

用户自定义边界条件（车辆载荷）

本案例通过模拟道路对车辆动荷载的应力位移响应，讲解用户自定义边界条件的编辑及使用。假设整个路段是均质弹性的，道路长度为 200 m，车轮与路面的接触是面接触，并将车辆荷载简化成随时间和空间变化的移动分布荷载，模型如图 8-1 所示。

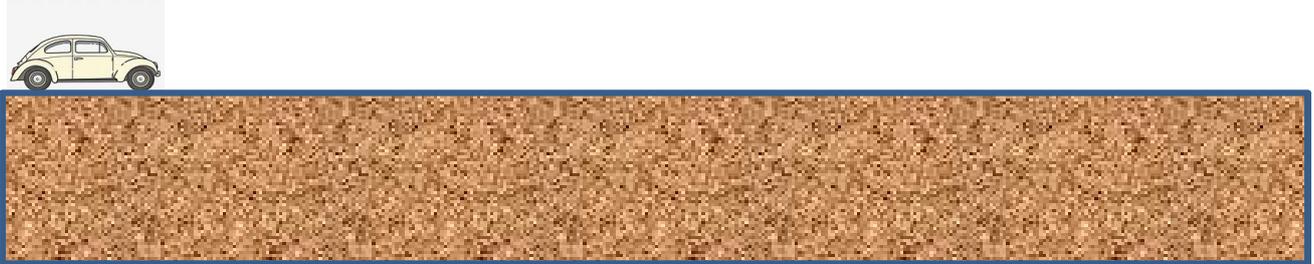


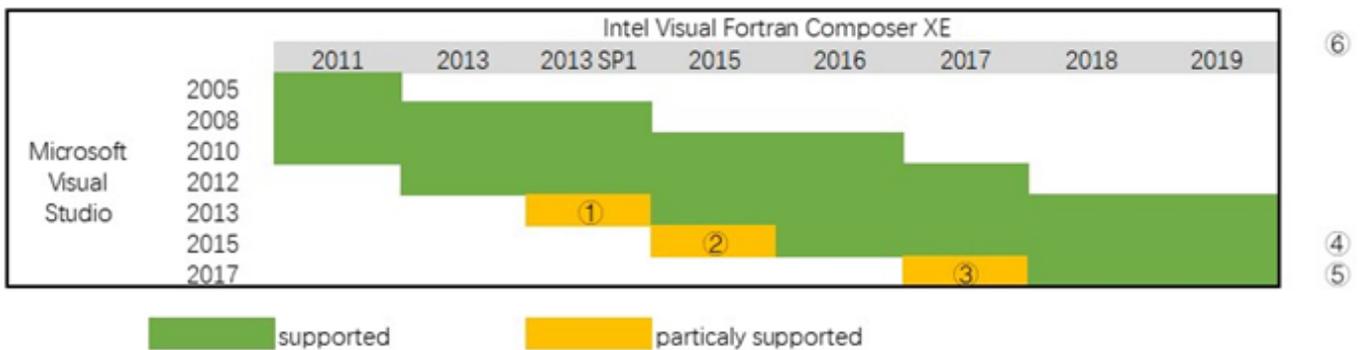
图 8-1 车辆荷载作用下的道路模型示意图

8.1 自定义边界条件的编程与编译

FSSI 提供了用户自定义边界条件的模板，通过 VS 和 Intel 编辑器即可对其进行操作，具体步骤如下。

8.1.1 搭建编译环境

下载 VS（Visual Studio）软件并下载与 VS 软件匹配的 Intel 编译器(Intel Visual Fortran Composer XE)。需要注意，Intel 编译器必须要与 VS 版本匹配，用户可依据图 8-2 下载匹配的 VS 与 Intel 编译器。



注：建议使用 2017 版本。

①	VS2013 support was added in Composer XE 2013 SP1 Update 1 (14.0.1)						
②	VS2013 support was added in Parallel Studio XE 2015 Update 4 (15.0.4)						
③	VS2017 is supported in Parallel Studio XE 2017 Update 5 only						
④	If is Community edition, Desktop development with C++ component is needed						
⑤	If is Community edition, Common Tools for Visual C++ 2015 component is needed						
⑥	the version number is same with Intel Parallel Studio XE						
	12.0&12.1	13.0&13.1	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0

Release Notes of IVF: <https://software.intel.com/en-us/artides/intel-fortran-compiler-release-notes>

图 8-2 Intel Visual Fortran Composer XE 和 Visual Studio 的版本对应图

8.1.2 根据模板编写 DLL 文件

FSSI 提供的用户自定义边界条件模板的*.f90 文件分别提供了自定义位移、孔压、集中力和流量（UPFQ）和自定义分布荷载、分布流速（FV）的子程序接口。在固体节点上可以自定义位移、集中力；在流体节点上可以自定义孔压、流量；在固体单元上可以自定义分布力；在流体单元上可以自定义分布渗流速度。**Subroutine Userdefined BoundaryValue UPFQ** 为自定义位移、孔压、集中力和流量子程序的接口，**Subroutine Userdefined BoundaryValue FV** 为分布荷载和分布渗流速度子程序的接口，如图 8-3 所示。打开模板后找到图 8-3 中圈出的对应位置进行用户自定义边界条件文件的编写。

本案例编写的代码内容如图 8-4 所示。

```

1 Subroutine UserDefined_BoundaryValue_UPFQ_1(Coordinate, Ndim, RunTime, Pressure, Idofn)
2 !
3 !   UPFQ: 表示在节点上施加位移、孔压、集中力、流量
4 !   返回施加在坐标为Coordinate的点, 第Idofn个自由度方向上的边界条件值Pressure
5 !DEC$ ATTRIBUTES DLLEXPORT::UserDefined_BoundaryValue_UPFQ_1
6
7 Implicit None
8
9 !   Input Variables
10
100
137 Subroutine UserDefined_BoundaryValue_FV_1(Coordinate, Ndim, RunTime, Pressure)
138 !
139 !   FV: 表示在单元上施加分布力、速度
140 !DEC$ ATTRIBUTES DLLEXPORT::UserDefined_BoundaryValue_FV_1
141
142 Implicit None
143 !   Input Variables

```

图 8-3 用户自定义边界条件起始部位示意图

```

Subroutine UserDefined_BoundaryValue_UPFQ_1(Coordinate,Ndime,RunTime,Pressure,Idofn)
! UPFQ: 表示在节点上施加位移、孔压、集中力、流量
! 返回施加在坐标为Coordinate的点, 第Idofn个自由度方向上的边界条件值Pressure

!DEC$ ATTRIBUTES DLLEXPORT::UserDefined_BoundaryValue_UPFQ_1

Implicit None

! Input Variables
Integer Ndime
Integer Idofn !表明返回值Pressure施加的自由度方向: 1为X方向, 2为Z方向, 孔压对应值为1
Double Precision Coordinate(Ndime)
Double Precision RunTime
! Output Variables
Double Precision Pressure
! Local Variables
Double Precision X,Y,Z
Double Precision Velocity,F,Pi,Lamda,Distance

! Body of UserDefined_BoundaryValue

Velocity=20.0D0 !速度
X=Coordinate(1)
Y=Coordinate(2)
Pi=3.1415926
F=-10000.0D0 !振幅
Lamda=8.0D0 !波长 (力的作用面积的两倍)
Distance=10.0D0

Pressure=0.0D0
If(X>=Velocity*RunTime.AND.X<=Velocity*RunTime+Lamda/2)Then !定义域内
  If(Idofn==2)Then !自由度方向
    Pressure=F*Sin((2*Pi/Lamda)*(X-Velocity*RunTime))
  End If
End If

If(X>=Velocity*RunTime+Distance.AND.X<=Velocity*RunTime+Lamda/2+Distance)Then
  If(Idofn==2)Then
    Pressure=F*Sin((2*Pi/Lamda)*(X-Velocity*RunTime-Distance))
  End If
End If

!If(Abs(Y-0.25)<1.0E-15.OR.Abs(Y-0.5)<1.0E-15.OR.Abs(Y-0.75)<1.0E-15)Then
! Pressure=2.0D0*Pressure
! End If

Return
End Subroutine UserDefined_BoundaryValue_UPFQ_1

