

文章编号:1673-9469(2009)01-0037-03

钢框架结构地震响应分析研究

王旭,邵新刚

(河北工程大学 土木工程学院,河北 邯郸 056038)

摘要:以二阶弹性分析方法理论为基础,建立了非线性二阶微分方程,按照输入不同地震波维数和阻尼比两种情况分析了钢框架结构的地震响应。利用 MIDAS 软件对结构进行多遇地震作用下的弹性时程分析和罕遇地震作用下的弹塑性时程分析,表明地震波输入维数(单向地震波和双向地震波)、阻尼比对结构的抗震性能有较大影响,并根据分析结果提出了相应的建议。

关键词:钢框架结构;单向地震波;双向地震波;阻尼比;时程分析

中图分类号: TU352

文献标识码: A

Research on seismic response analysis of steel frames

WANG Xu, SHAO Xin-gang

(College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

Abstract: The nonlinear second order differential equations are written about the second - order elastic analysis method theory, and the factors on seismic response of the steel frame are analyzed with the different dimensions of earthquake waves and damping. The result by MIDAS software shows that the influence of dimensions of earthquake wave including unidirectional earthquake wave and bidirectional earthquake waves and damping ratio could be affected greatly when analyzing the elastic time history for the frequent earthquake, and when analyzing the elastic - plastic time history for the unusual earthquake. Detailed suggestions for choose these influencing factors are provided.

Key words: steel frame; unidirectional earthquake wave; bidirectional earthquake waves; damping ratio; time history analysis

近年来,动力时程分析方法已成为计算结构非线性地震响应的一个研究热点,与此同时,考虑选取的地震波和阻尼比成为结构设计至关重要的一个环节,国内外大量文献也对此展开了研究。文献[1]明确了时程分析中地震波选取的指标,但它只考虑了单向地震波对框架剪力墙结构抗震性能的影响。文献[2]考虑了多向地震波输入,但没有考虑结构滞回耗能 and 延性的作用。文献[3]以实例说明了阻尼对时程分析的影响是十分明显的,但没有给出具体结果使之量化出来。文献[4]使结构的造价和抗震安全度的优越性得到了充分体现,但由于等效阻尼比取值和一般结构的阻尼比相差很大,故改变结构的设置方法不太可取。本文从结构非线性地震响应出发,通过输入不同

地震波维数和阻尼比两种情况分析了钢框架结构抗震性能的关系,较好解决了上述存在的问题。

1 二阶弹性分析方法理论

《钢结构设计规范》^[5]中,首次引入了二阶弹性分析方法,它同时考虑了结构的 $P-\Delta$ 效应和 $P-\delta$ 效应,它采用一层柱一个单元、甚至采用多次线性分析的方法,钢框架宜采用二阶弹性分析。二阶非线性分析方法^[6]是精确的二阶弹性分析,它把结构的柱划分为 2—4 个单元,严格按照稳定理论或非线性的理论来进行内力和侧移的分析方法。二阶弹塑性分析方法是在二阶弹性分析基础上发展起来的,它既要考虑结构的变形又要考虑截面上的塑性铰形成并继续能承受结构应力的方法。

2 非线性二阶微分方程的建立

一般多自由体系相对地面运动的非线性二阶微分方程为

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K_e]\{u\} = -[M]\{I\}\ddot{u}_g \quad (1)$$

式中 $[M]$ 、 $[C]$ 、 $[K_e]$ 分别为体系的质量矩阵、阻尼和弹性刚度, $\{\ddot{u}\}$ 、 $\{\dot{u}\}$ 、 $\{u\}$ 分别表示结构体系的加速度、速度、位移, \ddot{u}_g 为地面运动水平加速度,它是复杂的随机函数, $\{I\}$ 为单位向量。式(1)中, $[K_e]\{u\}$ 实际上是结构变形为 $\{u\}$ 时的弹性恢复力向量 $\{f(u)\}$ 。

