

1.23 弹塑性分析若干问题解答

侯晓武

1.23.1 梁单元出现塑性铰后，还能否承担弯矩？

当截面上的弯矩小于极限弯矩时，截面不会出现转动，当截面上的弯矩达到极限弯矩时，截面会发生转动，这一特点与一般的“铰”类似，因而成为塑性铰。

如图 1.23.1 所示，如果设为双折线铰，当构件上弯矩达到屈服弯矩时，构件上出现塑性铰。此时，构件所承担的弯矩能否继续增加，与刚度折减系数有关。如图 1.23.1 所示，如果达到屈服弯矩后，刚度折减系数设为 0.01，则曲线接近理想的弹塑性曲线，即构件上基本不能再承担增加的荷载。

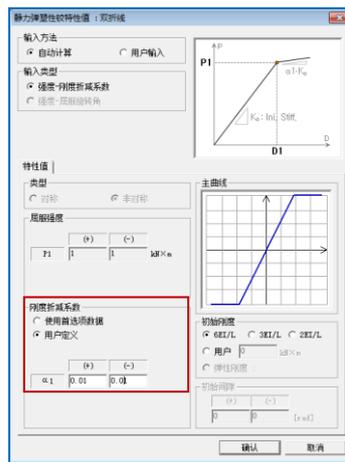


图 1.23.1 双折线铰

与一般的“铰”不能承担弯矩不同，塑性铰可以传递一定大小的弯矩。结构一般为超静定结构，当某一个单元出现塑性铰后，继续增加外荷载时，塑性铰处的弯矩不会继续增加，这部分荷载会重分布到其它构件上。

1.23.2 梁铰设为三折线类型时，P1(开裂弯矩)默认为 P2 (屈服弯矩) 的 0.5 倍？

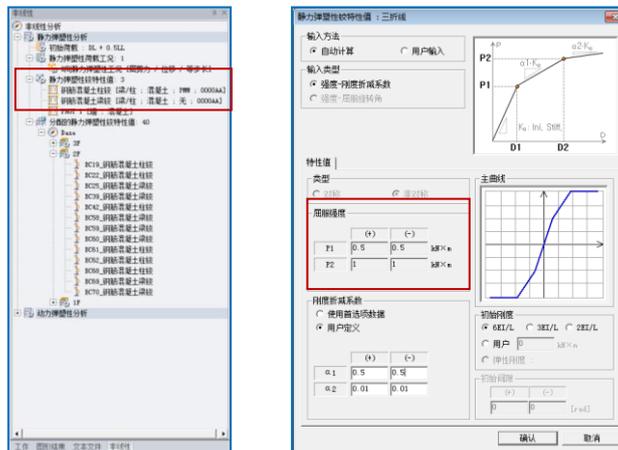


图 1.23.2 三折线铰（定义塑性铰类型）

如图 1.23.2 所示，定义弹塑性较时，这里显示的 P1 和 P2 仅为示意值，并非真实值，因而 P1(开裂弯矩)和 P2 (屈服弯矩)既不是 0.5 倍的关系，也不是 0.5kN·m 和 1kN·m。

如果想要查看某一个构件的塑性较特性值，应该到分配的弹塑性较特性值中进行查看。如图 1.23.3 所示，此处的 P1 是考虑混凝土的抗拉强度及混凝土面积等计算，P2 是根据混凝土的抗压强度以及构件中的配筋数据等计算得到。

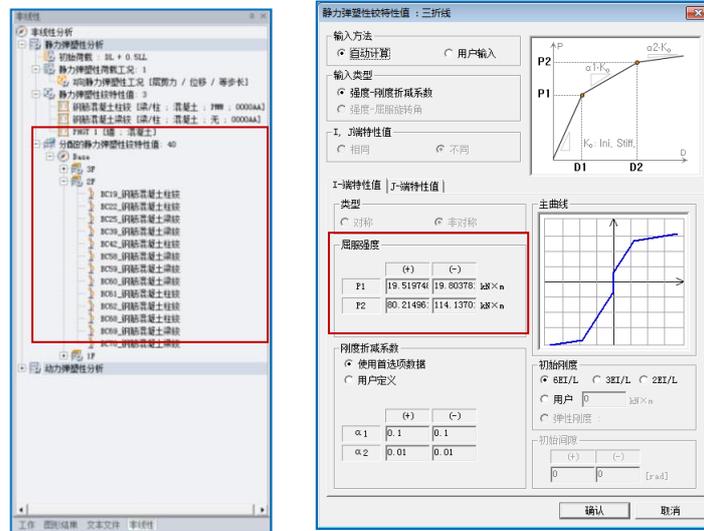


图 1.23.3 三折线较 (分配塑性较后)

