
基于 Pastor-Zienkiewicz MarkIII本构模型的条形砂土不排水试验 模拟

1.案例说明

本案例设置一个尺寸为 $1\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m}$ 的六面体单元体，使用 FssiCAS 的 Pastor-Zienkiewicz Mark III本构模型，复刻模拟 Castro, 1969 进行的带状砂不排水特性研究试验。并将 FssiCAS 模拟计算的结果与之进行对比。

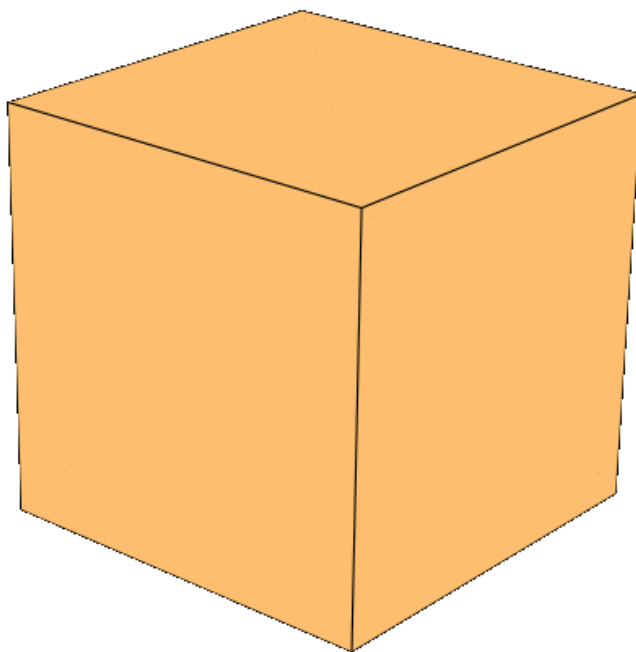



图 1.1 用于实验的六面体单元示意图

2.FssiCAS 图形界面操作——前处理

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 Shell；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，操作如图 2.1 所示。

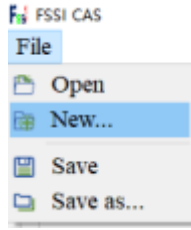


图 2.1 在 FssiCAS 新建项目示意图

2.2 导入网格及背景线

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 GID mesh File 窗口中，选择从 Gid 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 2.2 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，在本案例中土体部分固体节点采用四面体四节点单元，流体节点阶次设置为 1，点击 OK，如图 2.3 所示。

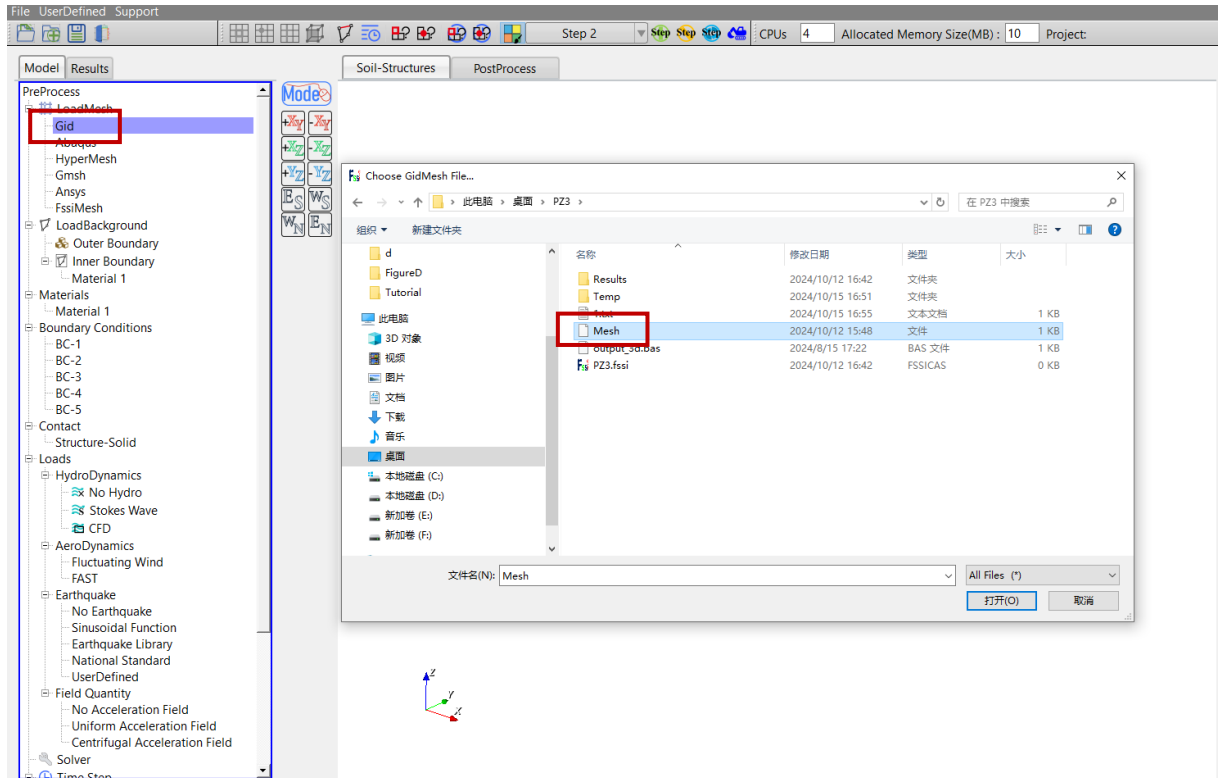


图 2.2 导入 Gid 软件输出的网格文件

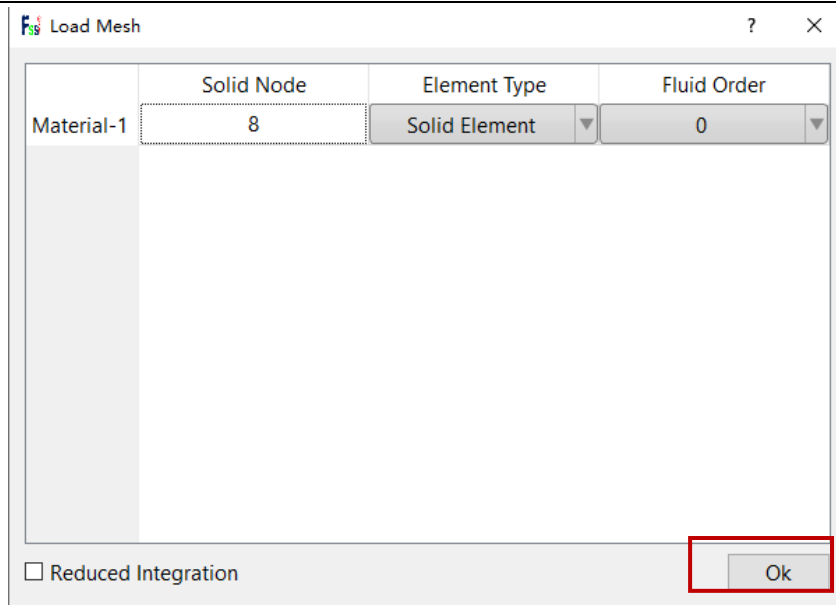


图 2.3 设置固体节点数和流体节点阶次

加载几何模型的背景线，是为了后续施加边界条件、区分材料以及设置输出时程结果的线。但本案例无需导入模型背景线，故此步骤不需做任何操作。

2.3 边界条件设置

本案例需要将边界条件设置为： $Z=0$ 表面 Z 方向位移固定， $X=0$ 表面 X 方向位移固定， $Y=1$ 表面 Y 方向位移固定， $Z=1$ 、 $X=1$ 、 $Y=0$ 表面施加 400kPa 的压应力。

