



Seismic Isolation Technology Based on Green Building in Prefabricated Assembly Research Application in Structure

Chen Zhaorong, Cai Zhili, Zeng Changluo, Bai Zhongkui, Du Shishuai

China Construction Fifth Engineering Bureau the Third Construction Co., Ltd. Changsha, China

Email address:

245140142@qq.com (Chen Zhaorong)

To cite this article:

Chen Zhaorong, Cai Zhili, Zeng Changluo, Bai Zhongkui, Du Shishuai. Seismic Isolation Technology Based on Green Building in Prefabricated Assembly Research Application in Structure. *Science Discovery*. Vol. 9, No. 6, 2021, pp. 360-365.

doi: 10.11648/j.sd.20210906.24

Received: October 30, 2021; **Accepted:** November 13, 2021; **Published:** November 17, 2021

Abstract: Green construction aims to provide a healthy, comfortable and efficient use of space for human beings to live in harmony with nature. The related concepts and policies of green construction are discussed, and several ways to realize green construction are introduced. Prefabricated assembly integral structure is one of the main ways of green construction. Prefabricated assembly integral structure has the characteristics of poor overall performance and weak node connection under strong earthquake. Base isolation technology is proposed to improve its seismic performance. The seismic isolation model and non-seismic isolation model of prefabricated integrated frame structure are established, and the floor shear and floor displacement of different models under various fortification intensities are compared under strong earthquakes. The favorable factors affecting the seismic performance of prefabricated structures by base isolation technology are systematically summarized.

Keywords: Isolation Technology, Prefabrication and Assembly, Earthquake Resistant Behavior, Housing Industrialization

基于绿色建筑的隔震技术在预制装配式结构中的应用研究

陈兆荣, 蔡志立, 曾常洛, 白忠奎, 杜仕帅

中建五局第三建设有限公司, 长沙, 中国

邮箱

245140142@qq.com (陈兆荣)

摘要: 绿色施工旨在为人类提供健康、舒适和高效的使用空间, 与自然和谐共处的建筑环境。本文对绿色施工的相关概念和政策进行了讨论, 介绍了实现绿色施工的若干途径。预制装配整体式作为主要绿色施工的途径之一, 预制装配整体式结构具有在强震作用下整体性能较差、节点连接较弱的特点, 有针对性的提出采用基础隔震技术以提高其抗震性能; 建立了预制装配整体式框架结构隔震模型与非隔震两个力学模拟模型, 对比了在强震作用下不同模型在各种设防烈度下的楼层剪力、楼层位移。系统的总结了基础隔震技术对预制装配式结构抗震性能影响的有利因素。

关键词: 隔震技术, 预制装配, 抗震性能, 住宅产业化

1. 引言

“绿色建筑”中的“绿色”, 并不是指狭隘概念中的立体绿化、屋顶花园; 广义上讲是代表一种概念或理念, 是指建筑

对环境无害, 能够充分利用环境自然资源、或者已建建筑, 做到新建与自然充分融合的有机整体。国家标准[1]对绿色建筑进行了系统定义, 在建筑的全寿命周期内, 最大限度地节约资源(节能、节地、节水、节材)、保护环境和减少污染,

亦即“四节一环保”，为人类提供健康、舒适和高效的使用空间和与自然和谐共处的建筑环境。人类面对着严重的生态环境问题：臭氧层的破坏、温室效应、森林面积急剧减少、水土流失、人口膨胀、荒漠化扩大等.....对于这些问题，国内外也已经出现了各种形式的环境保护组织和环境主义者。在全球环境保护主义思想被普遍接受的现在，建筑师也不可避免的越来越关注如何节省资源和建筑材料回收重复利用的现象，建筑师对生态环境的重视、提倡对社会负责虽早已有之，但真正成为建筑力量则起自解构甚嚣尘上之时。这是一种对某些欧美精英建筑师对解构建筑推波助澜的一种反动。一批过去不被理论、批评和出版界重视的建筑师开始提出建筑和城市设计除了纯形式和哲学思辨之外，还有更重要的东西，那便是社会责任[2]。

