



材料非线性 — 桥梁冗余度评价

1. 概要

本例题介绍了使用midas FEA对双梁桥进行冗余(redundancy)评价的方法。桥梁的冗余是指梁出现比较严重的损伤后上部结构抵抗坍塌的能力。国内外设计规范中对双梁桥的冗余没有定量的规定，只有美国公路合作研究计划NCHRP 319(National Cooperative Highway Research Program)以及国内外一些论文中提出了一些定量分析的方法。

本例题中通过材料非线性分析，分析了桥梁的极限状态与规范规定的容许应力相比所具有的刚度和韧性，并针对双梁桥中一根主梁已经发生破坏的情况下对桥梁的应力发展趋势以及桥梁变形趋势做了分析。

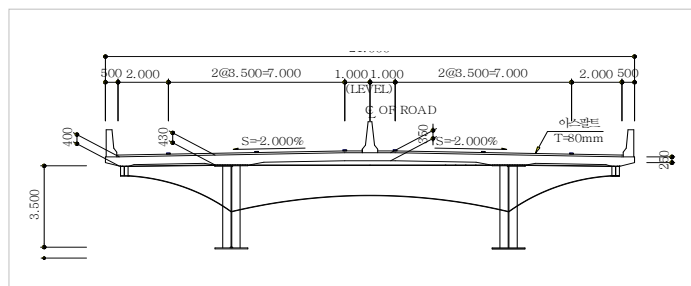
2. 桥梁信息

2.1 桥梁几何信息

(1) 本例题中使用的双梁桥信息如下：

结构形式：	三跨连续双梁桥
桥梁跨度：	$L = 50.0 + 57.5 + 50.0 = 157.5 \text{ m}$
桥宽：	$B = 21.000 \text{ m}$

(2) 主梁间距为11m，横向联系梁间距为4m。



【横截面图】

2.2 材料强度

主梁、横向联系梁、纵梁采用Q370qC，桥面板混凝土抗压强度为35MPa。

材料	种类	容许应力 (MPa)	屈服应力 (MPa)	弹性模量 (MPa)	泊松比
钢材	Q370qC	210	360	210000	0.3
混凝土	-	-	35	24656	0.18

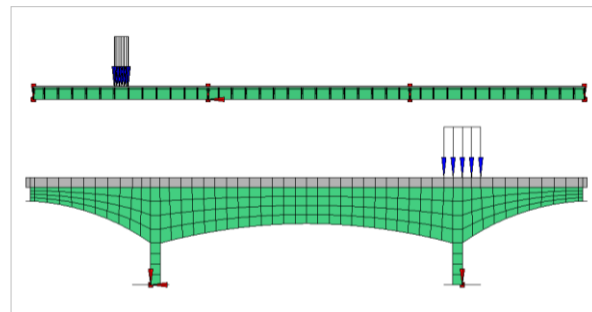
3. 模型

本例题对建模方法仅做简要介绍，详细方法请参照培训例题。

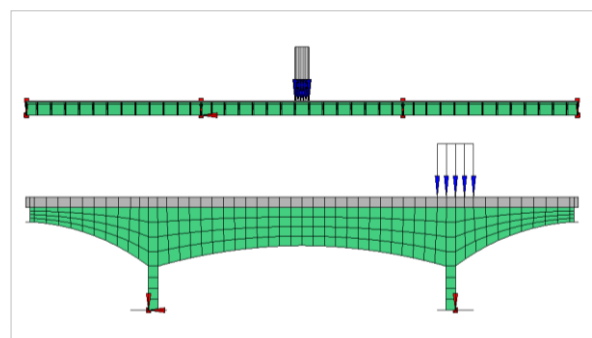
3.1 建模

(1) 本例题是对桥梁损伤前后的桥梁冗余进行分析，损伤前的模型如下图所示在边跨跨中施加了压力荷载。为了计算使结构达到极限状态的荷载

大小，先施加了单位均布荷载(大小为1MPa)并进行了线性静力分析。确认线性分析中发生的最大应力，并与构件的容许应力和屈服应力进行比较，预测使结构达到极限状态的荷载大小，并重新做非线性分析。

