

巴西劈裂实验模拟

巴西劈裂实验是获取试件的抗拉强度的经典方法。通过在圆柱体试件的直径方向上放置两根垫条，并施加相对的线性荷载，使试件内部产生拉应力。本案例通过模拟巴西劈裂实验，详细介绍了 FssiCAS 的基本操作方法。数值计算模型示意图如图 3-1 所示，相关计算参数如表 3.1 所示：

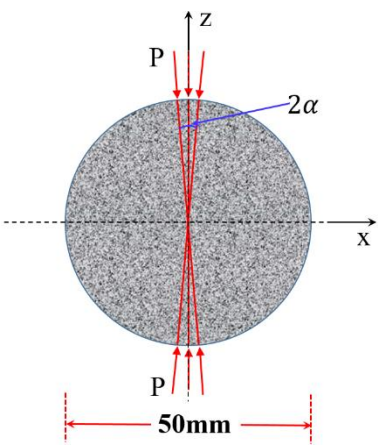


图 3-1 巴西劈裂实验示例图

1.1 网格划分

由于本软件需要需要借助专业网建立计算模拟以及划分网格。为此，本案例借助 Abaqus 软件建立模型并划分网格，计算模型如图 3-2 所示；

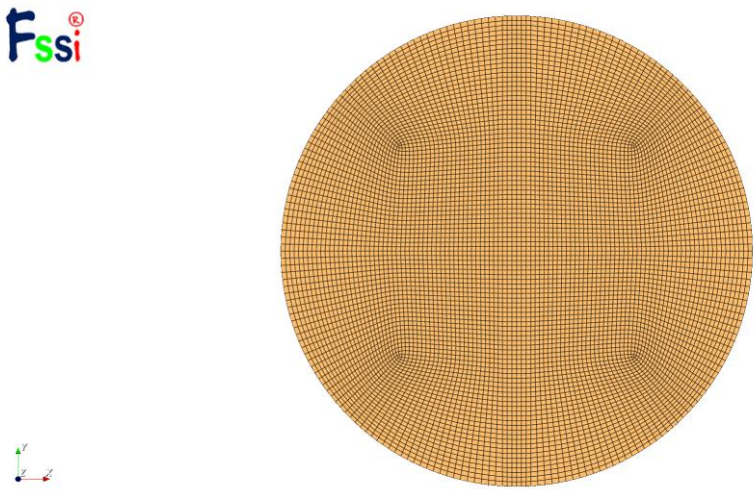



图 3-2 在专业网格划分软件 Abaqus 中建立模型并划分网格

1.2 FssiCAS 图形界面操作——前处理

1.2.1 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，比如命名为 Brazil_Disk_Split；然后用户点击图标 ，启动 FssiCAS 软件，界面如图 3-3 所示。

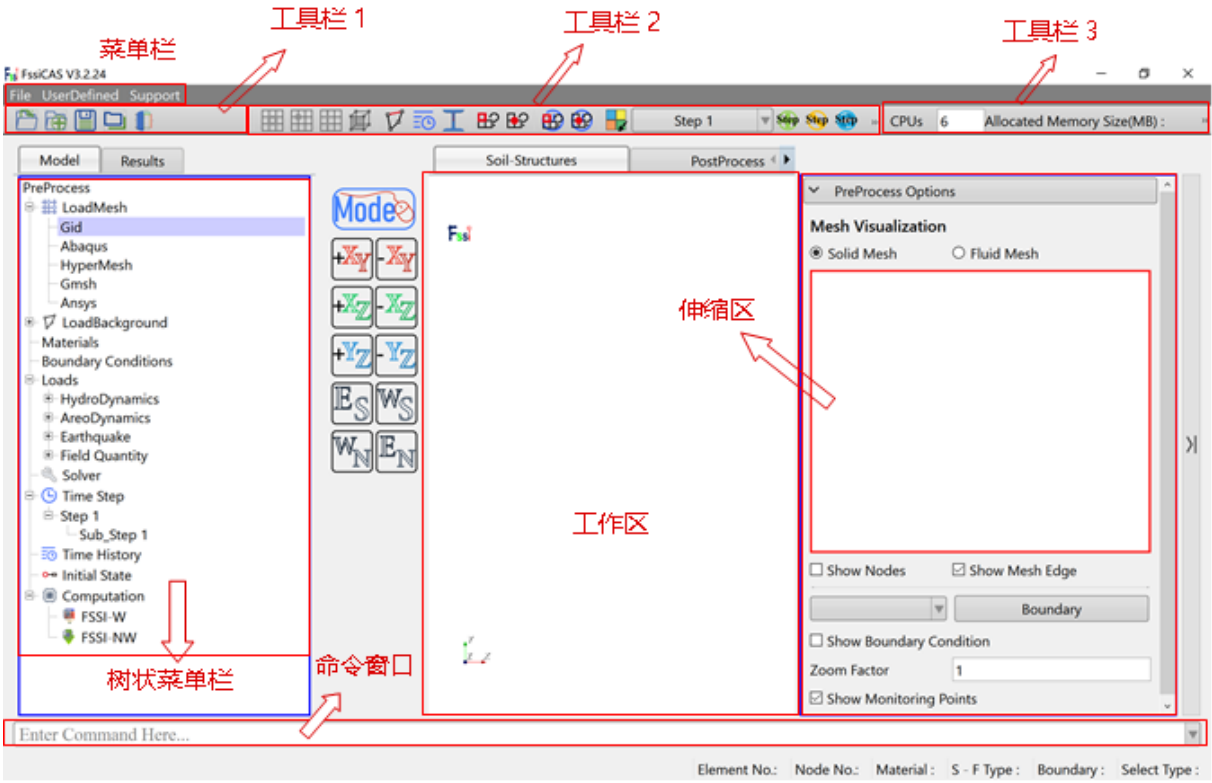



图 3-3 前处理界面

在 FssiCAS 软件中，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（选择 Brazil_Disk_Split 文件夹），即可将新建的项目保存在之前新建的文件夹里；当用户点击右上角 （退出软件）时，在弹出的窗口中选择 Yes，可保存当前项目，选择 No 即不保存当前项目，如图 3-4 所示。**注：文件夹名字不能包含中文字，软件的安装路径不能包含中文路径，项目的保存路径不能包含中文路径。**