点击顶部边界栏  按钮，进入边界选择模式，如图 2.4 所示。

点击顶部边界栏  按钮，进入节点选择模式，如图 2.5 所示。



图 2.4 进入边界选择模式



图 2.5 进入节点选择模式

边界条件施加成功后如图 2.6 所示。

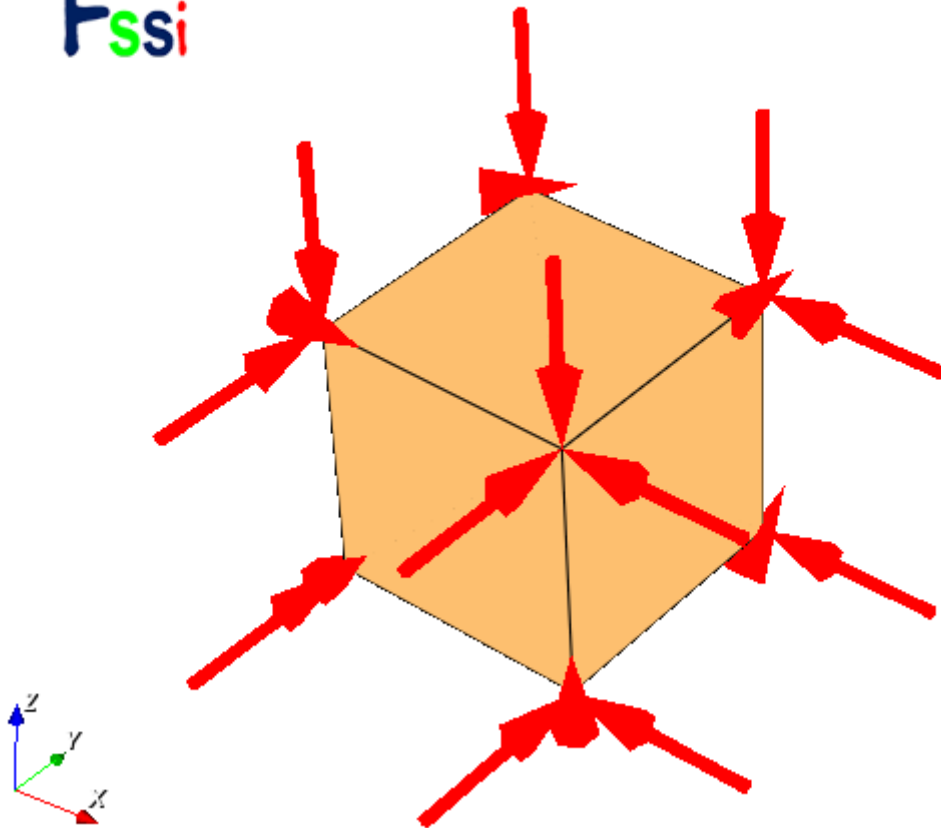


图 2.6 边界条件施加成功示意图

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**。在本案例中 **Step1** 采用线弹性本构，在左侧工具栏点击与模型相对应的材料，并输入土体的属性参数，点击 **OK**，即可设置材料属性和参数，如图 2.7 所示。

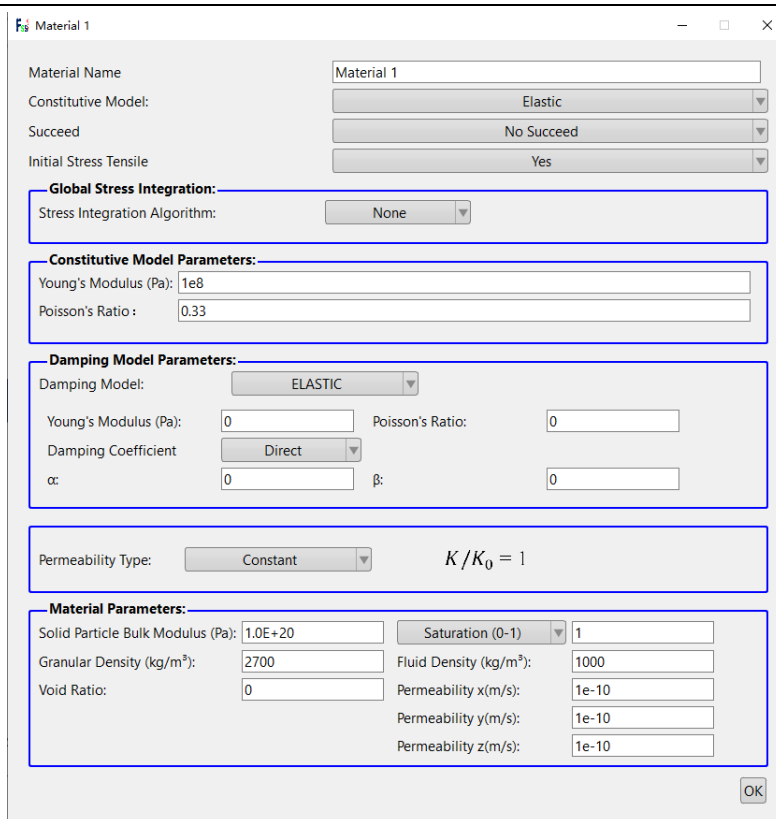


图 2.7 材料参数设置

2.5 设置重力加速度

点击 FssiCAS—Preprocess—Load—Filed Quantity—Uniform Field，为整个案例施加重力载荷。即加速度场的 X 方向为 0 m/s^2 ，Y 方向为 0 m/s^2 ，Z 方向为 -9.806 m/s^2 ，如图 2.8 所示。Step 2 的重力场在新建时间步时后自动复制当前时间步的设置，因此后续时间步不再重复施加加速度场。

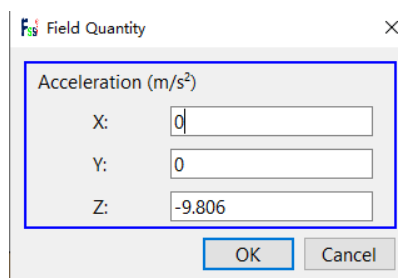


图 2.8 重力加速度设置

2.6 设置水动力边界条件

由于本案例不虑流体节点，故不需要设置水动力边界条件，点击 FssiCAS—Preprocess—Load—Hydrodynamics—No Hydro— Yes。具体操作及参数设置如图 2.9

所示。



图 2.9 流固耦合方式设置界面

2.7 求解器设置

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，为了获得初始状态最好用 static 求解器），并进行相关属性参数设置，如图 2.10 所示；

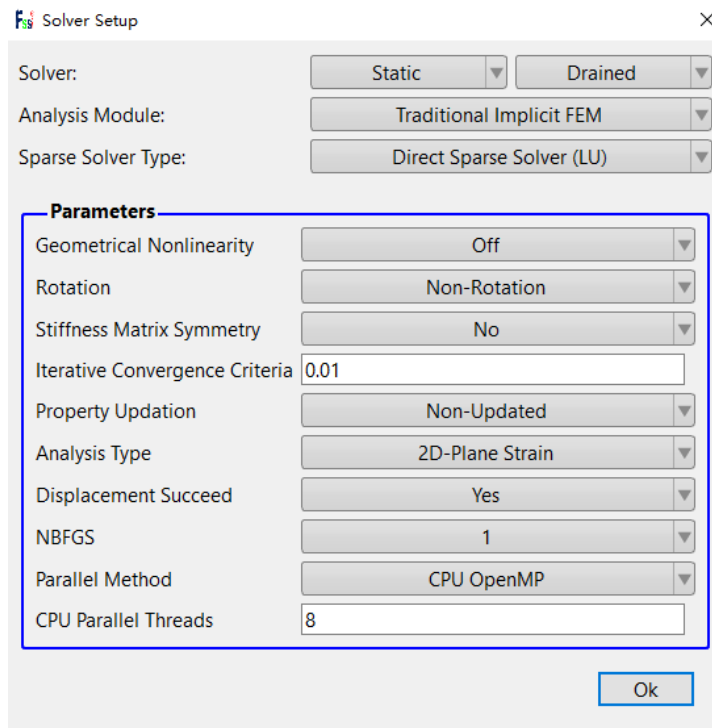


图 2.10 设置求解器的相关属性参数

2.8 时间步设置

点击 Time Step, Simulation Time (s)为计算总时间，设置为 1s；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 1.1 s；Interval for Updating Global Stiffness Matrix (s)为刚度矩阵更新时间，设置为 1.1s；Maximum Iterations 为每个时间步最大迭代次数，设置为 10 步；

Restart File Output Inveral (s)为输出重启文件的时间，设置为 1.1s（不生成重启文件）；Result File Output Inveral (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 0.1s 输出一次结果文件；Results Output 为选择输出节点上的结果；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 0.1s 输出一次。 α ， β_1 ， β_2 为时间系数，保持默认值即可。具体设置如图 2.11 所示。可在 Results Sequence 中选择输出流速、流线图，每一步均需要选择。