随着经济的迅猛发展，我国城市化进程日益加快，城市住宅的建设规模迅速扩大。人们生活水平逐步提高，不但对住宅数量的需求增大，而且对都市的人居环境也提出了更高的要求。高效、节能、环保不但成为一种生活理念，已深入人心，而且也现代住宅的发展指明了方向。

我国位于世界两大地震带-环太平洋地震带与欧亚地震带之间，受太平洋板块、印度板块和菲律宾海板块的挤压，地震断裂带十分活跃。地震活动具有频度高、强度大、震源浅，分布广等特点，是一个震灾严重的国家。2008年汶川发生8.0级大地震，严重破坏地区超过10万平方千米，近7万人遇难，直接经济损失近万亿元。在财产损失中，房屋建筑物等损失占70%以上。因此，研究应用建筑减隔震技术，对于提升房屋建筑抗震水平具有重要的意义。

随着城市住宅的建设规模迅速扩大，保障房和商品房的大规模建设，住宅产业化将成为必由之路[3]。预制装配整体式框架结构适用于多层、小高层住宅体系建设，具有良好的应用前景，是推动住宅产业化的新型结构体系。预制装配整体式结构采用了叠合梁、叠合板、新型节点连接技术等[4]，这些构造技术较好地增强了预制装配整体式结构的整体性能、抗震性能。在小震、中震作用下，预制装配整体式结构能较好地实现小震不坏、中震可修，但在大震作用下，节点的抗震性能仍是这种结构的安全隐患，节点的破坏将导致整体结构的破坏。因此，为使这种结构全面地实现三水准设防要求，进一步提高其抗震性能以达到大震不倒也是必要的。

基础隔震技术是抵御地震作用的有效措施，采用基础隔震技术可进一步提高预制装配整体式结构的抗震性能，更有效地抵御地震作用[5]。这种技术的应用可更有效推动预制装配整体式结构的发展普及，甚至在我国高烈度抗震设防区，预制装配整体式结构亦得到应用。

隔震技术的发展始于20世纪60年代，在1966年前后中国学者提出以砂砾层为摩擦材料的滑移隔震思想，并进行了试验研究和理论分析[6]。中国最早的隔震建筑是1993年由周福霖院士设计建造的汕头陵海路八层框架结构商住楼以及唐家祥教授设计的安阳市粮油综合楼。到20世纪末，国内关于橡胶支座隔震结构相关科学与技术问题的研究已经取得了大量成果，基本形成了橡胶支座隔震建筑的成套技术[7]。在中国，减震技术的概念也出现在20世纪60年代，对减震理论与技术的研究始于20世纪80年代，并在90年代中后期蓬勃发展[7]。2001年，建筑隔震与消能减震技术写入国家标准《建筑抗震设计规范》[8~11]，并进一

步完善。2013年行业标准《建筑消能减震技术规程》[12]发布，表明中国的建筑结构减隔震技术发展成熟[13~14]。

传统的抗震技术是把建筑物上部结构和基础牢固地连接在一起，用更粗的钢筋、更多的混凝土浇筑，但抗震效果并不理想。目前常用的隔震措施主要有橡胶垫隔震装置、滑移隔震和滚动隔震[15]。

橡胶垫隔震装置

橡胶垫隔震装置由钢板和橡胶交替叠合而成。(图1)钢板作为橡胶支座的加劲材料，改变了橡胶体竖向刚度较小的特点，使其既能降低水平地震作用，又能承受较大竖向荷载[16]。橡胶垫隔震装置包括天然橡胶垫、标准多层橡胶垫、内包阻尼体橡胶隔震垫、铅芯橡胶隔震垫等。橡胶隔震垫技术发展已比较成熟，隔震装置竖向承载力大，具有稳定的弹性复位功能，且隔震周期长、阻尼比大。研究表明，采用橡胶垫隔震装置可以把地震80%左右的能量抵消[13]，上部结构的设防烈度可降低1~2度，具有较大的安全储量，隔震效果明显，性能可靠稳定，是目前最常用的一种建筑结构隔震技术。但目前使用最多的橡胶隔震垫，由于橡胶的老化和耐久性能会影响到隔震效果以及隔震装置的使用，因此，还有待进一步研究[17~18]。

