



线性静力 - 预应力钢筋锚固区详细分析

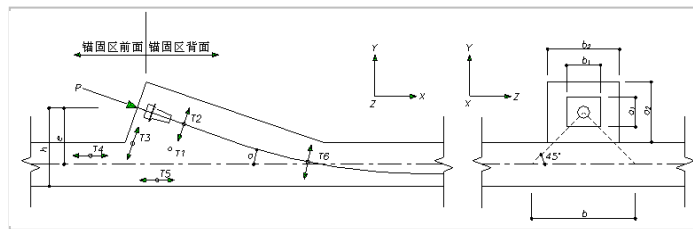
1. 概要

预应力钢筋的锚座位置，由锚具局部压力引起的应力非常复杂，在靠近垫板处会产生横向压应力，在其它部位会产生横向拉应力。在较大张力作用下有可能引起构件纵向开裂，较大的主拉应力也可能造成斜向裂缝。

鉴于近年预应力混凝土梁桥出现的一些纵向或斜裂缝，公路规范对锚固区要求进行局部应力分析(公路规范5.7.3条)并对端块提出了构造要求。有些国家的规范提出了简化计算方法、拉压杆模型(Strut-and-Tie Model)以及有限元分析方法。

本例题将介绍预应力钢筋锚固区的三维有限元分析方法，确认锚固区的应力状态并进行配筋。

1.1 预应力钢筋锚固区配筋

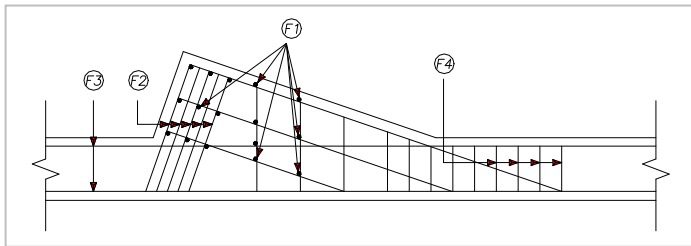


[预应力钢筋锚固区张力分布]

预应力钢筋锚固区的受力状况如下：

- ①. 锚固区背面Z方向上的剥离力(Spalling Force) T1
- ②. 锚固区背面Y方向上的破裂力(Bursting Force) T2
- ③. 锚固区前和箱形混凝土翼缘上的张力 T3
- ④. 锚固区下部张力 T4
- ⑤. 因为预应力钢筋的偏心布置引起的弯矩张力 T5
- ⑥. 钢筋弯起位置的张力 T6

根据锚固区的张力分布，一般按下图方式配筋。



[锚固区配筋示意]

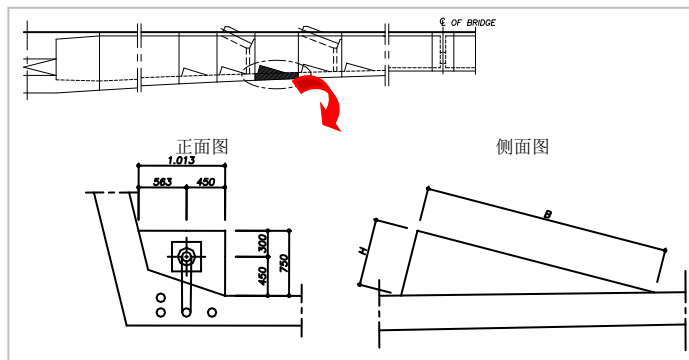
- ①. F1: 针对T1的配筋
- ②. F2: 针对T2和T3的配筋
- ③. F3: 针对T4和T5的配筋
- ④. F4: 针对T6的配筋

2. 结构信息

2.1 几何信息

分析对象是矮塔斜拉桥预应力箱梁的预应力钢筋锚固区，锚固区的顶板有斜拉索的锚固区，底板有内部和外部钢束的锚固区。本模型对底板的外部锚固块进行了三维仿真有限元分析。

底板外部锚固块的正面和侧面图如下：



[底板外部锚固块的正面和侧面示意图]

