

现浇钢筋砼框架梁柱节点力学性能分析*

施 养 杭

(华侨大学土木工程系, 泉州 362011)

摘要 阐述现浇钢筋砼框架梁柱节点的力学性能, 并综合分析其各个影响因素。

关键词 现浇钢筋砼, 框架节点, 力学性能

分类号 TU 378.42

至今人们对钢筋砼框架结构中的节点所给予的注意仍很少。大多数设计人员在对相邻的各个构件进行设计计算后, 通常假定尺寸比它所连接的构件大一些的节点的受力情况并无危险。随着极限状态设计理论的应用, 这种假定的弱点就充分地暴露出来, 并表明节点往往是一个结构体系中最薄弱的环节, 是框架最容易受损的部位。因此, 对节点力学性能的研究, 可弄清楚节点在复杂荷载作用下的受力状态、破坏机理, 并可通过合理设计, 以降低其震害的程度。

1 震害概述

现浇钢筋砼框架结构中的梁柱节点, 是整个结构的关键部位。它受力复杂, 施工困难, 质量较难保证, 也是震害集中的部位。历次地震震害表明, 框架结构破坏部位大多发生在柱子和节点区, 而节点破坏往往是导致整个结构倒塌的主要原因之一, 且破坏后的节点很难修复。究其原因, 主要有配筋不合理, 砼缺乏足够的约束, 钢筋锚固不足, 施工质量差等, 从而导致节点核心区的强度和延性不能满足抗震的要求。这就说明, 钢筋砼框架的节点及其附近区域, 是抗震最差、最敏感的部位。

2 节点核心区破坏过程和抗剪机理

在反复荷载作用下, 节点核心区在梁和柱端部内力共同影响下产生斜向的拉力和压力。随着荷载的不断增大, 节点区的受力和破坏过程可分为弹性、通裂、破裂和最后破坏等几个阶段。其相应的剪力在核心区的传递中, 分别为砼斜压柱机理, 桁架机理和组合块体机理^[1]。

2.1 斜压柱

在弹性阶段, 节点区砼没有开裂, 核心区箍筋中的应力很小。这时, 节点区剪力主要由砼承受, 即作用于核心区斜向压力, 由跨越核心区对角的砼斜压柱来承受。这称为砼斜压柱机理。在这个阶段中, 核心区沿对角线方向有近似相互平行的主压应力等值线, 从而构成了对角

* 本文 1994-01-22 收到

压力区,这可说明斜压柱的存在。

2.2 桁架

在其它条件相同的前提下,随着柱子轴压比的增大,斜压柱的宽度不断的扩展,主压应力等值线也随之增多。当轴压比达到 0.7 左右时,核心区几乎全截面受压。随着轴压比的增大,核心区主拉应力迹线方向逐渐趋于平缓,且由主拉应力引起的斜裂缝方向也随之变动。当轴压比大于 0.5 时,节点核心区对角线两端局部的主拉应力大于核心区中部的主拉应力,因而可能在核心区的四个角部首先出现“八”字形的裂缝。当作用于节点区的剪力值达到该区抗剪能力最大值的 60%~70% 时,在节点核心区产生很大的斜向拉力和压力。这时,核心区砼突然出现对角贯通裂缝,箍筋中的应力突然增大,个别的箍筋达到了屈服,从而使得节点抗剪刚度明显下降,这时节点就处于通裂阶段。当继续反复施加荷载至梁中纵筋屈服时,节点核心区的砼出现多条平行于对角线的通长裂缝。因此,箍筋中的应力不断增大,并依次地达到屈服。那么,作用于核心区的剪力主要通过梁中纵筋与核心区砼之间的粘结作用来传递,并由核心区砼和箍筋共同承受,从而形成了以横向箍筋为水平拉杆,柱中纵向钢筋为竖向拉杆,裂缝间砼为斜向压杆的桁架机理。

