

⑤ 43-52

钢筋混凝土抗震框架节点传力机构分析

傅剑平 游渊[✓] 白绍良

(建筑工程学院)

TU375.4

摘要 在总结国内外近年来大量研究成果的基础上,结合本文作者在节点试验研究中的体会,全面分析了框架节点中的传力特征,明确指出除斜压杆机构和桁架机构外还存在约束机构的这一事实。并讨论了这三种机构对节点核心区混凝土、箍筋、竖向钢筋的受力和对节点失效或破坏特征的影响。其³还着重讨论了核心区混凝土斜压杆的受力特点以及导致其破坏的各种因素。这些分析为建立更加合理的抗震框架节点设计准则提供了理论依据。

关键词 钢筋混凝土, 抗震结构, 框架, 梁柱节点, 传力机构

中图法分类号 TU375.4

我国建筑结构设计界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》(GBJ10-89)规定的设计方法,是根据七十年代后期我国第一批钢筋混凝土抗震框架节点性能的系列试验结果提出的。从八十年代到九十年代初期,日本、新西兰、美国和中国的不少研究者,包括本文作者,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。结合制定我国《钢筋混凝土框架节点技术规程》,在对这些试验研究成果进行认真总结分析后,本文作者根据自己近年来在框架顶层端节点、顶层中节点的抗震性能以及钢筋在中间层端节点中的锚固性能等试验中体会,对不同条件下抗震框架节点内的传力机制以及节点的受力规律获得了更为全面、深入的认识。在此基础上,本文作者提出了比日、美、新三国学术界对节点受力性能及传力机理,特别是节点失效类型认识得更为确切,从而对各项设计控制条件设立的理由理解得更为准确的抗震框架节点设计准则,并根据这一准则对我国现行抗震框架节点设计规定提出了理论和试验依据更为充实的改进建议。由于这项研究成果涉及的内容较广、范围较大,故将在几篇论文中逐一论述有关问题。本文将首先以中间层中节点为例,讨论节点的传力机构问题。

1 对节点中的斜压杆机构和桁架机构的再认识

节点作为梁、柱接头区的主要组成部分,在平面框架中承受由左、右梁端和上、下柱端传来的弯矩、剪力和轴力。当竖向荷载较大而地震水平反应较小时,左、右梁端截面中的内力所

收稿日期:1995-12-19

傅剑平,男,1953年生,讲师,重庆建筑大学建筑工程学院(630045)

本文研究工作属国家教委博士点专项资助基金支持项目

引起的节点剪力较小,节点的受力较为有利。而当水平地震反应较大,使左、右梁端分别受正、负弯矩作用时,节点剪力就比较大,对节点受力不利。因此节点抗震性能研究多以后一种不利状况为对象。在后一种情况下,平面框架中间层中节点四周所受的由梁、柱端传来的内力及应力分布如图 1a 和图 1b 所示。从内力平衡条件很容易得出节点内作用的水平剪力 V_{μ} 和竖向剪力 V_{ν} 的计算式。以水平剪力 V_{μ} 为例,如图 1c 所示,可得:

