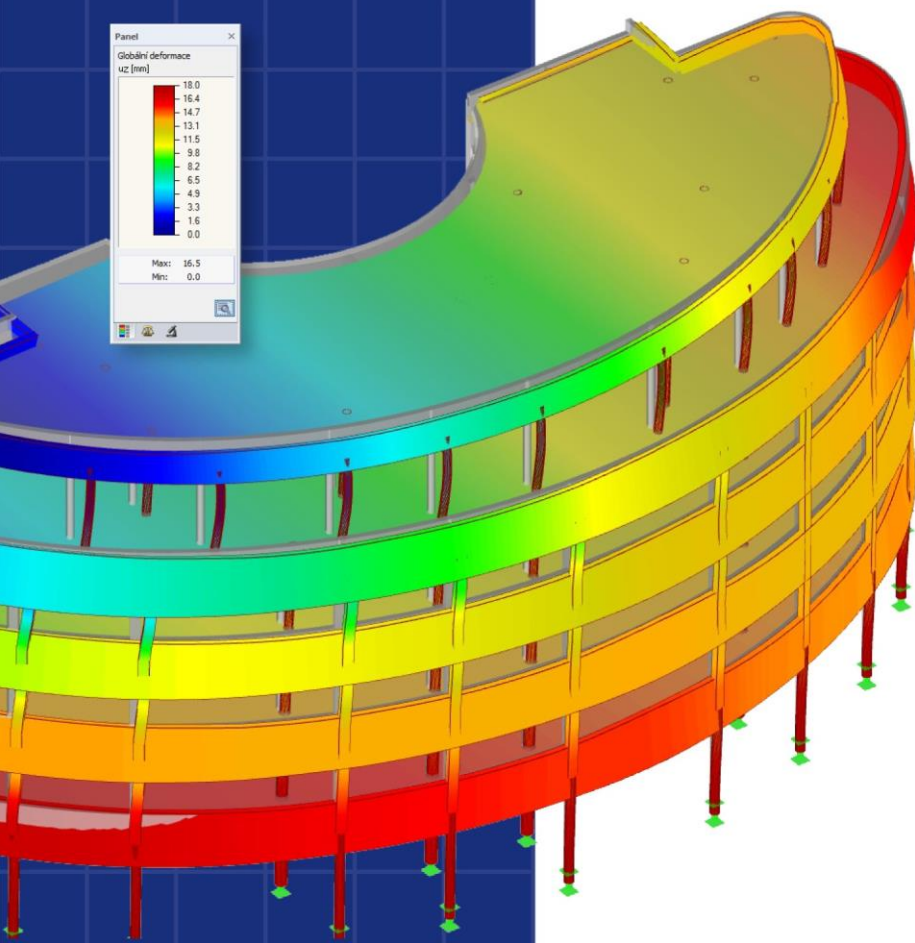


RFEM 6

三维通用有限元分析软件
德儒巴软件(上海)有限公司



案例教程

木拱廊桥



Dlubal Software

2023年8月

目录 Contents

1	理论基础	3
1.1	木材材料特性	3
1.2	杆件	4
1.3	面	5
1.4	力学模型的简化与提取	7
2	建立模型	8
2.1	模型概况	8
2.2	新建文件	11
2.3	新建材料	13
2.4	新建截面	15
2.5	创建三节苗	17
2.6	创建五节苗	24
2.7	创建桥面系统	26
2.8	创建厚度	31
2.9	创建桥面	32
2.10	模拟接触	33
3	施加荷载	41
3.1	荷载工况与分析设置	41
3.2	施加荷载	44
4	木结构参数设置	47
4.1	有效长度	47
4.2	使用条件	49
4.3	承载能力极限状态配置	49
4.4	正常使用极限状态配置	51
4.5	抗火承载力配置	52
5	计算与结果查看	53
5.1	计算	53
5.2	结果查看	54
6	整理计算书	57
6.1	生成计算书	57
6.2	将图片插入计算书	59

1 理论基础

本教程用于第八届全国大学生木结构设计竞赛培训。鉴于许多同学并不了解木结构，对木材的材料特性、连接节点知晓不多，故在进行软件操作介绍之前，先介绍木结构的理论基础。

1.1 木材材料特性

木材是一种由纤维组成的天然材料，在力学性质方面呈现出较为显著的各向异性，一般认为木材是一种正交各向异性材料。这一点和同学们熟知的混凝土、钢材有着明显区别，在设计时应特别注意这一点。

木材顺纹强度最高，横纹强度最低。木材的弹性模量与树种、木材密度和含水率等因素有关。木材顺纹受压和顺纹受拉弹性模量 E_L 基本相等，国产天然木材的顺纹弹性模量 E_L 约为 $9\sim 16 \times 10^3 \text{MPa}$ 。

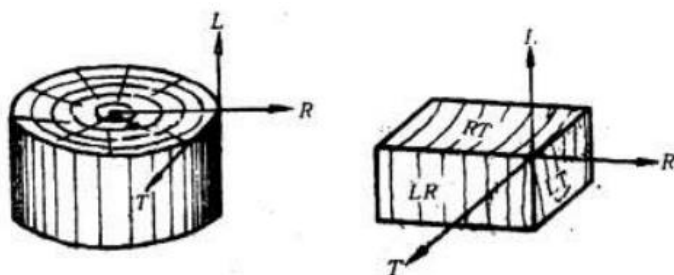
木材横纹弹性模量可近似取为：

$$\frac{E_T}{E_L} \approx 0.05, \frac{E_R}{E_L} \approx 0.10$$

木材在各个方向上的剪切模量也不同， G_{LT} 表示变形产生在纵向和切向所组成的平面上的剪切模量； G_{LR} 表示变形产生在纵向和径向所组成的面上的剪切模量； G_{RT} 表示变形产生在径向和切向所组成的面上的剪切模量。

木材剪切模量和顺纹弹性模量之间的近似比值为：

$$\frac{G_{LT}}{E_L} \approx 0.06; \frac{G_{LR}}{E_L} \approx 0.075; \frac{G_{RT}}{E_L} \approx 0.018$$



L—纵向；RT—横切面；R—径向；LR—径切面；T—弦向；LT—弦切面

图 1.1 木材的正交三向轴和三向切面

同样的，木材在各个方向上的设计强度、破坏机制也不同。

可以看到，我们在介绍木材力学特性时，都是以木材顺纹弹性模量为基准进行介绍。在工程实际中，我们往往会把木材制作成房梁、立柱这样的细长构件(也就是软件中的“杆件”)。一般要求木材顺纹方向平行于杆件长度方向，以便充分发挥材料性能。

1.2 杆件

在进行材料力学、理论力学、结构力学的学习时，老师往往以只有点和线的力学简图进行讲述。在后续的混凝土设计、钢结构设计的课程时，我们基本上是通过如何设计一根梁、一根柱子来开始学起。

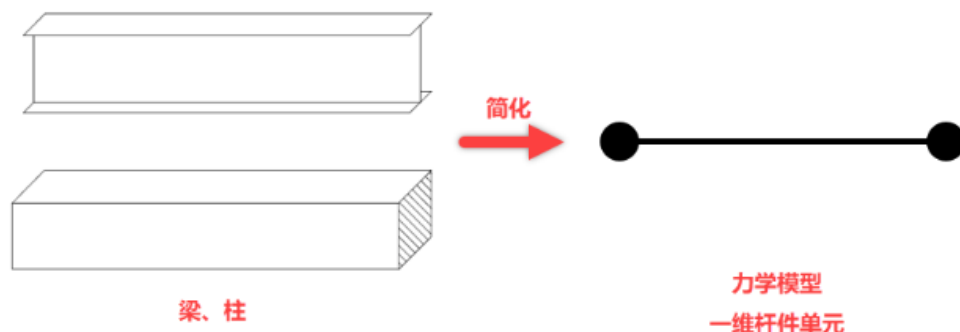


图 1.2 梁、柱的简化

通过分析房梁、立柱的几何特征我们可以发现，他们的长度远远大于他们的截面宽度和高度。符合这类特征的构件被视为“杆件”，他们在力学模型、力学简图中被简化为了一根线段。

杆件和杆件之间通过节点互相连接、传递内力。杆件的所有力学特征完全凝聚在这根线段上。杆件又被称为一维单元。

仅由杆件组成的结构被称为“杆系结构”。

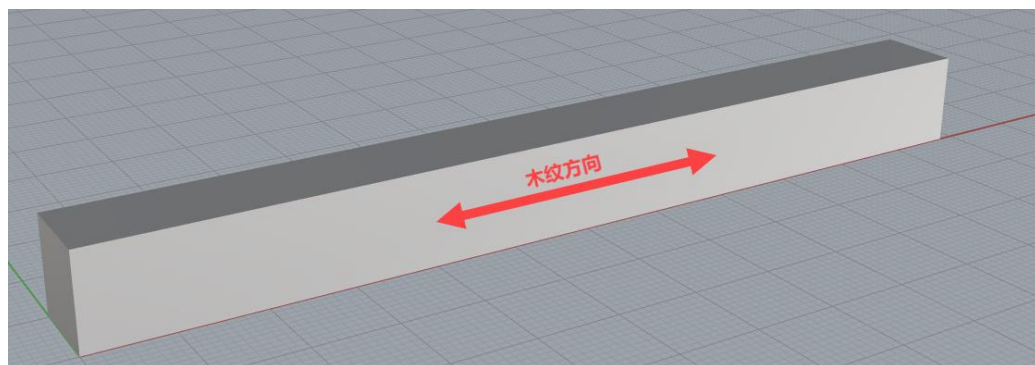


图 1.3 木纹方向平行于杆件方向

在进行杆件的受力分析时，主要用到材料的弹性模量、剪切模量。当杆件材料为木材时，可以忽略木材的各向异性以简化分析，一般要求木材顺纹方向平行于杆件长度方向，以便充分发挥材料性能。所以用于模拟杆件的木材弹性模量可直接取木材顺纹弹性模量。

一般认为木材径向和切向的剪切模量相同。

剪切模量的取值影响着杆件受弯时的变形，当杆件比较细长时剪切变形占比不大，所以认为径向、切向剪切模量相同是可以接受的。

所以在设置杆件的材料时，可以将材料模型设置为“各向同性|线弹性”。

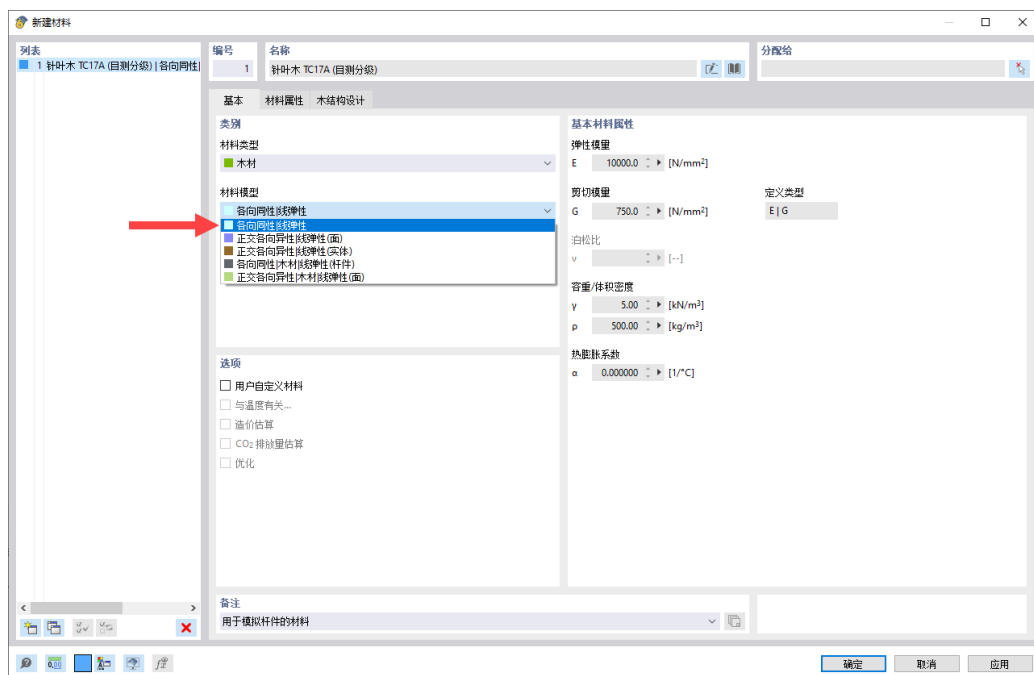


图 1.4 设置用于模拟木杆的材料

在软件中，杆件有着各种各样的杆件类型，其中最常用的是“梁”单元。需要特别说明的是，此处称他为“梁”单元，是从力学角度出发，指的是这根杆件可以承受拉压弯剪扭，两端默认刚接。力学的“梁”不等于建筑工程的“房梁”。实际上，软件的“梁”单元不仅可以用来模拟“房梁”，还可以模拟建筑工程的“立柱”。

1.3 面

另一种比较常用的单元是“面单元”。该类单元的几何特征是其长度、宽度远远大于它的厚度。为了简化计算，我们可以将它的力学特性完全凝聚在一个没有厚度的面上。

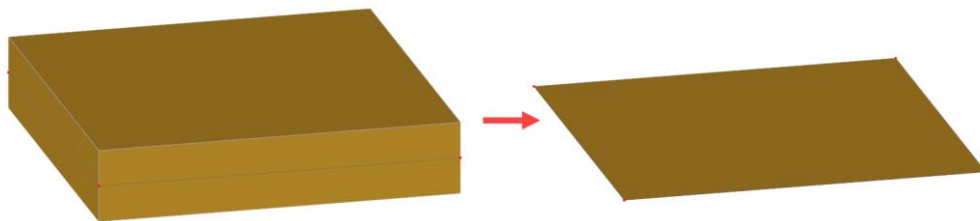


图 1.5 力学模型的提取、简化

在指定面单元的材料时，如果材料选择为木材，此时不可仍然将材料视为各向同性材料。

在模拟杆件时，我们取顺纹弹性模量作为材料的弹性模量，径向/环向剪切模量作为材料的剪切模量，剪切模量 G 和弹性模量 E 之比约为 0.05。根据各向同性材料弹性模量、剪切模量、泊松比之间的关系，我们可以计算得到该种材料的泊松比，一般为 5-10。（一般的各向同性材料泊松比都小于 0.5）

对杆件进行受力分析时，泊松比过大不会引起计算出错。但在对面单元有进行受力分析时，强制将材料视为各向同性材料会导致面单元刚度矩阵无法保持正定。

另一方面，这也不符合实际。单层木材做成的木板，在面单元两个方向上的力学性能肯定会存在较大差异。

如果需要模拟面单元，需要将材料模型设置为“正交各向异性|线弹性|面”。

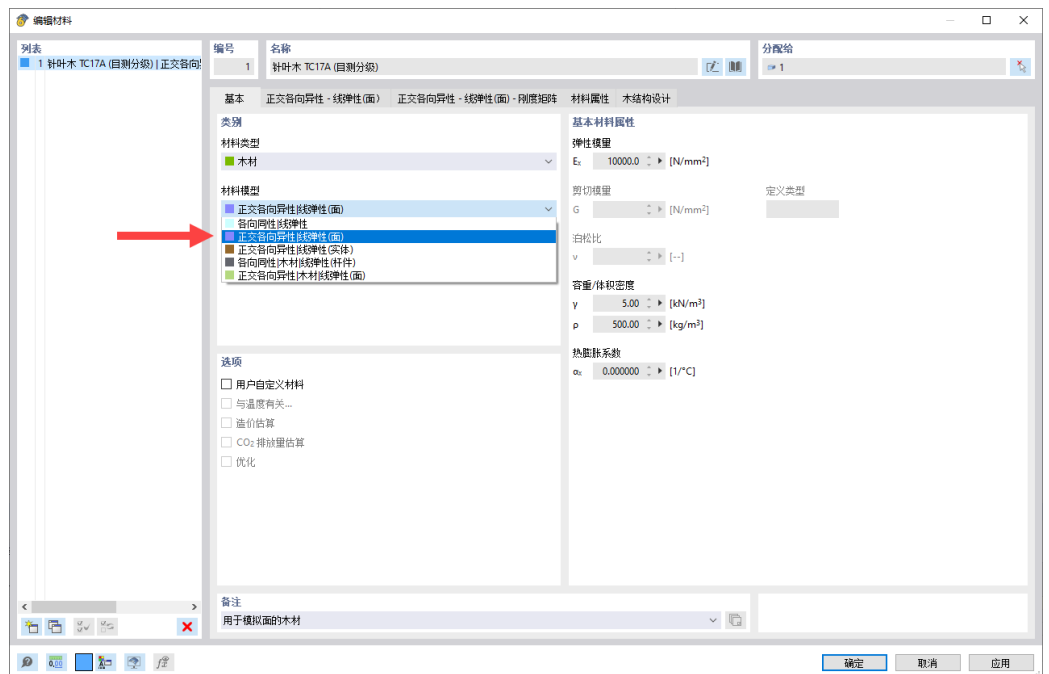


图 1.6 设置用于模拟木板的材料

1.4 力学模型的简化与提取

结构工程师的一个重要工作内容就是提取力学模型。力学模型是对实际结构的一种理想化、近似化、简单化的分析模型。合理的简化实际结构、提取力学模型，是一个合格的结构工程师的基本功，也是在结构设计过程中，最能体现结构工程师水平的一个重要环节。

在进行力学模型的简化和提取时，应意识到力学模型建立过程中的局限性，需要充分理解各种假定，并意识到简化可能导致的不利后果。

在拿到一个建筑物后，我们需要明确哪些构件是受力构件，哪些构件是不受力构件。受力构件应选取合适的单元类型进行模拟(简化为杆件还是面、实体)。这些受力构件需要体现在我们的力学模型中，进行受力分析、规范校核以保证安全。

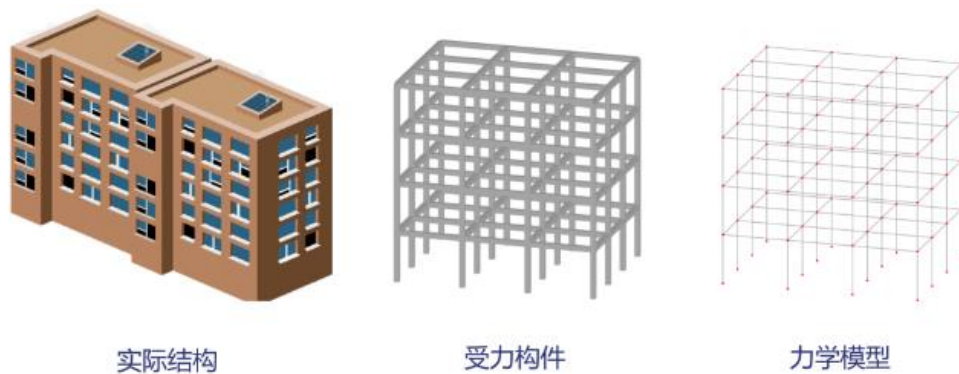


图 1.7 明确受力构件

2 建立模型

2.1 模型概况

本例通过创建一个木拱廊桥模型，介绍 RFEM 木结构设计的流程。

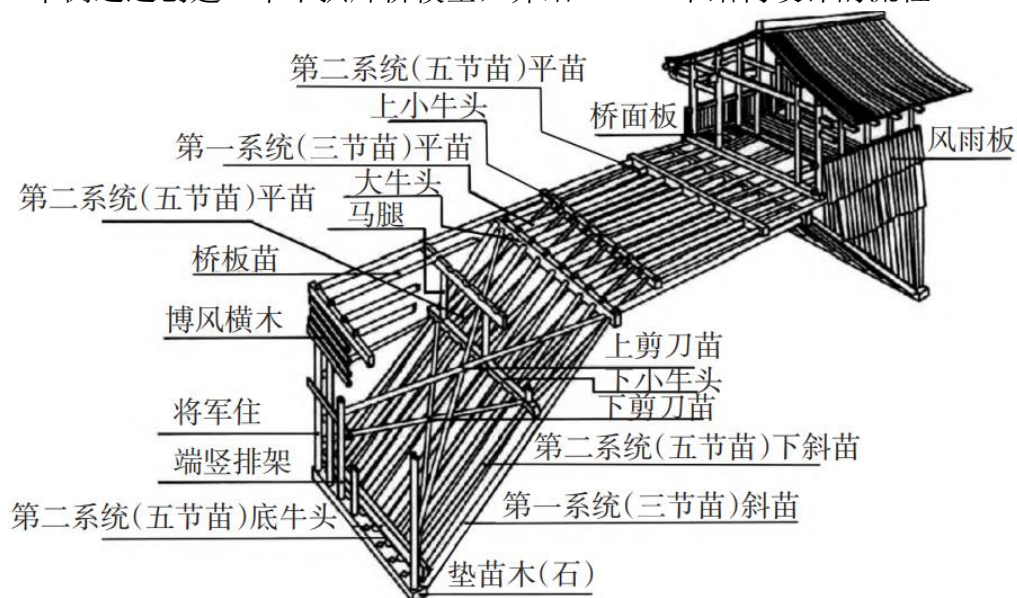


图 2.1 木拱廊桥结构透视图

木拱廊桥是一种“河上架桥、桥上建廊、以廊护桥、桥廊一体”的古老而独特的桥梁形式，又称虹桥、虹梁式木构廊屋桥。浙闽木拱廊桥是其中技术含量最高的一种，是我国古代木构桥梁的精品。

目前现存的木拱廊桥的桥体结构的结构体系和构造基本一致。桥体结构由主拱结构和拱上结构两大部分组成，本次演示以主拱结构为主。

木拱廊桥主拱结构由三节苗、五节苗相互编织而成，其中，三节苗和五节苗都是当地的传统称呼。三节苗由三根较大圆木、两斜一平组成三折边形。斜放的圆木被称为斜苗，平放的圆木被称为平苗，斜苗和平苗通过被称为“大牛头”的横木相抵连接。

五节苗由五根较小的圆木、四斜一平组成五折边形。五节苗从下到上依次被称为：下斜苗、上斜苗、平苗。苗与苗之间通过横向的“小牛头”横木相连接。

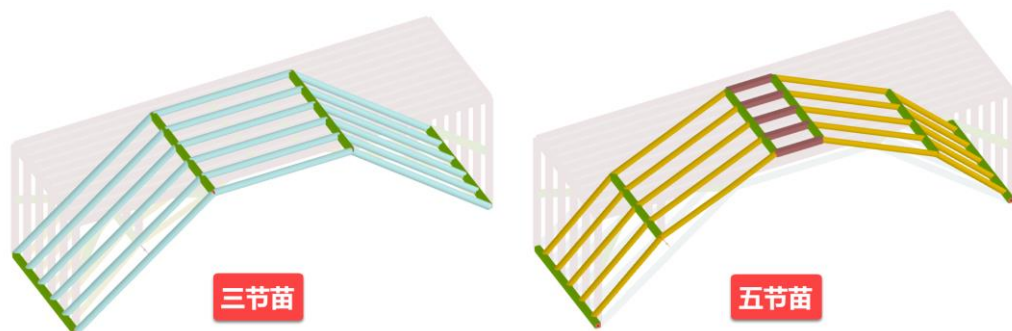


图 2.2 三节苗和五节苗

三节苗和五节苗相互穿插，纵向拱木的端部和牛头相扣，将拱架连成一个整体。

不难看到，三节苗和五节苗抵抗侧向力的能力并不强，所以有时还会设置剪刀苗(侧向交叉支撑)。

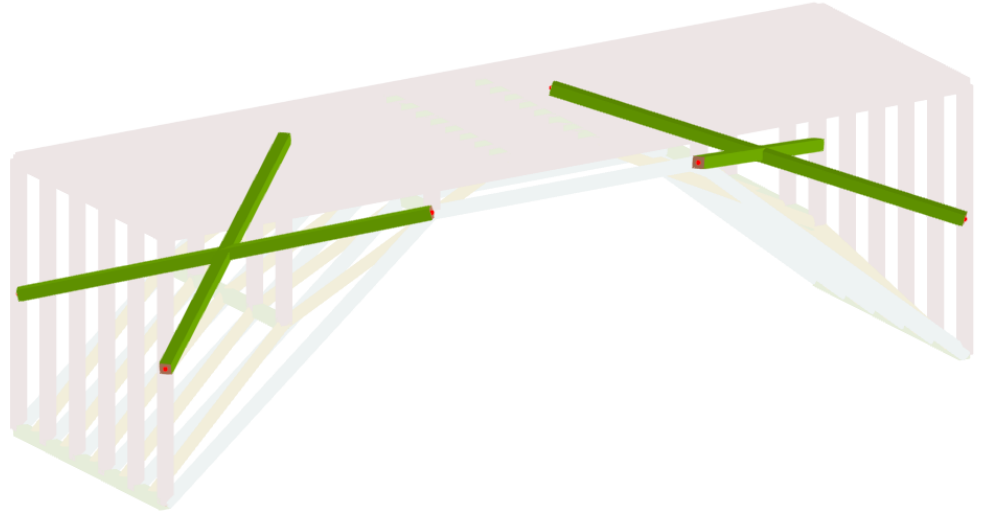


图 2.3 剪刀苗

本例主拱部分尺寸如下：

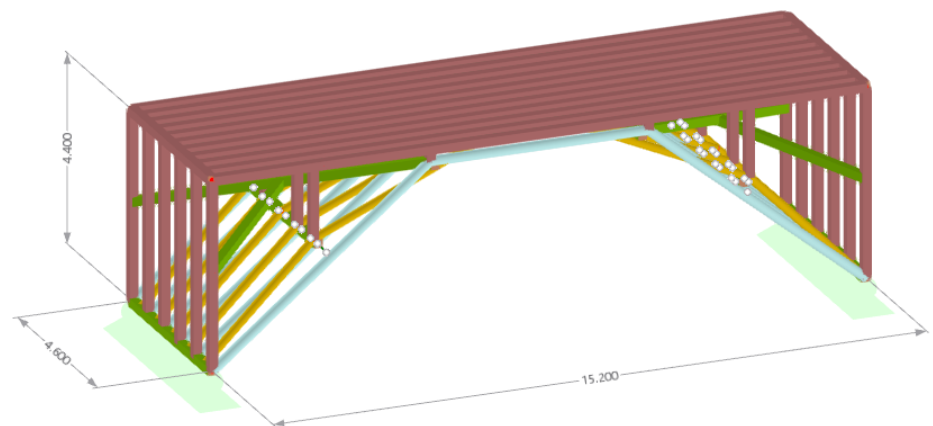


图 2.4 主拱尺寸

材料使用天然木材，针叶木 TC17A。采用杆单元和面单元对结构进行模拟。杆单元截面尺寸和面单元厚度如下：

三节苗平苗、斜苗	200 圆木
三节苗牛头	200x200 方木
五节苗平苗、斜苗	180 圆木
五节苗牛头	200x200 方木
马腿	200x200 方木
将军柱	220x220 方木
桥面苗	200x200 方木
上牛头	220x220 方木
桥面板	50 厚木板
底牛头	240x240 方木

2.2 新建文件

1. 打开 RFEM6 程序，点击菜单栏【文件】-【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，输入模型名称。