2.3 组合块体

随着反复荷载继续增大,节点区两侧梁中纵筋进入屈服强化阶段。这时,作用于节点核心区的剪力可达到其最大值,梁中纵筋在核心区的锚固逐渐减弱并产生滑移。此时,核心区剪力主要通过梁与核心区交界面裂缝闭合后的砼局部挤压来传递。与此同时,核心区的裂缝宽度不断增大,箍筋因屈服而伸长,砼沿裂缝产生相对错动,从而使得已产生的斜裂缝不可能完全闭合。节点核心区砼被多条交叉斜裂缝分割为若干块菱形体,在纵向柱筋和横向箍筋的共同制约下,形成了组合块体机理。此时,核心区的受力状态进入破裂阶段。在这个阶段中,核心区的受力特点主要是通过块体间受压裂缝上的骨料咬合作用来承受斜向压力,同时箍筋及柱中纵筋在受拉裂缝上,通过销栓作用来阻止块体间的剪切滑移。由此可见,合理地配置箍筋能使核心区组合块体机理维持承载能力。但其节点刚度不断下降,残余变形增大,砼保护层不断剥落。如果荷载再增大,砼块体被压碎,裂缝间骨料因不断磨损而脱落,最终丧失咬合作用。这时,节点核心区的承载能力就开始下降,从而导致节点的最后破坏。

在实际工程应用时,可根据“裂而不倒”的原则,对于一般框架结构宜以破裂阶段作为极限状态进行控制设计。对于节点核心区不允许开裂或有其它特殊要求的框架结构,则可以通裂阶段作为极限状态进行控制设计。

3 交叉梁对梁柱节点核心区的约束作用

在多层空间框架结构中,最一般的节点通常处于相互成直角的四根梁与一根连续柱的交汇处。当一个较大的地震沿建筑物的一个主轴方向对它进行扰动,既迫使其发生交替的屈服,又使得节点核芯处于临界受剪状态。此时,与受地震作用的框架平面垂直的梁,将对节点的侧向膨胀提供约束。即由这些横交于节点的梁中未屈服的抗弯钢筋,能够提供相当大的约束力。

因此,明显地提高了节点核心区砼的抗剪强度。在应用时,可用交叉梁对节点核心的约束影响系数 η ,表示交叉梁的有利影响程度。一般地说,在节点核心区砼开裂之前,交叉梁的有

利约束影响较显著,因而 η_1 值较大;当核心区砼出现贯通斜裂缝时,交叉梁的有利约束影响最差,此时的 η_1 值最小;当核心区处于破坏阶段时,交叉梁的有利约束影响比通裂阶段又略有回升;当核心区砼达到极限承载能力时,核心区的破坏便相当严重——砼被压碎而脱落。因此,我们建议:在设计中当考虑交叉梁的有利约束影响时,应采用通裂阶段的 η_1 值为宜。对于无交叉梁的中柱节点(—□—)和带交叉梁的边柱节点(—□—), η_1 值可取1.0。对于带交叉梁的中柱节点(—□—),当交叉梁的梁宽不小于柱宽的0.5倍,高度不小于主梁高度的3/4时, η_1 值可取1.5。由于三边有梁的中柱节点比四边有梁的中柱节点,对核心区砼的约束效果要差得多,故此 η_1 值可取1.0。至于通常不考虑楼板对节点核心区的约束作用,那是因为核心区在通裂前和在破坏阶段,楼板对节点核心区有相当大的约束影响($\eta_1 \geq 2$)。但是,一旦节点核心区进入通裂阶段,楼板对节点核心区的约束影响几乎不存在($\eta_1 \approx 0$)。在实际工程设计中,若采取外移梁上塑性铰的措施,则能显著地提高交叉梁对节点核心区的约束能力,以及节点核心区砼的抗剪强度。同时,它还可以提高节点的刚度和吸收、耗散能量的能力。所以,此时的 η_1 值就可取2.0。但应注意到,当交叉梁与柱面交界处出现竖向裂缝时,将会大大地削弱交叉梁对节点核心区的约束作用。