$$V_{\mu} = C_{s2} + C_{c1} + T_{r2} - V_c \quad (1)$$

其中 C_{c1} 和 C_{c2} 分别为左侧梁端受压区钢筋和混凝土传入节点的压力, T_{r2} 为右侧梁端上部受拉钢筋的拉力, V_c 为上柱剪力。

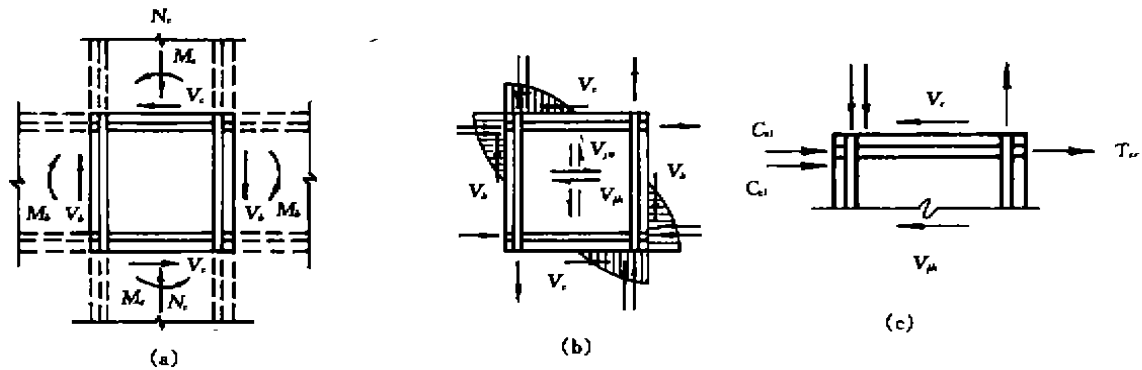


图 1 节点四边所受内力及节点剪力 V_{μ} 和 V_{ν}

早在七十年代,新西兰的 T. Paulay 和 R. Park 就已经指出梁柱节点中存在两种传力机构,即“斜压杆机构”和“桁架机构”^[1]。其中,如图 2a 所示,由梁、柱端受压力区混凝土的压力在分别抵消了柱、梁截面剪力中的相应部分(即图 2a 中的 V_{c1} 和 V_{b1})之后,在核心区混凝土中形成斜压应力场,即所谓的“斜压杆机构”。与此同时,如图 2b 所示,贯穿节点的梁柱筋

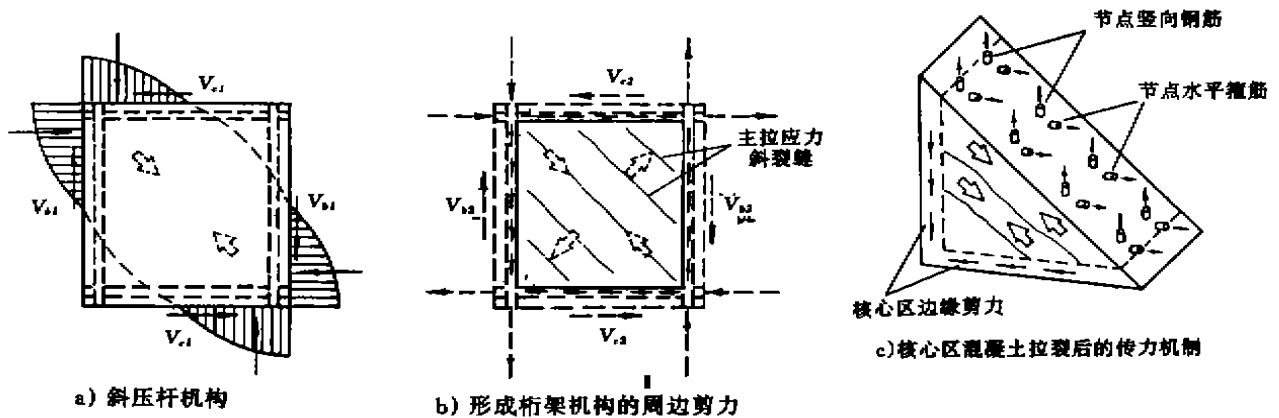


图 2 节点中的一、二两种传力机构

一端的拉力和另一端的压力将通过贯穿段的粘结效应传入其周围的混凝土。在分别抵消了相应另一部分柱、梁截面剪力(图 2 b 中的 V_{c2} 和 V_{b2} , 而且 $V_c = V_{c1} + V_{c2}$, $V_b = V_{b1} + V_{b2}$)之后,将以边缘剪力形式传入核心区,并在核心区形成剪应力场。该剪应力场的主压应力与

斜压杆机构的主压应力叠加,由核心区混凝土承担。在核心区斜向开裂前,桁架机构引起的主拉应力亦主要由混凝土承担;当拉应力大到导致混凝土斜向开裂后,主拉力将由水平箍筋和竖向钢筋分担,如图2c所示。对比节点的主拉力和主压力,因前者源于一种机构而后者源于两种机构,故前者总是小于后者。

虽然两种机构的传力来源非常明确,但到今仍无法通过试验或理论分析把柱截面剪力中的 V_{c1} 、 V_{c2} 和梁截面剪力中的 V_{b1} 、 V_{b2} 直接定量区分开来,因此也就暂时无法直接定量确定桁架机构和斜压杆机构所分担的剪力。此外,还需要指出的是,新西兰的 T. Paulay 还将一个假定介绍给国际学术界^[1],即认为节点每一侧梁、柱端受拉钢筋屈服后在受拉区将形成较宽裂缝,该裂缝在卸载后因钢筋塑性伸长不能恢复而无法闭合。故在反向受力时,受压区压力由于该裂缝尚未闭合而只能经由受压钢筋传入节点,从而造成在节点内几乎只存在桁架机构,并由该机构单独传递全部节点剪力的不利局面。T. Paulay 根据这一假定建议新西兰 NZS3101 规范(1982)^[2]在轴压比为 0~0.1 的抗震框架节点中取全部剪力由桁架机构承担,并依此建立箍筋计算公式。用该公式确定的节点箍筋用量是世界各国中量高的。后来,各国研究者,包括本文作者,在试验研究中均发现,在一般梁、柱粘结条件不是太好的节点中,贯穿节点的梁、柱筋都将在一端拉力和另一端压力作用下产生粘结滑移,因此节点某一侧的受拉钢筋在反向受压后,将向节点内滑移。其滑入量通常都将大于或接近未闭合的裂缝宽度,故原所谓不能闭合的裂缝实际上是能够闭合的,即受压区混凝土压力完全可以通过重新闭裂缝界面之间的再接触效应传入节点核心区。因此, T. Paulay 的假定过于安全。

