

四点弯曲试验模拟

本章模拟四点弯折实验，并介绍界面的基本操作方法。数值计算模型示意图如图 4-1 所示，相关参数如表 4.1 所示：

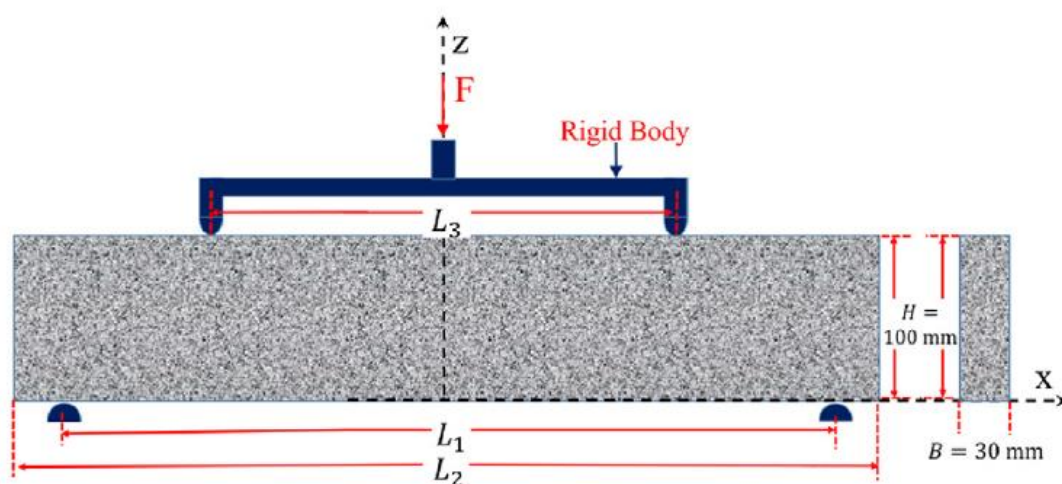




图 4-1 四点弯折实验示例图

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； 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。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。点击右上角 （退出软件）时，在弹出的窗口中选择 Yes，即可保存当前项目。选择 No 即不保存当前项目，即可将新建的项目保存在之前新建的文件夹里，如图 4-2 所示。

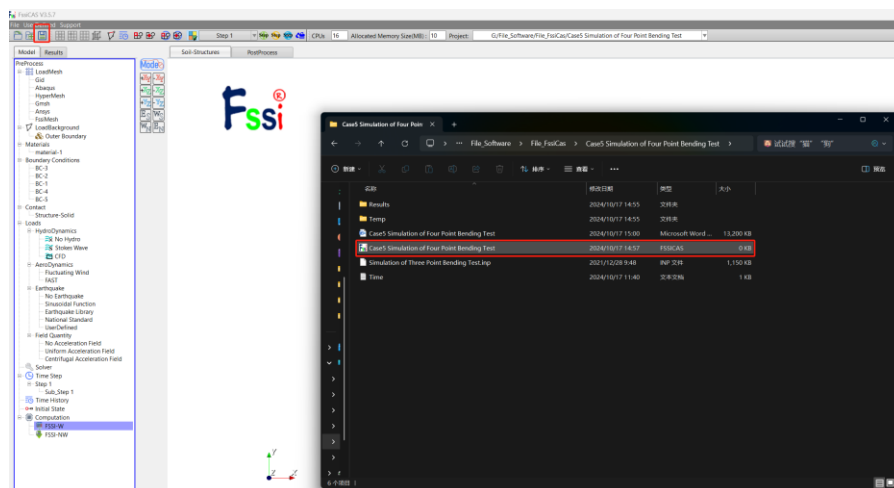


图 4-2 在 FssiCAS 软件中新建和保存一个项目的过程图

1.1.2 导入网格

用户点击在前处理界面上 Model 树状菜单栏中的 Load Mesh，选择从 Abaqus 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 4-3 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边形四节点二阶单元，不设置流体单元阶次。因此，固体节点数设置为 4，流体节点阶次设置为 0（即没有流体存在），点击 OK。