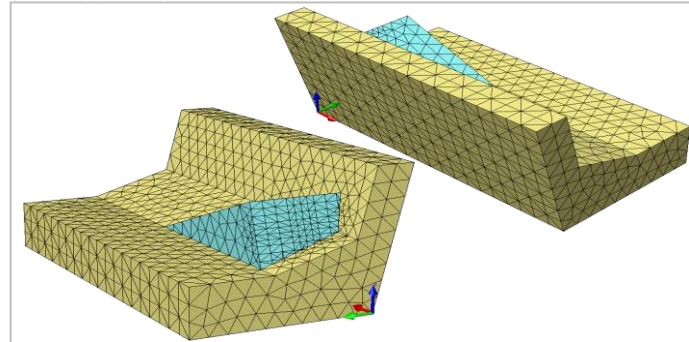
2.2 使用材料

混凝土材料强度为40Mpa，普通钢筋采用了HRB335，预应力钢筋采用了1*7Φ15.2mm钢绞线。

3. 模型

3.1 模型形状

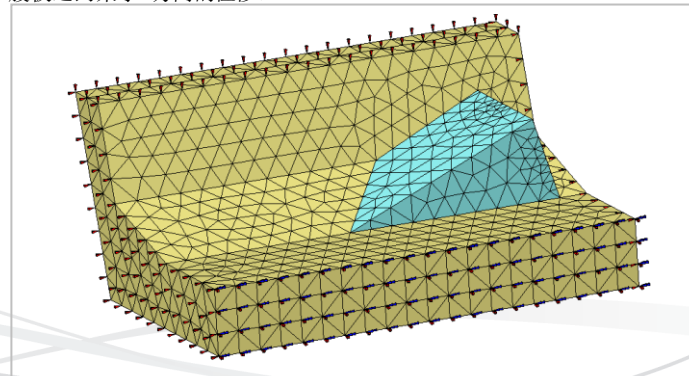
三维实体单元模型包含了锚固块、一部分腹板和底板并考虑了对称效果。底板厚度为0.6m，腹板厚度为0.4m，锚固块尺寸为1,000 X 750 X 2,600。模型形状如下图所示：



[模型形状]

3.2 边界条件

因为只模拟了一个节段的部分模型，所以约束了腹板和底板顺桥向(X方向)的位移。另外因为底板对于XZ平面对称，所以约束了对称面的横向位移。腹板还约束了Z方向的位移。

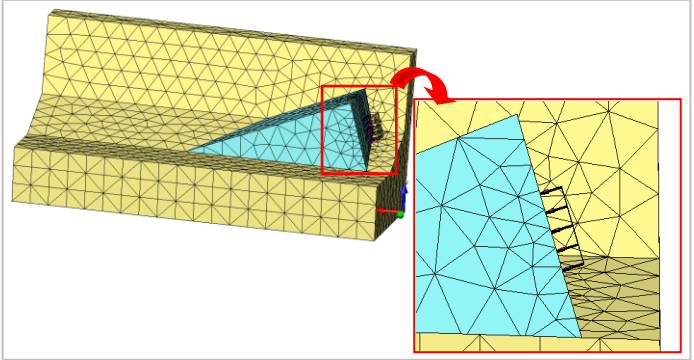


[边界条件]

3.3 荷载

1) 预应力钢筋的张拉力

本例题只查看因为张力引起的锚固区应力，所以只加载了预应力钢筋的张力，并认为张力均匀作用在垫板上。张力大小为 $337.3 / (0.3 \times 0.256) = 439$ 1.93kN/m^2 。(参见下图)