```

图 8-4 本案例编写的用户自定义边界条件代码

8.1.3 由*.f90 文件生成动态链接库（DLL）文件

编辑完成后，点击生成—生成解决方案，如图 8-5 所示。如果用户不自己定义保存路径，生成的 DLL 文件默认在图 8-4 中新建项目保存路径下的 UserDefined_BoundaryValue 文件夹内，具体路径是 UserDefined_BoundaryValue—UserDefined_BoundaryValue—x64—Debug，Debug 配置下的 DLL 文件生成路径如图 8-6 所示。



图 8-5 生成用户自定义边界条件 DLL 文件的步骤示意图



图 8-6 Debug 配置下 UserDefined_BoundaryValue.dll 文件的存储地址

注：用户自定义边界条件动态链接库要给定施加力的大小和方向。施加分布荷载时，以压为正，拉为负；施加集中荷载时，与坐标正方向同向为正，反向为负。注意不要将方向弄反！

8.2 FssiCAS 图形界面操作——前处理

8.2.1 导入网格和背景线

点击 FssiCAS—Preprocess—Load Mesh，在弹出的文件选择对话框中选择 Abaqus 输出的 *.inp 网格文件，双击或点击打开按钮，如图 8-7 所示。

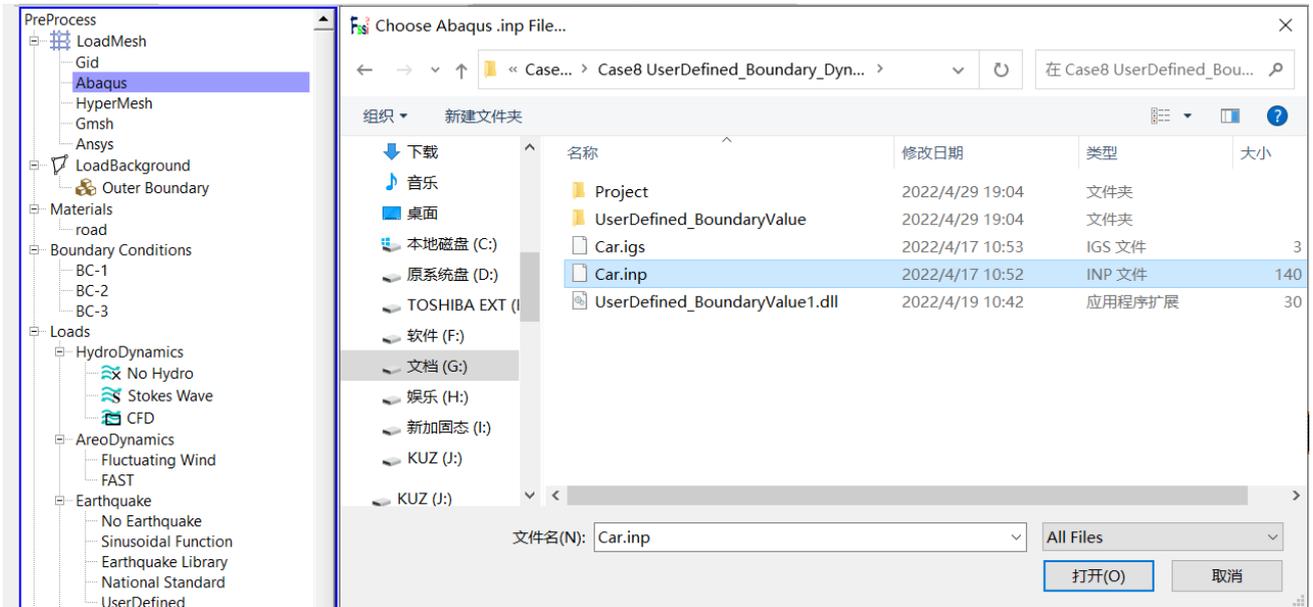


图 8-7 导入 Abaqus 网格的步骤示意图

在弹出对话框中设置流体节点阶次如图 8-8 所示。本案例中固体节点采用四边形四节点单元。不设置流体节点，因此，界面中流体节点阶次设置为 0，点击 Ok 按钮确认选择。

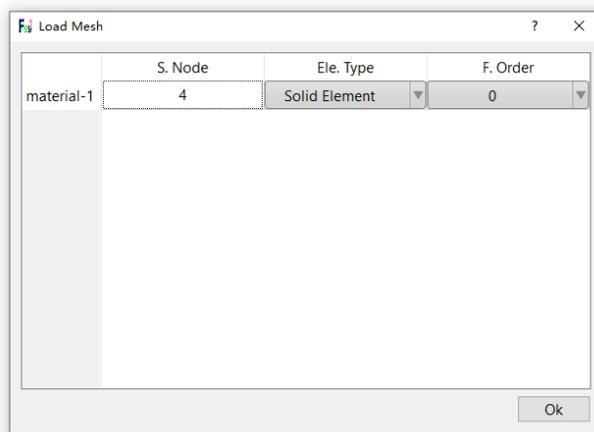


图 8-8 设置流体节点阶次界面

点击 Preprocess—Load Background—Outer Boundary，在弹出的文件选择对话框中选择 Abaqus 输出的*.igs 网格文件，双击或点击打开按钮，如图 8-9 所示。界面中展示导入模型如图 8-10 所示。