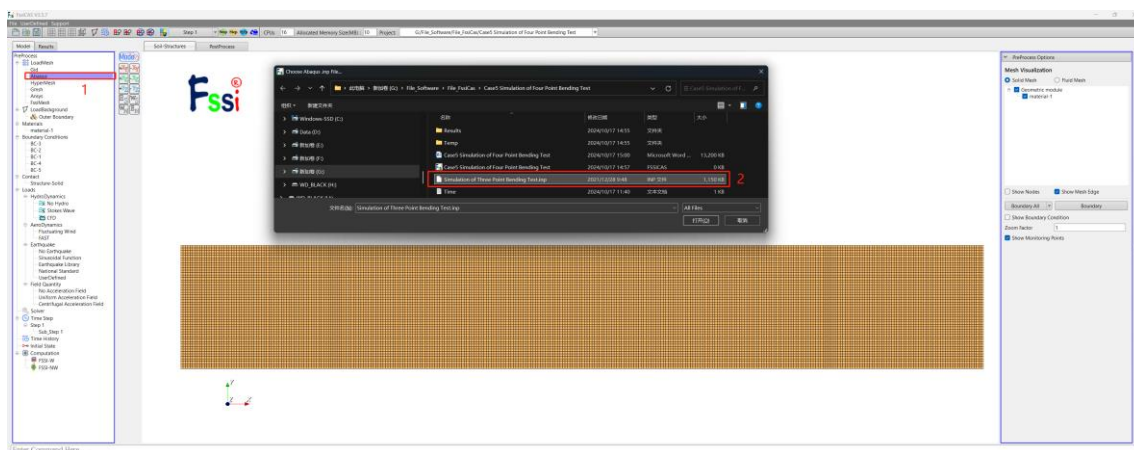


图 4-3 导入几何模型的网格文件

1.1.3 添加边界条件

将几何模型的边界条件设置为：模型上表面 $x \in [-0.205 \text{ m}, -0.195 \text{ m}]$ 和 $x \in [0.195 \text{ m}, 0.205 \text{ m}]$ 的区域内施加 10 MPa 的均布压力，其次在 $x = 0 \text{ m}$ 的对称轴上施加 x 方

向的约束；最后在模型下表面 $x \in [-0.302 \text{ m}, -0.298 \text{ m}]$ 和 $x \in [0.298 \text{ m}, 0.302 \text{ m}]$ 的区域内施加 y 方向的位移约束。



具体操作为：点击工具栏 2 中图标，进入边界选择模式（如图 4-6 所示），点击'R'键，选择相关节点施加位移约束，下表面位于约束如图 4-7 所示；点击工具栏 2 中图标，进入单元选择模式（如图 4-8 所示），点击'R'键，选中相关单元施加均布荷载，上表面应力边界条件如图 4-9 所示；最终的边界条件如图 4-10 所示



图 4-6 进入边界选择模式

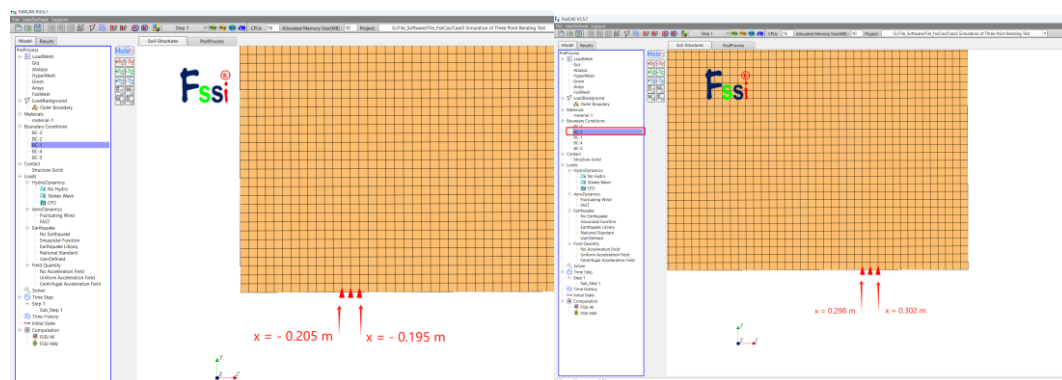


图 4-7 下表面 $x \in [-0.302 \text{ m}, -0.298 \text{ m}]$ 和 $x \in [0.298 \text{ m}, 0.302 \text{ m}]$ 的区域 y 方向位移约束



图 4-8 进入单元选择模式



图 4-9 上表面 $x \in [-0.205 \text{ m}, -0.195 \text{ m}]$ 和 $x \in [0.195 \text{ m}, 0.205 \text{ m}]$ 的区域 10 MPa 的均布压力

