

弹塑性地震剪力总会偏小吗？

——弹性、弹塑性楼层剪力的特例分析，及精细对比

(上海佳构软科技有限公司，2016/04)

【主要结论】

- 1) 弹塑性纤维模型的初始刚度总大于弹性模型刚度。
- 2) 低强度地震波作用下,或者结构屈服程度较低的情况下,弹塑性时程分析的楼层剪力会大于弹性时程的剪力。
- 3) 对于刚度分布极度不均匀的结构,薄弱楼层的屈服、破坏,会使刚度大的楼层地震剪力增大。

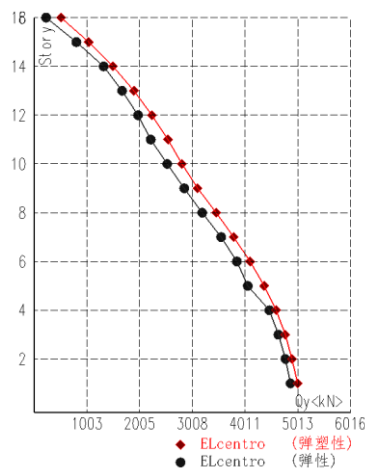
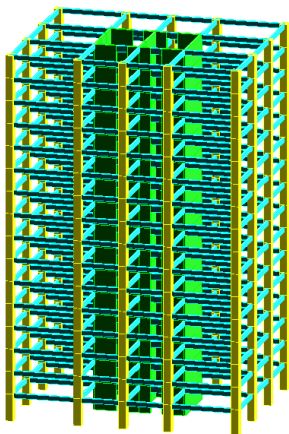
钢筋混凝土结构大震弹塑性时程计算,由于考虑结构在强震下屈服、耗能,弹塑性时程的楼层剪力,绝大多数情况下均小于相应的弹性时程剪力。但仍有特例情况存在,需要深入分析。

1、弹塑性、弹性模型本身差异

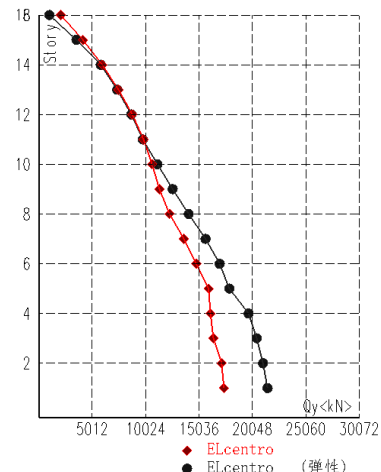
- 1) 弹塑性计算采用纤维模型,将截面细分,其刚度与原截面不完全相同。
- 2) 弹塑性模型包含钢筋,使刚度偏大。例如1%的配筋率,弹性模量 $E_s/E_c \approx 6.6$,使轴向刚度增大6.6%。由于钢筋分布在截面周边,弯曲刚度增加更多。
- 3) 弹塑性计算混凝土采用切线模量,而弹性采用割线模量。在低应力下,切线模量大于割线模量,使弹塑性模型刚度反而偏大,增大幅度可以达到20%。
- 4) 弹塑性模型中,按现有处理方式,混凝土受拉超过 f_{tk} 后即退出工作,使弹塑性模型刚度偏小。混凝土柱、墙由于存在初始恒活压力不易出现较大拉应力,但混凝土梁在恒活荷载下即有可能刚度降低。