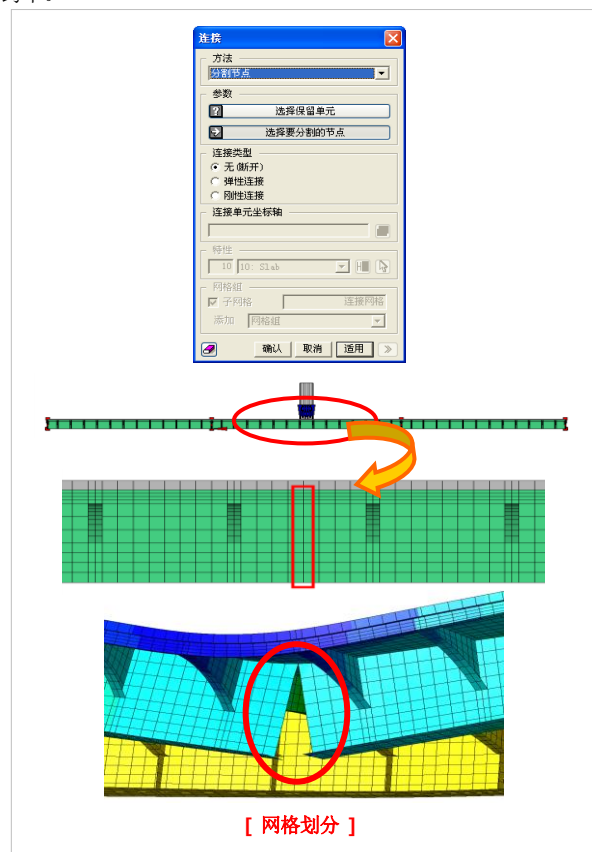


【损伤前桥梁-在边跨跨中加均布荷载】



【损伤前桥梁-在中跨跨中加均布荷载】

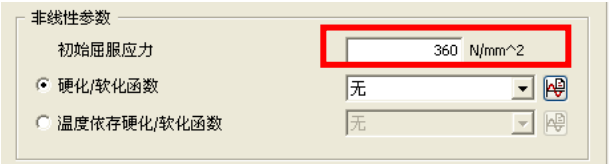
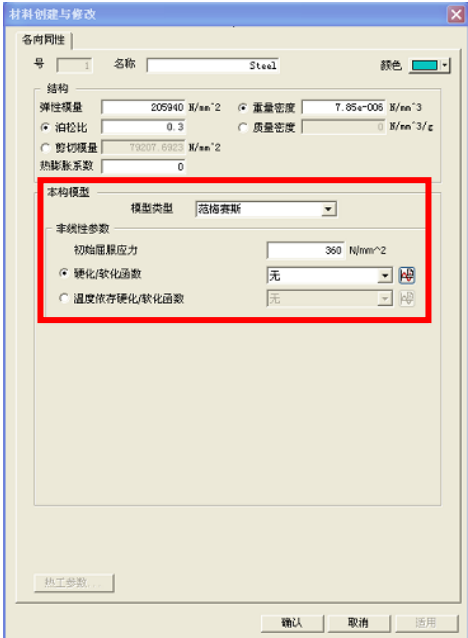
(2) 假设桥梁损伤发生在一根主梁的中跨跨中位置，损伤情况是下翼缘板和腹板发生了撕裂。建模时将撕裂位置的模型节点分离，荷载加载在中跨跨中。



【网格划分】

3.2 材料和截面

(1) 钢材的非线性模型选用了范梅塞斯(Von Mises)本构模型，没有考虑应变硬化，假设材料是完全塑性材料。范梅塞斯模型是使用较为普遍的金属材料模型，以剪应力 τ_{oct} 超过容许值为破坏准则。输入方法参见下图。

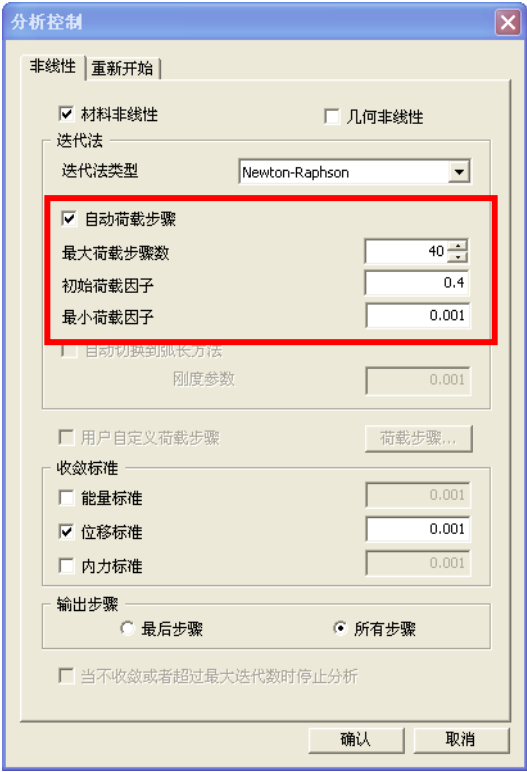


[范梅塞斯材料本构]