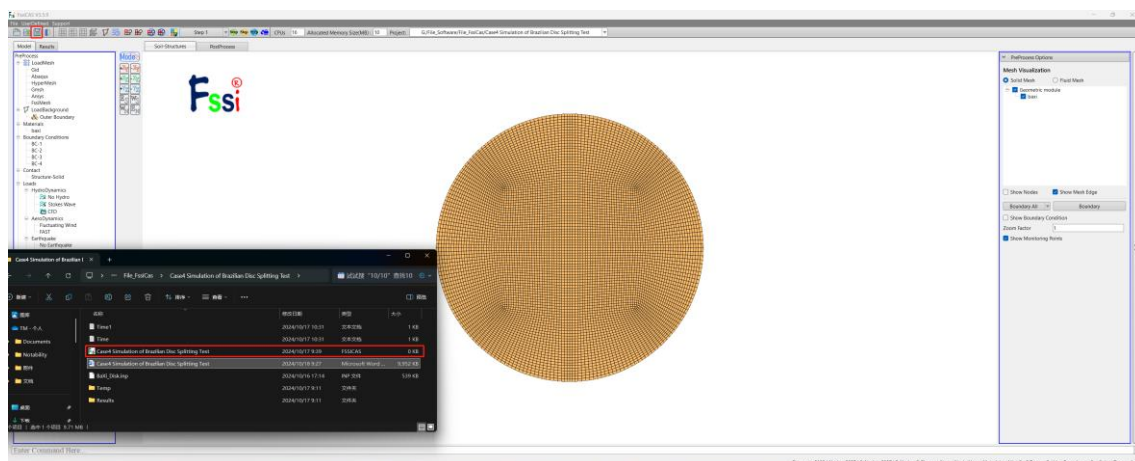


图 3-4 在 FSSI CAS 软件中新建和保存一个项目的过程图

1.2.2 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，在弹出 Choose Abaqus.inp File 窗口中，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 3-5 所示。

在弹出的 Load Mesh 窗口中设置固体节点数目和流体单元阶次，在本案例中固体节点采用四边形单元，不设置流体单元阶次，因此，流体节点阶次设置为 0（即没有流体存在），点击 OK，如图 3-6 所示。在工作区中显示几何模型如图 3-7 所示。

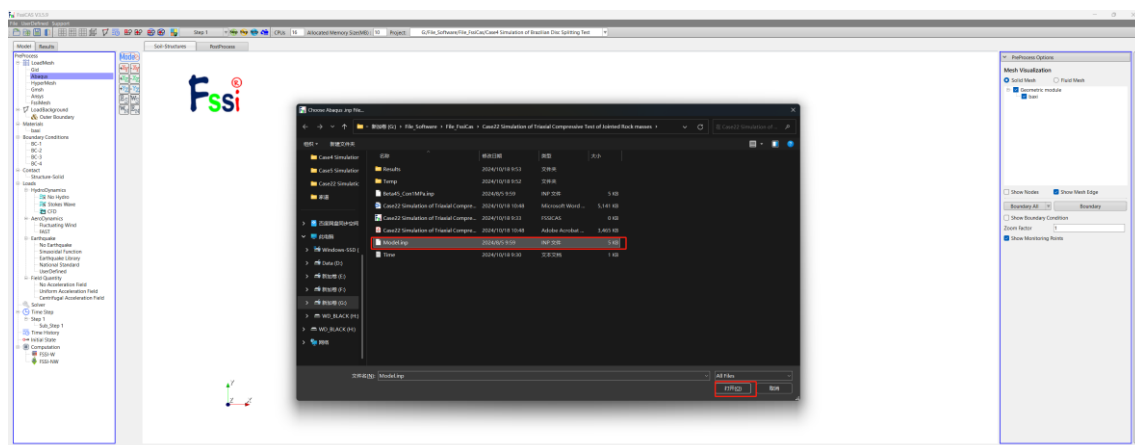


图 3-5 导入几何模型的网格文件

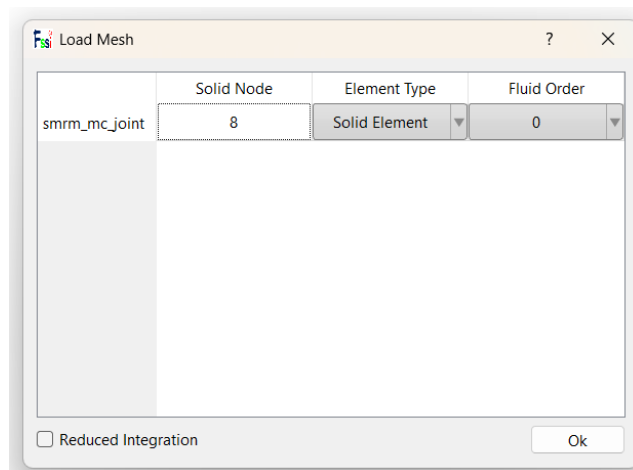


图 3-6 设置固体节点数和流体单元阶次

注：这里通常规定从第三方网格画分软件导入的网格系统单元上的固体节点的阶次不能改变，由软件自行判断固体节点的阶次。从 GID、Hypermesh Solidworks 等建模软件导出的网格中固体节点为几阶，那么导入 FSSI-CAS 软件后固体节点还是原阶次。此外，可以指定流体单元的阶次，但流体单元的阶次不能大于同位置固体单元的阶次。