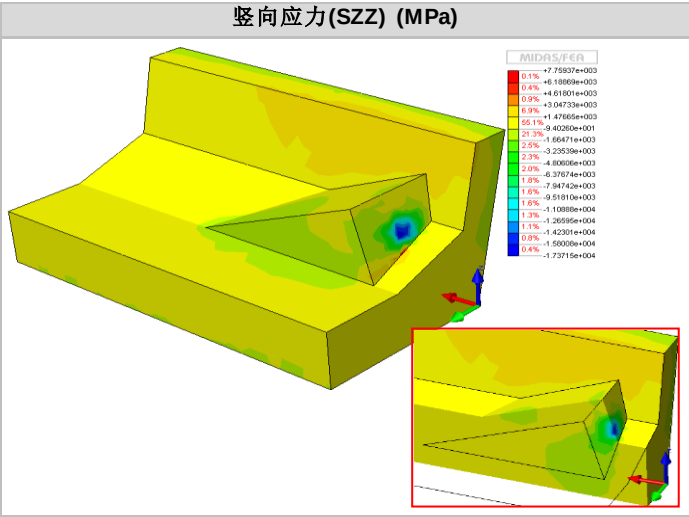
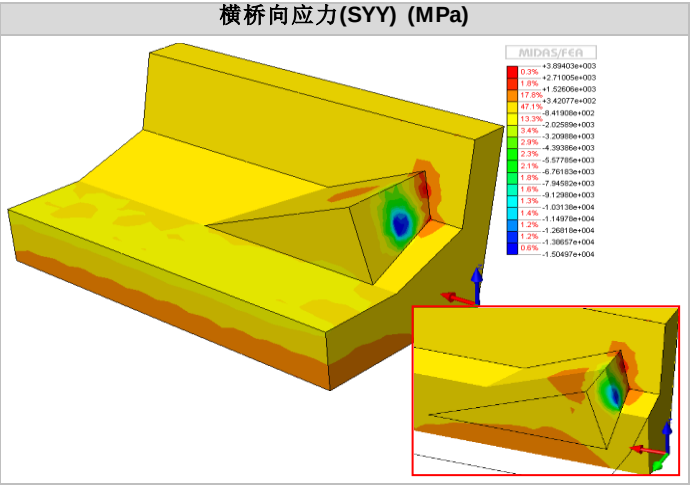
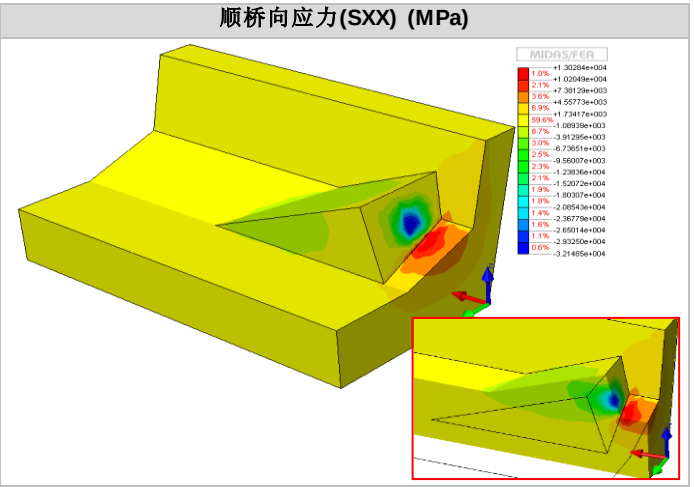


[张拉力荷载]

