

钢筋混凝土摩擦耗能支撑框架内节点强度设计

喻萍, 古松

(1. 昆明理工大学 建筑工程学院, 云南 昆明 650224; 2. 昆明理工大学 抗震所, 云南 昆明 650051)

摘要: 作为《钢筋混凝土摩擦耗能支撑框架节点强度——理论篇》的续篇, 对国内外在摩擦耗能支撑框架节点设计方面的现状作了介绍, 同时主要针对钢筋混凝土摩擦耗能支撑框架的内节点强度设计进行了极限承载力分析, 探讨了基于“强节点”的设计构造。

关键词: 钢筋混凝土; 摩擦耗能支撑框架; 节点结构设计

中图分类号: TU352.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2004)03-0066-03

Design of Interior Joints Strength of Friction Energy Dissipation Braced-Frame of Reinforced Concrete

YU Ping¹, GU Song²

(1. Faculty of Architectural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650224, China;

2. Institute of Civil Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China)

Abstract: As a continuation of 《Joint Strength of Friction Energy Dissipation Braced Frame of Reinforced Concrete——Principle》, an introduction is made about the present state of the art of joint design of friction energy dissipation braced-frame. Meanwhile, the maximum bearing capacity of the interior joints of friction energy dissipation braced frame is introduced, and the detailed design of joints is discussed based on the principles of strong joints.

Key words: reinforced concrete; friction energy dissipation braced frame; design of joints

0 引言

在上篇《钢筋混凝土摩擦耗能支撑框架节点强度——理论篇》中, 我们就钢筋混凝土摩擦耗能支撑框架节点强度从理论上分析了其传力机构和受力特征, 现从设计方面论述钢筋混凝土摩擦耗能支撑框架的内节点强度计算。

我国建筑结构设计目前应用的抗震框架节点设计方法, 即国家标准《混凝土结构设计规范》规定的设计方法, 是根据 20 世纪 70 年代后期我国第一批钢筋混凝土抗震框架节点性能的一系列试验结果提出的。从 80 年代到 90 年代初期, 日本、新西兰、美国和中国的不少研究者又先后完成了各类梁柱节点组合体的大量低周交变加载试验, 从不同角度对各类节点的受力性能作了广泛考察, 在节点受力规律的理论分析方面也取得了一些新的进展。

日本建筑学会于 1988 年 10 月发表的“基于极限强度概念的抗震钢筋混凝土建筑物设计指南(草案)”中要求在结构设计中不要把梁柱节点选作塑性铰的预计出现部位, 这是因为: (1) 节点作为柱子的一部分要承担竖向恒载; (2) 节点不容易达到较大的滞回耗能性和变形性能; (3) 节点在震后难以恢复。一个梁柱节点应设计成能防止节点核心的剪切破坏和梁柱钢筋的锚固破坏, 并要求梁柱节点应设计成保持其完整性到所需要保证的变形(对抗弯框架层间位移角为 $1/66 \text{ rad}$, 对框架结构墙结构为 $1/75 \text{ rad}$) 并防止在循环加载中刚度的明显退化和形成滑移型的滞回性能^[1, 2]。

收稿日期: 2004-02-23.

