

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2015.04.014

# 对建筑结构抗震课程教学的思考

任晓崧, 郭雪峰, 周球尚

(同济大学 土木工程学院, 上海 200092)

**摘要:**建筑结构抗震是一门土木工程专业学生的必修专业课,该课程涉及内容多,学习难度大。搞好课程教学的关键是激发学生热情和培养学生兴趣。在课程教学实践中,逐渐形成以反应谱理论、概念设计为主线的教学理念,并突出结构变形能力的重要性。本文结合课堂教学情况和学生反馈信息,从地震震害特点、抗震设防原则、地震作用计算和概念设计及构造措施等四个方面对课程教学要点进行讨论。

**关键词:**建筑结构抗震;变形能力;课程教学;教学研究

中图分类号:G642.0;TU3

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2015)04-0055-04

在中国经济高速发展且越来越受全世界瞩目的大背景下,中国工程教育在高等教育中的地位也变得日益重要,一方面中国工程教育按照传统教育模式为社会输送了大量的工程技术人员,对繁荣中国经济起到了重要作用,另一方面是如何尽快适应未来中国经济转型需求培养高端实用的工程技术人员<sup>[1-2]</sup>。土木工程专业属于传统工程教育范畴,按照市场需求和工程实践从内容设置、教学设置等多方面进行相关课程的教学改革显得十分必要<sup>[3-5]</sup>。“建筑结构抗震”是同济大学土木工程学院土木工程专业本科学生的必修专业课,也是国家和上海市的精品课程,国家精品资源共享课程。该课程涉及力学类课程、结构类课程等内容,还和现行的各种结构规范、规程密切相关,学习内容多,难度大。笔者在长期承担该课程教学过程中,根据土木专业学生的理性思维能力和计算机应用能力强的特点,在教学过程中强调基本概念、基本理论、基本措施等内容,利用学生助教的桥梁加强课程学习情况的反馈,力求在精品课程建设有所突破<sup>[6]</sup>。

## 一、从震害认识地震及地震作用的特点

近年抗震问题备受关注和频发强烈地震所造成的严重震害相关。什么是地震?地震作用有何特点?地震是如何引起结构破坏的?这些是课程教学的要点。

从字面解释,地震就是地面的振动,和雨、雪、雷、雹等类似,是一种自然现象。全世界每年发生的地震约达500万次,其中绝大多数地震由于发生在地球深处,或者它所释放的能量小以致人们难以感觉到。人们能感觉到的地震,即有感地震,占地震总数的1%左右,美国地质调查局在其网站给出了世界范围内过去24小时所发生的2.5级以上的地震情况和30天内强烈地震发生情况(<http://www.usgs.gov/>),也汇总了1977年至今强烈地震的相关资料等。中国

收稿日期:2015-03-03

作者简介:任晓崧(1968-),男,同济大学土木工程学院教授,博士,主要从事结构抗震研究,(E-mail)ris@mial.tongji.edu.cn。

国家地震局提供了2001年起中国地区发生5级以上地震和世界范围发生7级以上地震的情况(<http://www.cea.gov.cn/>)。这样便于学生查询网站,了解更多更新的地震知识,并从中认识到对结构有影响的强烈地震作用具有短时偶然性。地震的发生提供了检验结构的真实抗震性能的机会,课程教学的第一堂课从收集到的震害资料开始,引导学生对地震作用有直观的认识。如图1(a)照片是汶川地震的砌体结构典型震害资料,X形裂缝为水平地震作用下的最大主应力超过强度以后的剪切破坏形态,说明是受水平向反复地震作用的影响;从图1(b)照片可见,钢筋混凝土框架结构在地震作用下产生很大的水平变形,引起了严重的震害。地震是以地面加速度进而以惯性力的往复方式作用在结构上,一般情况下地震作用是以水平向为主,也有竖向的。



(a) 典型砌体震害



(b) 底框结构震害

图1 结构震害图片

随后布置开放式作业,要求学生自己动手收集有关震害资料,并对地震成灾原因、提高房屋抗震能力等加以讨论分析。从作业反馈情况来看,学生对地震作用的惯性力特点、导致结构震害的结构强度和变形原因及其据此所提出的抗震措施有较深的认识。教师结合学生作业中所提交的震害图片资料进行课堂讲解,重点放在地震烈度这个概念上,即要合理评价某地区历史上多次地震的结构震害情况,从而确定其抗震设防烈度,这才是工程抗震所关心的