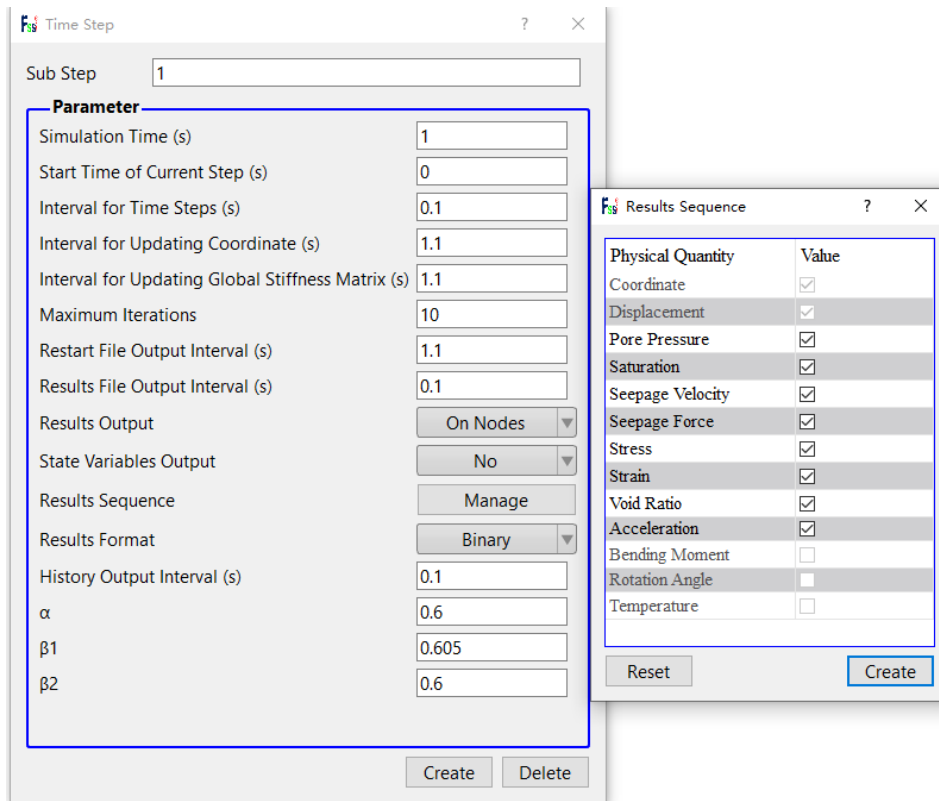


图 2.11 设置时间步和相关属性参数

2.9 设置初始条件

在前处理界面上 Model 树状菜单栏中，点击 Initial State，点击 OK，即可完成初始状态设置，如图 2.12 所示。

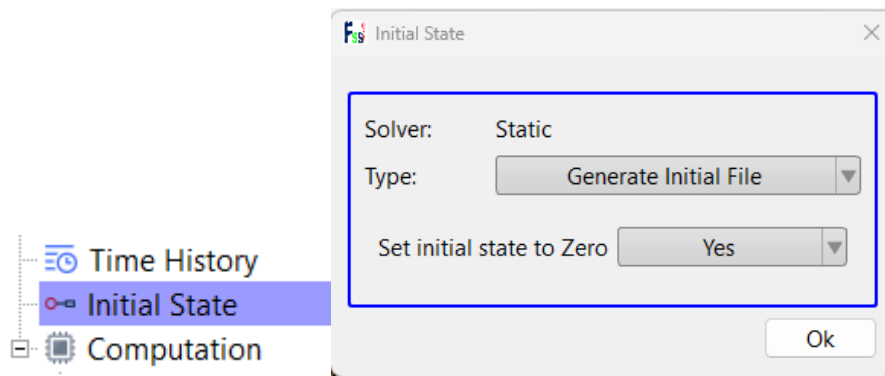


图 2.12 设置初始状态和指定初始条件

2.10 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。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，点击  按钮可以对需要设置的时间步进行设置，如图 2.14 所示。



图 2.13 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。本案例 Step 2 的相关参数设置如下。

2.11 设置边界条件

本案例 Step 2 与 Step 1 的位移边界条件及围压边界条件完全相同，但在 Step 2 中

需进行轴向伺服加载，本案例中采用施加位移的方式来模拟伺服加载，对 $Z=1\text{m}$ 的平面设置 Z 方向随时间线性增长 0.08m 的位移。具体操作如图 2.15 所示。

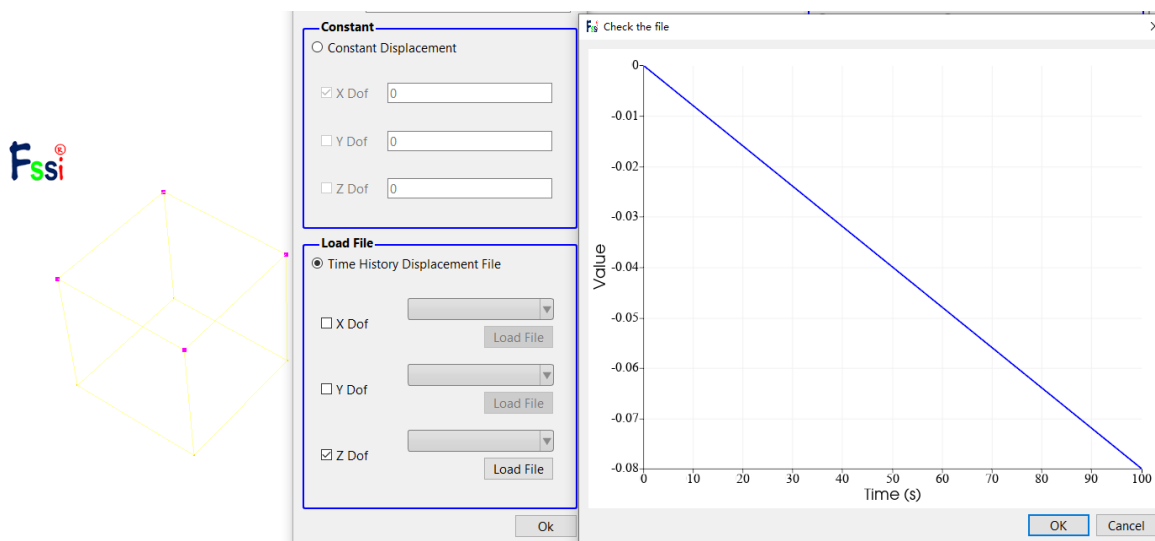


图 2.14 Z 方向添加位移边界条件

2.12 材料参数设置

Castro, 1969 用于实验的四组带状砂材料参数见表一所示，本案例将与 Castro 保持一致，进行 4 组模拟实验。

表一

	a	b	c	d
K_{ev0}	350000	350000	350000	350000
G_0	525000	525000	525000	525000
M_f	0.4	0.545	0.570	0.72
M_g	1.5	1.32	1.12	1.03
H_0	350	350	350	350
β_0	4.2	4.2	4.2	4.2
β_1	0.2	0.2	0.2	0.2
γ	—	—	—	—
H_{u0}	—	—	—	—
γ_u	—	—	—	—

本案例中 Step 2 的土体材料参数设置为 Pastor-Zienkiewicz Mark III，按照 abcd 共分成 4 组实验，每组实验具体材料参数设置如图 2.15 所示。（注：每组实验只需更改 Step 2 的材料参数即可，无需其余设置）

Material 1

Material Name: Material 1

Constitutive Model: Pastor-Zienkiewicz Mark III

Succeed: No Succeed

Initial Stress Tensile: Yes

Global Stress Integration:
Stress Integration Algorithm: None

Constitutive Model Parameters:

M_g :	1.5	M_k :	0.4
α_g :	0.45	α_k :	0.45
K_{evo} (Pa):	350000	G_{evo} (Pa):	525000
β_g :	4.2	β_k :	0.2
H_g :	350	H_{u0} (Pa):	100
γ_u :	0	γ_{DVI} :	0
P_0' (Pa):	4000		