当然,也必须看到,新西兰 NZS3101 规范 1982 年版为了追求“延性框架”而把贯穿节点梁、柱筋的粘结条件控制得比其它几个国家都更为严格,因此它必须使用根数更多、直径更小的梁筋和柱筋(即要求梁、柱筋的最大直径为其它国家规范允许值的大约 0.6 倍)。在这种情况下, T. Paulay 提出的梁、柱端受拉裂缝在重新受压时不能完全闭合的现象就有可能出现。但是在八十年代美、日、新、中这四个国家完成了联合对比试验之后,新西兰意识到它在 NZS3101 规范 1982 年版本中对贯穿节点梁柱筋粘结条件的要求过于严格,从而在 1994 年 NZS3101 规范修订版中放松了这项要求。与此同时,它也在一定程度上降低了节点箍筋的计算用量,这也就相当于在一定程度上修正了 T. Paulay 的上述假定。

实测结果还进一步证实,与 T. Paulay 的上述假定相反,随着节点在梁、柱端受拉钢筋屈服后的交替变形,贯穿段的粘结能力逐步退化,即单位钢筋长度上通过粘结传入混凝土的力逐步减小。于是,如图 3 所示,当一侧梁端受拉钢筋的拉应力基本保持在屈服强度水

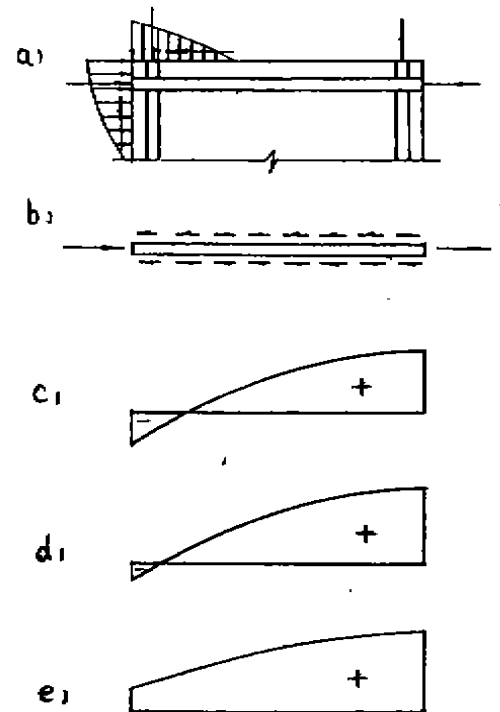


图3 贯穿节点的上部梁筋粘结退化导致的贯穿段内力重分布

准不变时(只因强化而稍有增长),贯穿段钢筋的受力随着粘结退化而逐步趋于均匀,即另一端由压应力逐步减小直到变为受拉(图 3c 至 3e)。这时,图 3a 节点左边上部受压一侧为了保持截面内力平衡,其受压区混凝土承担的压力(图 3a 中的 C_{cl})必然相应增大,从而使节点斜压杆机构的负荷增大。与此同时,梁、柱筋贯穿段的粘结退化导致由钢筋经粘结传入节点的边缘剪力(参见图 2b)减小,桁架机构传递的剪力比重下降,节点中由桁架机构引起的斜向压应力以及箍筋和竖向钢筋中的拉力均相应减小。这表明粘结退化使节点核心区混凝土斜向压应力有增(斜压杆机构)有减(桁架机构),但前者绝对值通常大于后者,故最后仍将使斜向压力有所增大,而箍筋和竖向钢筋中的拉力则有所降低。

新西兰 T. paulay 及其合作者^[2]至今仍坚持的另一个假定是,认为在图 2b 由梁、柱筋传给节点的边缘剪力中,处于图 2a 柱端及梁端受压区范围内的那一部分边缘剪力将直接汇入斜压杆机构,而不再属于桁架机构。但本文作者认为,不论作用在钢筋“贯穿段”中哪一段上的边缘剪力,从力的传递角度都将参与在核心区形成剪应力场而引起相应的主拉应力和主压应力。只要承认边缘剪力流的存在,这一事实就是不容改变的。T. paulay 的这种处理手法从力学分析角度上是不够严密的,因而也就不能被接受。这一假定的直接后果是低估了水平箍筋和竖向钢筋中的拉力。