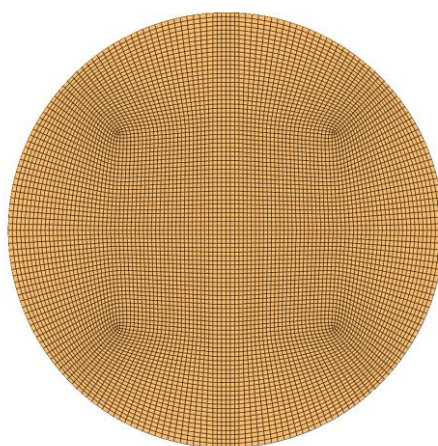


图 3-7 几何模型的显示

1.2.3 添加边界条件



几何模型的边界条件设置为：圆盘的上下两边界施加 50Mpa 的恒定的分布力；圆盘纵向对称轴上的所有节点设置为 X 方向位移固定；圆盘纵向对称轴上的所有节点设置为 Y 方向位移固定；圆盘的中心点施加 X、Y 方向位移固定；点击工具栏 2 中图标，进入边界选择模式，如图 3-8 所示；点击工具栏 2 中图标，进入单元选择模式，如图 3-9 所示；点击键盘‘R’键，开始选择；施加完成后的位移约束如图 3-10 所示。



图 3-8 进入边界选择模式



图 3-9 进入单元选择模式

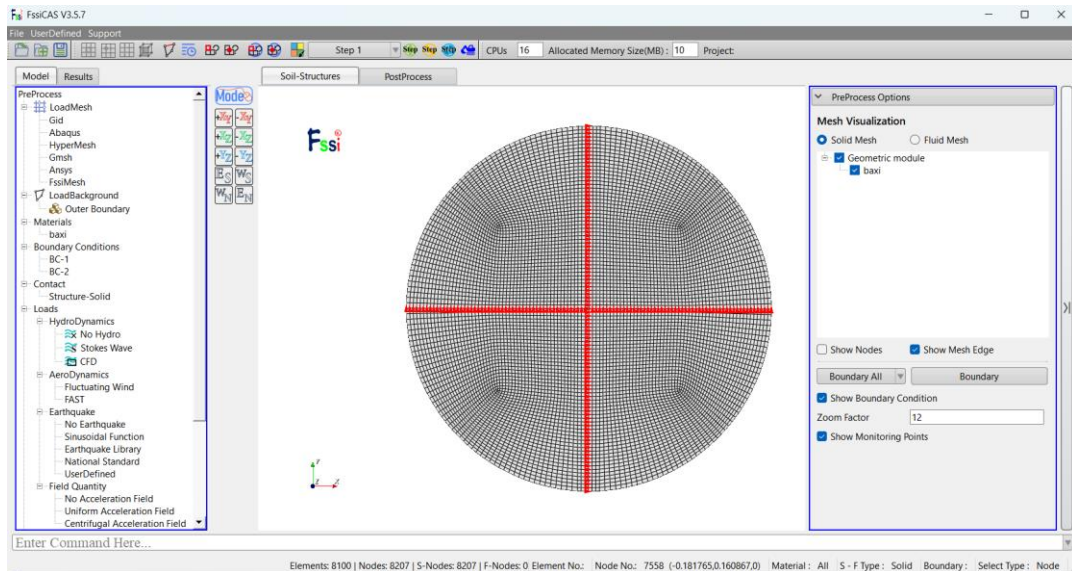


图 3-10 施加的位移边界条件

在工作区中拖动鼠标框选择圆盘的上下表面对称的 6 个单元，如图 3-11(a) 所示，选中后被选择的单元出现高亮；当选择‘R’键模式，无法拖动圆盘模型。再次点击‘R’键，取消此模式，按住鼠标中键即可拖动圆盘模型。

点击鼠标右键，在显示的边界条件下拉菜单中，选择 **Distribution Pressure—Apply**；在弹出的对话框中施加应力时程曲线，大小为 50MPa，并将此边界条件命名为 BC-3 和 BC-4，点击 Ok，力边界条件施加完成，如图 3-11(b) 所示；