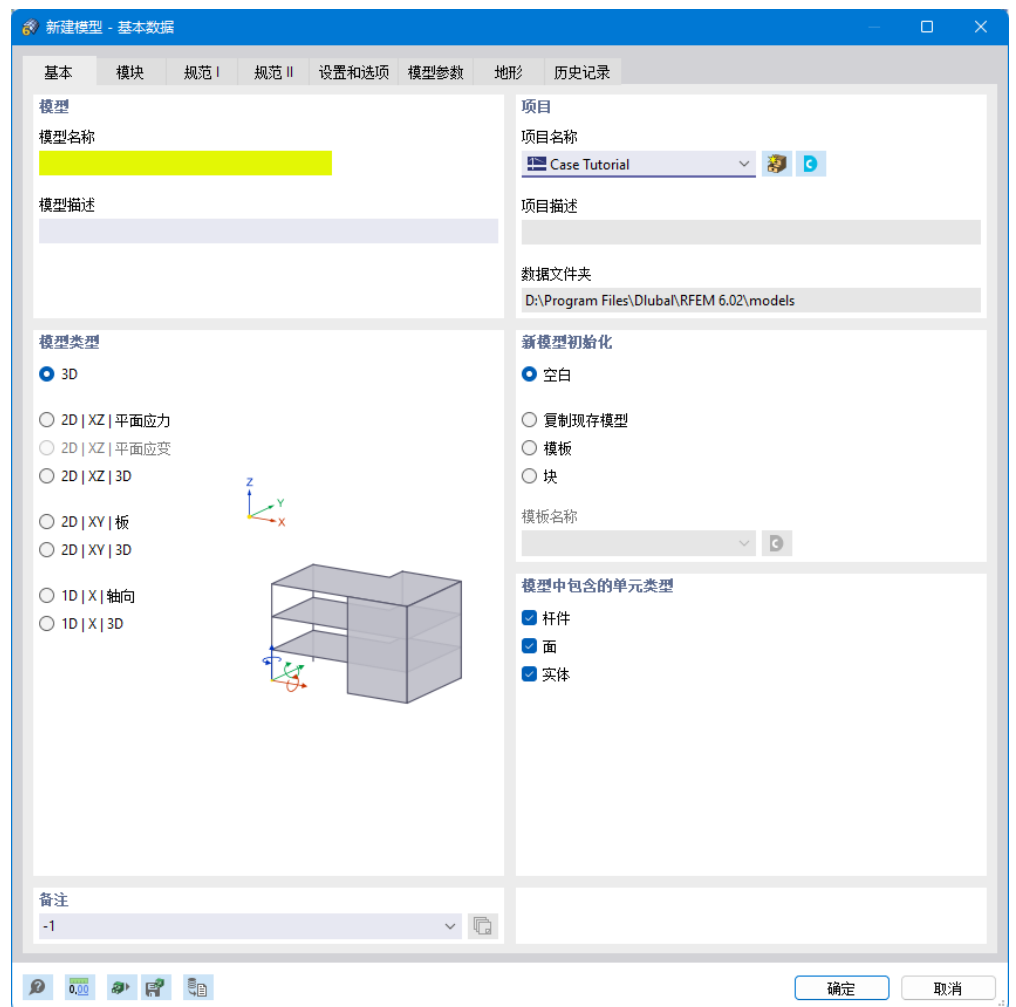


图 2.5 【新建模型-基本数据】对话框

3. 切换至【模块】选项卡，勾选“木结构设计”模块。

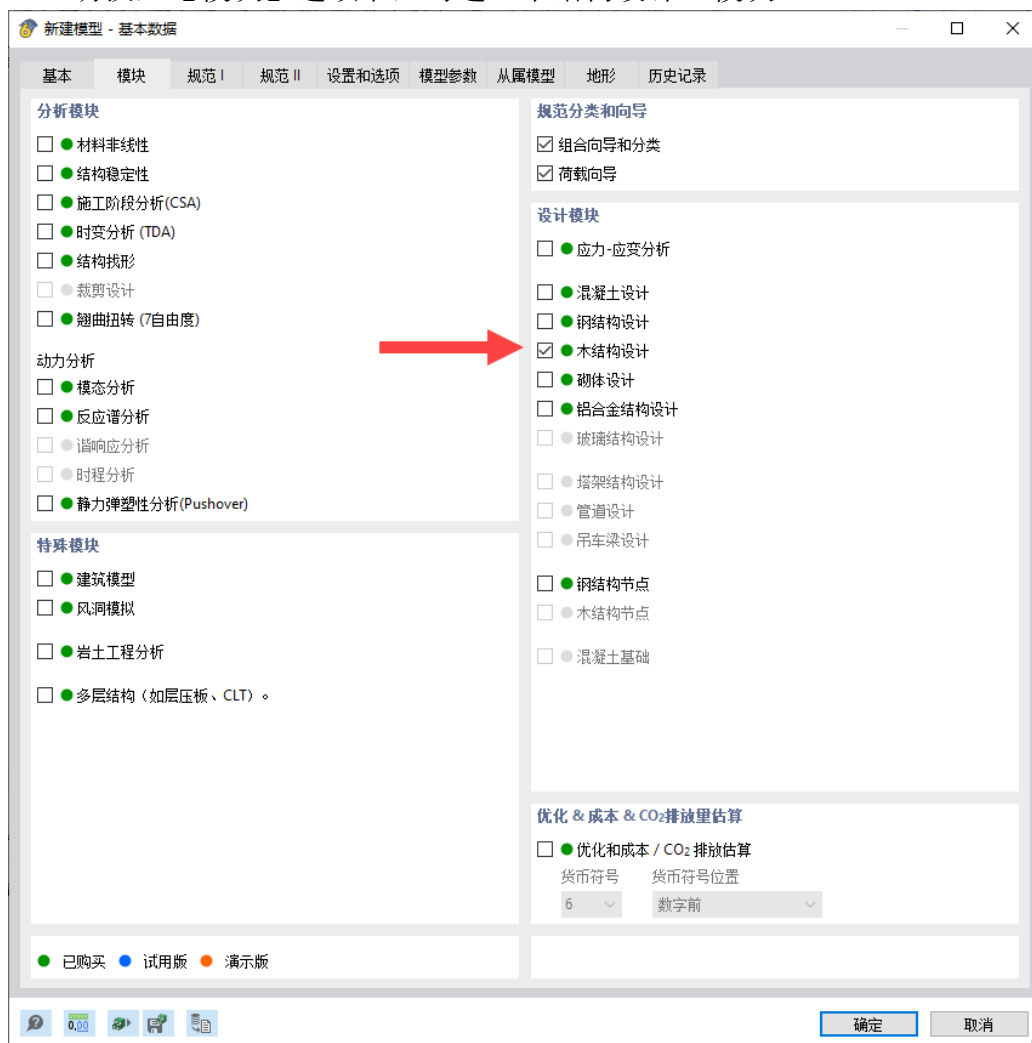


图 2.6 勾选所需模块

4. 切换至【规范 I】选项卡，将荷载工况分类和组合向导的规范选择为 GB50068-2018，荷载向导的规范选择为 GB50009-2012，将木结构设计规范选择为 GB50005-2017。

5. 切换至【设置和选项】选项卡，将全局 Z 轴设置为向上为正，构件的局部 z 轴向下为正。

6. 点击对话框右下角的【确定】按钮，关闭对话框，完成模型文件的创建。

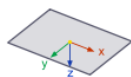
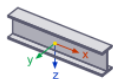
全局坐标系 XYZ

- Z 轴向下
 Z 轴向上



局部坐标系 xyz

- z 轴向下
 z 轴向上
 y 轴向上 | x
 y 轴向上 | z



2.3 新建材料

1. 在左侧导航器数据>基本对象>材料处，右键单击，选择新建，打开【新建材料】对话框。

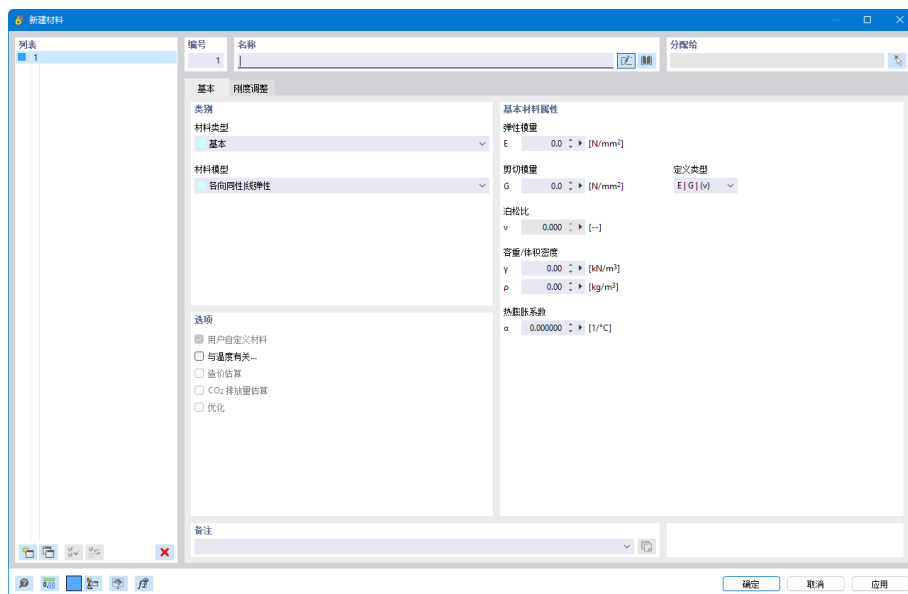
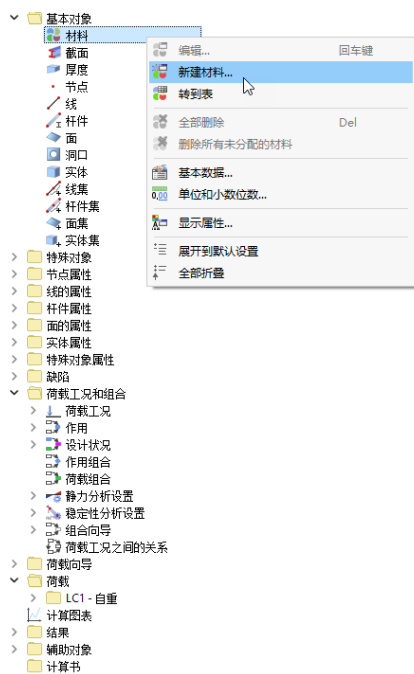


图 2.7 新建材料对话框

2. 点击工具栏中的  按钮，打开材料库。在材料库中选择针叶木 TC17A。点击对话框右下角的【确定】按钮，关闭材料库，导入木材。

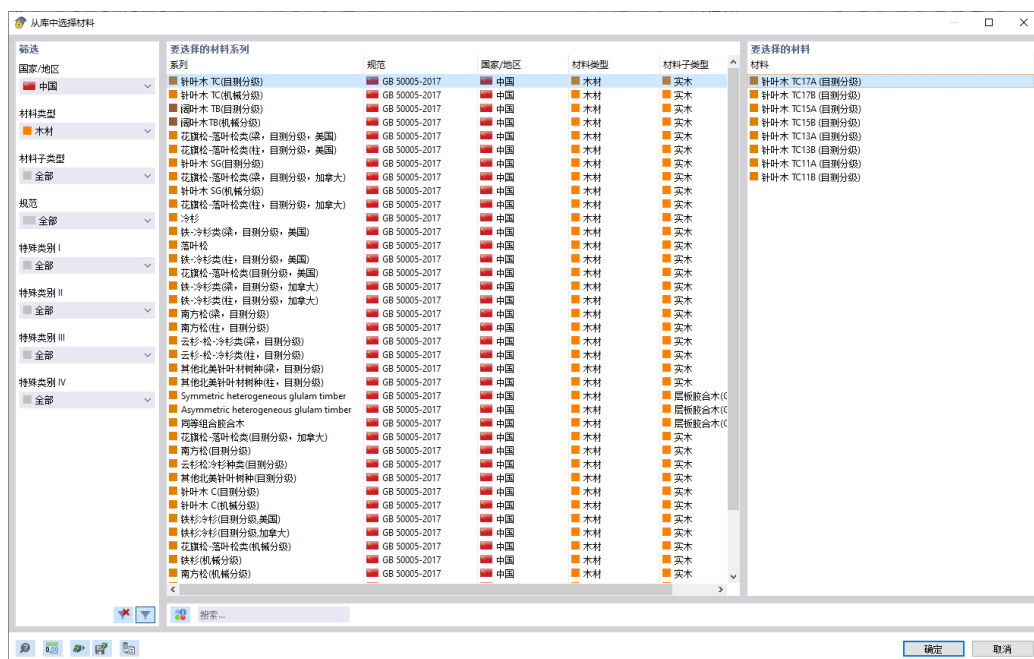


图 2.8 材料库导入木材

3. 将材料模型选择为各向同性线弹性，该材料用于杆单元，所以可以忽略木材的各向异性。

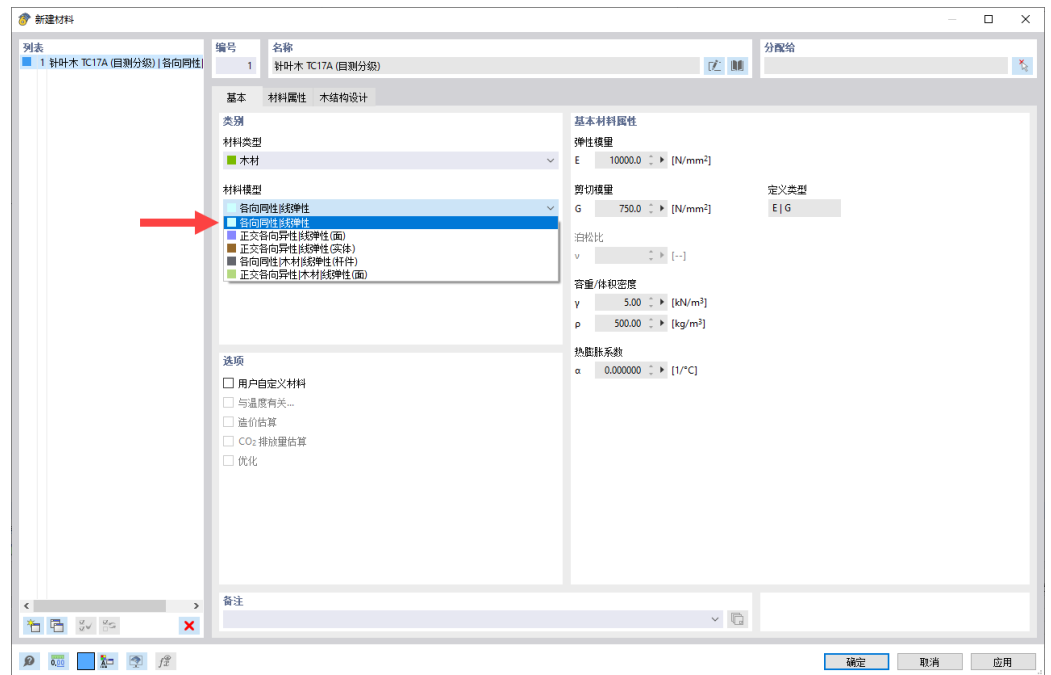



图 2.9 设置杆件材料模型

4.选中材料 1，点击对话框左下角的按钮，将其复制。将材料 2 的材料模型修改为“正交各向异性|线弹性|面”，材料 2 用于面单元。

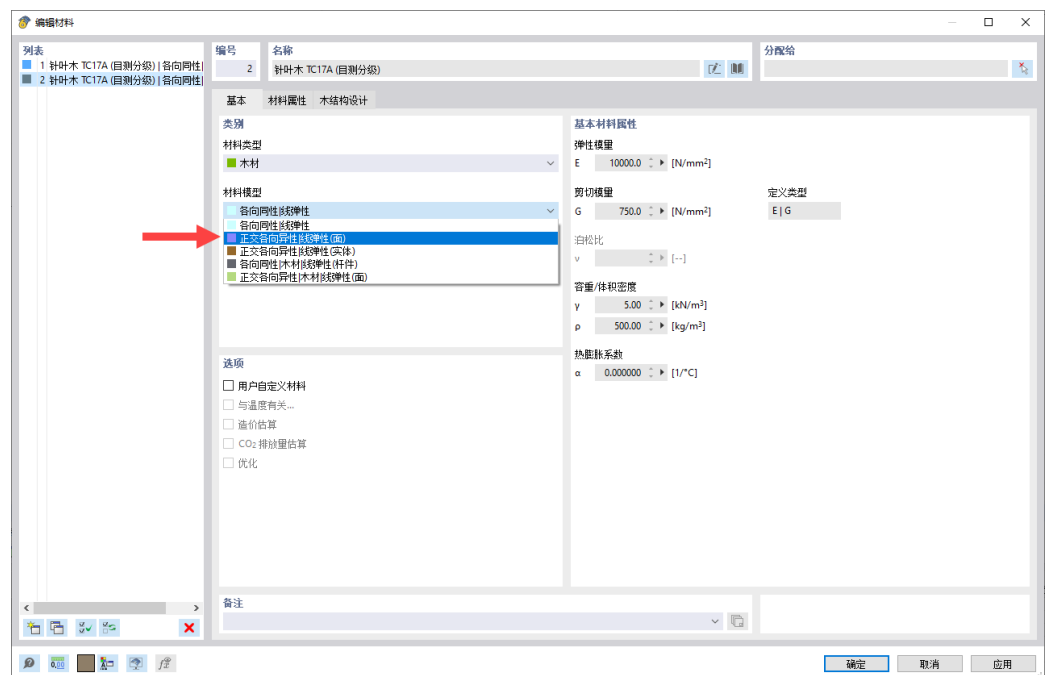


图 2.10 修改材料模型

5.点击对话框右下角的【确定】按钮，关闭对话框，完成材料的创建。

2.4 新建截面

1. 在左侧导航器数据>基本对象>截面处，右键单击，选择新建，打开【新建截面】对话框。

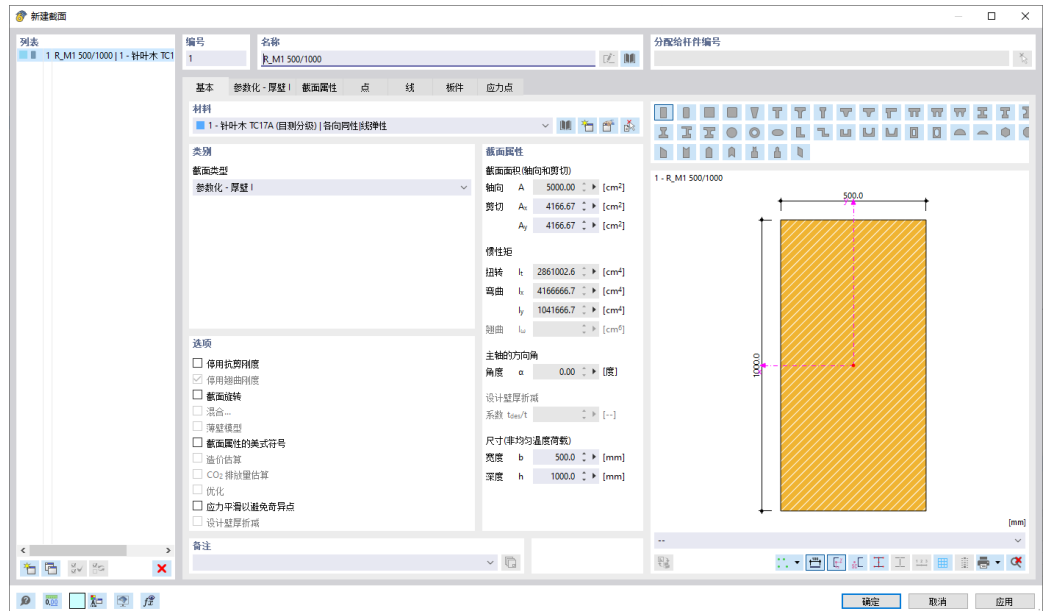
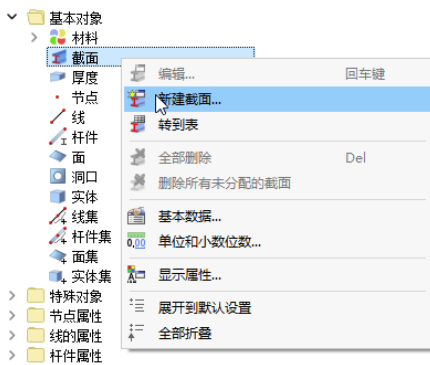


图 2.11 新建截面对话框

2. 在【基本】选项卡中，将截面 1 的材料选择为针叶木 TC17A，截面类型选择为“参数化-厚壁”，在对话框右侧将截面形状选择为圆形，将截面备注输入为“三节苗平苗、斜苗”。

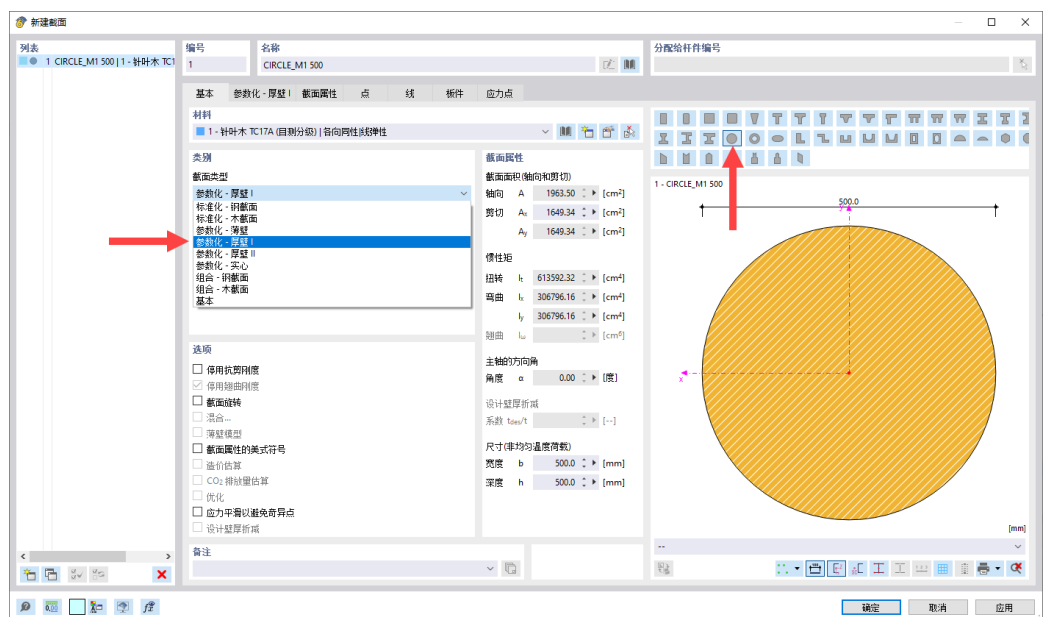


图 2.12 从库中选择截面

3. 将对话框切换至参数化-厚壁选项卡，将截面直径输入为 200mm。

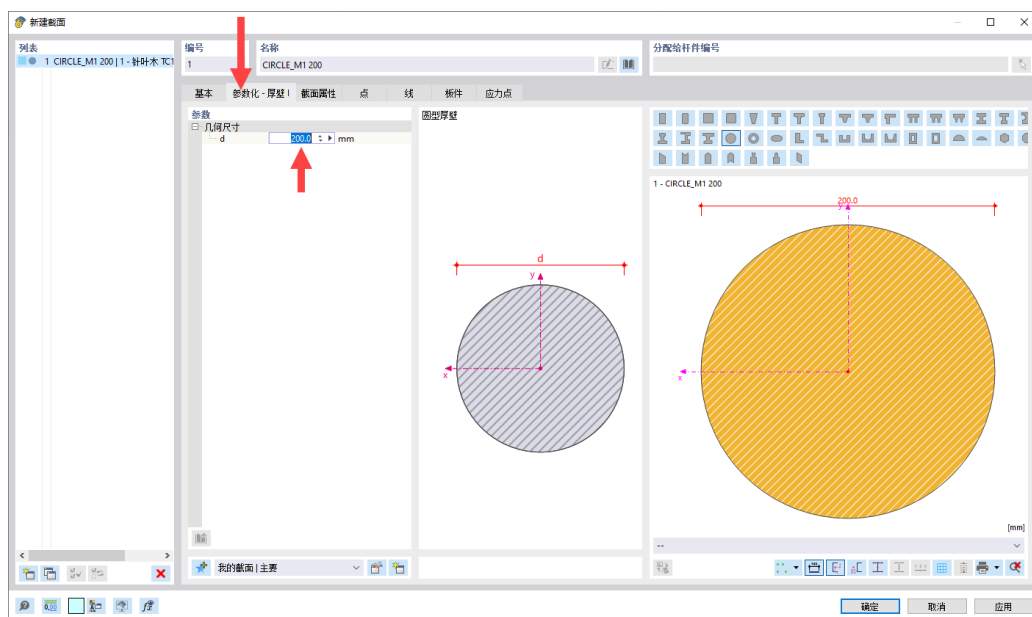


图 2.13 修改截面 1 的尺寸

4. 用同样的方法，创建剩余的截面。完成创建后，可以在左侧导航器数据中查看创建好的截面。



图 2.14 在导航器数据中查看创建好的截面

2.5 创建三节苗

1.如前文所述，杆单元在力学模型中是由节点和线段组成的对象，在RFEM中创建杆件可按如下的流程进行：



图 2.15 杆件创建流程

2.点击工具栏中的 按钮，打开新建节点对话框。此时可以在工作区中使用鼠标光标进行点选，以图形方式创建节点；也可以在对话框中通过输入节点坐标具体数值的方式创建节点。

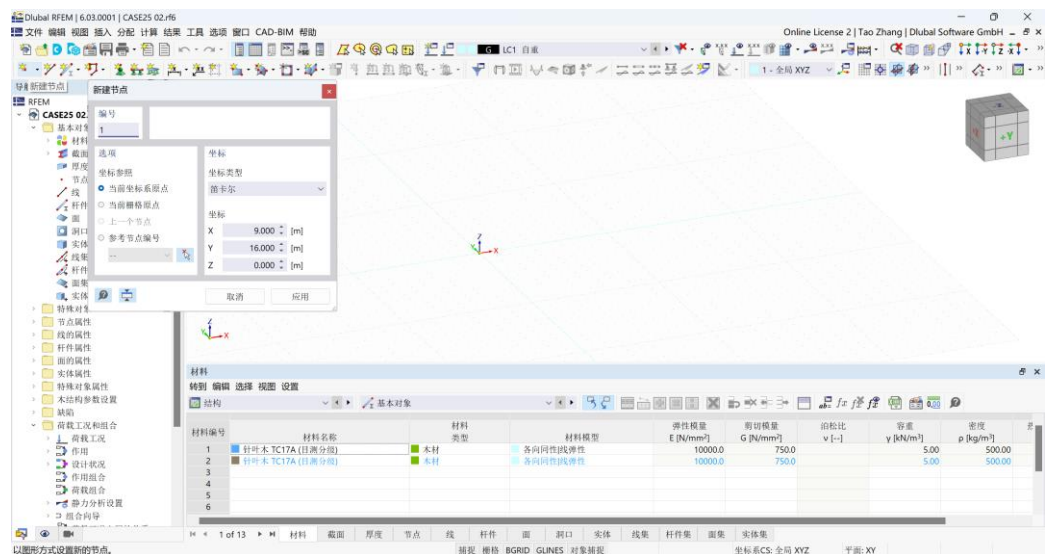


图 2.16 新建节点

3.将新建的节点坐标输入为(0, 0, 0)。点击对话框右下角的【应用】按钮，完成节点的创建。需要注意的是，在坐标原点处创建的节点可能会被坐标系遮挡。在坐标原点处的坐标系可以在导航器-显示中控制是否显示。

