

德儒巴软件

RFEM 6

案例教程手册

面单元应力应变分析



德儒巴软件（上海）有限公司

2022 年 7 月

版 权 声 明

RFEM 计算机程序以及全部相关文档是受专利权法和著作权法保护的产品，版权属于德儒巴软件有限公司。未经德儒巴软件有限公司的书面许可，不得以任何形式、任何手段复制本产品或文档的任何部分。

德儒巴软件（上海）有限公司
联系电话：18389356559(微信同号)
邮箱：info@dlubal.com
网址：www.dlubal.com
微信公众号：DLUBAL

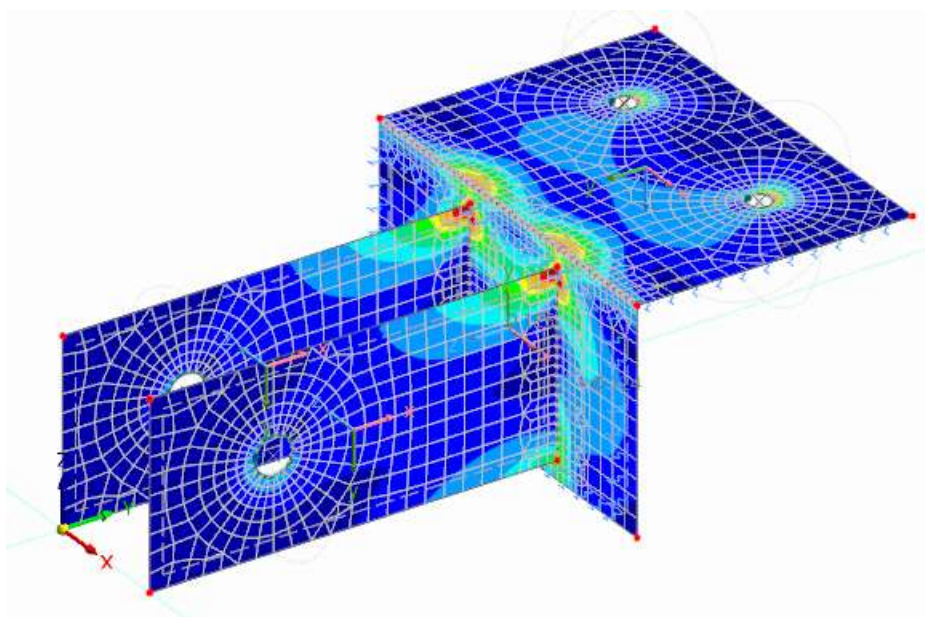
案例 4 应力应变分析

摘要:

本案例以某窗框连接件为背景，详细介绍如何使用 RFEM 6 进行面单元的应力-应变分析。

教程目录

1. 模型信息.....	1
1.1 模型信息.....	1
2. 建立模型.....	2
2.1 创建模型文件.....	2
2.2 新建材料和厚度.....	3
2.3 创建结构模型.....	5
2.4 施加边界条件.....	16
2.5 施加荷载.....	18
3. 设置网格.....	19
4. 设置局部网格细化.....	20
5. 设置焊缝.....	21
6. 网格的生成与质量检查.....	22
7. 应力应变分析的配置.....	24
8. 计算与结果查看.....	26



1. 模型信息

1.1 模型信息

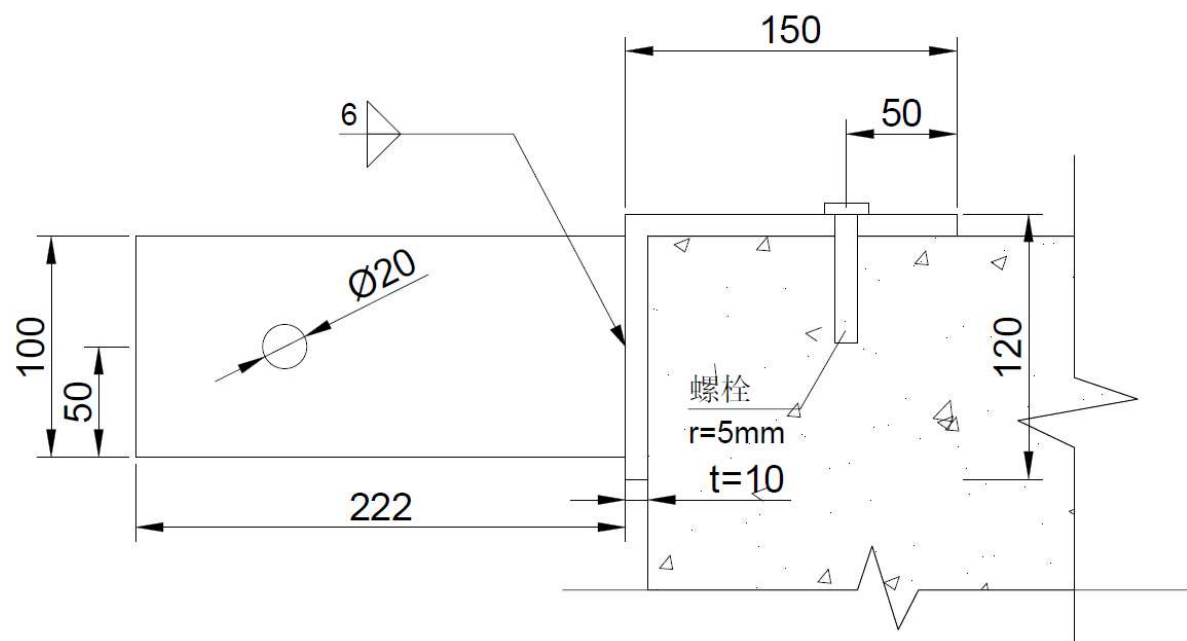


图 1-1 连接件侧视图

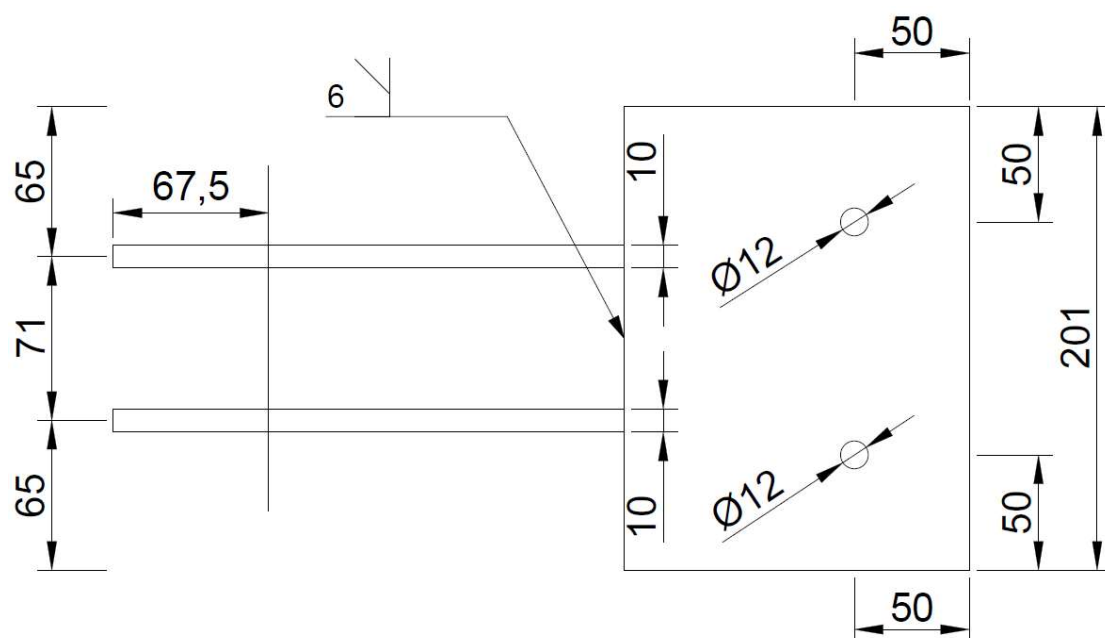


图 1-2 连接件俯视图

材料	Q235
板材厚度	T=10mm
竖向荷载大小	16.30kN
水平荷载大小	14.19kN
板材与混凝土接触模拟	受压时为弹性支座，受拉失效
固定螺栓模拟	节点支座
板材模拟	二维面单元
耳板焊缝	双面角焊缝，计算厚度=6*0.7=4mm
角钢焊缝	V 形坡口焊缝，计算厚度=6mm
焊接方法与焊缝等级	自动焊，二级

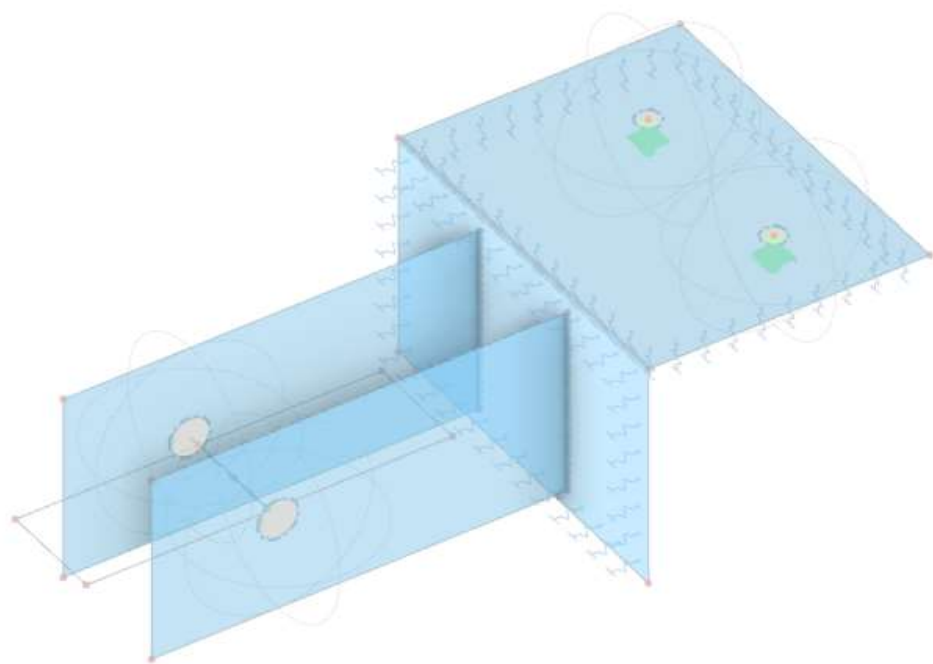


图 1-3 模型轴测图

2. 建立模型

2.1 创建模型文件

1. 点击桌面上的 rfem 6 图标，打开 RFEM6 程序。点击菜单栏中的文件，从

中选择新建，打开[新建模型-基本数据]对话框。

2.在[新建模型-基本数据]对话框的[基本]选项卡中的模型名称处，输入模型名称“应力应变分析”。

3.将对话框切换到[模块]选项卡，勾选[材料非线性]和[应力-应变分析]模块。

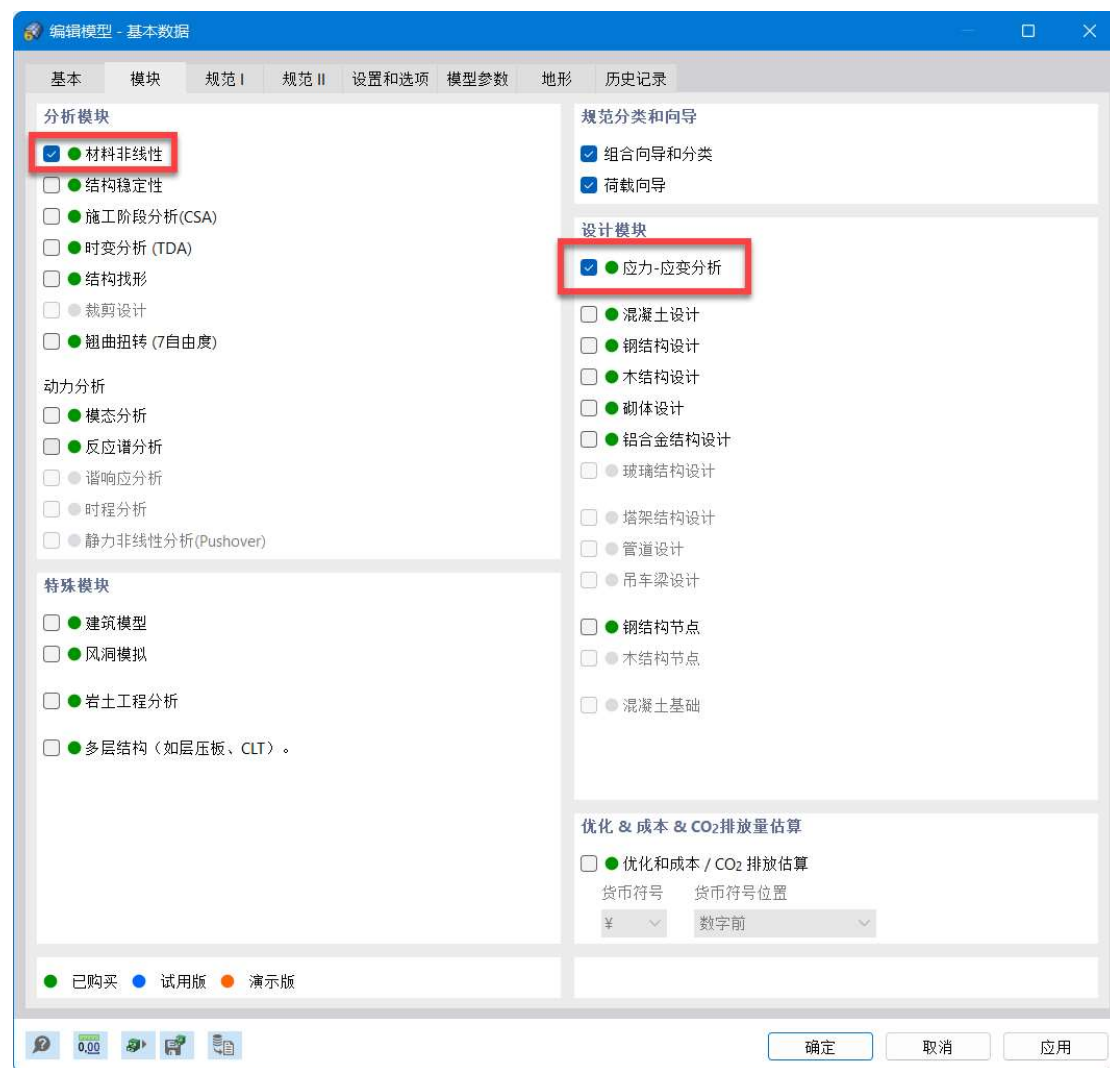



图 2-1 勾选应力应变分析模块

4.点击对话框右下角的[确定]按钮，关闭对话框。

2.2 新建材料和厚度

1.点击导航器-数据>“应力应变分析”>基本对象>材料处，右键单击，选择新建材料，打开[新建材料]对话框。

2.在[新建材料]对话框中，将材料模型选择为“各向同性|塑性(面/实体)”，点

击  按钮，打开[从库中导入材料]对话框。在[从库中导入材料]对话框中，选中国 Q235 钢，点击右下角的[确定]按钮，关闭对话框，Q235 钢将被导入到模型中。