重点,而不仅仅关注某次强烈地震的震级或能量释放水平。

## 二、对“小震不坏、大震不倒”抗震设防目标的理解

“小震不坏、大震不倒”是重要的抗震设防原则,学生一般都能掌握,但是理解程度的差异较大,应在教学过程中重点关注。

第一,对烈度和设防烈度的理解。地震烈度是表示某区域地面和各种建筑物受到一次地震影响的平均强弱程度的一个指标,反映了一次地震中某地区内地震动多种因素综合强度的总平均水平。一次地震震级只有一个,但不同地区的烈度是不一样的。一般情况下,烈度随震中距加大而减小,而设防烈度是为了适应抗震设防要求而提出的一个基本概念。通过对历史上地震影响的综合分析,采用概率方法预测某地区在未来一定时间内可能发生的最大地震影响,作为衡量建筑抗震设防要求的尺度,设防烈度是指按国家规定的权限批准的。

第二,关于地震作用“大”与“小”的相对意义。地震作用的分布符合极值Ⅲ型,特点是假设最大的地震烈度是有上限的,这也符合一般的工程常识。根据50年超越概率10%确定设防烈度,或者设计用的中震水平,据此可以推出一年的发生概率为0.21%,即其发生的重现期为475年;相应的按照50年超越概率2%~3%及63.2%确定本地区的大震及小震水平,相应的重现期分别是2400~1600年及50年,可见小震的重现期是与房屋的设计年限基本一致的。

学生容易产生疑惑的是,中国规定的是设防烈度,即中震,却要区分大震与小震进行两阶段的设防,地震作用与其他的结构荷载采用了不同的考虑方式。小震的重现期为50年,地震作用在设计使用期内发生频度大,要求结构处于弹性阶段,以此进行强度、变形验算,因而是合理的;大震的重现期较长,但其作用强烈,结构一般都进入塑性,如何避免房屋倒塌从而减少人员伤亡至关重要,这强调的是结构应有良好的变形能力,通过结构延性来耗散地震作用。可以用一个简单的层间剪力—位移示意图加以说明(如图2),1-2-3为弹塑性模型,1-2-4为弹性模型;点1、2和3分别表示小震设计状态、屈服状态和极限状态,点4表示弹性结构的极限状态,可用点1乘以真实地震作用和设计地震作用之比确定,对于7度地震作用,可取6.3;点3和点2的位移比定义为延性系数,假设图中的阴影部分面积相等,结构延性系数达到3.0即可满足大震结构不倒的需求,较单纯增加结构的弹性抗震能力要合理,也易于实施。

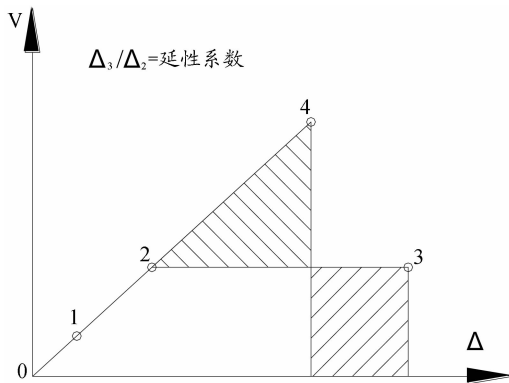


图2 层间剪力-位移的理想弹塑性曲线

### 三、对地震作用反应谱理论的认识

地震作用实质上反映了惯性力的影响,抗震分析应该是动力分析问题。到目前为止抗震分析理论仍以反应谱理论为主,即将动力响应转为等效的静力作用加以考虑,如何理解其实质?这无疑是课程理论部分教学的重点。从基本概念来说,地震反应谱指的是单自由度体系在地震地面加速度作用下的结构最大弹性响应与体系自振周期之间的曲线,经过统计、拟合并进行调整处理后,确定一条适合该建筑场地的标准加速度反应谱曲线,乘以质量就可以得到等效的地震作用,这应用了牛顿第二定律的物理概念。峰值调整后的EI Centro及Taft地震记录、相应的反应谱和规范所采用的设计反应谱如图3所示,可见反应谱是和结构动力特性、地面地震的特性相关的,转为设计反应谱,即地震影响系数与自振周期之间的曲线关系后,还和结构阻尼比、场地的卓越周期有关。尽管无法考虑地震动持续时间对结构的影响而存在一定的缺陷,但反应谱理论能紧紧抓住结构抗震中的主要问题,即关注地震作用下的最大响应,多年的工程实践也验证了这种相对简便的方法具有足够的工程精度,也是至今仍为抗震分析主要方法的根本原因。