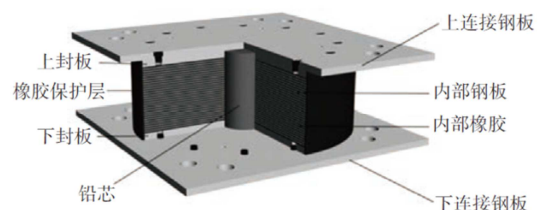


图1 橡胶垫隔震装置。

滑移隔震

滑移隔震是在房屋基础底面处设置钢摩擦滑板、石墨、砂料、涂层垫层及聚四氟乙烯等材料形成滑移层，当建筑物遭遇地震时，通过该处不连续界面的滑移错动，部分切断地震波的传播，限制上部结构的地震反应。地震发生时，滑移层发生滑动，结构自振周期变大，滑动隔震能防止地震波产生的共振效应[8]。缺点是滑移层滑动后难以自动复位。

滚动隔震

滚动隔震是用高强合金制成的滚珠（滚轴）涂以防锈或润滑层后置于上部结构与基础之间，地震作用下，通过滚珠或滚轴滚动而达到隔震的目的（图2）。

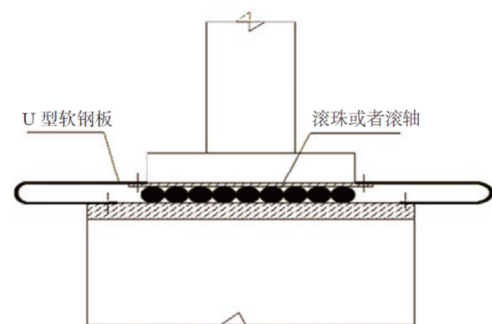


图2 滚动隔震装置。

结合绿色建筑和绿色施工的内在要求,为研究隔震技术在预制装配式结构中的应用效果情况,本文从介绍隔震技术原理角度入手,采用了基础隔震技术分析多层预制装配整体式框架结构,建立了MIDAS/GEN建立有限元模型,通过对比地震作用下隔震结构与非隔震结构在多种设防烈度下的层剪力,层位移,分析基础隔震技术对预制装配整体式结构抗震性能的影响。

2. 基础隔震技术原理

基础隔震技术的原理[19~20]是通过在上部结构与基础结构之间设置隔震层,使上部结构与基础隔开,有效地减小了水平地震作用力向上部结构传递的影响。隔震层中往往通过设置隔震支座,其中隔震支座具有足够的弹性恢复力,使上部结构在发生水平变形后能恢复原状。并具有足够的竖向刚度,持续地支撑建筑物重量。

基础隔震技术原理可以用单自由度弹性体系的地震反应谱来说明。如图1、图2所示为建筑结构加速度反应谱示意图和位移反应谱示意图,在地震作用下,由于中高层或低层的钢筋混凝土结构刚性大、周期短,因此为图中A点,加速度反应大、位移反应小。若保持阻尼不变,延长建筑物周期,即为图中B点,加速度反应降低,位移反应增加。

若增大结构阻尼,同时延长建筑物自振周期,即为图中C点,加速度反应减小,位移反应得以控制。由此可见,适当延长结构周期,并给予恰当的阻尼可有效降低结构反应。基础隔震技术则实现了延长结构周期与适当的阻尼降低结构反应二者的有机结合,隔震装置支撑建筑物重量,并追随建筑物水平变形,具有适当弹性恢复力,能够耗散地震输入的能量。在地震作用下,上部结构依然可以保持弹性工作状态下仅发生近似平动,建筑物内部人员和仪器安然无恙,避免了地震作用对建筑物的破坏和人员伤亡情况。

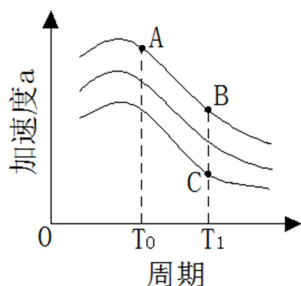


图3 加速度反应谱。

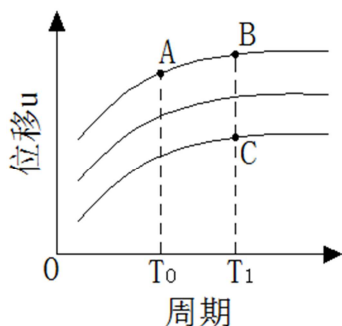


图4 位移反应谱。

3. 基础隔震技术有限元分析对比

为研究基础隔震技术应用于预制装配整体式结构,拟采用基础隔震技术的多层预制装配整体式框架结构,并用MIDAS/GEN建立有限元模型。通过对比地震作用下隔震结构与非隔震结构在多种设防烈度下的层剪力,层位移,分析基础隔震技术对预制装配整体式结构抗震性能的影响。

