

建筑结构基础隔震技术的研究和应用

陆鸣 田学民 王笃国 李丽媛

(中国地震局地震工程研究中心, 北京 100036)

摘要 本文介绍了建筑结构基础隔震基本原理、隔震系统分类、隔震技术进展、隔震设计一般流程、隔震相关专著、隔震规范和应用软件, 并提出隔震技术推广中有待解决的几个问题。

关键词: 建筑结构 基础隔震 研究和应用

1 隔震结构基本原理和特性

建筑结构隔震技术原理简单, 减震效果显著, 与传统的抗震结构体系相比具有很多优越性, 已逐渐被人们认同和接收。

传统的房屋上部结构和地基连为一体, 地震时地面运动的能量经过地基传输到上部房屋结构, 结构通过振动和变形耗散能量。而隔震技术则是在房屋的地基与上部结构之间增加一层隔震装置, 地震时地面运动的能量部分被隔震装置耗散, 从而减少了地震产生的能量向地上建筑物的传输, 保障了上部结构和内部人员、设备的安全。

图1为地震影响系数曲线, 一般房屋结构的自振周期在 T_0 附近, 通过增加隔震系统, 隔震结构的自振周期将被延长至 T_1 附近, 地震影响系数 η 将明显降低, 从而上部结构的地震反应将减少。

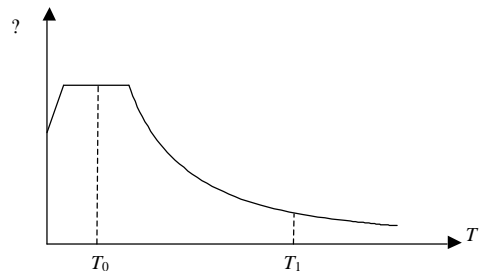


图1 地震影响系数曲线

Fig.1 The curve of seismic influence modulus

隔震体系具有如下基本特征:

(1) 水平具有可变的刚度。在风荷载和较小地震作用时, 隔震系统具有足够的水平刚度使上部结构相对于地面保持不动; 在中强地震发生时, 隔震层发生较大变形, 耗散了地震的绝大部分能量, 而上部结构相对于地面只有少许整体平动, 处于基本弹性状态。

(2) 水平具有自动复位能力。在地震发生后, 隔震结构体系自动回复到初始状态, 满足正常使用要求。

(3) 适当调整阻尼, 使隔震层的位移控制在设计范围内。

[收稿日期] 2005-12-10

[作者简介] 陆鸣, 男, 生于1957年。1988年获得硕士学位, 研究员。主要研究领域: 生命线工程抗震、房屋抗震、结构隔震等。E-mail: luming6@yeah.net

与传统的抗震结构体系相比,隔震体系具有下述优越性:

- (1) 明显有效地减轻结构的地震反应,保障了结构、人身和设备的安全;
- (2) 上部结构建筑设计自由度大。

2 隔震系统分类

2.1 橡胶支座隔震系统

橡胶支座隔震体系的理论研究、试验研究及工程应用已较为成熟^{1, 2, 3, 4}(周福霖, 2004; 苏经宇等, 1999; 苏经宇等, 1996), 这种隔震体系主要采用橡胶隔震支座作为隔震装置, 单独或与阻尼器共同作用, 吸收并消耗地震能量。

橡胶隔震支座主要有普通橡胶支座、铅芯橡胶支座和高阻尼橡胶支座(Naeim F. 等, 1999)。普通橡胶支座阻尼较小, 在水平地震力较大时变形大, 故一般与阻尼器(如铅阻尼器、油阻尼器、钢棒阻尼器、粘弹性阻尼器、滑板支座等)铅芯橡胶支座或高阻尼橡胶支座配合使用。铅芯橡胶支座和高阻尼橡胶支座可以单独使用。

橡胶支座隔震系统的特点是上部结构具有可变的自振周期, 在大震时结构自振周期可以远离场地卓越周期, 使结构的基频处于地震高能量频段之外, 从而有效地降低建筑物的地震反应, 隔震结构的第一振型表现为隔震层发生变形而上部结构作刚体平动。