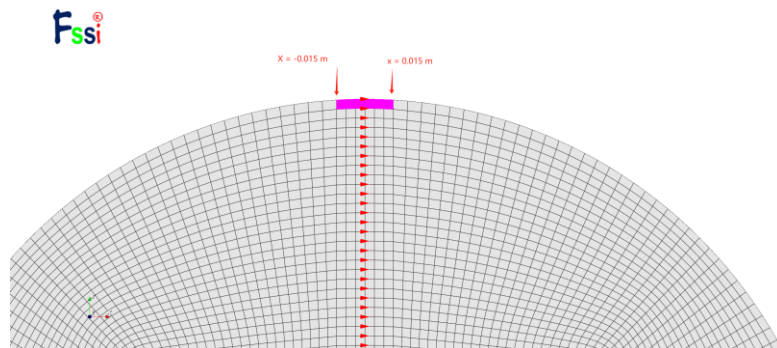


图 3-11 (a) 选中对称轴两侧的 3 个单元施加 50 MPa 的均布压力

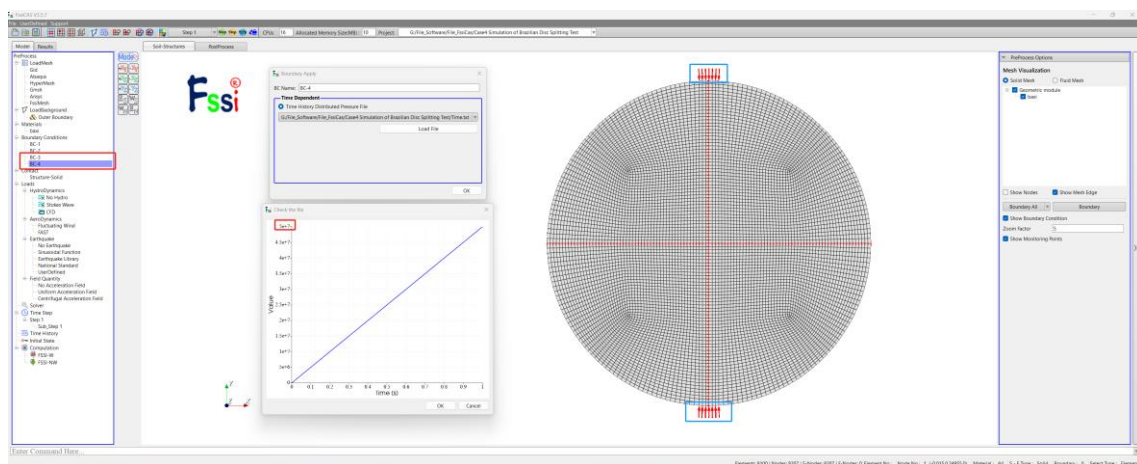


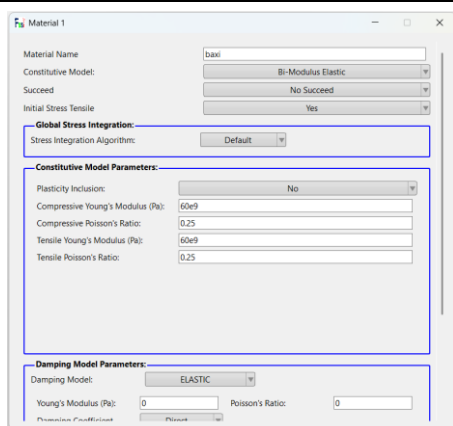
图 3-11 (b) 将几何模型的上下两边界选中并选择施加分布力

1.2.4 设置材料参数

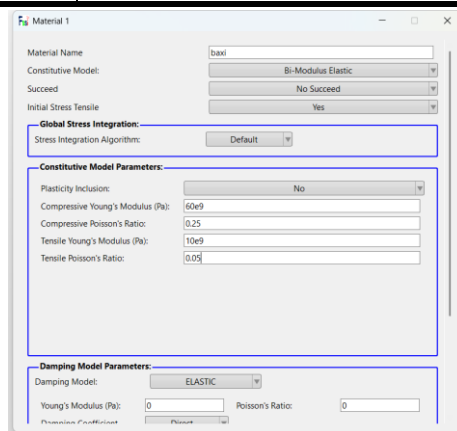
在前处理界面正上方的工具栏 2 中，点击设置材料属性和参数的功能按钮 **Material**；在弹出的窗口中选择双模量弹性本构模型 **Bi-Modulus Elastic**，输入对应的材料属性参数，点击 **OK**，材料属性和参数设置如图 3-12 所示；当不考虑材料的双模量特性时，可以将拉伸弹性模量 E_t 设置成和压缩弹性模量 E_c ，拉伸泊松比 ν_t 设置成和压缩泊松比 ν_c 一样的值。

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 3-12 设置材料的相关属性参数

1.2.5 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响应。因此，设置耦合方式为非耦合，不考虑波浪动力，且无动力，如图 3-13 所示；

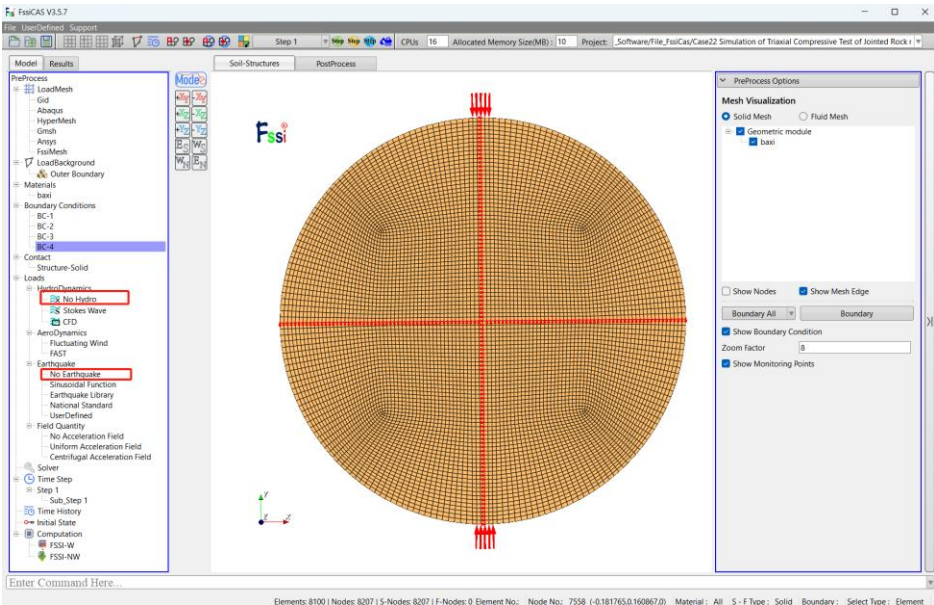


图 3-13 耦合方式和地震响应的设置

1.2.6 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 3-14 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。