注：用户可以将对话框切换到[各向同性|塑性(面/实体)]中，修改屈服准则。程序默认的屈服准则为冯·米塞斯屈服准则。

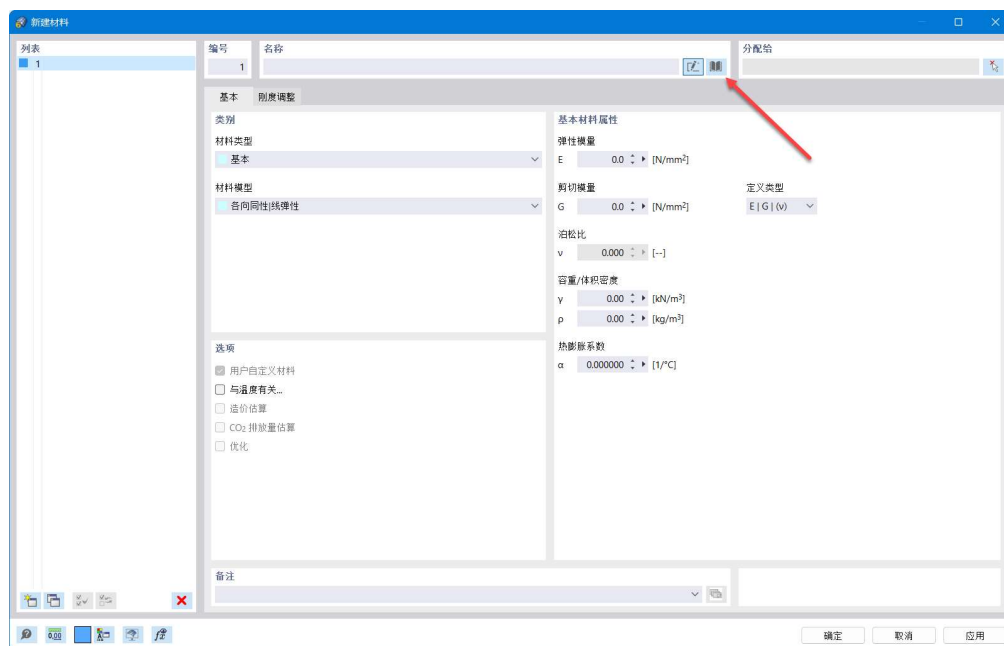


图 2-2 从库中导入材料按钮

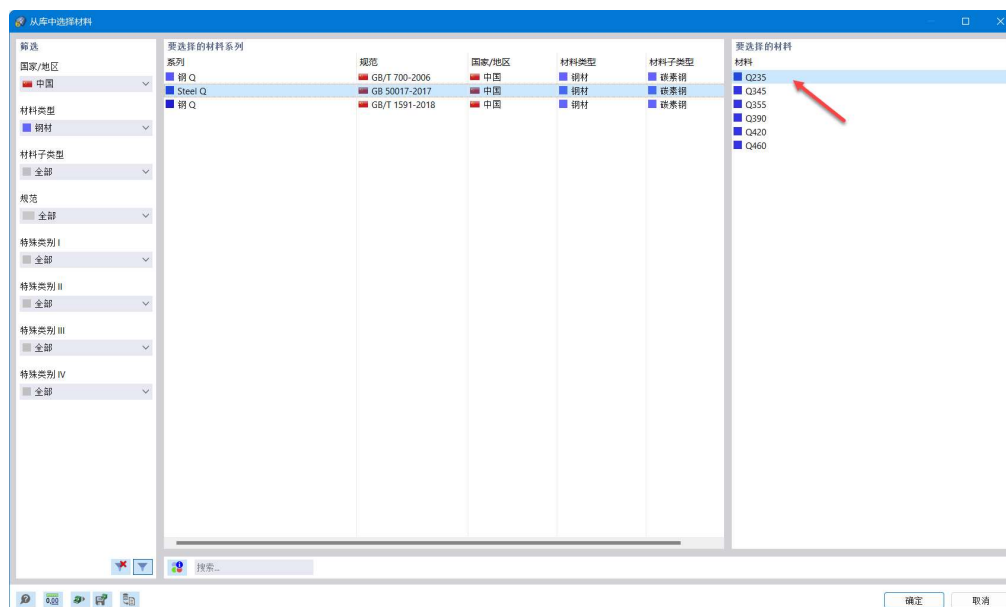



图 2-3 选中 Q235 钢，导入模型

3. 点击对话框左下角的  按钮，将材料模型选择为“各向同性|线弹性”，点击对话框右下角的[确定]按钮，完成材料的创建。

4. 点击导航器-数据>“应力应变分析”>基本对象>厚度处，右键单击，选择新建厚度，打开[新建厚度]对话框。

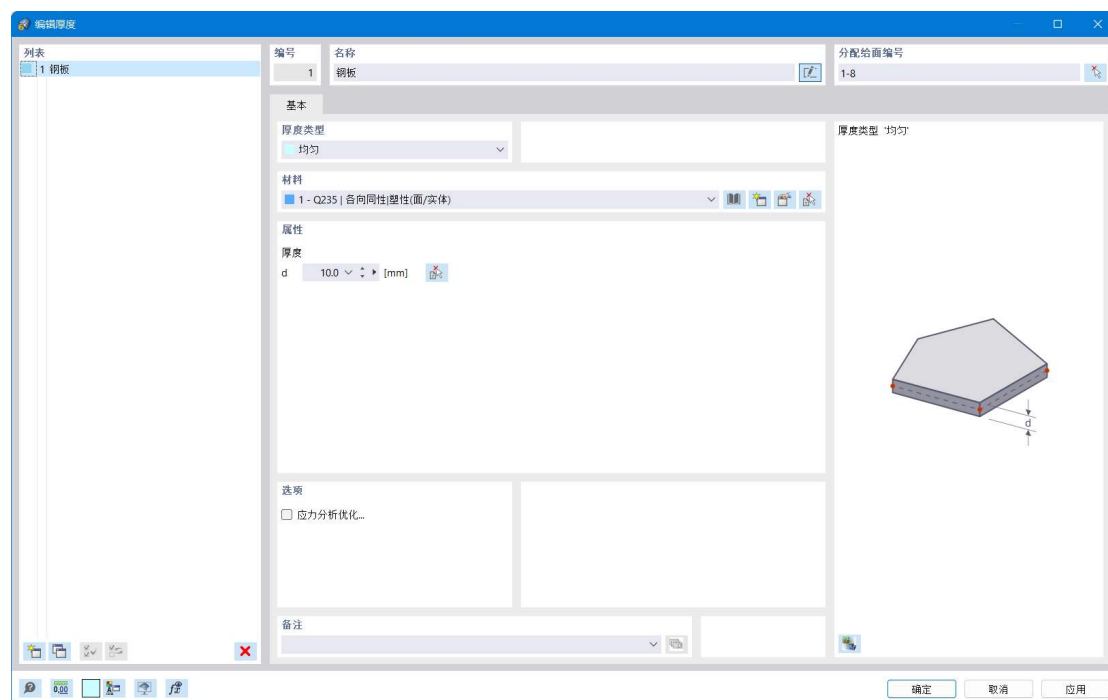





图 2-4 新建厚度对话框

5. 将厚度 1 的厚度设置为 10mm，材料选择为材料 1。并点击对话框中的  按钮，将该厚度的名称设置为“钢板”。

5. 点击对话框左下角的  按钮，新建厚度 2，将厚度 2 的厚度设置为 10mm，材料选择为材料 2，并点击对话框中的  按钮，将该厚度的名称设置为“开洞导荷”。

6. 点击对话框右下角的确定按钮，关闭对话框，完成厚度的创建。

2.3 创建结构模型



1. 点击工具栏中的  按钮，打开[新建节点]对话框，将节点坐标设置为(0, 0, 0)，点击右下角的确定，完成节点 1 的创建。



图 2-5 新建节点对话框

2.选中节点 1，点击工具栏中的  按钮，打开[移动/复制]对话框。在[移动/复制]对话框中，勾选“创建副本”，复制次数设置为 1。位移向量设置为(0, 0, 0.1)。将对话框切换到[编号和选项]选项卡，勾选“步间连接”。将对话框切换到[步间连接]选项卡，勾选“用线连接节点”。点击对话框右下角的[确定]按钮，关闭对话框，完成复制操作。

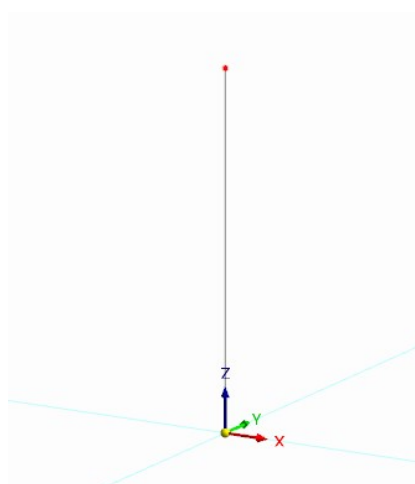



图 2-6 节点 1 和节点 2

3.选中节点 1、节点 2 及连接节点的线段，点击工具栏中的  按钮，打开[移动/复制]对话框。在[移动/复制]对话框中，勾选“创建副本”，复制次数设置为 1。位移向量设置为(0, 0.222, 0)。点击对话框右下角的[确定]按钮，关闭对话框，完成复制操作。

注：程序会保存上一次移动复制操作的位移向量、步间连接等设置，故此处

只修改位移向量。

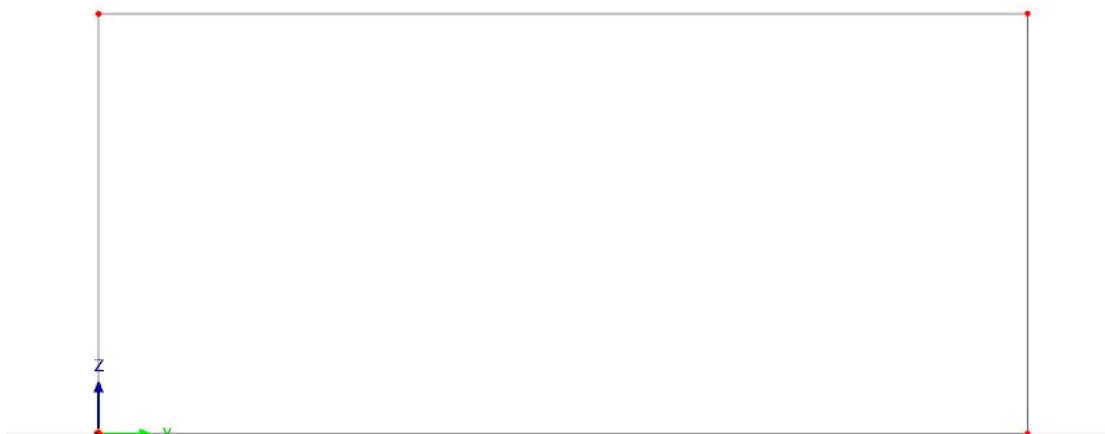




图 2-7 完成节点 1、节点 2 的复制

4.选中节点 1，点击工具栏中的  按钮，打开[移动/复制]对话框。在[移动/复制]对话框中，勾选“创建副本”，复制次数设置为 1。位移向量设置为(0,0.0675, 0.050)；将对话框切换到[编号和选项]选项卡，取消勾选“步间连接”。点击对话框右下角的[确定]按钮，关闭对话框，完成复制操作。

5.点击工具栏中的  按钮，打开[新建矩形面]对话框。在[新建矩形面]对话框中，将刚度类型设置为“标准”，厚度设置为“钢板”。点击对话框右下角的[确定]按钮，关闭对话框，指定矩形平面的两个角点。