绝大多数工程属于多自由度体系,需要将多自由度体系解耦成多个单自由度,再应用反应谱理论进行分析,利用振型组合法则组合成原结构的最大结构响应。需要强调两点:一是振型的意义,简单的说就是振动的形状,由于各振型具有关于刚度、质量的正交性,振型可以描述成为振动的广义坐标,将原来耦联的多自由度体系解耦成多个单自由度体系;二是采用振型组合法则必须考虑各振型之间的耦联影响,对平动情况一般可以不考虑,用的最多的是平方和开平方的方法,也就是将各振型的最大响应平方后求和再开方,从而得到原结构的最大响应。

反应谱理论也被称为准动力分析理论,从学生作业、考卷等对此问题理解的反馈情况可见,学生对将动力响应转为等效的静力作用的思路需要在课堂教学中反复强调,其中还需要区别结构不同阻尼比、

不同场地即卓越周期的影响,即对设计反应谱进行修正的必要性。另外,学生容易忽略底部剪力法适用条件的物理意义,即地震响应以第一振型为主,且第一振型基本呈直线,同时对顶层的附加地震作用、屋顶小突出物的鞭梢效应等容易疏忽,可以通过多次作业并加以讲解的方式帮助学生加深印象。此外,课程教学中一般会安排一次海外学者的公共讲座,涉及速度和位移谱反应谱理论的进展、时程分析法的应用等,学生通过查阅参考资料结合讲座内容提交读书报告,可以对地震反应谱理论、时程分析在结构分析,尤其是高层和超高层建筑中的应用有较全面的认识。对科研有兴趣的学生,可以更快了解最新科研动态。

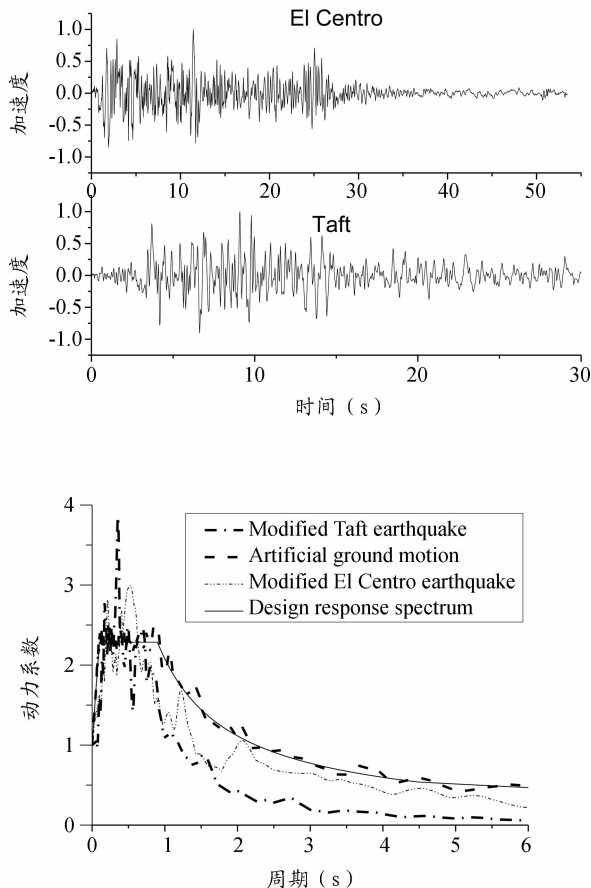


图3 实际地震记录和反应谱曲线

### 四、对概念设计、构造措施的认识

地震作用是由于地面运动引起的结构反应而产生的惯性力,其作用点在结构的质量中心。抗震设计包括概念设计、强度验算和构造措施等三个主要方面。土木工程专业学生一般多擅长计算分析,更容易关注强度验算。强调抗震概念设计、构造措施,重视工程实践经验的总结,旨在有效提高结构的变形能力。