Variation Type: Bulk and Shear Modulus Vary Linearly

Damping Model Parameters:
Damping Model: ELASTIC

Young's Modulus (Pa): 0 Poisson's Ratio: 0

Damping Coefficient: Direct

α : 0 β : 0

Permeability Type: Constant $K/K_0 = 1$

Material 1

M_g :	1.5	M_k :	0.4
α_g :	0.45	α_k :	0.45
K_{evo} (Pa):	350000	G_{evo} (Pa):	525000
β_g :	4.2	β_k :	0.2
H_g :	350	H_{u0} (Pa):	100
γ_u :	0	γ_{DVI} :	0
P_0' (Pa):	4000		

Variation Type: Bulk and Shear Modulus Vary Linearly

Damping Model Parameters:
Damping Model: ELASTIC

Young's Modulus (Pa): 0 Poisson's Ratio: 0

Damping Coefficient: Direct

α : 0 β : 0

Permeability Type: Constant $K/K_0 = 1$

Material Parameters:

Solid Particle Bulk Modulus (Pa):	1.0E+20	Saturation (0-1):	1
Granular Density (kg/m ³):	2700	Fluid Density (kg/m ³):	1000
Void Ratio:	0	Permeability x(m/s):	1e-10
		Permeability y(m/s):	1e-10
		Permeability z(m/s):	1e-10

OK

实验 a 材料参数设置

Material 1

Material Name: Material 1

Constitutive Model: Pastor-Zienkiewicz Mark III

Succeed: No Succeed

Initial Stress Tensile: Yes

Global Stress Integration:
 Stress Integration Algorithm: None

Constitutive Model Parameters:

M_g :	1.32	M_k :	0.545
α_g :	0.45	α_k :	0.45
K_{evd} (Pa):	350000	G_{evd} (Pa):	525000
β_0 :	4.2	β_1 :	0.2
H_0 :	350	H_{u_0} (Pa):	100
γ_u :	0	γ_{DM} :	0
P_0 (Pa):	4000		

Variation Type: Bulk and Shear Modulus Vary Linearly

Damping Model Parameters:
 Damping Model: ELASTIC

Young's Modulus (Pa): 0 Poisson's Ratio: 0

Damping Coefficient: Direct

α : 0 β : 0

Permeability Type: Constant $K/K_0 = 1$

Material 1

M_g :	1.32	M_k :	0.545
α_g :	0.45	α_k :	0.45
K_{evd} (Pa):	350000	G_{evd} (Pa):	525000
β_0 :	4.2	β_1 :	0.2
H_0 :	350	H_{u_0} (Pa):	100
γ_u :	0	γ_{DM} :	0
P_0 (Pa):	4000		

Variation Type: Bulk and Shear Modulus Vary Linearly

Damping Model Parameters:
 Damping Model: ELASTIC

Young's Modulus (Pa): 0 Poisson's Ratio: 0

Damping Coefficient: Direct

α : 0 β : 0

Permeability Type: Constant $K/K_0 = 1$

Material Parameters:

Solid Particle Bulk Modulus (Pa):	1.0E+20	Saturation (0-1):	1
Granular Density (kg/m ³):	2700	Fluid Density (kg/m ³):	1000
Void Ratio:	0	Permeability x(m/s):	1e-10
		Permeability y(m/s):	1e-10
		Permeability z(m/s):	1e-10

OK

实验 b 材料参数设置

Material 1

Material Name: Material 1

Constitutive Model: Pastor-Zienkiewicz Mark III

Succeed: No Succeed

Initial Stress Tensile: Yes

Global Stress Integration:
Stress Integration Algorithm: None

Constitutive Model Parameters:

M_g :	1.12	M_k :	0.570
α_g :	0.45	α_k :	0.45
K_{ev0} (Pa):	350000	G_{ev0} (Pa):	525000
β_g :	4.2	β_k :	0.2
H_g :	350	H_{u0} (Pa):	100
γ_u :	0	γ_{Du} :	0
P_g (Pa):	4000		

Variation Type: Bulk and Shear Modulus Vary Linearly

Damping Model Parameters:

Damping Model: ELASTIC

Young's Modulus (Pa): 0 Poisson's Ratio: 0

Damping Coefficient: Direct

α : 0 β : 0

Permeability Type: Constant $K/K_0 = 1$

Material 1

Constitutive Model Parameters:

M_g :	1.12	M_k :	0.570
α_g :	0.45	α_k :	0.45
K_{ev0} (Pa):	350000	G_{ev0} (Pa):	525000
β_g :	4.2	β_k :	0.2
H_g :	350	H_{u0} (Pa):	100
γ_u :	0	γ_{Du} :	0
P_g (Pa):	4000		

Variation Type: Bulk and Shear Modulus Vary Linearly

Damping Model Parameters:

Damping Model: ELASTIC

Young's Modulus (Pa): 0 Poisson's Ratio: 0

Damping Coefficient: Direct

α : 0 β : 0

Permeability Type: Constant $K/K_0 = 1$

Material Parameters:

Solid Particle Bulk Modulus (Pa):	1.0E+20	Saturation (0-1):	1
Granular Density (kg/m ³):	2700	Fluid Density (kg/m ³):	1000
Void Ratio:	0	Permeability x(m/s):	1e-10
		Permeability y(m/s):	1e-10
		Permeability z(m/s):	1e-10

OK

实验 c 材料参数设置

Material 1

Material Name: Material 1

Constitutive Model: Pastor-Zienkiewicz Mark III

Succeed: No Succeed

Initial Stress Tensile: Yes

Global Stress Integration:
Stress Integration Algorithm: None

Constitutive Model Parameters:

M_g :	1.03	M_k :	0.72
α_g :	0.45	α_k :	0.45
K_{evo} (Pa):	350000	G_{ess} (Pa):	525000
β_g :	4.2	β_k :	0.2
H_0 :	350	H_{u0} (Pa):	100
γ_u :	0	γ_{DM} :	0
P_0 (Pa):	4000		

Variation Type: Bulk and Shear Modulus Vary Linearly

Damping Model Parameters:

Damping Model: ELASTIC

Young's Modulus (Pa): 0 Poisson's Ratio: 0

Damping Coefficient: Direct

α : 0 β : 0

Permeability Type: Constant $K/K_0 = 1$

Material 1

M_g :	1.03	M_k :	0.72
α_g :	0.45	α_k :	0.45
K_{evo} (Pa):	350000	G_{ess} (Pa):	525000
β_g :	4.2	β_k :	0.2
H_0 :	350	H_{u0} (Pa):	100
γ_u :	0	γ_{DM} :	0
P_0 (Pa):	4000		

Variation Type: Bulk and Shear Modulus Vary Linearly

Damping Model Parameters:

Damping Model: ELASTIC

Young's Modulus (Pa): 0 Poisson's Ratio: 0

Damping Coefficient: Direct

α : 0 β : 0

Permeability Type: Constant $K/K_0 = 1$

Material Parameters:

Solid Particle Bulk Modulus (Pa):	1.0E+20	Saturation (0-1):	1
Granular Density (kg/m ³):	2700	Fluid Density (kg/m ³):	1000
Void Ratio:	0	Permeability x(m/s):	1e-10
		Permeability y(m/s):	1e-10
		Permeability z(m/s):	1e-10

OK

实验 d 材料参数设置

图 2.15 Step 2 材料参数设置

2.13 Step 2 求解器设置

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，需要注意的是本步骤排水属性需设置为 UnDrained 不排水，如图 2.16 所示；

