

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2015.04.015

混凝土结构基本原理教学研究

汤永净, 柳 献

(同济大学 土木工程学院, 上海 200092)

摘要:结合高校混凝土结构基本原理课程特点,文章阐述了课堂教学中的多样性教学方法,重点强调了90分钟课堂教学的步骤。以“斜截面抗剪承载能力性能与计算”章节教学内容为例,详细叙述通过制定课堂教学计划,保证课堂不同时段的教学效能,并明确指出,制定缜密、细致、科学的课堂教学计划是课堂教学质量的根本保证。

关键词:混凝土结构基本原理;课堂教学;教学计划;多样性教学方法

中图分类号:TU37;G642.0

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2015)04-0059-05

混凝土结构基本原理作为土木工程专业中重要的专业必修基础课程,其主要任务是培养学生掌握钢筋及混凝土两种材料所组成结构构件的基本力学性能,具备混凝土结构构件设计能力,理解其与先修课程(如材料力学、结构力学)和平行课程(如钢结构)的关联性,要求学生掌握钢筋和混凝土两种材料组成的混凝土结构构件在承受轴向力、弯矩、剪力、扭矩以及共同作用时的截面设计和承载能力评估,掌握预应力混凝土结构构件在轴心拉力和弯矩作用下的承载能力计算和评估,掌握混凝土构件裂缝宽度和挠度确定的基本原理和验算方法。为学习后续课程混凝土结构设计和毕业设计打好基础。图1为与该课程相关的先期、平行和后期课程。

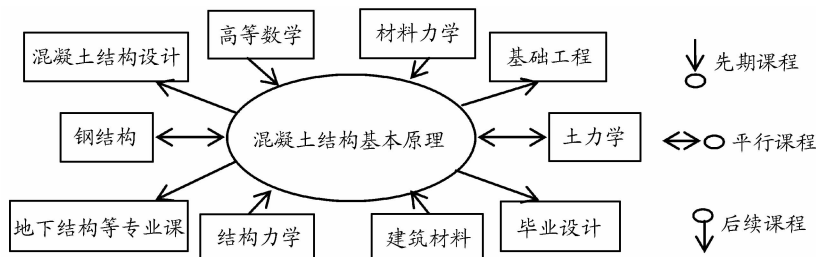


图1 混凝土结构基本原理的先期课程、平行课程及后续课程示意图

我国高校土木工程专业的混凝土结构基本原理与北美国家课程设置有所不同。笔者在美国田纳西大学和加拿大麦吉尔大学做访问学者期间跟班学习混凝土结构课程,两所大学土木工程专业的本科生在该门课程上的学时为每周3小时,共36学时,学习内容包括基本原理和结构^[1],课程紧密结合设计规范,授课教师更加注重实际应用。而我国的教学将混凝土结构基本原理和结构

收稿日期:2015-03-19

基金项目:同济大学研究生教育改革项目(2014JYJG019)

作者简介:汤永净(1965-),女,同济大学土木工程学院副教授,博士,主要从事隧道与地下结构耐久性研究,(E-mail)ytang@tongji.edu.cn。

设计分为两门课程,在两个学期完成,原理部分64学时,设计部分36学时,学生能更好地理解混凝土结构的基本原理。

笔者以90分钟课堂教学为例,结合同济大学混凝土结构课程教学实践,阐述了多样性教学的意义,揭示了教学计划在课堂教学中的重要地位,反映了中国高校混凝土结构课程教学特色。

一、混凝土结构基本原理教学特色

积极发挥课堂特色是提高教学质量的有力举措。笔者所在高校(同济大学)以顾祥林教授为首的“混凝土结构基本原理”教学团队在长期教学实践活动中形成了自己的教学特色,这些特色包括立体化教材、国际化办学、开放性以及自选式试验等。立体化教材是指采用教学团队编制的中文教材^[2]、试验指导书和英文教材(即将出版),并集纸质教材、多媒体电子教案、教学录像、试验录像、试件陈列室等多种表现形式于一体。土木工程专业国际化办学指通过研究国际化模式并初步实践,加强双语教学和英文教材建设。开放性、自选式试验指专门配置了混凝土结构教学实验平台^[3],开放性、自选式教学试验贯穿整个理论教学过程。试验录像在课程网站上,可随时观看学习。课堂是发挥和展示这些特色教学形式的平台,根据教学大纲要求科学合理安排好课堂时间是提高教学效果的根本保证。同济大学混凝土结构基本原理课程先后被国家、上海市、学校评为精品课程。这些课堂特色的形成凝结了几代人的不断努力和探索实践,是CDIO工程教育模式的具体表现^[4]。