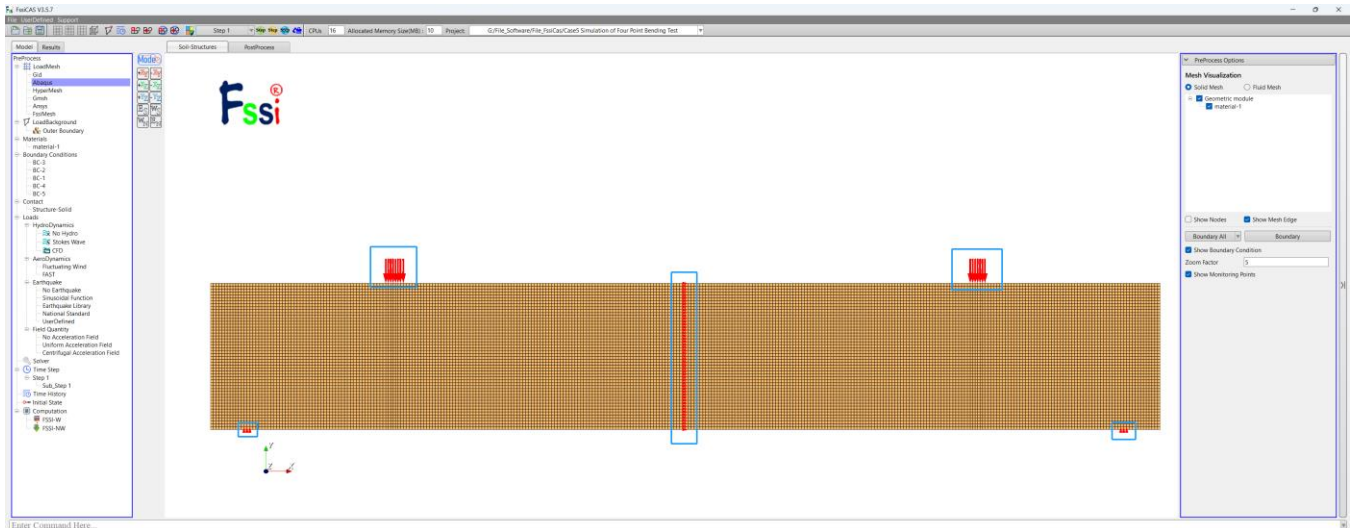


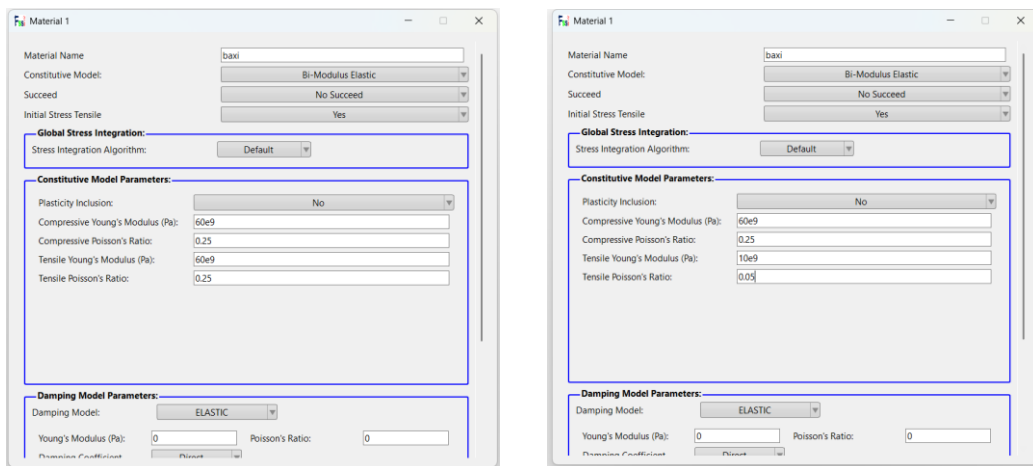
图 4-10 所有的应力和位移边界条件

1.1.4 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**；在弹出的窗口中选择**弹性本构模型**，输入对应的材料属性参数，点击 **OK**，材料属性和参数设置如图 4-11 所示；当不考虑材料的双模量特性时，可以将拉伸弹性模量 E_t 设置成和压缩弹性模量 E_c ，拉伸泊松比 ν_t 设置成和压缩泊松比 ν_c 一样的值。

表 1-1 材料参数(采用简单的线弹性本构模型)

Parameters	Value
Compressive Young's Modulus (GPa)	60
Poisson's Ratio	0.25
Tensile Young's Modulus (GPa)	10
Poisson's Ratio	0.05



(a) 不考虑双模型特性

(b) 考虑双模量特性

图 4-11 设置材料的相关属性参数

1.1.5 水动力边界条件设置

由于本案例不考虑流体节点，不设置水动力边界条件和地震条件。因此，设置耦合方式为非耦合，不考虑波浪动力和地震的影响，首先点击 Loads—Hydrodynamics—No Hydro，其次点击 Loads—Earthquake—No Earthquake，如图 4-12 所示；

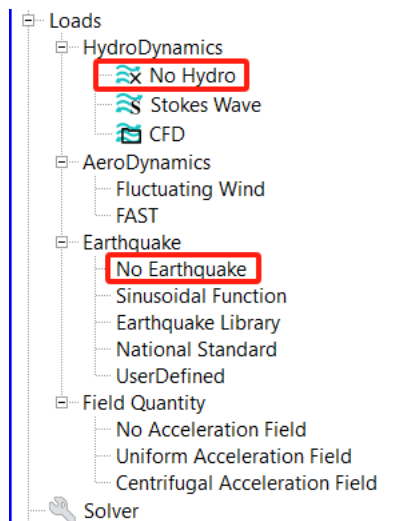


图 4-12 选择 No Hydro 和 No Earthquake

1.1.6 设置求解器类型和时间步

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)，并进行相关属性参数设置，如图 4-13 所示；需要注意：巴西劈裂试验是典型的平面应力问题，因此分析类型一定要选择 2D-Plane Stress。