(2) 混凝土材料采用线性材料。

3.3 非线性分析中使用的数值分析方法

- (1) 迭代计算方法采用了Newton Raphson Method, Newton Raphson Method在反复计算过程中采用更新的切线刚度，可以使用较少的迭代计算次数达到收敛。
- (2) 使用自动调整荷载步功能，根据计算过程中的收敛情况自动调整荷载增量，从而保证计算收敛。
- 本例题中将损伤前的非线性分析的迭代计算次数设置为40次，初始荷载系数设置为0.4，即将初始荷载增量设置为总荷载的40%。损伤后模型的初始荷载系数设置为0.25，收敛条件中荷载范数设置为0.001。



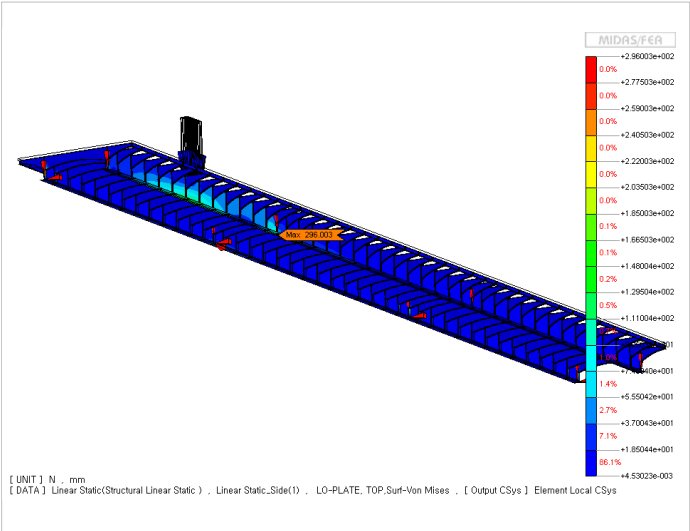
[非线性分析时数值分析选项]

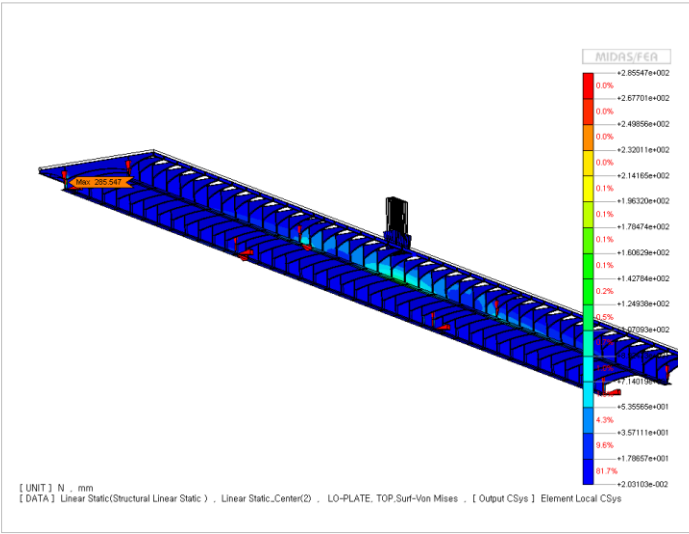
4. 分析结果

通过查看范梅塞斯应力分布以及荷载-位移曲线，确认结构的刚度和韧性的变化。

4.1 线性分析结果

首先查看在单位均布荷载(1MPa)作用下线性静力分析的应力结果。如下图所示，当边跨跨中作用单位均布荷载时，最大应力发生在内部支座位置，应力大小为296.003MPa(Von Mises Stress)。当中跨跨中作用单位均布荷载时，最大应力同样发生在中间支座，大小为285.547MPa。