二、混凝土结构基本原理教学方法的多样性

课堂教学方法的多样性有利于提高教学效果。多样性的课堂教学方法分别在学习模式、双语教学、考评方式、教研结合中充分体现。

引导学生采用先进的学习模式。自主学习、研究性学习和实践性学习是先进的学习模式,课堂教学中通过回答开放性问题(包括概念型、知识型和资源型等三种类型),让学生自己在思考和查阅资料中找到问题的答案,培养学生自主学习能力;根据个人兴趣和专业需要安排学生选择教学实验,接触工程实际,提高解决实际问题的能力,初步掌握正确的思考和研究方法。

双语教学和全英文教学。本课程开出完全用英语讲课的平行班,供学生自由选课,以满足学生的不同需求。随着学生英文水平的提高和国际化要求,

目前全英文教学取代了双语教学。2014—2015年度选修人数占学生总数的10%。

考试方法改革。采取灵活的成绩评定方式:理论考查占90%,实验报告占10%。采取激励机制,将研究性学习和实践性学习的考评作为附加成绩。

教学团队的教师承担多项国家级、省部级课题以及实践应用课题,课题中大多为混凝土结构课题的试验研究项目。充分利用这种优势,积极引导学生参与课题研究,积极在各类课题科研试验项目中锻炼学生实践能力,强化感性认识,加深课本理论的理解,认清学科发展前沿。同时积极把国家标准、规范和规程的研究成果反映到课程教学中。由于《既有建筑物结构检测与评定标准》《装配式混凝土结构技术规程》《纤维增强复合材料加固混凝土结构技术规程》等标准、规程为本课程组教师参与编写,授课教师根据编写体会进行深层次的讲解,使学生及时掌握学科发展前沿和动态。此外,积极组织学生参加土木工程学院大学生创新实践训练计划(SITP)项目。

三、混凝土结构基本原理课堂教学

混凝土课程具有内容多,公式符号多,构造规定多,工程实践强等特点。该课程可分为承载能力和使用性能两大部分。承载能力涵盖正截面承载能力和斜截面承载能力。正截面承载力包括轴向力、弯矩,以及弯矩与轴力共同作用时的混凝土结构构件的截面承载力,斜截面承载力包括混凝土结构构件承受剪力和扭矩时截面上的承载能力。使用性能作为课程的一个部分,简单介绍混凝土结构构件的变形,包括裂缝宽度、受弯构件挠度的计算方法。承载能力分析和性能课比例14:1。结合试验研究,从加载到破坏全过程,提炼混凝土开裂、钢筋屈服、混凝土压碎等代表性的状态,以力的不同类型作用下的承载能力分析方法分析其破坏机理。

缜密、细致、科学的课堂教学计划是提高教学效果的关键。以混凝土结构基本原理课程中“斜截面受剪承载力”教学环节为例,根据教学大纲制定科学合理的教学计划,并对每一步教学分配合理的教学时间是提高课堂教学质量的有效途径。教学计划中应突出基本概念和原理,理论联系实际,注重系统性、新颖性和趣味性。

(一)“斜截面抗剪承载能力性能与计算”章节教学内容及要求

该章节教学内容包括:(1)无腹筋梁的受剪性

能;(2)有腹筋梁的受剪承载力计算;(3)保证斜截面受弯承载力计算的构造要求。

该章节教学的基本要求:(1)熟悉无腹筋梁斜裂缝出现前后的应力状态;(2)掌握剪跨比的概念,无腹筋梁斜截面受剪的三种破坏形态以及腹筋对斜截面受剪破坏形态的影响;(3)熟练掌握矩形、T形和工字形等截面受弯构件斜截面受剪承载力的计算模型、计算方法及限制条件;(4)掌握受

弯构件钢筋的布置、梁内纵筋的弯起、截断及锚固等构造要求。

(二)90分钟课程教学计划与实施

教学环节根据教学内容的第(2)点和教学要求的第(3)条展开,在90分钟的教学环节中,考虑特定时间内围绕教学目的划分若干步骤完成知识点、重点及难点的复习、解释和讨论,在此过程中合理安排教师与学生互动时间(表1)。

表1 教学计划表

步骤	教学目的	教学知识点	重点及难点	教师扮演角色	时间分配
1	巩固平截面假定在受剪承载力分析中的不适,以及巩固斜截面的基本假定	正应力与剪应力的共同作用决定构件的裂缝位置及走向	斜裂缝的出现	学生讨论为主	5分钟
2	复习斜截面受剪承载力的实验研究	复习剪跨比的概念,剪跨比对抗剪破坏模式的影响	剪跨比作用的原因	学生讨论为主	10分钟
3	复习无腹筋梁受剪承载力	无腹筋梁承载力计算公式推导	忽略不确定因素,简化计算模型	学生讨论为主	5分钟
4	有腹筋受剪承载力计算平面桁架模型	基于有腹筋梁平面桁架模型的承载力计算公式推导	桁架模型中的裂缝间混凝土简化为桁架模型中的压杆	教师讲解为主	25分钟
5	有腹筋梁受剪承载力的半理论半经验公式	受剪承载力计算公式的组成及应用	上限和下限值的确定	教师解释为主	25分钟
6	受剪承载力公式及应用	小结及作业布置	剪跨比计算、临界截面确定、箍筋面积计算和间距确定、最小配箍率和截面限制条件的验算等	教师讲解为主	20分钟