从图 2b 还可看出,桁架机构传递剪力的多少还与梁、柱截面“下部钢筋”与“上部钢筋”面积比 A_s'/A_s 有关,当 A_s 不变时, A_s'/A_s 越大,相当于图 1c 中的 C_{cl} 越大,故梁、柱筋贯穿段通过粘结传递的力也就越大,桁架机构传递剪力的比重也就相应增加。斜压杆机构传递的剪力则由于从梁、柱截面受压区混凝土传入节点的压力的相应减小而降低。因柱截面通常都是对称配筋,故对节点斜压杆机构和桁架机构受力有影响的就只是梁端的 A_s'/A_s 。

2 节点中的第三种传力机构—约束机构

八十年代后期,日本东京大学北山和宏、小谷俊介和青山^[3]博之通过试验对节点中箍筋应变在组合体反复受力且层间位移角不断增大过程中的变化规律做了细致的测定。其中有代表性的试件是图 4a、4b 中所示的试件 B1 和试件 B3。为了测得平行于加载方向的节点箍肢和垂直于加载方向节点箍肢中的应变,研究者将节点箍筋两个方向按单肢(两端带弯钩)设置。实

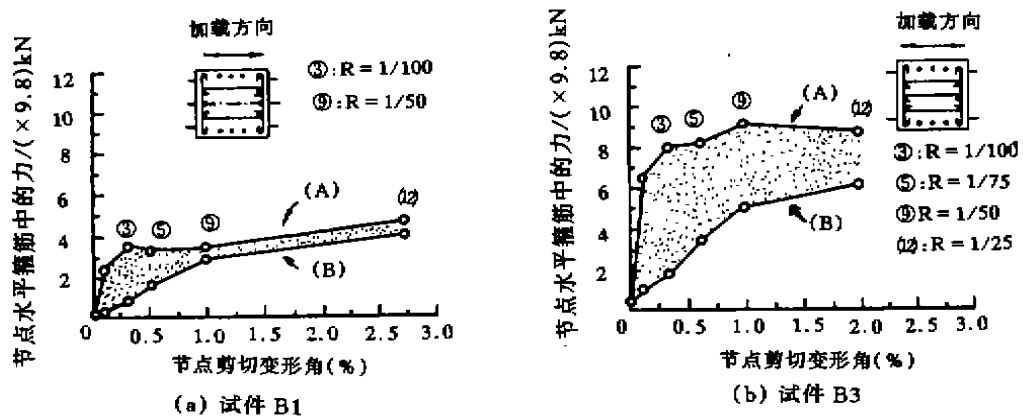


图 4 北山和宏试验中箍筋实测拉力随节点剪切变形的增长规律(R 为组合体层间位移角)

测的平行于加载方向各箍肢中的总拉力和垂直于加载方向各箍肢中的总拉力随组合体层间位移角的变化如图 4a 和图 4b 所示。其中试件 B1 两个方向的单肢箍均为 4 层 $\phi 6$, 试件 B3 则为 7 层 $\phi 6$ 。由于试件 B1 梁端上、下部钢筋均为 $8\phi 13$, 而试件 B3 梁端上、下部钢筋为 $12\phi 10$, 即试件 B1 梁端配筋量多于试件 B3 故如图 5a 和 5b 所示, 在层间位移角达到 $1/100$ 弧度时, 试件 B1 实测的由上部梁筋贯穿段传递的粘结力约为 280kN , 而试件 B3 只有约 230kN (前者

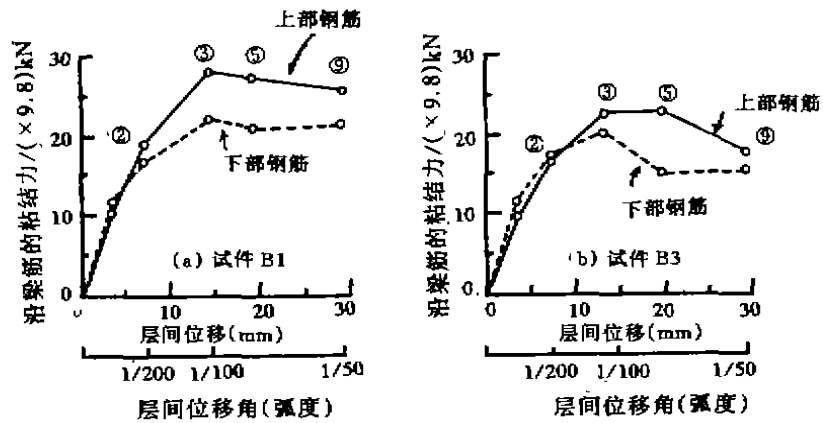


图 5 北山和宏试验中实测的上部及下部梁筋“贯穿段”的粘结力随试件变形的变化

比后者约大 20%)。如果认为上柱截面剪力亦与梁端配筋量大致成比例, 而且在试件 B1 和 B3 中, 相当于图 2a 和图 2b 中 V_{c1} 和 V_{c2} 的两部分剪力的比值也大致相同, 则可认为试件 B1 由上边缘传给节点核心区的剪力亦比试件 B3 大 20% 左右。

