

钢筋混凝土梁柱偏心节点的抗裂性^{*}

张华越

(江苏大圣集团 , 盐城 224003)

摘 要 :通过钢筋混凝土框架偏心节点在低周反复荷载作用下的试验 ,探讨了梁柱偏心对节点核心区抗裂性的影响 ,在此基础上提出偏心节点抗裂度计算方法 ,并将试验结果与计算值进行比较 ,两者吻合较好。
关键词 :偏心节点 ;抗裂性 ;节点抗裂度计算
中图分类号 :TU375 **文献标识码** :A **文章编号** :1671 - 532X(2004)01 - 0072 - 04

钢筋混凝土框架节点是结构抗震的薄弱部位 ,在强烈地震下 ,框架节点核心区受力复杂 ,节点的破坏已成为导致整个框架破坏的主要原因之一。在实际工程中 ,由于建筑立面的需要或使用功能的要求 ,存在梁的轴线与柱的轴线不重合现象。在水平地震力作用下 ,钢筋混凝土框架偏心节点受到弯矩、剪力、轴力和扭矩的作用 ,应力状态复杂 ,而且偏心造成节点有效宽度减小 ,承载能力下降。实验表明 ,节点一旦出现裂缝 ,其长度与宽度发展较快 ,尤其在荷载反复作用下会立即裂

通整个对角 ,宽度可达 0.1 ~ 0.3mm。已经发生裂缝的节点 ,实际上往往已达到或超过正常使用极限状态^[1]。

1 试验概况

为了研究偏心节点的工作性能及计算方法 ,本次试验采用钢筋混凝土梁柱节点组合体 ,共制作 4 榀试件。以梁柱偏心距为变化参数 ,梁柱偏心距分别取 $e = 0$, $e = 33\text{mm}$, $e = 67\text{mm}$, $e = 100\text{mm}$ (图 1)。试件尺寸、配筋及材料强度见表 1。

表 1 试件尺寸、配筋及材料强度一览表

Table 1 Dimension , force of steel and concrete of specimen

梁断面/mm		柱断面/mm		梁配筋		柱配筋		核心区	纵筋强度	箍筋强度	混凝土强度	轴压比
h_1	b_1	h_2	b_2	纵筋	箍筋	纵筋	箍筋	箍筋	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	
350	150	250	350	4Φ18	Φ6.5 ⊙80	6Φ18	Φ6.5 ⊙60	Φ6.5 ⊙90	367.6	252.9	29.56	0.2

试验加载装置见图 2 ,试验时利用安放在柱顶的液压千斤顶先将柱轴力加至预定值 ,然后利用柱两侧上下放置的液压千斤顶在梁端施加同步行反对称荷载。反复荷载加载程序采用荷载。变形混合控制方法 ,框架梁屈服前 ,用荷载控制 ;框架梁屈服后 ,用变形控制 ,每级荷载循环时间保持相同时间间隔。数据采集系统由传感器、数据采集仪和计算机组成 ,试验时可以连续量测和自动记录。试验过程中用刻度放大镜对节点区和梁的裂缝进行认真观察 ,并在每一循环荷载峰值时 ,描述

了裂缝的位置和走向。

2 节点开裂前后的工作情况

节点开裂以前 ,刚度变化很小 ,荷载虽经反复 ,其残余应变甚微 ,应力 - 应变曲线呈直线分布。节点开裂前基本上处于弹性工作阶段。在节点即将出现裂缝时 ,量测到的箍筋应力很小 ,节点的剪力主要由核心区的混凝土承担和传递。