否则，当以默认的分析类型 2D-Plane Strain 进行求解时，势必与解析解存在显著差异。

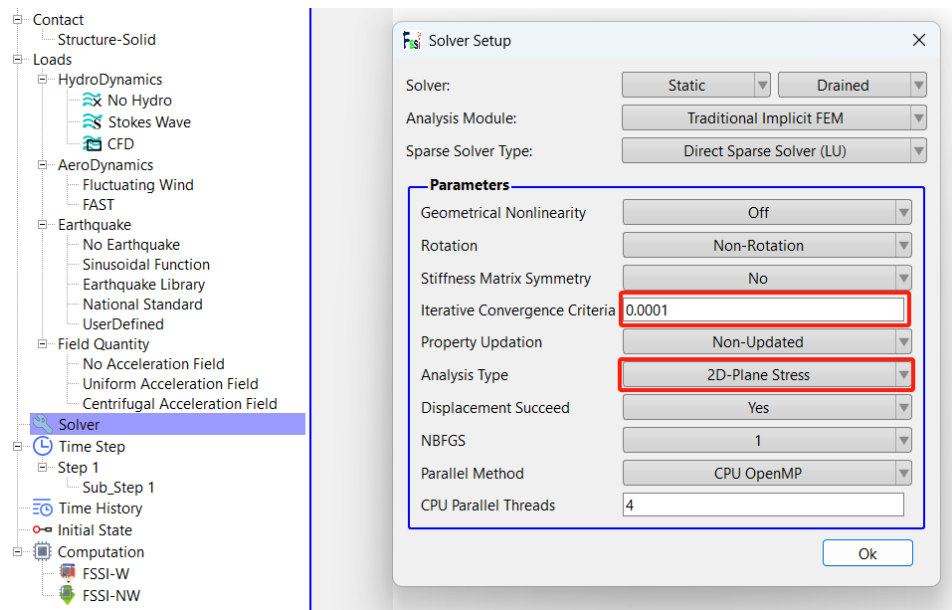


图 4-13 设置求解器的相关属性参数

在前处理界面中的 Model 树状菜单栏的 Time Step 中，点击 Sub_Step1，设置求解时间步数为 $100 \times 0.01s = 1s$ ，时间步长为 0.01s，更新坐标，更新刚度矩阵（由于双模量本构计算过程中，会根据每一时刻的应变状态判断模型的拉伸压缩状态，所以需要实时更新刚度矩阵），每步最大迭代 100 次，不输出重启文件，每 0.01s 输出分布图结果，每 0.01s 输出时程结果，输出高斯点上结果，如图 4-14 所示；

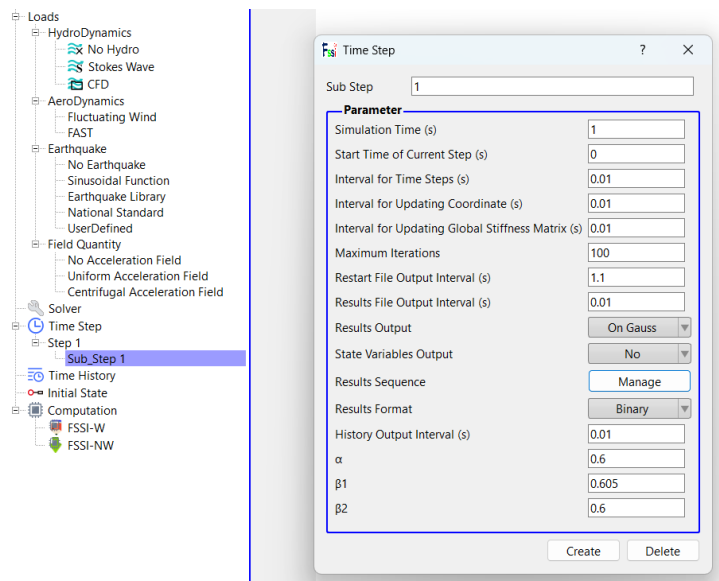



图 4-14 设置时间步和相关属性参数

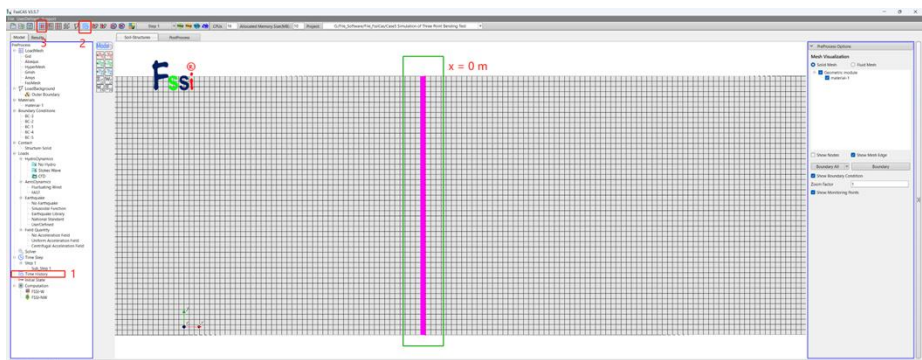
1.1.7 添加时程输出

为进行后续计算结果的分析，本案例输出对称轴 $x = 0\text{ m}$ 上所有节点的应力、应变结果，具体设置步骤如下：

点击工具栏中图标，进入输出时程选择模式；

点击工具栏中图标，进入单元选择模式；

选择纵向对称轴，有效应力 (σ_x 、 σ_z 、 σ_y 、 τ_{xz})，孔隙比 e ，应变 (ε_x 、 ε_z 、 ε_y 、 γ_{xz})，如图 4-15 所示；