在各种因素下,弹塑性模型刚度或增大、或减小。但总体上,弹塑性纤维模型的初始刚度总大于弹性模型刚度。

在低强度地震波作用下,或者结构屈服程度较低的情况下,弹塑性模型刚度大于弹性模型。这时弹塑性时程分析的楼层剪力会大于弹性时程的剪力。如下图结构,即是这样。



地震波 50gal 弹塑性剪力大

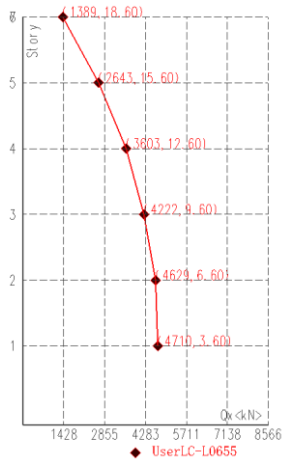
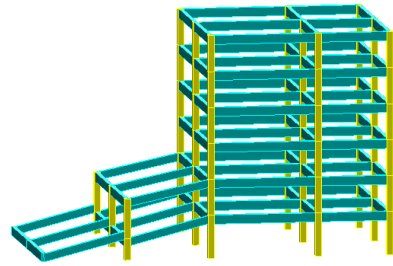


地震波 220gal 弹塑性剪力小

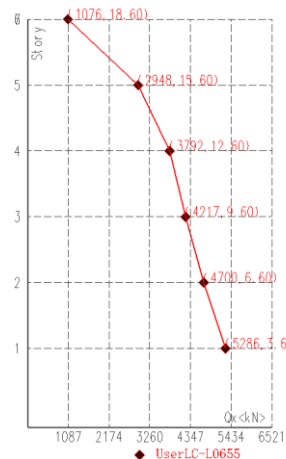
2、不均匀结构的地震响应的特殊性

上海佳构在大量工程实践中发现，对于刚度分布极度不均匀的结构，薄弱楼层的屈服、破坏，会使刚度大的楼层地震剪力增大。

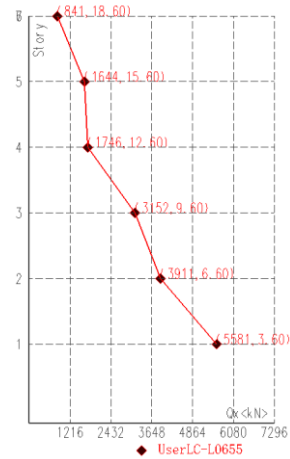
如右图所示结构，底部 1、2 层刚度大于上部楼层。如果进一步降低 3 层以上各层刚度，弹性时程分析结果显示，下部楼层地震剪力呈增大趋势。



原结构 $Q_x=4710$

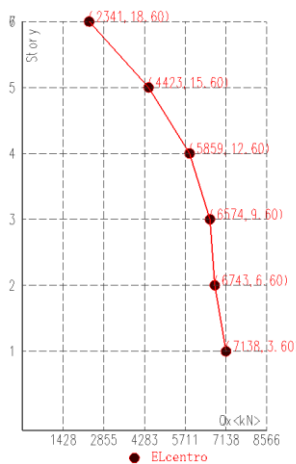


上部刚度折减 0.5 后 $Q_x=5286$

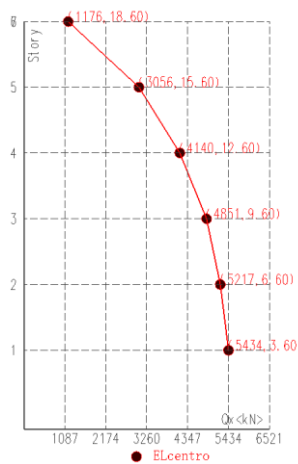


上部刚度折减 0.1 后 $Q_x=5581$

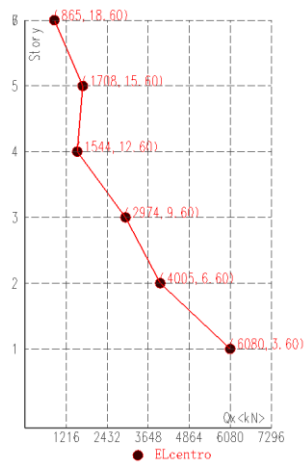
但地震波作用有其复杂性，另外地震波表现有所不同。但仍可以看出，折减 0.1 的底层剪力大于折减 0.5，呈现增大趋势。