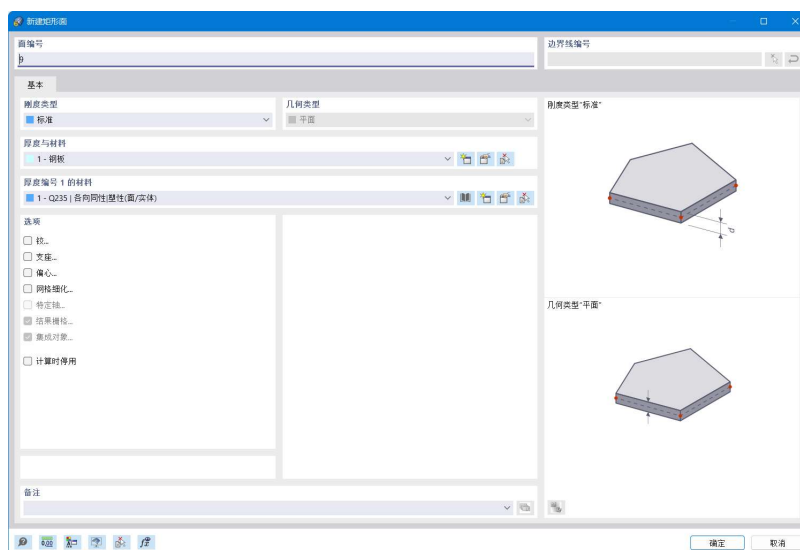


图 2-8 新建矩形面对话框

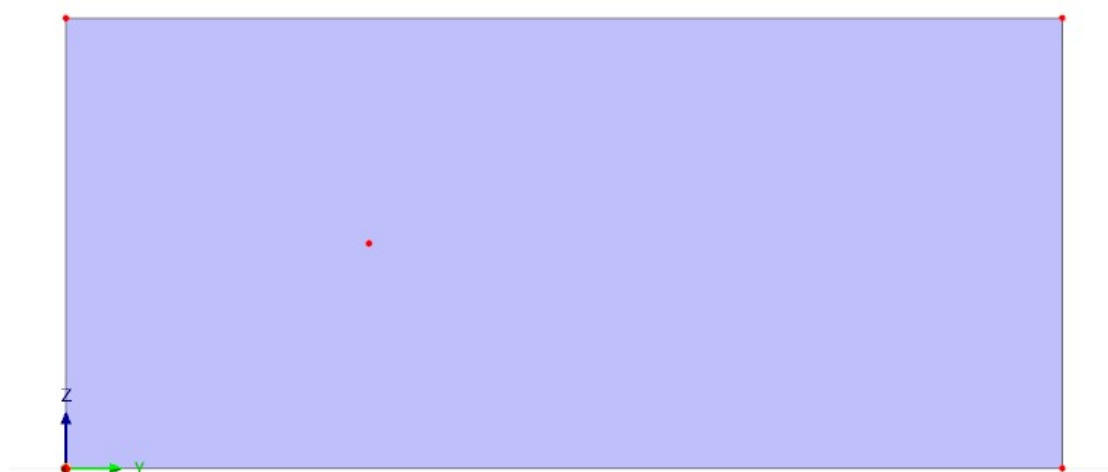




图 2-9 完成面 1 的创建

6. 点击工具栏中的  按钮，将工作平面切换为 YZ 平面。点击工具栏  按钮右侧的▼按钮，从中选择“圆形”，以创建圆形洞口。指定圆形洞口的圆心，并将圆形洞口的半径指定为 0.01m，点击对话框右下角的[确定]按钮，关闭对话框，完成洞口的创建。

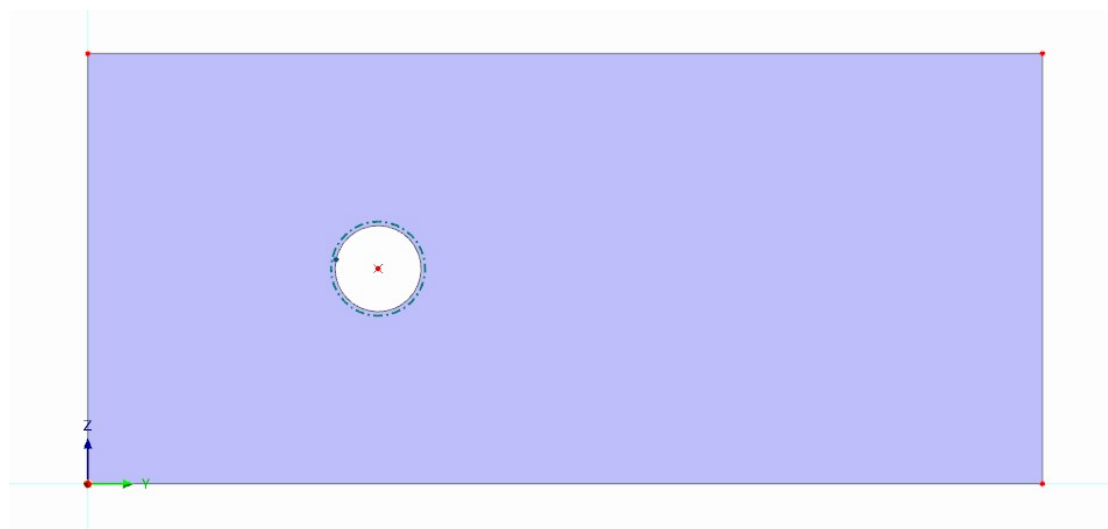



图 2-10 新建圆形洞口

7. 点击工具栏中的  右侧的▼按钮，从中选择“圆形”，打开[新建圆形面]对话框，以创建洞口处的导荷面。在[新建圆形面]对话框中，将刚度类型指定为“无薄膜拉力”，厚度指定为“开洞导荷”。点击对话框右下角的[确定]按钮，指定圆形面的圆心和圆弧上的点，完成洞口导荷面的创建。

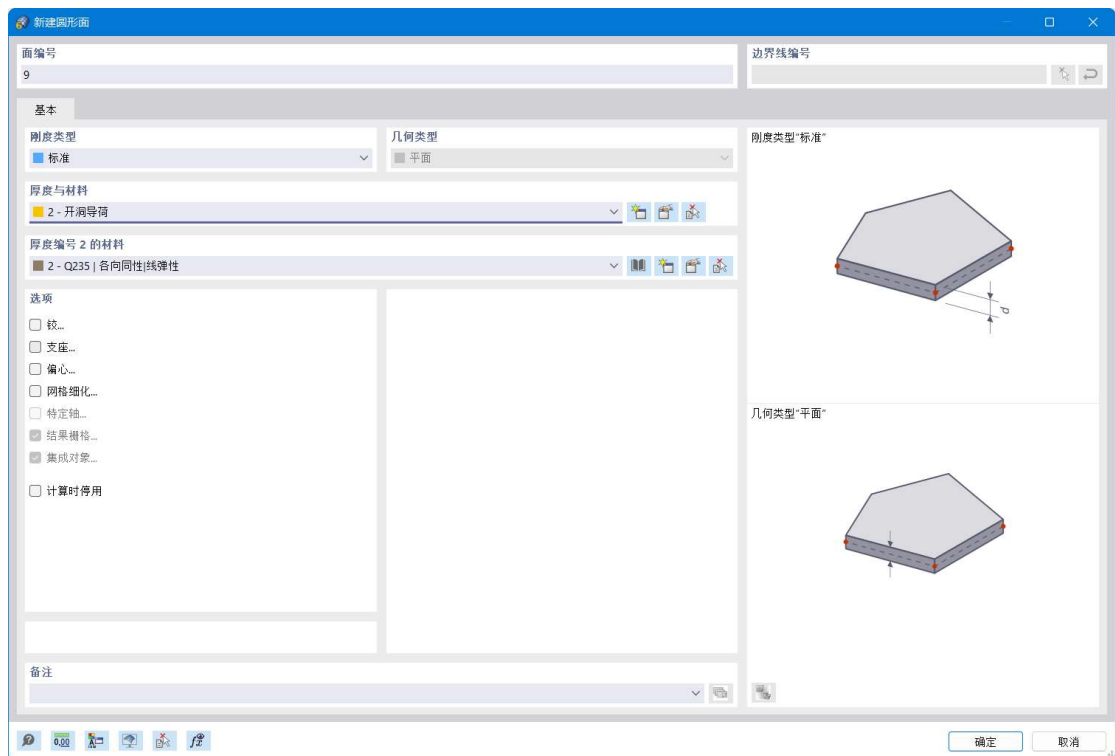


图 2-11 新建圆形面

注：“无薄膜拉力”意味着该面不会出现正的膜应力。在板壳理论中，膜应力指的是沿面单元厚度方向分布的应力，类似于梁单元横截面上的正应力。如果一个面的膜应力不会出现拉应力，则该面的抗弯刚度会极小，不会对整体结构带来影响，是一种比较理想的导荷虚面。同时，该类型的面的剪切刚度正常，在荷载作用下变形不会过大，对结果查看造成干扰。

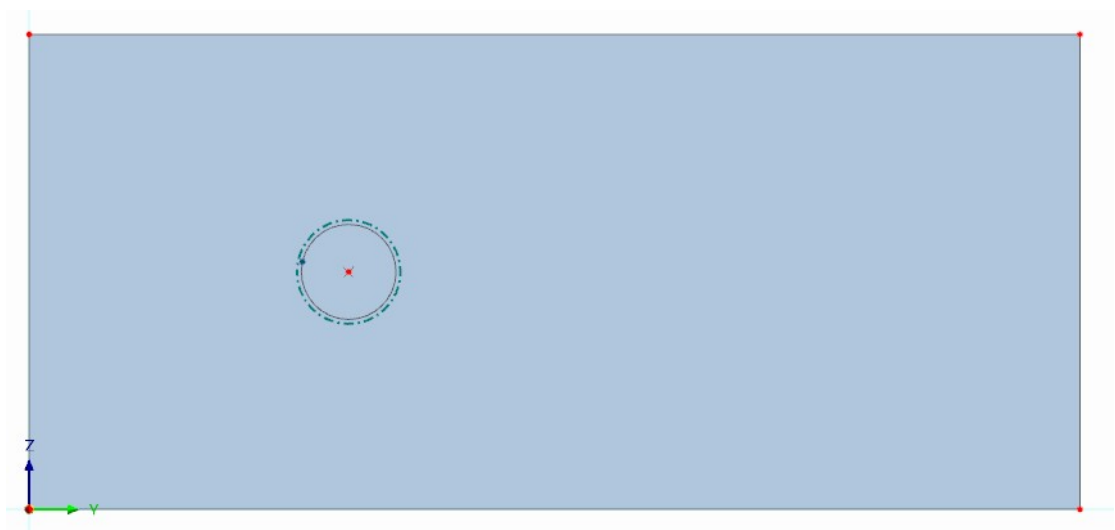



图 2-12 完成洞口导荷面的创建

8.选中创建的所有对象，点击工具栏中的按钮，打开[移动/复制]对话框。在[移动/复制]对话框中，勾选“创建副本”，复制次数设置为1。位移向量设置为(0.071, 0, 0)，点击对话框右下角的[确定]按钮，关闭对话框，完成复制操作。

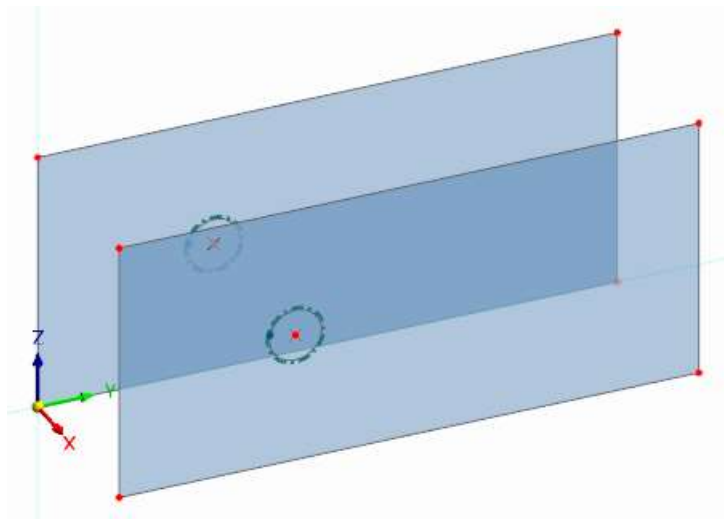




图 2-13 复制面和洞口

9.点击工具栏中的按钮，打开[新建杆件]对话框。在对话框的[基本]选项卡中，将杆件类型设置为“刚性”。点击对话框右下角的[确定]按钮，连接两个洞口的中心。点击工具栏中的按钮，打开[新建节点]对话框，创建刚性杆的中点节点。