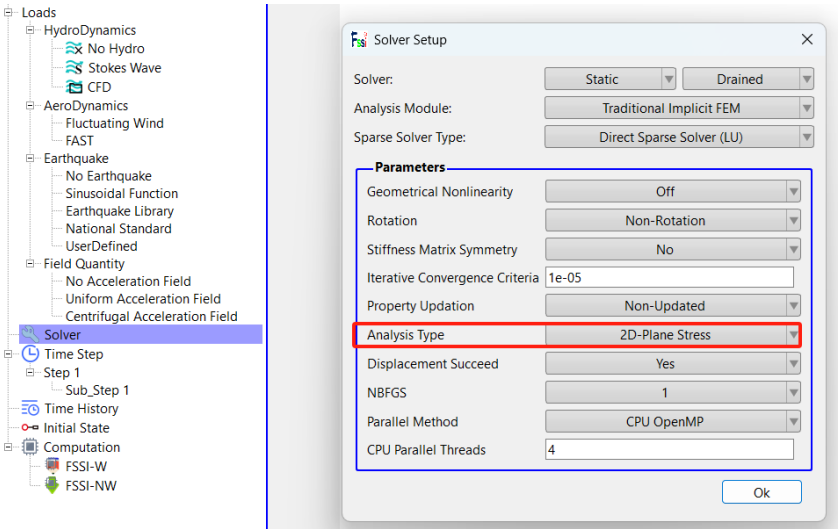


图 3-14 设置求解器的相关属性参数

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 3-15 所示；

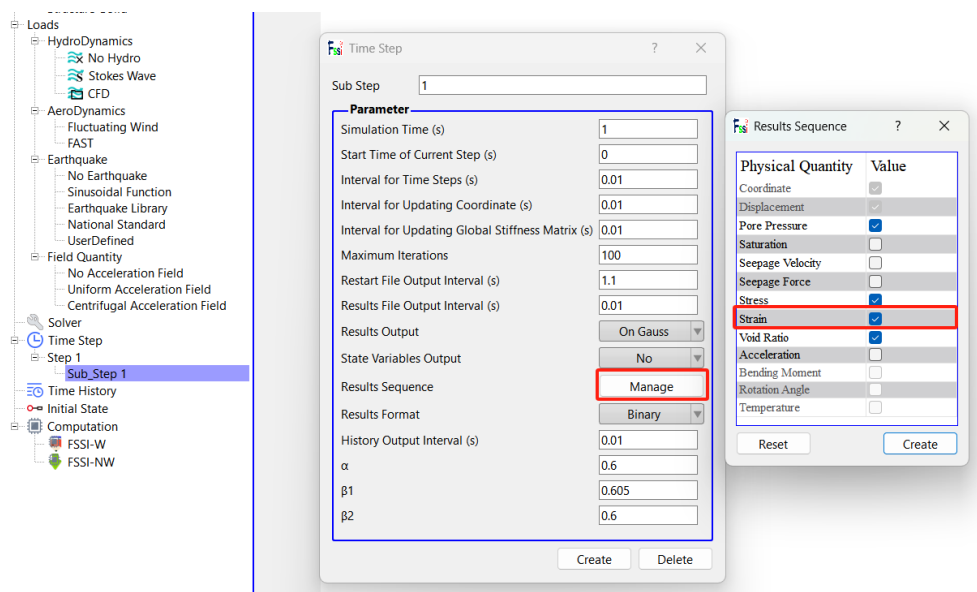





图 3-15 设置时间步和相关属性参数

- 注：1.更新坐标的数值大于总时间数值表示不更新，反之表示更新；
- 2.更新刚度矩阵的数值大于总时间数值表示不更新，反之表示更新；
- 3.输出重启文件的数值大于总时间数值表示不输出，反之表示输出，但是无论如何，程序结束时都会输出一次；
- 4.必须满足条件： $\alpha \geq 0.5$ 、 $\beta_1 \geq \beta_2 \geq 0.5$ ；

1.2.7 添加时程输出

需要输出时程结果的点设置为：圆盘的纵向对称轴上的所有节点和单元；

点击工具栏中图标，进入输出时程选择模式；

点击工具栏中图标和，进入单元和节点选择模式；

在单元选择模式下选择纵向对称轴左右两侧任意侧的一列单元，输出 **Create All History Plot**。

在节点选择模式下有效应力 (σ_x 、 σ_z 、 σ_y 、 τ_{xz})，应变 (ε_x 、 ε_z 、 ε_y 、 γ_{xz})，如图 3-16 所示；

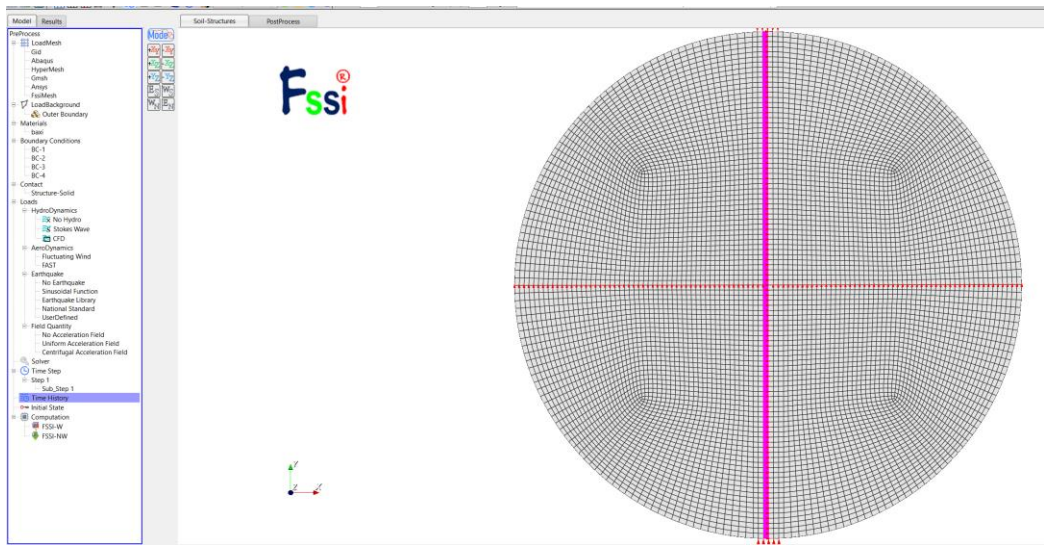


图 3-16 设置输出时程结果的点

点击 FssiCAS-2D/3D—Preprocess—Solver—Time Histroy，可以显示输出的时程结果列表，选择列表中的项，点击右键可以进行删除操作，如图 3-17 所示；

