

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2014.03.023

钢筋混凝土结构课程教学中抗震概念和思想贯彻方法研究

王立成,王吉忠

(大连理工大学 土木工程学院,辽宁 大连 116024)

摘要:钢筋混凝土结构作为土木工程、水利工程等专业的技术基础课程,包含许多结构抗震设计的概念和思想。5·12汶川地震造成大量钢筋混凝土结构不同程度的开裂、损坏,甚至倒塌。在课堂教学中,通过对不同类型构件破坏形态的分析,从结构延性、约束混凝土、“强柱弱梁”等方面,对学生开展了抗震概念和思想的引导和教育,增强了学生对结构抗震设计重要性的认识,培养了对钢筋混凝土结构学习的兴趣,为后续课程,如建筑结构抗震和高层建筑等课程的学习打下了基础。

关键词:钢筋混凝土结构;抗震概念;教学研究

中图分类号:TU375;G642.0

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2014)03-0089-05

钢筋混凝土结构是土木工程、水利工程等专业中一门重要的技术基础课程。学习本课程的主要目的是,掌握钢筋混凝土结构构件设计计算的基本理论和构造知识,为学习有关专业课程和从事钢筋混凝土建筑物的结构设计打下牢固的基础。这些专业课程包括建筑结构抗震、高层建筑等。建筑结构抗震课程依据国家规范 GB 50011—2010《建筑抗震设计规范》^[1],介绍了地震有关知识、抗震设计原则与要求、场地分类与基础抗震、地震作用与结构地震反应分析、砌体结构和多高层钢筋混凝土结构的抗震设计与构造措施,以及隔震减震设计等内容。混凝土结构按课程内容的性质通常分为“混凝土结构设计原理”和“混凝土结构设计”两部分。前者主要讲述各种混凝土基本构件的受力性能、截面设计计算方法和构造等混凝土结构的基本理论,属于专业基础课。后者主要讲述梁板结构、单层厂房、多层和高层房屋、公路桥梁等结构设计,属于专业课内容。

在高校土木工程专业的课程设置中,作为专业基础课,钢筋混凝土结构通常是在三年级讲授,建筑结构抗震作为专业课,在四年级讲授。这样带来的主要问题是,学生在学习钢筋混凝土结构的基本理论时,由于缺乏基本的抗震设计概念和思想,对混凝土结构中抗震有关的设计方法、构造措施的理解比较困难。钢筋混凝土结构课程的教学理念和教学方法,与学生此前学习的具有严密科学逻辑理论体系的基础课程有很大的不同,要求学生既要掌握课堂上讲授的基础理论知识,又要综合考虑材料、施工、经济、构造细节等各方面的因素^[2]。

收稿日期:2014-01-09

基金项目:大连理工大学教学改革基金课题(MS201337)

作者简介:王立成(1975-),男,大连理工大学建设工程学部土木工程学院副教授,博士,博士生导师,主要从事钢筋混凝土结构基本理论研究,(E-mail) wanglicheng2000@163.com。

2008年5月12日,四川省汶川县发生里氏8.0级地震,举国震惊,造成了数万人死亡或失踪,数十万人受伤,大量道路、桥梁被毁,2300多万间房屋损坏,650多万间房屋倒塌。此类地震灾害仍然是土木工程专业学生所关心的话题。钢筋混凝土结构虽然是讲授混凝土结构的基本理论和设计方法的课程,然而从钢筋混凝土的基本材料力学性能、结构设计理论与方法、结构的构造措施和技术等方面都蕴藏着结构抗震设计的概念和思想。在钢筋混凝土结构的学习过程中,向学生贯彻渗透建筑抗震设计的概念和思想,通过汶川地震后不同类型构件的破坏形态和破坏特征的分析和学习,不仅对充分掌握钢筋混凝土结构的受力特性、破坏性能具有很好的促进作用,而且能够为将来进一步学习掌握抗震设计的基本知识和设计理念打下基础,具有重要的现实意义。作者在近两年的教学工作中,通过向学生演示自己现场拍摄的大量图片资料,分析地震引起的结构破坏机理,钢筋混凝土结构设计面临的抗震设计问题和难题,提高了学生的学习兴趣,加深了对钢筋混凝土结构基本理论和设计方法的理解和掌握,取得了非常好的效果。