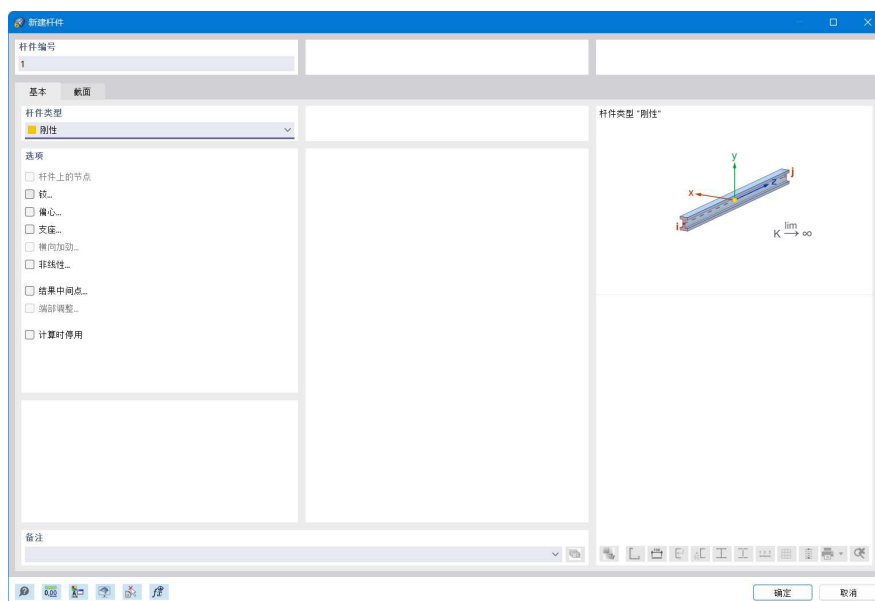


图 2-14 新建刚性杆

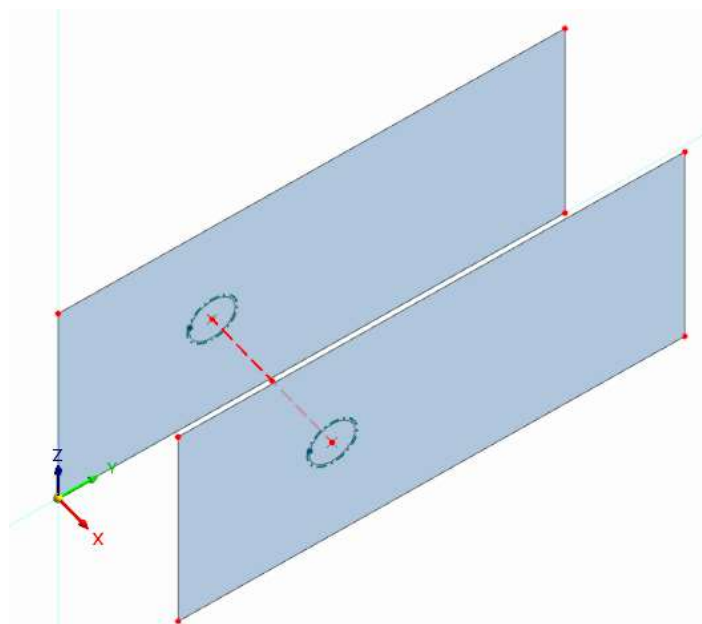



图 2-15 新建刚性杆

注：刚性杆的刚度为无穷大。

10.选中右侧面的下角点，点击工具栏中的  按钮，打开[移动/复制]对话框。在[移动/复制]对话框中，勾选“创建副本”，复制次数设置为1。位移向量设置为(0.065, 0, -0.010)，点击对话框右下角的[确定]按钮，关闭对话框，完成复制操作。

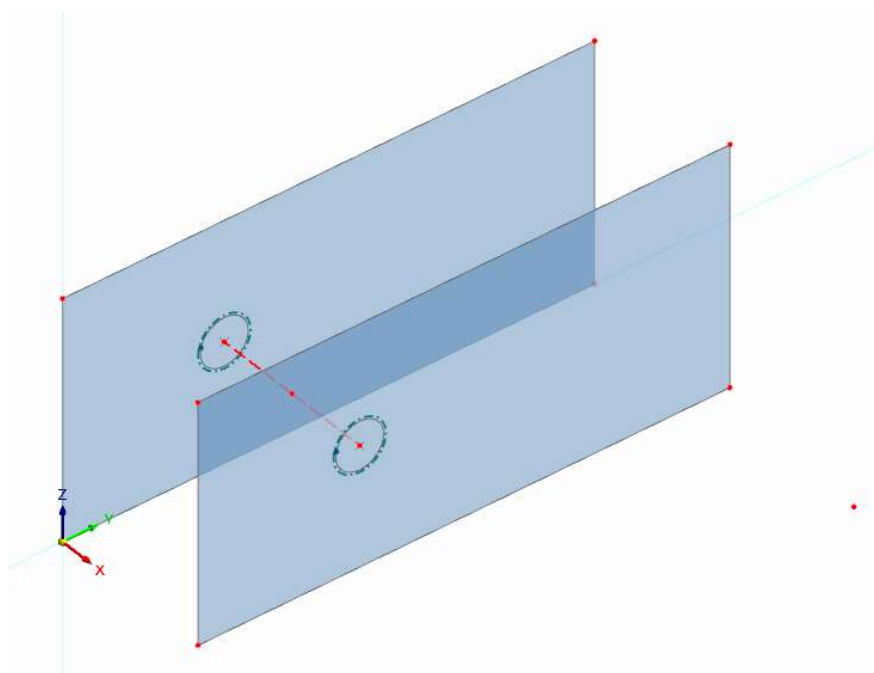



图 2-16 复制右侧面下角点

11.选中复制出的节点，点击工具栏中的按钮，打开[移动/复制]对话框。在[移动/复制]对话框中，勾选“创建副本”，复制次数设置为1。位移向量设置为(-0.210, 0, 0)，点击对话框右下角的[确定]按钮，关闭对话框，完成复制操作。

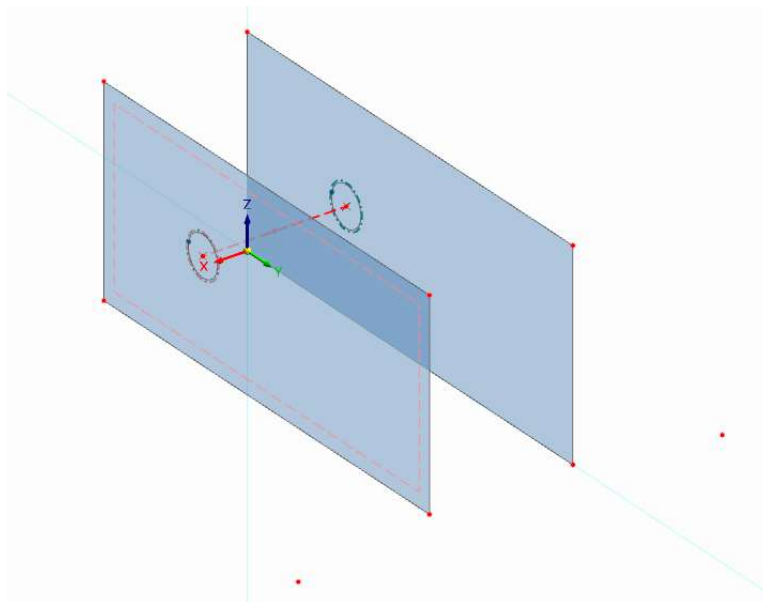



图 2-17 步骤 11

12.选中复制处的两个节点，点击工具栏中的按钮，打开[移动/复制]对话框。在[移动/复制]对话框中，勾选“创建副本”，复制次数设置为1。位移向量设置为(0, 0, 0.120)，点击对话框右下角的[确定]按钮，关闭对话框，完成复制操作。

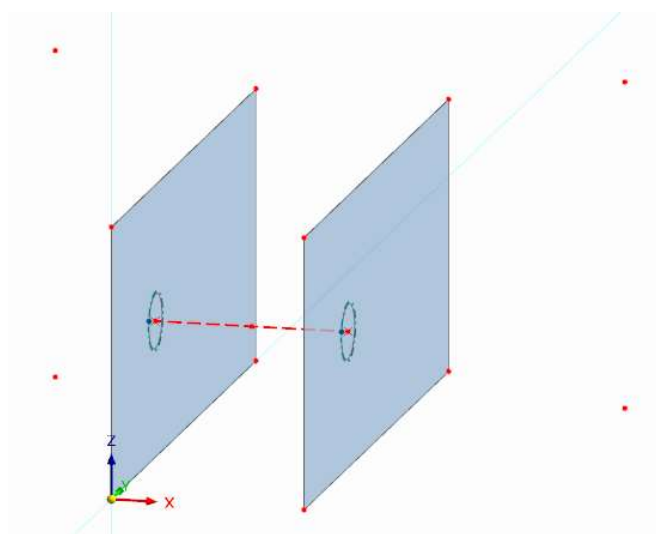



图 2-18 步骤 12

13. 点击工具栏中的  按钮，打开[创建矩形面]对话框。在对话框的[基本]选项卡中，将刚度类型指定为“标准”，厚度指定为“钢板”，点击对话框右下角的[确定]按钮，指定矩形面的两个角点。

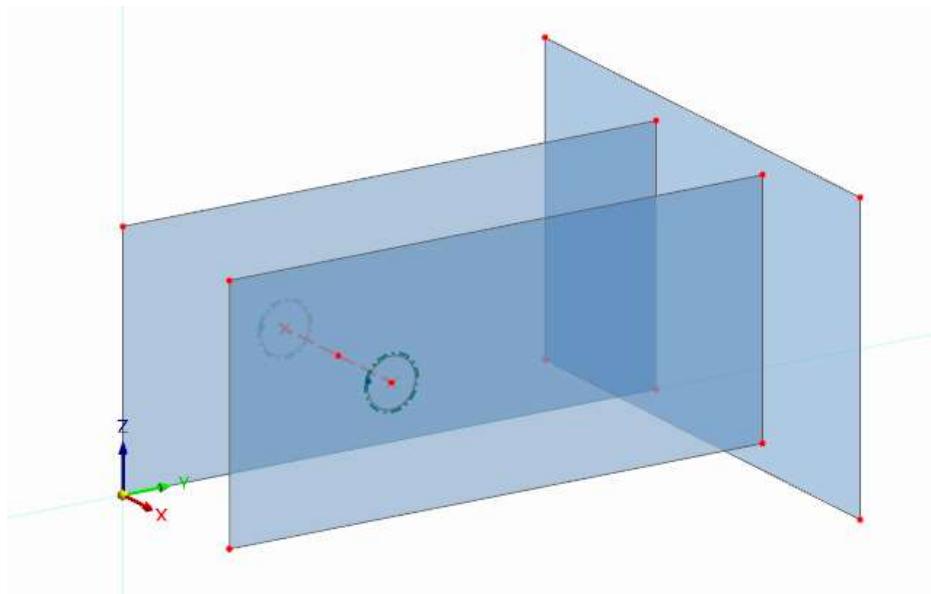



图 2-19 步骤 13

14. 选中新创建的钢板的上角点，点击工具栏中的  按钮，打开[移动/复制]对话框。在[移动/复制]对话框中，勾选“创建副本”，复制次数设置为1。位移向量设置为(0, 0.150, 0)，点击对话框右下角的[确定]按钮，关闭对话框，完成复制操作。

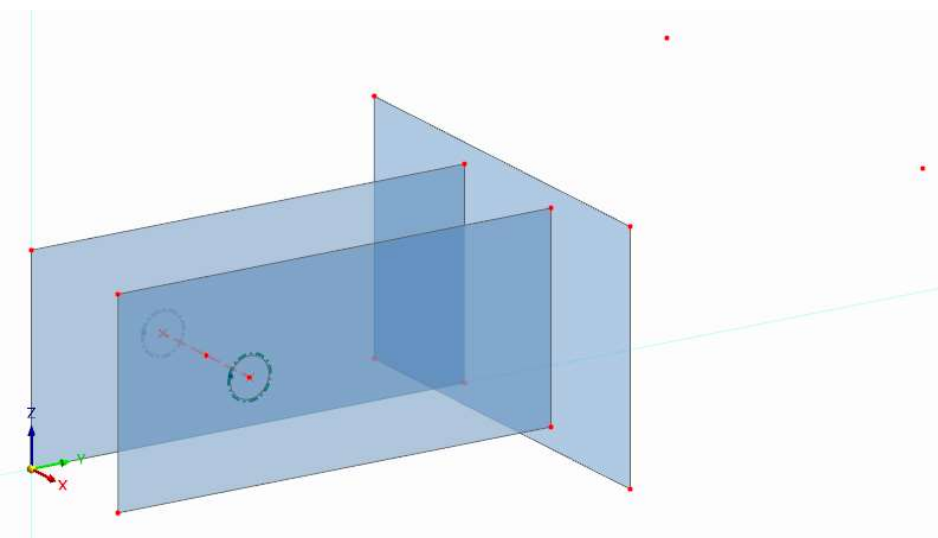



图 2-20 步骤 14

15. 点击工具栏中的  按钮，打开[创建矩形面]对话框。在对话框的[基本]选项卡中，将刚度类型指定为“标准”，厚度指定为“钢板”，点击对话框右下角的[确定]按钮，指定矩形面的两个角点。

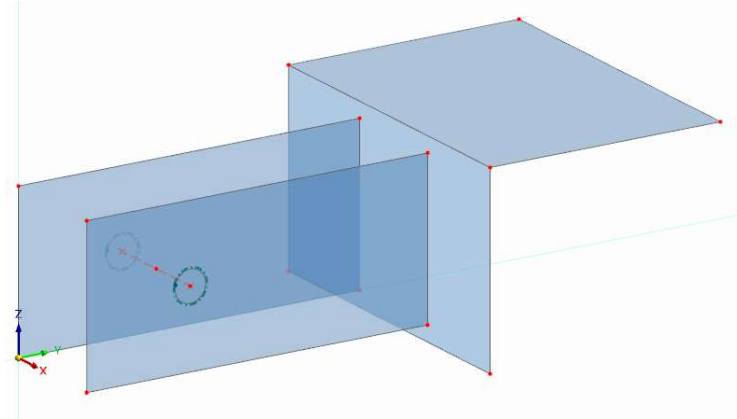






图 2-21 步骤 15

16. 选中新创建的钢板的右角点，点击工具栏中的  按钮，打开[移动/复制]对话框。在[移动/复制]对话框中，勾选“创建副本”，复制次数设置为 1。位移向量设置为 $(-0.050, -0.050, 0)$ ，点击对话框右下角的[确定]按钮，关闭对话框，完成复制操作。