北山认为, 平行于加载方向的箍肢既要承受桁架机构引起的拉力, 又要承受由于节点混凝土在斜向受压后的横向膨胀所引起的被动约束拉力。同时还进一步认为, 在平行于加载方向和垂直于加载方向箍肢中的被动约束拉力是基本上相等的(这相当于假定这两个方向的横向膨胀相同)。于是就可以认为从图 4 每个试件平行于加载方向的箍肢总拉力中减去垂直于加载方向的箍肢总拉力, 所余的就是在平行于加载方向箍肢中由桁架机构引起的拉力, 这也就是图 4a 和图 4b 中画有阴影的面积所对应的纵坐标。

应该承认, 北山的这一设想还是很有创造性的。但是, 如果把图 4 与图 5 进行对比, 不难发现一个重要矛盾, 即图 4 表明试件 B3 在平行于加载方向箍肢中由桁架机构引起的总拉力在各个变形状态下都比试件 B1 大, 而图 5 则得出相反的结论, 即试件 B3 箍肢中的桁架机构引起的总拉力反而比试件 B1 中的小。

本文第一、三作者在九十年代初期完成的足尺顶层中间节点低周交变加载试验中, 也较准确测定了平行于加载方向的全部节点箍肢中的应变随组合体变形增大的规律(共九个试件)^{[4][5]}。

除此以外, 尚未见到国内外有其它通过测定箍筋应变来分析节点受力机构的研究成果。结合北山的试验和本文作者的试验, 本文作者认为对上述问题应作以下认识:

1) 在梁端纵筋屈服之前, 随着组合体上作用荷载的增大, 即梁、柱端作用弯矩和传入节点的水平及竖向剪力的增大, 平行于受力方向节点箍肢中的拉力平稳增长。如果传入节点的剪

力保持在相同水准不变(即梁、柱端配筋不变),则节点箍筋越多,在梁端纵筋屈服时箍筋中拉应力通常会相对越低。这一认识本文作者与北山和宏是一致的。

2) 可以判定,节点平行于加载方向箍肢中用于桁架机构的总拉力不会超过按图 6 所示经典桁架模型所算得的总拉力,其中脱离体上边缘和右边缘的剪力为通过上部梁筋和右侧柱筋“贯穿段”的粘结对应在分别减去上柱截面相应部分剪力和右侧梁端相应部分剪力后传给节点核心区的边缘剪力。正如前文所分析的,试件 B1 的该总拉力只比试件 B3 的大 20% 左右,而图 4 阴影面积纵坐标所表示的两个试件该总拉力的比值与上述分析结果不符,因此,就只能认为图 4 阴影面积纵坐标所示的平行于加载方向和垂直于加载方向的节点箍肢的拉力差不一定就等于桁架机构在平行于加载方向箍肢中引起的总拉力。究其原因估计是由于混凝土在节点中沿斜向受压,如果说桁架机构引起的混凝土斜向压应变还可以假定为沿与该压应变垂直的方向为均匀分布,则斜压杆机构引起的核心区混凝土斜向压应变沿与该应变垂直方向的分布如图 7 所示通常是不均匀的,即斜压杆中部的压应变大于两侧的压应变。于是,可以预计,斜压混凝土平行于加载方向的横向膨胀在该方向箍肢引起的拉应变相对较为均匀;而斜压混凝土垂直于加载方向的横向膨胀在位于图 7 所示节点左、右两侧边的该方向箍筋中所引起的拉应变则可能上、下大小差异较大,从而导致垂直于加载方向箍肢中的被动约束拉力有可能小于平行于加载方向箍肢中的被动约束拉力。