在地震作用下,当结构进入弹塑性变形状态后,结构的恢复力不再与 $[K_e]\{u\}$ 对应,而与结构运动的时间历程 $\{u(t)\}$ 有关。因此,结构的弹塑性运动微分方程可以表示为

$$[M]\{\ddot{u}(t)\} + [C]\{\dot{u}(t)\} + \{f(u(t))\} = -[M]\{I\}\ddot{u}_g(t) \quad (2)$$

式中 $\ddot{u}_g(t)$ 为输入的地震波。

3 算例概况

本文采用的是13层钢框架结构模型,其纵向(X向)5跨、横向(Y向)3跨,跨度均为6m;结构层高都为3.9m。主要参数:框架柱为焊接箱型截面550mm×550mm,其板厚均为22mm;框架梁HN500mm×200mm×10mm×16mm;楼面为刚性楼板,按均布荷载为4kN/m²考虑;钢构件均取Q345;结构抗震设防烈度为7度,设计基本地震加速度为0.15g。

地震波为El-Centro 180波、El-Centro 270波和El-Centro Vertical波,采用软件Midas/Gen对结构进行地震响应下的时程分析。以结构的变形为指标,通

过单向、双向地震动输入,对结构进行多遇地震作用下的弹性时程分析;通过改变阻尼比(0.02、0.05)进行罕遇地震作用下的弹塑性时程分析。

4 地震波输入维数的影响

在结构抗震设计中,竖向地震波对结构的影响作用力较小,可不考虑。地震作用调整系数与结构设计地震作用直接相关,由于结构在水平两个方向分量(X向和Y向)的地震波是随机的,这里取的是加速度最大值归一后依据抗震规范双向地震波作用折减幅值比为1:0.85要求,沿结构两个方向分别输入不同的地震波后调换方向重新计算,具有较大目标位移的为地震作用最不利方向,即为地震波的输入方向,按7度多遇地震、阻尼比取0.02具体结果如下。

工况1:输入单向地震波即结构的Y方向输入El-Centro 180波,峰值加速度为35gal;工况2:输入双向地震波即结构的X方向、Y方向分别输入El-Centro 270波、El-Centro 180波,峰值加速度分别为35gal、29.8gal。

由图1中的(a)、(b)图可看出,Y向输入的单向地震波对结构X向顶层位移几乎为零,且与双向地震波在结构顶层Y向的位移时程形状非常相似,不过数值要大一些。由此可见,一个方向的地震作用对垂直于它的平面影响很小,几乎不存在平面内的耦合作用。由(c)图可看出,前几秒输入单向地震波和输入双向地震波位移时程差别不大,这主要是由初始的竖向位移都是由结构自重引起的,后几秒单向地震波作用值较大。