抗震结构体系要求受力明确、传力途径合理且传力路线不间断,具备必要的抗震承载力、良好的变形能力和消耗地震能量的能力,避免因部分结构或

构件破坏而导致整个结构丧失抗震能力或对重力荷载的承载能力。首先,应根据抗震概念设计的要求明确建筑形体的规则性,即建筑平面形状和立面、竖向剖面的变化不宜过大,这包含了对建筑的平、立面外形尺寸,抗侧力构件布置、质量分布,直至承载力分布等诸多因素的综合要求,规则性体现在平立面、竖向剖面或抗侧力体系上,没有明显的、实质的不连续或突变,其抗侧力构件的平面布置宜规则对称、侧向刚度沿竖向宜均匀变化、竖向抗侧力构件的截面尺寸和材料强度宜自下而上逐渐减小、避免侧向刚度和承载力突变。其次,加强整体性要求、设立多道防线对结构在强震下的安全是很重要的。这包含了两个层面的意义,一是整个抗震结构体系由若干个延性较好的分体系组成,并由延性较好的结构构件连接起来协同工作;二是抗震结构体系具有最大可能数量的内部、外部赘余度,保证结构体系在部分构件失效后不致变成可变机构。

为加深理解,可布置关于钢筋混凝土及砌体结构概念设计、构造措施的课后作业。总体而言,学生的理解相对比较机械,多限于对条文或文字内容的简单复述。在课堂教学中,需要结合震害等资料对作业进行讲解,例如钢筋混凝土结构强调的强柱弱梁、强剪弱弯、强节点弱杆件等原则,着眼的就是提高其弹性阶段的抗震能力。图4是汶川地震中的典型震害图片,反思图4(a)的震害,可见提高柱抗震能力和在该楼层设置多道抗震防线的重要性,而图4(b)反映了因柱的强度不足而产生的严重震害,可见增加柱抗剪能力、避免柱端产生塑性铰的必要性。再如,砌体结构的构造柱、圈梁也是从震害中总结出来的构造措施,构造柱、圈梁要求现浇、闭合,可以对砌体墙片产生约束作用,从而增加结构整体性,同时也可以提高墙片的往复变形能力,是除小震强度验算外的重要抗震概念,出发点也是增加抗倒塌能力。

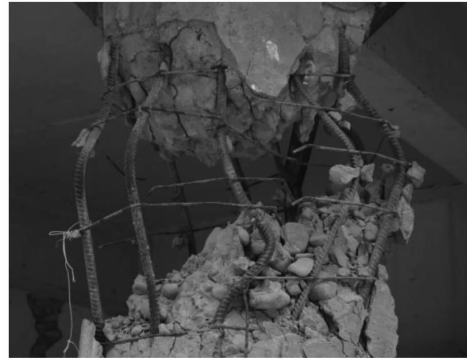
### 五、结语

课程教学是教和学的结合。在建筑结构抗震课程教学实践中,引入直观的教学资料,重视依据学生的反馈改进课堂教学方法,着眼于从结构的变形能力理解地震的破坏作用和抗震设计要素。本文从地震震害特点、抗震设防原则、地震作用计算和概念设

计及构造措施等四个方面对课程的教学要点进行了讨论,旨在激发学生的学习热情、培养学生的兴趣中取得理想的教学效果。



(a)



(b)

图4 典型震害照片

### 参考文献:

- [1]朱高峰. 中国的工程教育——成绩、问题和对策[J]. 高等工程教育研究, 2007(4): 1-7.
- [2]李志义. 高等工程教育改革实践:思与行[J]. 高等工程教育研究, 2008(2): 44-47.
- [3]朱伯龙,屠成松,许哲明. 工程结构抗震设计原理[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1982.
- [4]李国强,李杰,苏小卒. 建筑结构抗震设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2008.
- [5]吕西林,周德源,李思明,等. 建筑结构抗震设计理论与实例[M]. 上海:同济大学出版社, 2002.
- [6]任晓崧. 建设建筑结构抗震精品课程的探索[C]. 第二届高等教育理工类教学研讨会. 2012.

## On course teaching for seismic design of building structures

REN Xiaosong, GUO Xuefeng, ZHOU Qiushang

(School of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, P. R. China)

**Abstract:** As one of the required courses for civil engineering majors, seismic design of building structures is difficult to learn due to its complicated contents. Response spectrum theory, conceptual design and structural ductility are key points of this course. Based on the teaching experience and learning feedback, we discussed four aspects, which were characteristics of earthquake damage, seismic fortification principles, calculation of earthquake action, and conceptual design and structural detailing.

**Keywords:** seismic design of building structures; deformation capacity; course teaching; teaching research  
(编辑 王 宣)