17. 类似的，选中新创建的钢板的左角点，点击工具栏中的  按钮，打开[移动/复制]对话框。在[移动/复制]对话框中，勾选“创建副本”，复制次数设置为 1。位移向量设置为 $(0.050, -0.050, 0)$ ，点击对话框右下角的[确定]按钮，关闭对话框，完成复制操作。

18. 点击工具栏中的  按钮，将工作平面切换为 XY 平面。点击工具栏中的  按钮，新建圆形洞口。选中圆形洞口的圆心，将洞口半径指定为 0.006m。

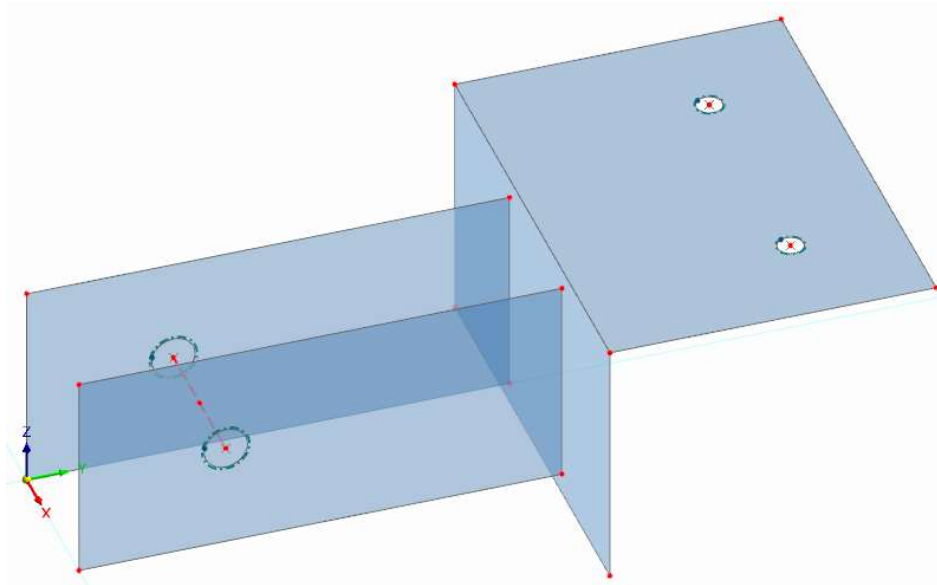



图 2-22 新建支座洞口

19. 点击工具栏中的  按钮，打开[创建圆形面]对话框。在[创建圆形面]对话框的[基本]选项卡中，将“刚度类型”指定为“无薄膜拉力”，厚度指定为“开洞导荷”，点击对话框右下角的[确定]按钮，指定圆形平面的圆心，并将半径指定为 0.006m。

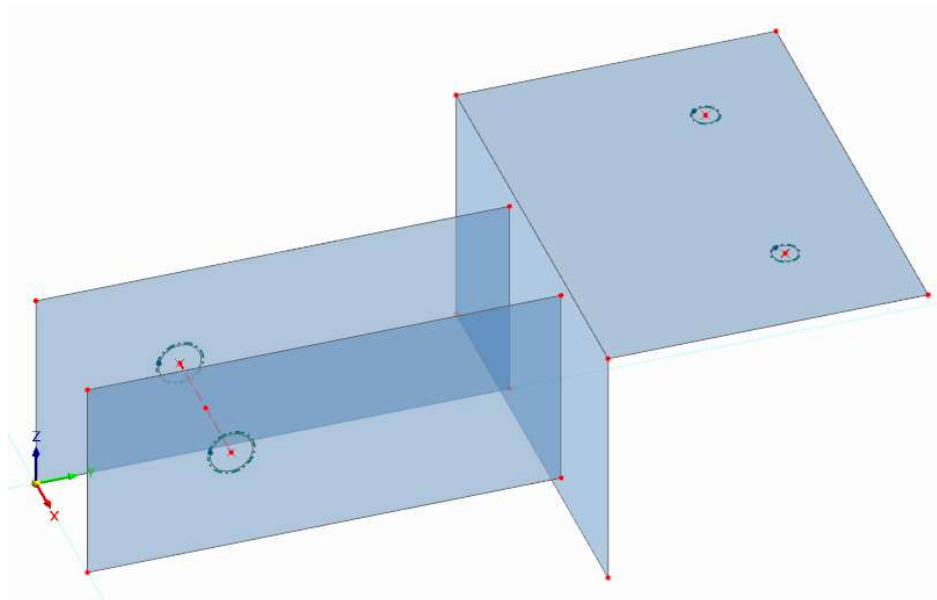



图 2-23 创建洞口导荷面

2.4 施加边界条件

1. 点击工具栏中的  按钮，打开[分配节点支座]对话框。在[分配节点支座]对话框中，将支座类型选择为“铰接”，点击对话框右下角的[确定]按钮，分配给螺栓洞口的圆心节点。

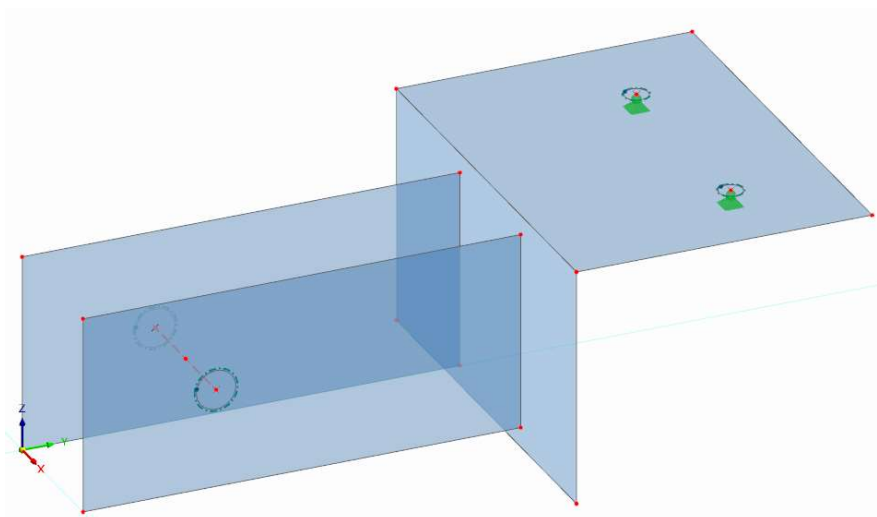


图 2-24 设置节点支座

2. 除了螺栓将连接件固定在混凝土上之外，连接件还有直接与混凝土接触的部分。该部分的接触应具备以下特征：受压时正常工作，取混凝土的弹性模量作为弹性支座的变形刚度；受拉时退出工作。

3. 右键单击钢板，在右键快捷菜单中选择“打开/关闭面的局部坐标系”。

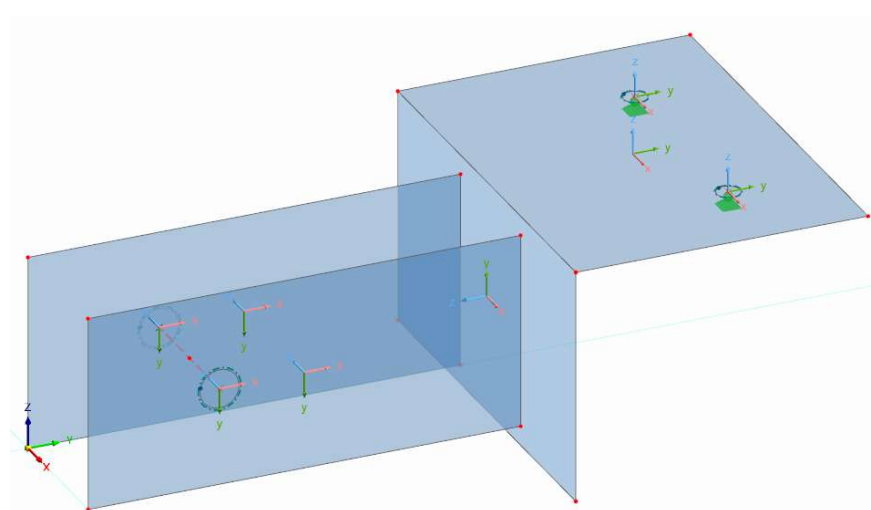



图 2-25 打开面的局部坐标系

4. 可以看到，与混凝土接触的部分的面法向均为背离混凝土部分。面支座的接触应力的正负号规定如下：与面法向方向一致时为正，与面法向方向相反时为负。选中与混凝土接触的面，双击，打开[编辑面]对话框。在对话框的[基本]选项卡中，勾选“支座”。并将对话框切换到[支座]选项卡，点击面支座右侧的  按钮，打开[新建面支座]对话框。

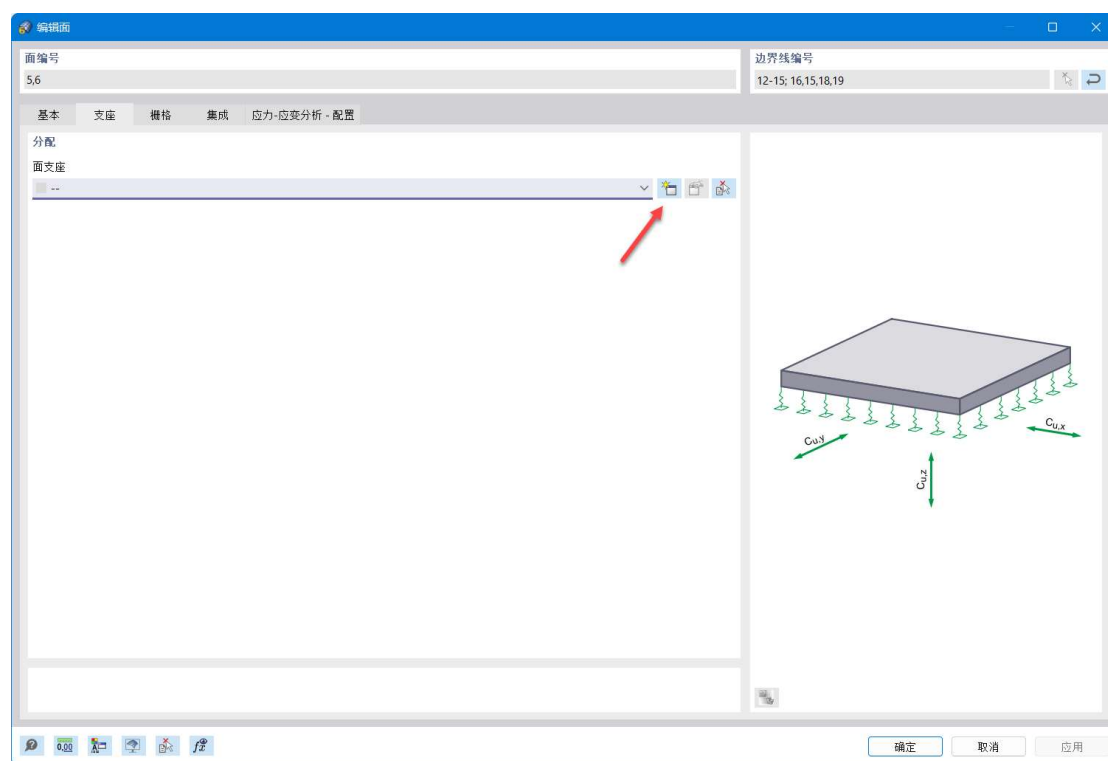


图 2-26 选择新建面支座

5. 在[新建面支座]对话框中，取消勾选剪切方向的约束。假定与连接件接触的混凝土等级为 C30，根据规范其弹性模量为 $3 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ ，换算成 z 向的弹簧刚度为 $3 \times 10^7 \text{ kN/m}^3$ 。指定非线性为“如果接触应力为正则失效”。点击右下角的确定按钮，关闭对话框，完成接触的模拟。

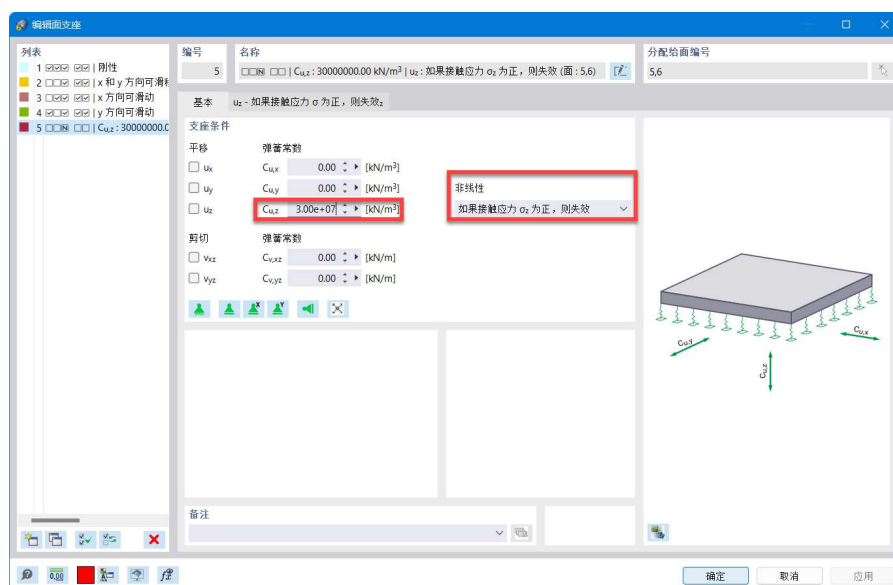



图 2-27 通过非线性支座模拟接触关系

2.5 施加荷载

1. 点击工具栏中的  按钮，打开[新建节点荷载]对话框。在该对话框的[基本]选项卡中，将“荷载类型”选择为“分量”。将荷载 F_y 指定为-14.19kN， F_z 指定为-16.30kN。点击对话框右下角的[确定]按钮，将该节点荷载分配给刚性杆的中点节点。