图2表示各楼层XY向空间组合后的最大侧移值。在结构各楼层处,单向地震波比双向地震波的侧移值都大,且最大增幅在结构顶层仅为6.5%。

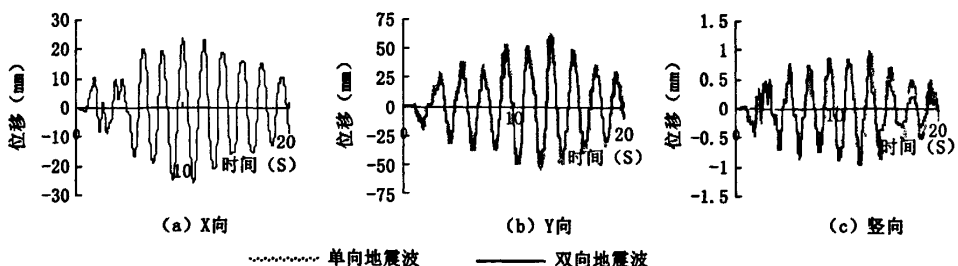


图1 顶层角柱位移时程曲线

Fig.1 Displacement and time curve of top-exterior column

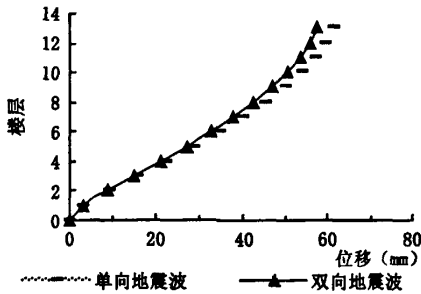
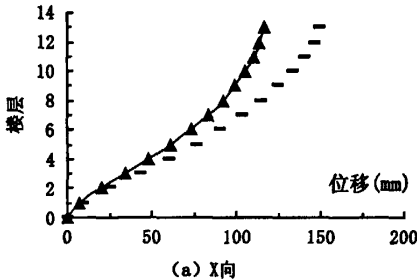
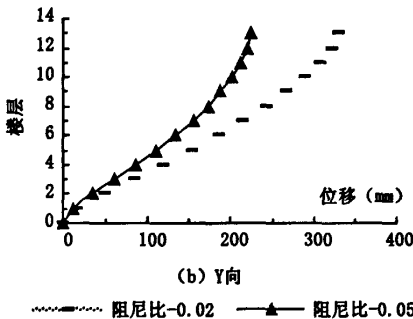


图2 各层角柱最大侧移

Fig.2 Maximum displacement of top-external column in different layers



(a) X向



(b) Y向

图3 各楼层角柱最大侧移

Fig.3 Maximum displacement of exterior column in different layers

可见,单、双向地震波输入对楼层最大位移影响不大。

5 阻尼比的影响

阻尼的大小和建筑物的材料、结构形式、连接方法以及非结构构件的类型有关,阻尼大小用临界阻尼百分比表示,即阻尼比。对于钢结构、组合

结构阻尼比发生的变化,结构的阻尼比通常在 0.01到 0.1 之间变化。本算例,按输入双向地震波、阻尼比取 0.02 和 0.05。

从图 3 中可以看出:

1)阻尼比取 0.05 与阻尼比取 0.02 时,X 向的顶层角柱最大侧移分别为 115.5mm 和 149.1mm,增大了 22.5%;Y 向的顶层角柱最大侧移分别为 225.1mm 和 329.9mm,增大了 31.8%。

(2) 阻尼比的变化对结构各层层间最大侧移值沿层高分布曲线的形状影响不大,但对曲线的幅值影响很大,阻尼比取 0.02 明显大于阻尼比取 0.05 对结构的影响。

6 结论

1)不太复杂的多层、小高层钢框架结构,可不考虑地震波的输入,对整体结构也不需按照双向或三向地震波来进行抗震设计。

2)对钢结构进行罕遇地震下弹塑性时程分析中,阻尼对结构反应的影响与结构发生塑性变形的程度有关,结构选取的阻尼比越大,顶层侧移值越小;阻尼比越小,顶层侧移值越大。

3)作者建议,对于重要建筑或严格控制层间侧移的结构,阻尼比应取 0.02,反之,可取 0.05。

参考文献:

- [1] 杨 溥,李英民,赖 明. 结构时程分析法输入地震波的选择控制指标[J]. 土木工程学报, 2000, 33(6): 33-37.
- [2] 韩朝辉. 巨型钢框架静力和动力性能分析[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2006.
- [3] 董 军,邓洪洲,王肇民. 结构动力分析阻尼模型研究[J]. 世界地震工程, 2000, 16(4): 63-69.
- [4] 杨树标,杨艳秋,高天宝,等. 框架复合隔震结构地震响应分析[J]. 河北建筑科技学院学报, 2006, 23(1): 23-26.
- [5] GB50017-2003, 钢结构设计规范[S].
- [6] 董根树. 钢结构设计方法[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [7] 王涛,孟丽岩,孙景江,等. 框架-剪刀墙结构的弹塑性地震反应[J]. 黑龙江科技学院学报, 2008, 18(6): 455-459.

(责任编辑 闫纯有)