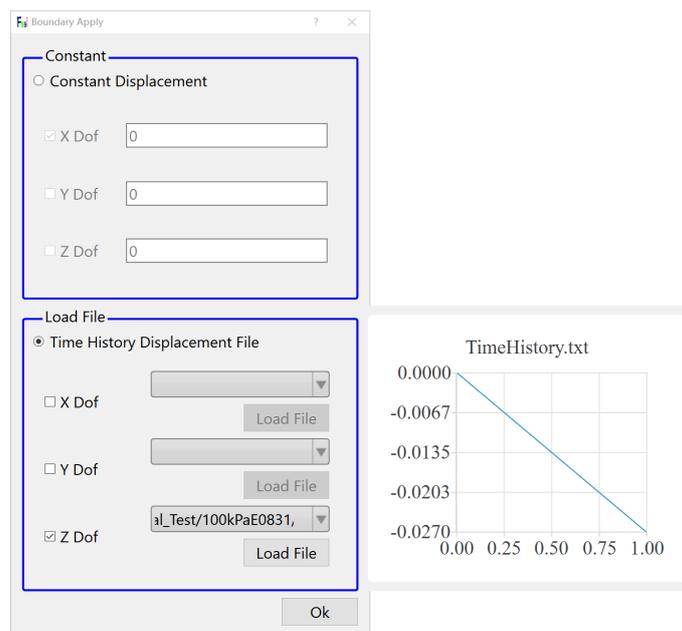


图 10 添加位移时程曲线

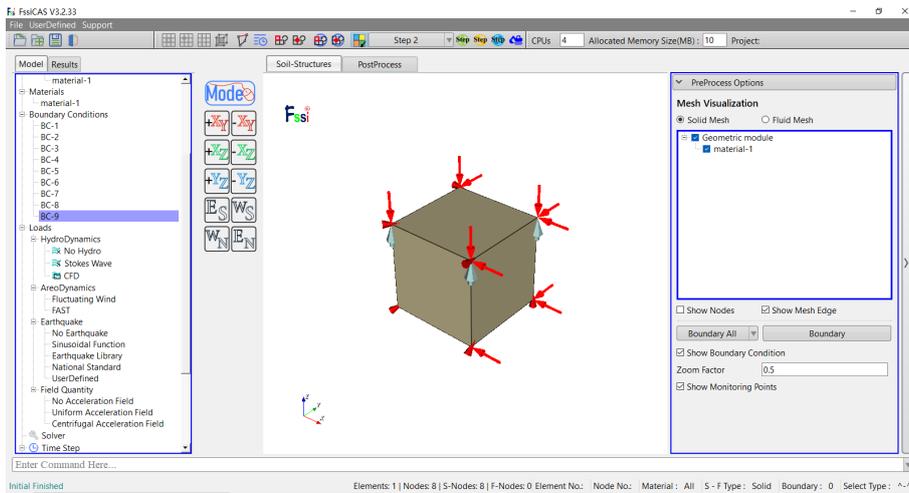


图 11 Step 2 的边界条件

(3) 设置计算参数

在 Step 2 的材料属性设置对话框里，选择 Bounding Surface Sanisand(2004) 模型，具体参数如图 12 所示。

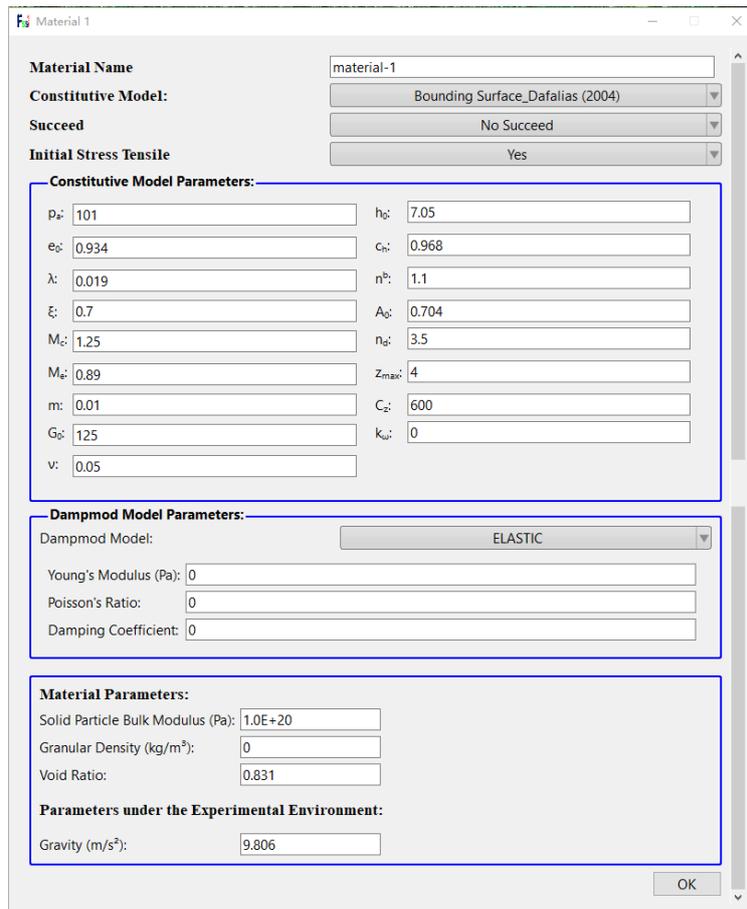


图 12 Bounding Surface Sanisand(2004)本构模型参数

(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 13 所示。

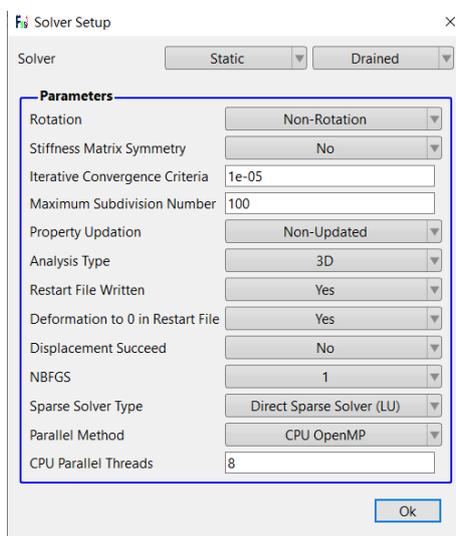


图 13 Step 2 的求解器参数

(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)。