橡胶支座隔震系统装置简单、施工方便, 被认为是隔震技术迈向实用化最卓有成效的体系。但是, 橡胶支座隔震系统的隔震效果与周期相关, 特别是对长周期结构和建在软土地基上的结构隔震效果不明显。由于阻尼依赖于应变频率和幅值, 高阻尼橡胶支座对高频波的隔震效果较好, 但在罕遇地震作用下, 水平位移较大。铅芯橡胶支座在罕遇地震作用下水平位移较小, 但是对于高频波的隔震效果相对较差, 且上部结构高振型影响较大。

2.2 滑动隔震系统

常见的有水平摩擦滑动隔震系统、滚动隔震系统和摩擦摆隔震系统(周福霖, 1997; Naeim F. 等, 1999; 苏经宇等, 2001)。

水平摩擦滑动隔震系统常配合限位装置一同使用(樊水荣等, 1997)。滑移材料有砂垫层、石磨砂浆、聚四氟乙烯滑板、滑石粉、不锈钢板等(周福霖, 1997; 窦远明, 2005)。滚动隔震系统是利用滚珠、滚轴等几何复位特性达到减震的目的(姚谦峰, 1999)。摩擦摆隔震系统采用滑动支撑与多层橡胶并用, 不锈钢表面做成凹球面, 由结构的自重分量形成恢复力, 这种形式在美国改建工程中常使用(Naeim F., 1999; 石志晓, 2004)。

摩擦滑移装置具有较大的初始刚度, 在滑移时刚度的增量为零。在结构受到较小的水平地震激励时, 摩擦滑移装置能够提供足够的摩擦力阻止上部结构滑动, 建筑物与地面一同运动; 当地面水平地震力较大, 超过了摩擦滑移装置能够提供的最大摩擦力时, 滑移面开始滑移, 摩擦滑移装置开始发挥隔震作用, 此时传入上部结构的地震力控制在一定的范围内, 不会随着地面激励的增加而增大, 从而保证上部结构的安全(Naeim F. 等, 1999)。因此, 通

1 刘文光, 2003. 橡胶隔震支座力学性能和隔震结构地震反应分析研究 [博士学位论文]. 北京: 北京工业大学.

2 赵世峰, 2001. 夹层橡胶垫基础隔震结构的研究与应用 [博士学位论文]. 南京: 东南大学.

3 朱玉华, 2001. 建筑结构不同基础隔震系统的试验与分析 [博士学位论文]. 上海: 同济大学.

4 李婕, 刘文光, 冯德民, 2005. 隔震结构的研究应用与强震观测进展. 第五届结构减震控制学术研讨会论文集. 40—47.

过选用适宜的摩擦材料就可以控制传入上部结构的地震作用，再匹配合适的限位复位装置，就可以控制位置。

滑移隔震系统受到关注是因为这种隔震系统造价较低，并且由于滑动现象没有固定周期，所以不与特定周期地震波存在特别强的相应，可以在宽频域内获得隔震效果。但是，滑移隔震系统有如下缺点（Naeim F. 等，1999）：滑动摩擦力较大，一般只适宜用于刚度较大的砖混结构或轻型结构的隔震，不宜用于框架结构；同时由于竖向地震作用的影响，使支座法向应力变化，进而对水平摩擦力也有影响，使分析工作复杂化；地震后不能完全复位；摩擦材料的耐久性、可靠性，施工复杂。

2.3 其它隔震系统

各国学者还开发出了许多隔震系统¹（Skinner R. I. 等，1996；周福霖，1997；唐家祥等，1993；日本免震构造协会，1998；Naeim F. 等，1999），比如为了降低隔震系统的造价和取得最优隔震效果而采用的各种复合隔震系统（吕西林等，2001；朱玉华等，2004；周锡元等，1999），考虑三维隔震而开发出的弹簧隔震系统（日本免震构造协会，1998），还有悬挂、悬浮、顶支撑隔震体系等（Naeim F. 等，1999）。随着隔震技术的发展，相信越来越多的隔震系统会陆续出现。

3 现代隔震技术进展

3.1 国外研究进展

3.1.1 应用研究

虽然在 19 世纪就已经有了基础隔震思想，但直至上世纪 70 年代，新西兰学者 W. H. Robinson 研发出了铅芯橡胶支座，基础隔震技术才开始逐步受到人们的关注（Skinner R. I. 等，1996）。目前，日本、新西兰等多震国家在隔震技术的理论和应用研究中已取得了令人瞩目的成果，技术处于世界领先水平（Skinner R. I. 等，1996；周福霖，1997；王刚等，2001；Buckle I. G. 等，1990）。