第一作者简介: 喻萍(1963~), 女, 讲师. 主要研究方向: 建筑结构. E-mail: kmlgdxy@ yahoo.com.cn

从 20 世纪 80 年代初期到后期, 新西兰、美国、中国和日本这四个地震多发国家根据各自当时对钢筋混凝土抗震框架节点受力特点的认识和本国的学术和工程传统, 先后在各自的设计规范或建议中提出了抗震框架节点的设计方法. 经过对比计算可以发现这四个国家对节点配箍量和贯穿节点梁柱筋的粘结条件以及作用剪力上限和配筋率构造下限的规定都不完全相同, 有些还差别很大. 就节点配箍率来看, 这四个国家控制的宽严程度大体上可分为两档. 其中要求较严的是新西兰 NZS3101 规范的 1982 年版本, 它坚持了高标准的“延性框架”设计要求, 按该规范设计出的组合体系在试验中直到先屈服的梁端达到正截面破坏时均不会发生节点剪切破坏. 而美国 ACI-ASCE352 委员会 1985 年修订的《现浇框架梁柱节点设计建议》、中国的《混凝土结构设计规范》和日本建筑学会 1988 年公布的《基于极限承载力概念的钢筋混凝土建筑物抗震设计指南(草案)及说明》在节点配箍率要求上虽然也有一定差别, 但普遍比新西兰 1982 年规范的要求低一个档次, 按新西兰学术界的说法, 均属于“有限延性框架”水准. 为对这两种不同的延性水准作出正确评价, 通过 80 年代末进行的中、美、新、日“四国联合试验”对比, 四国学术界取得了共识, 即新西兰规范对抗震节点性能的要求过严, 而美、中、日三国水准则掌握得较为适度.

1 耗能支撑框架内节点设计

1.1 内节点设计剪力及节点抗剪强度计算

1) 剪力设计值计算

基本假设: 根据文献 [3] 3.2.3 节中分析, 不考虑斜支撑受弯, 视支撑与框架节点为铰接, 斜支撑轴力作用在梁柱交点. 以下几种节点形式也同样采用这一假设.

如图 1 所示, 节点水平剪力为:

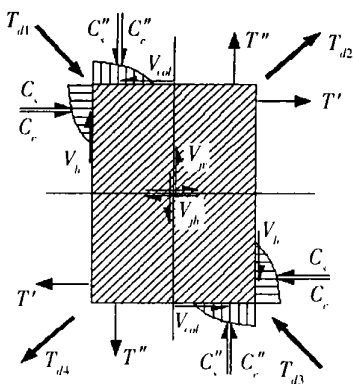


图 1 内节点受机理

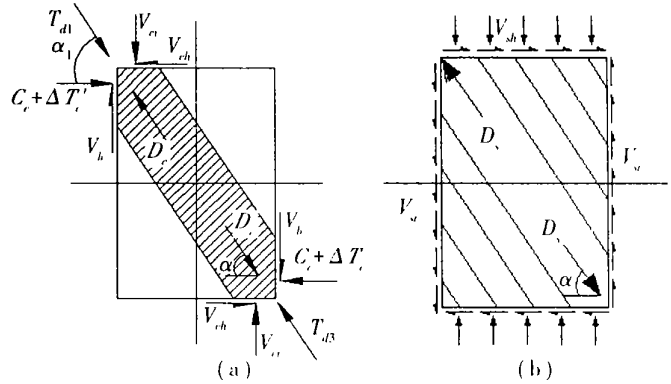


图 2 节点传力机构

$$\begin{aligned}
 V &= T + C'_c + C'_s + T_{d1} \times \cos \alpha_1 + T_{d2} \times \cos \alpha_2 - V_{col} \\
 &= T' + C_c + C_s + T_{d3} \times \cos \alpha_3 + T_{d4} \times \cos \alpha_4 + V_{col}
 \end{aligned} \tag{1}$$

其中, T — 钢筋中合拉应力; C'_c — 混凝土中的压应力合力; C'_s — 钢筋中压应力合力; T_{di} — 每一个支撑的轴力; α_i — 支撑与水平面的夹角; V_{col} — 柱端剪力;