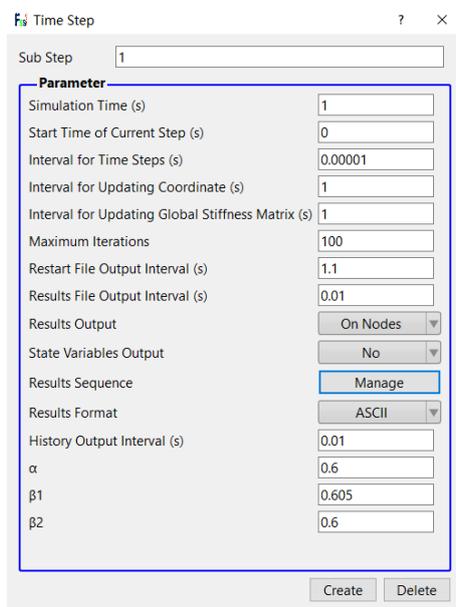


图 14 Step 2 的时间步参数

(6) 设置初试状态

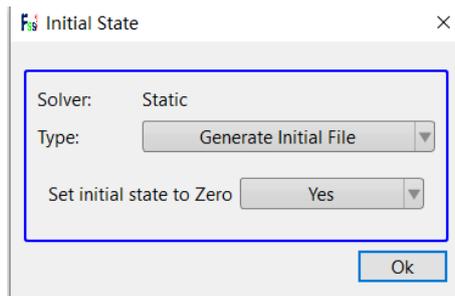


图 15 Step 2 的初试状态设置

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 16 所示。

Coordinate	Type	No.
(0.10000,0.10000,0.10000)	Element_Strain	1 X
(0.10000,0.10000,0.10000)	Element_Stress	1 X
(0.10000,0.10000,0.10000)	Node_Displacement_X	1 X
(0.10000,0.10000,0.10000)	Node_Displacement_Y	1 X
(0.10000,0.10000,0.10000)	Node_Displacement_Z	1 X