1.23.3 初始荷载作用下构件屈服

模型中部分梁构件存在超筋现象 (图 1.23.4)，分析后未予以调整。导致初始荷载作用下这些构件出现了屈服和破坏现象 (图 1.23.5)。采用实配钢筋进行弹塑性分析时，需要在绘图师中对超筋构件的实配钢筋进行修改。

构件	楼层	标高	极限受压区高度 (m)		最大配筋率 (%)		斜截面 (kN)		剪力 (kN/m ²)	
			x	[x]	ps	psmax	V	[V]	v+t	[v+t]
174	1F	7.9	0.36	0.96	2.05	3.00	8178.81	5435.29	0.00	0.00
175	1F	7.9	0.36	0.96	1.86	3.00	6021.62	5435.29	0.00	0.00
301	2F	12.6	0.09	0.39	0.99	3.00	2471.73	1322.59	0.00	0.00
304	2F	12.6	0.39	0.39	3.75	2.75	428.27	860.54	2148.01	4175.00
305	2F	12.6	0.39	0.39	4.30	2.75	883.74	914.33	4184.40	4175.00
334	2F	12.6	0.11	0.37	1.30	3.00	1703.40	1322.59	0.00	0.00
339	2F	12.6	0.26	0.37	2.95	3.00	1393.23	861.29	0.00	0.00
342	2F	12.6	0.56	0.39	7.62	3.00	3114.26	1855.77	0.00	0.00
344	2F	12.6	0.18	0.18	3.22	2.75	147.82	292.25	3113.08	4175.00
378	2F	12.6	0.41	0.39	5.61	3.00	3138.15	2087.74	0.00	0.00
435	3F	15.9	0.57	0.40	4.50	2.75	703.95	867.47	0.00	0.00
481	3F	15.9	0.12	0.37	1.34	3.00	1618.93	1487.91	0.00	0.00
488	3F	15.9	0.21	0.37	2.40	3.00	1209.80	861.29	0.00	0.00
471	3F	15.9	0.37	0.17	6.27	3.00	5565.20	1783.45	0.00	0.00
473	3F	15.9	0.18	0.18	3.34	2.75	129.46	275.06	2178.15	4175.00
507	3F	15.9	0.37	0.17	4.93	3.00	5121.48	1983.88	0.00	0.00
530	3F	15.9	0.38	0.39	5.12	3.00	3335.80	1855.77	0.00	0.00