3.1. 有限元分析原理

有限元方法的基础是变分原理和加权余量法,其基本求解思想是把计算域划分为有限个互不重叠的单元,在每个单元内,选择一些合适的节点作为求解函数的插值点,将微分方程中的变量改写成由各变量或其导数的节点值与所选用的插值函数组成的线性表达式,借助于变分原理或加权余量法,将微分方程离散求解。采用不同的权函数和插值函数形式,便构成不同的有限元方法。求解的基本步骤为:

(1) 结构离散化

对整个结构进行离散化,将其分割成若干个单元,单元间彼此通过节点相连。

(2) 求出各单元的刚度矩阵 $[K]^{(e)}$

$[K]^{(e)}$ 是由单元节点位移量 $\{\Phi\}^{(e)}$ 求单元节点力向量 $\{F\}^{(e)}$ 的转移矩阵,其关系式为:

$$\{F\}^{(e)} = [K]^{(e)} \{\Phi\}^{(e)} \quad (1)$$

(3) 集成总刚度矩阵 $[K]$ 并写出总体平衡方程

总体刚度矩阵 $[K]$ 是由整体节点位移向量 $\{\Phi\}$ 求整体节点力向量的转移矩阵,总体平衡方程关系式为:

$$[F] = [K] \{\Phi\} \quad (2)$$

(4) 引入支撑条件,求出各节点的位移

节点的支撑条件有两种:一种是节点 n 沿某个方向的位移为零,另一种是节点 n 沿某个方向的位移为一给定值。

(5) 求出各单元内的应力和应变

单元的应力和应变是有限元分析的结果,则可得到结构的内力(弯矩、剪力、轴力)分析结果。

3.2. 模拟方案

该工程为预制装配整体式框架结构,主体结构7层,柱子尺寸为500mm×500mm,层高为3m,场地类别为II类。采用基础隔震技术。隔震支座采用铅芯橡胶隔震支座,布置于柱底与承台连接处,直径为300mm,共采用20个。隔震支座具体力学参数可见表1,图5所示为有限元模型与隔震支座的布置。

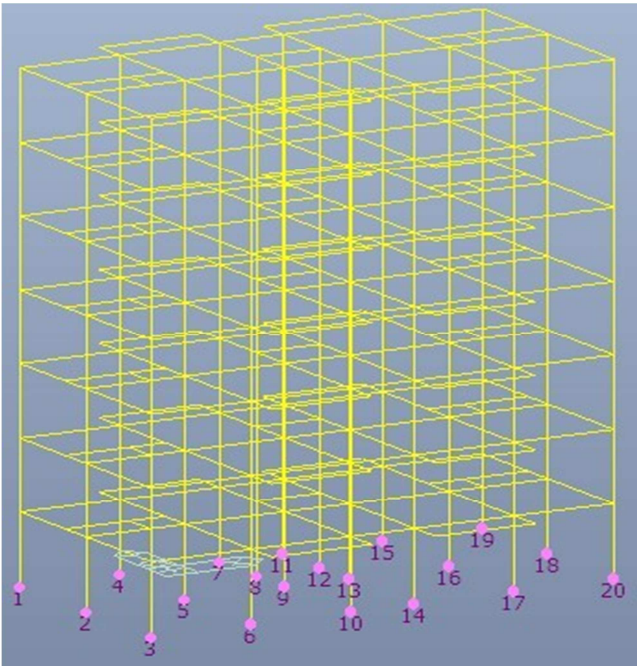


图5 模型与隔震支座布置图。

表1 模型隔震支座性能参数。

隔振支座型号 (LRB)	GZY300	
水平性能/%	50	100
屈服后刚度/kN/mm	0.75	0.66
等效水平刚度/kN/mm	1.58	1.065
等效阻尼比/%	30	23