图 16 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 17 所示。

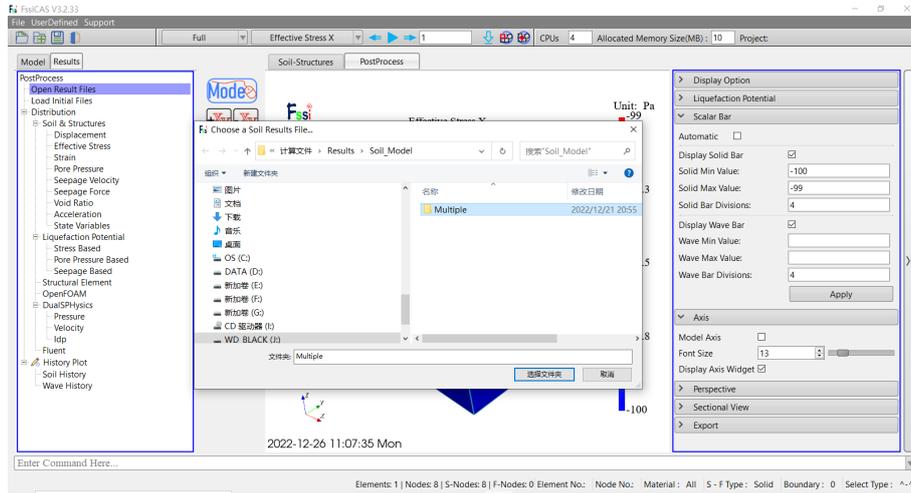


图 17 加载结果文件

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 18、19 以及 20 所示；
当时间步为 2s 时， x 、 y 以及 z 方向应力分布图如图 21、22 以及 23 所示。