图 1.23.4 超筋超限信息

1.23.4 性能曲线很好，但找不到性能点

选择“等步长法”计算的时候，曲线非常好，但是查找性能点时，却显示性能点在第一步。

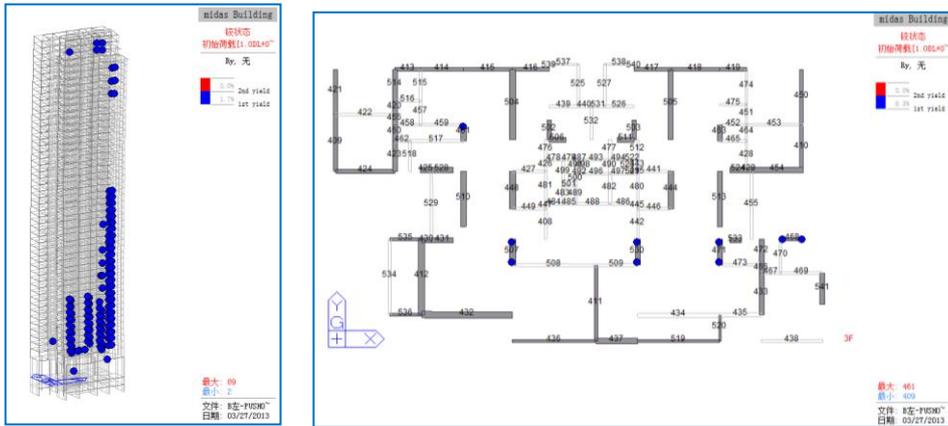
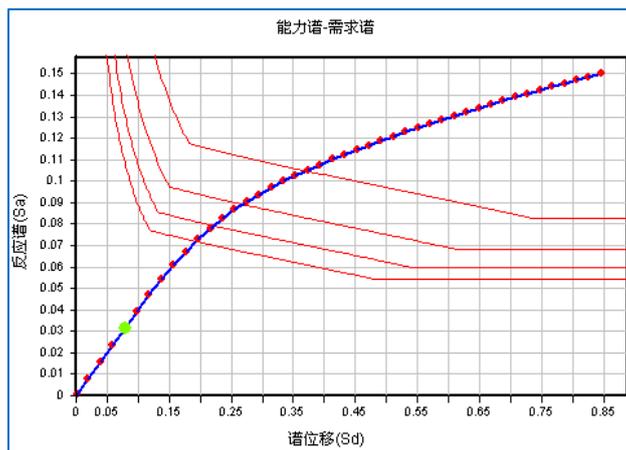
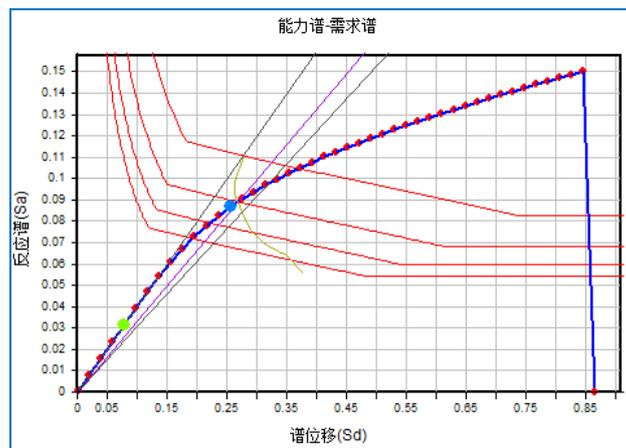


图 1.23.5 梁单元初始荷载作用下塑性较状态



(a)



(b)

图 1.23.6 静力弹塑性曲线

以图 1.23.6 (b) 为例，荷载位移曲线中达到最大值后一般会下降，该最大值为结构的承载力极限值。下降一般是由于迭代不收敛所致。最后一步迭代的时间会非常长，如果点击分析控制窗口中的“停止剩余

荷载工况”，或者是控制位移设置的过小，未达到荷载-位移曲线的极值点，都会出现图 1.23.6 (a) 的情况，即性能点出现在第一步。因而尽管迭代时间比较长，也要出现图 1.23.6 (b) 所示下降段后再终止。

如果采用“自动调整步长”法进行计算的时候，不会出现这种问题。

1.23.5 荷载位移曲线基本类似，但与 perform 3D 性能点不一致的原因？

如果荷载-位移曲线与 Perform 3D 中基本一致，性能点不一致，那么问题就只能是性能点计算方法不同。Perform 3D 中有一个 C2 系数 (图 1.23.7)，如果考虑，计算得到的性能点会高于 midas Building 计算结果，如果不考虑，则性能点位置基本一致。