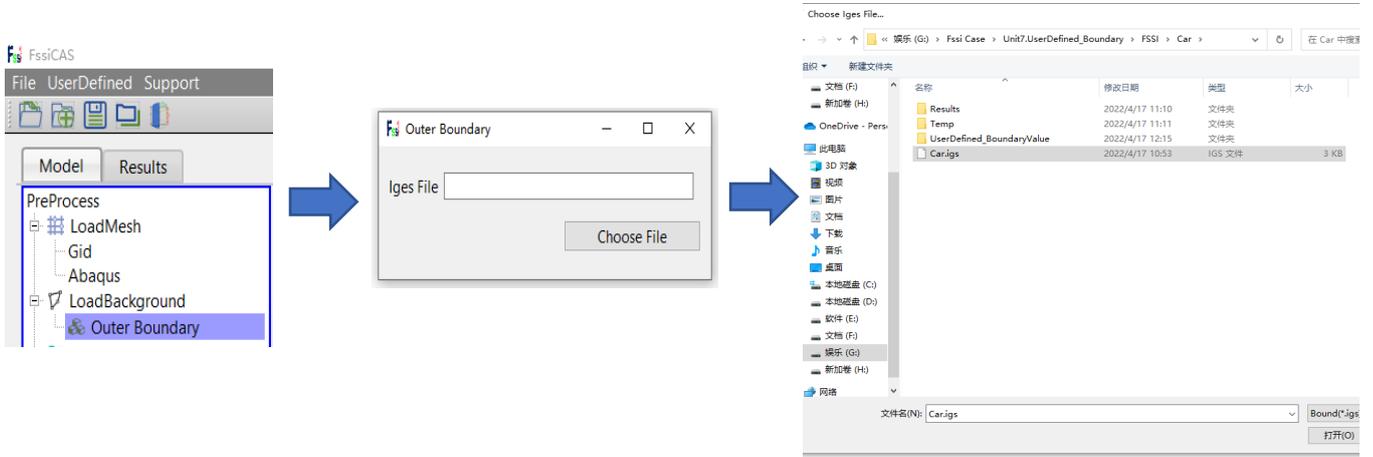


图 8-9 加载外背景线 (Outer Boundary) 的步骤示意图

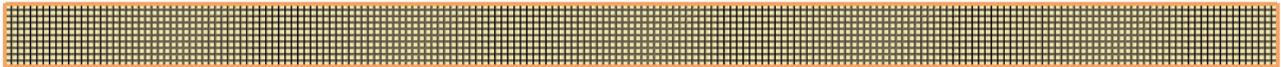


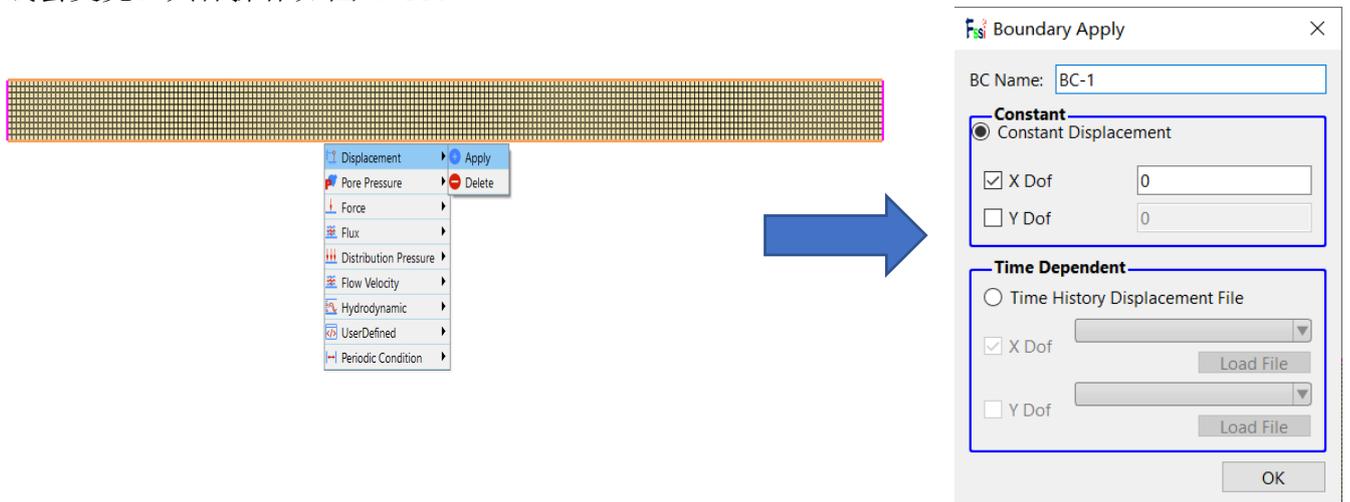
图 8-10 加载成功后的计算网格

8.2.2 时间步 Step1 设置

本案例设置 Step 1、Step 2 两个时间步， Step 1 用于给后续计算提供一个良好的初始状态，Step 2 为正式加载计算时间步。

8.2.2.1 添加边界条件

本案例分别对底边 ($y = 0\text{ m}$) 节点设置 x 与 y 方向的约束，对左右两个侧边 ($x = 0\text{ m}$) 和 ($x = 200\text{ m}$) 的节点设置 x 方向的约束。点击工具栏中图标，点击工具栏中图标，进入背景线选择模式。点击键盘‘R’键，开始选择。进入边界选择模式，点击选择后被选择的线会变亮。具体操作如图 8-11。



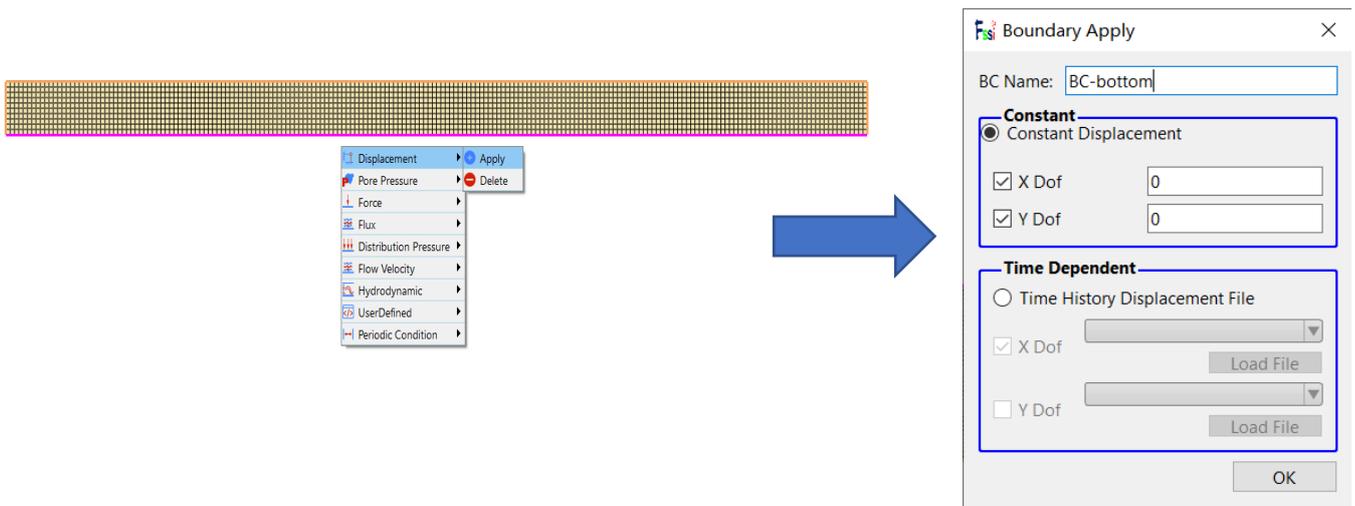


图 8-11 选择边界线添加边界条件

注：1.在右侧快捷窗口中点击 Show Boundary Condition，可以检查是否正确添加边界条件。

2.边界条件添加时第二次设置会覆盖第一次设置，如重复添加边界条件，一定要保证第二次的边界条件为最终边界条件，或者单独对重复节点进行多种不同的边界条件的设置。

8.2.2.2 重力场设置

在 y 方向设置重力加速度为 -9.806m/s^2 ，如图 8-12 所示。

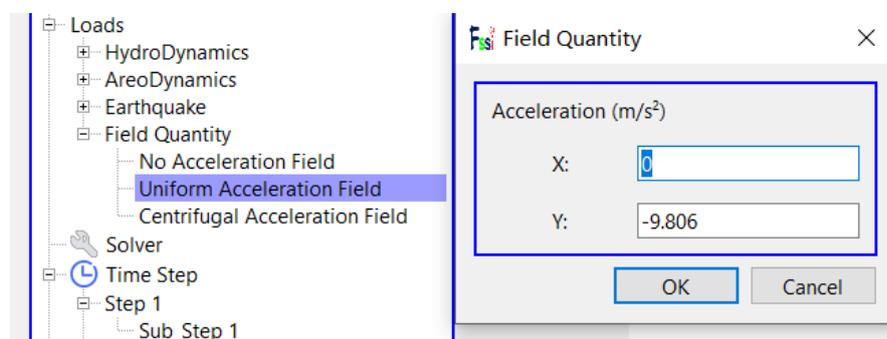


图 8-12 重力加速度设置界面

8.2.2.3 水动力边界条件设置

由于本案例不考虑流体节点，因此不需要设置水动力边界条件，并且设置耦合方式为非耦合，点击 FssiCAS—Preprocess—Hydrodynamics—No Hydro—Yes。如图 8-13 所示。