当时间步为 1s 时， z 方向应变分布图如图 24 所示；当时间步为 2s 时， z 方向应变分布图如图 25 所示。

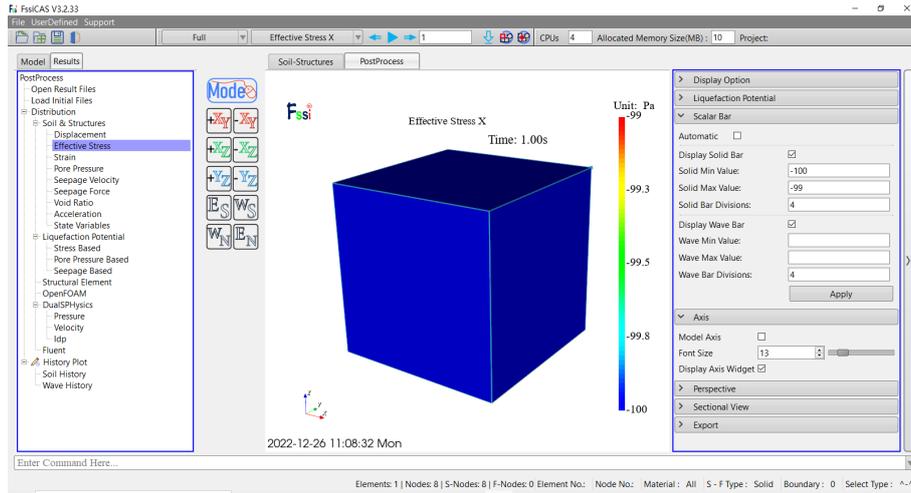


图 18 Step 1 结束时 x 方向应力分布图

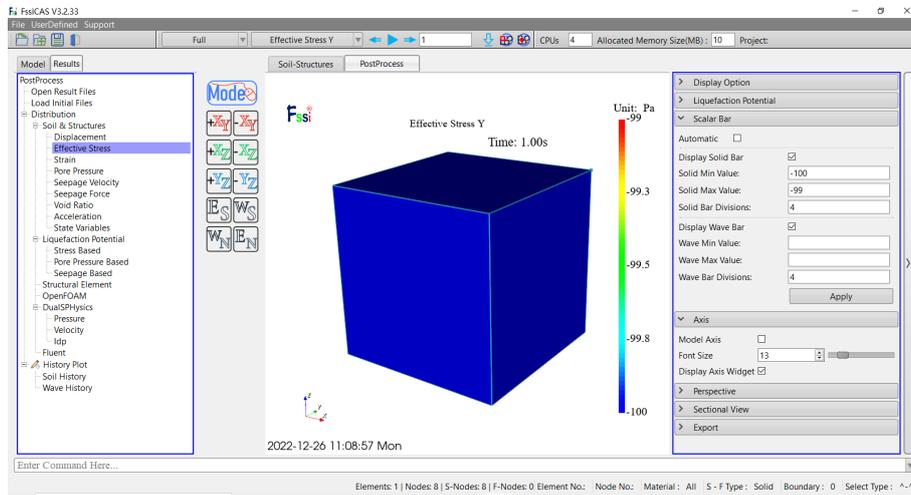


图 19 Step 1 结束时 y 方向应力分布图

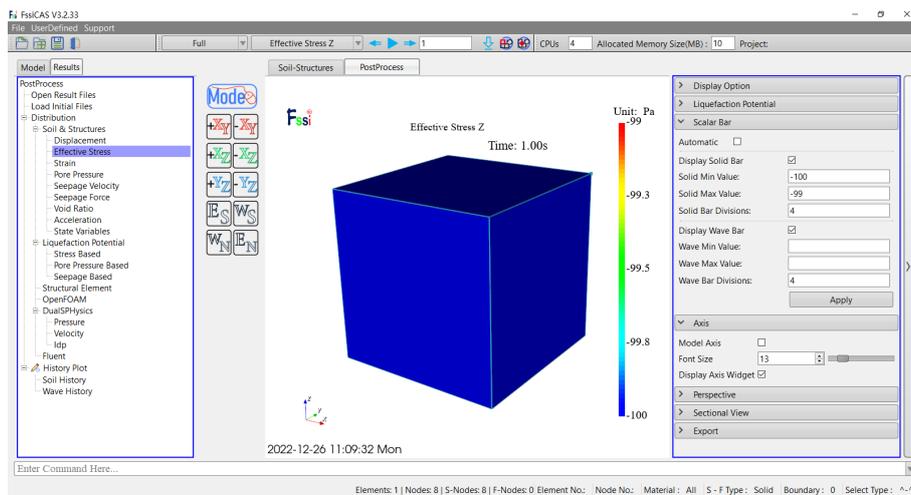


图 20 Step 1 结束时 z 方向应力分布图