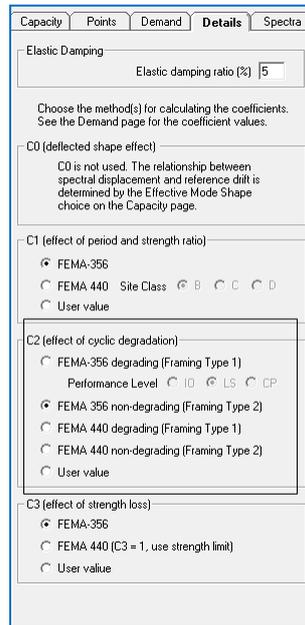


图 1.23.7 perform 3D 中性能点计算时控制参数

1.23.6 弯矩-曲率型塑性铰的截面数量如何确定？

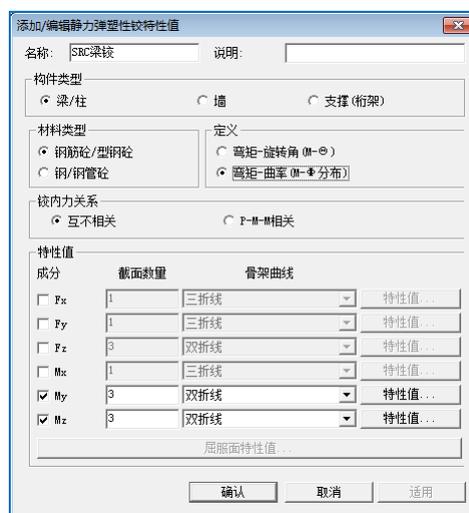


图 1.23.8 弹塑性铰特性值对话框

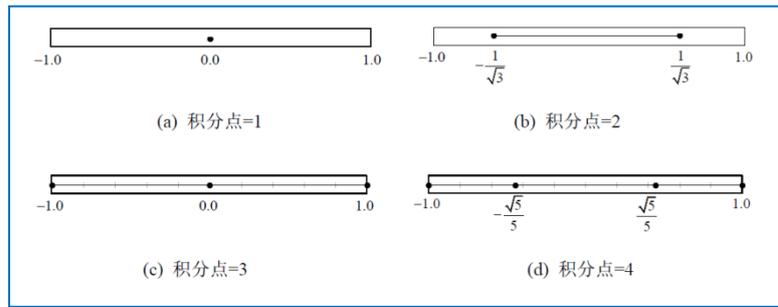


图 1.23.9 弯矩-曲率型塑性铰积分点个数及相应位置

对于弯矩-曲率型塑性铰（图 1.23.8），如果积分点取为 2 的时候，位置并不在单元两端，而是在靠近端部的位置（图 1.23.9）。由于弯矩最大值一般发生在端部，因而可选择积分点个数为 3，此时可以考虑单元两端和跨中处的塑性铰状态。