(a) 输出应力、应变

图 4-15 设置时程输出结果

点击 FssiCAS—Preprocess—Time Histroy—Step 1—Sub_Step 1，可以显示输出的时程结果列表，点击右键可以进行删除操作，如图 4-16 所示；

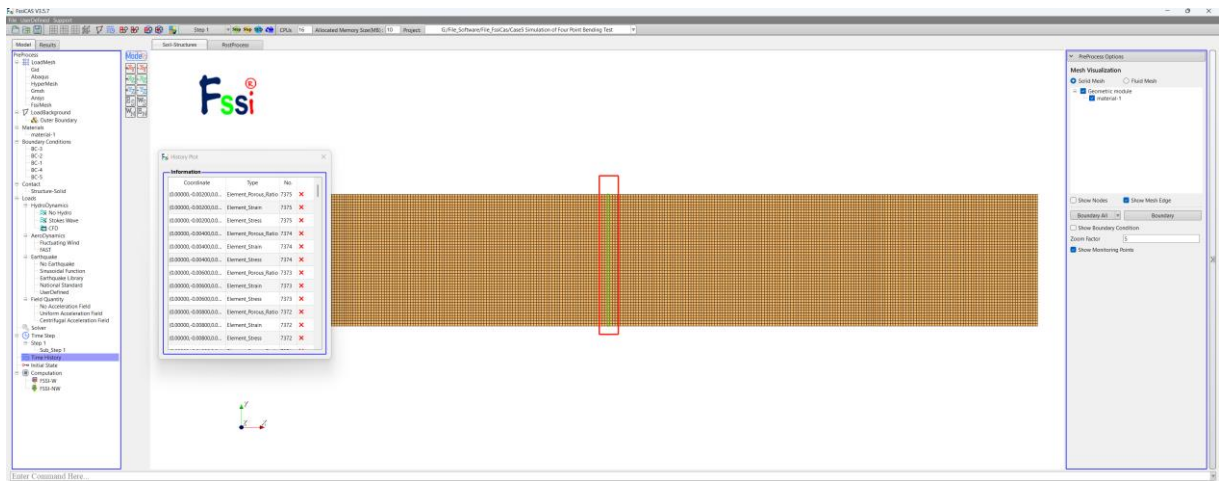


图 4-16 显示输出的时程结果列表

1.1.8 设置初始条件

在前处理界面上 Model 树状菜单栏中，点击 Initial State，设置起始时间为 0s，点击 OK，即可完成初始状态设置，如图 4-17 所示。

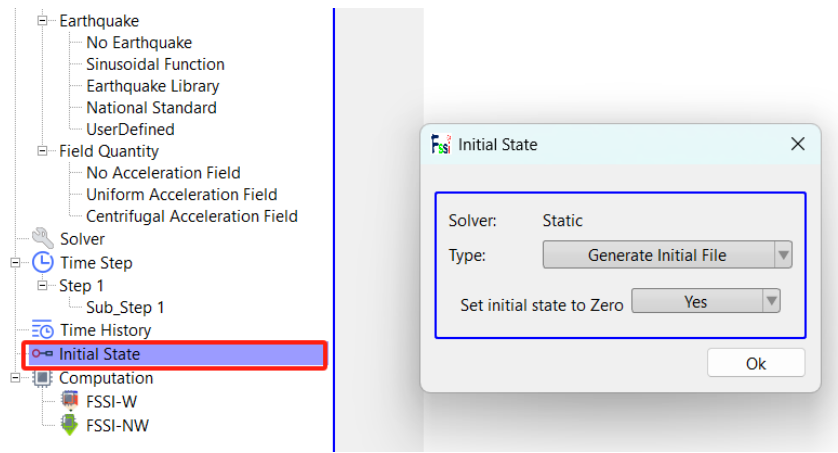


图 4-17 设置初始状态

1.1.9 计算并保存