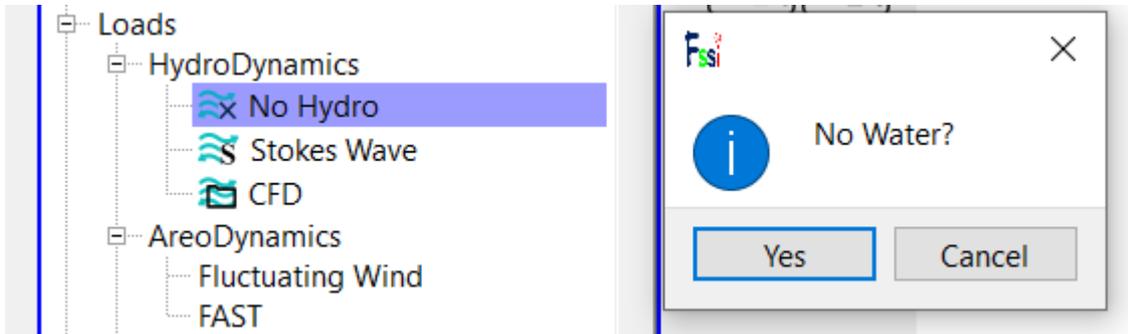


图 8-3 流固耦合方式设置界面

8.2.2.4 设置材料参数

点击 FssiCAS—Preprocess—Material—Material 1，材料名称用户可以自行更改，本案例重命名材料为 road，在弹出对话框中输入材料参数。本案例参数设置如图 8-14 所示。

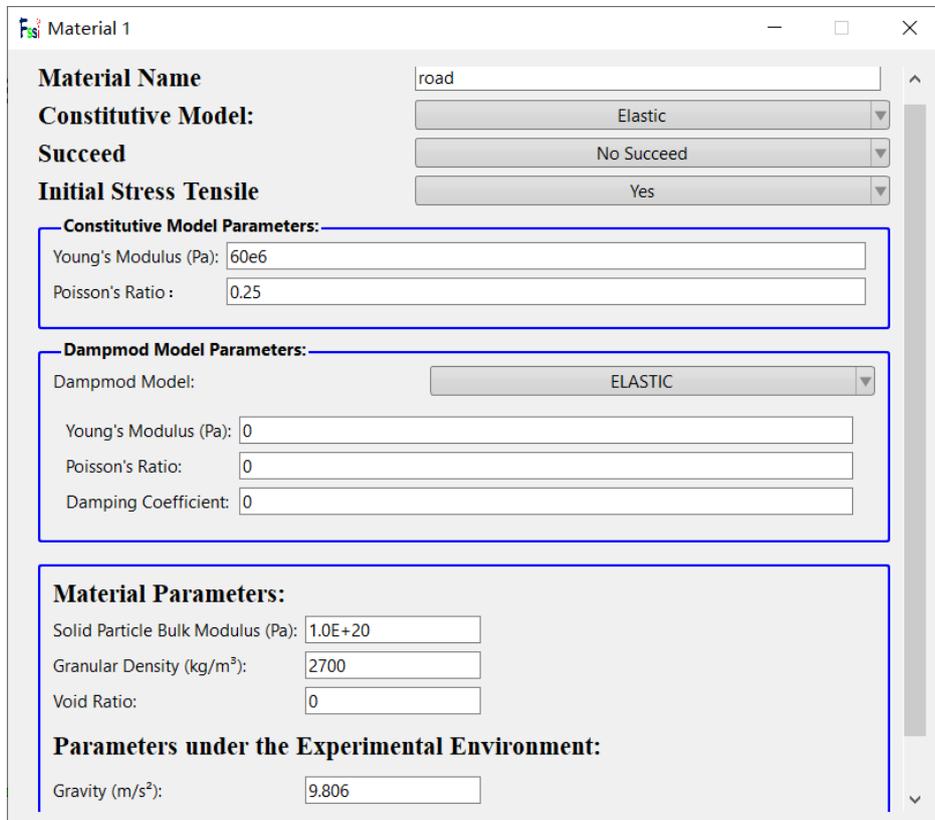


图 8-14 材料参数设置界面

8.2.2.5 设置求解器类型

点击 FssiCAS—Preprocess—Solver—Solver Type，在弹出对话框中设置求解器类型，如图 8-15 所示。

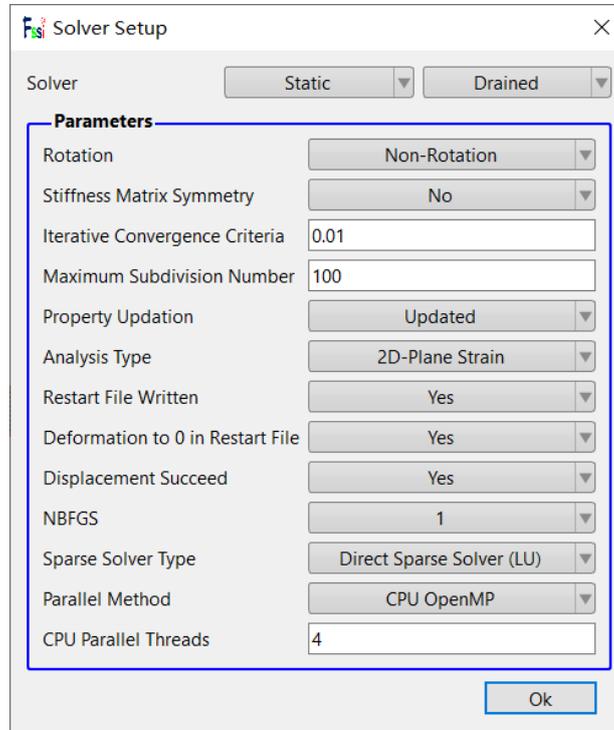


图 8-15 求解器类型及相关参数设置界面

8.2.2.6 设置时间步

点击 FssiCAS—Preprocess—Solver—Time Step。Step 1 的时间步选项卡中 Simulation Time (s)为计算总时间，设置为 1 s；Start Time of Current Step(s)为开始计算时间，设置为 0 s；Interval for Time Steps (s)为时间步长，设置为 1 s；Interval for Updating Coordinate (s)为坐标更新时间，设置为 1 s；Interval for Updating Global Stiffness Matrix (s)为刚度矩阵更新时间，设置为 1 s；Maximum Iterations 为每个时间步最大迭代次数，设置为 10 步；Restart File Output Interval (s)为输出重启文件的时间，设置为 1 s；Results File Output Interval (s)为输出某一时刻所有节点/高斯点上的位移、应力、应变等结果文件的时间间隔，设置为每 1 s 输出一次结果文件；Results Output 为选择输出节点上或高斯点上的结果；State Variables Output 为选择是否输出状态变量；Results Sequence 为选择设置计算结果序列，可选择是否计算保存位移、应力、应变、加速度等结果；Results Format 为计算结果文件形式，可选择保存为二进制文件或 ASCII 文件；History Output Interval (s)为输出特定的节点或单元上的应力、应变等结果文件的时间间隔，设置为每 1 s 输出一次。 α ， $\beta 1$ ， $\beta 2$ 为时间系数，保持默认值即可。