设耗能器的启动力为 f_i , 则有:

$$T_{di} = f_i / \cos \alpha \tag{2}$$

另有: $T' \approx C'_c + C'_s \tag{3}$

(1) 式简化为: $V_{jh} = T + T' + \sum f_i - V_{col} \tag{4}$

设框架上塑性铰首先在梁端产生. 由于梁上弯曲钢筋的用量 A_{s1} 和 A_{s2} 是已知的, 而且受拉钢筋已达到其超强度 $\lambda_0 f_y$, 根据文献 [4] 中公式

$$S_0 = \lambda_0 S_i$$

其中 λ_0 是因考虑组成材料强度增大而设的超强系数. 一般取 $\lambda_0 = 1.25$. 则节点水平剪力设计值为:

$$V_{jh} = (A_{s1} + A_{s2}) \lambda_0 f_y + \sum f_i - V_{col}$$

$$= (1 + \beta)A_{s1}\lambda f_y + \sum f_i - V_{col} \quad (5)$$

其中, $\beta = A_{s2}/A_{s1}$.

由节点弯矩平衡, 并考虑梁端计算弯矩超强, 可推算出柱子的剪力 V_{col} 为:

$$V_{col} = 2\left(\frac{l_1}{l_{1n}}M_{1.0} + \frac{l_2}{l_{2n}}M_{2.0}\right)/(l_c + l'_c) \quad (6)$$

其中, l_1, l_2, l_{1n}, l_{2n} 分别为梁的轴线尺寸和计算跨度; l_c, l'_c 为上下柱的长度.

类似的, 由节点竖向力的平衡条件可得到节点竖向剪力的表达式. 但是, 由于柱子钢筋是分层布置的, 竖向应力合力的推导更为复杂. 考虑到工程精度的要求, 可简化计算为:

$$V_{jv} = (hb/hc)V_{jh} \quad (7)$$

2) 抗剪承载力计算. 节点区域视为由两种传力模式(斜压杆模式、桁架模式)共同传递节点剪力. 故有:

$$\begin{cases} V_{jh} = V_{ch} + V_{sh} \\ V_{jv} = V_{cv} + V_{sv} \end{cases} \quad (8)$$

其中, 下标 c 表示为压杆模式, s 表示为桁架模式.

a. 斜压杆机理作用. 图2中对角斜压杆 D_c 的水平方向分量是由混凝土压力 C_c , 钢筋力 $\Delta T'_c$, 耗能支撑轴力 T_{di} 以及柱上剪力所构成的, 其中钢筋受力 $\Delta T'_c$ 则是由粘结力传递到斜压杆上去的. 因此有:

$$V_{ch} = C'_c + \Delta T'_c + T_{d1} \times \cos \alpha_1 - V_{col} \quad (9)$$

要确定 C_c 和 $\Delta T'_c$ 的大小, 考虑实际的钢筋应力以及粘结力分布因素, 按文献[4]公式得:

$$\Delta T'_c = (1.25u_0)(0.8c) = u_0c = (C'_s + T)c/hc = 1.55 \frac{c}{hc} T \quad (10)$$

式中, c 为弹性柱子的弯压区深度尺寸, 取 $c = (0.25 + 0.85 \frac{P_u}{f_c A_g})$.

$$C'_c = T' = C'_s$$

式中 C'_s 为考虑梁中钢筋上粘结条件恶化后的节点受压钢筋的压应力, $C'_c = \gamma_y A_s = \frac{\gamma}{\lambda_0} T$, (γ 为梁中受压钢筋作用系数, 取 $\gamma/\lambda_0 = 0.55$). 故有:

$$C'_c = \beta T - \frac{\gamma}{n_0} T = (\beta - 0.55) T \quad (11)$$

所以, 将以上公式代入(9)式, 可以求出斜压杆剪切机理作用的相应剪力值:

$$\begin{aligned} V_{ch} &= (\beta - 0.55) T + 1.55 \frac{c}{h_s} T + T_{d1} \times \cos \alpha_1 - V_{col} \\ &= (1.55 \frac{c}{h_s} + \beta - 0.55) T + T_{d1} \times \cos \alpha_1 - V_{col} \end{aligned} \quad (12)$$

b. 桁架机理作用. 由关系式 $V_{sh} = V_{jh} - V_{ch}$ 可得桁架机理作用分配到的剪力 V_{sh} 为:

$$\begin{aligned} V_{sh} &= [(1 + \beta) T + \sum f_i - V_{col}] - [(1.55 \frac{c}{hc} + \beta - 0.55) T - V_{col}] \\ &= 1.55(1 - \frac{c}{hc}) T \\ &= (1.55 - 1.3 \frac{P_u}{f_y A_g}) T \end{aligned} \quad (13)$$