另外,结合震害经验进行分析,可认为:在多遇地震情况下,由于楼板和主要结构的有利作用,不致于引起交汇屈服,因此在实际应用时,可根据实际情况适当地考虑交叉梁的有利约束作用。

4 剪压比和配箍率对节点核心区砼抗剪性能的影响

剪压比和配箍率,对于框架梁柱节点区力学性能的影响是不可忽视的。在应用时,通常以节点核心区砼的抗剪强度系数 m 来反映,它综合了除 η_1 和柱子轴压比以外,影响节点核心区砼抗剪强度的其它因素。显然, m 值越高,节点核心区砼的抗剪强度就越高。同时,剪压比随着配箍率的增加而增大,因而剪压比对节点核心区砼抗剪强度的影响与配箍率的影响是一致的。当节点核心区的配箍率过高时,核心区中砼的破坏将先于箍筋的屈服。显然,在这种情况下,两者不能同时发挥作用,这就使得节点核心区的抗剪强度达不到理想的最大值,因此对于节点的配箍率应加以限制。由上可知,在设计应用时,可以通过限制剪压比来达到限制配箍率的目的,从而使得节点核心区砼的抗剪强度达到最大值。对于 m 的取值,可按下列方式采用^[2]:(1)当剪压比 ≤ 0.25 时,取 $m=0.09$;(2)当 $0.25 < \text{剪压比} \leq 0.35$ 时,取 $m=0.07$;(3)当剪压比 > 0.35 时,就必须增大构件的截面尺寸。

5 转移梁端塑性铰对节点抗震性能的改善

为了防止梁中纵筋在节点核心区中的滑移,提高节点核心区的抗震性能,可在结构设计中通过调整梁端部的配筋,加强梁在柱面外截面的抗弯能力。由此,可迫使梁端塑性铰不在靠近柱面部位产生,而在离开柱面一定距离之外形成,这就叫做转移梁端塑性铰。这种方法可以避免梁中纵筋在柱面处及深入节点核心区部分的屈服,防止梁中纵筋在核心区的滑移。要实现梁端塑性铰的转移,必须使得梁端处(柱面处)的截面抗弯强度,为相应处塑性铰抗弯强度的1.25倍以上。为了使得梁塑性铰区段具有较大的延性,在塑性铰区梁的剪应力应控制在0.1

倍砼轴心抗压强度之内。其目的在于防止因梁塑性铰首先发生剪切破坏,而使得梁的抗弯能力得不到充分发挥。

采用外移梁上塑性铰位置的办法,能提高梁对节点核心区的约束,从而明显地提高了核心区的抗剪强度。同时,还能提高梁中纵筋在核心区和梁端支座处的握裹能力,进而提高了节点和梁的刚度、强度和延性。

6 结束语

在对节点区力学性能的研究和试验中,我们着重分析了节点的破坏形态、抗弯强度、抗剪强度、刚度、延性以及节点区钢筋的锚固性能等,从而可在一定程度上提高其抗震能力。但是,影响节点力学性能的因素很多,它也给研究工作带来一定的难度。近几年来,尽管国内外不少学者在这方面做了很多有益的工作,但仍存在许多问题有待于今后作进一步的研究。

参 考 文 献

- 1 帕克 R,波利 T 著. 钢筋砼结构. 秦文铨等译. 重庆:重庆大学出版社,1986. 220~222
- 2 框架节点专题研究组. 低周反复荷载作用下钢筋砼框架梁柱节点核心区抗剪强度的试验研究. 建筑结构学报,1983,(6):5~6

Mechanical Behaviour of the Joints of Beams and Columns in a Cast-in-Place Reinforced Concrete Framework

Shi Yanghang

(Dept. of Civil Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract With reference to the joints of beams and columns in a cast-in-place reinforced concrete framework, the author makes a comprehensive analysis of their respective mechanical behaviour and influencing factors.

Keywords cast-in-place reinforced concrete, joints of framework, mechanical behaviour