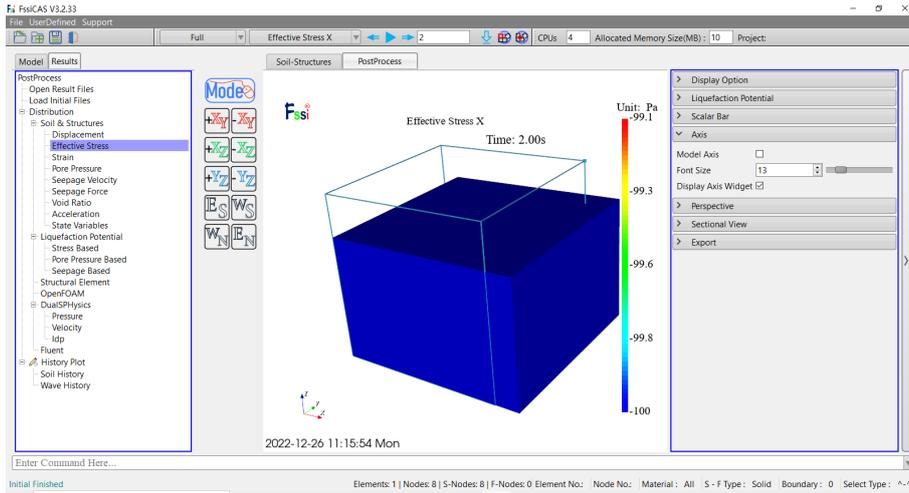


图 21 Step 2 结束时 x 方向应力分布图

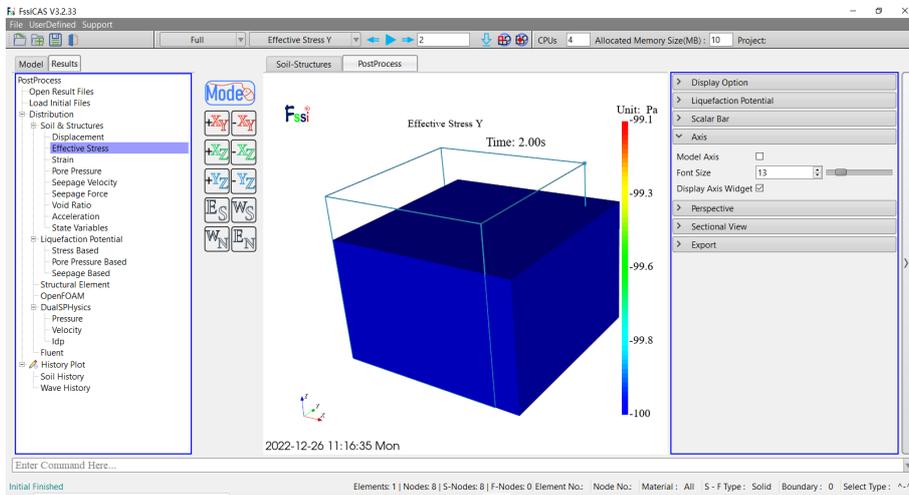


图 22 Step 2 结束时 y 方向应力分布图

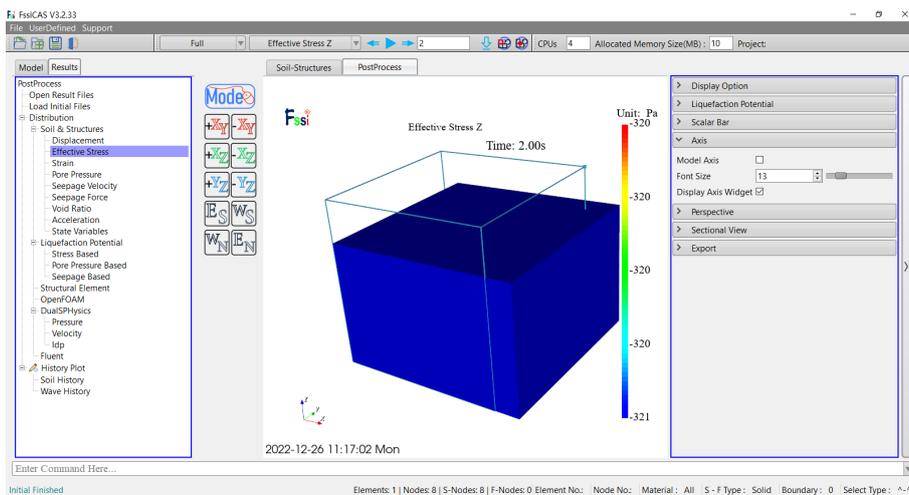


图 23 Step 2 结束时 z 方向应力分布图

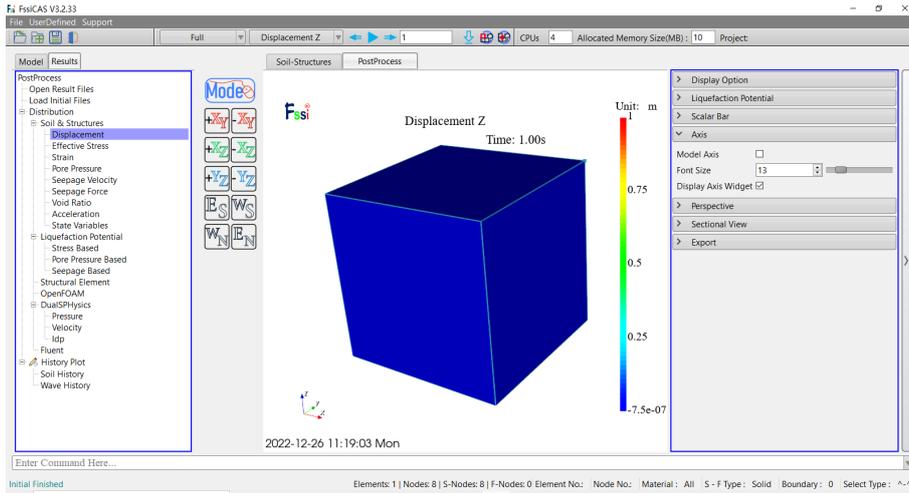


图 24 Step 1 结束 z 方向位移分布图

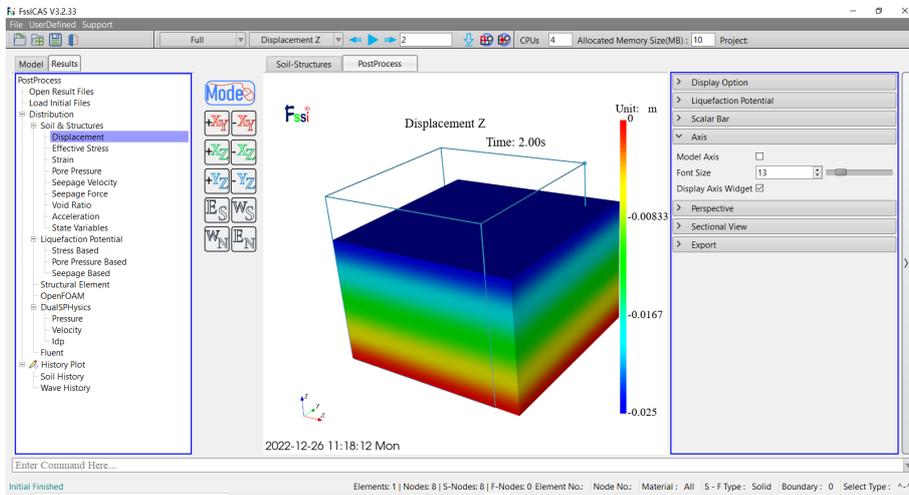


