

高层中间层隔震结构的非线性动力分析

赵楠

(北京市建筑设计研究院,北京 100045)

摘要 采用时程分析方法,分析高层隔震结构在罕遇地震作用下的响应. 主要包括结构的塑性变形和塑性发展情况,结构的层间位移及楼层加速度响应. 结果表明,在罕遇地震作用下,隔震结构进入塑性的程度较轻,震后稍加修复即可继续使用. 塑性铰最先出现在结构底部,逐渐向上层开展. 塑性铰均产生在梁端,柱端始终未出铰. 楼层位移主要集中在隔震层,但上部结构的层间位移很小. 罕遇地震作用下结构的楼层加速度显著减小.

关键词 非线性, 隔震结构, 塑性铰, 罕遇地震

引言

随着隔震橡胶支座的出现并应用于隔震领域,建筑隔震技术得到了很好的推广和应用. 文献[1]要求对隔震结构进行弹塑性变形验算,包括静力弹塑性分析和非线性动力时程分析^[2],以确定罕遇地震作用下隔震层的最大位移及对地震作用的衰减效果. 为此,本文结合工程实例,采用时程方法,考虑结构的非线性特性,研究高层隔震结构的地震响应,确定结构在罕遇地震作用下的塑性能及隔震效果.

1 工程概况

该工程位于中国北京市,抗震设防烈度为8度,二类场地. 采用高层大底盘多塔结构,主楼部分地上十六层,高度为68.7米;大地盘裙房为地上三层,地下一层,局部地下两层,建成后将成为目前我国大陆地区最高的多塔隔震建筑. 大底盘多塔结构的三维示意图如图1所示. 隔震层采用157个橡胶隔震支座,分布在框架柱底以及核心筒下. 隔震支座具体参数如表1所示.

表1 橡胶隔震支座参数表

Table 1 Details of Rubber Isolation Bearing

	Frequent Earthquake	Rare Earthquake
Equivalent horizontal stiffness/(kN/mm)	0.55	0.35
Vertical stiffness/(kN/mm)	3467.9	
Equivalent damping ratio	0.2	0.1

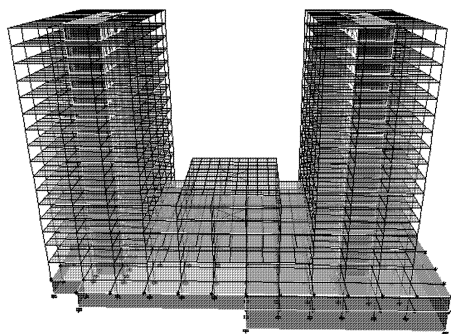


图1 结构三维示意图

Fig. 1 Three dimensional schematic diagram of the Structure

2 地震波输入

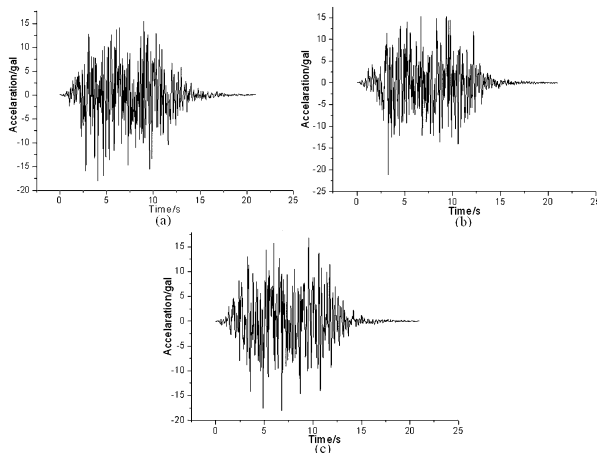


图2 地震波时程曲线

Fig. 2 Time-history curve of seismic wave

采用两组工程所在场地附近的实测地震波和一组人工地震波,三条波的时间步长均为 0.02s ,持续时间为 21s ,符合要求.三条地震波的加速度时程曲线如图2所示.