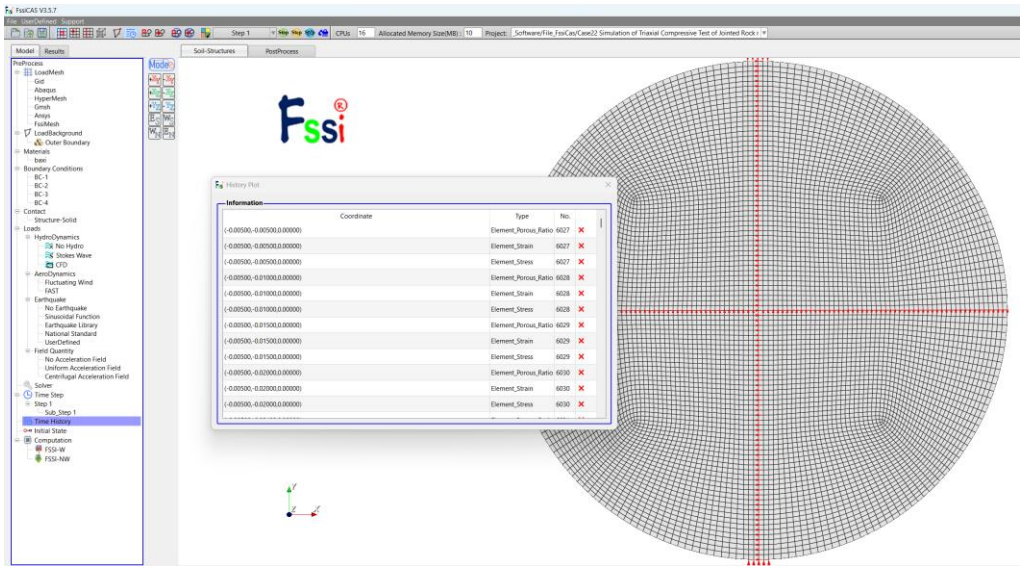


图 3-17 显示输出的时程结果列表

1.2.8 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 3-18 所示；

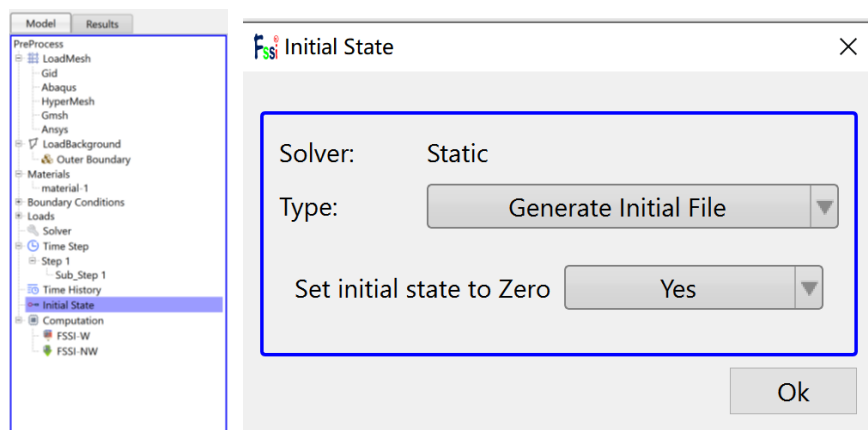


图 3-18 设置初始状态

1.2.9 计算并保存

首先，点击菜单栏上的保存按钮，保存该项目文件。其次，点击在前处理界面上 Model 树状菜单栏里 Computaton 中的 FSSI-W 开始计算，如图 3-19 所示；

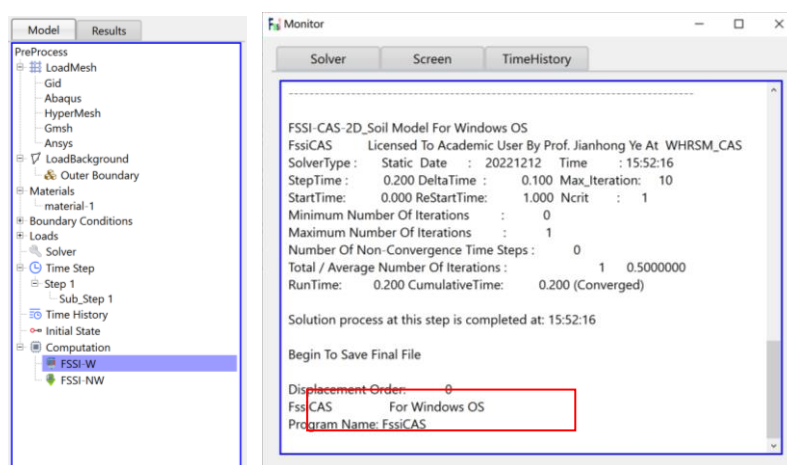


图 3-19 计算开始

注：FSSI-NW 表示启动计算程序时不修改输入文件。

FSSI-W 表示启动计算程序时修改输入文件。

1.3 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。

1.3.1 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 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 3-28 所示。