3.3. MIDAS/GEN分析结果

结构模型建立后，进行时程分析，以Elcent-h地震波进行施加隔震支座与非施加支座两种情形进行模拟分析对比，分别进行了7度（0.1g）、8度（0.2g）设防烈度下的周期与振型、层剪力、层位移对比，结果如图6至图13、表2至表7所示。

表2 周期与振型（隔震结构）。

模态号	频率		周期
	(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)
1	2.3856	0.3797	2.6338
2	2.4659	0.3925	2.548
3	2.5259	0.402	2.4875

表3 周期与振型（非隔震结构）。

模态号	频率		周期
	(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)
1	5.0703	0.8069	1.2393
2	5.7104	0.9088	1.1003
3	5.7445	0.9143	1.0938

从周期与振型表2和表3可以看出，施加隔震支座装置后结构振动频率明显比未施加隔震支座装置的振动频率小。相反，振动周期则比未施加隔振支座装置的模型要长，其中第一振型下隔震结构的周期为2.63s，频率为2.39rad/s、0.38cycle/s；非隔震结构周期为1.24s；频率为5.07rad/s、0.81cycle/s。

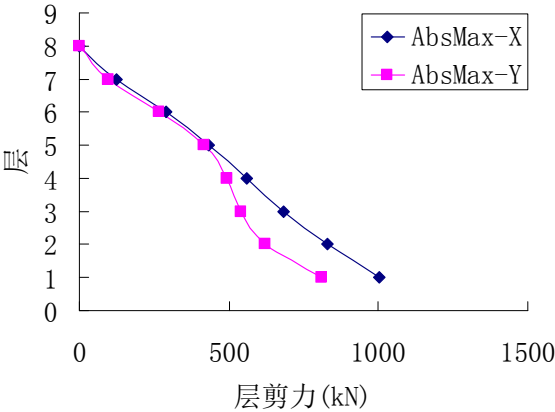


图6 7度隔震结构层剪力。

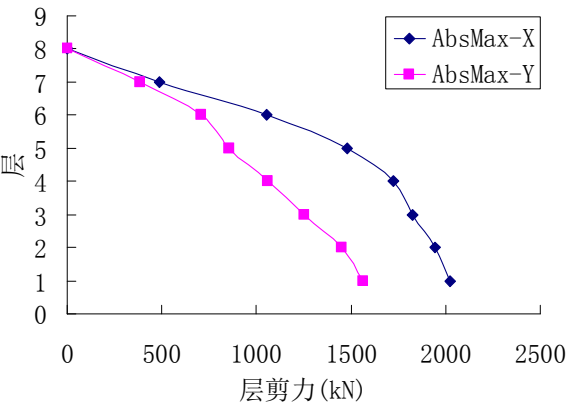


图7 7度非隔震结构层剪力。

表4 7度层剪力。

层	隔震结构		非隔震结构	
	X	Y	X	Y
8	0	0	0	0
7	125	98	487	386
6	291	265	1056	707
5	433	416	1480	853
4	558	495	1722	1060
3	682	539	1826	1254
2	831	622	1947	1451
1	1004	811	2021	1566