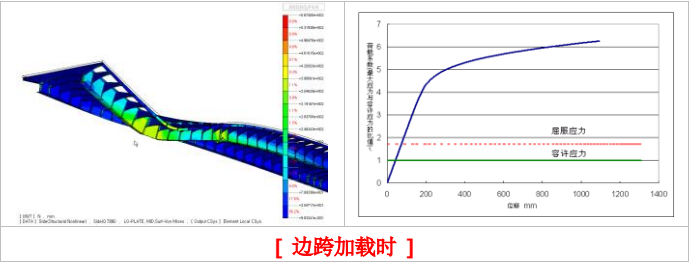
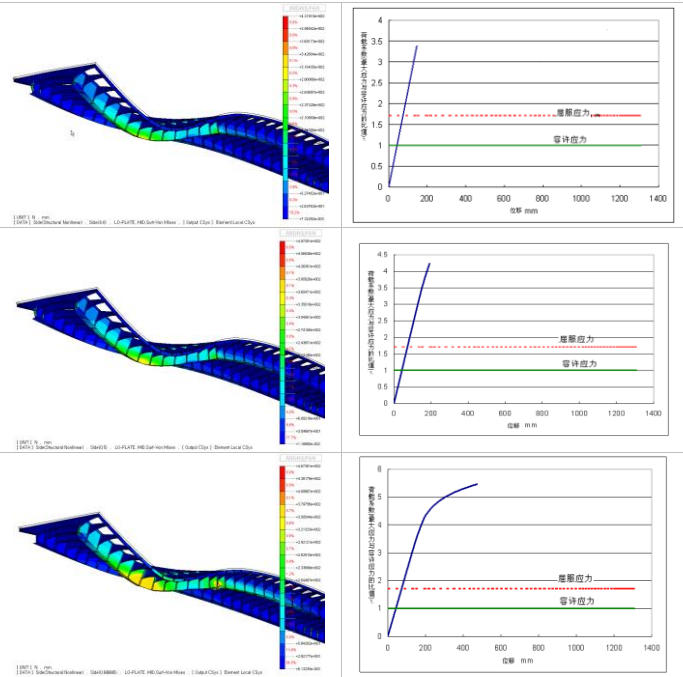
[单位均布荷载作用下线弹性应力结果]

加载位置	最大应力 (MPa)	容许应力 (MPa)	最大/容许	屈服应力 (MPa)	最大/容许
边跨	296.003	210	1.409	360	0.822
中跨	285.547	210	1.400	360	0.793

在单位均布荷载1MPa作用下，线性分析结果的最大应力为容许应力的1.4倍、屈服应力的0.8倍。所以非线性分析中使用的均布荷载最小应大于屈服应力才能查看到构件屈服后的发展情况，非线性分析中荷载取6Mpa。