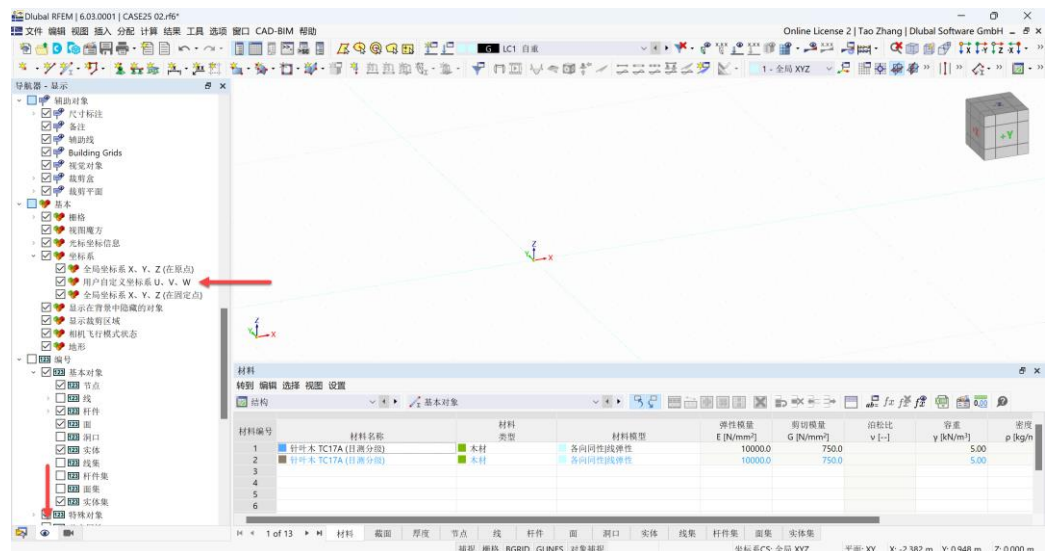


图 2.17 控制坐标系是否显示

4.用同样的方法，创建坐标为(5m, 0, 4.12m)的节点。

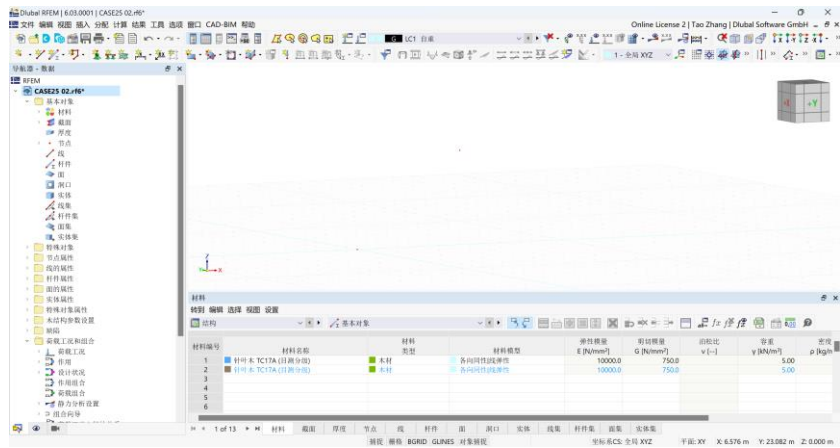



图 2.18 完成节点的创建

5.点击工具栏中的  按钮，打开创建线段对话框，依次连接创建的两个节点。

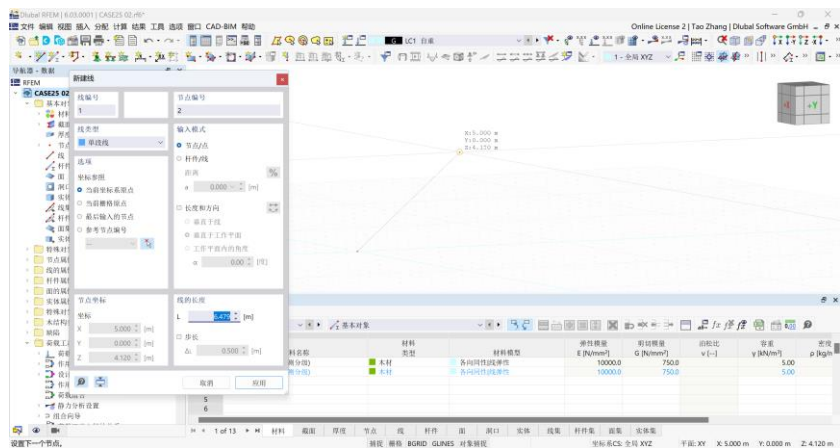


图 2.19 使用线段连接节点


RFEM 的选取规则如下：

在对象上单击，该对象就会被选中，被选中的对象将会被亮显。

按住鼠标左键并拖动，此时可以进行框选。从左至右框选时，被选择框完全覆盖的对象才会被选中；从右至左框选时，只要被选择框碰到的对象就会被选中。

按下 CTRL 不放，此时可以连续进行加选，将对象添加到已选对象中。

按下 SHIFT 不放，此时可以减选。

6.选中右侧的节点，点击工具栏中的  按钮，打开【移动/复制】对话框。在该对话框的【基本】选项卡中，勾选创建副本，位移向量设置为 (5.2m, 0, 0)。

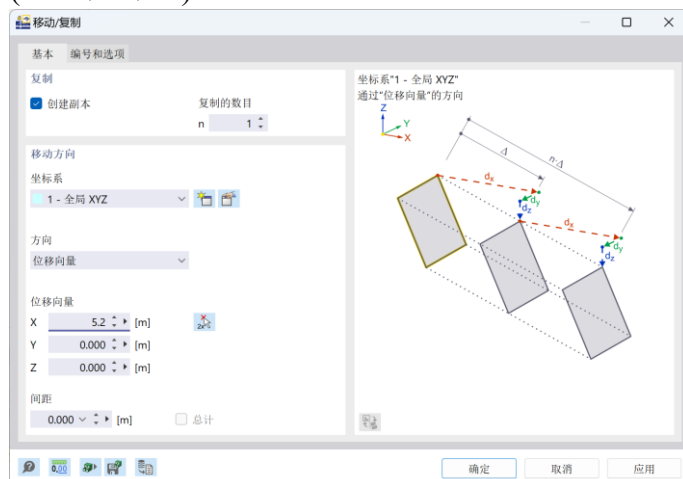


图 2.20 移动复制对话框

有时因为电脑分辨率、缩放比不同，自己操作时工具栏布局可能和演示视频中的不完全相同。

如果在工具栏中找不到“移动/复制”按钮，可以选中想要复制的对象，在对象上右键单击。在右键快捷菜单中选择操作>移动复制。

7. 切换至【编号和选项】选项卡，勾选“步间连接”。此时程序会自动切换至【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，完成节点的移动复制。

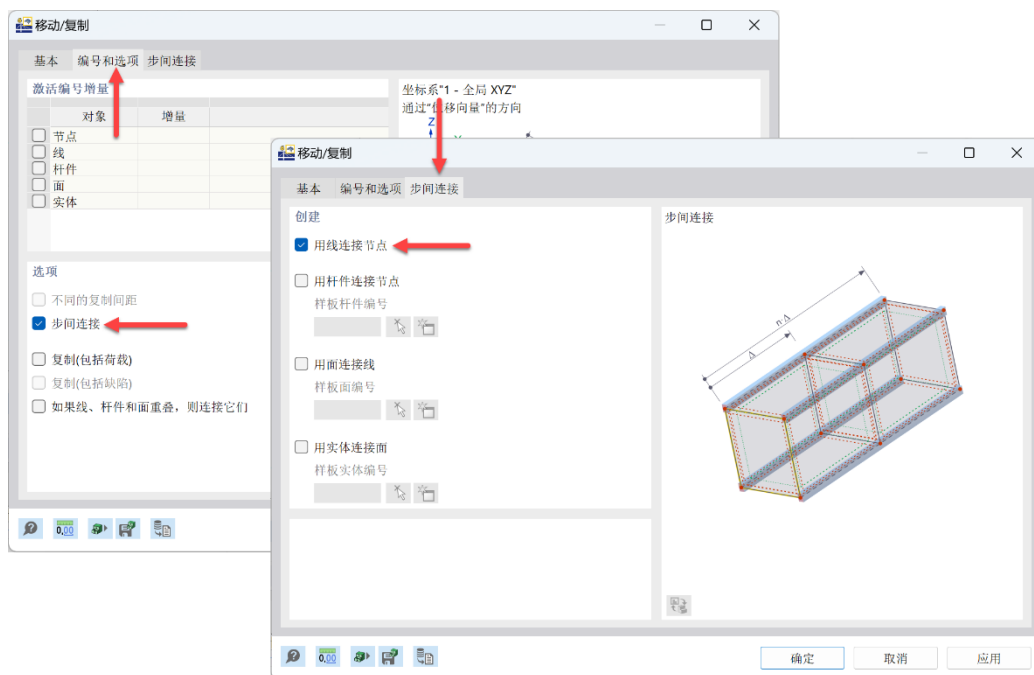


图 2.21 移动复制对话框

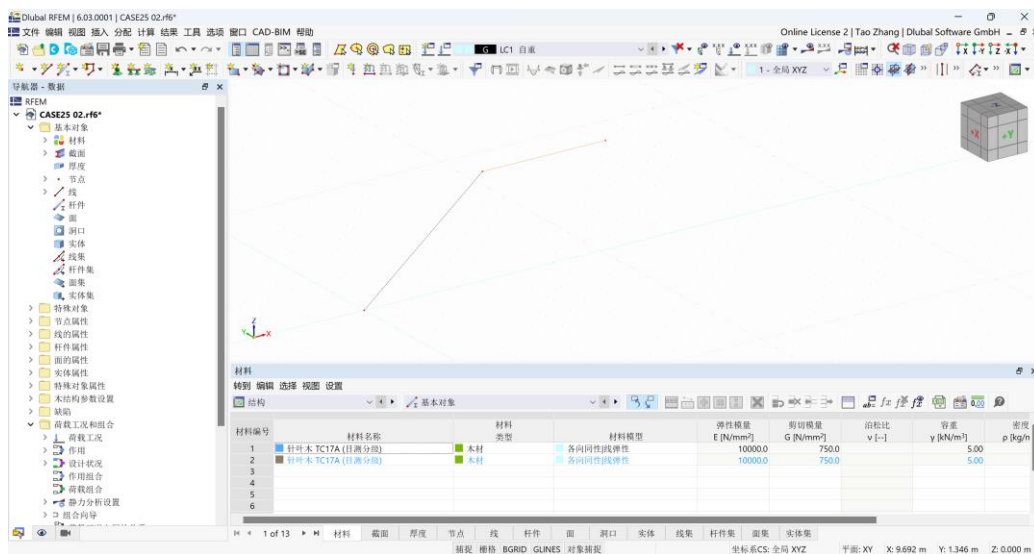




图 2.22 节点扩展成线段

8. 选中左侧的线段，点击工具栏中的按钮，打开【镜像】对话框。在镜像对话框的【基本】选项卡中，勾选创建副本。镜像平面选择为 YZ 平面。使用对话框中的按钮，选择中间线段的中点作为镜像平面的定位点。点击对话框右下角的【确定】按钮，关闭对话框，完成镜像操作。

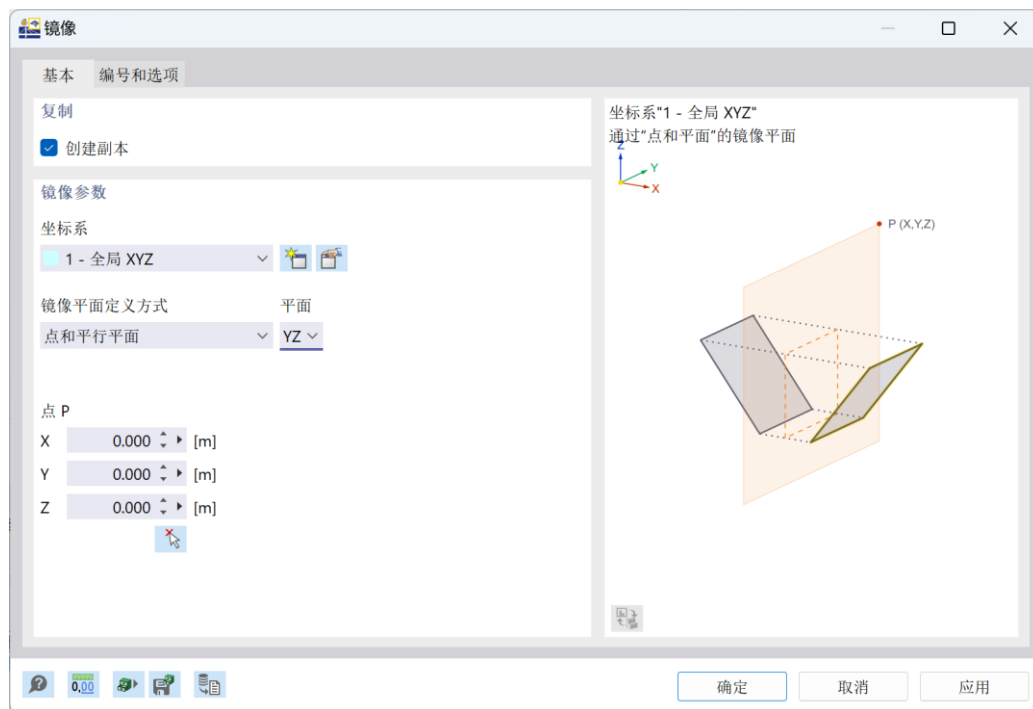


图 2.23 镜像

9.选中创建的三条线段，右键单击，在右键快捷菜单中，选择“编辑线”，打开【编辑线】对话框。在【编辑线】对话框的【基本】选项卡中，勾选“杆件”，为线段赋予杆件的属性。此时程序会自动打开【新建杆件】对话框。

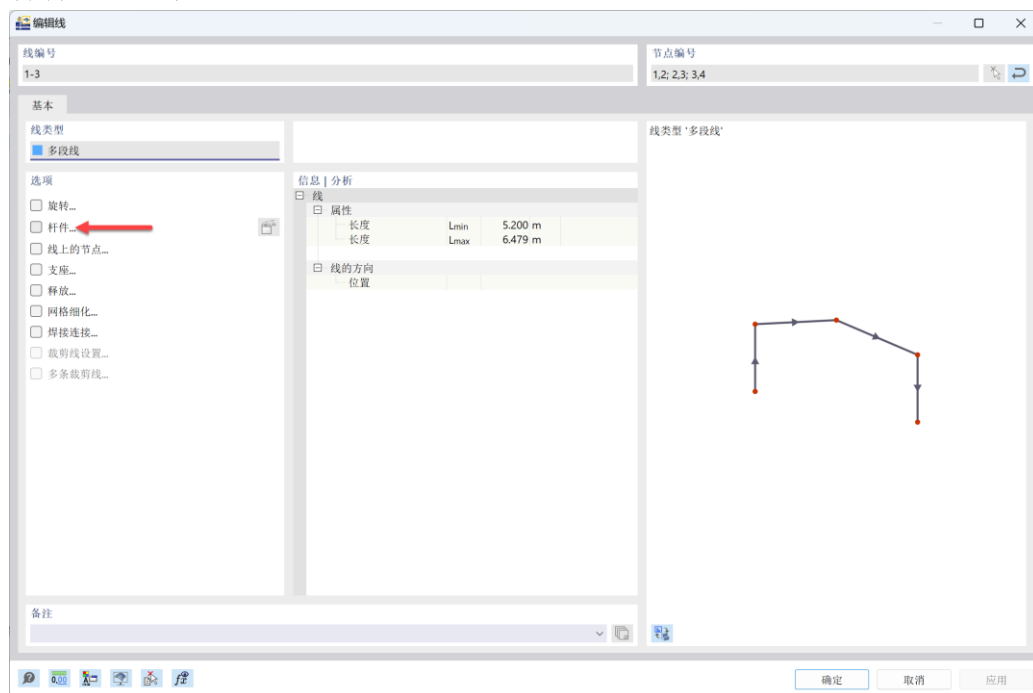


图 2.24 编辑线对话框

10.在【新建杆件】对话框的【基本】选项卡中，将杆件类型选择为“梁”。切换至【截面】选项卡，将杆件截面选择为三节苗斜苗、平苗截面。点击对话框右下角的【确定】按钮，关闭对话框，完成杆件的创建。

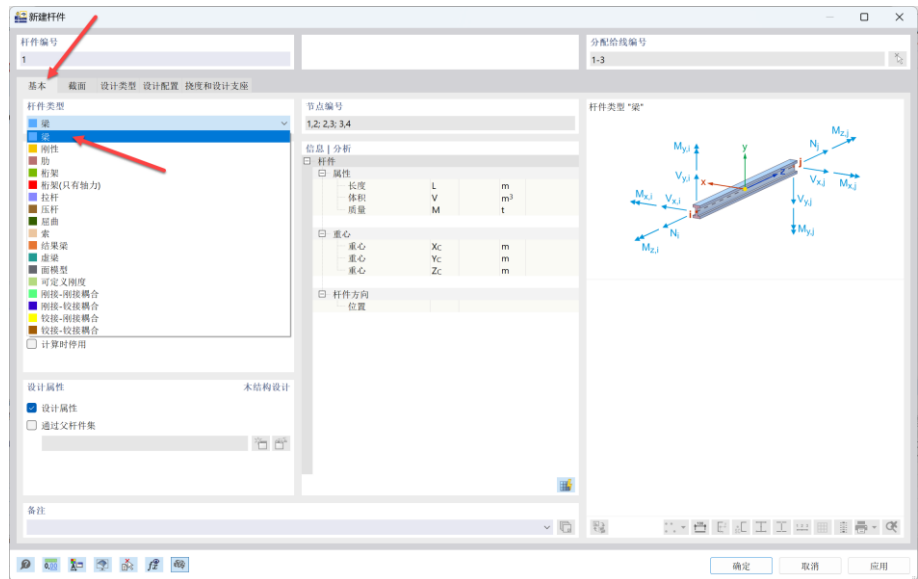


图 2.25 选取杆件类型

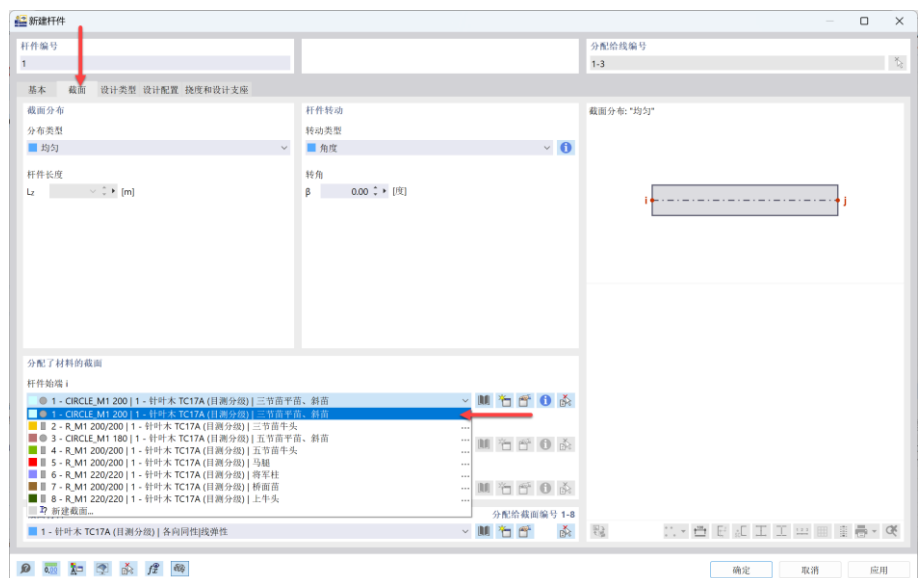


图 2.26 选取杆件截面

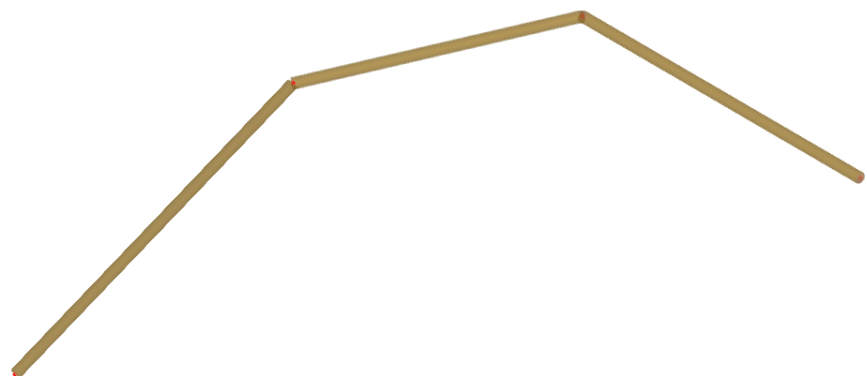


图 2.27 完成杆件的创建

11.再次强调，杆件单元在力学模型中只是一根线段，没有宽度和高度。大部分结构设计软件为了使工程师更加直观的看到结构形状，方便工程师检查截面尺寸是否有误，往往会渲染出三维风格的模型。

12.放大已经创建好的杆件，会发现在连接处出现了重叠、缺口。这只是渲染，并不是他的力学模型存在冲突，也不代表他们没有正常连接，不会影响计算，忽略即可。

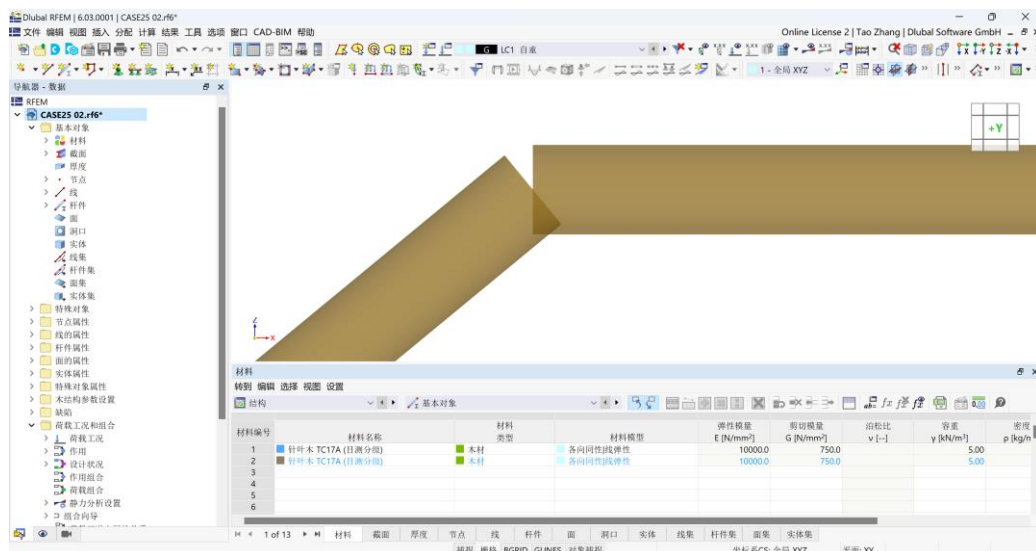


图 2.28 初学者对于连接处的疑问

13.切换至线框图可以看到，他们在力学模型中通过共用一个节点进行连接，说明没有问题。

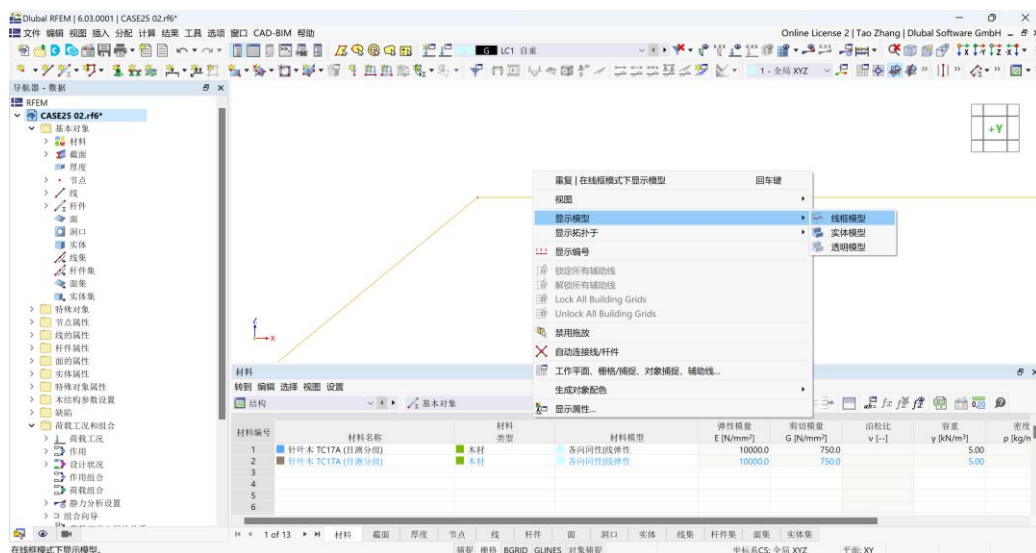


图 2.29 线框图，查看力学模型

14.选中创建的杆件，点击工具栏中的 $\text{\textcircled{M}}$ 按钮，打开【移动/复制】对话框。在对话框的【基本】选项卡中，勾选创建副本，复制次数设置为5，位移向量设置为(0, 0.92m, 0)。切换至【设置和选项】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，完成三节苗的复制。

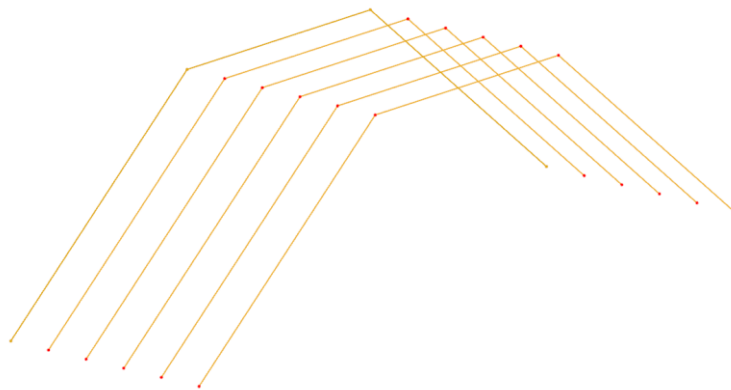



图 2.30 复制三节苗平苗、斜苗

15. 点击工具栏中的  按钮，创建三节苗牛头对应的线段。

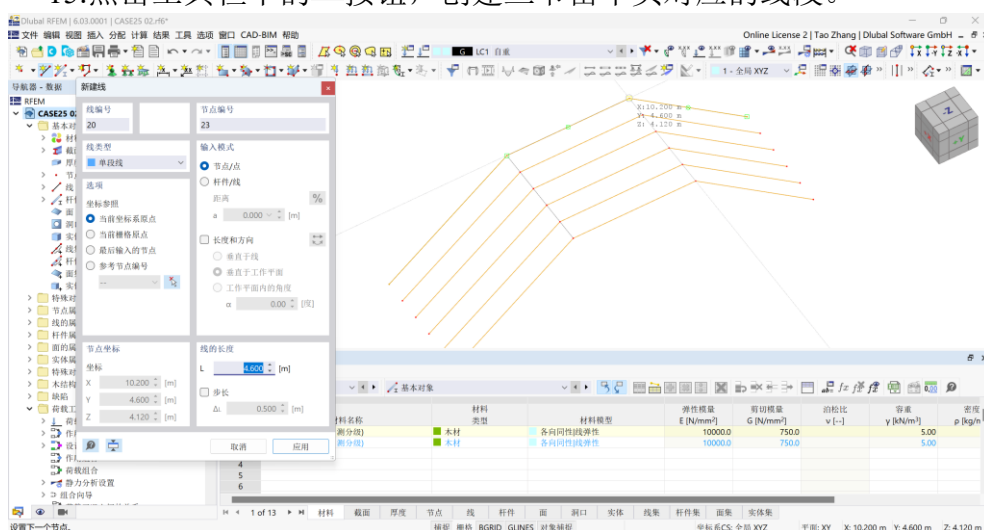


图 2.31 创建三节苗牛头对应的线段

16. 选中三节苗牛头对应的线段，右键单击，选择编辑线，打开【编辑线】对话框，在对话框的【基本】选项卡中，勾选“杆件”，为线段赋予杆件的属性。此时程序会自动打开【新建杆件】对话框。