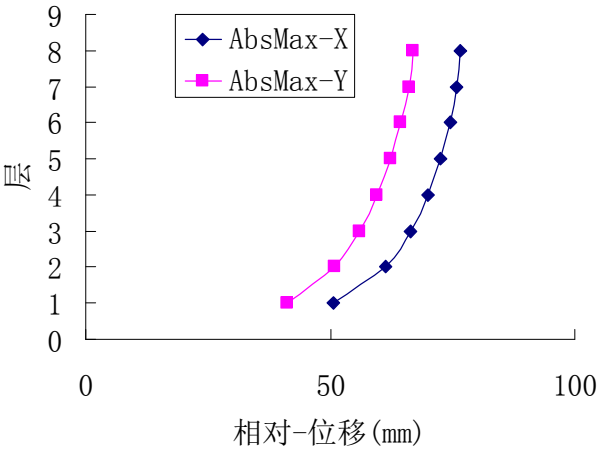


图8 7度隔震结构层位移。

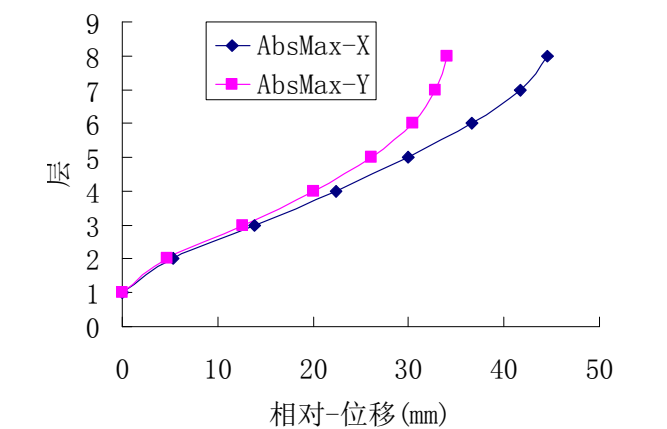


图9 7度非隔震结构层位移。

表5 7度层位移。

层	隔震模型		非隔震模型	
	X	Y	X	Y
8	76.7	67.0	36.6	34.0
7	75.9	66.1	35.7	32.8
6	74.5	64.5	33.6	30.5
5	72.6	62.3	30.0	26.1
4	69.9	59.5	22.4	20.00
3	66.3	55.9	13.8	12.6
2	61.4	50.9	5.3	4.7
1	50.6	41.1	0	0

在7度（0.1g）X向地震作用下，结构首层遭受最大层剪力，位置为结构的柱脚处。其中非隔震结构最大剪力为2021kN，隔震结构最大剪力为1004kN，非隔震结构最大剪力比隔震结构多出1倍；发生最大层位移为结构顶层，非隔震结构最大层位移为36.6mm，结构首层相对地面位移为0mm，因此非隔震结构结构为晃动，隔震结构最大层位移为76.7mm，首层层位移为50.6mm，与顶层最大层位移较为接近，则隔震结构接近平动。

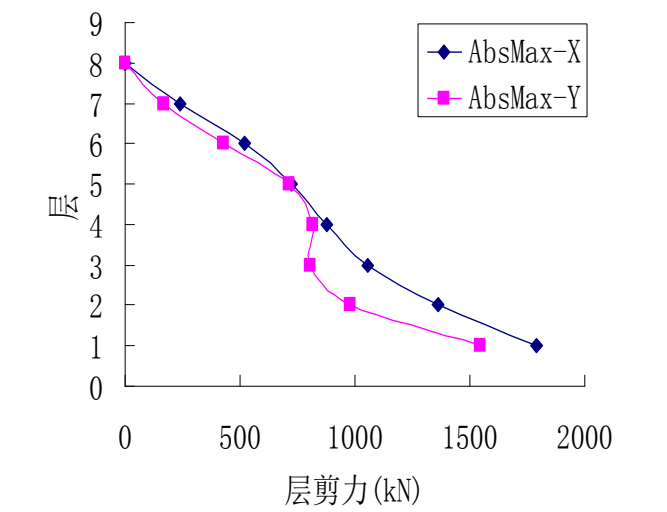


图10 8度隔震结构层剪力。

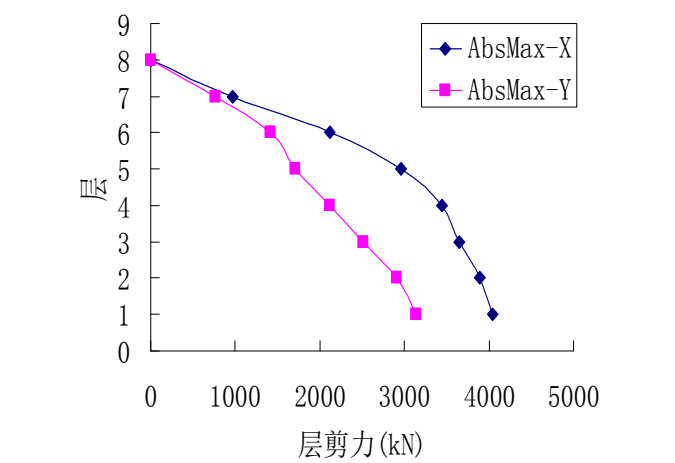


图11 8度非隔震结构层剪力。

表6 8度层剪力。

层	隔震结构		非隔震结构	
	X	Y	X	Y
8	0	0	0	0
7	238	171	974	771
6	521	427	2113	1415
5	723	717	2960	1706
4	880	815	3444	2119
3	1056	808	3651	2508
2	1361	978	3894	2903
1	1789	1544	4042	3132