时间步 step1 的具体设置如图 10-16 所示，完成设置后分别点击 Create。

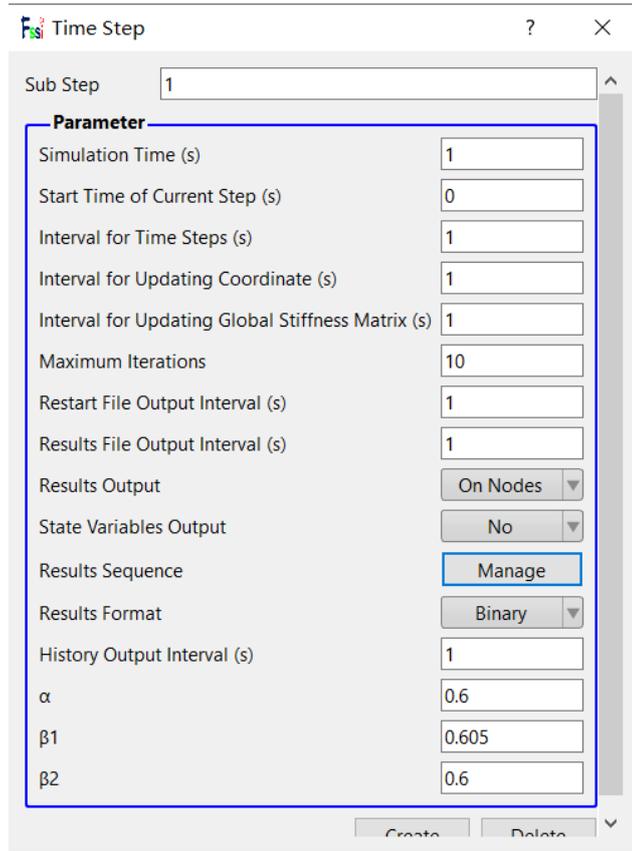


图 8-16 时间步 Step1 相关参数设置界面

8.2.2.7 设置初始条件

在 Step 1 时间步操作界面中点击 FssiCAS—Preprocess—Initial State，设置初始条件，点击 ok，完成初始状态设置，如图 8-17 所示。

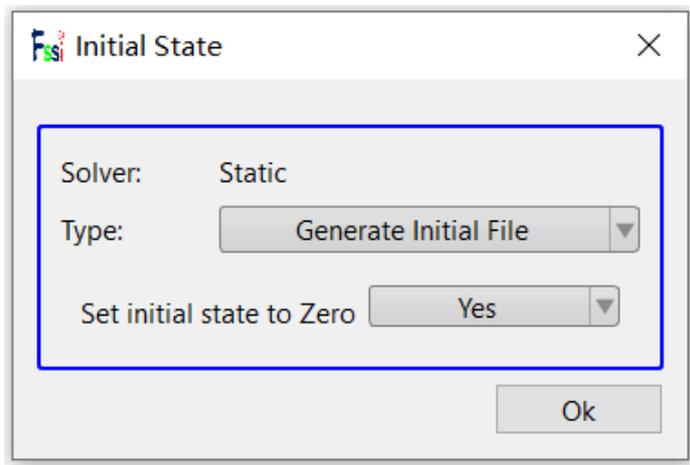


图 8-17 初始条件设置界面

8.2.3 时间步 Step 2 设置

本案例设置 Step 1、Step 2 两个时间步， Step 1 用于给后续计算提供一个良好的初始状态， Step 2 为正式加载计算时间步。

8.2.3.1 添加时间步

点击  按键可增加时间步，添加成功后左端任务栏会显示添加的时间步，点击  按键可以对需要设置的时间步进行设置，如图 8-18 所示。

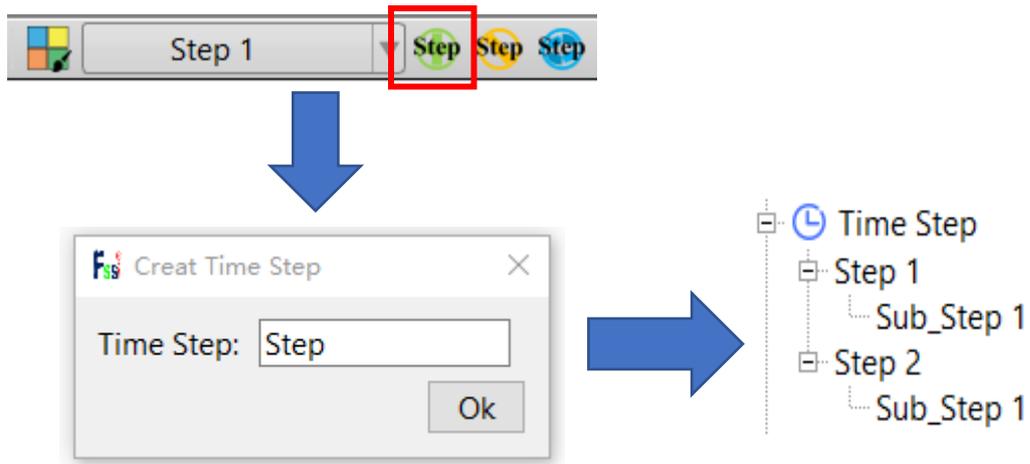


图 8-4 增加时间步的步骤示意图

如果先设置 Step 1 的边界条件和前处理的各项参数再添加新的时间步，新的时间步会自动复制 Step 1 的所有设置；如果先添加新的时间步再设置 Step 1，每个时间步都需要重新设置对应的边界条件和参数。为了提高操作效率，一般情况下先将 Step 1 的所有参数都设置完整再创建新的时间步。

8.2.3.2 添加边界条件

与时间步 Step1 中设置相同。

8.2.3.3 导入自定义边界条件

点击左上角工具栏 UserDefined，在下拉菜单中选择 Boundary Condition—Add，如图 8-19 所示。

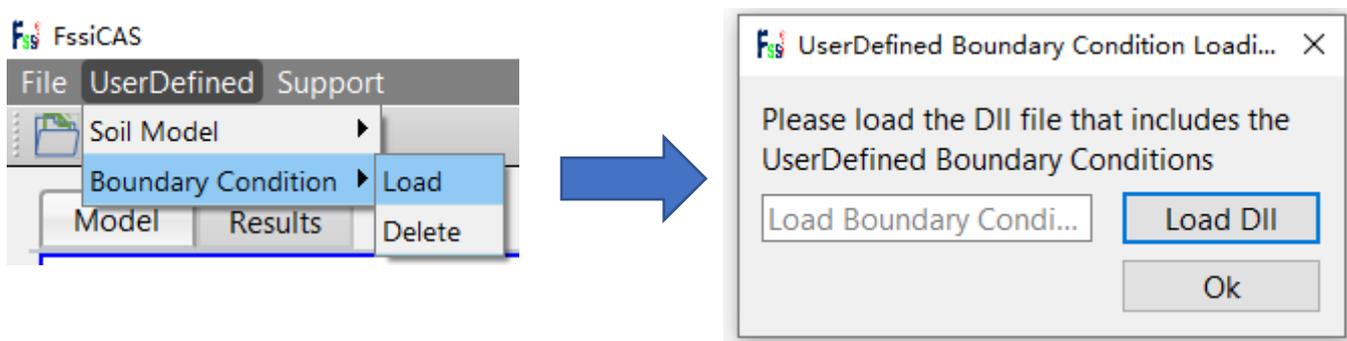


图 8-19 导入自定义边界条件动态链接库

导入自定义边界条件动态链接库文件后，还需选择用户自定义边界条件适用的位置和边界类型，具体操作如图 8-20 所示。

注：边界类型的确定：对位移、集中力进行自定义时选择固体节点（On Solid Nodes）；自定义孔压、流量选择流体节点（On Fluid Nodes）；自定义分布力选择固体单元（On Solid Elements）；自定义分布渗流速度选择流体单元（On Fluid Elements）。