17. 在【新建杆件】对话框的【基本】选项卡中，将杆件类型选择为“梁”。切换至【截面】选项卡，将杆件截面选择为三节苗牛头截面。点击对话框右下角的【确定】按钮，关闭对话框，完成三节苗牛头的创建。

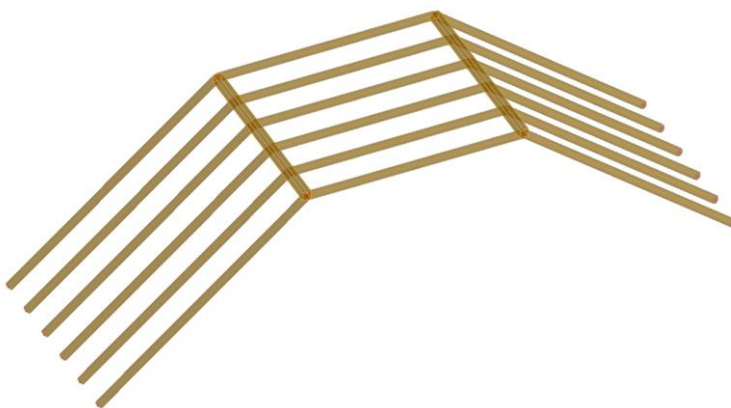



图 2.32 创建三节苗牛头

2.6 创建五节苗

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, 0.46m, 0)。点击对话框右下角的【应用】按钮，关闭对话框，完成节点的创建。

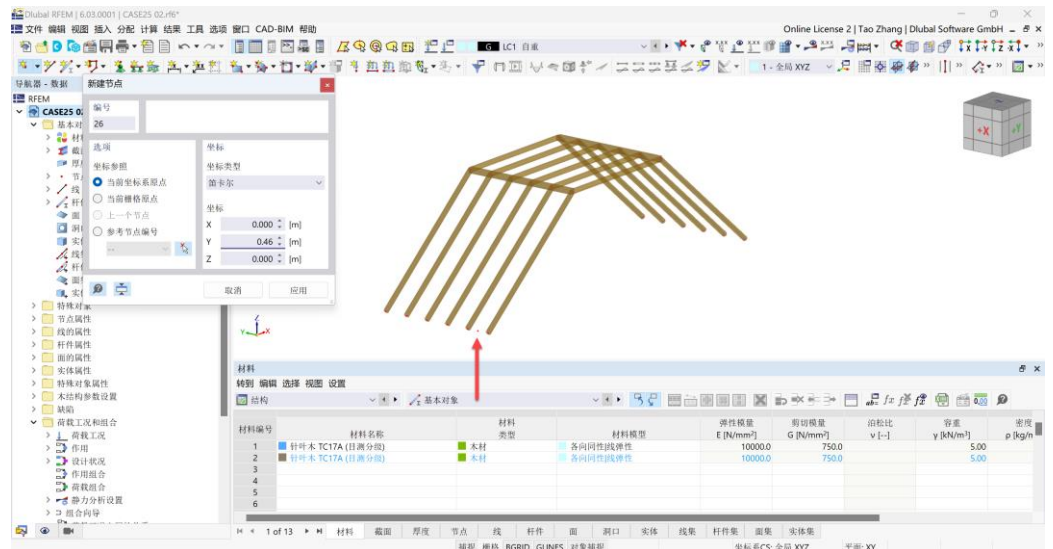


图 2.33 创建五节苗节点

2. 用同样的方法，创建坐标为(2.54m, 0.46m, 2.54m)、(6.8m, 0.46m, 4.4m)的节点。

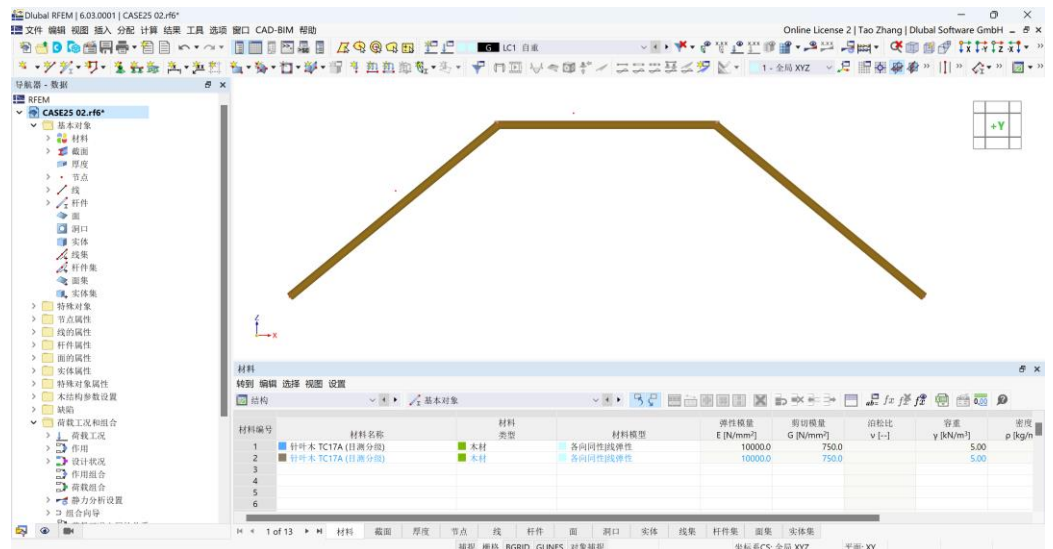



图 2.34 创建五节苗节点

3. 点击工具栏中的  按钮，创建五节苗对应的线段。

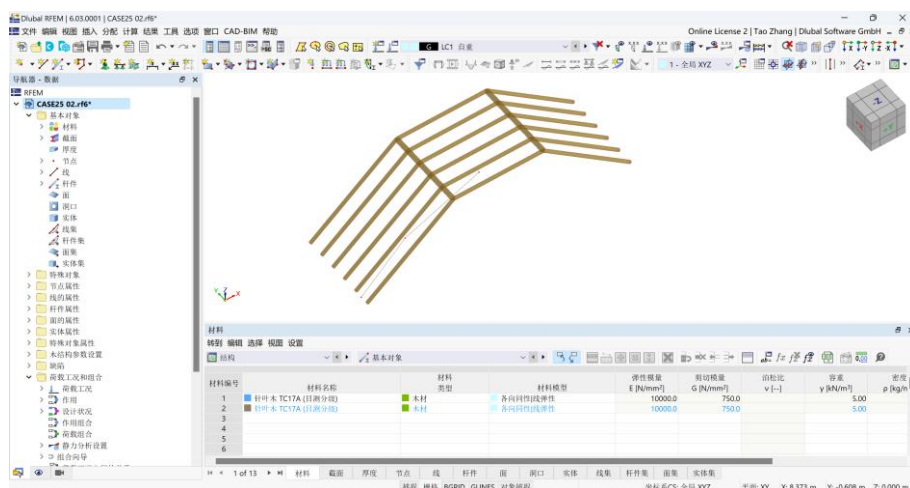


图 2.35 创建五节苗线段

4. 将创建的线段镜像，并创建平苗对应的线段。

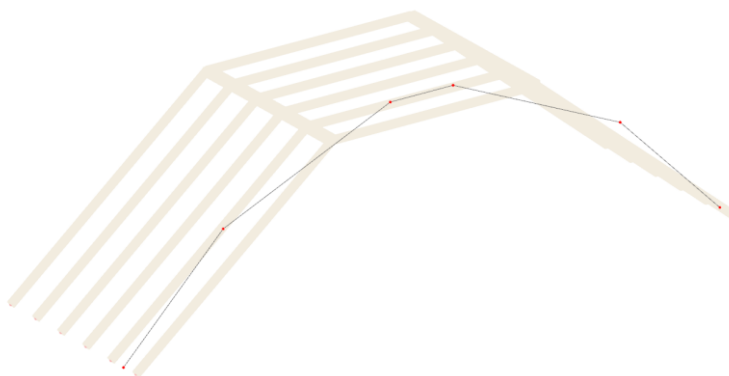


图 2.36 创建五节苗线段

5. 选中线段，右键单击，在右键快捷菜单中选择“编辑线”，打开【编辑线】对话框。在【编辑线】对话框的【基本】选项卡中，勾选杆件，程序会自动打开【新建杆件】对话框。

6. 在【新建杆件】对话框的【基本】选项卡中，将杆件类型选择为“梁”。切换至【截面】选项卡，将杆件截面选择为五节苗斜苗、平苗对应的截面。点击对话框右下角的【确定】按钮，关闭对话框，完成杆件的创建。

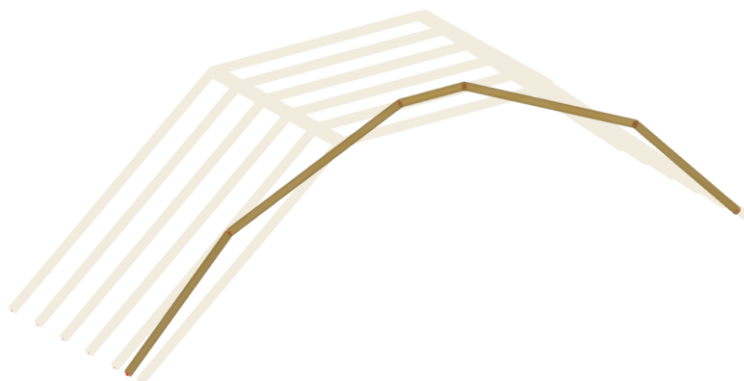


图 2.37 创建五节苗斜苗

7.选中创建好的五节苗斜苗，将其沿全局 Y 方向以 0.92m 的间距复制 4 次。

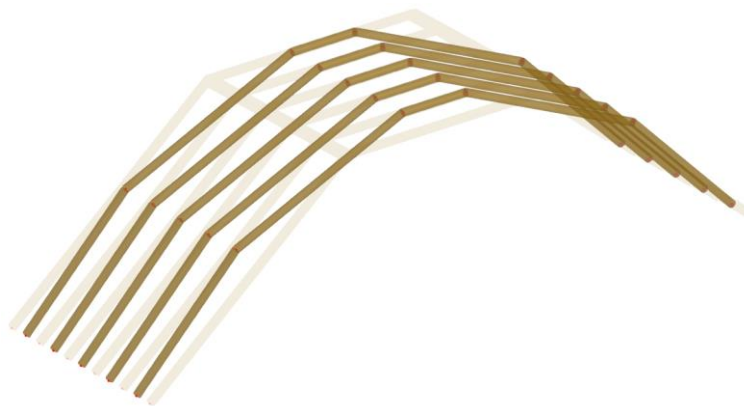


图 2.38 复制五节苗斜苗

8.创建五节苗牛头。

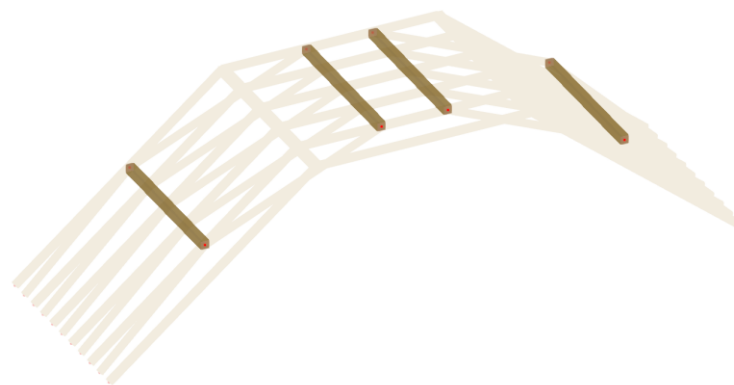


图 2.39 创建五节苗牛头

2.7 创建桥面系统



- 1.点击工具栏中的  按钮，打开【新建节点】对话框。创建坐标为(0, 0, 4.4m)的节点。
- 2.点击工具栏中的  按钮，连接坐标原点和刚刚创建的节点。



图 2.40 创建五节苗牛头

3.选中将军柱线段，右键单击，选择编辑线，打开【编辑线】对话框。在【编辑线】对话框的【基本】选项卡中，勾选杆件，为线段赋予杆件的属性。程序会自动打开【新建杆件】对话框。

4.在【新建杆件】对话框的【基本】选项卡中，将杆件类型选择为“梁”。切换至【截面】选项卡，将杆件截面选择为将军柱截面。点击对话框右下角的【确定】按钮，关闭对话框，完成将军柱的创建。

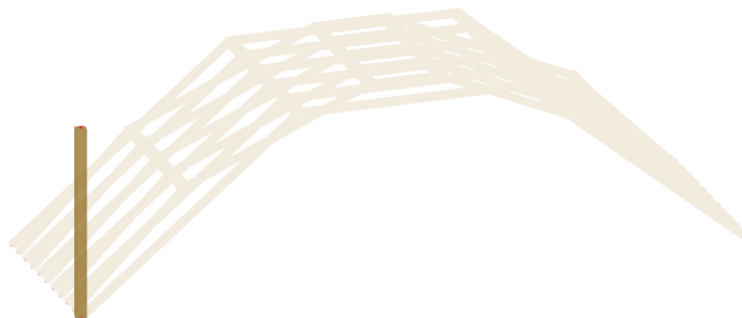


图 2.41 创建将军柱

5.选中创建的将军柱，将其沿全局 Y 方向以 0.92m 的间距复制 5 次，并沿全局 YZ 平面进行镜像。

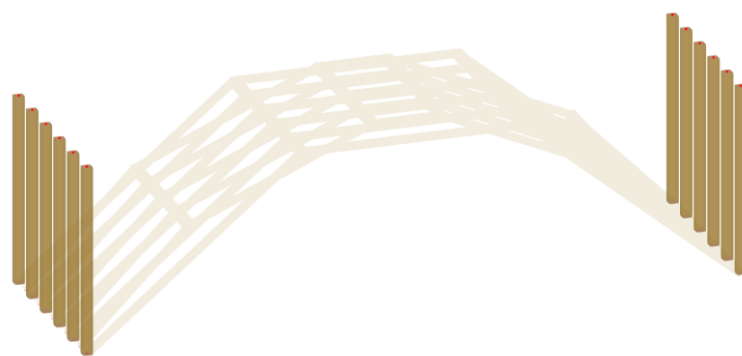




图 2.42 创建将军柱

6.选中左侧将军柱顶部节点，点击工具栏中的按钮，打开【移动/复制】对话框。在对话框的【基本】选项卡中，勾选创建副本，复制次数设置为 1，位移向量设置为(2.54m, 0, 0)。

7.切换至【编号和选项】选项卡，勾选“步间连接”。切换至【步间连接】选项卡，勾选“用杆件连接节点”。点击右侧的按钮，打开【新建杆件】对话框。

8.在【新建杆件】对话框的【基本】选项卡中，将杆件类型选择为“梁”。切换至【截面】选项卡，将杆件截面指定为桥面苗截面。点击对话框右下角的【确定】按钮，关闭对话框，完成节点扩展成杆件的操作。

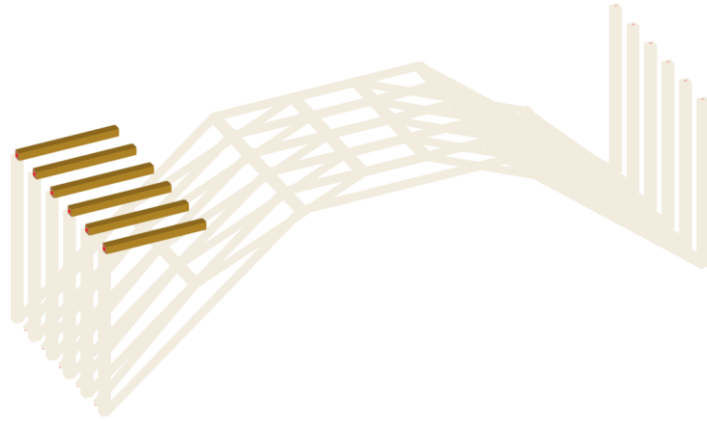


图 2.43 节点扩展成杆件

9. 创建桥面牛头。

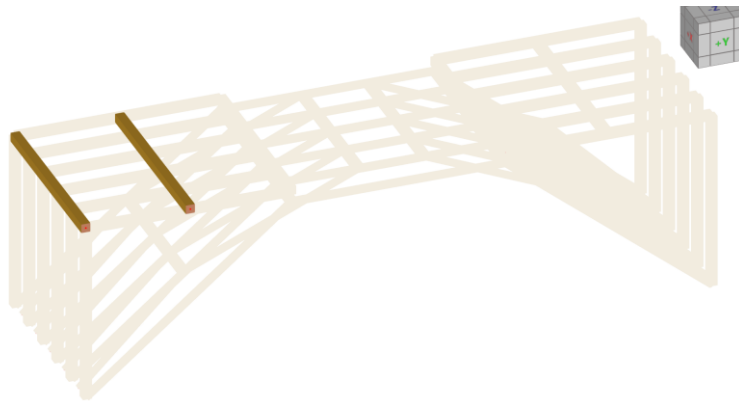


图 2.44 创建桥面牛头

10. 选中创建的桥面牛头和节点，沿全局 X 方向复制 2.46m。复制时，程序会自动保存上一次【移动/复制】对话框中的设置。

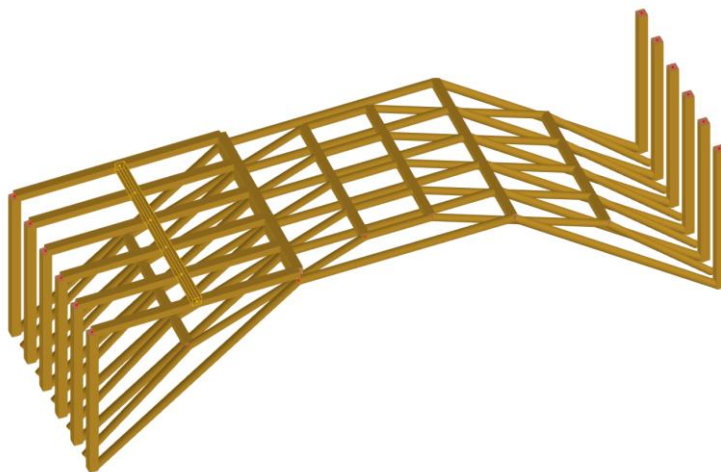


图 2.45 移动复制

11.选中左侧的桥面系统，将其镜像。

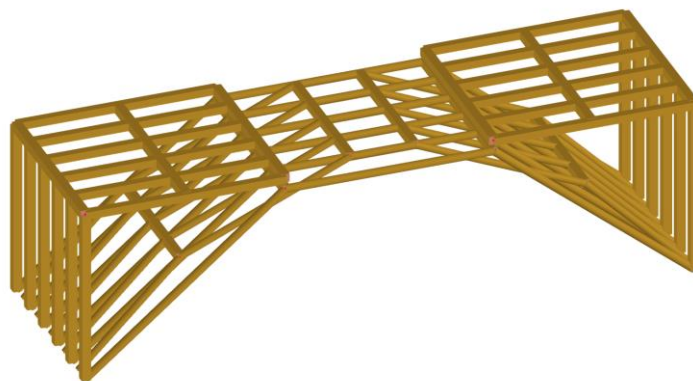


图 2.46 镜像

12.补充剩余桥面苗、桥面牛头:

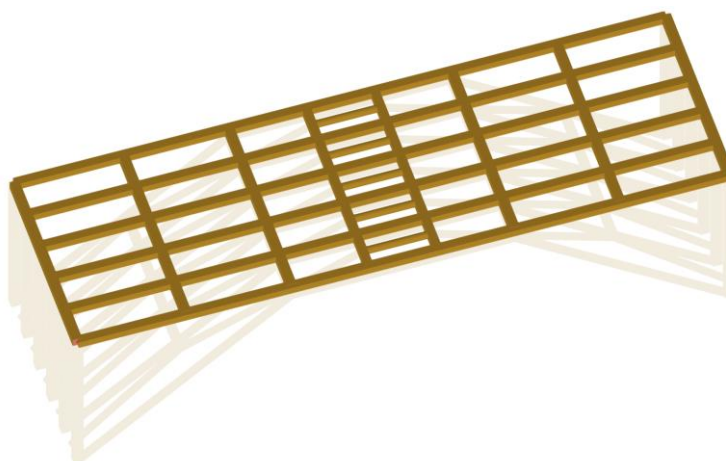


图 2.47 补充剩余桥面构件

13.创建马腿:

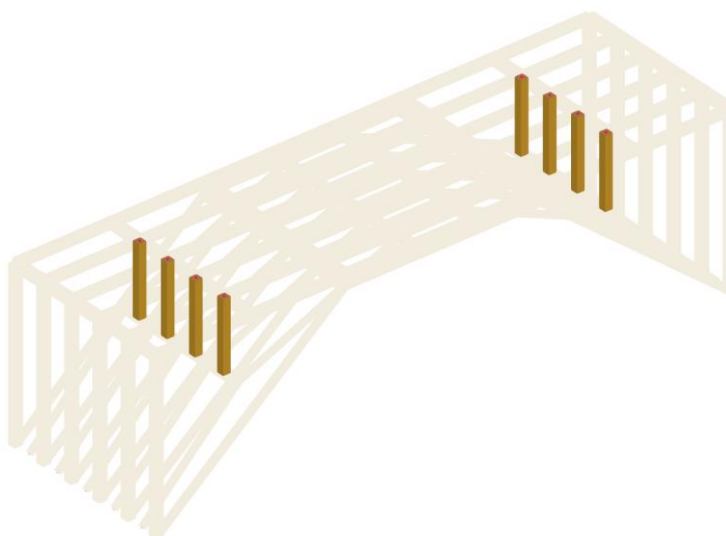


图 2.48 创建马腿

14. 创建底牛头:

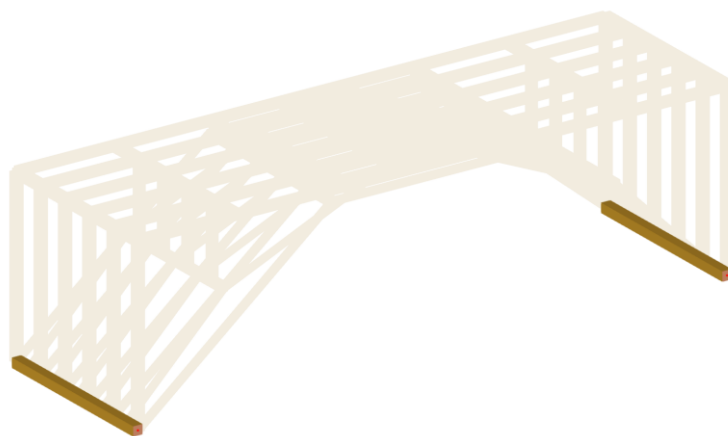


图 2.49 创建底牛头

15. 完成所有杆件的创建后, 可以在模型空白处右键单击, 在右键快捷菜单中选择按照杆件截面对模型进行颜色区分。

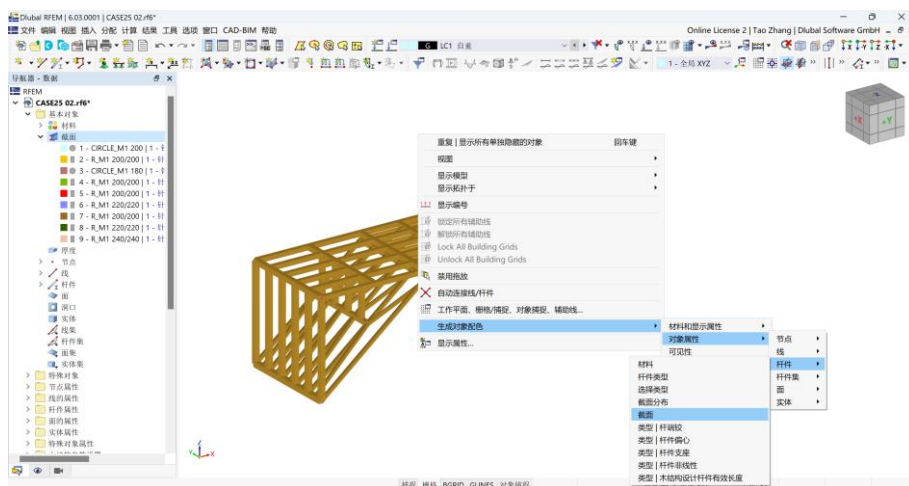


图 2.50 按截面着色

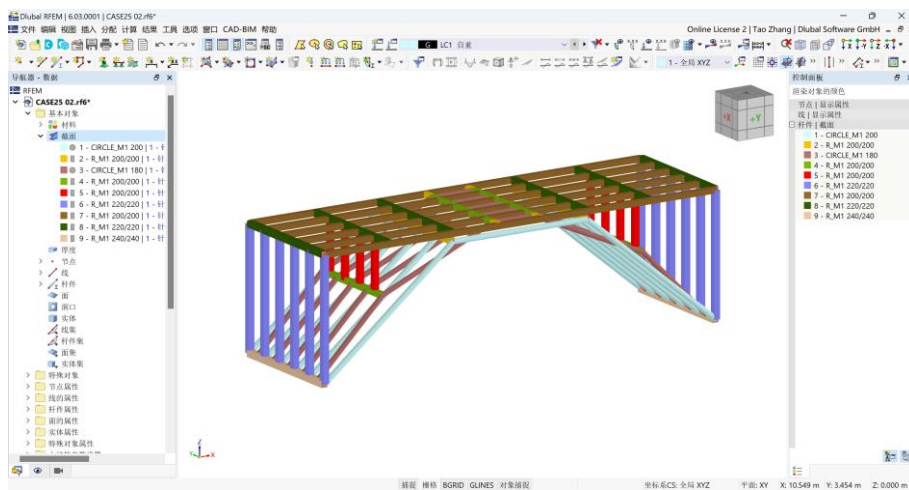


图 2.51 按截面着色

16.此外，建议手动将杆件互相打断，确保力学模型正确连接。互相打断连接可以通过点击菜单栏【工具】>【连接】，然后框选需要打断的地方来完成。

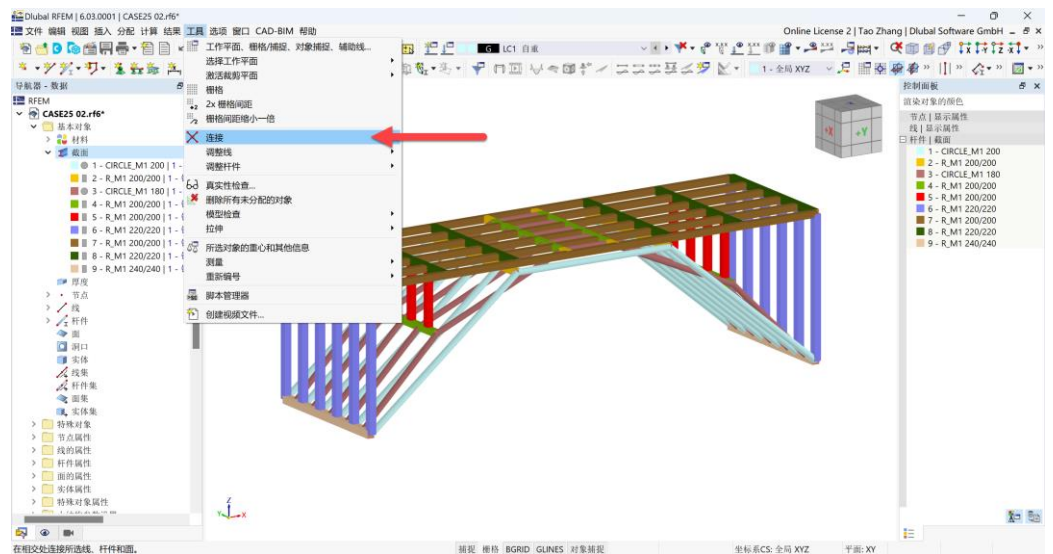


图 2.52 连接打断构件

2.8 创建厚度

1.在左侧导航器数据>基本对象>厚度处，右键单击，选择新建，打开【新建厚度】对话框。

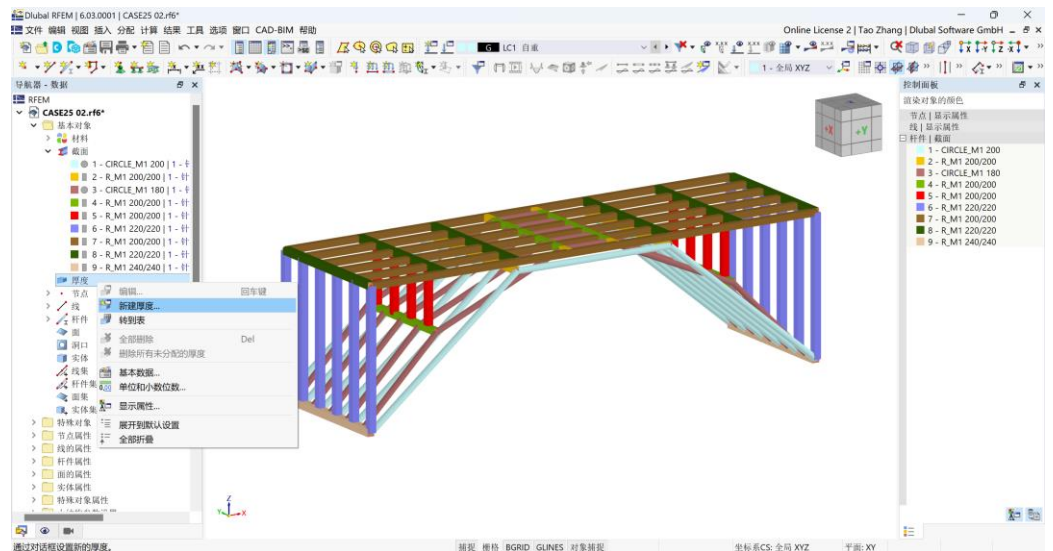



图 2.53 新建厚度

2.在【新建厚度】对话框中，将厚度材料设置为材料 2，厚度大小设置为 50mm。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。