点击在前处理界面上 Model 树状菜单栏里 Computation 中的 FSSI-W 开始计算，如图 4-18 所示。

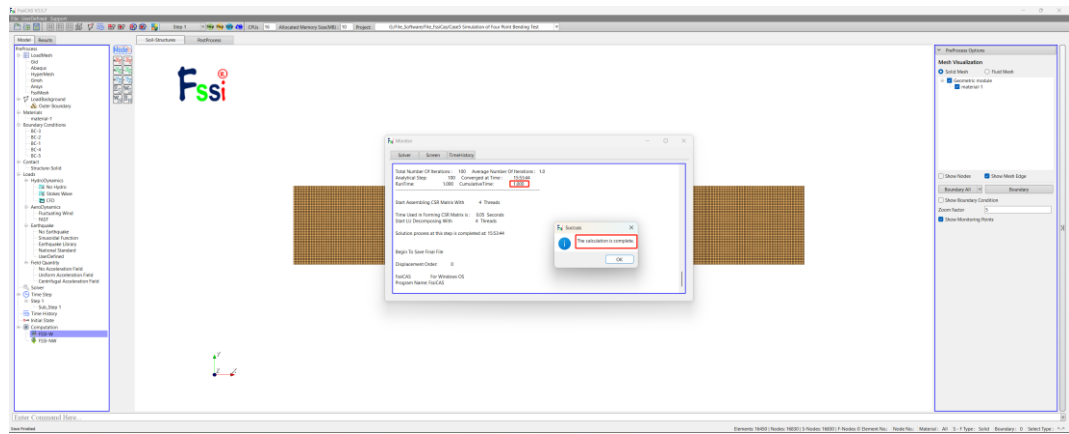


图 4-18 计算完成

1.2 FSSI-CAS-2D/3D 图形界面操作——后处理

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 Results Files Dir—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 4-19 所示。

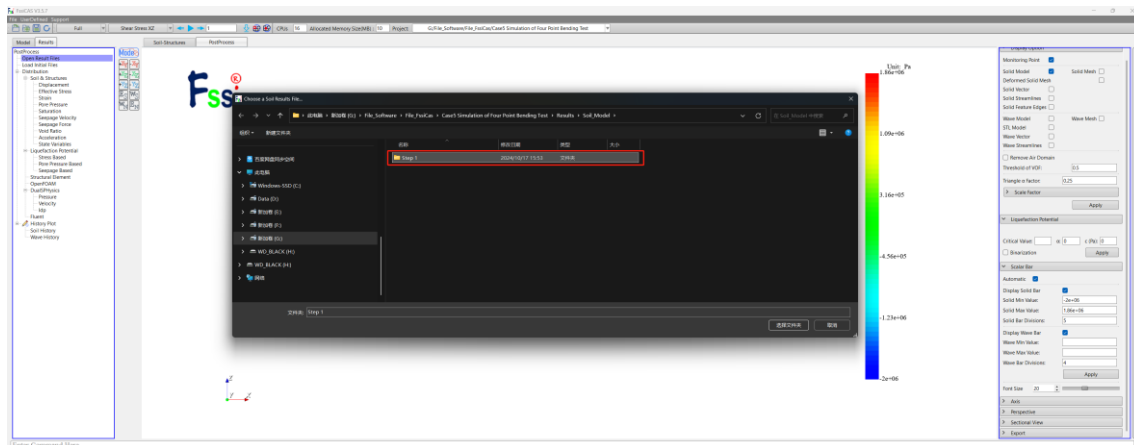
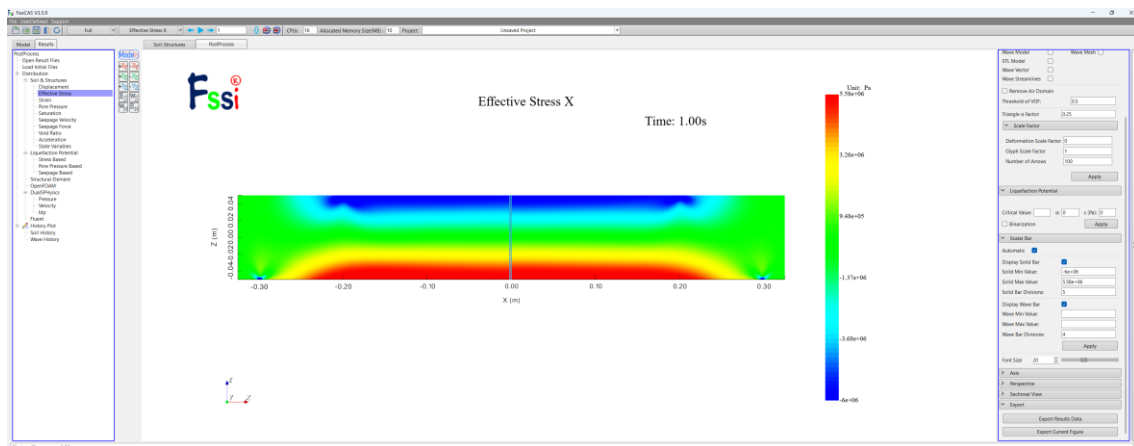