日本非常重视抗震设计，在设计建筑时考虑的抗震等级要普遍高于美国和欧洲（Naeim F. 等，1999）。自从 1986 年建成第一座大型现代隔震建筑后，日本的隔震建筑已经增加至 1000 栋左右，特别是在 1995 年阪神大地震后，建筑隔震技术得到日本政府的大力推广。隔震技术不仅应用于政府办公大楼和医院，而且越来越多的住宅建筑也开始考虑隔震技术（侯宝隆，2000；邓长根等，2002；赵斌等，1997；何永超等，2002）。日本的隔震建筑主要是新建的建筑物、桥梁，隔震技术用于结构维修加固的情况较少（徐忠根等，1999），且主要为古庙宇的改造加固。隔震装置多用夹层橡胶隔震垫。早期隔震系统是由天然橡胶支座加阻尼器或铅芯橡胶支座组成，近期，使用高阻尼天然橡胶支座的隔震建筑越来越多。

新西兰的隔震装置以铅芯橡胶支座为主，主要用于桥梁结构，也用于重要建筑物。1992 年，新西兰学者合著了《工程隔震概率》，这是隔震领域内第一本较为系统而完整地介绍隔震技术在土木工程中应用的专著（Skinner R. I. 等，1996）。

意大利、法国、智利等国均已在房屋建筑中采用了隔震技术（周福霖，1997）。

1 同 32 页页下注 3。

3.1.2 应用实例

1969 年,现代第一座隔震建筑出现在南斯拉夫,建筑结构为 3 层钢筋混凝土结构,隔震装置采用天然橡胶支座。

1970 年左右,法国在马赛兰蒙斯克镇建造了一幢 3 层教学楼,首次采用了叠层钢板橡胶支座隔震。

1981 年竣工的新西兰惠灵顿威廉克雷顿 (William Clayton) 大楼是世界上第一座使用铅芯橡胶支座的建筑。

1984 年,美国加州福希尔司律师事务所落成,这是美国第一座隔震建筑,也是世界上首次使用高阻尼橡胶支座隔震的建筑物。

1984 年,美国盐湖市政大厦采用隔震技术加固,这是世界上第一个用基础隔震方法对建筑物进行抗震加固的工程,其中隔震系统全部采用铅芯橡胶支座。

2003 年落成的日本大阪楠叶塔楼城最高部分达到 136.8m,是目前在建的应用基础隔震技术的最高建筑物(何永超等,2002)。

3.1.3 隔震结构强震观测记录

美国、日本开展隔震结构强震观测工作较早,并在多次地震中得到隔震结构强震观测记录¹(周福霖,1997;Naeim F. 等,1999)。通过比较隔震结构和附近的按传统抗震方法设计的建筑结构,再一次验证了隔震结构可以有效的减少地震作用力的结论,特别是在地面运动比较剧烈时,隔震效果更加明显。

例如,1995 年日本神户大地震中,位于神户市北区(距震中 35km)的松村组技术研究所办公楼内安装的强震仪记录到隔震建筑的强震观测记录,这是日本首次记录到大地震发生时隔震建筑的实测加速度反应纪录。附近一栋基础固定结构同时也记录到强震记录,对比屋顶水平加速度强震记录,隔震楼仅相当于传统抗震楼的 0.2—0.4。1994 年美国北岭地震中,采用铅芯橡胶支座隔震技术的美国南加州大学医院记录到强震观测记录。在这次地震中,位于震区的 10 多所医院都受到不同程度的损伤或破坏而停止使用,只有南加州大学医院在地震中没有损伤,依然正常工作(周福霖,1997)。

3.2 我国研究进展

3.2.1 理论研究

冶金部建筑研究院李立从 20 世纪 60 年代开始倡导隔震技术,并以砂砾层为摩擦材料进行了摩擦滑移隔震的试验研究和理论分析。

70 年代和 80 年代前期,隔震技术开始受到关注,研究重点集中在滑移摩擦隔震体系上,这是由于滑移摩擦隔震元件的价格低,比较适合我国国情(苏经宇等,2001)。

80 年代后期,我国学者开始重点关注橡胶支座隔震技术。在国家自然科学基金会等基金资助下,以中国建筑科学研究院周锡元和苏经宇、广州大学周福霖、华中科技大学唐家祥等学者为学术带头人,进行了橡胶隔震支座研制、隔震结构分析和设计方法、结构模型振动台试验、橡胶支座产品性能检验、检测技术、施工技术等全方位的系统研究工作,提出了橡胶支座隔震建筑的成套技术²(周福霖,1997;唐家祥等,1993;周福霖,2004;苏经宇等,2001;周锡元等,1999;周锡元等,2002;李中锡等,2002)。

1,2 同 32 页页下注 4.