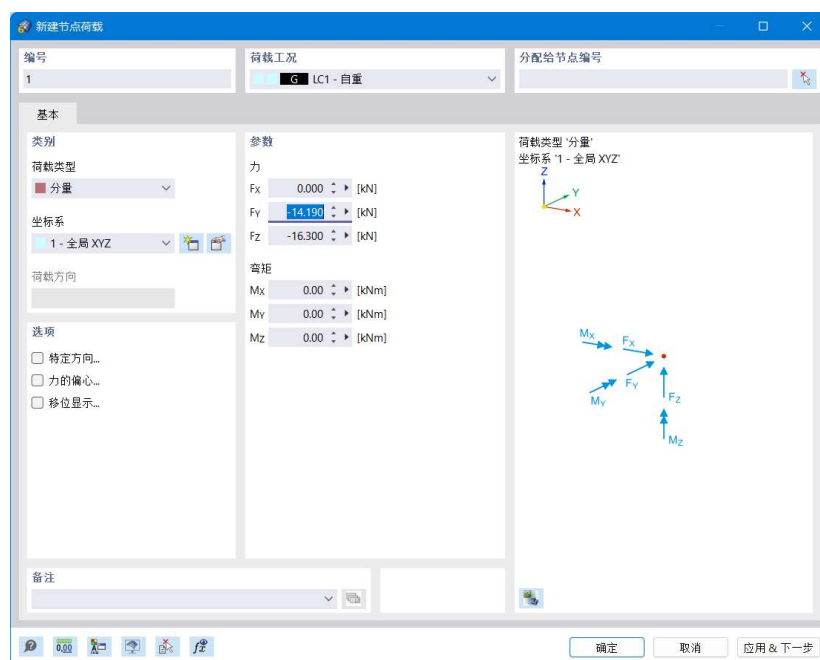


图 2-28 新建节点荷载对话框

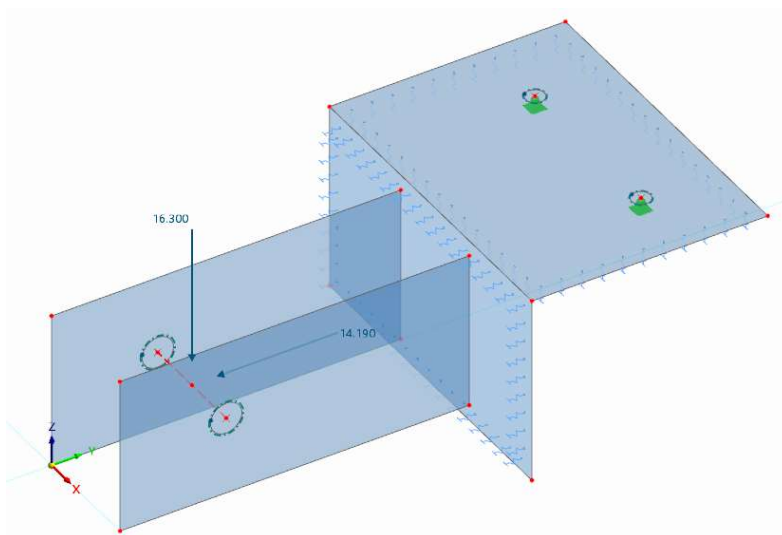


图 2-29 分配节点荷载

3. 设置网格

1. 点击菜单栏中的[计算]>[网格设置], 打开[网格设置]对话框。在对话框的[基本]选项卡中, 指定有限元网格的边长。由于本例中, 最小的洞口直径为 12mm, 故全局有限元网格尺寸指定为 0.010m。

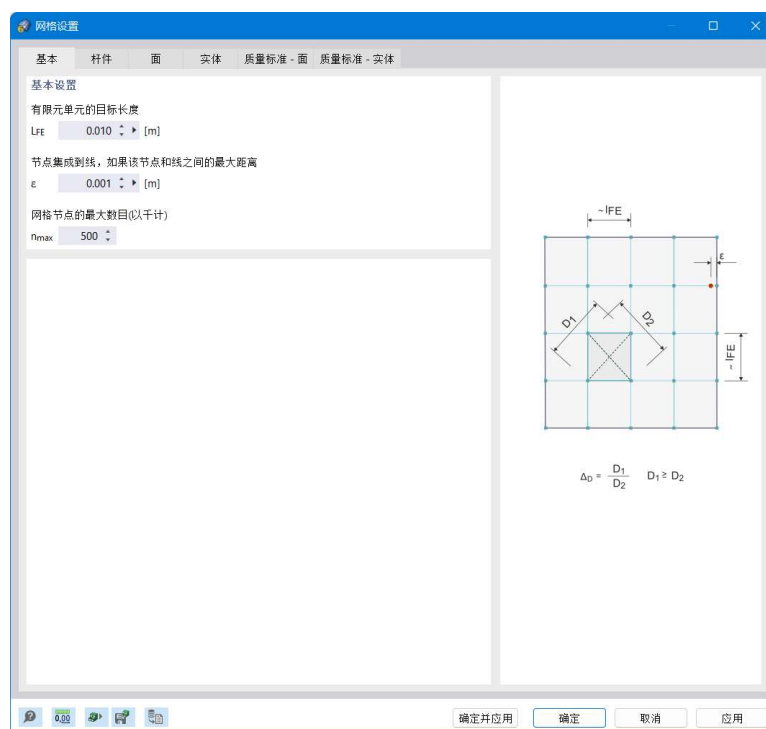


图 2-30 网格设置对话框


4. 设置局部网格细化

1.全局网格尺寸指定为 0.010m 后，由于最小洞口的边长约为 38mm，该处如果按全局网格设置来生成网格，则只会将该圆弧等分成三份或四份，达不到精度要求。一般而言，随着网格尺寸的减小，数值计算结果会逐渐逼近真实解。但是如果统一将全局网格尺寸调小，最终生成的网格数量可能过多，影响计算速度。为了平衡计算精度和计算速度，我们可以仅将关键区域的网格进行加密。

2.对于本案例，需加密网格的区域为面的连接处、刚性杆与面的连接节点处和节点支座处。可使用[线网格细化]和[节点网格细化]来实现。

注：“网格细化”并不一定将网格尺寸调整的更小，而是指在全局网格设置的基础上进一步对所选区域网格进行规定。利用该功能可以将关键区域网格尺寸调整的更小，也可以将非关键区域网格尺寸调整的更大。

3.点击导航器-数据>线的属性>线网格细化>右键单击，选择“新建线网格细化”，打开[新建线网格细化]对话框。

4.在[新建线网格细化]对话框中，将细化区域的目标有限元长度指定为 0.005m，并点击对话框右上角的  按钮，将该线网格细化分配给模型中的面的交线。点击对话框右下角的[确定]按钮，关闭对话框，完成线网格细化的设置。

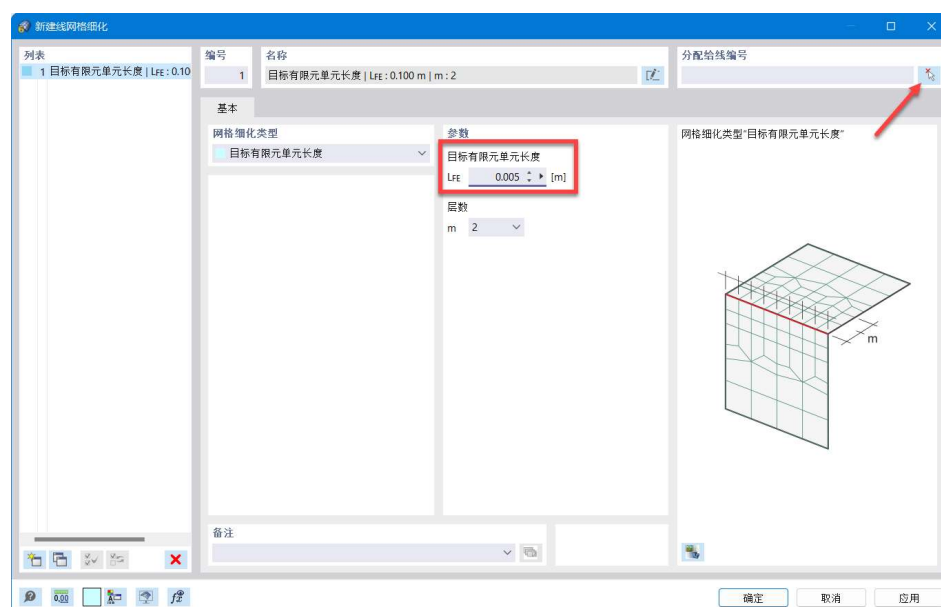



图 4-1 新建线网格细化对话框

5. 点击导航器-数据>节点属性>节点网格细化>右键单击，选择“新建节点网格细化”，打开[新建节点网格细化]对话框。

6. 在[新建节点网格细化]对话框中，将“网格细化类型”指定为“圆形”，“半径”设置为 0.050m，“内部目标有限元长度”设置为 0.002m，“外部目标有限元长度”设置为 0.010m。点击对话框右上角的  按钮，将该节点网格细化分配给支座节点、刚性杆与面的连接节点。点击对话框右下角的[确定]按钮，关闭对话框，完成节点网格细化的设置。