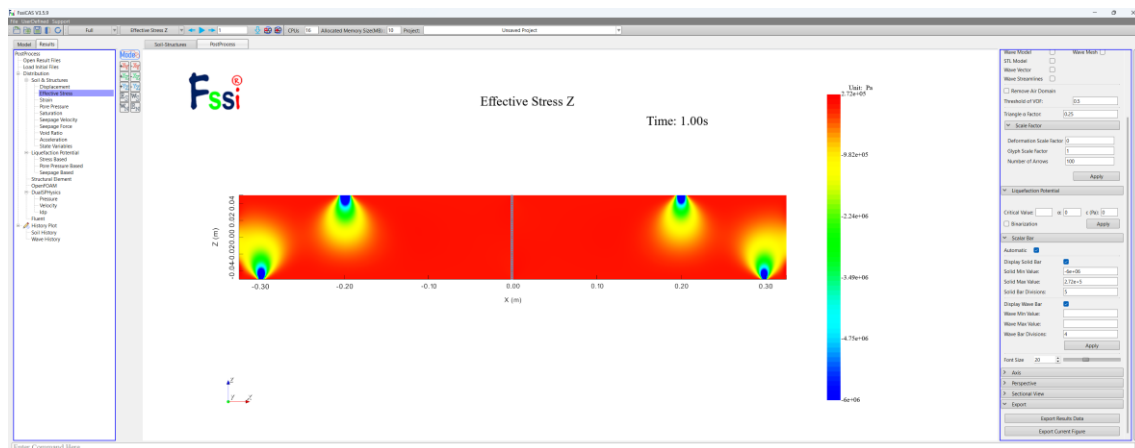
图 4-18 打开结果文件

1.2.2 绘制分布图

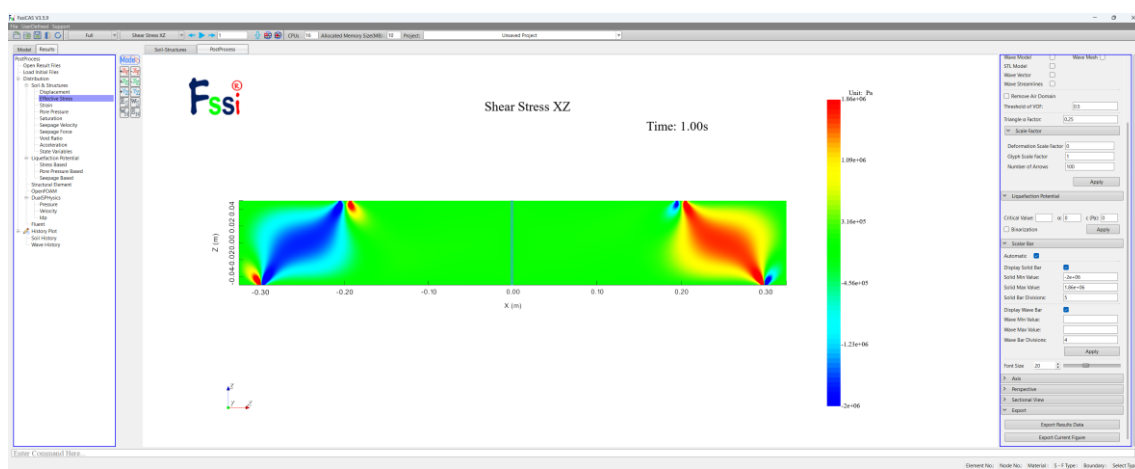
在工作区中显示选择 Displacement，在工具栏 2 中的输入窗口处输入时间步，按键盘上的“回车键”，即可在工作区中显示该时间步的应力分布图，如图 4-19、4-20 和 4-21 所示；