原结构 $Q_x=7138$

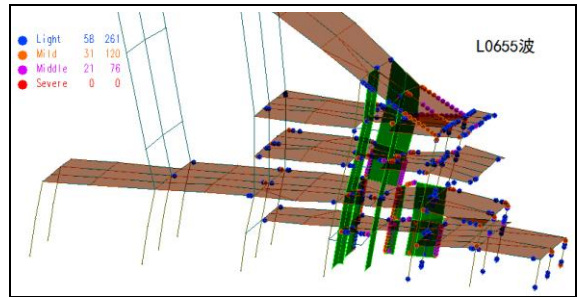
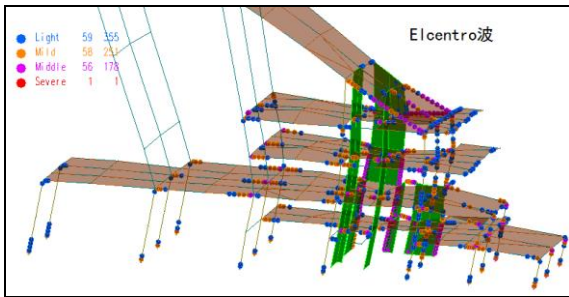
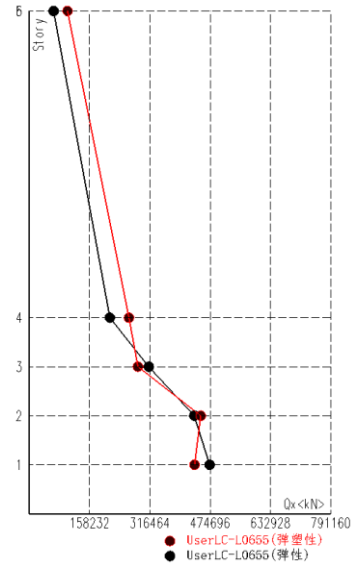
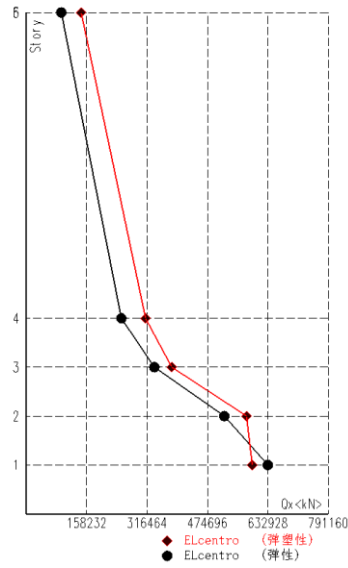


上部刚度折减 0.5 后 $Q_x=5434$



上部刚度折减 0.1 后 $Q_x=6080$

如下图复杂体育馆(局部)，各层刚度严重不均匀。两条地震波作用下，底层弹性剪力小于弹性，但上部楼层弹性剪力偏大，体现了复杂结构时程响应的复杂性。



3、怎样实现弹性、弹塑性精细对比？——采用佳构“弹性纤维”模型

仍采用纤维模型，且包含钢筋刚度，但不考虑材料的屈服。这样时程分析时，结构是弹性的，与弹塑性时程结果具有高度对比性。

材料不屈服实现方法：1)弹性模量不改变，2) 提高屈服强度。具体设置方法如下：

1) 混凝土：

Prep 材料表内， $f_c/f_t/f_{ck}/f_{tk}$ 等值均增大 100 倍。

Strat 大震“砼纤维”参数：峰值应变选择“设定”，由 0.02 增大 100 倍到 0.2。

2) 钢材：

Prep 材料表内， $f/f_v/f_y/f_{vk}/f_{tk}$ 等值均增大 100 倍。

3) 钢筋：

Strat 大震“钢筋纤维”参数：梁主筋、柱主筋等的 f_{yk} 增大 100 倍