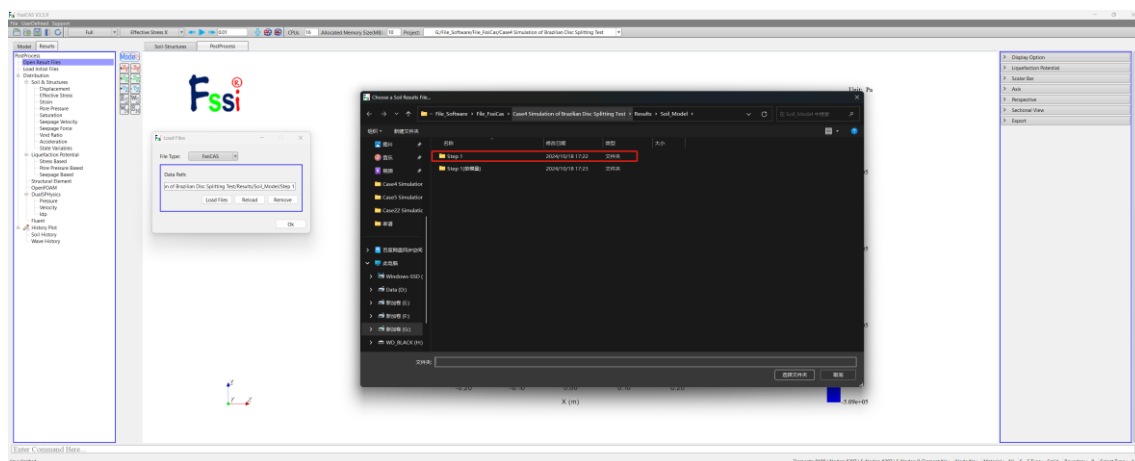
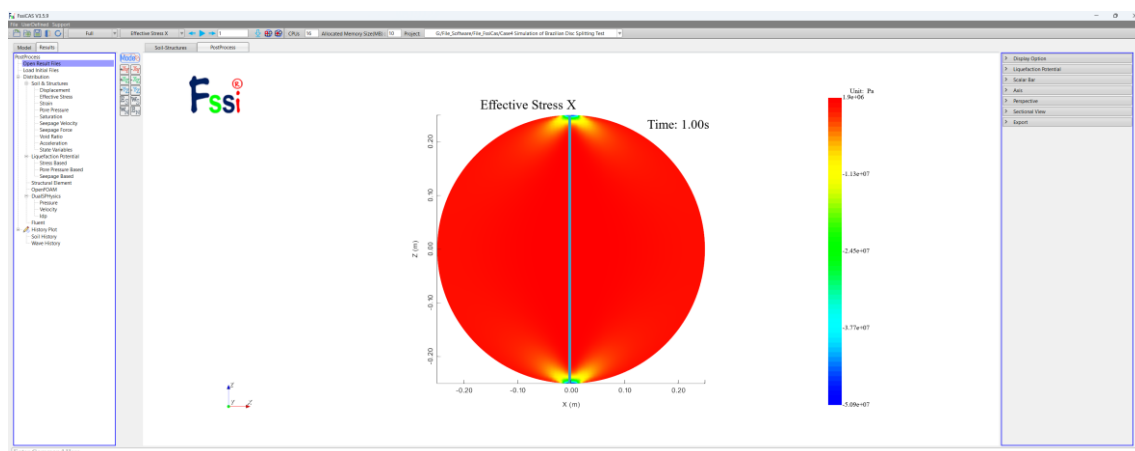


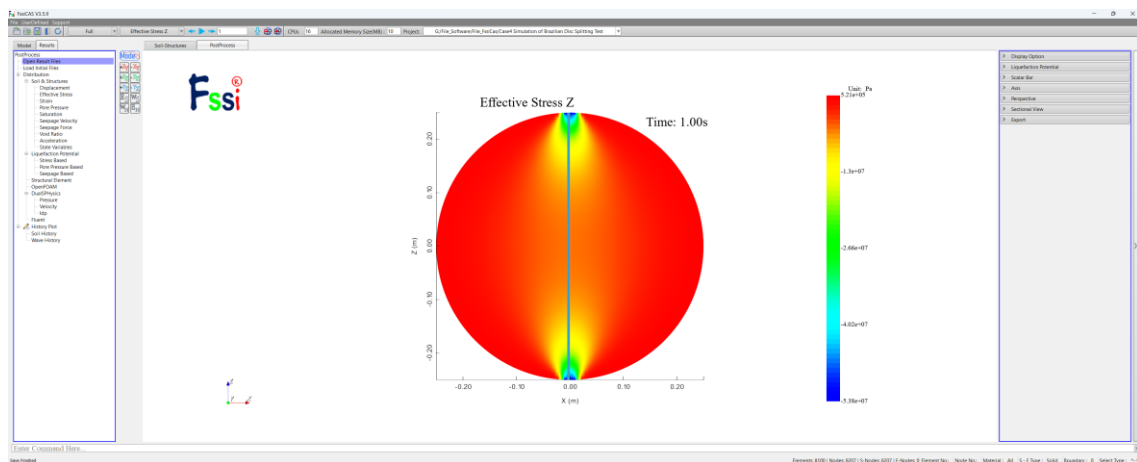
图 3-28 打开结果文件

1.3.2 绘制分布图

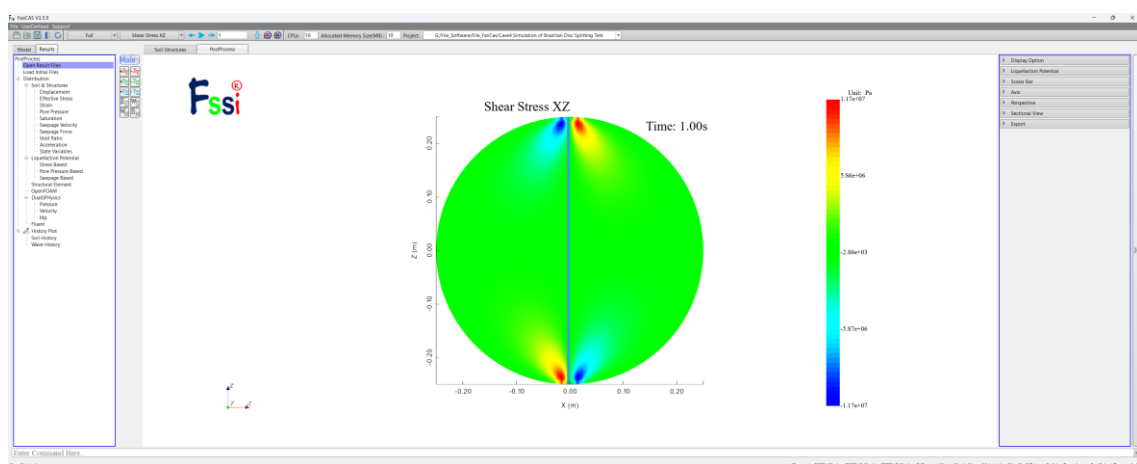
在树状菜单栏中选择 Displacement 后在工作区中显示选择 Effective Stress X，并在工具栏 2 中的输入窗口处输入时间步，按键盘上的“回车键”，即可在工作区中显示该时间步的 x 方向应力分布图：