近年来,我国许多研究人员还开展了多种形式的隔震元件和隔震体系的研究^{1, 2}(周福霖, 2004;曾德民等, 1996;刘文光等, 2003;刘季等, 1995;杨迪雄等, 2003;黄永林等, 2001;王优龙等, 1991), 研究单位包括同济大学、中国地震局哈尔滨工程力学研究所、甘肃工业大学、天津大学、江苏省地震工程研究院、西安冶建院、机械设计研究总院、中国地震局地震工程研究中心等。

3.2.2 应用实例

1980年,由冶金部建筑研究总院李立主持,在北京采用砂砾层隔震的方法建造了几座单层隔震房屋和北京中关村一幢4层砖混房屋,这是我国最早的隔震建筑。

1993年,由广州大学周福霖主持,在汕头市建成我国第一座夹层橡胶垫隔震房屋。

1993年,由建筑科学研究院周锡元、王亚勇等主持,在新疆独山子建成我国第一座滑移板(聚四氟乙烯)隔震房屋。

1994年,由华中理工大学唐家祥、刘再华主持,在安阳市建成我国第一座采用铅芯叠层橡胶隔垫的隔震房屋。

至今,我国已建成隔震结构近400栋(周福霖, 2004),分布于北京、上海、新疆、河南、山西、广东等20个省市,覆盖了我国大部分地震设防区。

3.2.3 隔震结构强震观测记录

2001年,在云南省抗震培训中心隔震大楼记录到2次地震(崔建文等, 2002),但由于地震较小,隔震效果并不明显。我国隔震技术起步晚,在隔震结构强震观测方面的工作还需加强。

4 隔震设计一般流程

一般来说,隔震设计按以下4个步骤进行(日本免震构造协会, 1998)。

(1) 隔震层特性的初估

首先确定设计参数和抗震设防目标,并假定上部结构为单自由度体系,采用单自由度反应谱设计法,通过循环计算对隔震层参数做优选,初步估算出隔震层橡胶支座的布置、规格和数量。

(2) 结构的有限元方法计算

以上步结果作为结构隔震层设计的初始参数,通过有限元方法计算结构的自振特性、层间剪力比、隔震层最大位移、支座承载力等参数。

(3) 对比验证

对比参数计算结果与设防目标的一致性,验证规范要求。

(4) 迭代计算分析

当对比验证达不到设计参数、抗震设防目标和规范要求时,微调隔震层橡胶支座参数,重新进行第2步和第3步的迭代计算,直至计算结果满足要求。

实践证明,通过第1步的循环计算和优选,初步估算出的隔震层特性已可以较好的满足设计参数和抗震设防目标。

1 同32页页下注4.

2 江宜城, 2000. 建筑结构基础隔震扭转反应研究[博士论文]. 武汉: 华中科技大学.

5 隔震专著、规范和设计软件

5.1 专著

随着隔震研究工作的不断深入,国内外许多学者出了专著。在国内常见的有:

新西兰:“An Introduction to Seismic Isolation”由 Skinner R. I., Robinson W. H., McVerry G. H. 著(有中译本);“Base Isolation of Structures-Design Guidelines”由 Trevor E. Kelly, S. E. 著。

日本:《图解隔震结构入门》日本免震构造协会著(有中译本);《建筑物隔震、防振与共振》武田寿一著(有中译本)。

美国:“Design of Seismic Isolated Structures - from Theory to Practice”由 Naeim F. 和 Kelly J. M. 著;“Earthquake Resistant Design with Rubber”由 Kelly, J. M. 著。

中国:《建筑结构基础隔震》唐家祥,刘再华著;《工程结构减震控制》周福霖著。

5.2 规范

美国、日本、新西兰和意大利等一些国家已经制定了隔震设计规范,有的已更新了好几个版本(Naeim F. 等, 1999)。1986年美国北加州工程师协会出版了《基础隔震建筑设计指南》草案,随后,分别在1991年、1994年和1997年对基础隔震设计规范做了修订。日本1991年、1997年和2001年更新了《隔震结构设计指针》等。