图1 都江堰市某办公楼外部损坏

一、抗震设防目标与结构延性

GB 50011—2010《建筑抗震设计规范》对抗震设防的目标提出了“三水准”的设计方法,即“小震不坏,中震可修,大震不倒”。特别是第三水准,当遭受高于本地区抗震设防烈度预估的罕遇地震影响时,建筑物不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。因此,必须保证结构在地震作用下具有足够的延性。钢筋混凝土结构虽然重点讲授钢筋混凝土构件在非抗震设计中的基本计算理论与原理,然而课程中多处提到了结构延性的概念及其与抗震设计的关系。因此,在课堂讲课过程中,针对地震后结构的破坏状况展开讨论,对更好地理解 and 掌握结构延性的概念及其对达到抗震

设防目标的作用具有重要的推动作用。

5·12汶川地震,都江堰市区的实际烈度是8度,而抗震设防烈度为7度。因此,按抗震设计规范的建筑物,应能够达到第三水准的要求,即满足大震不倒的设防目标。图1所示为都江堰市某办公楼,在地震中虽然遭受了严重损坏,但其主体框架结构却能保持相对完好,未导致结构倒塌。但其内部的梁板构件却大量开裂、变形,说明消耗了大量的地震能量。内部构件损害如图2所示。

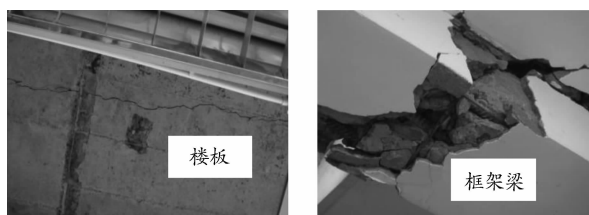


图2 都江堰市某办公楼内部钢筋混凝土构件破坏情况

结构、构件或截面的延性是指从屈服开始至达到最大承载能力或达到以后而承载力还没有显著下降期间的变形能力,即当地震迫使结构发生较大的非线性变形时,结构仍能维持其初始强度^[3]。也就是说,延性反映结构的后期变形能力。“后期”是指从钢筋开始屈服进入破坏阶段直到最大承载能力(或下降到最大承载能力的85%)时的整个过程。延性是结构超过弹性阶段的变形能力,它是结构抗震能力强弱的标志。它包括承受极大变形的能力和靠滞回特性吸收能量的能力,是抗震设计当中一个非常重要的特性。延性差的结构、构件或截面,其后期变形能力小,刚进入破坏阶段就会破坏,这是不好的。因此,对结构、构件或截面除了要求其满足承载能力以外,还要求具有一定的延性,其目的在于:

(1)有利于吸收和耗散地震能量,满足抗震方面的要求。

(2)防止发生像超筋梁那样的脆性破坏,以确保生命和财产的安全。

(3)在超静定结构中,能更好地适应地基不均匀沉降以及温度变化等情况。

(4)使超静定结构能够充分地进行内力重分布,并避免配筋疏密悬殊,便于施工,节约钢材。

以上分析可见,结构延性对提高结构的抗震能力、减小地震造成的破坏和损失具有重要作用。因此,在地震作用下,一味地追求结构的强度并不可取,结构的延性非常重要。

在“小震”作用下,要求结构不受损伤或不需修

理仍可继续使用。从结构抗震分析角度来说,就是要求结构在“小震”作用下保持准弹性反应状态,而不进入使建筑物中断使用和产生非结构构件破坏的非弹性反应状态;同时结构的侧向变形应控制在合理的限制范围以内,目的是使结构具有足够的抗侧向力刚度。中震大概相当于设防烈度地震,当遭遇中震作用时,结构可以有一定程度的损坏,经修复或不经修复仍可继续使用。从经济角度来说,维修费用不能太高。对发生概率极小的罕遇大震(“大震”的烈度比设防烈度约高一度左右)。要求当结构在遭遇“大震”作用时,不应倒塌或发生危及生命的严重破坏。这样一个抗震设防目标是非常经济合理的。因为地震是偶发性事件,一味地追求结构的强度以保证中震甚至是大震作用下结构不坏,将会使大量的材料在绝大部分时间里,甚至在整个寿命期内都处于不能充分发挥作用的状态,这样做是不明智的。