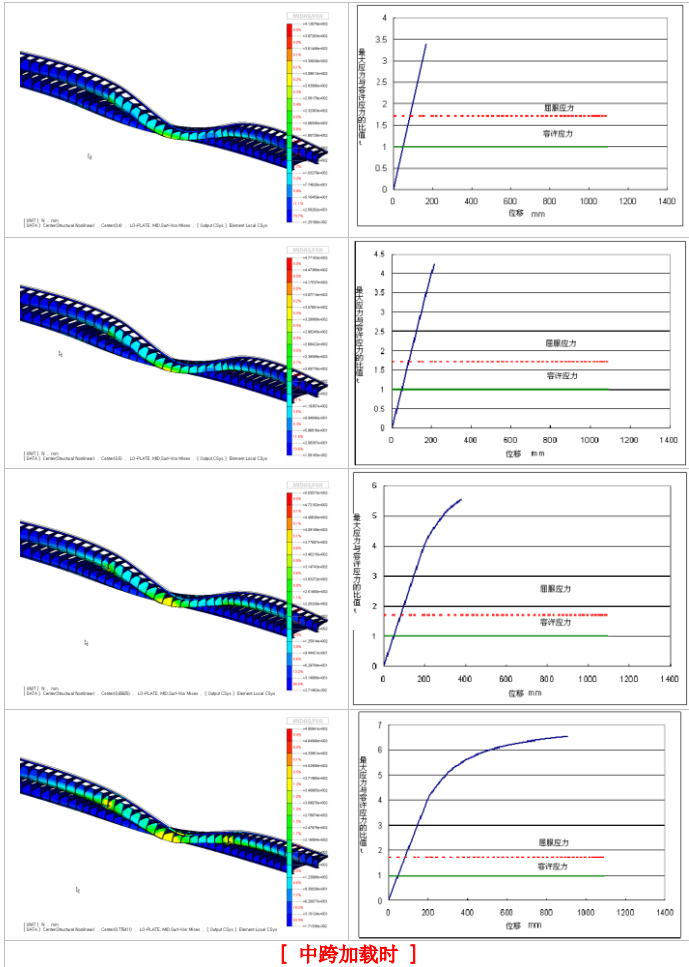
4.2 非线性分析结果

边跨加载时荷载-位移曲线如下。从图中可看出，在六倍容许应力作用下构件依然没有破坏，此时最大位移在1.3m左右。



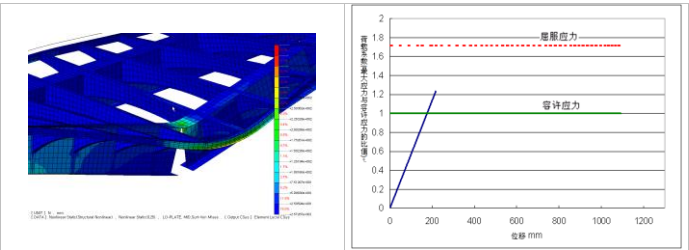
[边跨加载时]

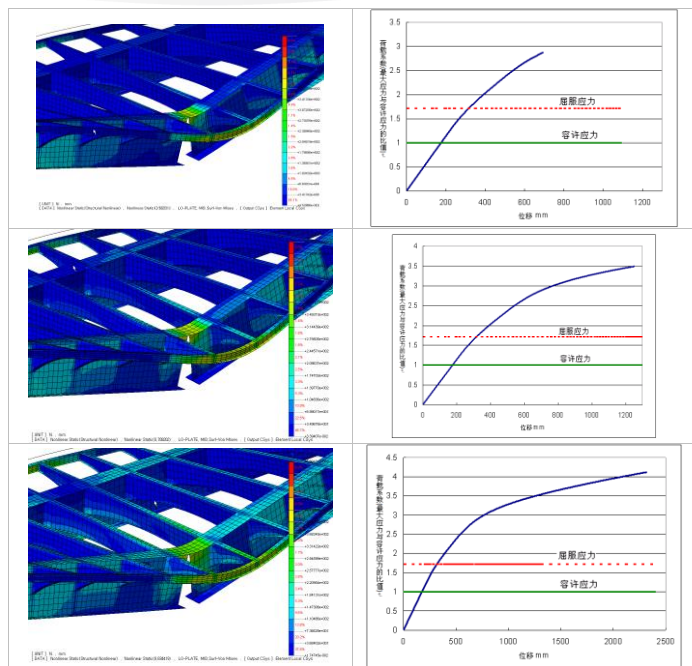
中跨加载时荷载-位移曲线如下。从图中可看出，在六倍容许应力作用下构件依然没有破坏，此时最大位移在0.91m左右。



[中跨加载时]

对有损伤的梁的模型加载时，如下图所示在较小荷载作用下产生了较大的位移。从图中可看出，在四倍容许应力作用下构件依然没有破坏，此时最大位移在2.30m左右。

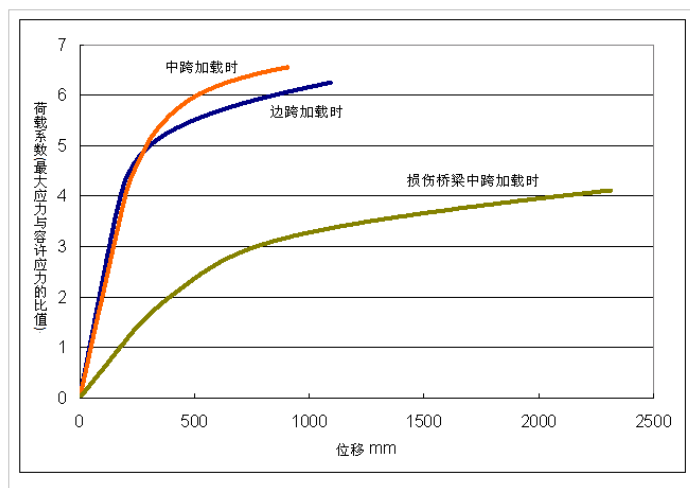




5. 结论

(1) 从图中可以看出没有损伤的双梁桥的应力达到4.2倍容许应力时依然处于弹性状态，可以推测发生6.5倍容许应力时结构依然安全，即发生规范中规定的容许应力后依然有发展到6.5倍容许应力的冗余度。

(2) 从图中可以看出有损伤的双梁桥的应力达到容许应力时依然处于弹性状态，从图中目前看不到致使桥梁倒塌的荷载，可以推测当应力达到4.5倍容许应力时结构将发生破坏，即有损伤的桥梁的冗余度大约为4.5。



[边跨加载时]