1.23.7 是否需要更新阻尼矩阵？

动力弹塑性荷载数据对话框如图 1.23.10 所示。

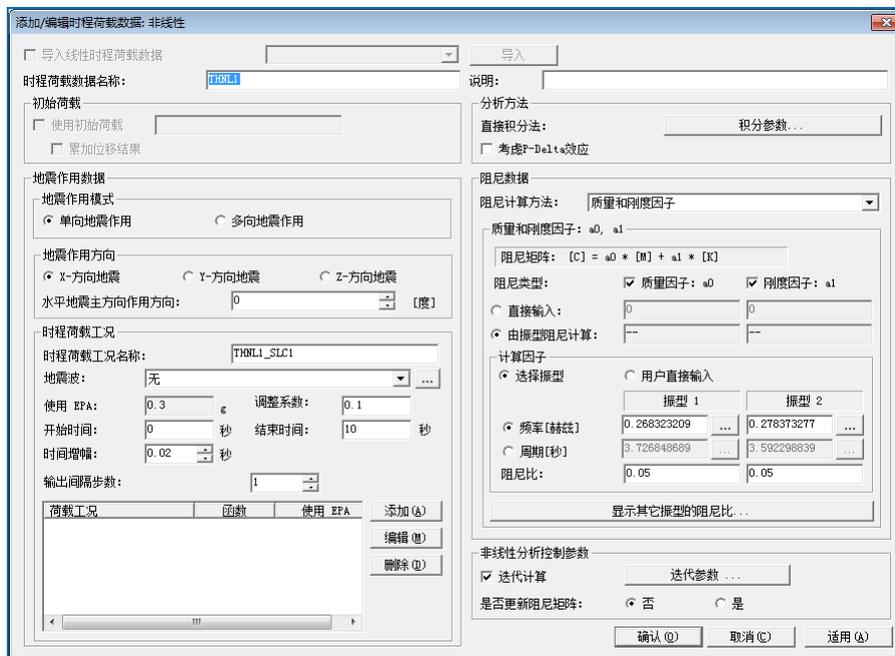


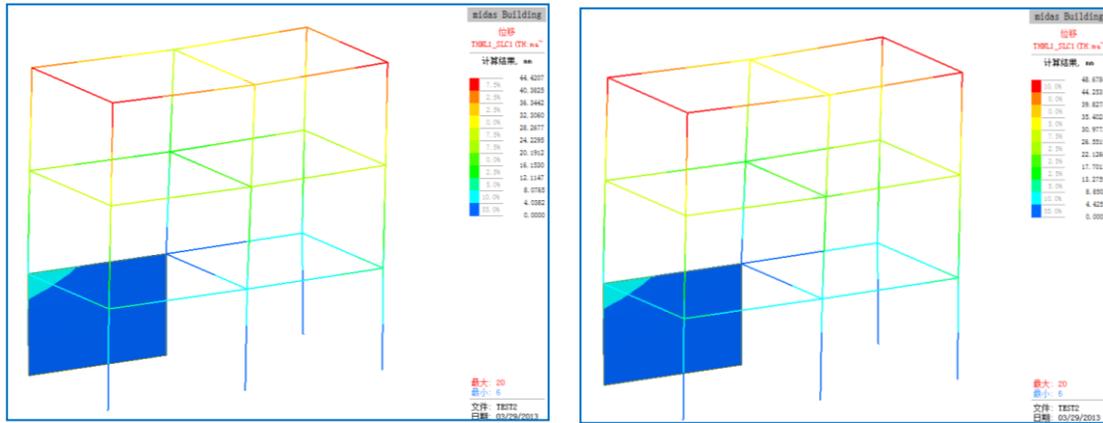
图 1.23.10 动力弹塑性数据对话框

程序进行动力弹塑性分析时，动力学方程式中的阻尼矩阵采用的是瑞利阻尼。

$$[C] = a_0[M] + a_1[K]$$

计算阻尼矩阵时，首先需要根据两个振型的阻尼比和周期（频率）计算质量因子 a_0 和刚度因子 a_1 ，因而选择两个振型后，这两个系数即确定，而质量矩阵也不随时间变化。因而这里边更新阻尼矩阵的含义是指当构件发生屈服，刚度折减后，整体刚度矩阵会发生变化，此时阻尼矩阵也相应变化。

由于刚度折减后阻尼矩阵也会相应变小而不是变大，因而这里建议不勾选“更新阻尼矩阵”。如图 1.23.11 所示，考虑阻尼变化后，位移反而增加。同时计算时间也会延长，不考虑阻尼更新时仅需 10.7s，考虑阻尼更新后计算时间延长至 203s。



(a) 不更新阻尼 (b) 更新阻尼

图 1.23.11 动力弹性最大位移

1.23.8 midas Building 中进行动力弹塑性分析时，是按照有效峰值加速度（EPA）进行调幅的，如果想要按峰值加速度（PGA）进行调幅，应如何操作？

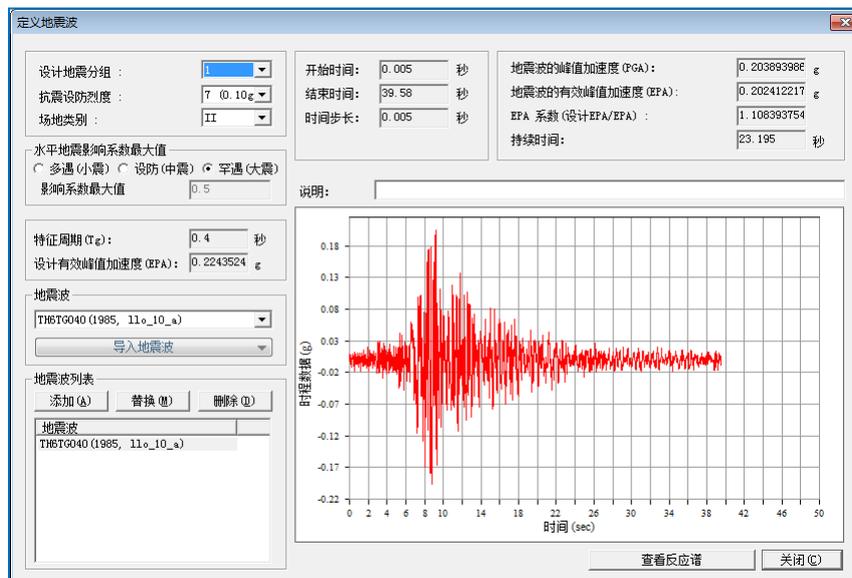


图 1.23.12 定义地震波

如图 1.23.12 所示，定义地震波时，程序会自动计算该地震波的有效峰值加速度（EPA）和峰值加速度（PGA），并且按照 EPA 进行调幅，具体原因在之前的结构帮中已经介绍过。与其它程序进行比较时，要保证参数一致，需要采用 PGA 进行调幅，可以通过如下方法实现：

