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:



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**Fssi**,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。

wicks v3.57											
File Use Televist Support	🖶 🖶 😨 🚳 😽 Step 1	v 🤫 🧐 🏀 🦛 (PU	a 16 Allocated	Memory Size(MP	I): 10 Project: G/File,	Software/File_FssiCas/Cas	e5 Simulation of Four Point B	Bending Test 🛛 🔻			
Model Bandte	Soil-Stortures	BratOscours									
Bullinger	1 00000	19771000									
= LoadMesh	(HOURS)										
Gid	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1										
Abaqus	-70 -70										
Gmb	+77 - 77										
Ansys	Ee Wo		_	_							_
FssiMesh		33	Case5 Simula	tion of Four Poin	• × +						- 0 X
= V LoadBackground	11 PM										
H Materials					> ··· File Software	> File EssiCas >	CaseS Simulation of F	Four Point Bending T	int >	2 Middle 1987 1987	<u> </u>
material-1											_
Boundary Conditions											
- BC-3 - BC-2			(i) filse ~			14 ₩/# - = 1	京君				CII 1978
- BC-1											
- BC-4							10:0X 13/83				
- BC-3			📔 🖿 Res	sults							
Structure-Solid			_								
₽ Loads			- Ier	ηp							
H- HydroDynamics			👔 🙆 Cas	e5 Simulation o	of Four Point Bending Test						
Stolen Wave			E Car	e5 Simulation a	of Four Point Rending Test						
CFD											
8 - AeroDynamics			Sir	ulation of Three	e Point Bending Test inp		2021/12/28 9:48	INP 24	1,150 KB		
- Fluctuating Wind			, Tr								
H-Farthcuske											
No Earthquake											
Sinusoidal Function											
- Earthquake Library - National Standard											
UserDefined											
R - Field Quantity											
No Acceleration Field											
Centrifugal Acceleration Field											
- Solver			~ '								
III Step											
H Step 1											
- Time History											
- 🛶 Initial State											
8- Computation											
PSSI-W											
• •		_									
		.7									
		- T									
		Z Z									
		•••									
									_		

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 m的对称轴上施加 x 方

向的约束;最后在模型下表面*x* ∈ [-0.302 m, -0.298 m] 和 *x* ∈ [0.298 m, 0.302 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 2,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

🗰 🏥 🏥 💋 🔽 🗞 🗄? 🚱 🎲 🎲 🖓 븕 Step 1 🔹 👽 🌚 🌰 🚛 🦣



图 4-6 进入边界选择模式

图 4-7 下表面*x* ∈ [-0.302 m, -0.298 m] 和 *x* ∈ [0.298 m, 0.302 m] 的区域 y 方向位移约 束





图 4-9 上表面 *x* ∈ [-0.205 m, -0.195 m] 和 *x* ∈ [0.195 m, 0.205 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<mark>弹性本构模型</mark>,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 v_t 设置成和压缩泊松比 v_c 一样的值。

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

表 1-1 材料参数(采用简单的线弹性本构模型)

Material 1		- • ×	Fai Material 1		- 0
Material Name	baxi		Material Name	baxi	
Constitutive Model:	Bi-Modulus Elastic	W	Constitutive Model:	Bi-Modulus Elasti	c v
Succeed	No Succeed	W	Succeed	No Succeed	
Initial Stress Tensile	Yes	v	Initial Stress Tensile	Yes	
Global Stress Integration:			Global Stress Integration:	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
Stress Integration Algorithm:	Default 🔻		Stress Integration Algorithm:	Default v	
Constitutive Model Parameters:			Constitutive Model Parameters:		
Plasticity Inclusion:	No	T	Plasticity Inclusion:	No	V
Compressive Young's Modulus (Pa):	60e9		Compressive Young's Modulus (Pa):	60e9	
Compressive Poisson's Ratio:	0.25		Compressive Poisson's Ratio:	0.25	
Tensile Young's Modulus (Pa):	60e9		Tensile Young's Modulus (Pa):	10e9	
Tensile Poisson's Ratio:	0.25		Tensile Poisson's Ratio:	0.05	
Damping Model Parameters:			Damping Model Parameters:		
Damping Model:	ELASTIC V		Damping Model:	ELASTIC	
Young's Modulus (Pa): 0	Poisson's Ratio: 0		Young's Modulus (Pa): 0	Poisson's Ratio: 0	