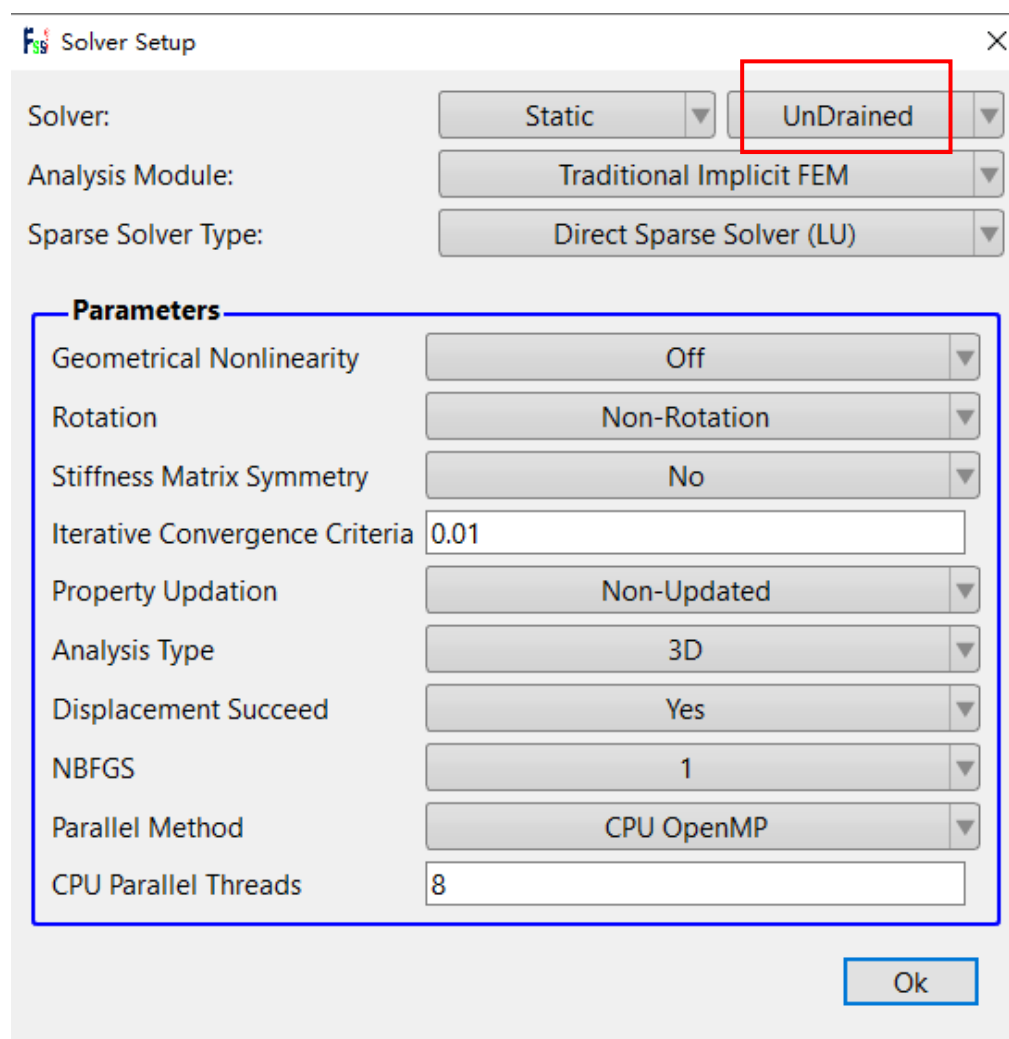


图 2.16 Step 2 求解器设置

2.13 Step 2 时间步设置

点击 Time Step，Simulation Time (s)为计算总时间，设置为 100s；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 101s；Interval for Updating Global Stiffness Matrix (s)为刚度矩阵更新时间，设置为 101s；Maximum Iterations 为每个时间步最大迭代次数，设置为 100 步；Restart File Output Inveral (s)为输出重启文件的时间，设置为 101s（不生成重启文

件)；Result File Output Inveral (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 1s 输出一次结果文件；Results Output 为选择输出节点上的结果；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 1s 输出一次。 α ， β_1 ， β_2 为时间系数，保持默认值即可。具体设置如图 2.17 所示。可在 Results Sequence 中选择输出流速、流线图，每一步均需要选择。

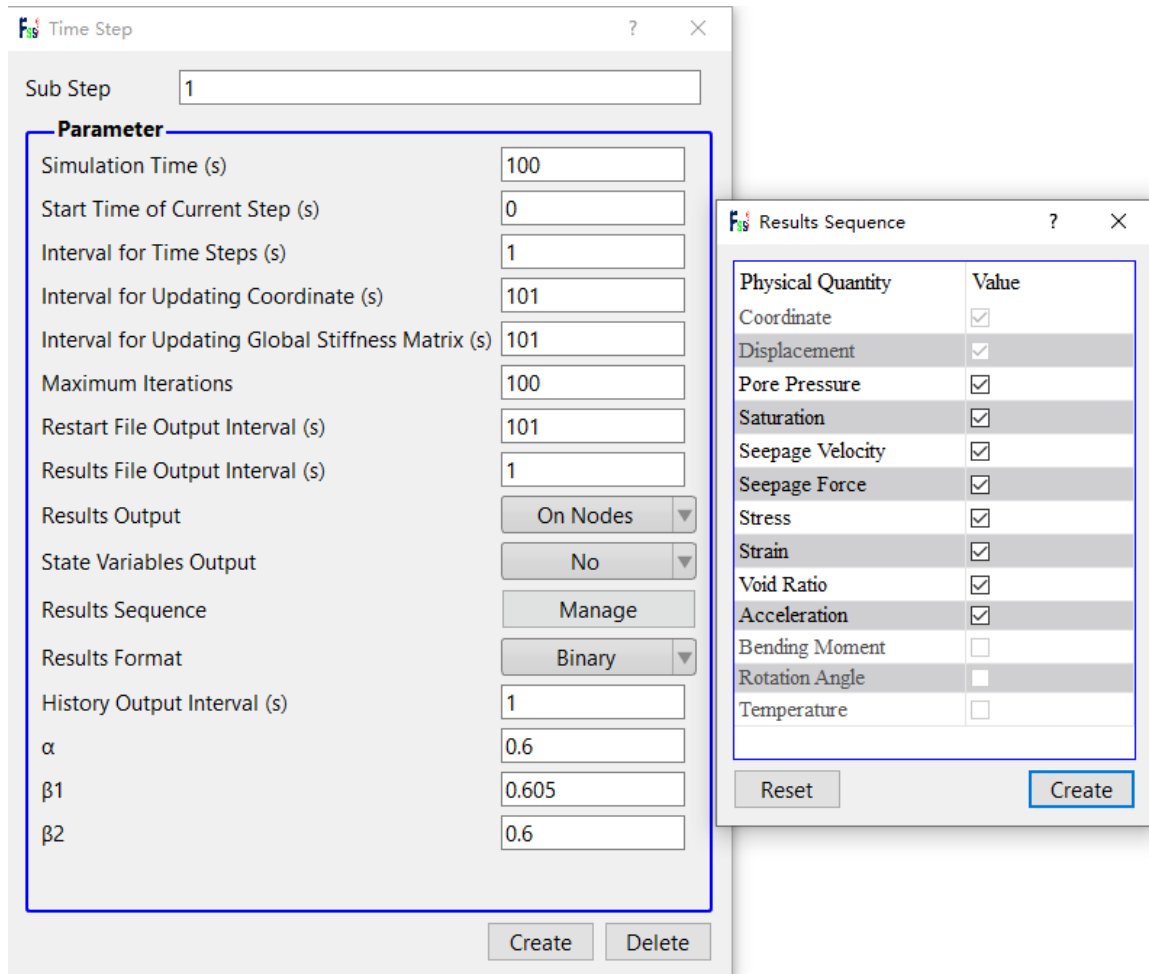


图 2.17 Step 2 时间步设置

2.14 设置初始条件

在前处理界面上 Model 树状菜单栏中，点击 Initial State，点击 OK，即可完成初始状态设置，如图 2.18 所示。

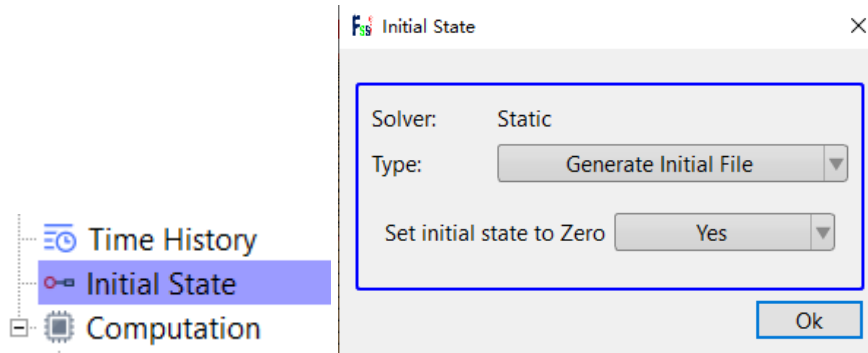


图 2.18 设置初始状态和指定初始条件

2.15 计算并保存

点击左侧菜单栏中的 FSSI-W，即可保存当前项目到指定目录并开始计算。

3 FssiCAS 图形界面操作——后处理

待计算结束后，点击左侧菜单栏的 Results 标签进入后处理界面。点击 Post Process—Open Result Files，点击 Soil Result Files Director 下方的 Load Files 来选择结果文件所在路径并加载，即可对固体结果进行处理。如图 3.1 所示。