图 25 Step 2 结束时 z 方向位移分布图

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 26 所示。

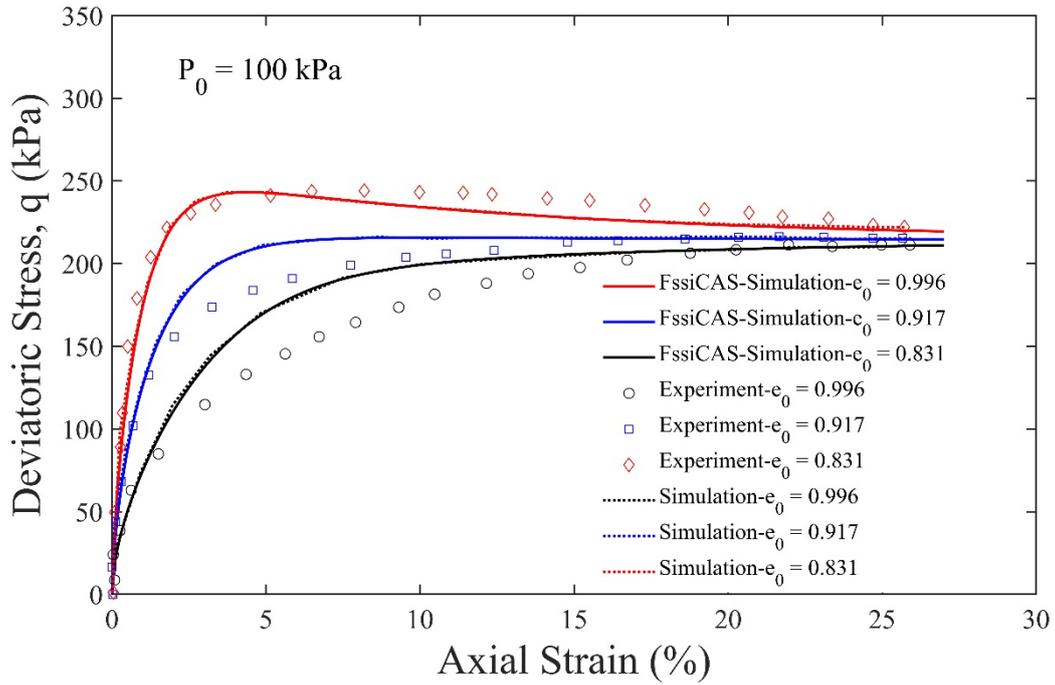


图 26 FssiCAS 上搭载的 Sanisand(2004)模型的三轴排水压缩试验计算结果与 Dafalias et al. (2004) 中 Fig. 9(b) 中结果的对比

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)