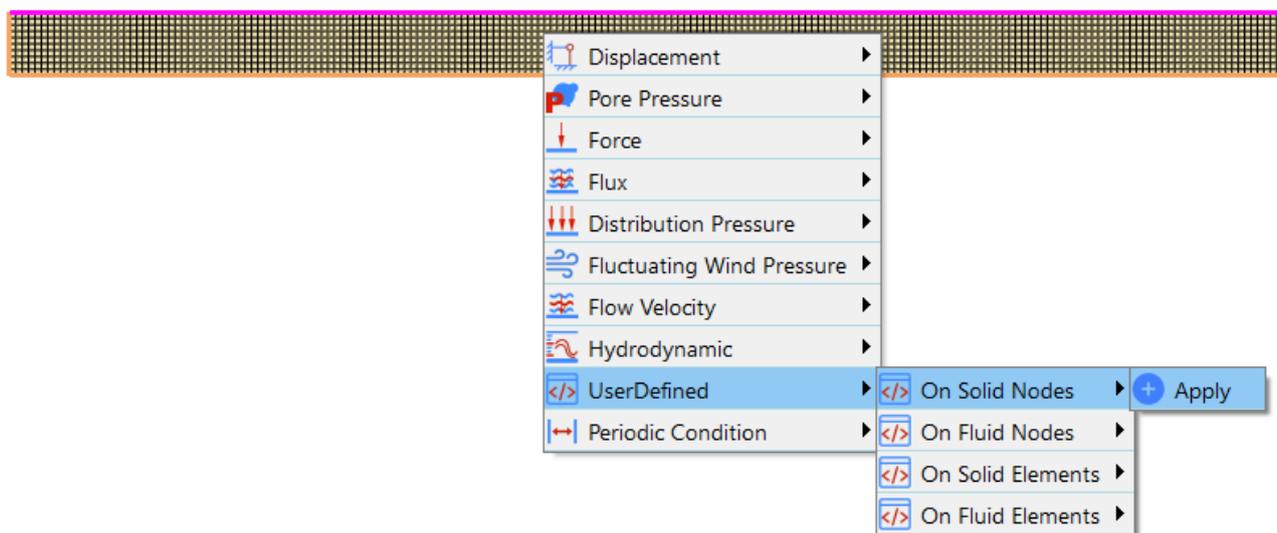


图 8-5 将自定义边界条件应用到模型的特定边界

注：如想删掉用户自定义边界文件，不仅需要删除添加的 UserDefined_BoundaryValue.dll 文件：Boundary Condition—Delete，而且需要对适用位置的边界类型进行删除（同时撤销图 8-19、20 的操作）。

8.2.3.4 设置重力场

与时间步 Step1 中设置相同。

8.2.3.5 设置水动力边界条件

与时间步 Step1 中设置相同。

8.2.3.6 设置材料参数

与时间步 Step1 中设置相同

8.2.3.7 设置求解器类型

与时间步 Step1 中设置相同

8.2.3.8 设置时间步

点击 FssiCAS—Preprocess—Solver—Time Step。Step 2 的时间步选项卡中 Simulation Time (s)为计算总时间, 设置为 20 s; Start Time of Current Step(s)为开始计算时间, 设置为 0 s; Interval for Time Steps (s)为时间步长, 设置为 0.1 s; Interval for Updating Coordinate (s)为坐标更新时间, 设置为 0.1 s; Interval for Updating Global Stiffness Matrix (s)为刚度矩阵更新时间, 设置为 0.1 s; Maximum Iterations 为每个时间步最大迭代次数, 设置为 10 步; Restart File Output Interval (s)为输出重启文件的时间, 设置为 0.1 s; Results File Output Interval (s)为输出某一时刻所有节点/高斯点上的位移、应力、应变等结果文件的时间间隔, 设置为每 0.1 s 输出一次结果文件; Results Output 为选择输出节点上或高斯点上的结果; State Variables Output 为选择是否输出状态变量; Results Sequence 为选择设置计算结果序列, 可选择是否计算保存位移、应力、应变、加速度等结果; Results Format 为计算结果文件形式, 可选择保存为二进制文件或 ASCII 文件; History Output Interval (s)为输出特定的节点或单元上的应力、应变等结果文件的时间间隔, 设置为每 0.1 s 输出一次。 α , β_1 , β_2 为时间系数, 保持默认值即可。

时间步 step2 的具体设置如图 10-21 所示, 完成设置后分别点击 Create。

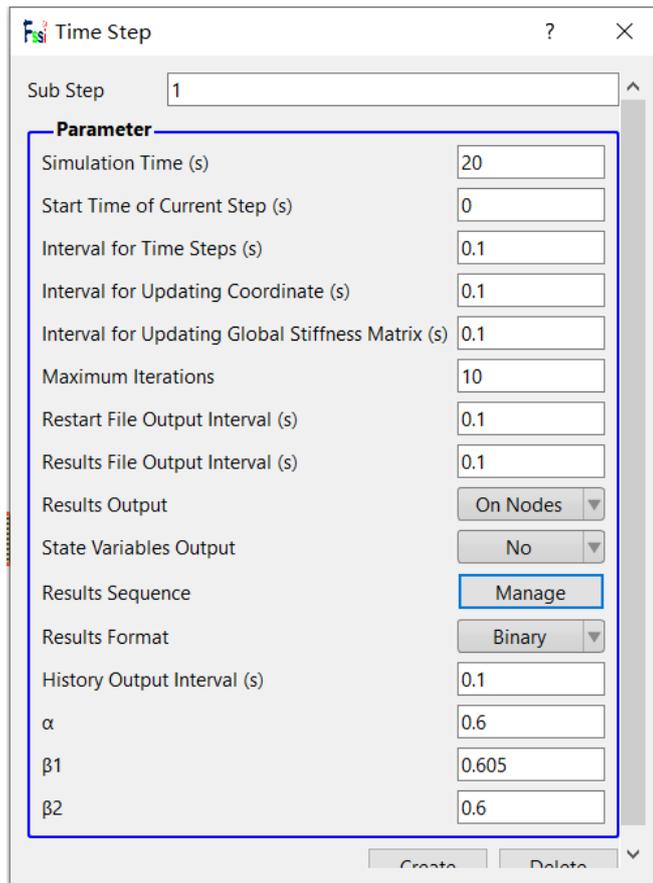


图 8-21 时间步 Step2 相关参数设置界面

8.2.3.9 设置初始条件

在 Step 2 时间步操作界面中点击 FssiCAS—Preprocess—Initial State，设置初始条件，点击 ok，完成初始状态设置，如图 8-22 所示。