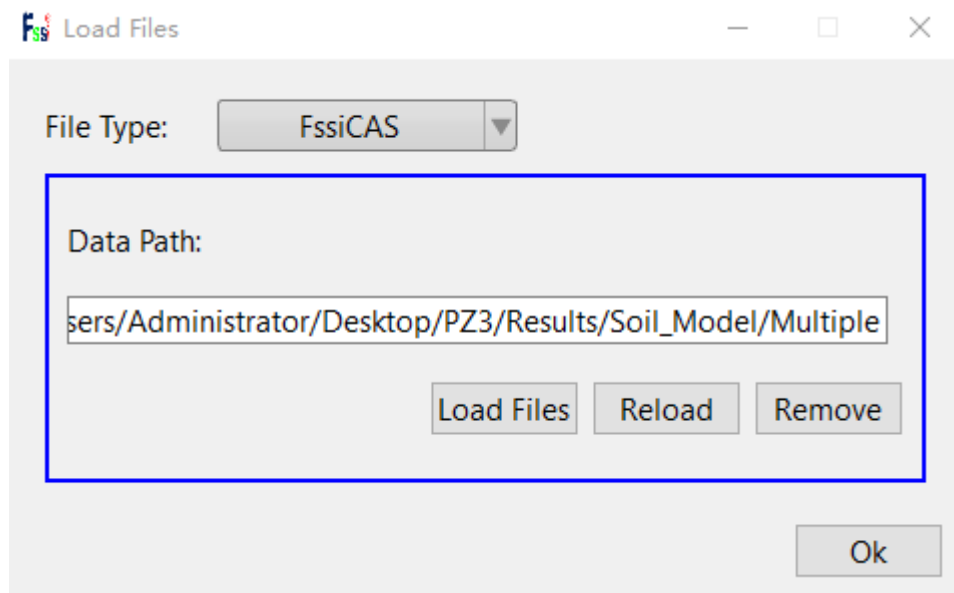


图 3.1 加载结果文件

3.1 位移分布云图

后处理部可以输出模型的位移、应力、应变结果分布云图，并且也可以打开 Deformation Scale Factor 开关来浏览模型的变形效果。



Displacement Z

Time: 101.0s

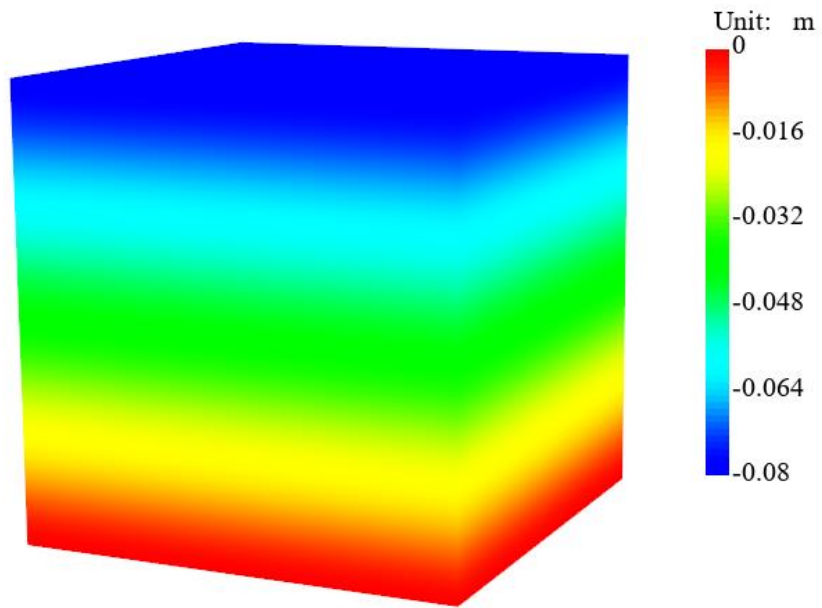


图 3.2 第 101s 时刻 Z 方向位移分布结果云图



Pore Pressure

Time: 101.0s

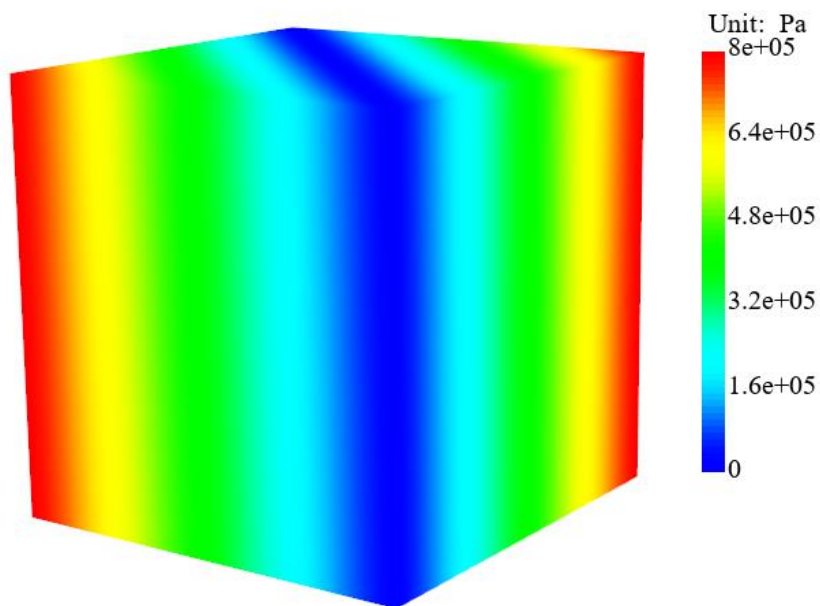


图 3.3 第 101s 时刻实验 a 孔压分布结果云图

Fssi[®]

Pore Pressure

Time: 101.0s

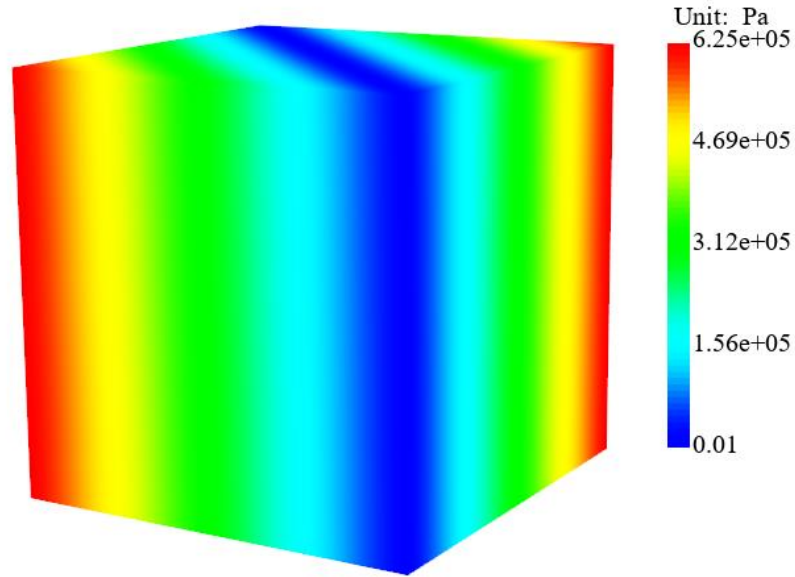


图 3.4 第 101s 时刻实验 b 孔压分布结果云图

Fssi[®]

