

文章编号:1007-6492(1999)04-0098-03

钢筋砼框架结构的抗震延性设计及修正建议

程天博¹, 侯志峰², 管品武³, 王 勇¹

(1. 郑州工业大学土木建筑工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 郑州市城市建设配套开发有限公司, 河南 郑州 450003; 3. 湖南大学结构工程研究所, 湖南 长沙 410082)

摘 要: 从我国抗震设计的基本原理出发, 阐述了钢筋砼框架柱的延性设计, 认为应进一步增大作用效应, 以提高结构设计的可靠度, 保证结构良好的承载能力与变形能力。同时分析了塑性铰区抗剪强度退化机理, 提出了有关抗剪承载力计算、约束箍筋等的修正建议, 以供规范修订时参考。

关键词: 钢筋砼框架结构; 抗震设计; 延性

中图分类号: TU 375.4 **文献标识码:** A

0 引言

我国建筑抗震规范(GBJ 11-89)提出的三水准(小震不坏, 中震可修, 大震不倒)抗震设防目标, 是以两阶段设计来实现的。第一阶段设计保证结构强度要求及隐含的第二水准变形要求, 故又称为强度设计; 第二阶段设计主要用以检验结构防倒塌的变形能力, 故通常称为变形验算。对于大多数结构, 可只进行第一阶段设计, 通过概念设计和抗震构造措施来满足第三水准的设防要求^[1-5]。

70年代以来, 人们在总结大地震灾害经验中发现, 对结构抗震设计来说, “概念设计”比“计算设计”(数值设计)更为重要。由于地震作用的不确定性 & 结构计算假定与实际情况的差异, 使“计算设计”很难控制结构在地震作用下薄弱环节, 故不能完全依靠“计算”。良好的“概念设计”是保证结构抗震性能的决定因素^[2]。本文根据抗震设计的基本原理, 阐述了框架结构的延性设计, 并提出了相应的改进建议, 供规范修订时参考。

1 我国规范关于钢筋砼框架结构的抗震延性设计与修正建议

结构遭遇罕遇大震时, 将进入塑性阶段而产生较大变形, 要求结构在保持一定承载能力的条件下通过塑性变形来吸收地震能量。为提高结构的抗震能力, GBJ 10-89 与各国(美国、日本、新西

兰与欧洲)的钢筋砼结构抗震设计均要求结构满足基本的设计准则, 如平面布局的规则性, 竖向刚度的连续性等, 并以“强柱弱梁”、“强剪弱弯”及“强节点、强锚固”的延性框架进行设计, 并辅以必要的构造措施来保证结构局部薄弱区域的强度与刚度, 以加强结构的整体性, 增大延性, 提高变形能力, 体现“大震不倒”的设计思想。

1.1 强柱弱梁

框架结构的延性与塑性铰分布的部位有关。若梁中先出现塑性铰形成梁铰机构, 则塑性铰分布比较均匀, 每个塑性铰所要求的非弹性变形量也比较小, 而且梁铰机构的延性要求也较容易实现。若柱中出现塑性铰而形成柱铰机构, 非弹性变形就集中在某一层柱中, 对柱的延性会提出极高的要求, 而这在柱中往往难以实现, 且柱铰机构将伴随着较大的层间侧移, 这不仅引起不稳定的问题, 还会危及结构承受垂直荷载的能力, 导致整个结构的倒塌。在经受较大侧向位移时, 为能确保框架结构的稳定性, 并维持它承受竖向荷载的能力, 必须要求非弹性变形一般只限于梁内, 即要求在设计荷载下同一节点上柱端截面极限(设计)弯矩的总和大于梁端截面极限(设计)弯矩之和。这就是所谓“强柱弱梁”, 即保证框架柱具有足够的抗弯承载能力储备, 大大减少柱端屈服的可能性。与国外规范(美国、日本、新西兰与欧洲)相比, GBJ 10-89 的安全储备较低, 建议适当提高作用