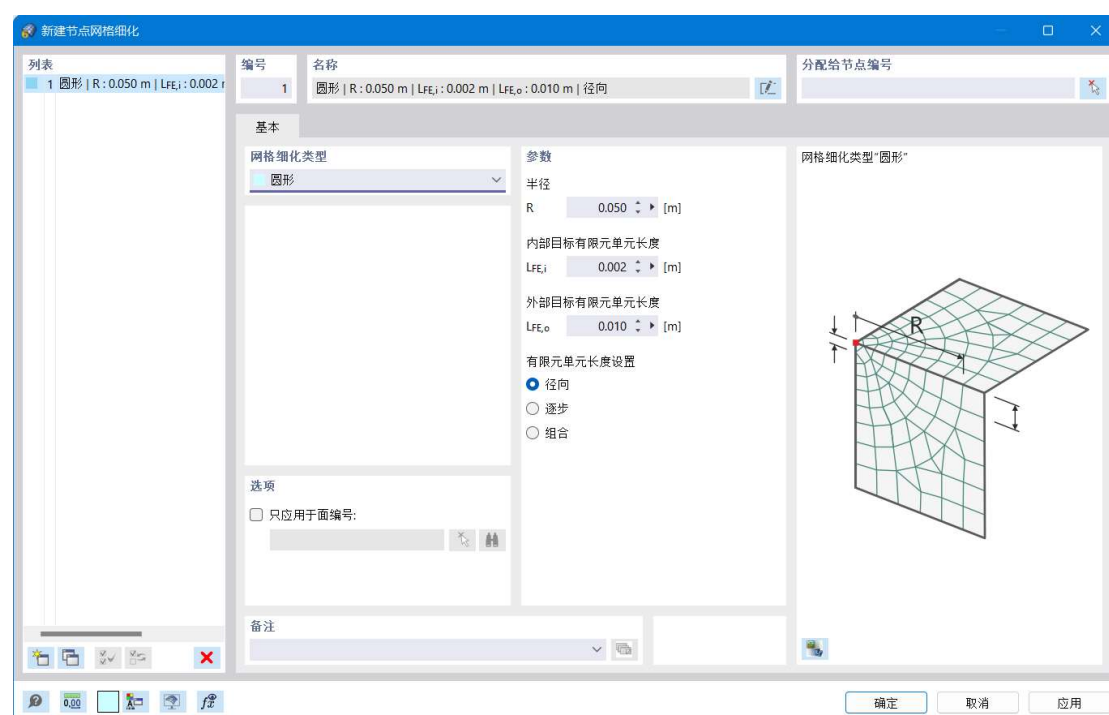


图 4-2 新建节点网格细化对话框

5. 设置焊缝

1. 点击导航器-数据>线的属性>线焊连接>右键单击，选择新建线焊连接，打开[新建线焊连接]对话框。

2. 在[新建线焊连接]对话框中，将“连接类型”设置为“T 形连接”，焊缝类型设置为“双面角焊缝”，焊缝厚度设置为 5mm。

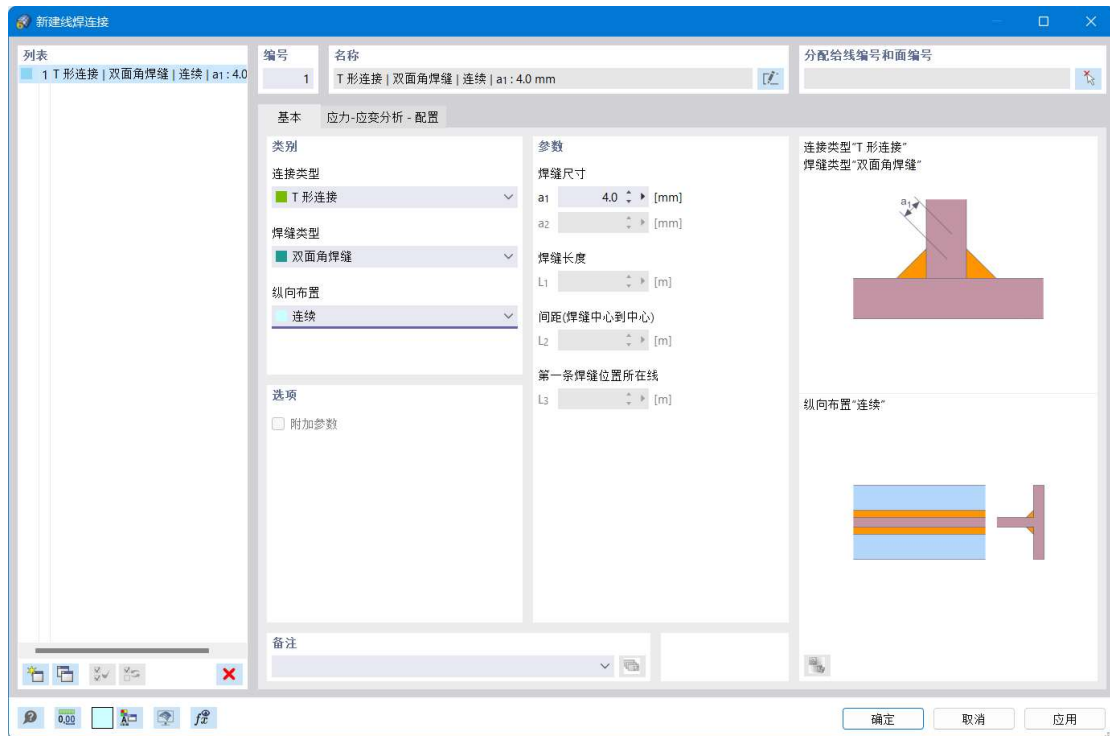



图 5-1 新建线焊连接对话框

3. 点击对话框左下角的  按钮，新建线焊连接。将线焊连接 2 的连接类型设置为“角接连接”，焊缝类型设置为“V 形”，焊缝尺寸设置为 6mm。点击右下角的确定按钮，关闭对话框。

4. 双击面与面之间的交线，打开[编辑线]对话框。在[编辑线]对话框的[基本]选项卡中，勾选“焊接连接”。将对话框切换到[焊接连接]选项卡，根据面与面之间的关系选择合适的焊接连接类型。

注：如果设置“角接连接”时报错，可能是面与面之间的夹角大于程序设定值。此时可以尝试反转面的局部坐标系，以使该夹角满足程序要求。注意在反转面的局部坐标系时，非线性支座也应随之更改。

6. 网格的生成与质量检查

1. 点击菜单栏中的[计算]-[生成网格]，程序会根据用户设置的全局网格设置、局部网格细化设置来划分网格。

2. 为了更清晰的查看程序划分的网格，可以在工作区右键单击>显示模型>线

框模型，使模型以线框形式进行显示。可以看到，在关键区域的网格被加密，不关键的区域网格尺寸较大。

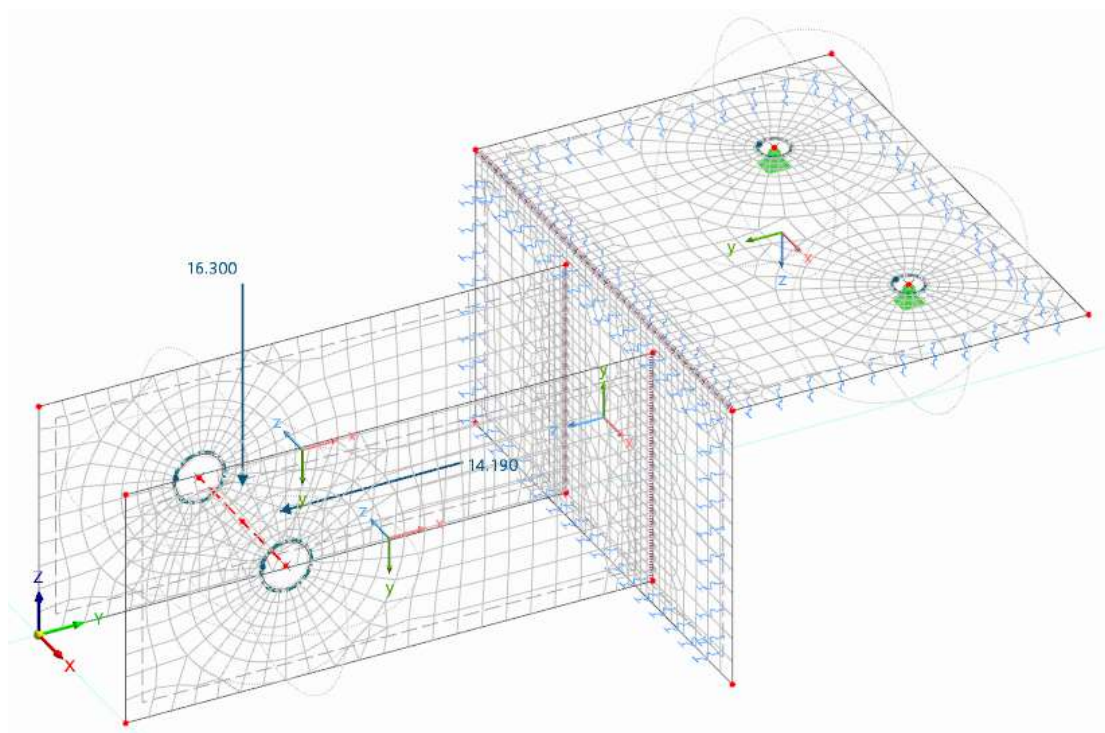


图 6-1 程序划分的网格

3.勾选导航器-显示>网格>网格质量，查看程序划分出的网格质量。质量较好的网格将被显示为绿色。

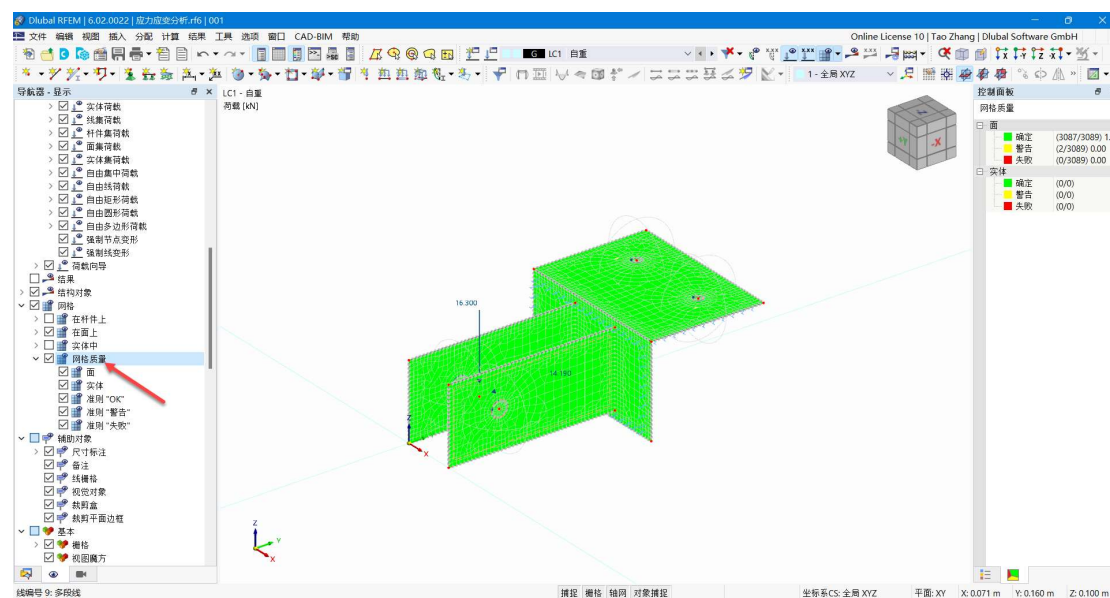


图 6-2 查看网格质量

注：在模型合适的情况下，随着网格的加密，数值结果将会逐渐逼近真实解。但是如果模型中出现应力集中(经常出现在尖锐转角处，例如模型中面与面之间的夹角为理想直角，仅通过一条无厚度的线来连接。但是实际中不会存在这种情况)，随着网格加密可能会加剧应力集中的程度。设置线焊连接的目的就是使用焊缝来模拟面与面之间的连接，避免应力集中。

7. 应力应变分析的配置

1. 点击导航器-数据>应力-应变分析>面配置>右键单击，选择编辑面配置，打开[编辑面配置]对话框。在[编辑面配置]对话框中，仅勾选 $\sigma_{eqv,max,Von\ mises}$ 。点击对话框右下角的[确定]按钮，关闭对话框。

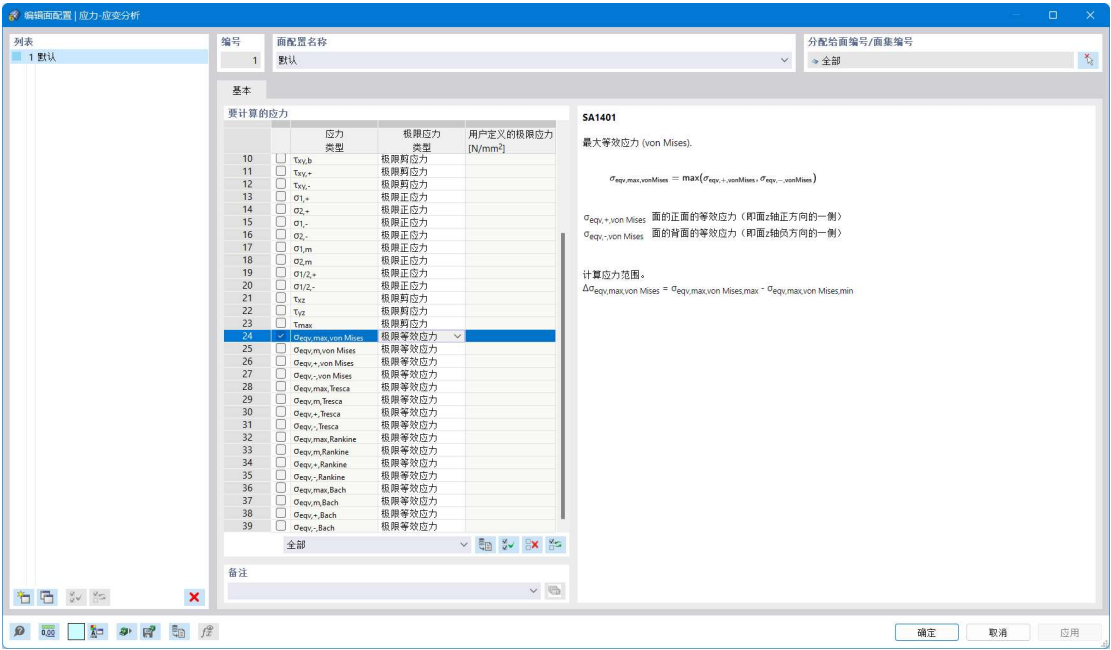


图 7-1 编辑应力应变分析的面配置

2. 点击导航器-数据>应力-应变分析>线焊连接配置>右键单击，选择编辑线焊连接配置，打开[编辑线焊连接配置]对话框。

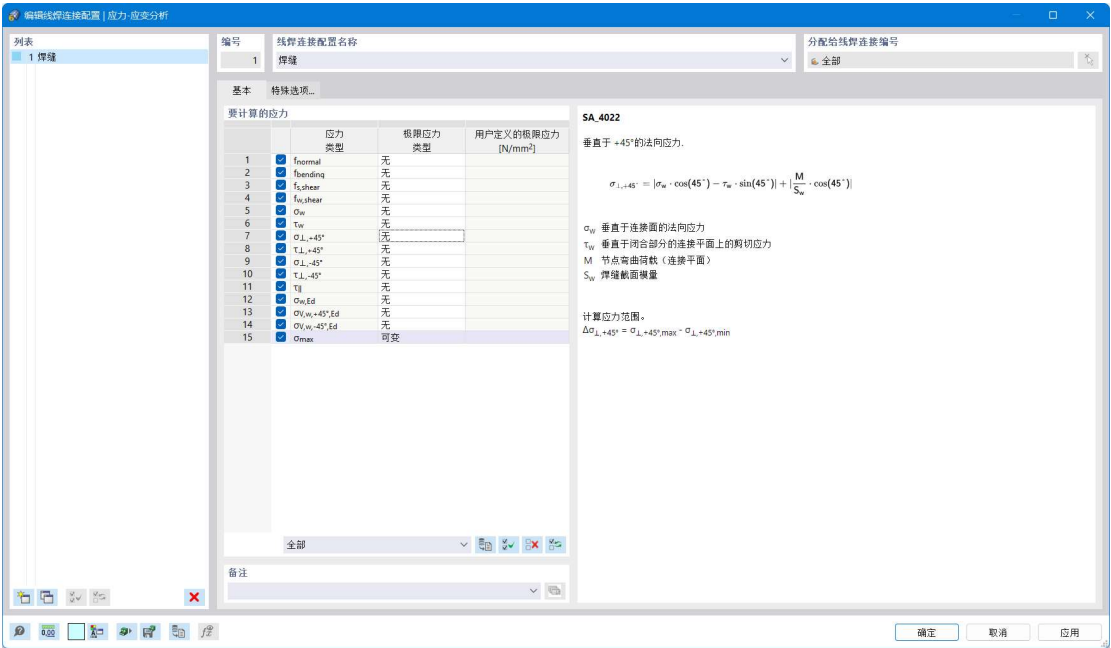


图 7-2 编辑线焊连接配置对话框

其中，各个应力的含义如下：

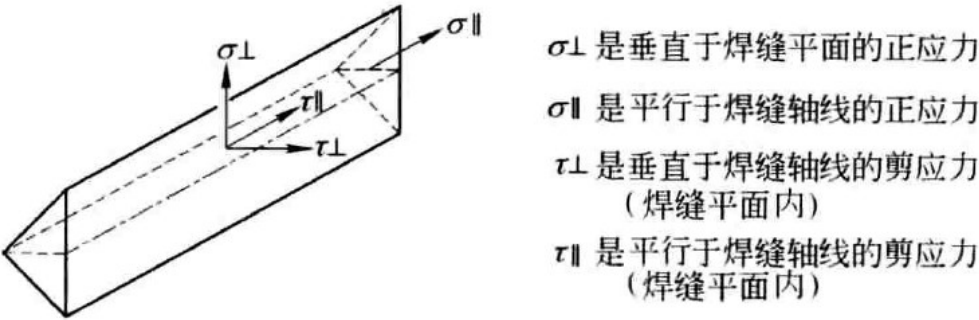


图 7-3 各个应力的含义

3.根据《钢结构设计标准》表 4.4.5 规定，构件钢材为 Q235 时，角焊缝抗压、抗拉和抗剪强度设计值如下： $f_f^w = 160\text{N/mm}^2$ 。