因为本例题将张力均匀作用在锚固区表面的垫板上，所以无法确认弯矩引起的张力(T5)和弯起钢筋引起的张力(T6)。

4. 分析结果

4.1 应力分析结果



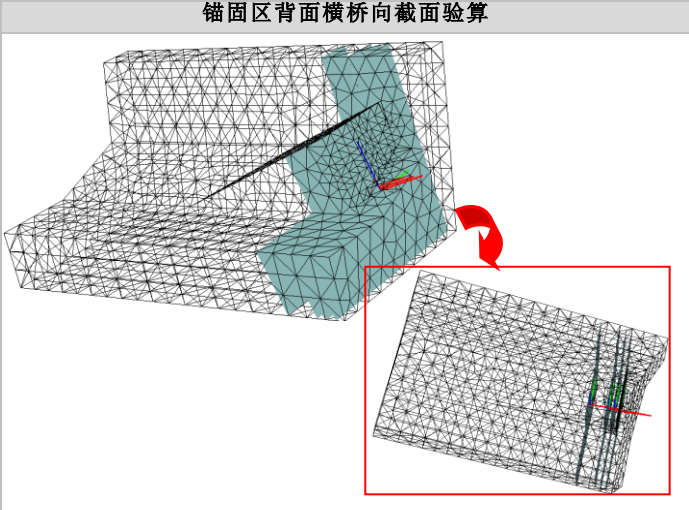
在锚固面上发生较大的压应力，在周边的腹板和底板交界上发生较大的拉力。

4.2 根据应力分析结果计算配筋

使用程序提供的“局部方向内力总和”功能，可以获得计算位置的剖面内力。

1) 锚固区背面横桥向张力(T1)

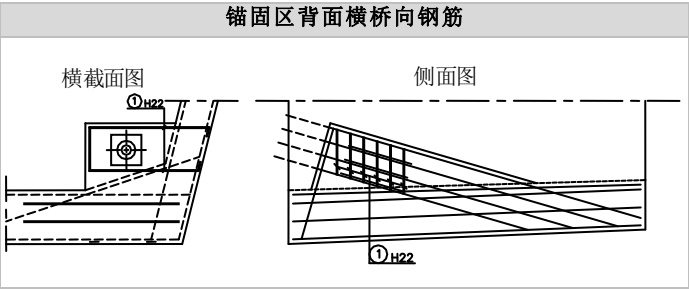
- ① 计算截面位置以及截面内力
- 比较了锚固区背面与受压面平行的几个截面的内力。



截面位置	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)
锚固区背面 1	-488.44	180.93	-888.71
锚固区背面 2	-713.16	117.56	-761.28
锚固区背面 3	-648.64	87.04	-648.64
锚固区背面 4	-685.27	-14.22	-432.41

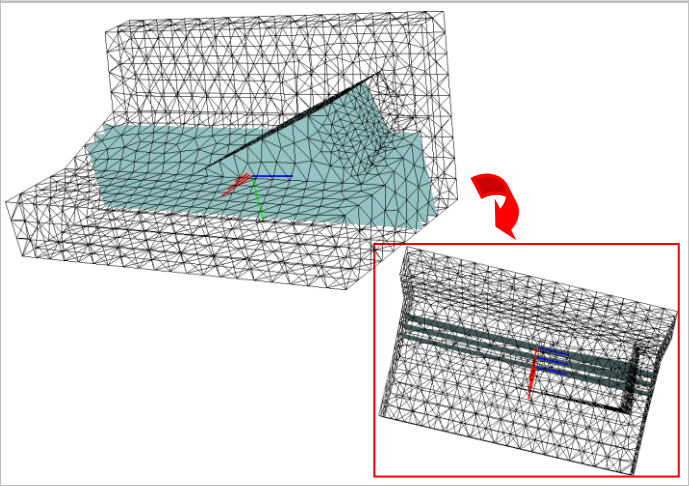
- ② 计算配筋
- $As_{req} = T1 / f_{sa} = 180.93 / (185 \times 1000) = 9.78 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 9.78 \text{ cm}^2$
- $As_{usd} = H22 \times 2 \times 7 EA = 54.194 \text{ cm}^2$
- 配筋范围: $150\text{mm} \times 7EA = 1.05\text{m}$

③ 配筋方法
为了抵抗横桥向拉力，配置了如下图所示形状钢筋。



2) 与锚固区背面垂直的面上的张力(T2, T3)