2.9 创建桥面

1. 点击工具栏中的  按钮，打开【新建面】对话框。在对话框的【基本】选项卡中，将面的刚度类型选择为“标准”，厚度选择为上节创建的厚度。

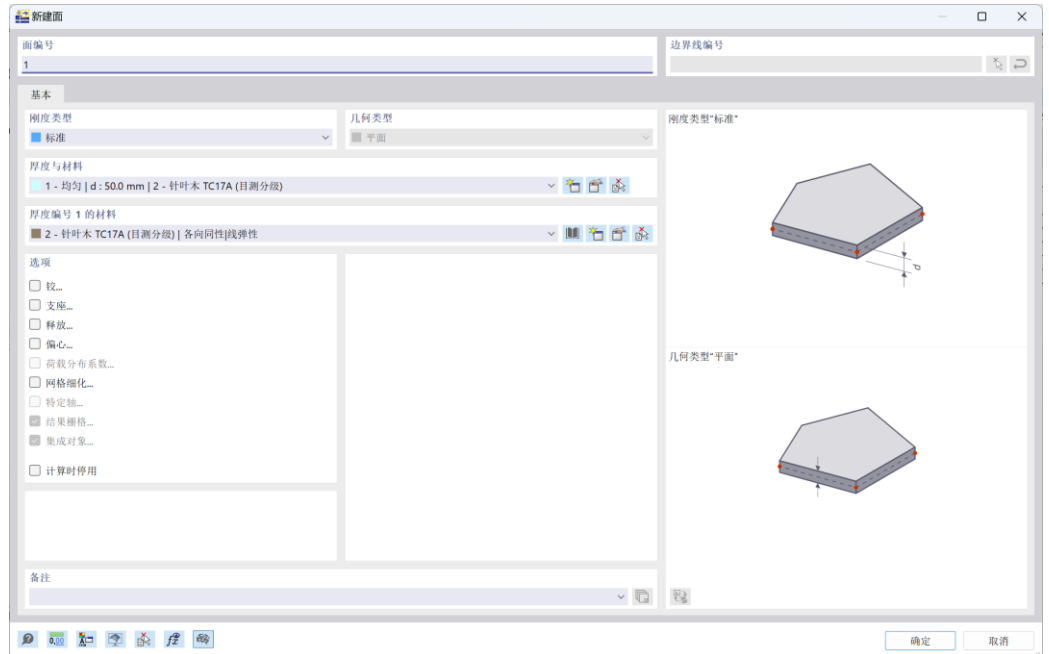


图 2.54 新建面对话框

2. 点击对话框右下角的【确定】按钮，关闭对话框，通过指定边界线的方式创建桥面板。

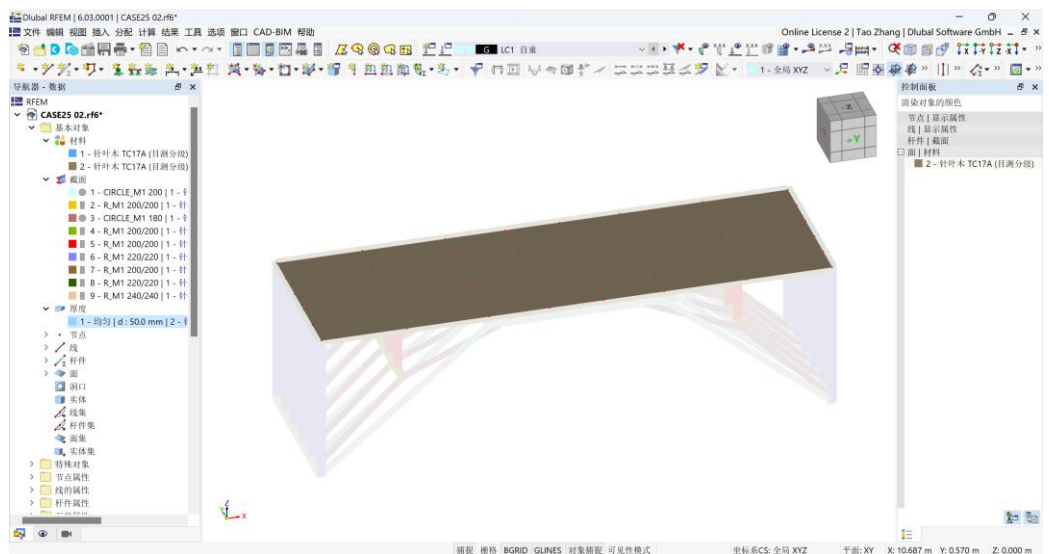


图 2.55 创建桥面板

2.10 模拟接触

1. 本例需要模拟的接触主要有以下几方面：

- 三节苗、五节苗的斜苗、平苗和牛头之间的连接
- 三节苗和五节苗之间通过牛头接触，受压传力，受拉脱开
- 主拱结构被如何支承
- 桥面苗与桥面牛头之间的连接
- 马腿和其他构件的连接

2. 杆件和杆件之间通过共用一个节点进行连接。当杆件类型为“梁”时，默认刚接。传统古建构件之间大都通过榫卯节点连接。

3. 在力学模型中，通过设置杆端铰来描述杆件和杆件之间的连接关系。杆端铰是杆件的属性。



图 2.56 杆件与杆端铰

4. 将平苗、斜苗与牛头之间的连接视为理想铰接。选中所有平苗、斜苗，右键单击，选择编辑，打开【编辑杆件】对话框。

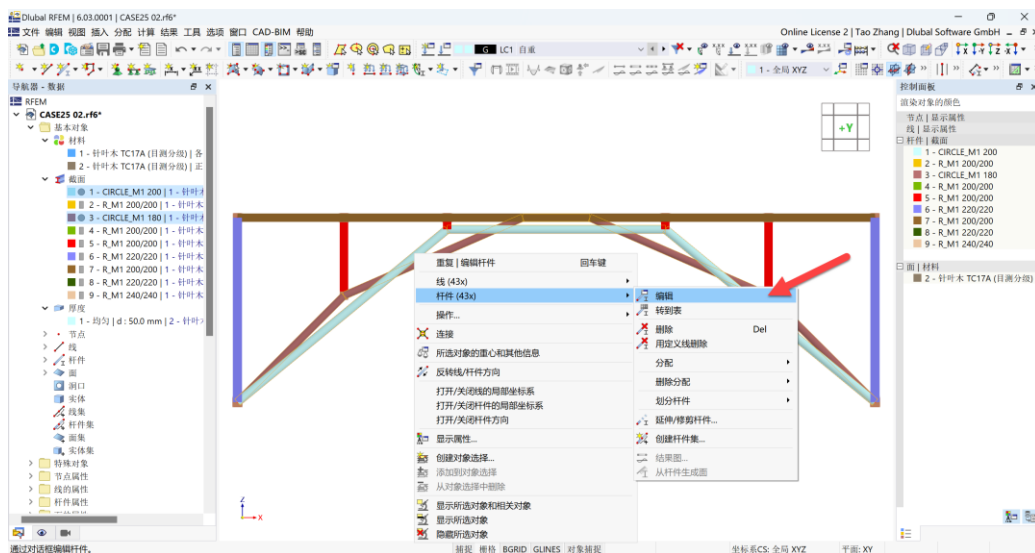


图 2.57 编辑杆件

5.在【编辑杆件】对话框的【基本】选项卡中，勾选“铰”。

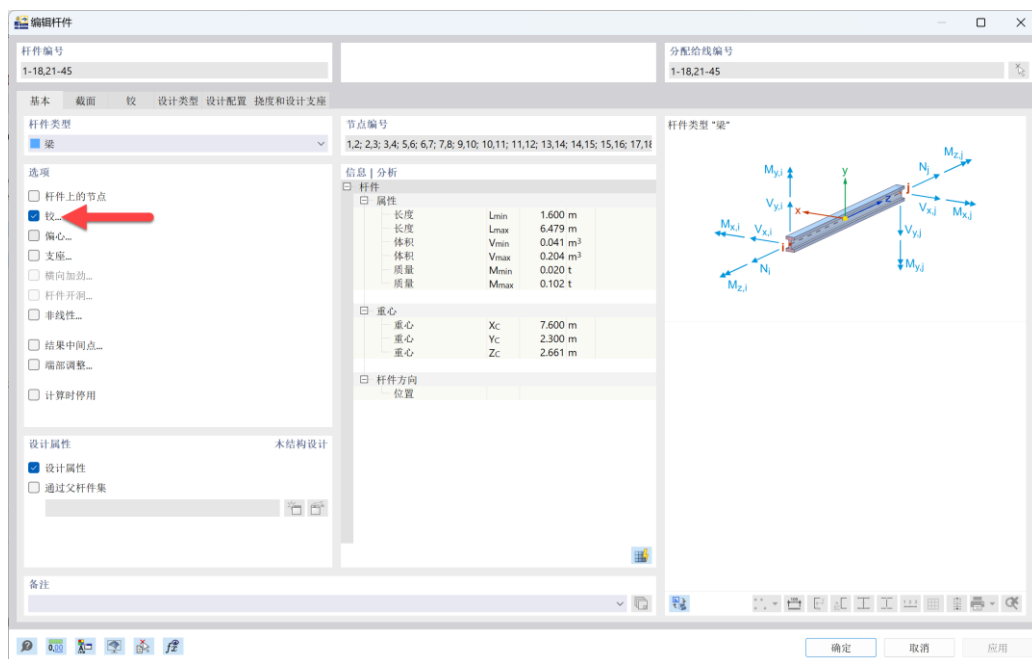



图 2.58 编辑杆件

6.切换至【铰】选项卡，点击杆端铰右侧的  按钮，打开【新建杆端铰】对话框。

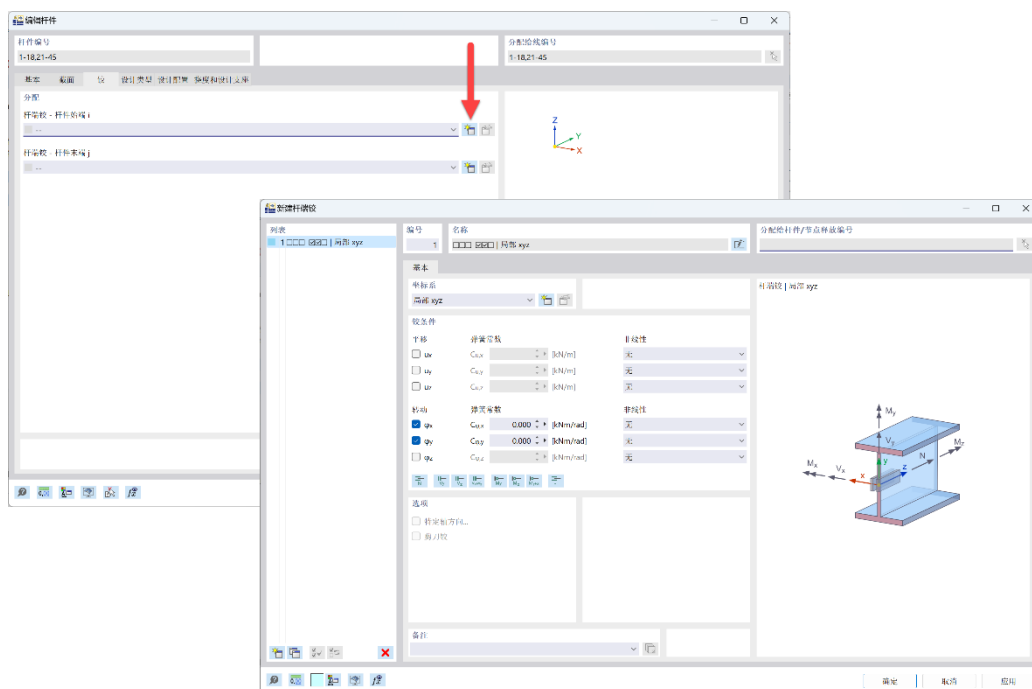


图 2.59 新建杆端铰

7.在新建杆端铰对话框中，勾选释放绕杆件局部 x 轴和局部 z 轴的转动自由度。点击对话框右下角的【确定】按钮，关闭对话框，完成杆端铰的创建。

8.将杆端铰分配给平苗、斜苗的杆件始端和杆件末端。点击对话框右下角的【确定】按钮，关闭对话框，完成杆端铰的分配。

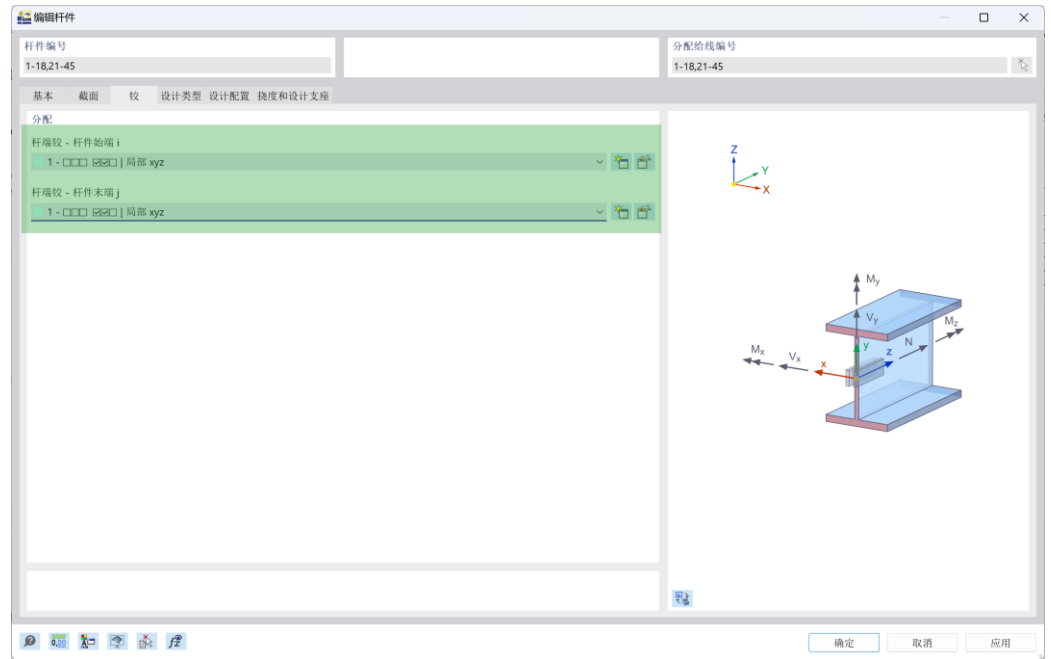


图 2.60 分配杆端铰

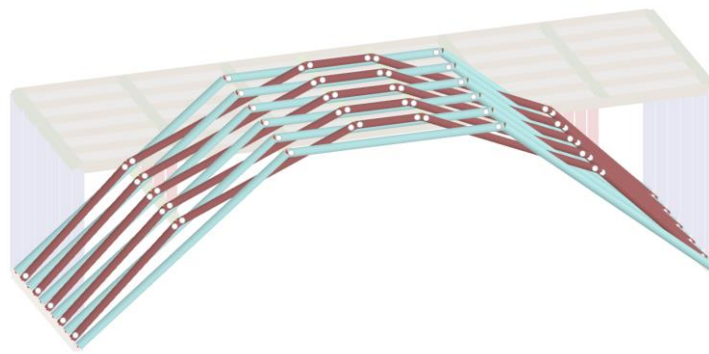


图 2.61 完成杆端铰的分配

9. 马腿与其他构件连接视为理想铰接。按照前文方法，为马腿的两端分配杆端铰。

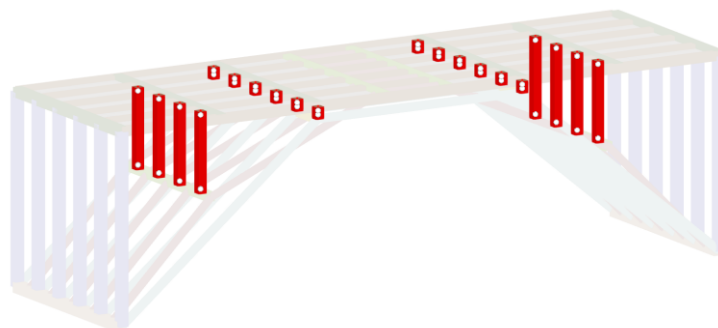


图 2.62 为马腿分配杆端铰

10.桥面苗和桥面牛头之间的连接视为理想铰接，选中桥面苗，为其分配杆端铰。

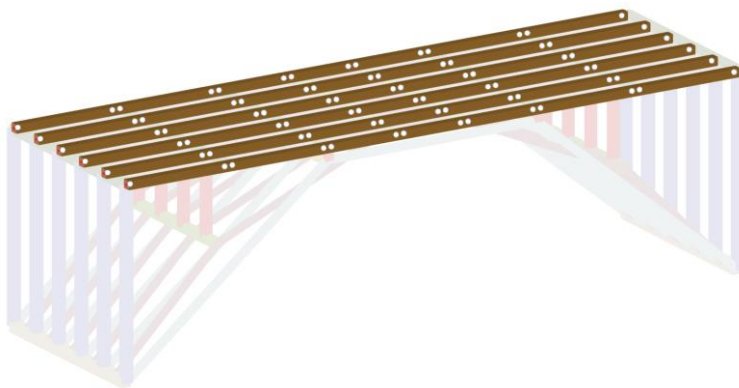


图 2.63 为桥面苗分配杆端铰

11.将军柱与上下牛头之间的连接视为理想铰接，选中将军柱，为其上端分配杆端铰。

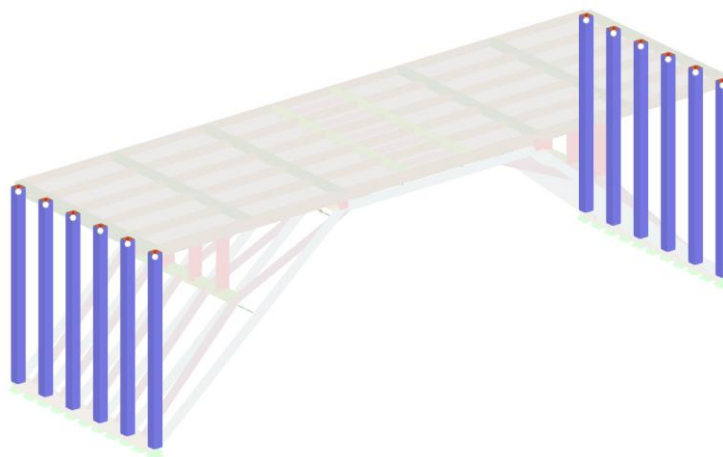


图 2.64 为将军柱分配杆端铰

12.三节苗和五节苗互相编制、交错，通过牛头互相接触。在界面下方的“对象捕捉”处右键单击，选择编辑，激活对垂足的捕捉。

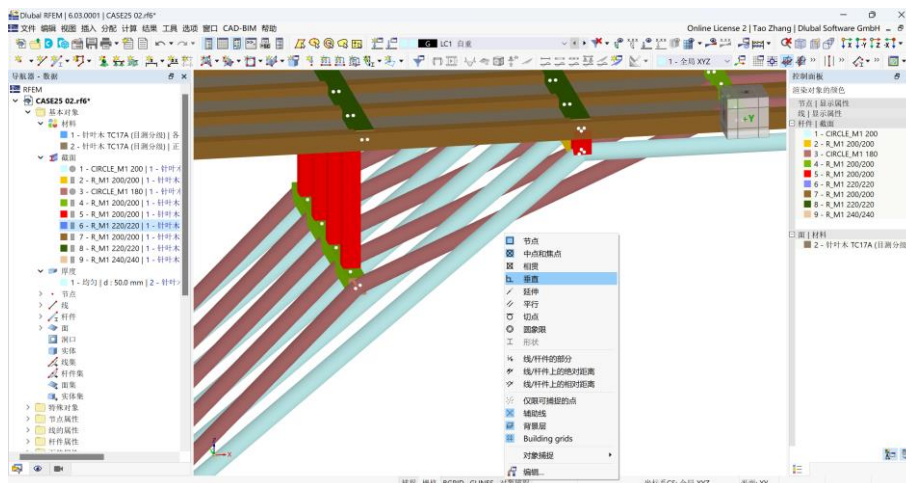



图 2.65 激活垂足的捕捉

13. 点击工具栏中的  按钮，过三节苗牛头节点向五节苗斜苗作垂线。

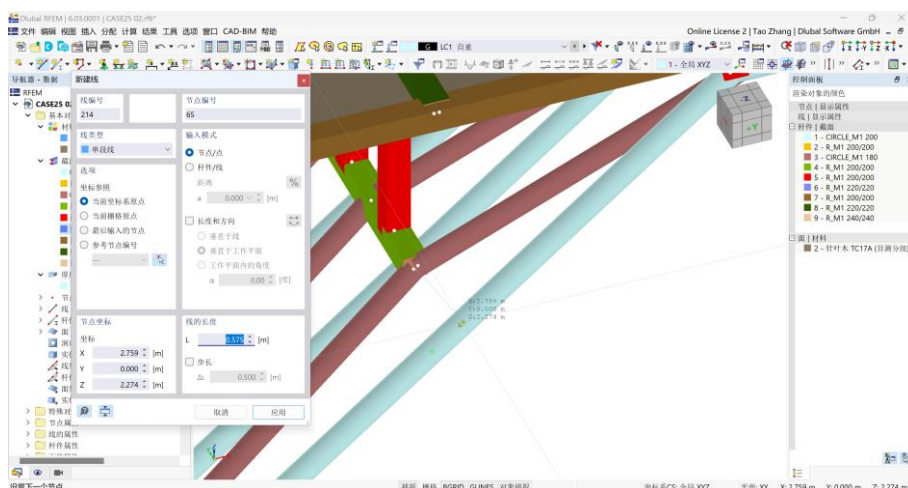


图 2.67 绘制垂线

14. 过垂足做横向线段：

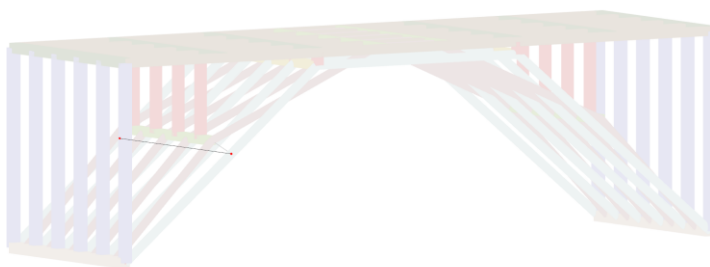


图 2.68 绘制横向线段

15. 过三节苗牛头与马腿连接节点向横向线段做垂线：

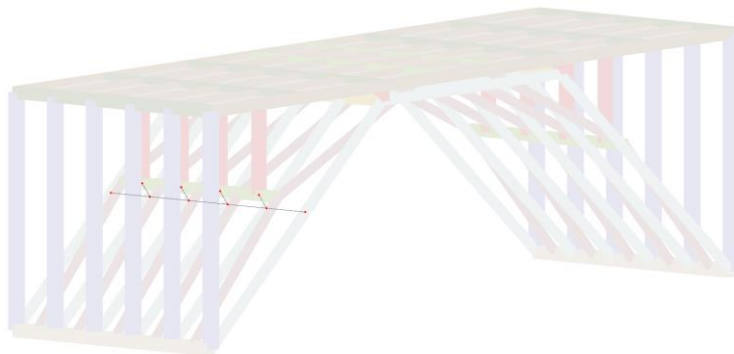


图 2.69 绘制垂线

16. 选中创建的线段，右键单击，选择编辑线，打开【编辑线】对话框。在【编辑线】对话框的【基本】选项卡中，勾选“杆件”，为线段赋予杆件的属性。

17. 在【新建杆件】对话框的【基本】选项卡中，将杆件类型选择为“刚性杆”。勾选铰，将横向刚性杆设置为两端铰接、竖向设置为下段铰接。点击对话框右下角的【确定】按钮，完成刚性杆的创建。

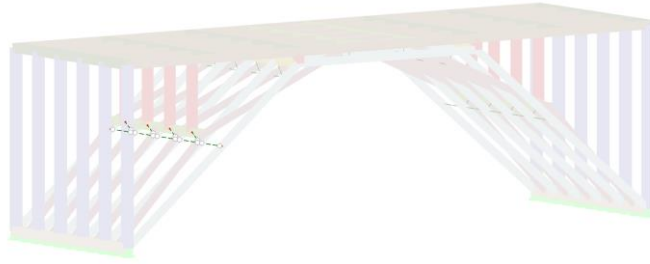


图 2.70 创建刚性杆

18.选中上侧刚性杆，右键单击，选择编辑杆件，打开【编辑杆件】对话框。在对话框的【基本】选项卡中，勾选“非线性”。

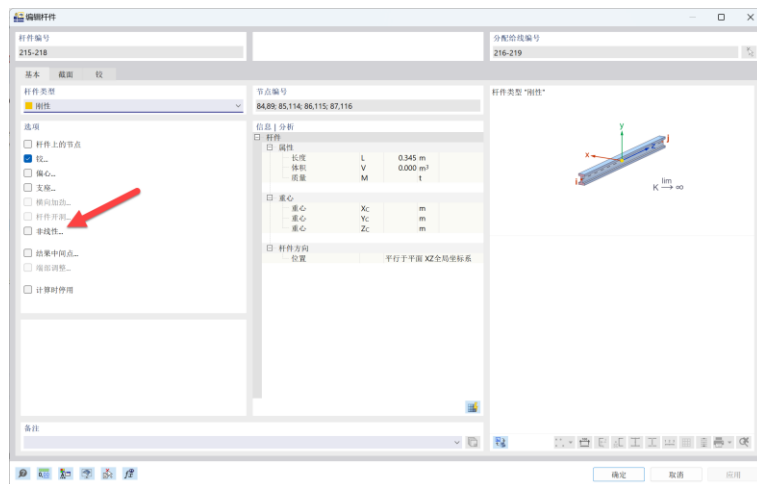



图 2.71 勾选杆件非线性

19.切换至【非线性】选项卡，点击对话框中的  按钮，打开【新建杆件非线性】对话框。将杆件非线性类型选择为“受拉失效”。点击对话框右下角的【确定】按钮，关闭对话框，完成杆件非线性的创建与分配。