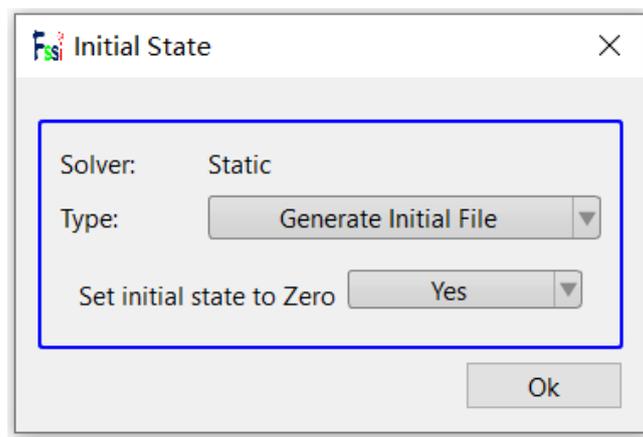


图 8-22 初始条件设置界面

8.2.4 计算

点击 FssiCAS—Preprocess—Computation—FSSI-W，保存当前项目，开始计算。显示图 8-23 红框内所示内容时表示计算完成。

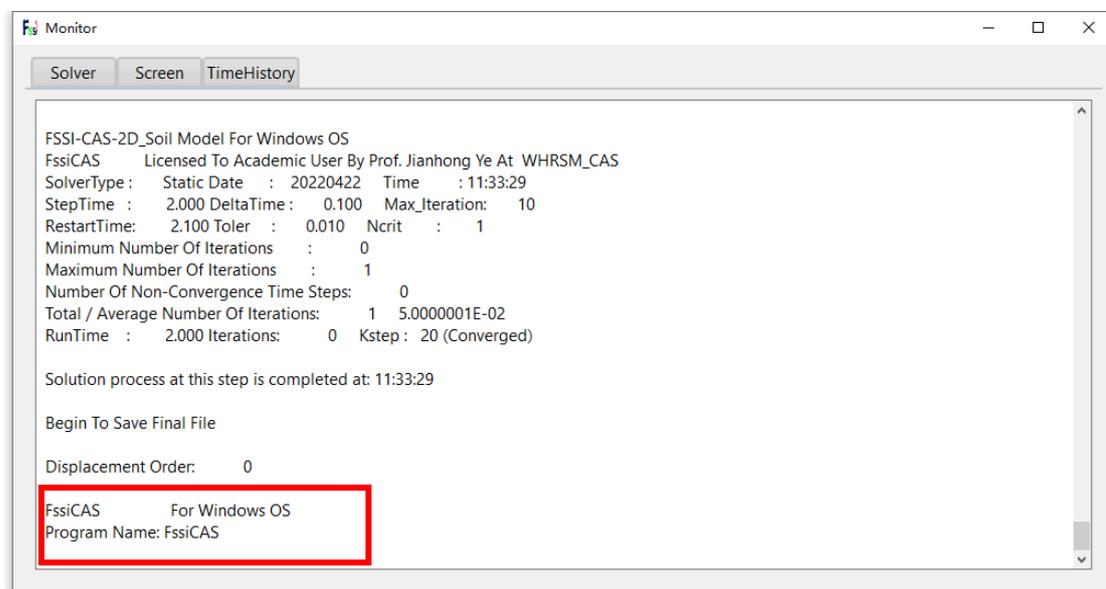


图 8-23 数值计算完成界面

8.3 FssiCAS 图形界面操作——后处理

8.3.1 加载文件

点击 FssiCAS—Postprocess—Open Results File，选择需要处理的结果文件夹，如图 8-24 所示。

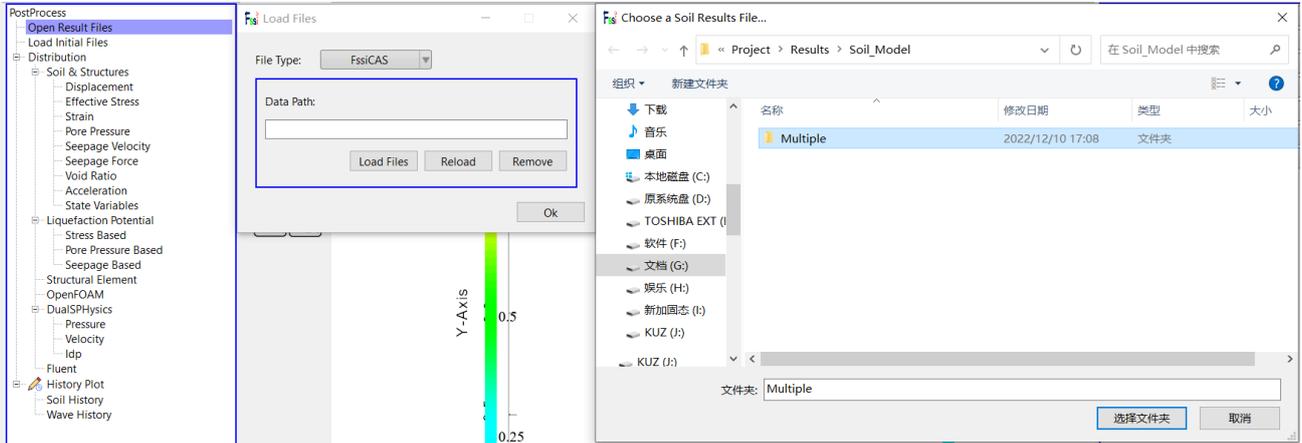


图 8-24 加载数值计算结果文件步骤图

8.3.2 绘制分布图

点击 FssiCAS—Postprocess—Distribution Plot—Solid—Displacement，在界面上方工具栏选择 Displacement X，输入时间步点击回车，如图 8-25 所示。