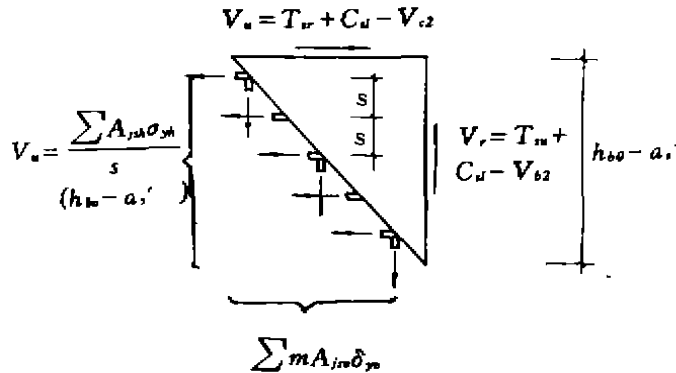


图 6 按经典桁架机构模型由节点核心区边缘剪力计算斜裂缝中水平箍筋和竖向钢筋拉力

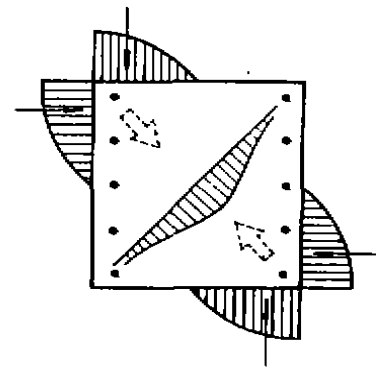


图 7 斜压杆机构核心区混凝土斜向压应变分布示意

3) 在梁端受拉纵筋屈服后,若再进一步增大组合体的变形则传入节点的剪力的增长幅度将明显减小,因为这时梁端钢筋中的拉力和压力都只是由于屈服后的强化而少有增长。同时,由于梁筋屈服区将逐步向节点内渗透,故“贯穿段”上的粘结将逐步退化,从而使桁架机构引起的平行于加载方向箍肢中的总拉力逐步减小。而随着节点核心区交叉斜裂缝的发育和“贯穿段”粘结退化后斜压杆机构中混凝土斜压力的增大,核心区混凝土的横向膨胀则进一步发展,这导致平行于加载方向和垂直于加载方向箍肢中的被动约束拉力都将进一步增大(虽然两个方向总拉力的增大幅度不一定相同)。如果在梁端纵筋屈服时节点内平行于加载方向的箍肢由于配置数量较少而已经接近或达到屈服,则在组合体变形进一步增大时,由于“贯穿段”的粘结退化,箍肢应力中桁架机构引起的部分将减小,而用于对核心区混凝土形成约束的部分则逐步扩大。如果由于节点中配箍较多,在梁端纵筋屈服时箍筋尚未屈服,则在组合体变

形继续增大时,由桁架机构引起的箍筋应力仍呈下降趋势,因此将有更多的箍筋抗拉潜力可以用于约束核心区混凝土。而且,随着核心区混凝土横向膨胀的发展,箍筋应力完全有可能增大到屈服。箍筋一旦屈服,它对混凝土的约束也就自行退化。但随后核心区混凝土会不会斜向压碎,则取决于箍筋屈服时混凝土的受压状态。如果斜压力较小,则节点中将不会发生斜压破坏。若斜压力较大,则箍筋屈服就可能成为混凝土斜压破坏的前提条件。但若配箍过多,则因节点变形协调条件的制约,斜压混凝土将可能在箍筋全面屈服前压碎,即当混凝土压碎时,箍筋还远未屈服。因此,在节点中不能像 S. Pantazopoulou^[7]那样简单假定箍筋屈服就是核心区混凝土斜向压碎的判别条件。

4) 综上所述,最关键的结论应该是,通过试验和分析可以肯定,在节点中除去斜压杆机构和桁架机构之外,还始终存在一种非常重要的机构,这就是由约束核心区混凝土的节点箍筋和被箍筋约束的核心混凝土的相互作用所形成的“约束机构”。约束机构虽然不直接参与传递节点剪力,但它却是使节点的抗剪能力维持到组合体达到更大变形时所不可缺少的一个重要前提,因此也就是保证接头区抗震性能的一种非常关键的节点受力机构。

到今天为止,美国工程界仍未放弃他们在 ACI-ASCE 352 委员会梁柱节点设计建议^[6]中的观点,即认为节点只是柱子的一段,其中受斜压的混凝土被箍筋约束。这也就相当于只承认节点中斜压杆机构和约束机构的存在,而不承认桁架机构的存在。而新西兰人虽然可以在 1994 年的 NZS3101 规范修订版中调整他们对抗震节点性能的控制水准,却始终只承认他们最先提出的斜压杆机构和桁架机构,而只字不提约束机构。本文作者认为,美国和新西兰规范中表达出的这些看法是不够全面的。

3 核心区斜压混凝土在交替压、拉循环中的软化现象及分割效应

节点核心区混凝土要沿着节点的两个对角线方向交替承受由斜压杆机构和桁架机构引起的斜向压力,而且在梁端或柱端屈服后,随着组合体变形的进一步增大,由于梁端或柱端钢筋的强化以及贯穿节点的梁、柱筋的粘结退化,这一斜向压力还会有一定幅度的增长。当节点作用剪力较大时,斜压混凝土在交替受力下由于强度、刚度退化而导致的混凝土斜向压碎是造成节点在梁端或柱端屈服后发生斜压型剪切破坏的根本原因。因此,研究节点核心区混凝土的抗压性能对分析节点的受力特征是十分重要的。