Pore Pressure

Time: 101.0s

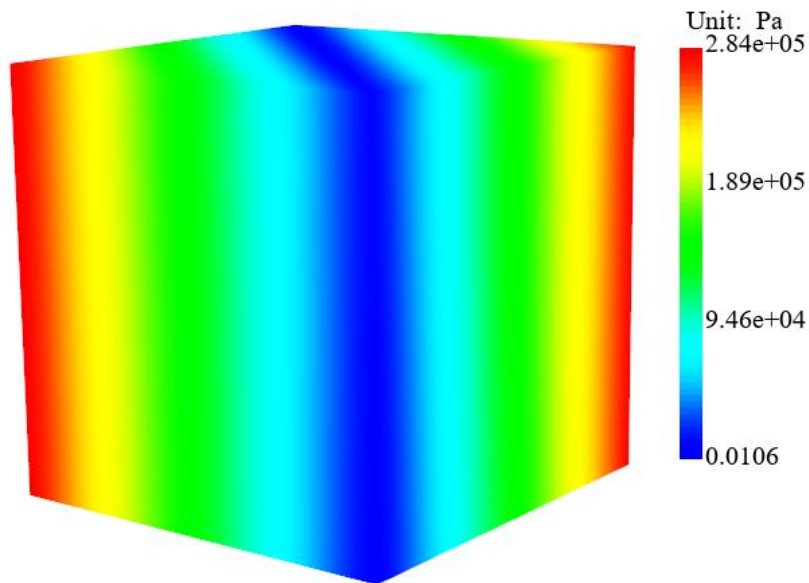


图 3.5 第 101s 时刻实验 c 孔压分布结果云图

Time: 101.0s

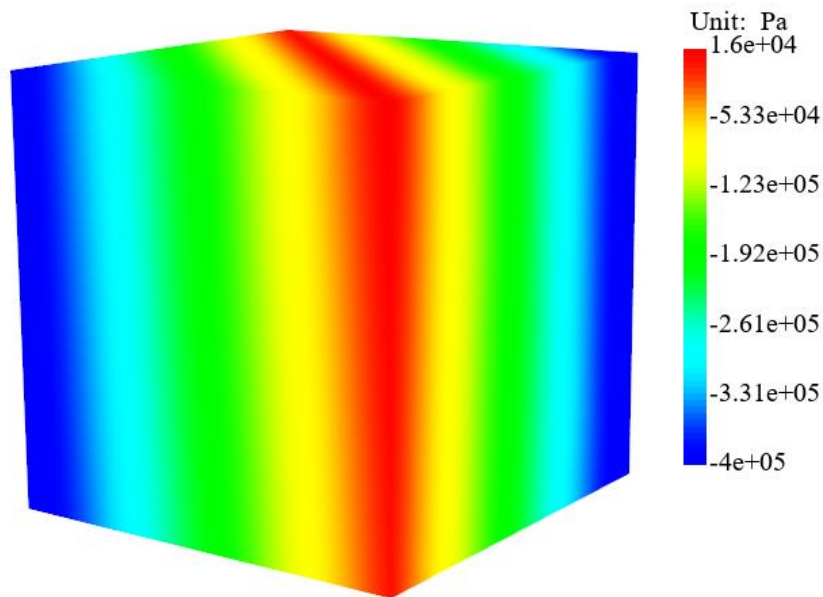


图 3.6 第 101s 时刻实验 d 孔压分布结果云图

后处理部分不仅可以输出模型的位移、应力、应变结果分布图，也可以输出模型上节点或单元的时程曲线。

首先点击 History Plot—Soil History—History Plot on Node/Element，选择需要输出时程曲线的节点或单元，勾选节点 No.*，双击 Plot Type 中所列选项可以查看节点的时程曲线。如若想要导出数据，可点击 Export—Export Results Data，后续在 Rerualt 文件夹中的 ExportFiles 文件夹中查看即可。

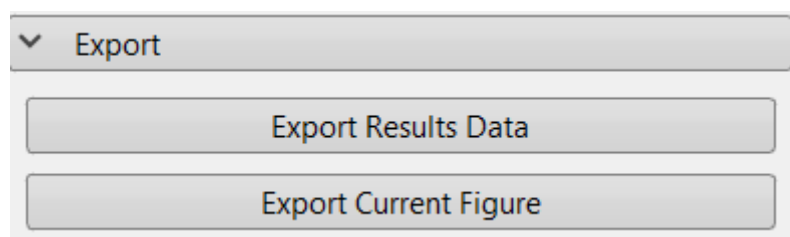


图 3.7 结果数据导导出示意图

本案例将 Z 方向应变、XYZ 方向应力、孔压结果文件导出整理，与 Castro , 1969 的实验结果进行比对，并用 Matlab 绘制对比图。对比结果图如下所示。

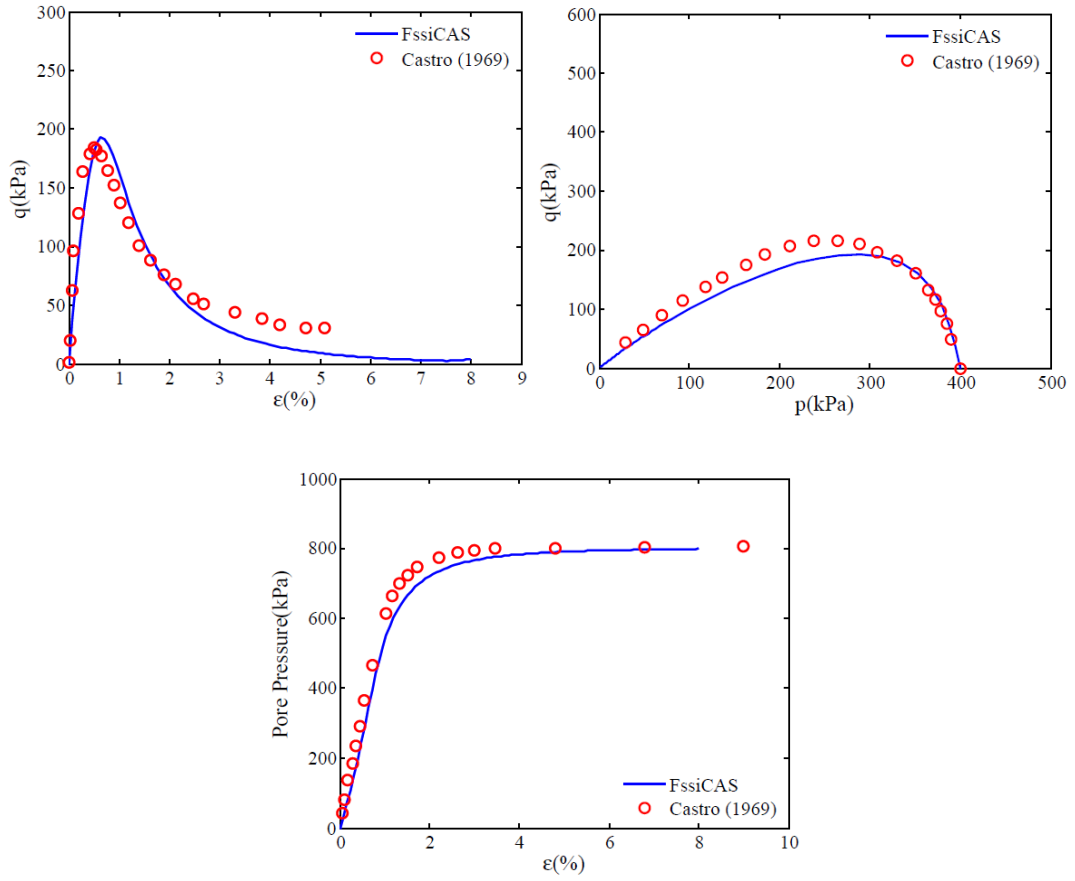
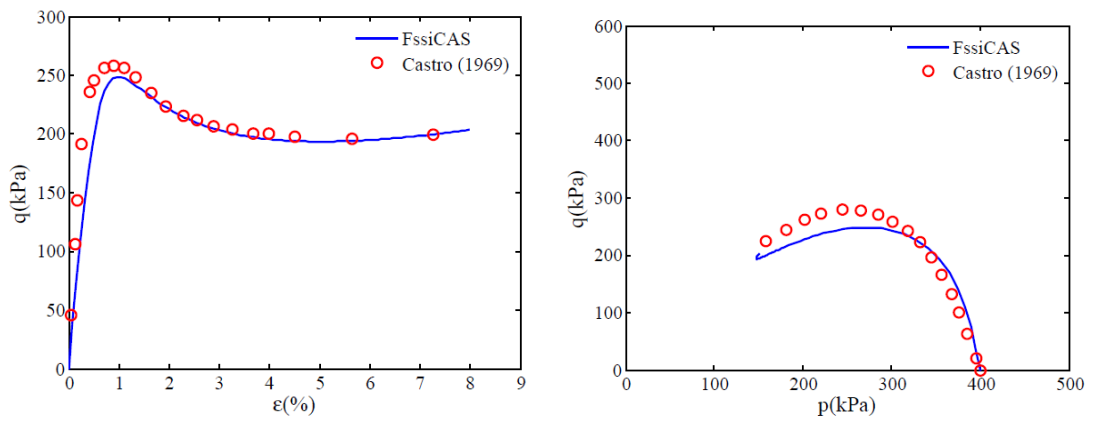