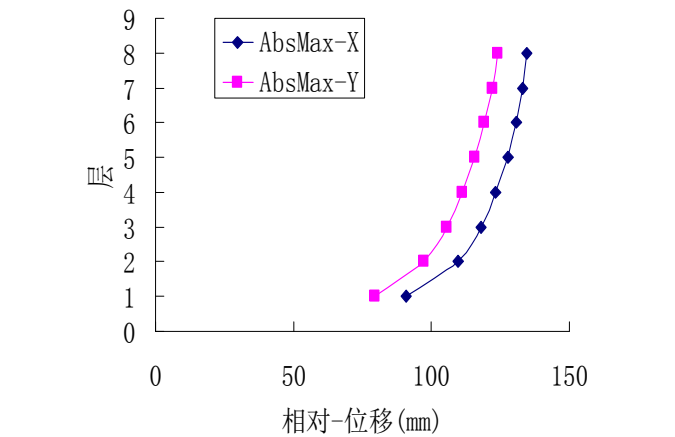


图12 8度隔震结构层位移。

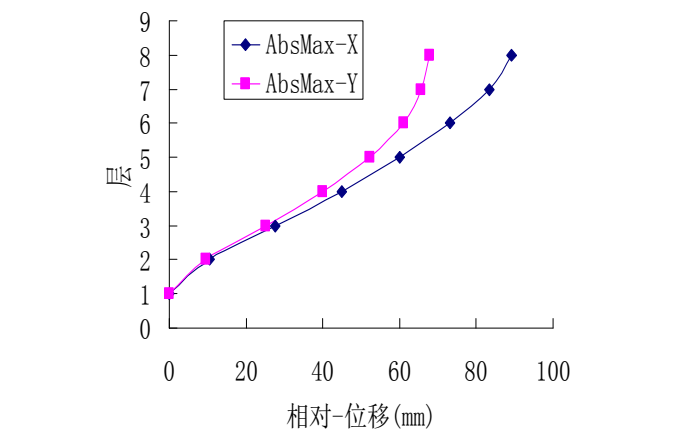


图13 8度非隔震结构层位移。

表7 8度层位移。

层	隔震结构		非隔震结构	
	X	Y	X	Y
8	134.5	123.8	89.1	68.0
7	133.2	122.2	83.4	65.5
6	130.8	119.2	73.2	61.0
5	127.6	115.6	59.9	52.2
4	123.4	111	44.9	40.0
3	117.9	105.6	27.7	25.2
2	109.6	97.4	10.6	9.5
1	90.7	79.7	0	0

在8度(0.2g) X向地震作用下,非隔震结构最大剪力为4042kN,隔震结构最大剪力为1789kN,最大剪力均发生在结构首层,非隔震结构最大剪力比隔震结构多出2.3倍;最大层位移为结构顶层,非隔震结构最大层位移为89.1mm,首层层位移则相对地面为0mm,隔震结构最大层位移与首层层位移分别为134.5mm、90.7mm。

4. 结果分析

从各种设防烈度下层剪力图可以看出施加隔震支座的结构各层剪力均比未施加隔震支座结构小。^[11]表明基础隔震技术有效降低了地震对预制装配整体式结构的影响效应。

通过对比7度(0.1g)、8度(0.2g),设防烈度下隔震结构与非隔震结构最大层剪力可得:设防烈度越高,非隔震结构与隔震结构最大剪力比值倍数越高,表明隔震结构的隔震效果越明显;通过对比层位移可得:设防烈度越高,非隔震模型首层相对地面位移均为0mm,则顶层晃动更剧烈,而隔震模型在各种设防烈度下均保持于接近平动,同样可表明设防烈度越高,隔震结构更有效抗震的结论。

采用时程分析法对隔振结构进行设计计算时,应至少选取3组地震波进行模拟计算,该工程选取除上述所列Elcent-h波外,还选取了Taft波以及一人工地震波。3组地震波的计算均得到了较为相近的结果,均表明了隔震支座对结构的抗震隔震有效性。