T. T. C. Hsu(徐增全)^[8]和 M. P. Collins^[9]早已指出。在静力单调加载下,沿正交的两个斜向一向受压另一向受拉的混凝土,当在受拉方向开裂并由箍筋和竖向钢筋分担斜向拉力时,沿受压方向将出现“软化”,即抗压强度和刚度随分担斜向拉力和钢筋中拉力的增大而下降。在抗震框架节点核心区中混凝土沿斜向交替拉、压,而且裂缝沿两个正交斜向交替开闭,混凝土内部微裂缝的发育将比单调静力加载下更为迅速,故软化现象将更加严重。这意味着,当节点作用剪力较大时,由核心区混凝土抗斜压强度控制的梁、柱端屈服后的斜压型剪切破坏的抗剪承载力将随软化现象的发展而逐步降低。此外,近年来的研究表明,混凝土的低周疲劳性能也是不容忽视的,也就是混凝土的软化程度还随拉压循环次数的增加而增大。当然,软化随循环次数发展的规律还与混凝土受压的应变水准有关,当应变比较接近极限应变时,累积损伤的影响将是非常显著的。

除此以外,斜压混凝土的强度和刚度还与核心区交叉斜裂缝的发育情况有关。在配箍率

较低因而斜裂缝根数少而宽度大的节点中,斜裂缝的发育对混凝土抗压强度及刚度的影响不大。而在配箍率较高,因而随着节点变形增大和交替加载循环次数增多斜裂缝根数逐步增加但却多而细的节点中,斜向交叉的网状裂缝将混凝土分割成小块,从而使本已因软化而降低了混凝土斜向抗压强度和刚度进一步下降。另外,与斜向力方向垂直的裂缝在重新受压闭合时,由于裂缝两侧混凝土界面的剪切错动,而使凹凸不平的界面表面不能完全啮合,导致突起局部受压,在界面附近的混凝土中引起与压力方向垂直的附加拉应力,这将进一步引发新的短小斜裂缝,从而加剧核心区混凝土的分割现象。

综上所述,可知节点核心区混凝土的受力状态相当复杂。一方面如上文所述,其斜向压力将随组合体变形的增加而有所增大,另一方面斜压混凝土由于交替拉压受力过程中软化现象的加剧和裂缝分割效应的增强,将引起节点的承载力强度及刚度随其剪切变形增大和循环加载次数的增加而持续退化。所有这些因素都将促使核心区混凝土比一次静力加载时易于压碎。而且组合体达到的变形越大,混凝土的斜向压碎强度越低。唯一能对上述各种不利因素起制约作用的是节点水平箍筋对斜压混凝土的约束作用,它将在一定程度上推迟混凝土的斜压破坏。而箍筋能对混凝土发挥约束作用的大小,则取决于除去桁架机构占用的箍筋抗拉能力的大小,但同时还受节点核心区变形协调条件的限制,即当箍筋过量时,混凝土也可能在箍筋发挥其全部约束潜力之前斜向压碎。

在结束这一节的讨论之前还有必要再次强调的是,我们在这时不讨论梁端或柱端受拉钢筋屈服前节点发生斜压型剪切破坏时的核心区混凝土抗斜压能力,因为这种破坏是脆性的,在抗震框架中是应该着力防止的。我们上面讨论的是在梁端或柱端屈服后组合体进一步交替增大变形时,节点核心区混凝土的抗斜压性能,因为它是保证节点核心区混凝土在组合体达到足够延性后方才斜压破坏的最关键性能。

4 节点中竖向钢筋的作用

在平面框架节点中,竖向钢筋是指沿着与加载方向平行的柱截面边缘布置的贯穿节点的柱纵向钢筋。实测结果表明,当桁架机构在核心区混凝土中引起的主拉应力导致混凝土斜向开裂后,竖向钢筋将与水平箍筋一起分担桁架机构的主拉力。但是在节点以上和以下的柱截面中,该钢筋只起构造作用,而不再承受节点桁架机构形成的拉力。因此如图 8 所示,节点中竖向钢筋的拉力必将在该钢筋伸入上、下柱后的一段长度上引起粘结效应并将拉力传给节点上下的混凝土。该粘结力再以均匀附加压力的形式反作用于节点核心区。当节点混凝土交替斜向拉压且剪切变形逐步增大、斜向交叉裂缝逐步增多时,核心区中的竖向钢筋进一步伸长,故其中应力增长不如水平箍筋那样明显,从而也就不能象水平