程序默认的调幅系数为图 11 中的 EPA 系数，即设计 EPA（按《抗规》表 5.1.2-2）除以该地震波的 EPA。如果需要用 PGA 进行调幅，可以首先计算调幅系数=设计 EPA/PGA，得到调幅系数后，输入到图 1.23.13 中的调整系数输入框内即可。

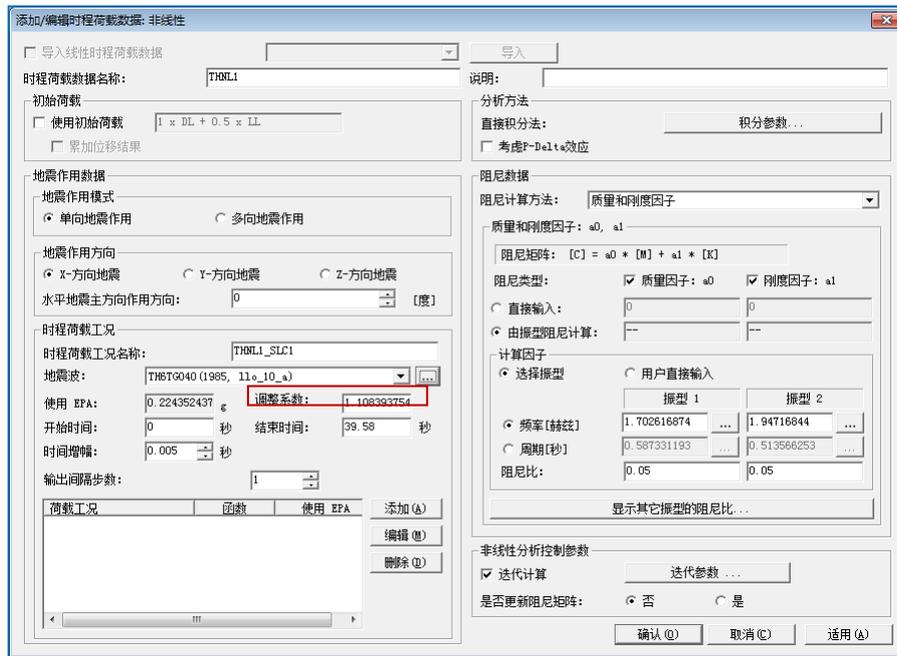


图 1.23.13 修改调整系数

1.23.9 应变等级是什么意思？

midas Building 中对于剪力墙采用纤维模型进行模拟，对于纤维模型，其单元破坏是根据应变值进行判断的。将实际的应变值与之前定义好的本构关系中的屈服应变值进行比较，如果应变值未达到屈服应变值，则表明纤维单元处于弹性。如果应变值超过屈服应变值，则代表纤维单元已经破坏。

应变等级为实际应变与屈服应变比值情况的量度，反应了单元破坏与否及破坏程度。以剪切模型为例，其应变等级的定义如下：



图 1.23.14 应变等级的定义

如图 1.23.14 所示，当实际应变值 γ 与屈服应变 γ_y 的比值 <0.5 时，则应变等级为 1；比值在 0.5~0.8 区间时，应变等级为 2；比值 0.8~1 区间时，应变等级为 3；比值在 1~1.5 区间时，应变等级为 4；比值 >1.5 时，应变等级为 5。应变等级为 1、2 或 3 时，处于弹性状态；应变等级为 4 或 5 时，发生剪切破坏。

此外，程序计算屈服剪应变 γ_y 时，是根据墙构件的抗剪承载力除以剪力墙横截面积，得到屈服剪应力，然后再除以剪切模量 G ，即可得到屈服剪应变。该值一般在万分之一到万分之二之间。与经验值相比偏小，导致剪力墙很容易发生剪切破坏，因而建议进行弹塑性分析时，将该值进行调整。对于屈服剪应变具体应该设置为多少，规范中并没有说明。根据南京工业大学抗震研究中心的研究成果，可将该值设为万分之四。