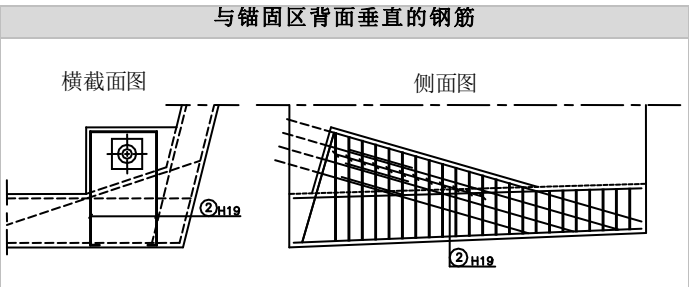
①. 计算截面位置(与预应力钢筋平行的截面)及截面内力
与锚固区背面垂直的计算截面



截面位置	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)
锚固区中心	-211.62	410.78	-37.92
锚固区右侧	-92.56	705.42	-857.32
锚固区左侧	-44.58	107.91	760.22

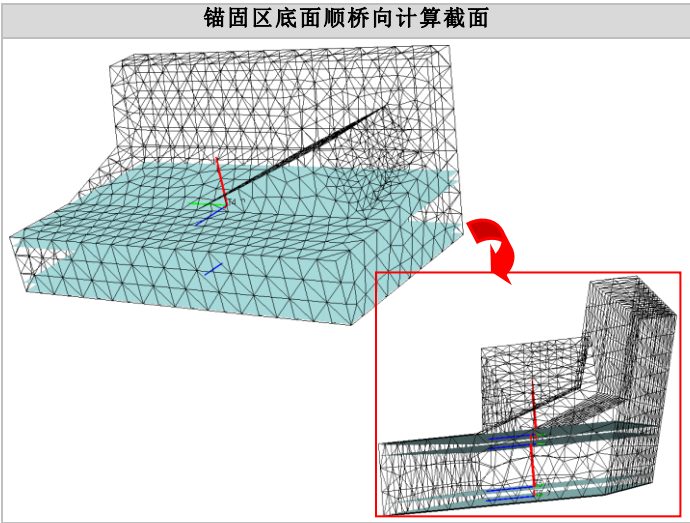
②. 计算配筋
 $As_{req} = T1 / fsa = 705.42 / (185 \times 1000) = 3.813E-3 m^2 = 38.13 cm^2$
 $As_{usd} = H19 \times 2 \times 10 EA = 57.30 cm^2$
配筋范围: 150mm X 10 EA = 1.50m

③. 配筋方法
为了抵抗横桥向拉力，配置了如下图所示形状钢筋。



3) 锚固区底面顺桥向张力(T4)

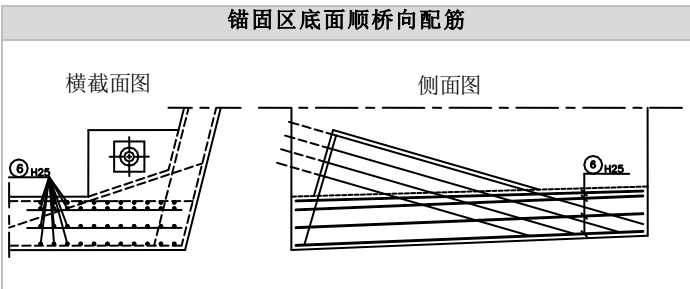
①. 计算截面位置及截面内力



截面位置	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)
底板顶面 1	-75.81	1824.90	-239.42
底板顶面 2	-58.69	1357.00	-418.80
底板底面 1	-45.28	304.26	-652.46
底板底面 2	-41.86	209.33	-624.48

②. 计算配筋
 $As_{req} = T1 / fsa = 1824.9 / (185 \times 1000) = 9.864E-3 m^2 = 98.64 cm^2$
 $As_{usd} = H25 \times 3 \times 12 EA = 182.412 cm^2$
配筋范围: 150mm X 12 EA = 1.80m

④ 配筋方法
为了抵抗顺桥向拉力，配置了如下图所示形状钢筋。



5. 结论

通过对锚固区的三维有限元分析，对应力复杂区域通过程序提供的“局部方向内力的合力”功能获取计算截面位置的内力，然后根据容许钢筋应力进行了配筋设计。因为是根据各位置的应力直接进行配筋，所以配筋的依据更可靠。