以上这些延性与抗震设计的概念在钢筋混凝土结构课程中均有不同程度的体现。比如上面讲的一味追求结构的强度并不可取的说法。在混凝土的物理力学性能的内容中,明确指出,随着混凝土强度的提高,应力-应变曲线的下降段坡度越陡,即应力下降相同幅度时变形越小,延性越差,如图3所示。再比如,要提高梁的抗弯承载力,可以通过增加纵向受拉钢筋来实现。然而,纵向受拉钢筋配筋率增大将造成延性的降低。这也是除了限值最小配筋率外,还要规定配筋率上限值的原因。

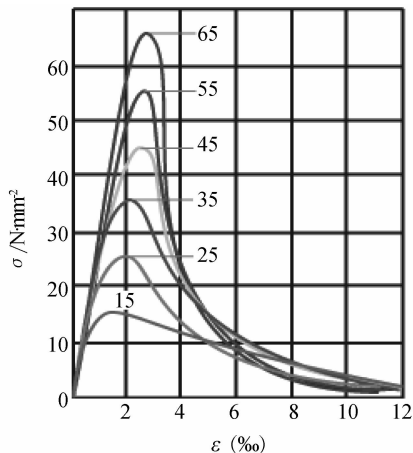


图3 不同强度混凝土的应力-应变关系

合应力下混凝土的强度和变形性能时,学生往往对此问题缺少直接和感性的认识。于是,作者引入钢管混凝土结构的工程实例,使学生了解到复合应力问题和约束混凝土的工程应用,特别是约束后混凝土变形性能的改善对提高结构抗震性能的好处。

随着近年来高强混凝土、新型复合材料在工程中的应用,现代高层建筑将会更多采用钢管约束混凝土结构、纤维约束混凝土结构等,使高楼的抗震效果提高到一个新的水平。美国加州大学戴维斯分校在国际上研究新型约束混凝土结构享有盛誉,该校杰克·莫尼教授出席“约束混凝土国际研讨会”时表示,尽管学术上对钢管约束混凝土结构研究有近百年的历史,但在实际工程中的应用不到10年,如果当初美国的世贸大厦采用钢管约束混凝土结构,或许在“9·11”恐怖事件中的损失会小一些。国内教授也曾指出,新型约束混凝土结构与传统的钢筋混凝土结构相比,抗震加固性能更加优化,地震作用下的延性性能和耗能能力大幅提高。近年在我国得到了较好的应用,其中由贝聿铭设计的60多层高楼、香港上海银行大楼和深圳赛格市场大厦就是采用钢管约束混凝土结构的代表作^[4]。

图4为5·12汶川地震中都江堰市一栋建筑受损的情况。可以想象,如果结构的柱子采用类似钢管混凝土的结构形式,或者横向箍筋设计中增加箍筋数量(即减小箍筋间距),就可以大大提高结构的承载力,特别是使结构具有足够的变形能力,而避免出现柱子“灯笼”型破坏方式。



图4 汶川地震后都江堰某建筑柱灯笼型破坏形态

二、约束混凝土

使混凝土处于三轴受压的应力状态,限制了混凝土的横向变形,从而提高了混凝土的抗压强度和变形能力,就成为“约束混凝土”。在课程中讲述复

三、预应力混凝土结构的抗震设计

在讲授预应力混凝土结构时,除了要让学生理解预应力是如何施加及预应力混凝土结构的工作性

能外,还需要重点强调预应力混凝土结构的优点和缺点。这样能够使学生在将来的工作中根据不同情况选择结构形式。预应力混凝土结构的缺点中,非常重要的一点是:预应力混凝土结构的延性较差。原因是预应力混凝土构件的开裂荷载与破坏荷载较为接近,从而造成混凝土开裂后结构的变形过程缩短。这一点与前面讲的混凝土结构的延性与抗震的知识相呼应,进一步强调了延性对结构抗震的重要性。

针对预应力混凝土结构中存在的这一致命缺陷,需要明确预应力混凝土抗震设计应遵循的一般原则^[5]:

(1)既要做好抗震计算,又要重视概念设计。一方面,要认真对地震作用、效应进行定量计算;另一方面,要选好场地,采用合理的建筑平面、立面,选择合理的抗震结构体系,采用正确的构造措施。

(2)采用两阶段设计,满足三个水准的抗震设防要求,即“小震不坏,中震可修,大震不倒”。两阶段抗震验算要求,即第一阶段采用小震地震动参数计算地震作用,进行允许弹性变形验算,实现第一水准的设防要求,采用荷载分项系数的设计表达式进行结构构件的承载力验算,近似实现第二水准的设防要求;第二阶段设计时,采用大震地震动参数计算地震作用,进行结构弹塑性变形验算,实现第三水准的设防要求。