图 3.8 实验 a 偏应力及孔压对比图



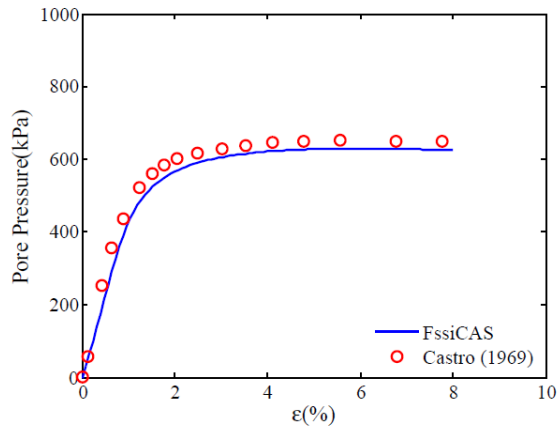


图 3.9 实验 b 偏应力及孔压对比图

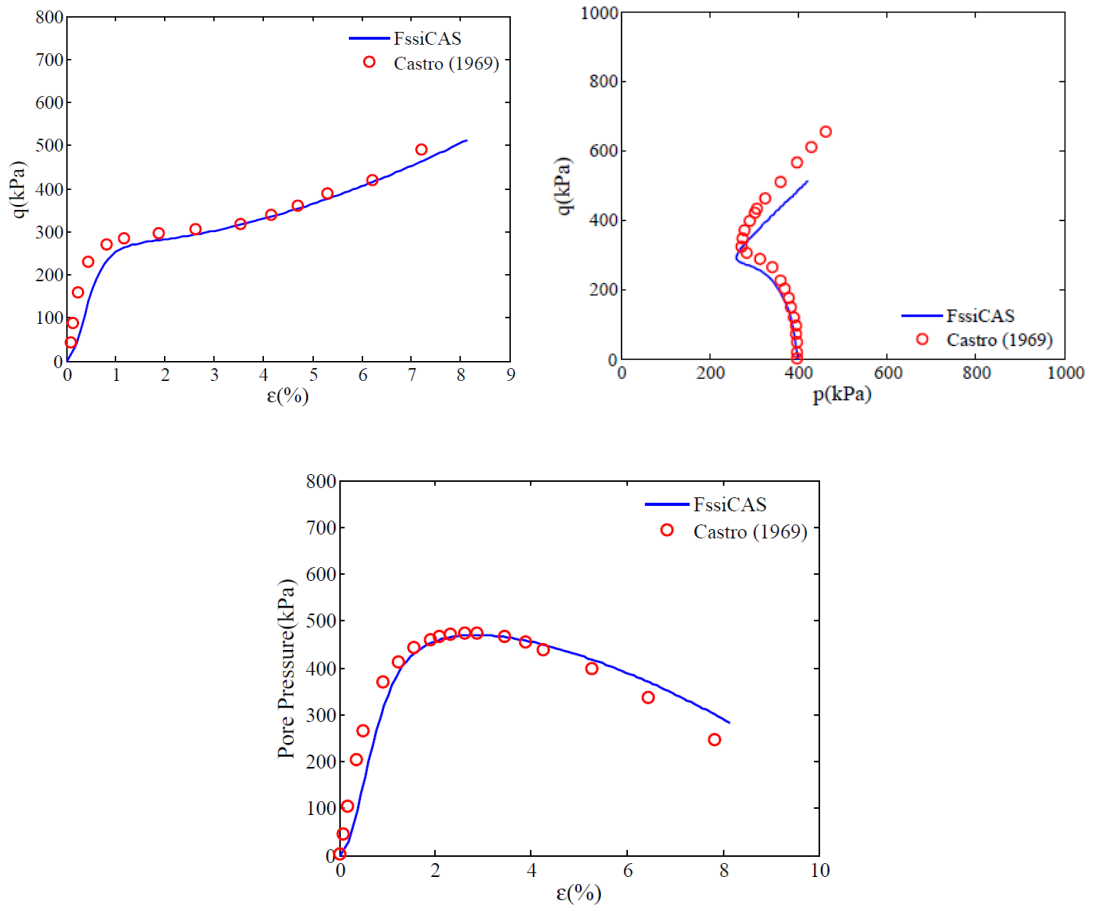


图 3.10 实验 c 偏应力及孔压对比图

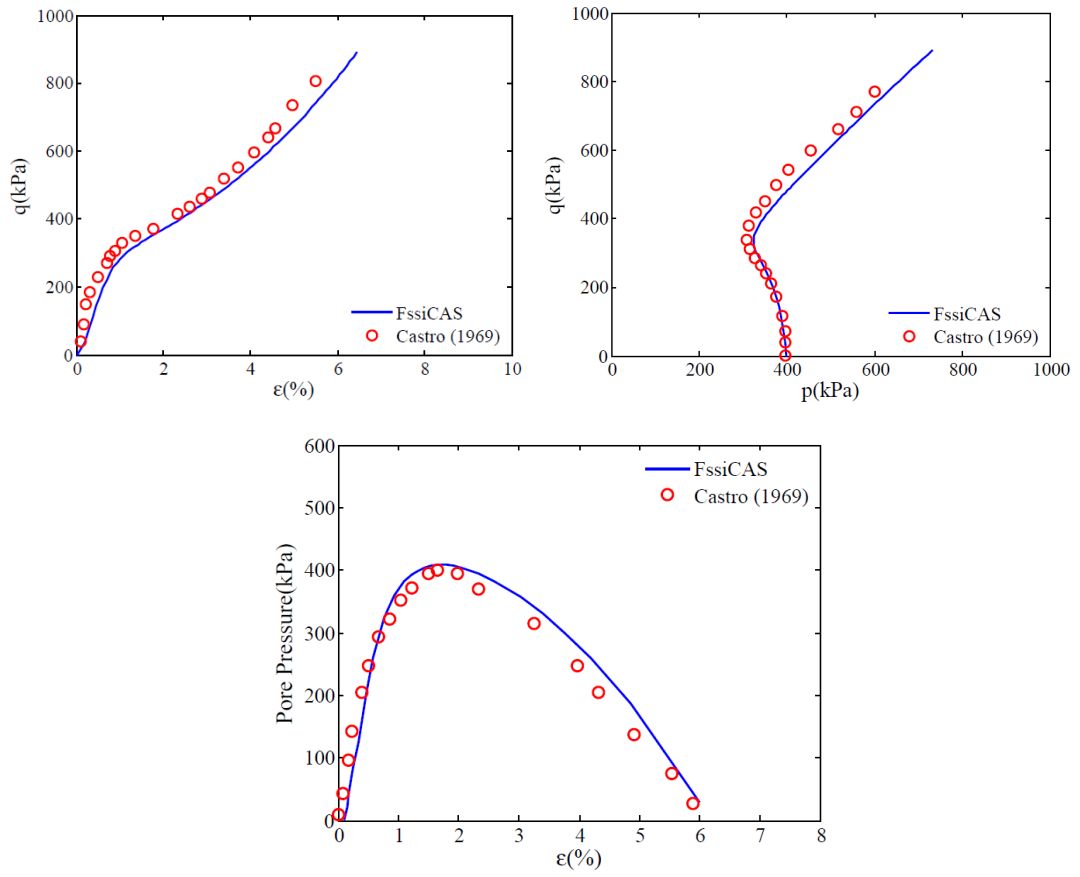


图 3.10 实验 d 偏应力及孔压对比图