国标中焊缝强度的验算公式如下：

垂直于焊缝长度的应力：

$$\sigma_f = \frac{N}{A_w} \leq \beta_f f_f^w$$

平行于焊缝长度的应力：

$$\tau_f = \frac{N}{A_w} \leq f_f^w$$

综合应力作用下：

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_f}{\beta_f}\right)^2 + \tau_f^2} \leq f_f^w$$

在设计时，可以将 $\sigma_{||}$ 忽略不计，则软件中的 σ_{\perp} 和 τ_{\perp} 即为我国规范中的 σ_f ，软件中的 $\tau_{||}$ 即为我国规范中的 τ_f ，软件中的 $\sigma v_{w,45^{\circ}}$ 即为我国规范中的综合应力。故最终线焊连接配置如下：


基本 特殊选项...				
要计算的应力				
		应力类型	极限应力类型	用户定义的极限应力 [N/mm²]
1	<input type="checkbox"/>	fnormal	无	
2	<input type="checkbox"/>	fbending	无	
3	<input type="checkbox"/>	fs,shear	无	
4	<input type="checkbox"/>	fw,shear	无	
5	<input type="checkbox"/>	σw	无	
6	<input type="checkbox"/>	τw	无	
7	<input checked="" type="checkbox"/>	σ⊥,+45°	用户	160.000
8	<input checked="" type="checkbox"/>	τ⊥,+45°	用户	160.000
9	<input checked="" type="checkbox"/>	σ⊥,-45°	用户	160.000
10	<input checked="" type="checkbox"/>	τ⊥,-45°	用户	160.000
11	<input checked="" type="checkbox"/>	τ	用户	160.000
12	<input type="checkbox"/>	σw,Ed	无	
13	<input checked="" type="checkbox"/>	σv,w,+45°,Ed	用户	160.000
14	<input checked="" type="checkbox"/>	σv,w,-45°,Ed	用户	160.000
15	<input type="checkbox"/>	σmax	可变	

图 7-4 线焊连接配置

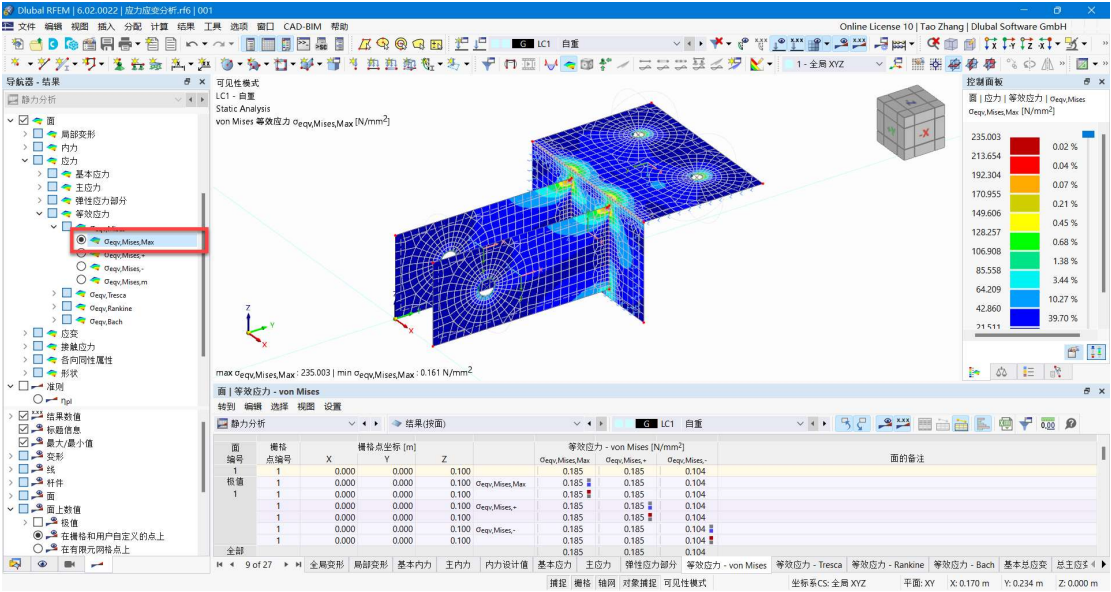
4.点击对话框右下角的[确定]按钮，关闭对话框，完成线焊连接配置。

8. 计算与结果查看

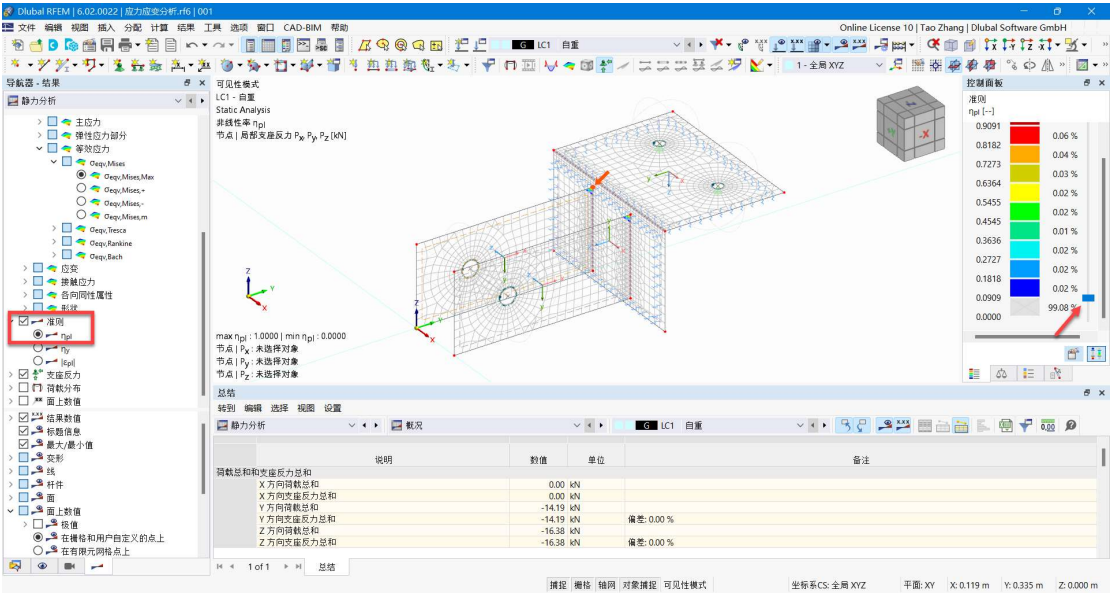
1.点击菜单栏的[计算]-[全部计算]，程序会开始进行计算。

2.计算完成后，选中洞口导荷面，点击工具栏中的右侧的▼按钮，从中选择“隐藏所选对象”，将该部分对象隐藏，以免对结果查看造成干扰。

3.查看自重荷载工况下的面最大等效米塞斯应力，发现已经达到极限应力，说明已有部分材料进入塑性。



4.查看模型的塑性发展情况，发现仅有部分区域进入塑性，大部分区域仍处于弹性阶段。



5.切换到[应力-应变分析]，查看面和焊缝的应力使用率。

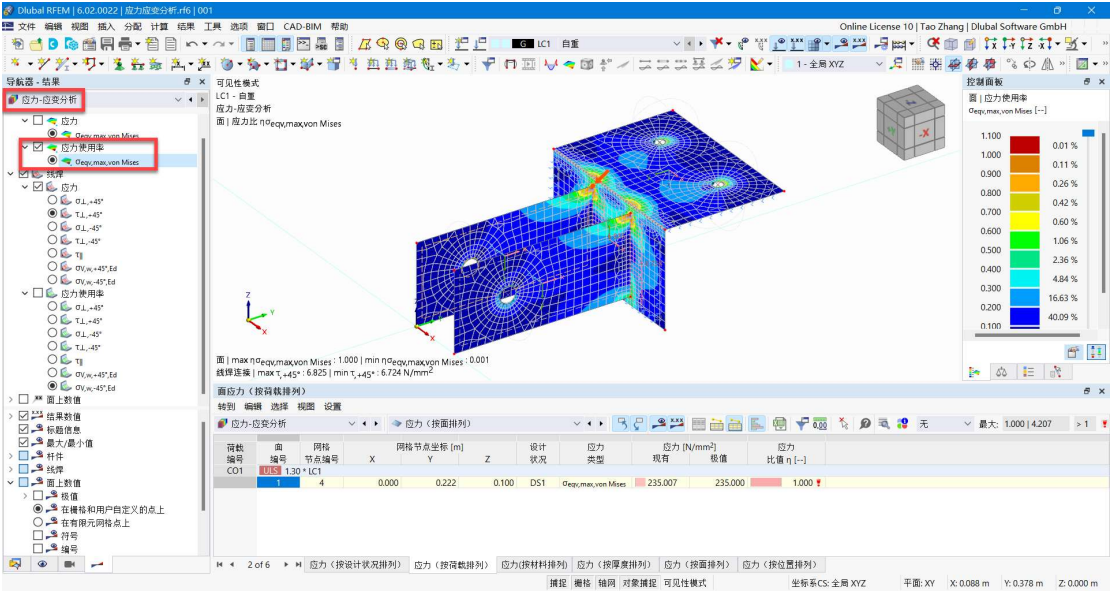


图 8-3 查看面的应力比

与静力分析中得到的结论一致，应力应变分析中也可查看模型部分区域应力较大，进入塑性。

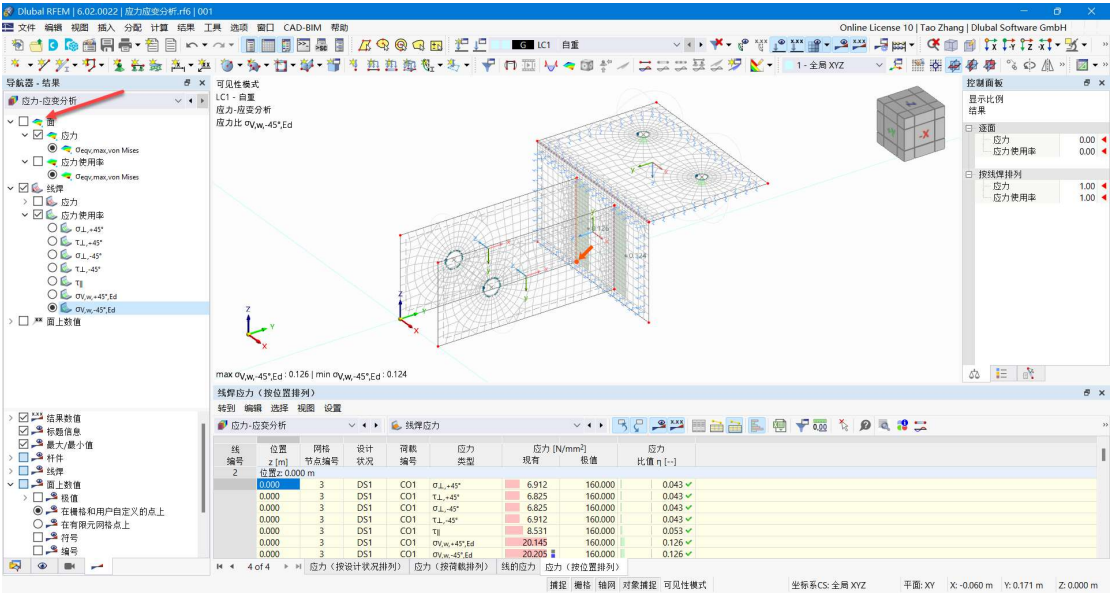


图 8-4 查看焊缝应力比

同时可以看到，焊缝应力比基本满足要求。