5. 结论

本文主要研究结果,可归纳如下:

- (1) 随着经济的发展水平不断提高,人们对绿色建筑的要求也在不断提高,高效、节能、环保的理念已深入人心,而且我国高烈度地震区分布广泛,城市化发展迅速,建筑结构隔震技术能有效提高建筑物的抗震性能以及使用品质,隔震技术的出现可以说是房屋抗震研究史上的里程碑,有助于实现绿色施工。
- (2) 基础隔震技术的原理是通过在上部结构与基础结构之间设置隔震层,使上部结构与基础隔开,有效地减小了水平地震作用力向上部结构传递的影响。隔震层中往往通过设置隔震支座,其中隔震支座具有足够的弹性恢复力,使上部结构在发生水平变形后能恢复原状。并具有足够的竖向刚度,持续地支撑建筑物重量。
- (3) 结合工程案例,进行了有限元的对比分析。通过对比7度(0.1g)、8度(0.2g)的有限元对比分析,非隔

震结构与隔震结构最大剪力比值倍数越高,表明隔震结构的隔震效果越明显,能有效降低地震影响。

参考文献

- [1] GB50378-2019.中华人民共和国国家标准.绿色建筑评价标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2019。
- [2] 沈史宁.绿色建筑运动和“可维持设计”[J].华中建筑,1995(03):4-8。
- [3] 张季超,楚先锋,邱剑辉,等.高效、节能、环保预制钢筋混凝土结构住宅体系及其产业化[J].工程力学,2008.12。
- [4] 邱剑辉,张季超,窦祖融,等.新型装配整体式混凝土结构构造处理措施探讨[J].广州建筑,2009。
- [5] 万学林,王伟,廖飞,王利文,李茂,潘忠尧.基础隔震结构受力性能研究[J].施工技术(中英文),2021,50(15):54-57。
- [6] 彭凌云,苏经宇,韩流涛.我国建筑减隔震技术标准化现状与展望[J].城市与减灾,2016(05):11-18。
- [7] 赵亮.橡胶隔震支座在实际工程中的应用[D].2017。
- [8] GB50011—2010.中华人民共和国国家标准.建筑抗震设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2016。
- [9] 陈兆荣,潘东辉,魏春玲,刘波,徐新星.高层建筑框筒结构层受剪承载力计算方法研究[J].华南地震,2018,38(01):120-124。
- [10] 陈兆荣,罗盛宗,潘东辉.底层大空间-单跨框架学校建筑的抗震加固分析与设计[J].建筑结构,2016,46(09):90-94。
- [11] 陈晓旭,何华拓,陈兆荣.钢框架梁柱扩翼型节点的抗震性能分析[A].2015城市地下空间综合开发技术交流会论文集。
- [12] JGJ297—2013.中华人民共和国行业标准.建筑消能减震技术规程[S].北京:中国建筑工业出版社,2013。
- [13] 朱绪林,林明强,高蕊,高莉.中国建筑结构减隔震技术应用研究进展[J].华北地震科学,2020,38(04):86-91。
- [14] 孟美莉,张德强.我国建筑物隔震与减震研究的现状与展望[J].河北建筑科技学院学报,2003(01):62-64。
- [15] 杨林,刘渊,常永平,成春旺,孙付东.全球隔震支座技术专利分析[J].工程抗震与加固改造,2018,40(02):7-12。
- [16] 吴崑宇.浅析建筑结构减隔震技术的应用现状与发展前景[J].福建建材,2018(5):49-50,53。
- [17] 王志恒,商怀帅,魏磊,等.振动控制及减隔震技术的发展与应用[J].建筑结构,2017(S1):625-628。
- [18] 刘珍.基础隔震结构体系地震反应研究[D].济南:山东大学,2008。
- [19] 张曼生,张国军,马伯涛,王明珠,张玲,刘鑫刚,葛家琪.基础隔震结构隔震层水平性能设计研究[J].建筑结构,2019,49(11):123-127+122。
- [20] 陈兆荣,张季超,张建林,刘洋.某扩建工程层间隔震结构分析与设计[J].华南地震,2014,34(S1):198-203。