在我国和隔震技术相关的规范主要有:

中华人民共和国国家标准《建筑抗震设计规范》(第12章)GB 50011-2001;

中国工程建设标准化协会标准《叠层橡胶支座隔震技术规程》CECS 126:2001;

中华人民共和国国家建筑工业行业标准《建筑隔震橡胶支座》JG 118-2000;

中华人民共和国建设部《建筑结构隔震构造详图》03SG10-1;

甘肃省《叠层橡胶支座基础隔震建筑构造图集》甘 02G10;

陕西省《陕西省建筑滑移隔震技术规程》DBJ/24-23-2000(试行);

辽宁省《滑移减震砌体房屋技术规程》DB21/T1224-2002和J10151-2002。

5.3 设计软件

专用或拥有隔震结构分析模块的软件有:N-PAD、3D-BASIS、ETABS和SAP2000-N;可以用于隔震结构分析的通用非线性分析软件有:LPM、DRAIN、ANSR、IDARC和INADEL;其它大型通用商业软件ABAQUS、NASTRAN、ADINA、ANSYS和COSMOS拥有丰富的非线性材料库和强大的求解器模块,也可以进行隔震结构分析(Naeim F. 等, 1999)。

ETABS和SAP2000-N功能强大,具有良好的前后处理界面,有非线性单元库、快速时程分析模块,完全满足隔震分析使用。并且已经有中文版发行,纳入了中国设计规范,故在我国众多的设计单位中广泛使用。

国内外许多著名的研究所和高校也开发了隔震分析软件,比如我国的广州大学(张永山等, 2001;邓雪松等, 2001)等。

6 隔震技术推广中有待解决的几个问题

通过三十多年的发展,以橡胶支座为主的现代隔震技术已经从早期的系统研究进入到了逐步应用的阶段,且经过一些强震考验,隔震结构已显示出优良的减震性能。但是,这项新技术在世界范围内广泛应用还有很长的路要走。在今后的研究中,应逐步解决如下一些课题。

(1) 高层和超高层结构中隔震技术的应用

高层和超高层结构中应用隔震技术,可在工程总造价不增加的前提下,提高结构安全储备,增大结构设计自由度。但目前还有许多技术难点需要进一步研究,比如在长周期结构中隔震技术的应用、能承受强大竖向拉力的隔震支座开发等。

(2) 竖向隔震技术

随着强震观测数据的不断增多,人们发现有些情况下竖向地震力会很大,尤其是在高烈度地区。现有的隔震系统对竖向地震力减震效果不明显,需要开发出具有竖向隔震效果突出的隔震系统。

(3) 地震动输入

大震远震对隔震结构影响较大,而这类用于隔震结构计算的长周期地震动记录,目前在数量上还不够。

(4) 规范的不完善

和隔震技术相关的规范还需不断完善,包括现有设计规范的不断补充和改进、隔震结构施工规范的颁布、隔震构件图集的发行等。

参考文献

- 崔建文,赵永庆,付正新等,2002. 隔震及超高层建筑的地震反应观测. 地震研究, 25(2): 173—185.
- 邓长根,何永超,2002. 日本建筑结构隔震减震研究新进展. 世界地震工程, 18(3): 168—173.
- 邓雪松,阎维明,周云,2001. 隔震结构设计与分析软件的研制. 世界地震工程, 17(1): 56—60.
- 窦远明,刘晓立,赵少伟,刘稚媛,2005. 砂垫层隔震性能的试验研究. 建筑结构学报, 26(1): 125—128.
- 樊水荣,苏经宇,曾德民,马东辉,1997. 建筑基础隔震技术系列讲座之三 建筑基础摩擦滑移隔震技术及其应用. 工程抗震, 1(26): 39—43.
- 何永超,邓长根,曾康康,2002. 日本高层建筑基础隔震技术的开发和应用. 工业建筑, 32(5): 29—31.
- 侯宝隆,2000. 日本隔震技术的新发展与控震技术的实际应用. 工业建筑, 30(11): 74, 78.
- 黄永林,孔建国,章熙海,张雪亮,2001. 基础隔震技术的发展及其对未来建筑设计思想的影响. 工程抗震, 1: 24—29.
- 李中锡,周锡元,2002. 规则型隔震房屋的自振特性和地震反应分析方法. 地震工程与工程振动, 22(2): 33—41.
- 刘季,周云,1995. 结构抗震控制的研究与应用状况(上)——基础隔震与耗能减震技术. 哈尔滨建筑大学学报, 28(4): 1—10.
- 刘文光,阎维明,霍达,周福霖,2003. 塔型隔震结构多质点体系计算模型及振动台试验研究. 土木工程学报, 36(5): 64—70.
- 吕西林,朱玉华等,2001. 组合基础隔震房屋模型振动台试验研究. 土木工程学报, 34(2): 43—48.
- 日本免震构造协会,1998. 图解隔震结构入门. 叶列平译. 北京: 科学出版社.
- 石志晓,李大望,沙卫芳,2004. 摩擦摆隔震结构地震反应谱的计算分析. 世界地震工程, 20(2): 39—42.
- 苏经宇,韩森,周锡元,曾德民,1999. 橡胶支座基础隔震建筑地震作用实用计算方法. 振动工程学报, 12(2): 229—234.
- 苏经宇,曾德民,2001. 我国建筑结构隔震技术的研究和应用. 地震工程与工程振动, 21(4): 94 - 101.