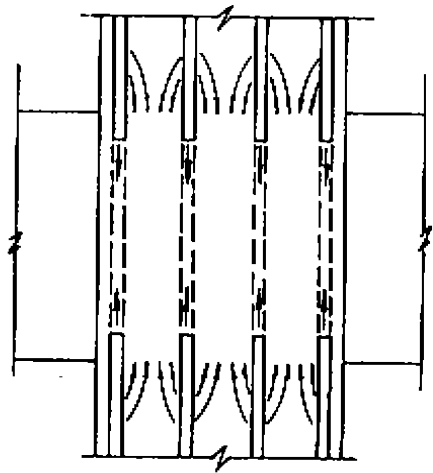


图 8 竖向钢筋的传力示意图

箍筋那样有效地发挥对斜压混凝土的约束作用,而只是对受拉混凝土起一般意义上的“加劲”作用。随着竖向钢筋拉应力的增大,经粘结力传入柱端的力以及由它转换成的对节点的竖向均匀压力也将相应增大。这在某种程度上相当于柱轴压比的增大。有试验结果表明^[10],这种压力会对中间层端节点的滞回曲线形状有一定影响,能在一定程度改善中间层端节点的耗能性和延性。但对于中间层中节点,这种均匀压力能给节点性能带来什么影响,则至今尚无定论,仍有待进一步探讨。

5 小 结

本文通过对近年来国内外抗震框架梁柱节点试验研究的综合分析,明确指出节点中存在斜压杆机构、桁架机构和约束机构这三个传力机构。而且不论是在中间层中节点、中间层端节点和顶层端节点中,还是在每类节点的不同受力条件下,虽然三种机构所起的作用大小不同,但这三种机构是始终存在的。

参 考 文 献

- 1 T. Paulay, R. Park and M. J. N. Priestley, Reinforced Concrete Beam - Column Joints under Seismic Action, Journal of the American Concrete Institute, Vol. 75, No. 11, Nov. 1978
- 2 NZS3101: 1982, Code of Practice for the Design of Concrete Structures and Commentary, Standards Association of New Zealand, Wellington, 1982
- 3 K. Kitayama, S. Otani, H. Aoyama, Development of Design Criteria for Reinforced Concrete interior Beam - Column Joints, Design of Beam - Column Joints for Seismic Resistance, ACI SP - 123, 1991
- 4 吴庆云, 钢筋混凝土框架顶层中节点抗震性能试验研究, 重庆建筑工程学院硕士论文 1991, 5
- 5 黄文彬, 钢筋混凝土框架中塑性铰位于柱端的顶层中节点的抗震性能试验研究, 重庆建筑大学硕士论文, 1994, 7
- 6 ACI - ASCE Committee 352, Recommendation for Design of Beam - Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures, ACI Journal, Vol. 82, No. 3, May - June, 1985
- 7 Pantazopoulou, S., and Bonacci, J., Consideration of Questions about Beam - Column Joints, ACI Structural Journal, V. 89, No. 1, Jan - Feb. 1992
- 8 Thomas T. C. Hsu, Unified Theory of Reinforced Concrete, CRC press, 1993
- 9 F. J. Vecchio, M. P. Collins, The Modified Compression Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear, Journal of American Concrete Institute, Vol. 83, No. 2, Mar - Apr. 1986, pp. 219 - 231
- 10 T. Kaku, H. Asakusa, Ductility Estimation of Exterior Beam - Column Subassemblages in Reinforced Concrete Frames, Design of Beam - Column Joints for Seismic Resistance, ACI SP - 123,

(编辑:王秀玲)

Analysis on the Force - Transferring Mechanism of the Earthquake - Resistant Reinforced Concrete Frame Joints

Fu Jianpin You Yuan Bai Shaoliang

(Chongqing Jianzhu University)

Abstract On the basis of a summary of achievements from a large quantity of experimental studies both at home and abroad, in combination with the authors' experience in the experimental works on the reinforced concrete frame joints, their force - transferring characteristics are fully studied. The important fact that there is also a confined mechanism besides the inclined compressive strut and the truss mechanisms, is clearly pointed out. The influences of the three mechanisms upon the mechanical behaviors of the joint core concrete, the transverse and the vertical reinforcements, as well as upon the failure characteristics of the joint are also explored. Mechanical behaviors of the inclined concrete compressive strut and the factors causing its failure are specially discussed. These analyses provide theoretical bases for establishing more rational earthquake - resistant design criterion for reinforced concrete frame joints.

Keywords reinforced concrete, earthquake - resistant structure, frame, beam - column joint, force - transferring mechanism

.....
(上接 33 页)

spectrum is presented. The simplified methods for analyzing the total input energy of multiple free-
dom elastic - plastic systems are proposed to provide some basis for developing aseismic structure
design method and Double - Failure Criteria.

Keywords rare earthquake, aseismic structure, total input energy