(3)宜有多道抗震防线,避免因部分结构或构件破坏而导致整个结构抗震能力或承载能力的丧失。

(4)使结构具有合理的刚度和强度分布,避免薄弱层或薄弱部位的出现。

(5)提高抗震结构构件的延性,改善其变形能力,应进行多遇或罕遇地震作用下的变形验算。

通过以上知识的介绍和讲解,学生深刻认识到,预应力混凝土结构抗震能力差的问题可以通过一些抗震措施得以缓解,从而扩大了预应力混凝土结构的应用范围和领域。

四、多道抗震设防

针对钢筋混凝土结构的抗震问题,可做的工作还很多。比如,《建筑抗震设计规范》对结构体系提出了多道抗震防线的要求,对在大震作用下结构抗倒塌具有重要意义。GB 50010—2010《混凝土结构设计规范》^[6]增加了结构抗防连续倒塌设计的内容,要求采用超静定结构,重要构件和关键传力部位应

增加冗余约束或多条传力途径。另外,特增加“结构方案”一节,由“构件计算”扩展到“结构设计”。强调结构选型、体系组构、构件布置、均匀规则、传力途径、冗余约束、缝的分割、连接构造、方便施工、综合功能等要求,特别强调结构整体稳固性或鲁棒性。本项修订内容对转变设计理念,即从传统上强调构件设计,甚至截面设计向结构设计的转变,起到了重要的推动作用^[7]。对中小学校建筑,人群相对集中,又涉及未成年人,现在广泛存在的大开间教室建筑结构,应该考虑在现有抗震防线的基础上再增加一道抗震防线,从而提高此类建筑的抗震水平^[8]。在这一方面,日本由于长期受地震灾害的影响,积累了很多有益的经验 and 做法。图5为日本某大学的教学办公楼以增设钢架提高结构抗震性能。



图5 日本某大学教学办公楼的抗震增强措施

五、结语

建筑结构的抗震设防是地震设防区结构设计的一项重要内容。在钢筋混凝土结构课程学习过程中向学生灌输和渗透抗震设计的概念和思想对提高学生的学习兴趣、增强抗震设计的基础理论知识学习具有重要意义。不仅提高了学生对结构抗震设计重要性的认识,而且培养了学生对钢筋混凝土结构学习的兴趣,受到学生的普遍欢迎。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50011—2010 建筑抗震设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [2] 王立成,刘毅. 专业课程教学中创新思维的培养途径研究[J]. 大连理工大学学报:社会科学版,2009,30(S2): 22-24.
- [3] 丰定国. 工程结构抗震[M]. 地震出版社,2002.
- [4] 国内科技动态:新型约束混凝土结构让高楼更坚固[EB/OL]. [2013-12-01]. <http://ctixm.xmsme.gov>.

- cn/2004-6/2004618162319.htm.
- [5] 宋玉普,王立成,车轶. 钢筋混凝土结构[M]. 机械工业出版社,2013.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50010—2010 混凝土结构设计规范 [S]. 北京:中国工业出版社,2011.
- [7] 王立成. 2010 版《混凝土结构设计规范》与混凝土结构课程教学内容的调整[J]. 高等建筑教育, 2013, 22(4):55-58.
- [8] 王立成. 汶川地震后学校砌体建筑结构破坏情况调查与分析[J]. 大连理工大学学报,2009,49(5): 650-656.

Realization of seismic concept and idea in the teaching process of reinforced concrete structure course

WANG Licheng, WANG Jizhong

(School of Civil Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, P. R. China)

Abstract: The reinforced concrete structure course is a technically fundamental subject for majors such as civil engineering and hydraulic engineering. The course contains many concepts and ideas concerning the structural seismic resistance. The Wenchuan earthquake occurred on May 12, 2008 resulted in cracking, damage and even collapse of large amount of reinforced concrete structures. Therefore, in the course teaching, seismic concepts and ideas are transferred to students from the viewpoints of structural ductility, confined concrete, and “stronger column and weaker beam” based on analysis of different collapse behaviors of structures. As a result, it strengthens students’ understanding about the seismic design of reinforced concrete structures and stimulates their interest in studying the course, which is a foundation for their following courses such as seismic design of the buildings and high-rise buildings.

Keywords: reinforced concrete structures; seismic concept; teaching research

(编辑 周沫)