3) 节点抗剪配筋. (1) 水平方向配筋: 根据桁架机理节点所承受的水平方向剪力可以计算出节点所需的水平方向抗剪钢筋:

$$A_{jh} = V_{sh}/f_{yh} \quad (14)$$

(下转第81页)

3) 顺层坡岩体渗透水性较大, 渗透系数的选取对岩体的稳定性分析影响较大, 对锚索体的使用寿命也有较大影响。对于小工程由于条件有限, 不可能做很详细的水文地质分析。故此选用前期工程的防渗处理方案提供的资料。为提高锚索的使用寿命和考虑工程今后的管理, 本工程采用的双层保险和全段灌注式锚索体。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利部.《水工预应力锚固设计规范》SL212—98[S]. 1998. 55~ 58.
 [2] 中国岩土锚固工程协会. 岩土锚固新技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2000. 189~ 256.
 [3] 程良奎, 杨志银, 喷射混凝土与土钉墙[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002. 338~ 343.

(上接第 68 页)

其中 f_{yh} 是节点抗剪钢筋的屈服强度。(2) 节点的竖向抗剪配筋: 节点的竖向抗剪配筋一般由中部柱钢筋承担。当柱截面上仅有两排竖向配筋布置时需要验算是否增加节点的竖向抗剪钢筋。可以根据节点的桁架剪切模式来推导节点竖向抗剪配筋的计算公式。若水平方向拉筋的面积为 A_{jh} , 剪力流为 $v_s = V_{sh}/h'_c$, 按照桁架剪切模式以及静力平衡条件, 设斜撑倾角为 α , 可求得:

$$p + \frac{A_{jh}f_{yv}}{h'_c} - v_s \operatorname{tg} \alpha = 0$$

因此:
$$A_{jv} = \frac{1}{f_{yv}}(V_{sh} \operatorname{tg} \alpha - h'_c p) \quad (15)$$

1.2 构造措施

有试验显示, 节点区域的粘结退化会显著增大结构的层间位移。因此, 采取适当的构造措施有助于保证实现强节点弱构件的概念设计要求。尤其是顶层节点由于受截面尺寸的限制, 以及梁的抗弯强度有可能超过柱的抗弯强度, 容易出现非弹性节点。如何保证钢筋的良好锚固是节点构造措施的主要内容。在设计中可考虑采取以下措施:

- 1) 利用箍筋加密或布置斜筋控制梁上的塑性铰位置离开节点一定位置, 保证钢筋的粘结;
- 2) 在节点区域适当增加竖向钢筋有利于发挥桁架机构的作用;
- 3) 在支撑与梁柱交接位置布置斜向钢筋可提高开裂强度。

参考文献:

- [1] 张来仪编译. 日本建筑学会(AIJ)对钢筋混凝土建筑物基于极限强度的以梁柱节点为重点的设计要求的建议[J]. 国外建筑科学, 1998, 6(4): 15~ 21.
 [2] 游渊, 傅剑平, 白绍良, 汤华. 钢筋混凝土抗震框架梁柱节点的延性设计准则[J]. 重庆建筑大学学报, 1996, (12): 12~ 20.
 [3] 古松. 钢筋混凝土摩擦耗能支撑节点有限元分析: 硕士学位论文[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2003. 27~ 29.
 [4] T. 鲍雷, M. J. N. 普里斯特利. 钢筋混凝土和砌体结构的抗震设计[M]. 戴瑞同, 等译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999. 188~ 192.