表1中的步骤1—3用于巩固与复习,加深学生对剪跨比概念的理解,为后续的斜截面受剪承载力性能和计算作铺垫。这3个步骤以学生讨论为中心,共分配20分钟时间。步骤4—6用于讲解新的知识点,通过前3个步骤将学生的注意力集中于课堂教学之后,教师确认大部分学生掌握了构件斜截面抗剪的基本特征和关键参数时,以教师为主进行步骤4—6的教学,根据内容需分配70分钟时间。

步骤1实施时,结合先期课程(材料力学)和该课程第二章的材料性能中的相关内容,复习公式(1)中的正应力和剪应力产生的内力,正应力源于弯矩,而剪应力源于剪力。

$$\sigma_{tp,cp} = \frac{\sigma}{2} \pm \sqrt{\frac{\sigma^2}{4} + \tau^2} \quad (1)$$

裂缝的发展方向与 τ/σ 比值有关,与水平方向夹角为 $1/2\arctan(2\tau/\sigma)$; τ/σ 越大,裂缝发展方向越陡。

步骤2实施时,必然涉及剪跨比的概念,这时可引导学生深化剪跨比的概念,为什么剪跨比能够决定构件抗剪破坏的模式,可从裂缝发展与构件长度方向的夹角大小判断,裂缝发展方向与构件长度方向的夹角越小,构件的抗剪承载能力越低。而决定夹角大小的是 τ/σ ,剪应力 τ 取决于剪力 V 的大小,而 σ 可由弯矩 M 推算出来。这样, σ/τ 可以用弯距

M 与剪力 V 和截面有效高度 h_0 乘积的比值, 可以表示为

$$\frac{M}{Vh_0} = \frac{Va}{Vh_0} = \frac{a}{h_0} \quad (2)$$

$\frac{a}{h_0}$ 称为剪跨比 λ 。

如此, $\sigma/\tau \propto \frac{M}{Vh_0}$, τ/σ 与 λ 成反比。 τ/σ 越大,

λ 越小, 受剪承载力越大。进而, 可以用剪跨比 λ 说明构件抗剪破坏模式。

步骤3实施时, 复习在剪压破坏模式下, 沿斜裂缝取隔离体, 忽略斜裂缝截面上难以确定的纵向钢筋的销栓力和裂缝间的摩擦力, 得出无腹筋梁的受剪承载力为

$$V_c = \left(\frac{0.24 - 0.06 \frac{\sigma_s \rho_s}{f_c}}{0.5 + 0.24\lambda} \frac{f_c}{\sigma_s \rho_s} \right) f_c b h_0 = \alpha_c f_c b h_0 = \alpha_c f_t b h_0 \quad (3)$$

步骤4实施时, 重点说明桁架模型, 箍筋作为桁架的拉杆, 上下弦纵向钢筋作为桁架的拉杆和压杆, 裂缝间混凝土作为桁架的斜压杆。在桁架模型中学生往往对斜压杆难以理解。构件抗剪破坏时, 斜裂缝间的混凝土受到上下纵向钢筋的约束分析, 斜裂缝间混凝土受压, 可以理解为斜压杆。然后, 讲解纵向钢筋的受力, 再说明水平钢筋的受力, 最终得出有腹筋梁的受剪承载力为

$$V_u = n_v h_{cor} \cot \alpha = f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_{cor} \cot \alpha \quad (4)$$

由公式(3)和(4)叠加, 得出受剪承载力计算理论公式。

讲解步骤(3)和(4)之后, 学生基本上可以接受这样一种思路: 虽然斜截面受剪承载力性能与计算不符合平截面假定, 但它仍然利用“实验—基本假定—计算模型—基本公式—适用条件—公式应用”的线索, 从中体现课程的系统性。

实施步骤5过程中, 在讲解为什么不用最大配箍率作为承载能力的上限时, 利用实验研究结果(图2)解释。从图1可以看出, 随着配箍率的增大, 即横坐值的增加, 纵坐标将不再变化, 这表明受剪承载力 V_u 与构件截面有效面积 bh_0 的比值保持不变, 因此受剪承载力受截面面积的控制或限制, 解释了受剪承载力上限值的确定方法。