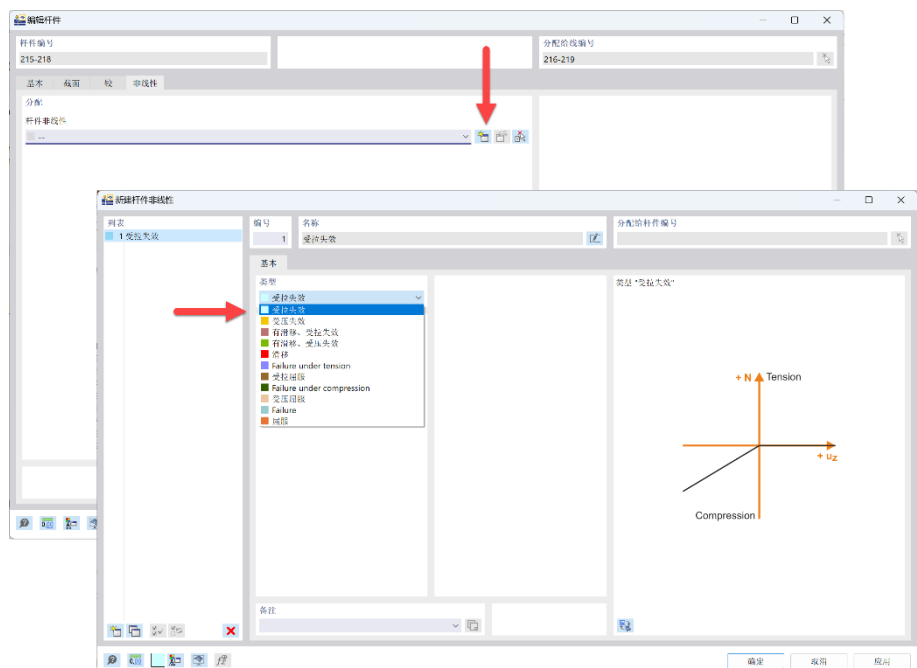


图 2.72 创建、分配杆件非线性

20.用同样的方法模拟其他牛头与平苗、斜苗的接触。

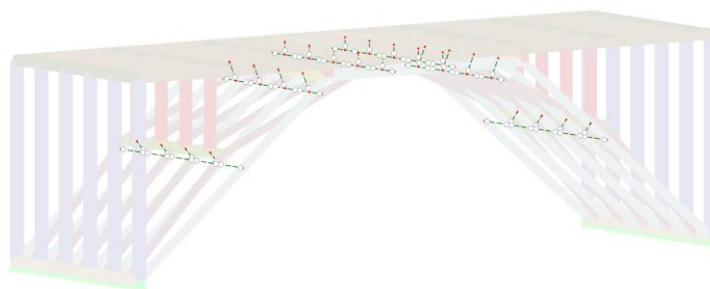


图 2.73 使用刚性杆+杆端铰+杆件非线性模拟接触

21.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，点击对话框中的 按钮，打开【新建节点支座】对话框，创建新的节点支座类型。

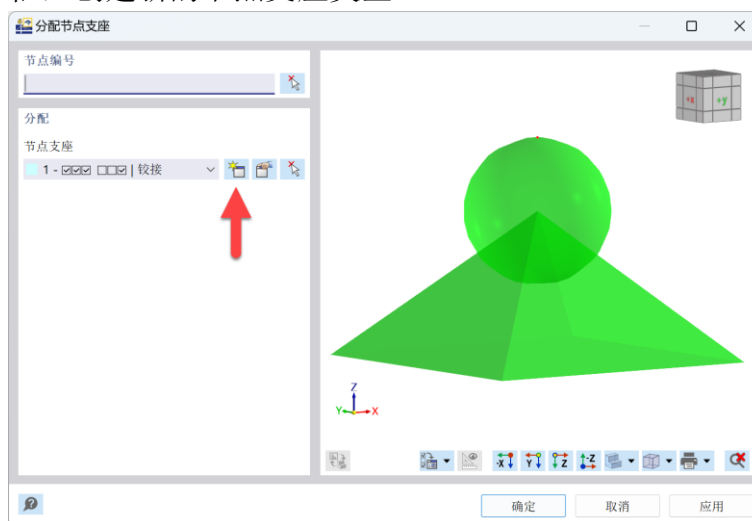


图 2.74 分配节点支座对话框

22.在【新建节点支座】对话框中，约束沿全局 X、Y、Z 方向的平动，绕全局 X 方向和全局 Z 方向的转动。点击对话框右下角的【确定】按钮，关闭对话框，完成节点支座的创建。

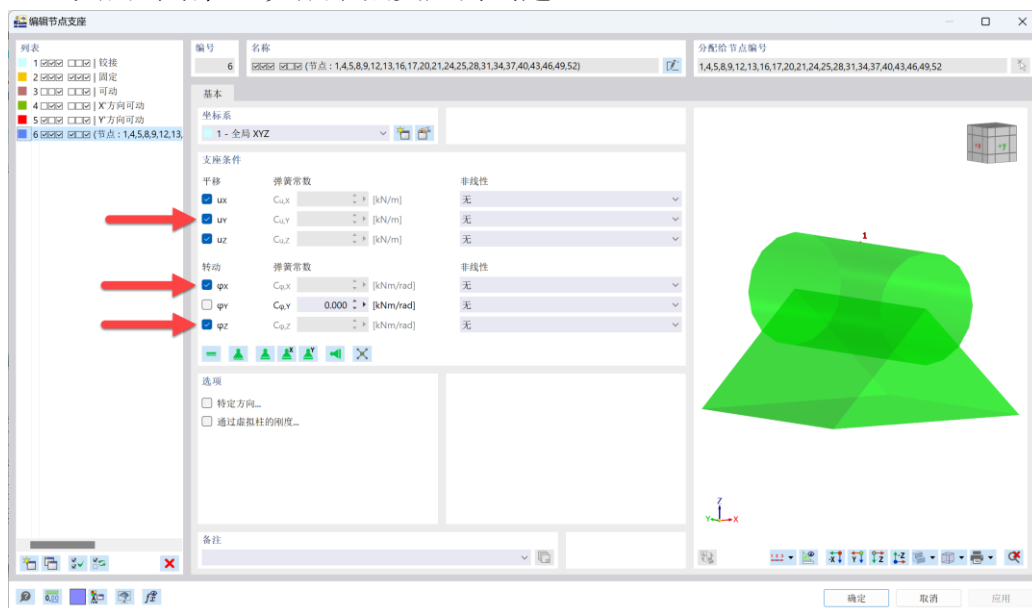


图 2.75 约束平动和转动

23. 点击【分配节点支座】对话框右下角的【确定】按钮，关闭对话框，将该节点支座分配给底部节点。

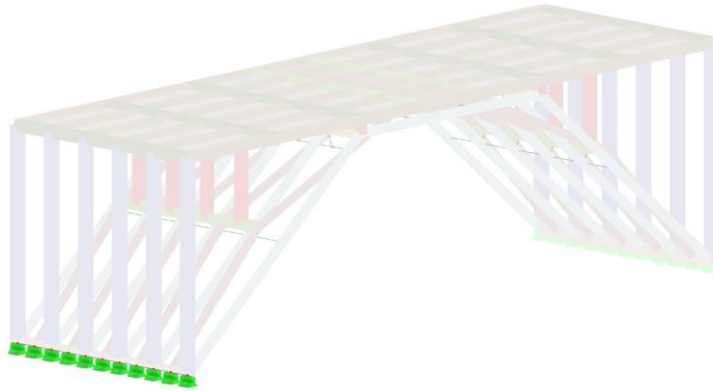
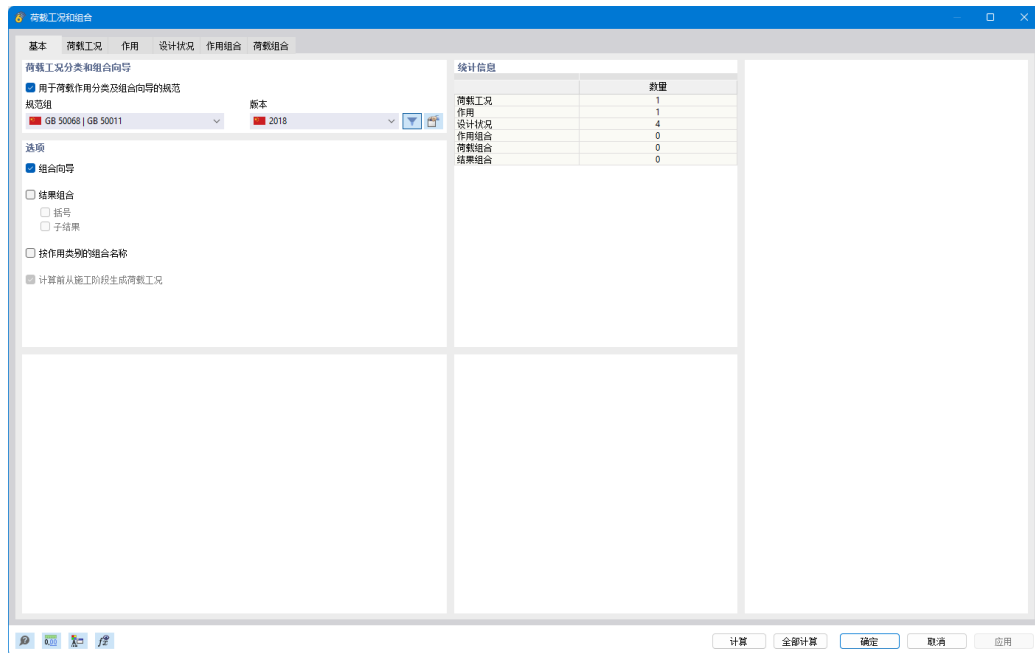
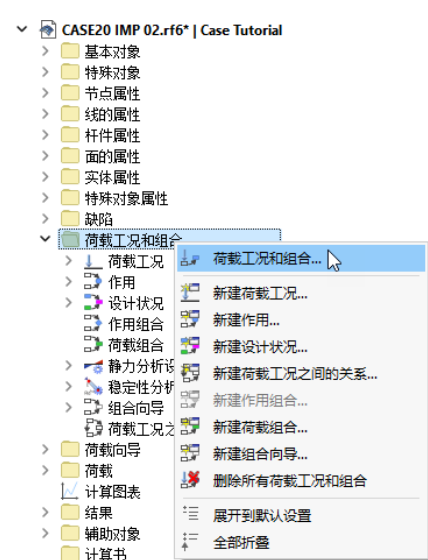


图 2.76 分配节点支座

3 施加荷载

3.1 荷载工况与分析设置

1. 在左侧导航器-数据>荷载工况和组合处，右键单击，选择“荷载工况和组合”，打开【荷载工况和组合】对话框。



组合向导主要具有以下功能：

- 根据规范自动生成各项荷载组合。

- 使生成的某一类组合都具有某项属性。例如，使所有基本组合都进行二阶非线性分析。

取消激活“组合向导”后，程序无法再自动生成各项荷载组合，需要手动创建各项组合。

图 3.1 荷载工况和组合对话框

2. 切换至【荷载工况】选项卡，可以看到程序预设了荷载工况 LC1 自重，并激活了结构构件的自重。

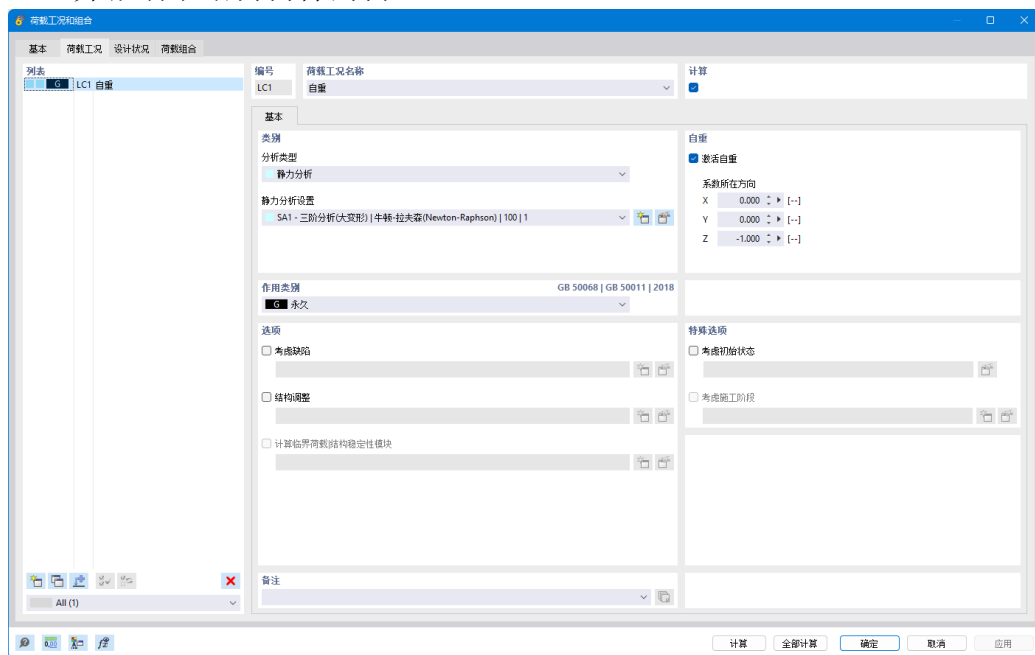



图 3.2 查看预设的 LC1 自重

3.本例仅为演示，仅考虑桥面恒荷载和活荷载。点击对话框左下角的按钮，创建新的荷载工况 LC2，将 LC2 的名称设置为活荷载。

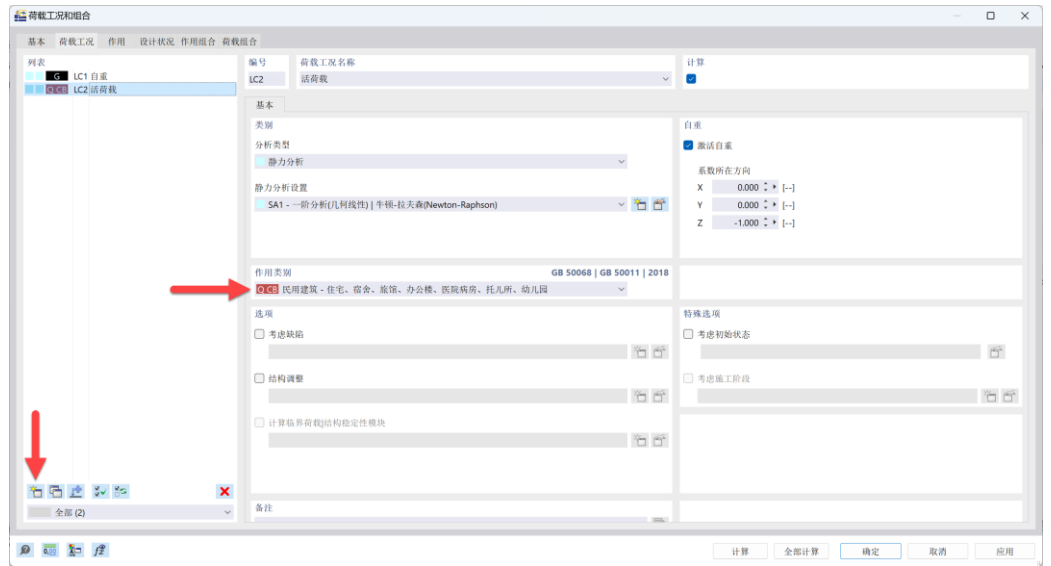



图 3.3 查看预设的 LC1 自重

4.切换至【设计状况】选项卡，可以看到程序预设了四种设计状况：基本组合、标准组合、频域组合和准永久组合。选中频遇组合和准永久组合，点击对话框左下角的按钮，将其删除。

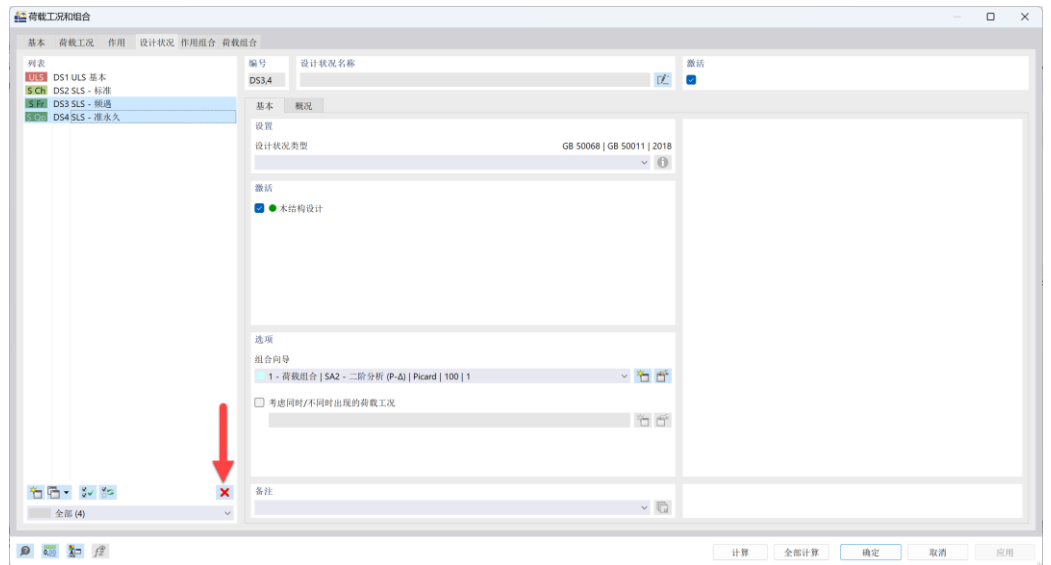



图 3.4 删除不需要的的设计状况

5. 点击对话框左下角的  按钮，新建设计状况。将新的设计状况类型选择为偶然组合。

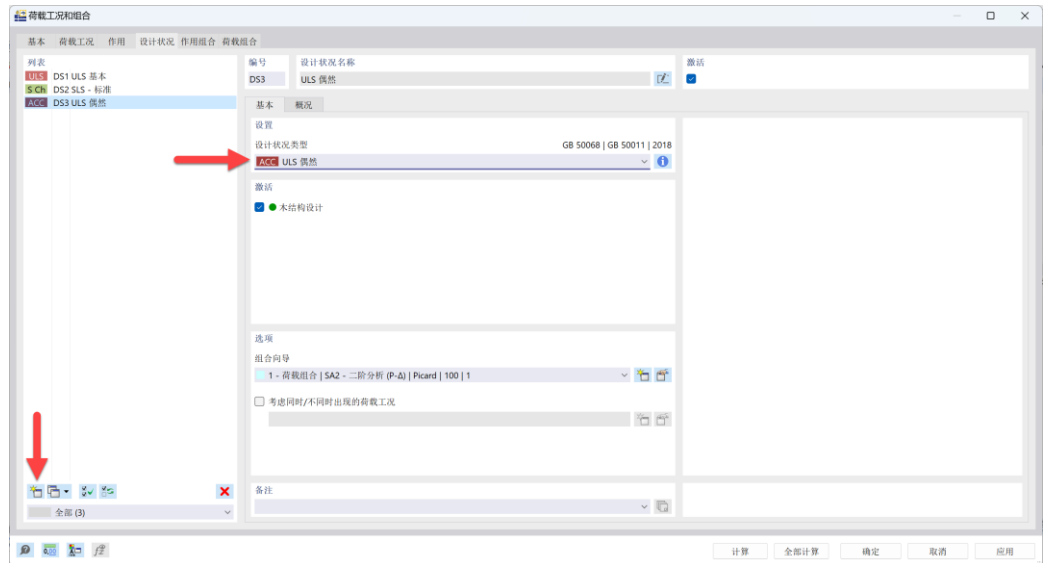


图 3.5 删除不需要的的设计状况

6. 切换至【荷载组合】选项卡，即可查看程序生成的各项荷载组合。

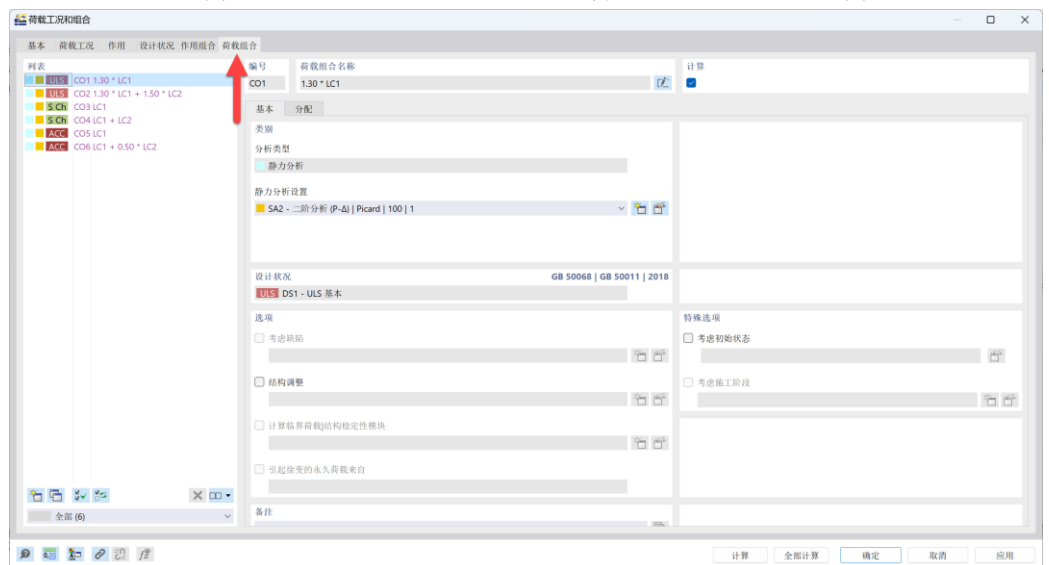


图 3.6 查看生成的各项荷载组合

7. 选中生成的各项荷载组合，将其静力分析设置选择为 SA1。



图 3.7 修改静力分析方法

8. 点击对话框右下角的【确定】按钮，关闭对话框，完成荷载工况和组合的创建。

3.2 施加荷载

1. 使用工具栏将当前工况切换至 LC1 自重。

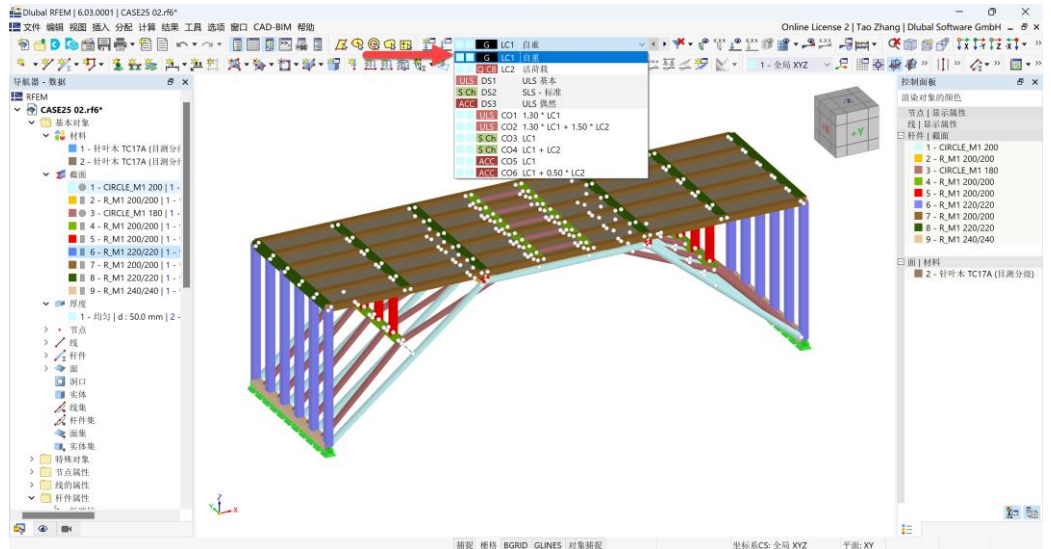


图 3.8 切换工况至 LC1

2. 我们在创建荷载工况时，已经在 LC1 中激活了结构构件的自重，该自重以杆件荷载、面荷载、体荷载的形式自动施加在结构上。

3. 如果需要查看结构的自重荷载，可以将导航器切换至导航器显示，勾选显示自重荷载。

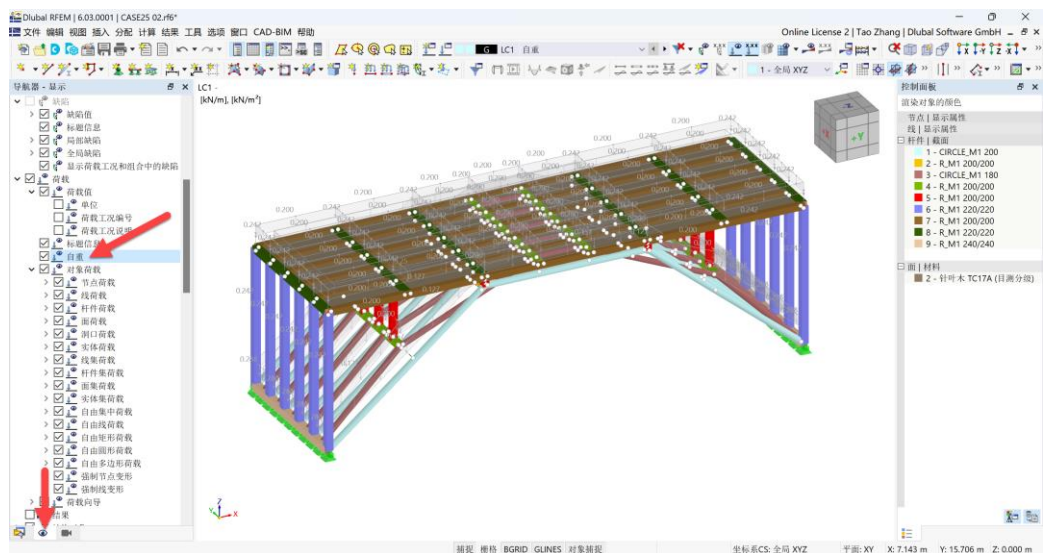



图 3.9 查看程序自动施加的自重荷载

4. 本例取附加恒荷载 4kN/m^2 。点击工具栏中的  按钮，打开【新建面荷载】对话框，将荷载类型选择为沿全局 Z 方向的均布力，荷载大小设置为 -4kN/m^2 ，点击对话框右下角的【确定】按钮，关闭对话框，将该荷载分配给模型中的桥面板。