(a) 不考虑双模型特性

(b) 考虑双模量特性

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。

图 4-11 设置材料的相关属性参数

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。

🕀 Contact					
Structure-Solid	Solver Setup		×		
🖻 Loads					
HydroDynamics	Solver:	Static			
- 🗮 No Hydro					
- 🏹 Stokes Wave	Analysis Module:	Traditional Implicit FEM			
🗁 🛅 CFD	Sparse Solver Type	Direct Sparse Solver (LU)			
AeroDynamics	sparse solver type:	Silder Sparse Solver (20)			
 Fluctuating Wind 	Parameters		_		
FAST	Geometrical Nonlinearity	Off			
□ Earthquake					
No Earthquake	Rotation	Non-Rotation	▼		
Sinusoidal Function	Stiffness Matrix Symmetry	No			
Earthquake Library	Iterative Convergence Criteria 0.0001				
Field Quantity	Property Updation	Non-Updated			
No Acceleration Field	Analysis Type	2D-Plane Stress	-		
Uniform Acceleration Field					
Centrifugal Acceleration Field	Displacement Succeed	Yes	▼		
⊡ (L) Time Step	NBFGS	1	•		
E- Step 1	Parallel Method	CPLLOpenMP			
Sub_Step 1	Parallel Method	CFO Openimi			
Time History	CPU Parallel Threads	4			
Initial State					
Computation		Ok			
FSSI-W			_		
FSSI-NW					

图 4-13 设置求解器的相关属性参数

在前处理界面上的 Model 树状菜单栏的 Time Step 中,点击 Sub_ Step1,设置求解时间步数为 100 x 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;

Loads			
E HydroDynamics Stokes Wave	Fisi Time Step	?	×
HydroDynamics Stokes Wave GFD AeroDynamics FACTOpynamics Factuating Wind FACT AeroDynamics Factuating Wind FACT AeroDynamics Factuating Wind FACT Facture for the factor of the factor	Fsi Time Step Sub Step 1 Parameter Simulation Time (s) Start Time of Current Step (s) Interval for Time Steps (s) Interval for Updating Coordinate (s) Interval for Updating Coordinate (s) Interval for Updating Global Stiffness Matrix (s) Maximum Iterations Restart File Output Interval (s) Results File Output Interval (s) Results File Output State Variables Output Results Sequence Results Format History Output Interval (s) α β1	? 1 0 0 0.01 0.01 100 1.1 0.01 0.01 0.0	
	β2	ate Dele	te

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 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。

	Fisi Initial State X Solver: Static Type: Generate Initial File Set initial state to Zero Yes Ok
--	--

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。

	😓 🔀 🕼 🖗 🙀 Sites 1 🔹 🖶 🚱 📽 🕼 Citiza 😘 Allocated Wemory SandVill (10) Project 🖉 Gulf in:Schwarechin:JosCauCated Simulation of Four Nort Bending Text 🔹	
Model Results	Sel-Structure Reprocess	
Profession	Richo	V Professional Options
Gid		Mech Visualization
- Abagut Hyperblep		Solid Menh D Tuid Menh
Gmuh		the Concentration of the Conce
TooMesh		
- 7 Loadiladiground		
- Materials		
nate/art		
80.0		
- 82-1	Figli Mitessityr	- 0 ×
- 8C-4 NCA	Solver Sonen Tomelatan	
= Cartect		
P-Loads	Total Number Of Instations: 100 Average Number Of Instations: 10	Show Nodes Show Meth Edge
 HydroDynamics No Market 	Further 100 Consigned in the 100	
- 28 Stokes Whee		Boundary All Boundary
- AnnoDynamica	Start Assembling CSR Maria With 4 Threads	3 Show Boundary Canalities
- Fluctuating Wind	Time Used in Forming CSE Matrix is: EDS Seconds	
+ Earthquile	Start U/Decomposing III: 4 Threads	
No Earthquake Sinuroidal Function	Solution process at this map is completed at: 1553-44	
Earthquake Library		
LiterDefined	Regis To Save fruit File	
 Field Charility No. Evolution Table 	Digiacement Order 0	
Unitary Acceleration Field	TesCAS For Windows OS	
- G, Solier	Program Name FiscAs	
 Streep 		
Sub,Step 1		
- Time Hidary		
- B Computation		
A FORMAT		
	+ ^r	
	7 7	
	•••	
Enter Command Here		
Two Doubed		Presents MANA Nodes MANA LAnder MANA ENglish & Depart No. Made No. Material, M. R. (Dans, India Reporter), D. Salari Press, J. A.

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}







(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)