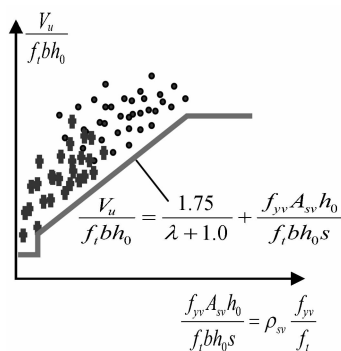


图2 受剪承载力/抗拉承载力比值与配箍率关系图

为开拓学生解决问题思路, 可从解析角度解释。试验研究中表明, 当配箍率超过一定值后, 则在箍筋屈服前, 斜压杆混凝土已压坏, 故取斜压破坏作为受剪承载力的上限。而《混凝土结构设计规范》^[5] 是通过控制受剪截面的剪力设计值不大于斜压破坏时的受剪承载力来防止由于配箍率过高而产生的斜压破坏。学生对这一点往往难以理解, 对从配箍率控制转化为截面面积控制感到困惑。

其实, 在叠加公式(3)和(4), 得到受剪承载力计算理论公式(5)后,

$$V_u = 0.7f_t b h_0 + 1.25f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \quad (5)$$

不妨定义最大配箍率 $\rho_{sv} = 1.2 \frac{f_t}{f_{yv}}$, 并将该配箍率带入公式(5), 简单变化后可得

$$V_u = 0.25\beta_c f_c b h_0 \quad (6)$$

如此变化, 即可得到规范设置的依据。

在第6个步骤中, 为了增强学生的工程概念, 在公式应用时, 启发学生思考作用在梁上的集中荷载的工程意义。通常情况下, 学生根据实验课获取的经验认为集中荷载是分配梁产生的或者是千斤顶给予的。通过启发学生的思考, 引导他们从实际结构的主次梁考虑, 解释集中荷载的位置其实就是另一方向梁的支座位置, 集中荷载大小即为另一方向梁的支座反力。往往在这个时刻, 学生会恍然大悟, 记忆深刻, 产生良好的教学效果。接着, 讨论在集中荷载部位实际上应如何布置箍筋, 是配在次梁支座的两侧还是放在支座的中间, 只要从受剪承载力的基本原理出发, 学生能得出应放在支座两侧的正确答案, 因为支座处的实际计算截面积远大于 bh_0 。如此, 不仅增强了学生对工程概念的理解也提高了学习兴趣, 体现了课程的新颖性和趣味性。

公式多、教材繁、考试难是多样化教学方法实施

前学生对混凝土结构基本原理课程的普遍反映。多样化教学的实施加强了混凝土结构基本原理课堂教学的新颖性、趣味性、系统性,改变了学生被动学习的局面,提高了学生自主学习能力。2014年,同济大学通过网上评议调查,93%的学生反映课程教学方法灵活多样,激发了学生的兴趣和深度思考;97%的学生反映课程内容丰富新颖,具有挑战性;93%的学生反映多样化教学效果很好。从2014—2015年度学生期末考试中构件受剪承载力考题的抽查结果来看,90%以上的学生能掌握配箍率限界的概念,并能合理判断受剪控制截面和熟练应用计算公式进行抗剪配筋设计。

四、结语

同济大学混凝土结构基本原理课堂教学实践证明,通过多样化的教学方法可培养和提高学生自主学习能力,充分发挥90分钟内不同时段的教学效能

是提高教学效果的重要途径。因此,只有坚持这些鲜明的教学特色,才能更好地保证和提高混凝土结构基本原理课堂教学质量。

参考文献:

- [1] Edward G Nawy. Reinforced concrete (fifth edition) [M]. New Jersey: Pearson Education, Inc. 2003.
- [2] 顾祥林. 混凝土结构基本原理[M]. 上海: 同济大学出版社,2011.
- [3] 顾祥林,林峰,黄永嘉,等. “混凝土结构基本原理”本科教学实验平台建设[J]. 实验室研究与探索, 2009, 28(2):37-40.
- [4] 刘建平,贾致荣,师郡,等. 混凝土结构基本原理课程教学模式[J]. 高等建筑教育,2010,19(6):24-28.
- [5] 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: 中国建筑工业出版社,2010.

On the teaching of concrete structure principles

TANG Yongjing, LIU Xian

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

Abstract: Combined with features of the concrete structure principles course, we described a multi-technique teaching method in classroom teaching. We emphasized on the 90-minute classroom teaching stage. Taking the teaching content of the chapter, diagonal section resistance, as an example, we elaborated the classroom teaching plan. A completed and reasonable teaching plan is the fundamental guarantee of a satisfied classroom teaching quality.

Keywords: concrete structure principles; classroom teaching; teaching plan; multi-technique teaching method

(编辑 周沫)