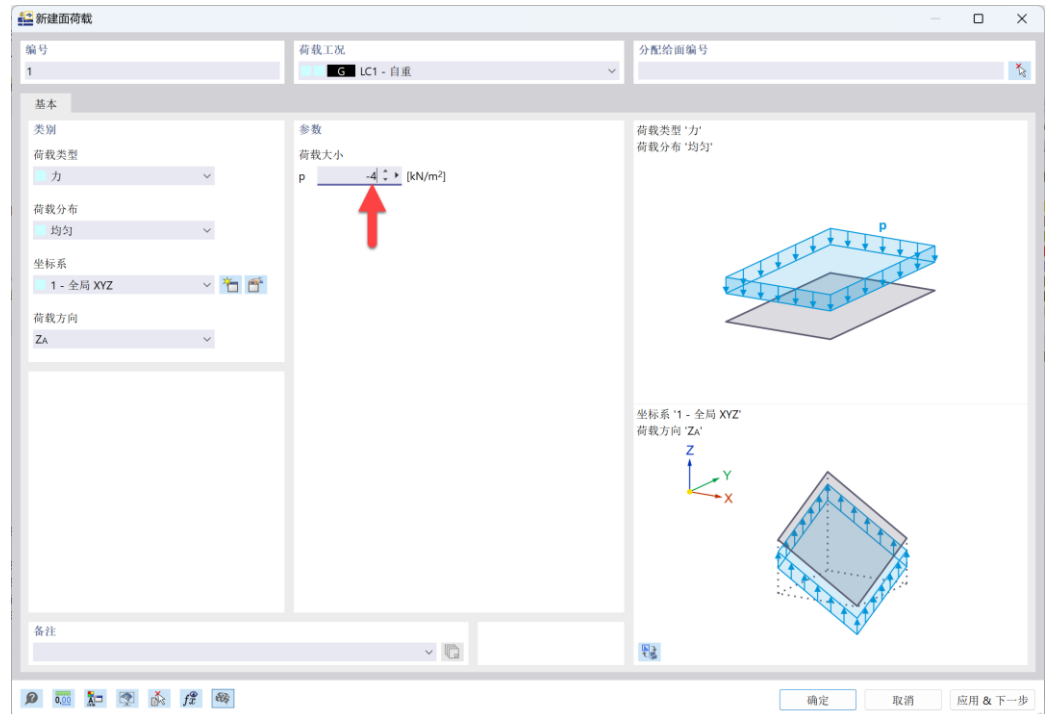


图 3.10 新建面荷载

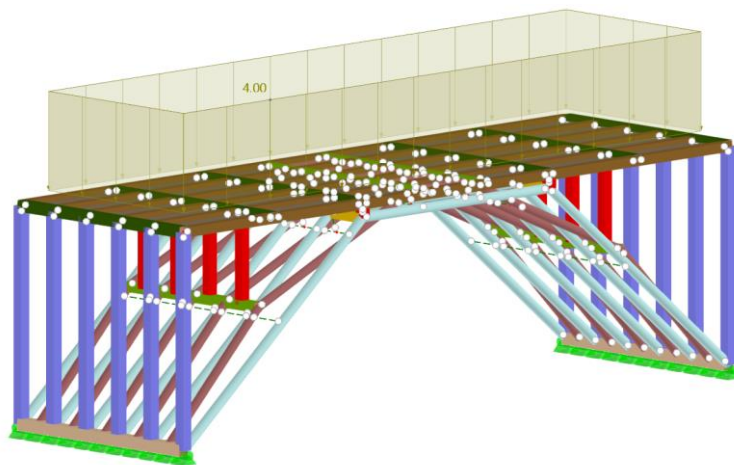



图 3.11 分配面荷载

5.活荷载大小取 3kN/m^2 。使用工具栏将当前工况切换至工况 LC2。点击工具栏中的  按钮，打开【新建面荷载】对话框，将荷载类型选择为沿全局 Z 方向的均布力，荷载大小设置为 -3kN/m^2 ，点击对话框右下角的【确定】按钮，关闭对话框，将该荷载分配给模型中的桥面板。

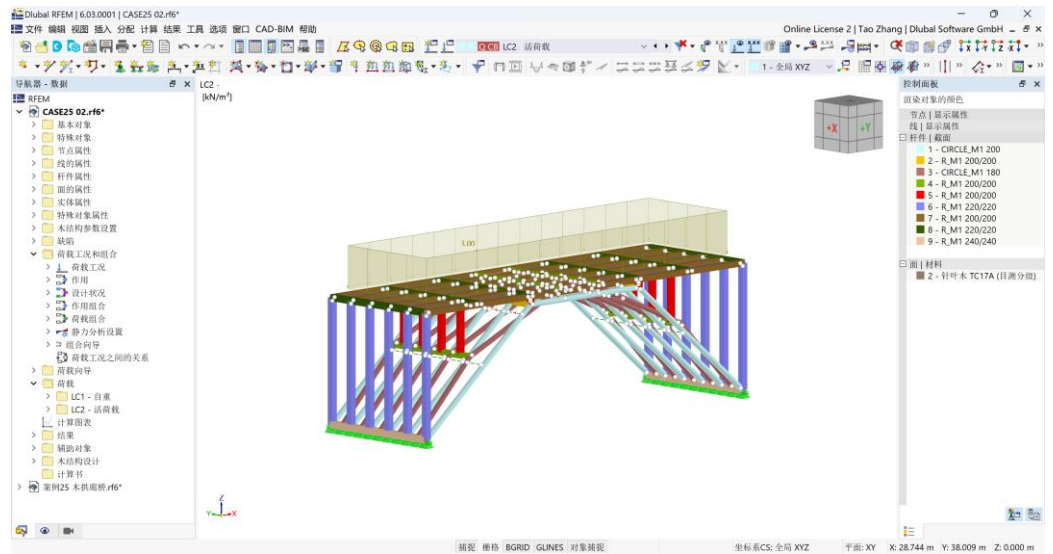


图 3.12 分配活荷载

4 木结构参数设置

4.1 有效长度

1. 在左侧导航器数据>木结构参数设置>有效长度处，右键单击，选择新建，打开【新建木结构有效长度】对话框。

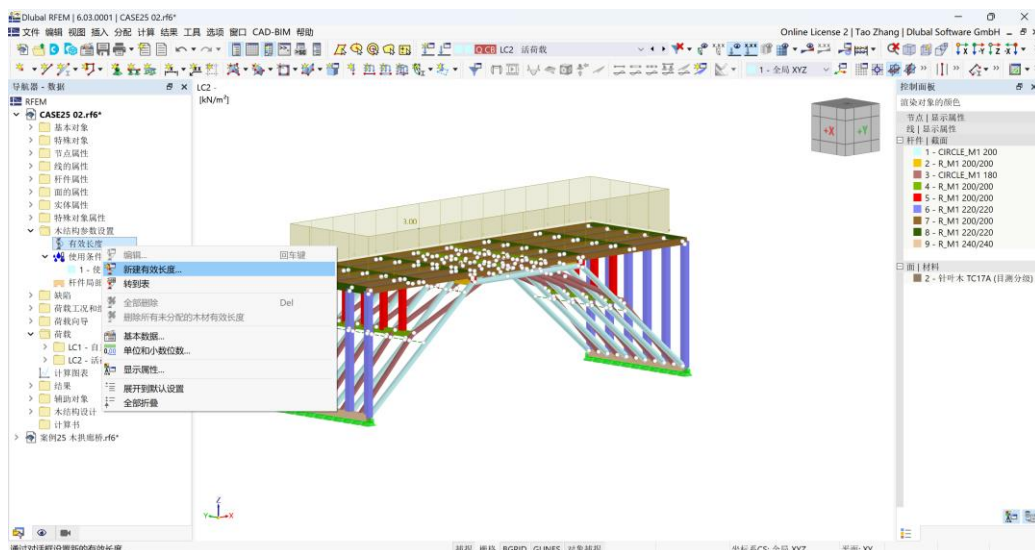


图 4.1 新建有效长度

2. 在【新建有效长度】对话框的【基本】选项卡中，勾选验算弯曲屈曲、弯扭屈曲。

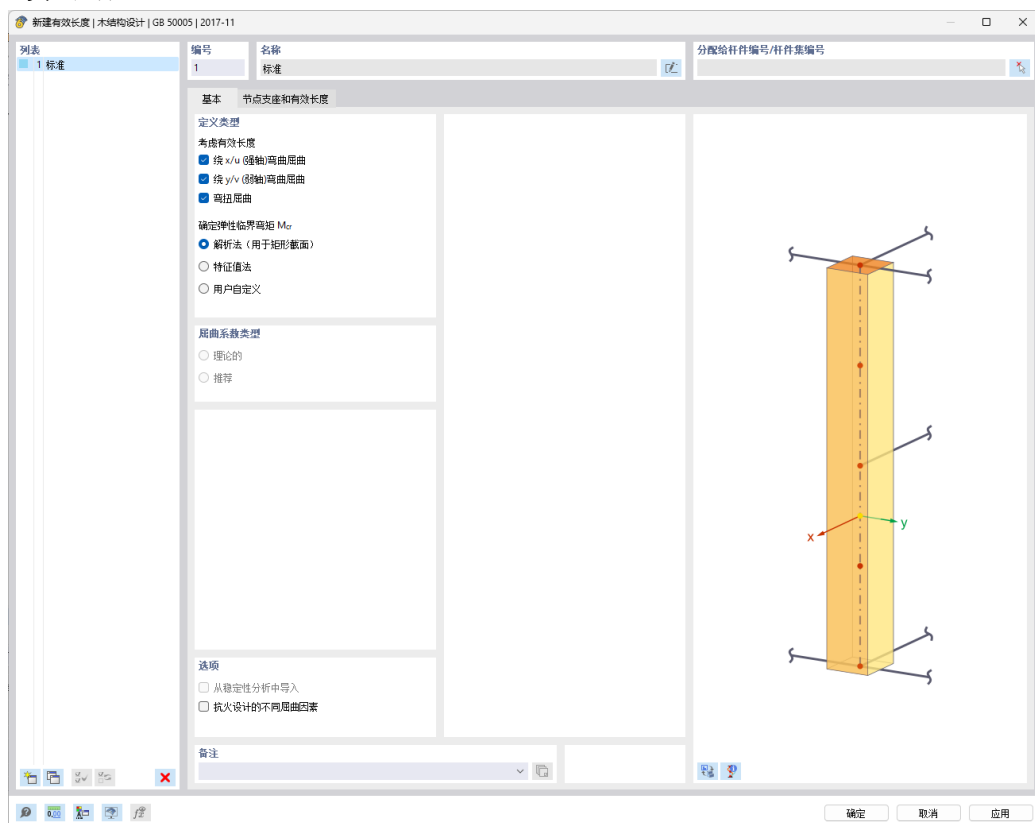


图 4.2 新建有效长度

3.在进行弯扭屈曲验算时，规范给出了矩形截面的临界弯矩计算方法。由于本例截面还存在圆形截面，故选择使用特征值法进行计算。

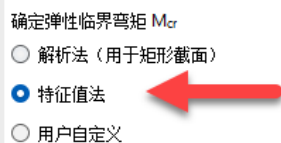


图 4.3 选择使用特征值法进行计算

4.当选择使用特征值法确定临界弯矩时，需要手动定义好每个杆件的支撑情况。此处的支撑情况不仅指的是杆件两端的支撑情况，还需要指定杆件中部的支撑情况。

5.切换至【节点支座和有效长度】选项卡，此时可以指定杆件端部支撑情况、有效长度系数、杆件中部有无支撑以及支撑情况。

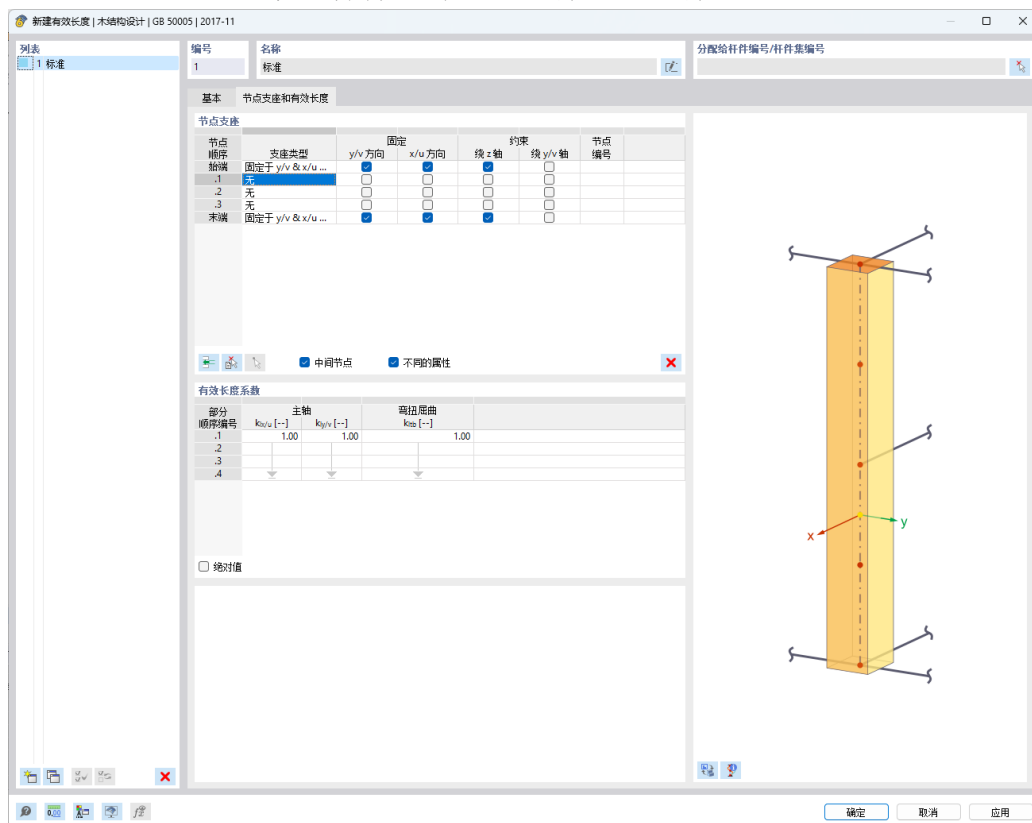



图 4.4 指定有效长度系数

6.点击对话框右上角的  按钮，将长度系数分配给模型中的杆件。本例仅为演示，将所有长度系数设置为 1.0。

7.点击对话框右下角的【确定】按钮，关闭对话框，完成有效长度系数的分配。

4.2 使用条件

1.在左侧导航器数据>木结构设计参数>使用条件处，右键单击，选择编辑，打开【编辑使用条件】对话框。

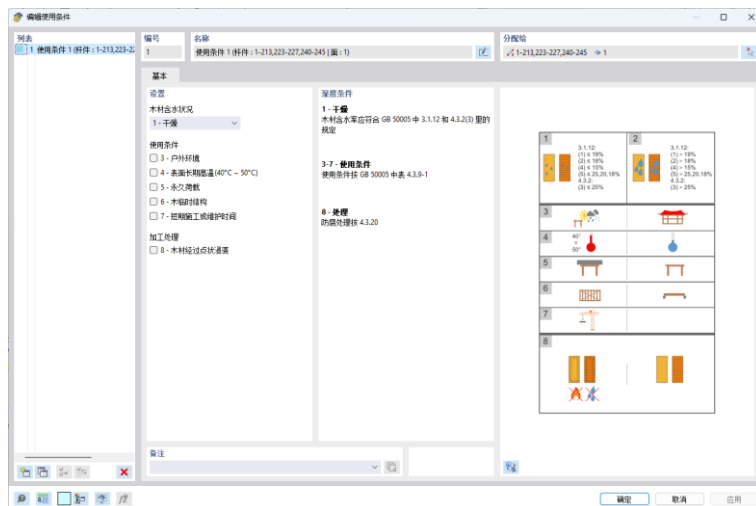



图 4.5 编辑使用条件

2.此时，我们可以在对话框的【基本】选项卡中，指定木结构构件的使用条件。本例仅为演示，木材使用条件按照程序默认设置。点击对话框右上角的  按钮，将其分配给模型中的所有构件。

3.点击对话框右下角的【确定】按钮，关闭对话框，完成使用条件的分配。

4.3 承载能力极限状态配置

1.在左侧导航器数据>木结构设计>承载能力极限状态配置处，右键单击，选择编辑，打开【编辑承载能力极限状态配置】对话框。

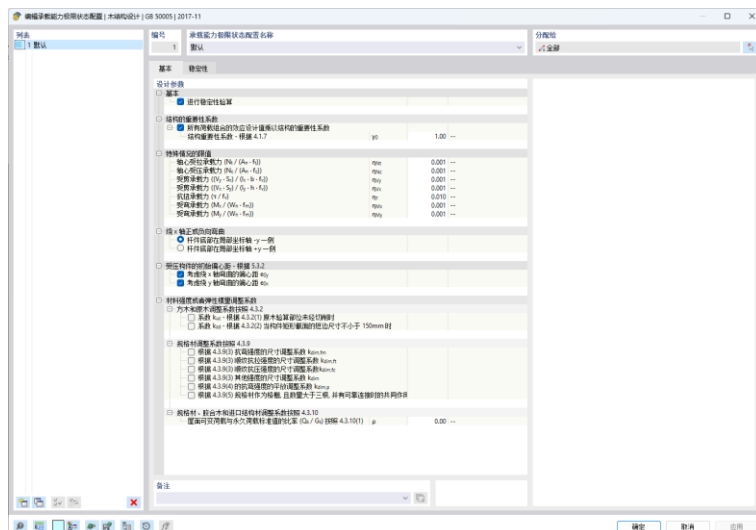


图 4.6 编辑 ULS 配置

2.本例取重要性系数为 1.0。由于本例使用了矩形截面的方木原木、且边长大于 150mm，故勾选按照木结构设计规范 4.3.2(2)进行调整。

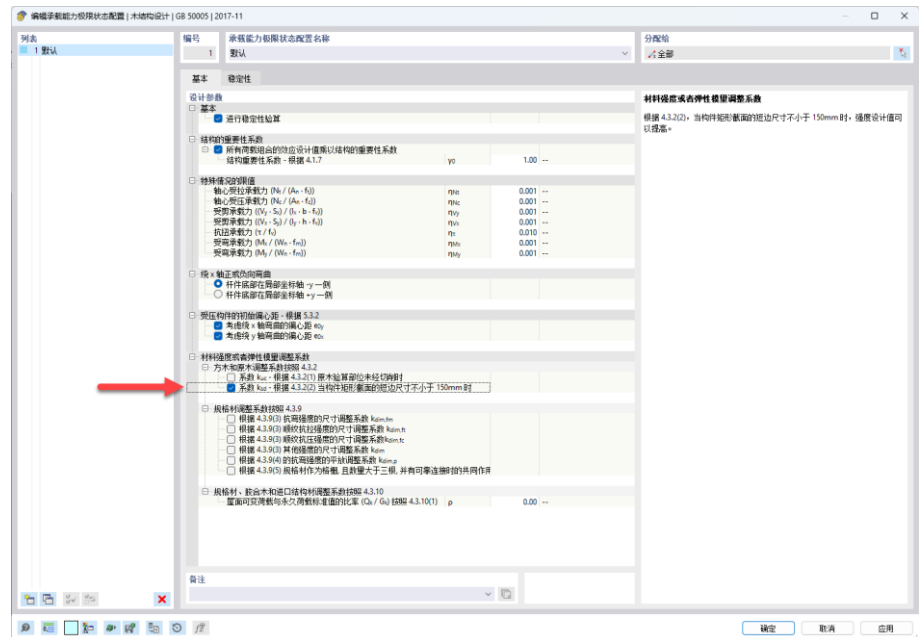





图 4.7 编辑 ULS 配置

3.点击对话框右上角的  按钮，将该配置分配给模型中的所有矩形截面的杆件。

4.点击对话框左下角的  按钮，新建 ULS 配置 2，取消勾选矩形截面大于 150mm 的调整(因为该配置要分配给使用圆形截面的杆件)。点击对话框右上角的  按钮，将该配置分配给模型中的所有圆形截面的杆件。