收稿日期:1999-08-16; 修订日期:1999-09-25

作者简介:程天博(1972-), 男, 湖北省黄冈市人, 郑州工业大学硕士研究生。

效应,以相对提高设计可靠度,进一步降低柱屈服的可能性,同时对9度抗震设防区的框架结构应提出更高的延性要求。

1.2 强剪弱弯

框架结构的延性与构件的破坏形态有关,框架的抗震设计应遵循“强剪弱弯”的设计原则,以减少在非弹性变形时发生剪切破坏的可能性。框架结构“强剪弱弯”的设计原则主要由设计剪力的计算、抗剪承载力计算公式的选取以及必要的构造措施来体现。设计剪力(作用效应)的计算与抗弯承载力的计算类似,按抗震等级的不同采用地震效应调整系数,但较抗弯承载力计算更严格,以相对提高抗剪承载力。同时为减少框架梁柱在非弹性反应区域内发生剪切破坏的危险,梁(柱)端部的设计剪力应与梁(柱)端部形成塑性铰后的极限抗弯强度相对应;抗剪计算公式的选取主要表现为考虑到地震作用的反复性及剪切问题的离散性,采用在纵筋屈服后的偏下限抗剪承载力计算公式,并辅以一定的抗震构造措施。与抗弯承载力的计算类似,抗剪计算一方面需增大结构设计的可靠度(提高作用效应),而且更为重要的是应根据结构延性要求的不同,即抗震等级的不同,提出不同的抗剪承载力计算公式。框架柱在反复荷载作用下的抗剪承载力主要由砼(拱作用)的 V_c 、横向钢筋(桁架作用)的 V_s 及轴向荷载影响效应 V_N 三部分组成,但在不同的受力阶段,构件的抗剪机理、抗剪承载力各组成部分不断改变,见图1。加载初期,砼承担绝大部分剪力,箍筋起次要作用。随着构件交叉斜裂缝形成和发展,砼的作用逐渐下降,箍筋逐渐起主导作用。这是因为反复加载次数的增加,核心区砼裂缝大大开展,从而削弱剪压区砼的抗剪能力;另外,因裂缝反复张合,导致剪切咬合面粗糙程度的减弱,从削弱了骨料间的咬合作用;由于反复加载次数的增加,构件刚度逐渐退化,柱两侧的砼逐渐压溃、剥落而退出工作,导致砼抗剪面积的减少,从而削弱抗剪能力;而受压区砼保护层的剥落及塑性铰区较大的非弹性变形,加速了斜裂缝的发展,从而削弱抗剪能力(退化)。同时非弹性循环变形过程减少了构件在给定方向上所能承受的最大非弹性变形。也就是说,抗剪承载力退化随所要求延性系数的增加而加剧,即与构件的非弹性变形量及循环加载次数有关。

抗剪承载力极限状态下,塑性铰区域腹筋承担全剪力、砼不承受剪力这一结论被ACI-92公制修订版^[6]、新西兰NZ S3101采纳,ACI-98修订

中继续保留(见图2),但完全忽略了砼贡献,过于保守;GBJ 10-89中则取砼贡献为相应静力荷载时的0.8倍,Eurocodes 8则根据结构延性要求的高、中、低分别取相应静力荷载时的0.0.4、1.0倍。地震作用下钢筋砼框架柱的抗剪机理及抗剪承载力的各组成部分随加载过程而不断变化,就总体而言,砼贡献不断减小,箍筋作用逐渐增加,而且抗剪强度的退化随所要求的延性系数的增加而加剧,即与构件的非弹性变形量及循环加载次数有关。为保证塑性铰区的变形能力又兼顾箍筋设计的经济性,应根据结构变形需求的不同来评价砼贡献。

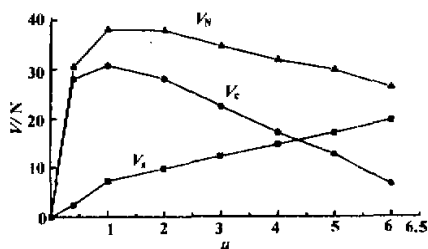


图1 塑性铰区砼与箍筋剪力变化

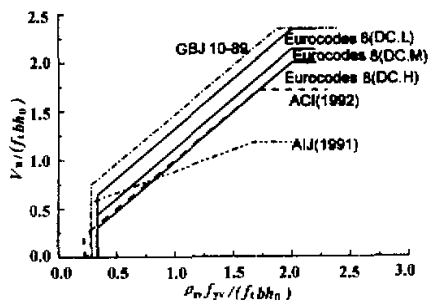


图2 各国规范抗剪承载力计算公式比较

1.3 强节点、强锚固

为保证框架结构的延性,在梁铰机构充分发挥作用以前,框架节点、纵筋锚固不应过早破坏。框架节点破坏主要是因为节点处核心区箍筋数量不足,在剪力与压力的共同作用下,节点核心区砼出现斜裂缝,箍筋屈服甚至拉断,柱的纵筋被压屈甚至拉断而引起的。故规范通过保证核心区砼强度及配置足够数量的箍筋来防止节点核心区的过早剪切破坏,而强锚固要求则通过在静力设计锚固长度的基础上叠加一定的抗震附加锚固长度,利用钢筋锚固端的机械锚固措施等来实现的。