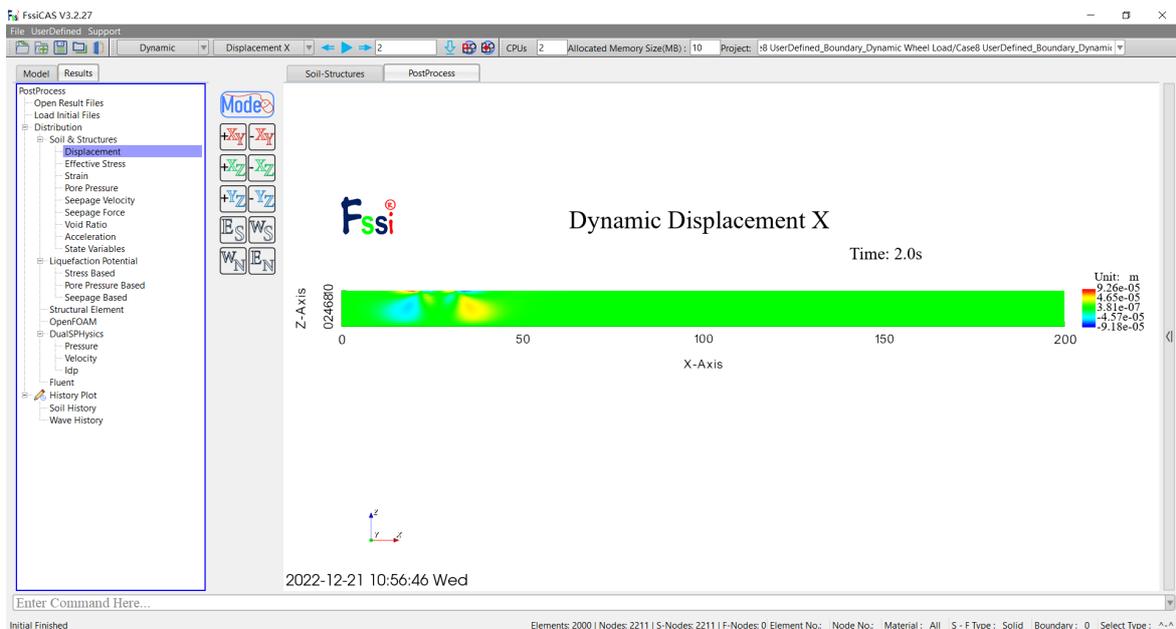


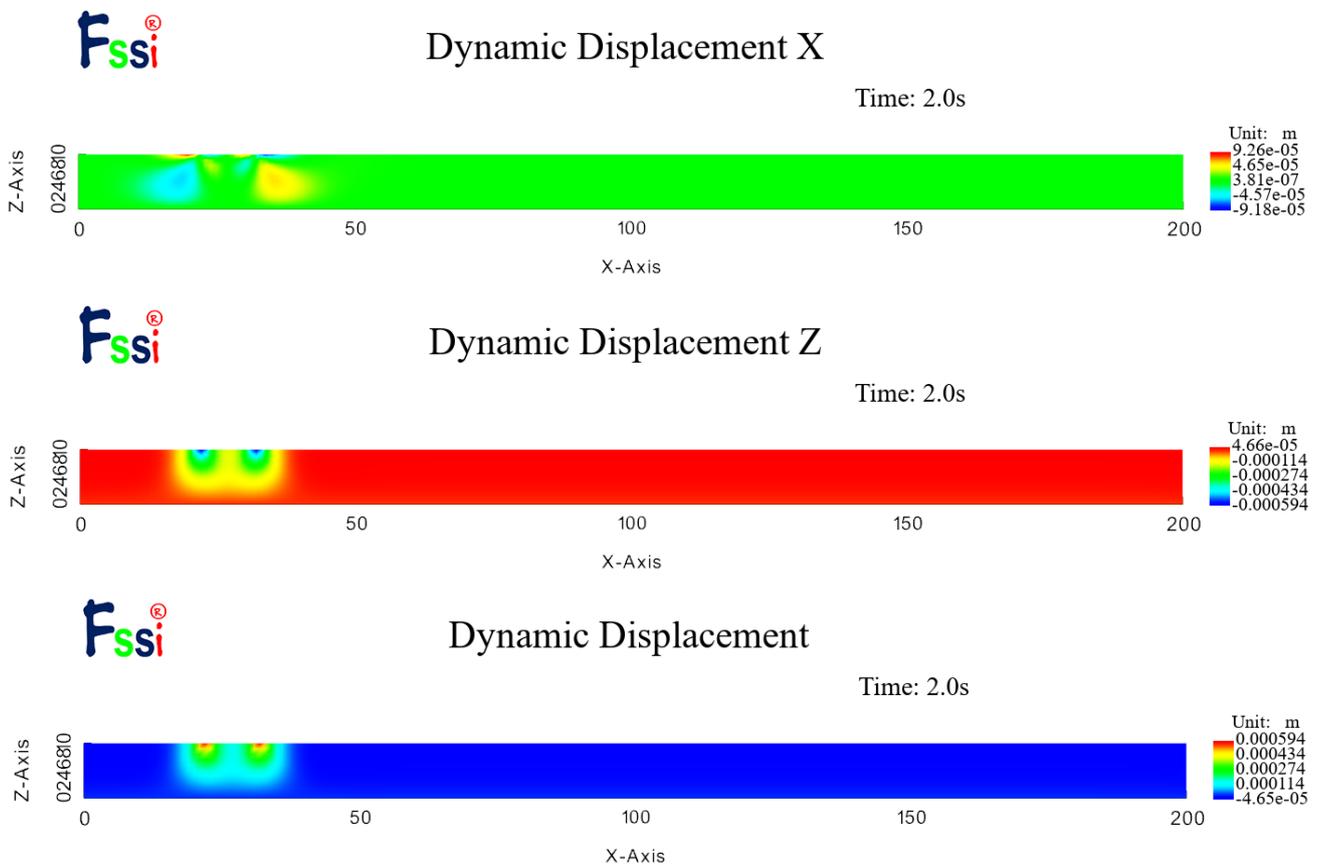
图 8-25 20 时间步下 X 方向的位移分布图

本案例计算结果分布图可以由伸缩栏 Export Results Figure 按键导出，如图 8-26 所示。



图 8-26 图像输出按键示意图

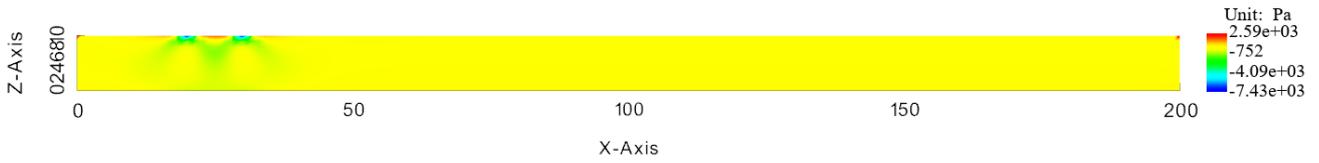
结果分布图如图 8-27 所示。由于每个时间步数下的结果分布图都不一样，此处只展示 20 时间步下的结果分布图。





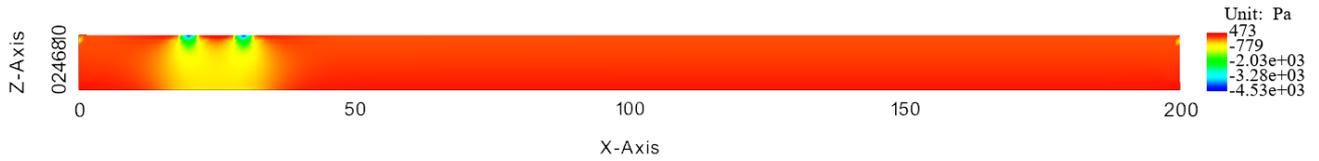
Dynamic Effective Stress X

Time: 2.0s



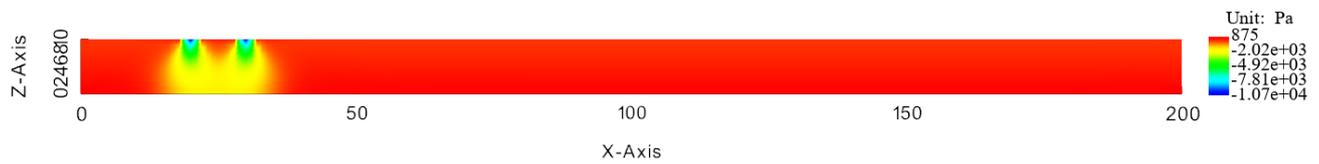
Dynamic Effective Stress Y

Time: 2.0s



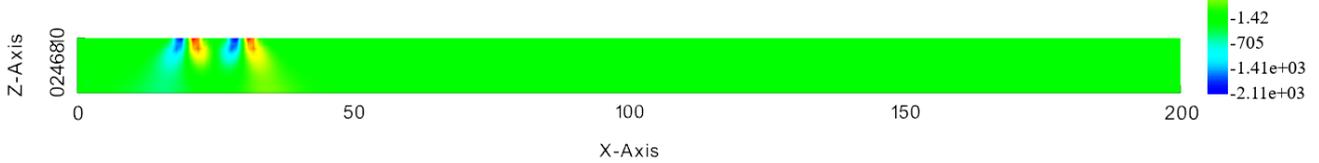
Dynamic Effective Stress Z

Time: 2.0s



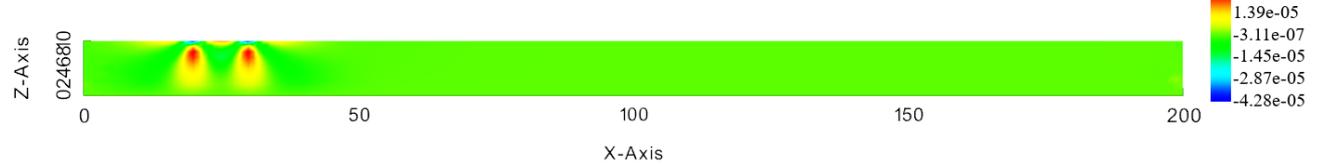
Dynamic Shear Stress XZ

Time: 2.0s



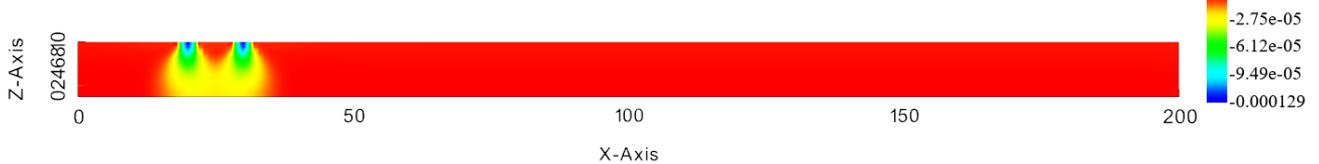
Dynamic Strain X

Time: 2.0s



Dynamic Strain Z

Time: 2.0s





Dynamic Shear Strain XZ

Time: 2.0s

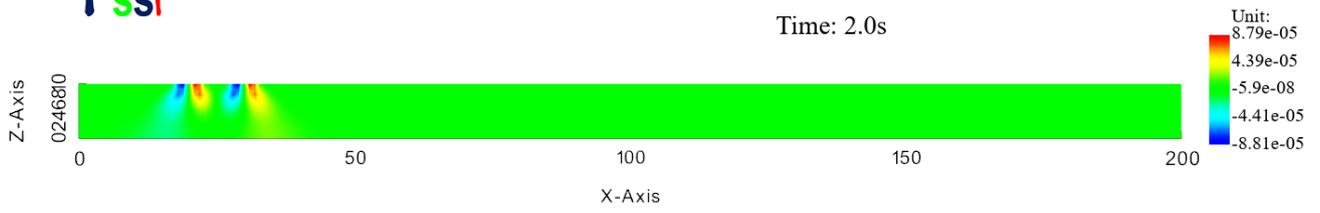


图 8-27 计算结果分布图