5.点击对话框右下角的【确定】按钮，关闭对话框，完成 ULS 配置的建立。

4.4 正常使用极限状态配置

1. 在左侧导航器数据>木结构设计>正常使用极限状态配置处，右键单击，选择编辑，打开【编辑正常使用极限状态配置】对话框。

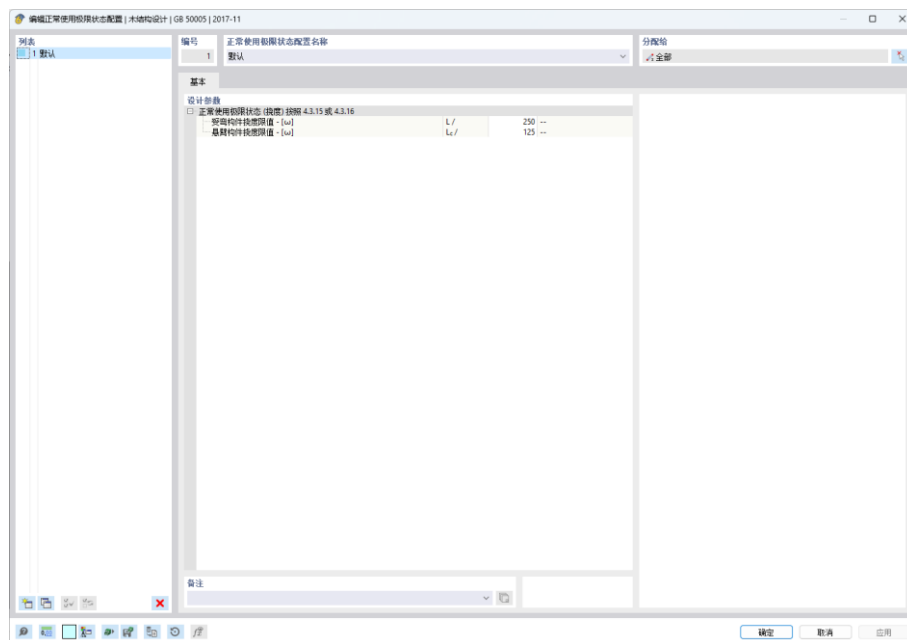



图 4.8 编辑 SLS 配置

2. 此时可以指定杆件的挠度限值，本例取挠度限值为程序默认。点击对话框右上角的  按钮，将挠度限值分配给模型中的所有构件。

3. 点击对话框右下角的【确定】按钮，关闭对话框，完成挠度限值的分配。

4.5 防火承载力配置

1.在左侧导航器数据>木结构设计>防火承载力配置处，右键单击，选择编辑，打开【编辑防火承载力配置】对话框。

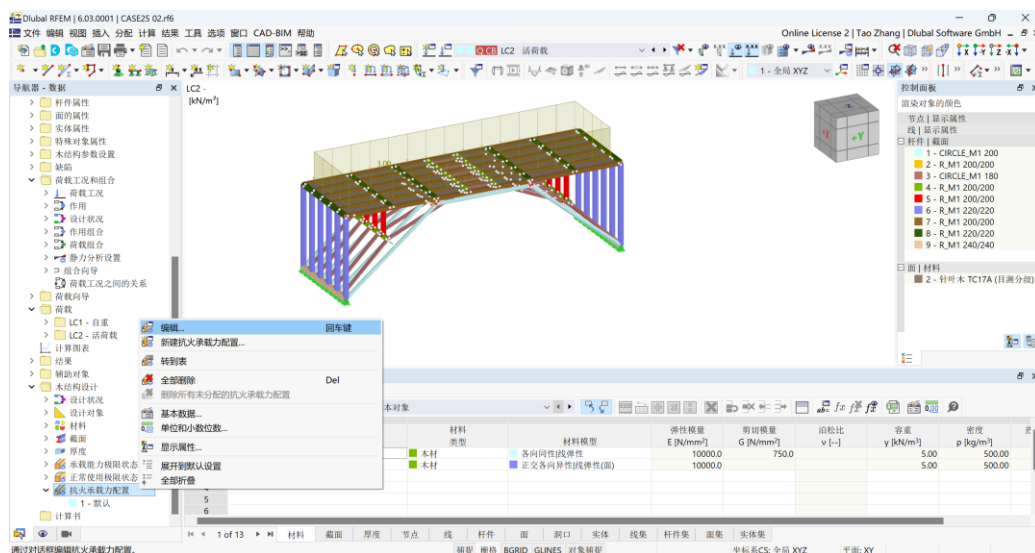


图 4.9 编辑防火承载力配置

2.在【编辑防火承载力配置】对话框中，可以指定构件耐火面的情况、耐火极限时间。

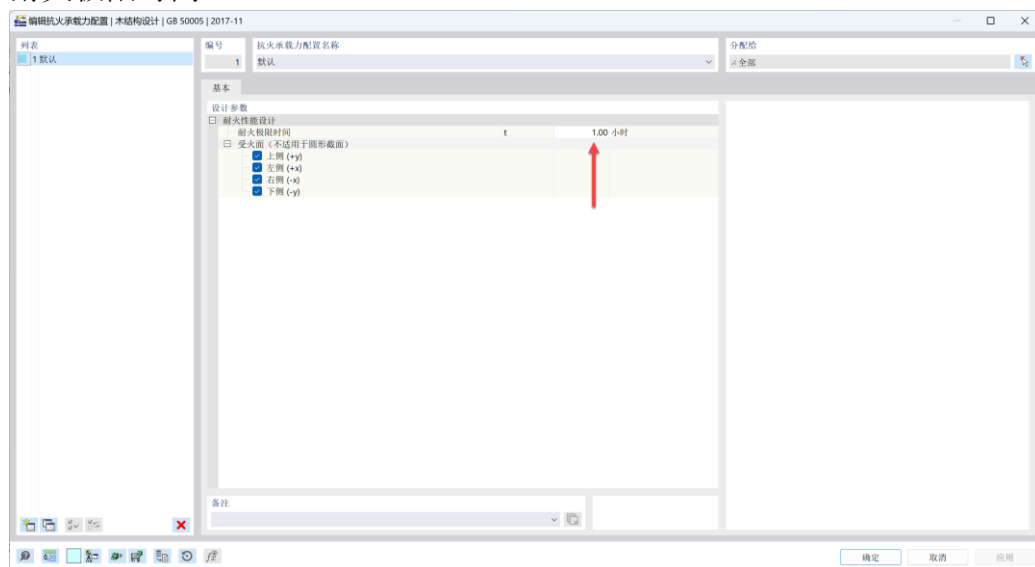



图 4.10 指定耐火极限、耐火面

3.点击对话框右上角的  按钮，将防火承载力配置分配给模型中的所有构件。点击对话框右下角的【确定】按钮，关闭对话框，完成防火承载力的配置。

5 计算与结果查看

5.1 计算

1. 点击菜单栏【计算】-【全部计算】，程序会计算模型中的所有工况、组合、设计模块。

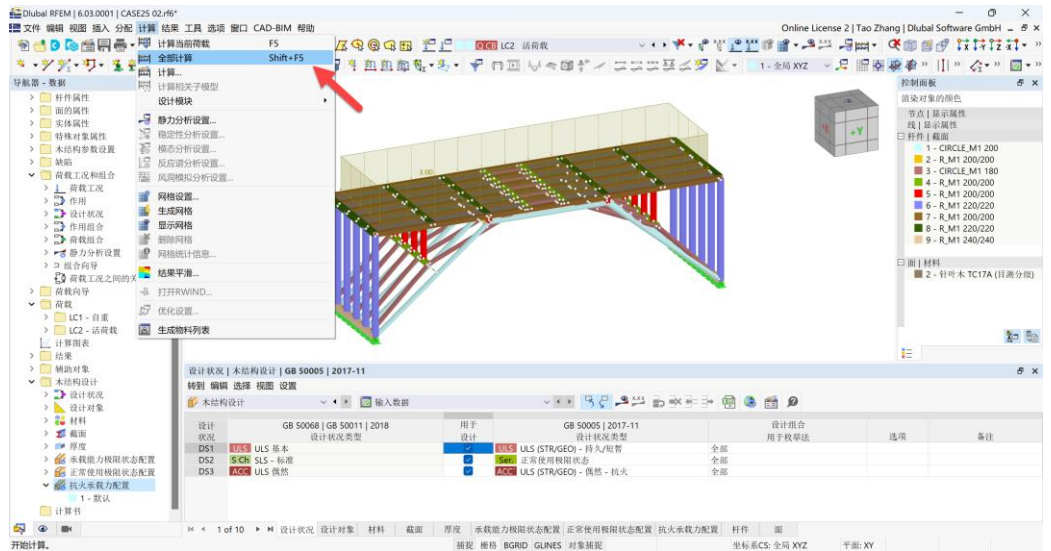


图 5.1 计算-全部计算

2. 在进行计算时，程序会自动打开计算进度对话框。

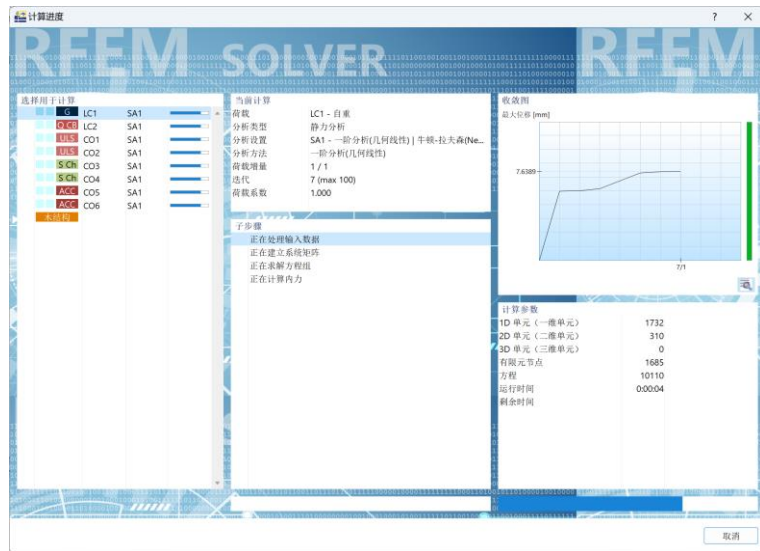


图 5.2 查看计算进度

5.2 结果查看

1. 计算完成后，导航器会新增“结果”选项卡。切换至结果选项卡时，可以选择当前显示哪种计算结果。

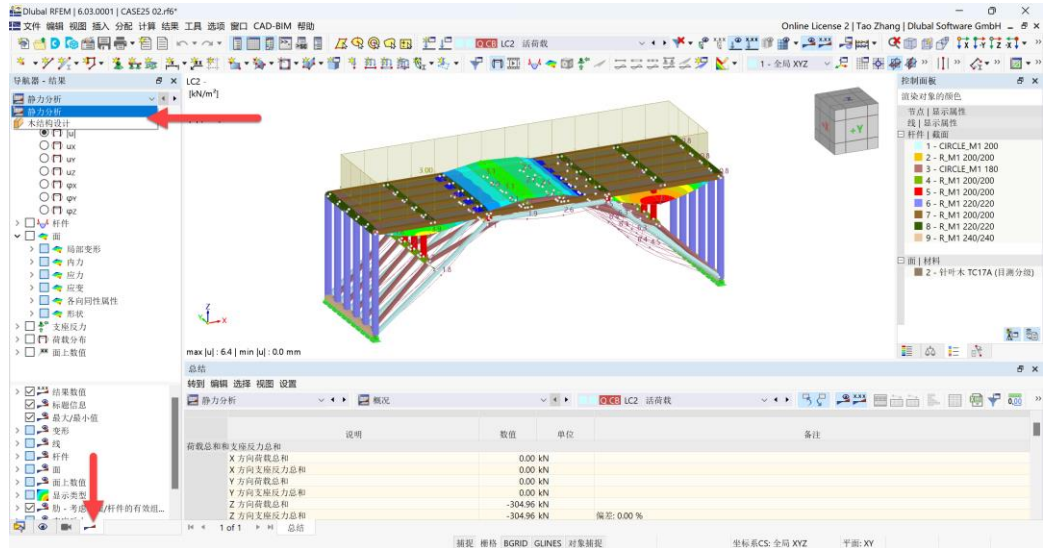


图 5.3 查看计算结果

2. 当选择结果类型为“静力分析”时，程序会显示当前工况/组合的受力分析结果。受力分析结果包含变形、内力、应力等力学分析结果。

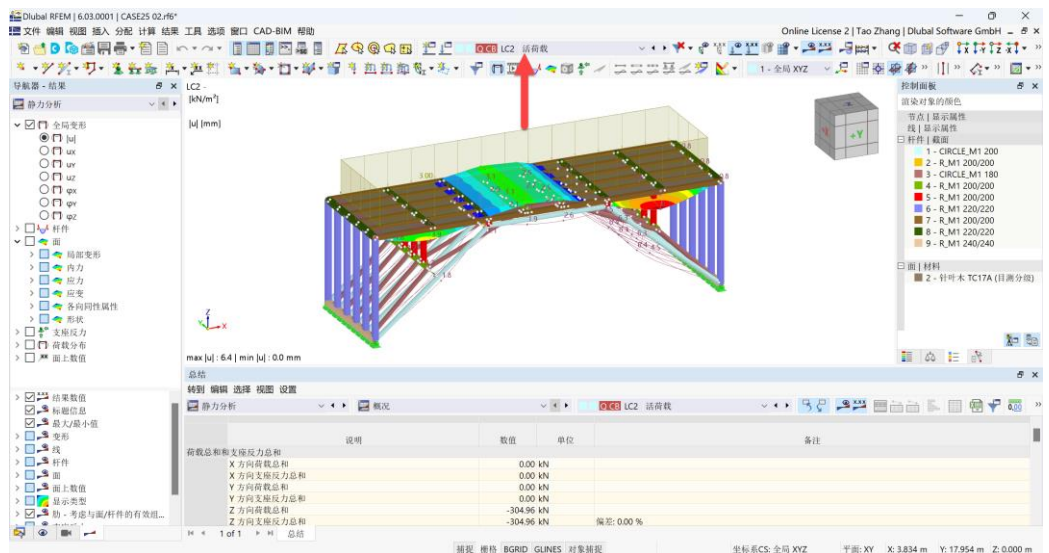


图 5.4 查看 LC2 静力分析结果

3.在左侧导航器中,可以选择当前显示结果为内力、变形还是应力。

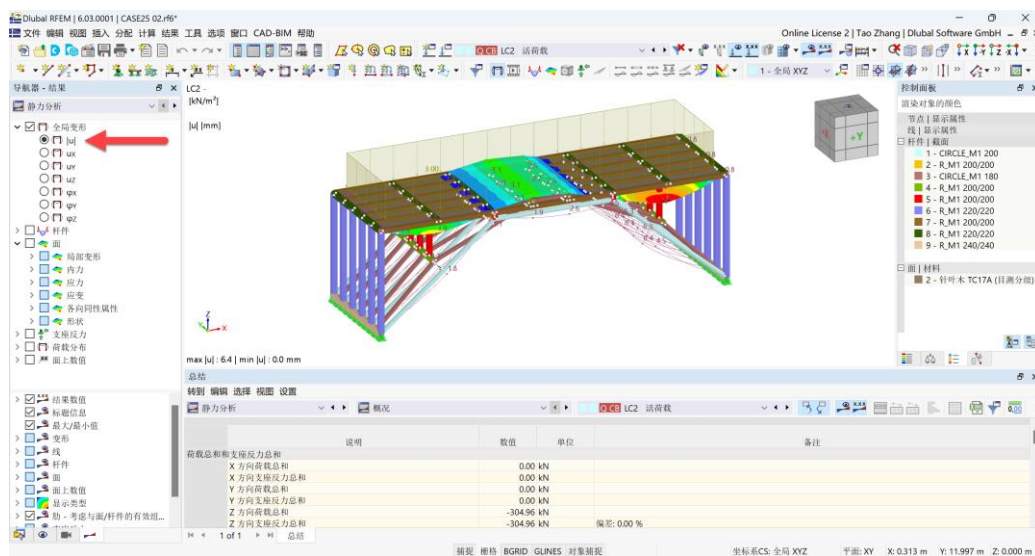


图 5.5 查看全局变形结果

4.当结果类型选择为设计模块的结果时,程序会显示设计模块包含的所有荷载组合的设计包络结果。此时切换不同的工况不会影响结果显示。

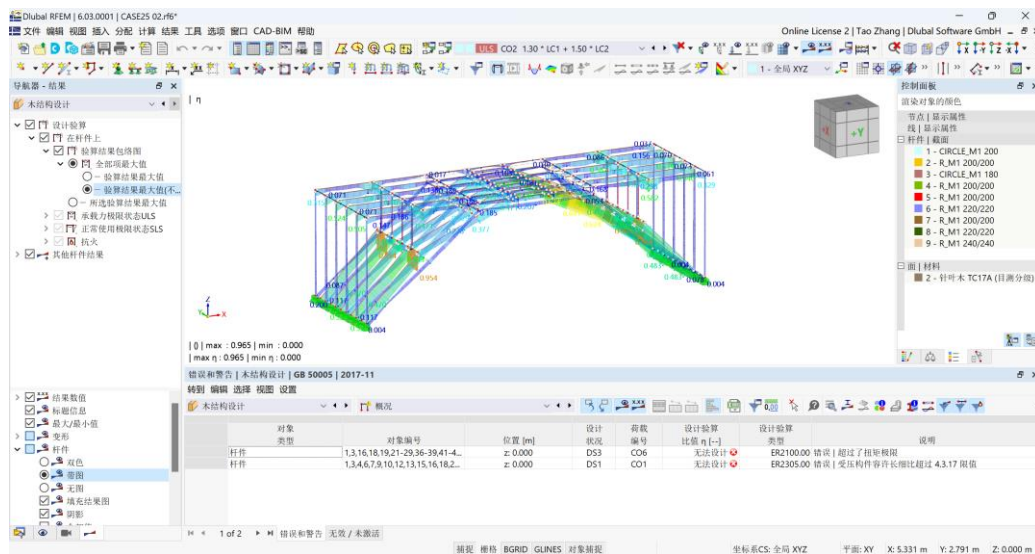


图 5.6 查看设计结果

5.可以将“设计结果”简单理解为,规范对结构给出了各种各样的要求,例如强度要求、稳定性要求等。程序会根据受力分析得到的内力结果,按照规范条文进行了一项项的验算,这些验算结果值与规范许用值的比值,称为“设计利用率”。

6.不难理解,如果设计利用率 >1.0 ,说明结构不满足规范要求,需要调整截面、结构形式、荷载等。

7.此时在左侧导航器结果中,可以将当前结果显示类型选择为所有验算项的最大值(不含警告),即可查看可以正常验算的所有验算项的最大值。

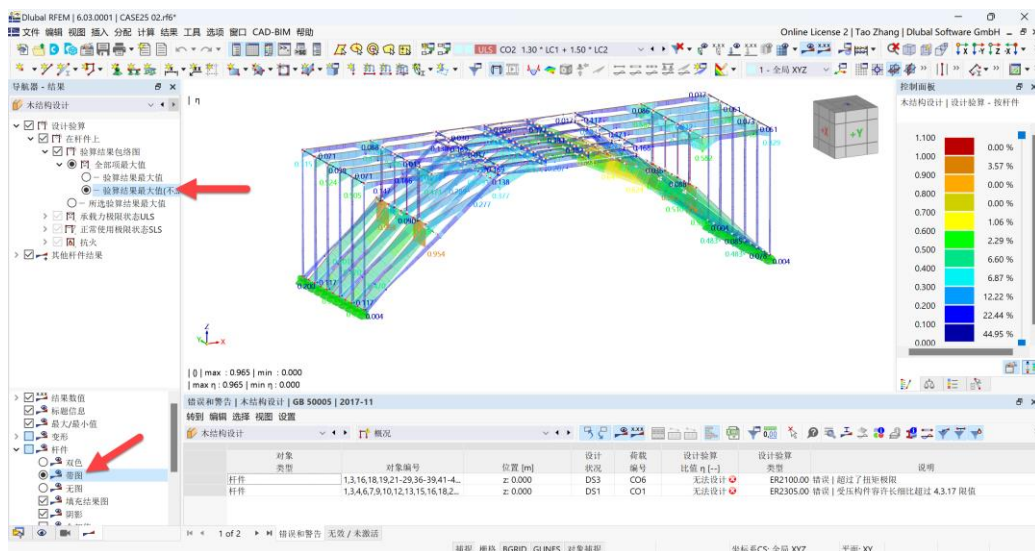


图 5.7 查看带图风格结果

8.此外,还可以在左侧导航器结果中,查看某一项的验算结果、某几项验算结果的包络值。

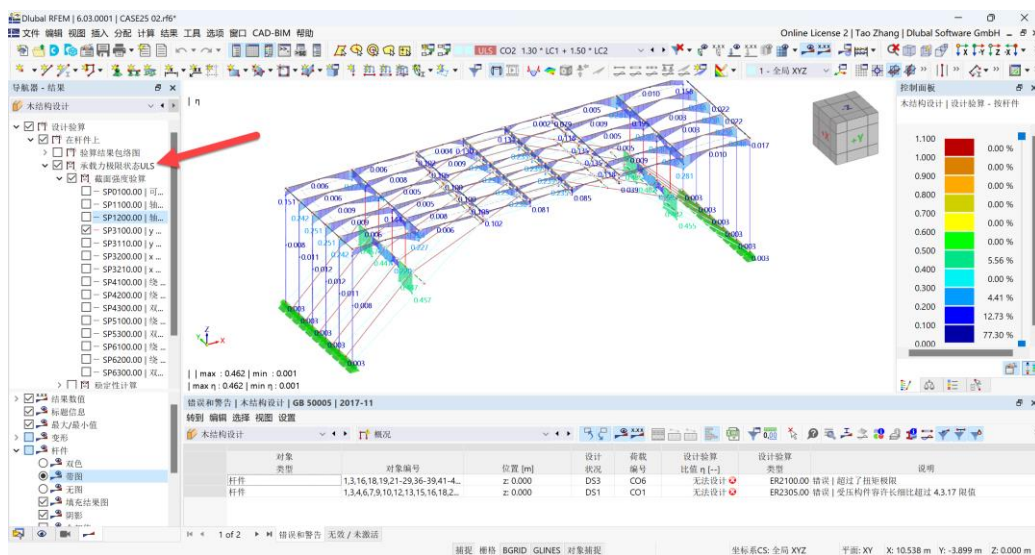


图 5.8 查看某项验算结果

9.除了以图形方式查看结果以外,还可以通过表格查看结果。可以看到,部分杆件长细比超限,部分杆件的扭矩超限。

10.杆件长细比超限可以通过增加杆件截面、减小杆件长度来实现。

11.由于国标木结构设计规范并未给出木结构杆件受扭该如何验算,但是扭矩肯定会对杆件强度造成影响。所以当杆件中的扭矩不可忽略时,程序会给出警告。

6 整理计算书

6.1 生成计算书

1. 计算完成、所有杆件设计利用率均小于 1 后，我们可以整理计算书。在左侧导航器数据>计算书处，右键单击，选择新建，打开【计算书管理器】对话框。

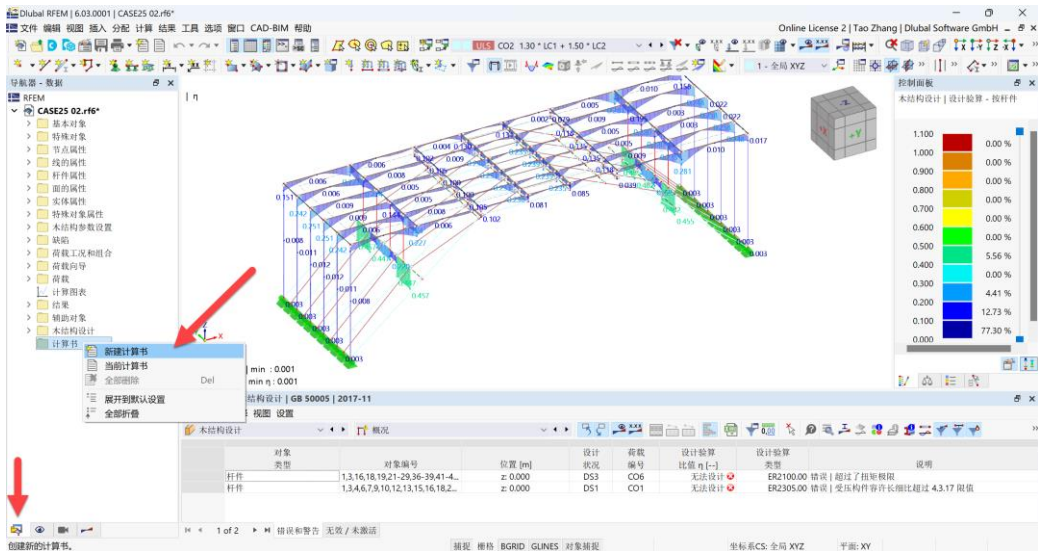


图 6.1 新建计算书

2. 此时我们可以勾选需要体现在计算书中的内容，例如结构都用到了哪些截面、验算详情如何等等。

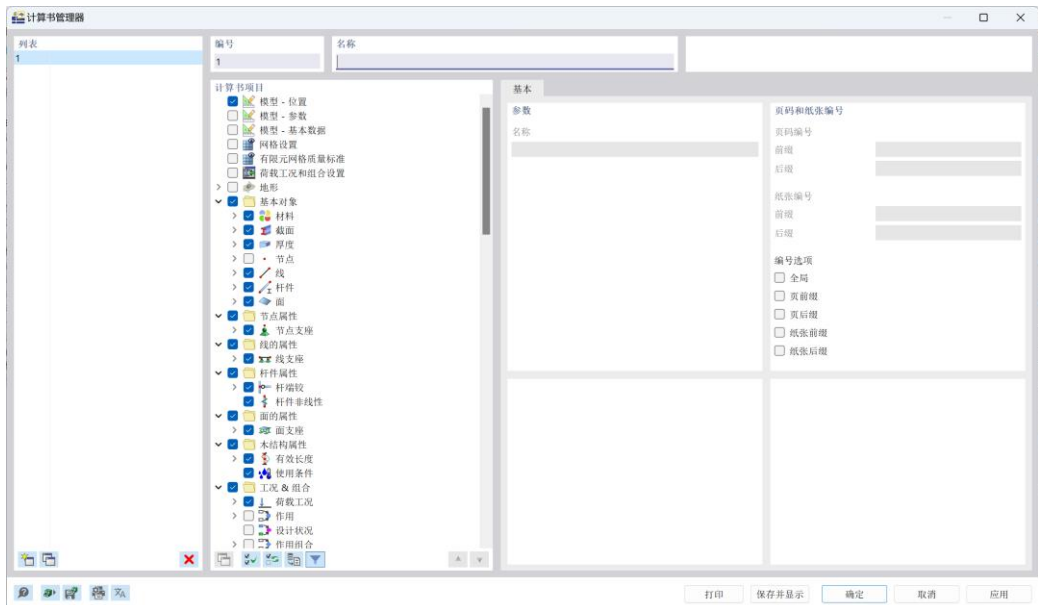


图 6.2 勾选验算条目

3.勾选好所需的条目后，点击对话框右下角的【保存并显示】，即可预览计算书。

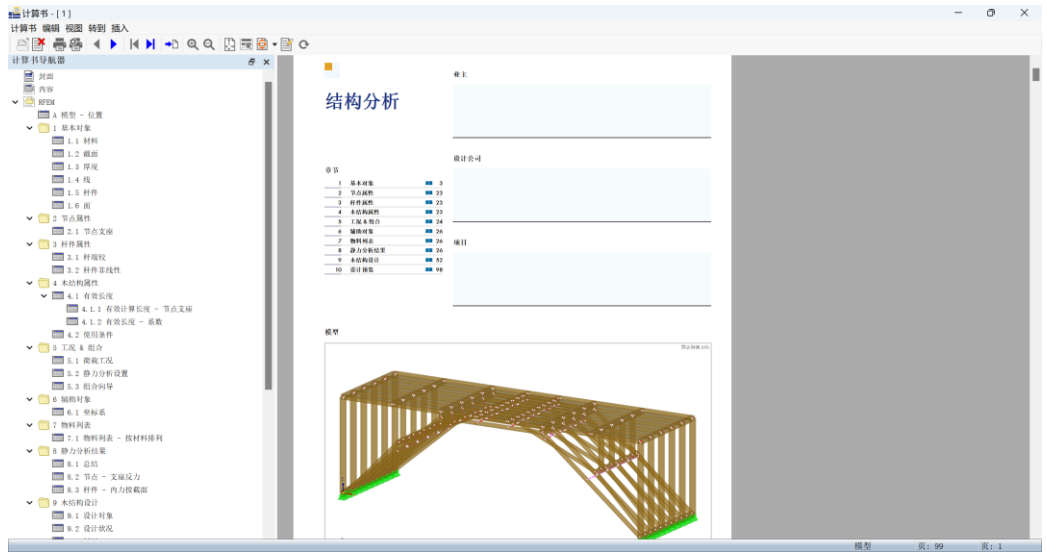


图 6.3 预览计算书

4.在计算书管理器中勾选的条目，大部分以表格的形式在计算书中体现。

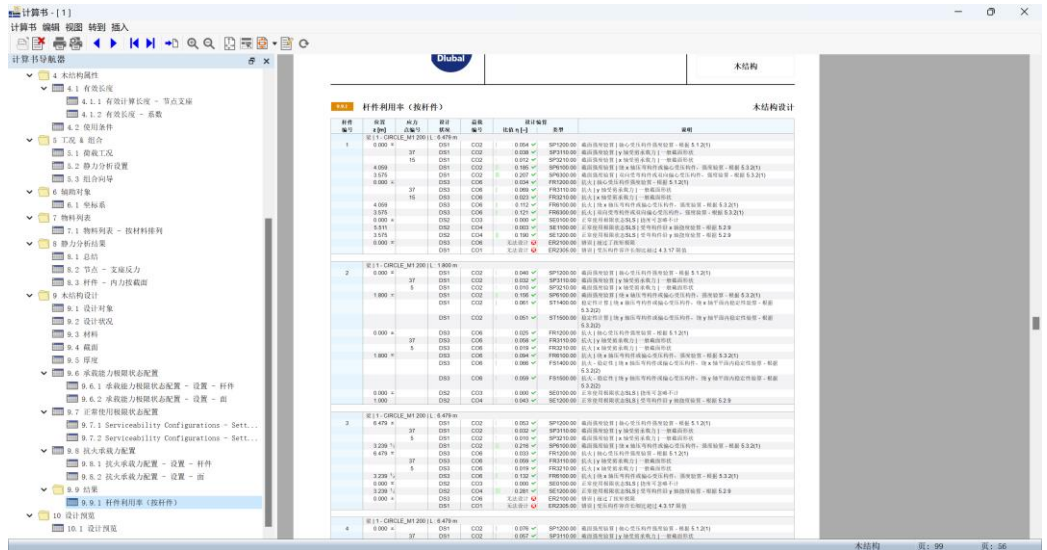



图 6.4 表格形式的验算详情

6.2 将图片插入计算书

1. 我们可以将模型调整到合适的视图(例如显示设计利用率、变形结果)。之后点击工具栏中的按钮，将视图打印到计算书中。

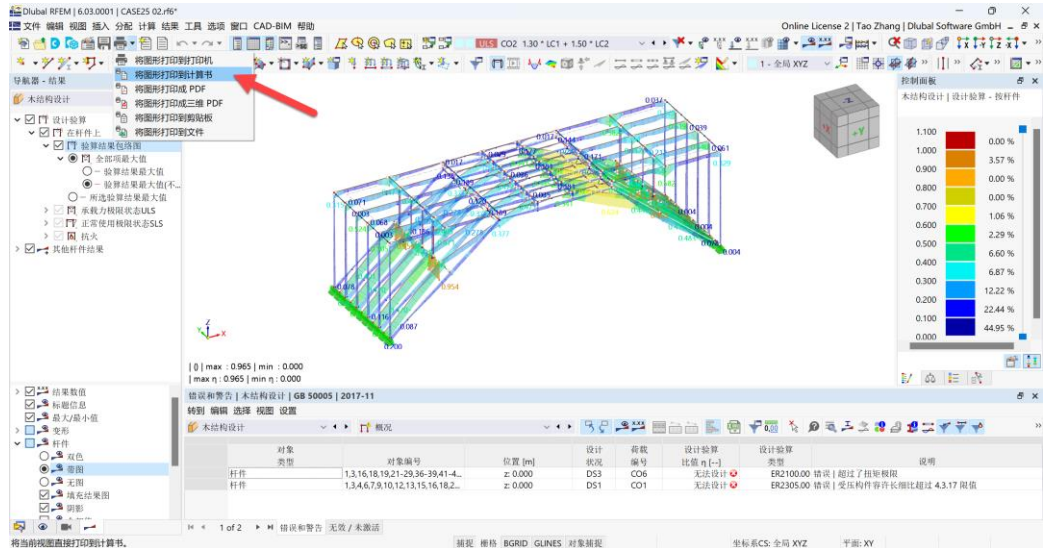


图 6.5 将图形打印到计算书

2. 程序会自动打开【打印图形】对话框。此时可以在该对话框中，定义图形的名称、在计算书中的位置、图片高宽等一系列信息。

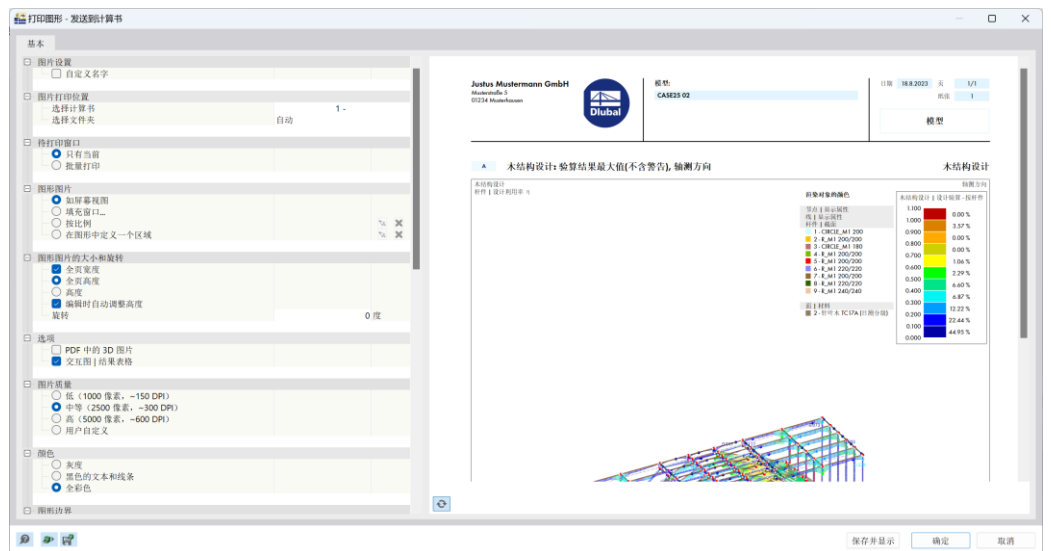


图 6.6 打印图形对话框

3. 教育版计算书会存在水印，该水印无法去除，请各位同学理解。