(a) σ_{xx}

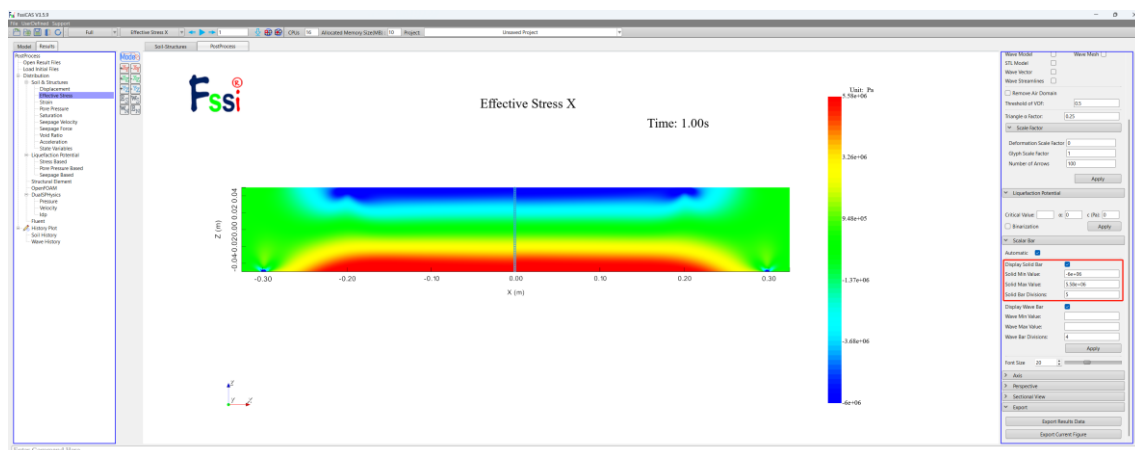


(b) σ_{zz}

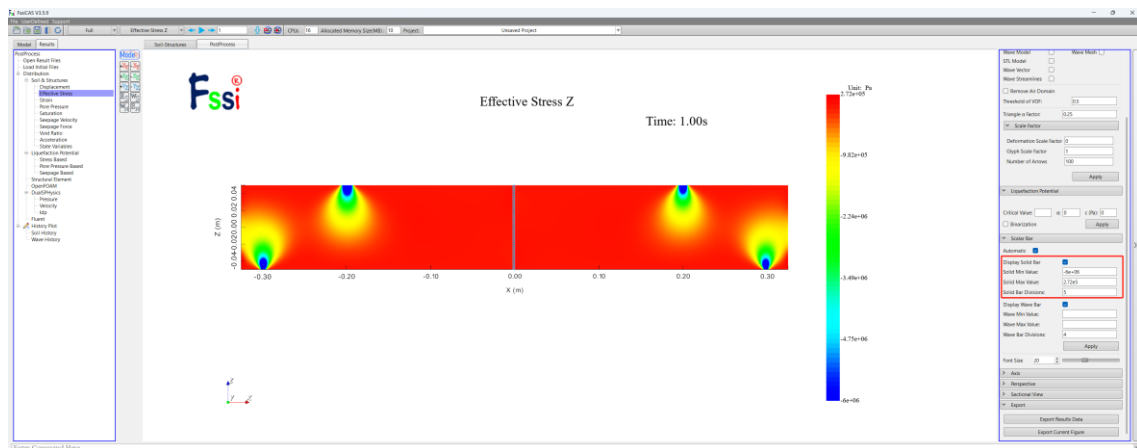


(c) τ_{xz}

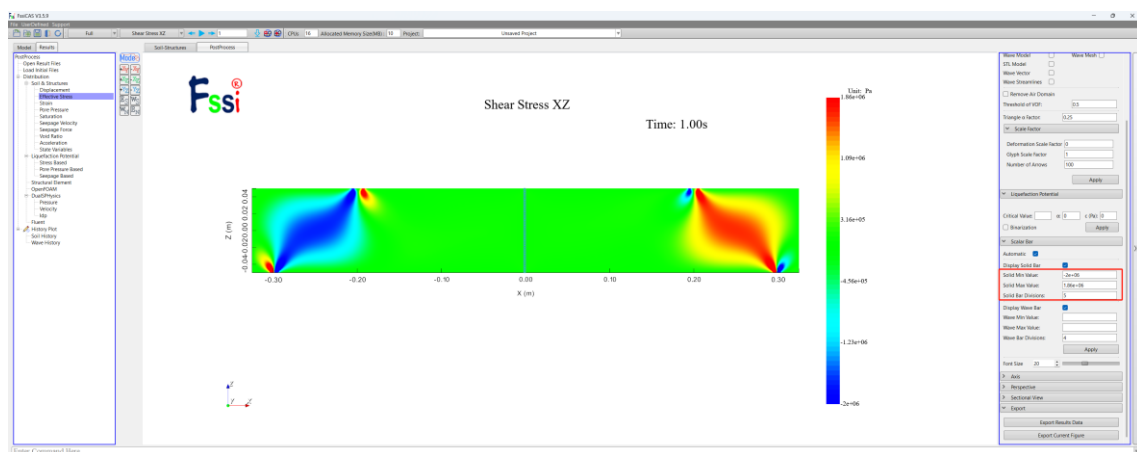
图 4-19 不考虑双模量特性时，应力云图



(a) σ_{xx}



(b) σ_{zz}



(c) τ_{xz}

图 4-20 考虑双模量特性时，应力云图

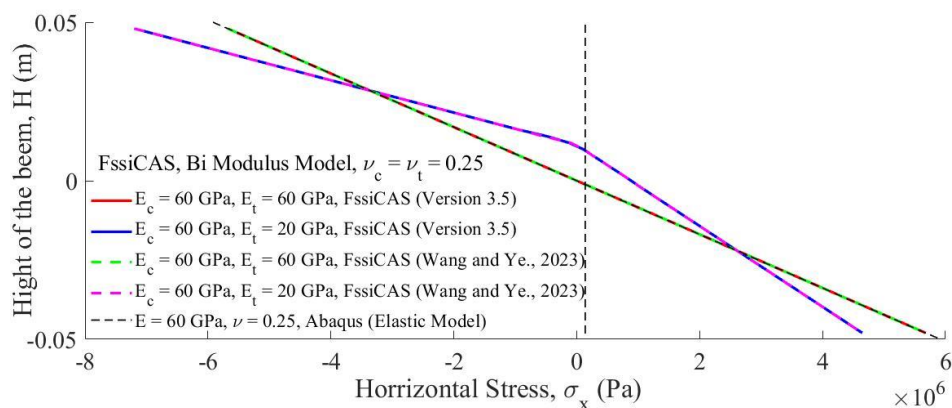


图 4.21 本版本 FssiCAS 双模量模型计算结果与 Wang and Ye, 2023 文章结果的对比
(Matlab 对比文件的 m 文件，详见工程文件下，名称为 Matlab 的文件夹)