3 塑性铰设置

为进行弹塑性时程分析,需要建立准确的有限元模型,主要是能够较好的模拟结构的塑性性能.对于梁柱单元均采用塑性铰模型^[3],主要分为以下三种情况:

(1) 框架梁:主要考虑弯矩作用,在各框架梁的两端设置弯矩铰 M3;

(2) 框架柱:考虑柱子轴力与两个方向弯矩的叠加作用,选择广泛应用的 PMM 塑性铰形式(P-M2-M3);

(3) 剪力墙:按非线性分层壳单元模拟^[4-5].

4 塑性铰分布

图3为隔震结构在罕遇地震作用下的塑性铰分布图.由图中可以看出,结构的塑性程度较小,塑性铰处于 B 和 IO 等两个状态.其中,大多数塑性铰处于刚刚屈服状态,主要存在于底部的大底盘部分,以及顶部三层;少量塑性铰处于 IO 类状态,主要分布于双塔的结构的下部十三层内.还可以看出,塑性铰均出现在梁端,柱端没有产生塑性铰,这符合文献[1]规定的强柱弱梁的原则.结构的塑性程度较浅,主要是由于隔震结构可以阻隔、吸收大量地震能量,减小了地震响应.

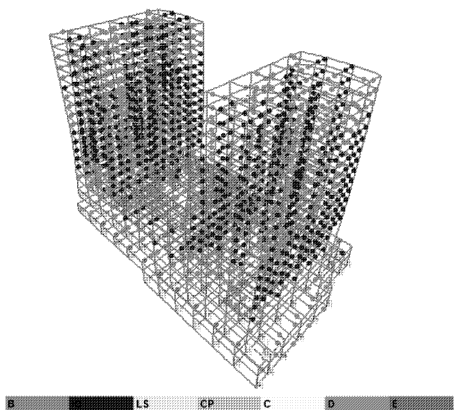


图3 塑性铰分布图

Fig. 3 Distribution map of plastic hinges

5 弹塑性变形

对于弹塑性分析,结构的弹塑性变形是一个重要的分析变量.隔震结构应进行弹塑性变形验算,已确定罕遇地震作用下隔震层的最大位移及对地震作用的衰减效果.现以天然波1沿X方向作用为例,结构的楼层位移及层间位移角如图4、5所示.

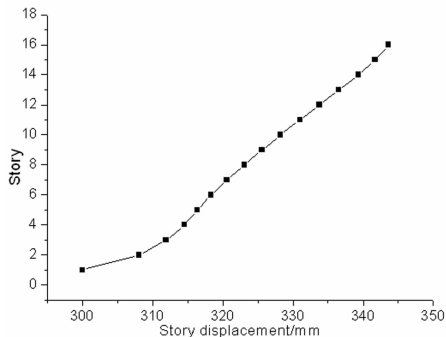


图4 楼层位移

Fig. 4 Story displacement

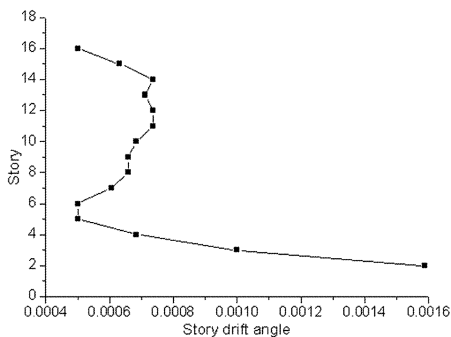


图5 层间位移角

Fig. 5 Inter-story displacement angle

6 结论

本文采用时程分析方法,考虑了隔震支座和材料的非线性特性,分析了高层隔震结构在罕遇地震作用下的响应,得出以下结论.

(1) 即使在罕遇地震作用下,隔震结构的塑性程度仍然很浅,塑性铰多处于刚刚出现的状态,塑性变形很小.震后结构的大部分不需修复仍可继续使用.

(2) 塑性铰均出现在梁端,柱端没有产生塑性铰,符合强柱弱梁的要求.