1.4 构造措施

按扩大了柱端抗弯承载力进行设计,理论上可将柱屈服的可能性减少,保证“强柱弱梁”的

设计原则,但因各种原因,如梁的实际抗弯强度可能增大,并发地震效应和高振型使柱中反弯点的转移等综合因素影响,要使柱中完全避免塑性铰是困难的,同时为充分实现“强剪弱弯”的要求,保证塑性铰区域的局部延性,也必须通过一定的构造措施来保证结构的良好延性,具体做法如下。

1.4.1 限制轴压比与纵筋最大配筋率

合理的受力过程可明显提高构件延性,为实现受拉钢筋的屈服先于受压区砼压碎的破坏形式,以提高塑性铰区域的转动能力,规范限制轴压比及纵筋的最大配筋率,同时对砼受压区高度也提出相应的要求。

1.4.2 限制约束箍筋及配箍形式

为保证“强柱弱梁”、“强剪弱弯”的设计原则及塑性铰区域的局部延性,有必要加密塑性铰区域内箍筋间距,这不但可提高柱端抗剪能力,还可约束核心区砼,对纵向钢筋提供侧向支承,防止大变形下纵筋压曲,从而改善塑性铰区的局部延性,规范对约束箍筋的最小直径、最大间距、塑性铰区域的最小长度等做出了详细的规定,并对箍筋肢距及箍筋形式也提出了相应的要求。

对塑性铰区域内箍筋布置的要求是抗震构造措施的一个重要方面,但 GBJ 10-89 柱端加密区约束箍筋并未反映箍筋强度及砼强度等级的影响,特别是随着工程应用中箍筋强度与高强砼不断提高,这一情况将导致高强砼结构中约束箍筋

配箍率的减少而降低结构的设计可靠度,建议以配箍特征值 $\rho_{sv}f_{yv}/f_c$ (或 $\rho_v f_{yv}/f_c$) 代替原体积配箍率,同时鉴于约束箍筋对柱端塑性铰区的良好约束作用,建议适当增大配箍量。

1.4.3 限制材料

材料延性对确保构件(结构)延性极为重要,为此规范对材料也提出相应的限制,如保证钢筋强屈比、延伸率及砼强度等级等,同时对施工过程中可能出现的钢筋代换也提出相应的限制。

2 结束语

为合理体现框架结构的延性设计,应进一步增大作用效应以提高结构设计的可靠度,同时分析了塑性铰区抗剪强度退化机理,提出了有关抗剪承载力计算公式、约束箍筋等方面的修正建议。

参考文献:

- [1] 龚思礼. 建筑抗震设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994. 1-15.
- [2] 黄存汉. 建筑抗震设计技术措施[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.
- [3] GBJ 11-89, 建筑抗震设计规范[S].
- [4] GBJ 10-89, 钢筋砼结构设计规范[S].
- [5] AIJ-90, Structural Japanese Design Guidelines for Reinforced Concrete Buildings[S].
- [6] ACI-92, 钢筋砼房屋建筑规范[S].

Discussion on the Design of Ductility of Anti-seismic Reinforced Concrete Frame Structures

CHENG Tian-bo¹, HOU Zhi-feng², GUAN Pin-wu³, WANG Yong¹

(1. College of Civil & Building Engineering, Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China; 2. Zhengzhou City Construction fittings Development Limited Company, Zhengzhou 450003, China; 3. Buildings Structure Research Department of Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: The basic principles of anti-seismic design in Chinese Codes are introduced, and the ductility design of reinforced concrete frame structures is also discussed. This paper also presents some valuable suggestions which can serve as reference for revising the relevant Chinese code.

Key words: reinforced concrete frame structures; anti-seismic design; ductility