- 苏经宇, 曾德民, 樊水荣, 马东辉, 李虹, 1996. 建筑基础隔震技术系列讲座之二, 叠层钢板橡胶隔震体系设计与分析. 工程抗震, 4: 27—32.
- 唐家祥, 刘再华, 1993. 建筑结构基础隔震. 武汉: 华中理工大学出版社.
- 王刚, 魏新磊, 赵彤, 2001. 建筑物隔震技术在日本的研究发展和工程应用. 世界地震工程, 17(4): 7—12.
- 王优龙, 魏琏, 李康祺等, 1991. 隔震结构的研究与应用. 北京: 地震出版社.
- 徐忠根, 周福霖, 孔玲, 1999. 国内外建筑隔震改造加固概述. 华南建设学院西院学报, 7(2): 14—20.
- 杨迪雄, 李刚, 程耿东, 2003. 隔震结构的研究概况和主要问题. 力学进展, 33(3): 302—312.
- 姚谦峰, 丰定国等, 1999. 滚动隔震结构受力分析. 西安建筑科技大学学报, 31(3): 249—252.
- 曾德民, 苏经宇, 樊水荣, 马东辉, 1996. 建筑基础隔震技术系列讲座之一, 建筑基础隔震技术的发展和应概况. 工程抗震, 3: 37—41.
- 张永山, 王铁英, 王焕定, 2001. 砌体结构工程抗震软件的结构隔震功能及算例分析. 地震工程与工程振动, 21(2): 152—156.
- 赵斌, 梅占馨, 1997. 日本建筑隔震技术的研究现状与发展. 西北建筑工程学院学报, 1: 26—30.
- 周福霖, 1997. 工程结构减震控制. 北京: 地震出版社.
- 周福霖, 2004. 工程结构隔震减震研究进展. 北京: 地震出版社.
- 周锡元, 韩森, 曾德民, 马东辉, 1999. 组合橡胶支座及橡胶支座与柱串联系统的水平刚度计算方法. 地震工程与工程振动, 19(4): 67—75.
- 周锡元, 阎维明, 杨润林, 2002. 建筑结构的隔震、减振和振动控制. 建筑结构学报, 23(2): 2—12, 26.
- 朱玉华, 吕西林, 2004. 组合基础隔震系统地震反应分析. 土木工程学报, 37(4): 76—81.
- Buckle I.G., Mayes R.L., 1990. Seismic Isolation: History, Application, and Performance-A World View. Earthquake Spectra, 6(2): 178—186.
- Naeim F., Kelly J.M., 1999. Design of Seismic Isolated Structures. John Wiley & Sons, Inc.
- Skinner R.I., Robinson W.H., McVerry G.H. 著, 1996. 工程隔震概论. 谢礼立等译. 北京: 地震出版社.

Research and Application of Building Structure Base Isolation Technology

Lu Ming, Tian Xuemin, Wang Duguo and Li Liyuan

(Earthquake Engineering Research Center, China Earthquake Administration, Beijing, 100036)

Abstract Building structure base isolation technologies are introduced in this paper, which includes the fundamental theories, classification of the types of isolation systems, the recent development of isolation technologies and the flow of isolation design, a list of the relative books, principles and software. Finally, we proposed some problems in the isolation technology popularization, which need to be resolved in the near future

Key words: Building structure; Base isolation; Research and application