(a) σ_{xx}

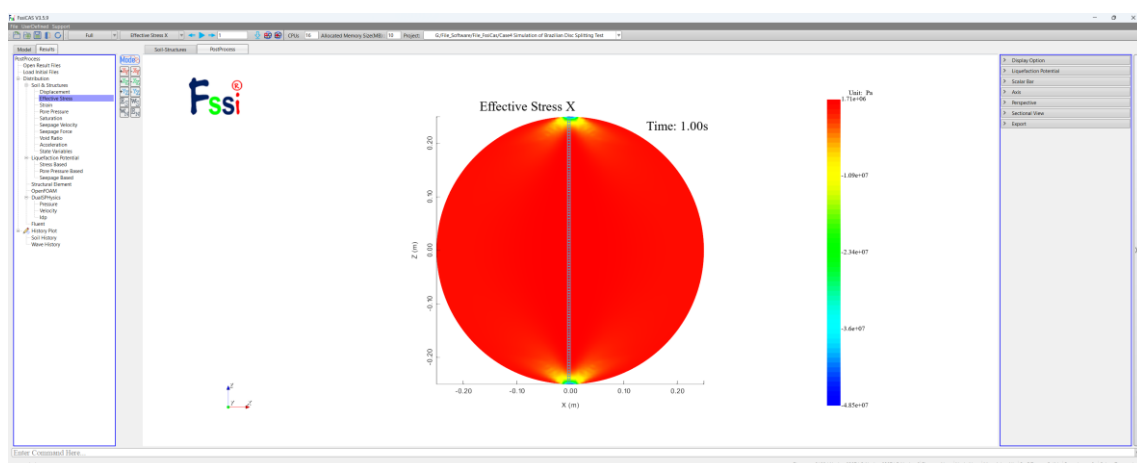


(b) σ_{zz}

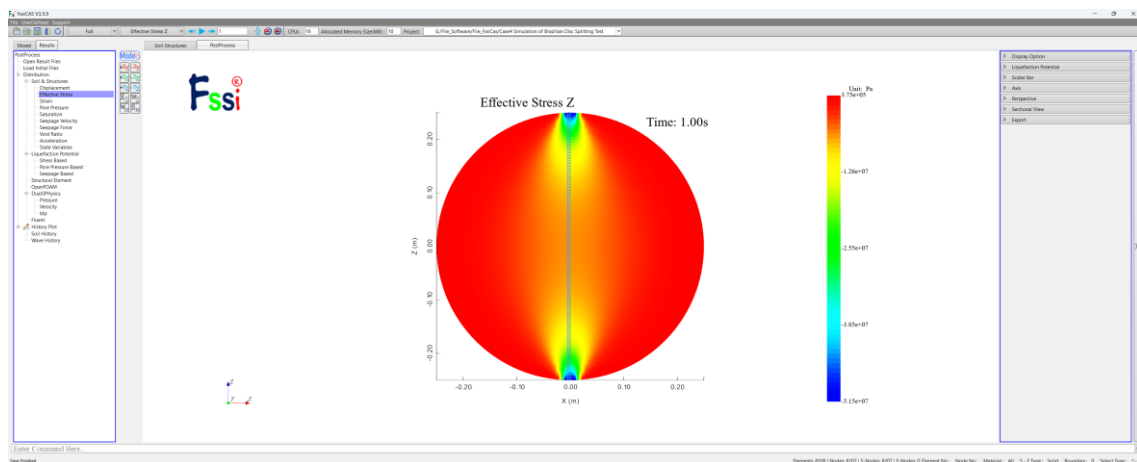


(c) τ_{xz}

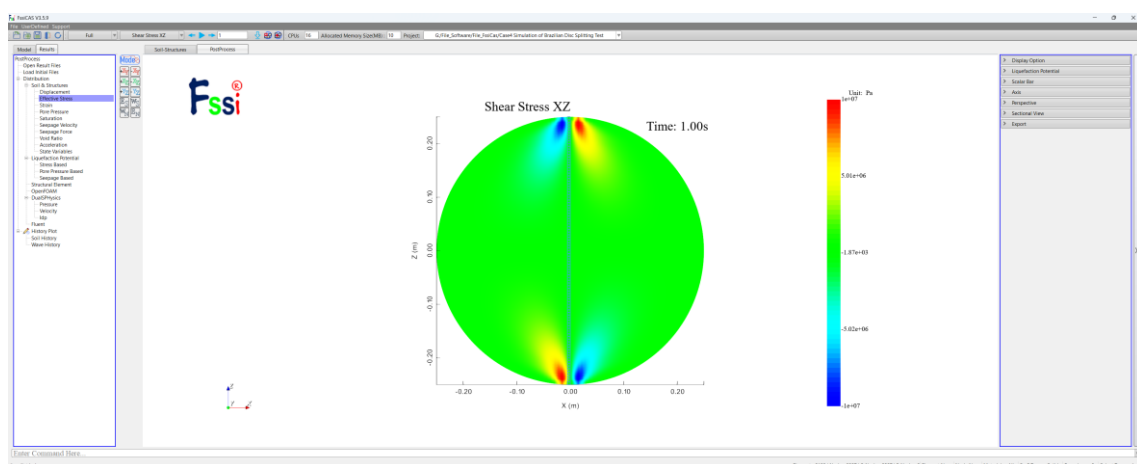
图 3-29 不考虑双模量特性的应力云图



(a) σ_{xx}



(b) σ_{zz}



(c) τ_{xz}

图 3-30 考虑双模量特性的应力云图