(3) 结构的层间位移主要在隔震层,上部结构的层间位移很小,层间位移角远小于规范限值^[6-8].

参 考 文 献

- 1 中华人民共和国行业标准. GB50011-2008 建筑抗震设计规范. 北京:中国建筑工业出版社,2008 (Professional Standard of the People's Republic of China. GB50011-2008 Code for Seismic Design of Buildings . Beijing: China Architecture and Building Press, 2008(in Chinese))
- 2 谭丽芳,蒋丽忠,董立冬. 基于 Push-over 分析的钢-混凝土组合框架抗震性能研究. 动力学与控制学报, 2008 , 6(2) : 169 ~ 172 (Tan L F, Jiang L Z, Dong L D. Push-Over analysis on the steel-concrete composite frame structure with three stories. *Journal of Dynamics and Control*, 2008 , 6(2) : 169 ~ 172 (in Chinese))
- 3 韩小雷,陈学伟,林生逸等. 基于纤维模型的超高层钢筋混凝土结构弹塑性时程分析. 建筑结构, 2010 , 40(2) : 13 ~ 16 (Han X L, Chen X W, Lin S Y, et al. Elasto-plastic time-history analysis of super high-rise RC structure based on fiber mode. *Building Structure*, 2010 , 40(2) : 13 ~ 16 (in Chinese))
- 4 林旭川,陆新征,缪志伟,等. 基于分层壳单元的 RC 核心筒结构有限元分析和工程应用. 土木工程学报, 2009,42(3) : 49 ~ 54 (Lin X C, Lu X Z, Miao Z W, et al. Finite element analysis and engineering application of RC core-tube structures based on the multi-layer shell elements. *China Civil Engineering Journal*, 2009,42(3) : 49 ~ 54 (in Chinese))
- 5 叶列平,陆新征,马千里等. 混凝土结构抗震非线性分析模型、方法及算例. 工程力学, 2006,23(S2) : 173 ~ 183 (Ye L P, Lu X Z, Ma Q L, et al. Nonlinear analytical models, methods and examples for concrete structures subject to earthquake loading. *Engineering Mechanics*, 2006, 23(S2) : 173 ~ 183 (in Chinese))
- 6 徐忠根,胡敏茵,周福霖. 房屋建筑中间层隔震研究. 工程抗震与加固改造, 2004, (5) : 23 ~ 28 (Xu Z G, Hu M Y, Zhou F L. Discussion on Mid-story isolation of building. *Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting*, 2004, (5) : 23 ~ 28(in Chinese))
- 7 赵楠,马凯,李婷等. 大底盘多塔高层隔震结构的地震响应. 土木工程学报, 2010,43:130 ~ 133 (Zhao N , Ma K , Li T , et al. Seismic response on multi-tower high-rise isolation structure for large base plate. *China Civil Engineering Journal*, 2010, 43: 130 ~ 133 (in Chinese))
- 8 金星,韦永祥,张红才等. 基于强震观测的隔震结构地震反应分析. 地震工程与工程振动, 2009,29(2) : 19 ~ 28 (Jin X , Wei Y X, Zhang H C, et al. Analysis of the seismic responses of a base-isolated building on the basis of strong motion observation. *Journal of Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 2009,29(2) : 19 ~ 28 (in Chinese))

NONLINEAR DYNAMIC ANALYSIS ON HIGH-RISE INTERLAYER ISOLATED STRUCTURE

Zhao Nan

(Beijing Institute of Architectural Design, Beijing 100045, China)

Abstract Seismic response analysis of high-rise isolated structure was under rare earthquake carried out using time-history method. Plastic deformation, story displacement and story acceleration were all included. The results show that plastic deformation has not highly developed and the structure can be used after simple repairment. Plastic hinges appear all at the end of frame beams, and no one is found at the end of frame columns. Story displacement is centralized at isolation layer, and story drift is small on superstructure. Story acceleration is reduced significantly.

Key words nonlinear, isolated structure, plastic hinge, rare earthquake