随着荷载增加 ,首先出现梁端的垂直裂缝 ,然后陆续发生梁上斜裂缝和节点区斜裂缝。由于荷

^{*} 收稿日期 2003 - 12 - 15
作者简介 :张华越 (1966 -) ,男 ,河南南阳市人 ,江苏大圣集团工程师。

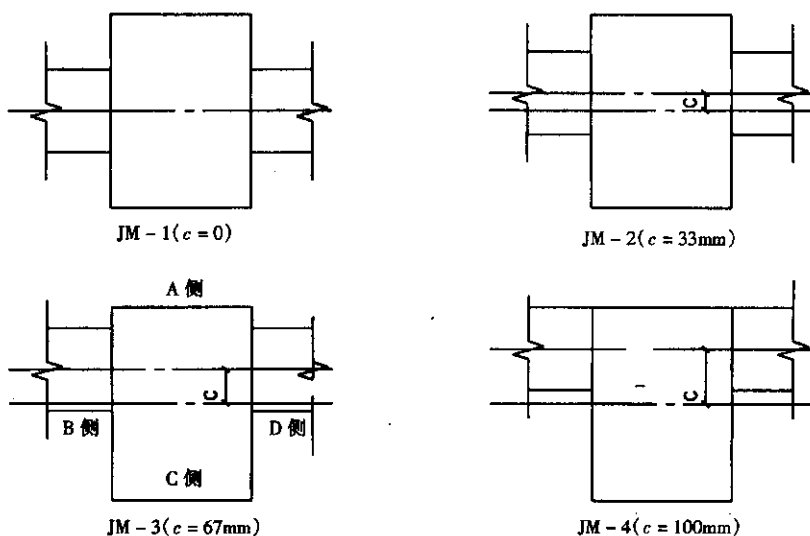


图 1 试件梁柱偏心示意图

Fig. 1 Figure of eccentricity joint of specimen

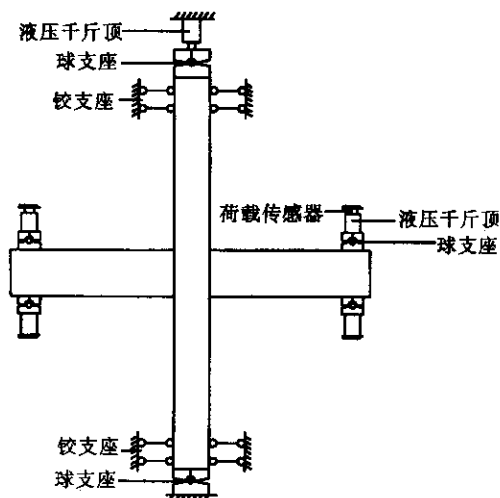


图 2 试验加载装置

Fig. 2 Load appliance of specimen

载的反复,出现两对角方向的交叉裂缝。随后平行与对角方向的裂缝继出现,形成十字交叉状,将节点划分成菱状网络。节点裂缝一旦出现,荷载的略增或稍经反复,裂缝迅速发展,斜裂缝很快裂通对角。偏心较大的试件较早出现对角裂缝,裂缝宽度约为 0.3~0.5mm;偏心较小的试件对角裂缝出现较迟,裂缝宽度亦小,约为 0.2~0.4mm^[2]。这一现象表明,裂缝出现后,便达到或超过裂缝宽度的限值,因此对于框架梁柱节点控制裂缝是必要的。荷载的反复作用,对节点裂缝的出现与发展有着明显影响。如试件 JM-3 和 JM-4 在第二循环出现裂缝,试件 JM-2 直到第三循环才出现裂缝。当节点开裂后,保持同一级荷载经数次反复,裂缝的长度与宽度都有明显的发展。裂缝出现后,节点刚度降低,变形增大,尤其在反复荷

载作用下,刚度退化明显。在破坏以前,节点区已被许多斜向交裂缝分割成若干菱形块体,破坏时混凝土保持层成片剥落,以致钢筋外露。

3 节点抗裂计算

节点抗裂计算建立在下面两个假定上(1)节点在裂缝出现以前基本上处于弹性工作阶段(2)节点开裂以前,箍筋所承担的剪力很小可以忽略不计。

根据上述假定,可以认为节点核心区斜截面上的主拉应力达到混凝土的抗拉强度,节点即出现裂缝。

节点出现裂缝时的名义平均剪应力 τ

$$\tau = \frac{V_{je}}{b_j h_c} \quad (1)$$

式中: V_{je} ——裂缝出现时节点所受的剪力。

节点核心区柱轴压应力 σ_0

$$\sigma_0 = \frac{N}{b_c h_c} \quad (2)$$

从节点核心区取出一单元体,单元体受力状态如图 3 所示。

τ 与 σ_0 同在节点核心区,但不在一个平面上。根据莫尔圆,可知在核心区的主拉应力和主压应力分别为^[3]:

$$\sigma_d = -\frac{\sigma_0}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_0}{2}\right)^2 + \tau^2} \quad (3)$$

节点核心区没有出现裂缝或刚开始出现裂缝时,必须满足

$$\sigma_d \leq f_t \quad (4)$$

取临界状态,即核心区刚出现裂缝时

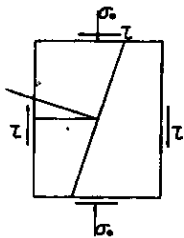


图 3 节点核心区的单元体

Fig.3 Element of joint core

$$-\frac{\sigma_0}{2} + \sqrt{\left(D\frac{\sigma_0}{2}\right)^2 + \tau^2} = f_t \tag{5}$$

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_0}{2}\right)^2 + \tau^2} = f_t - \frac{\sigma_0}{2}$$

$$\left(\frac{N}{2b_ch_c}\right)^2 + \left(\frac{V_{jc}}{b_jh_c}\right)^2 = \left(f_t + \frac{N}{2b_ch_c}\right)^2$$
$$V_{jc} = \sqrt{f_t^2 + f_t \frac{N}{b_ch_c}} b_j h_c \tag{6}$$

本文采用文献[4]偏心节点有效截面宽度 b_j 的计算公式

$$b_j = \frac{b_c}{1 + 1.4 \frac{e}{h_c}} \tag{7}$$

将上式代入(6)式中,则

$$V_{jc} = \frac{\sqrt{1 + \frac{N}{f_t b_c h_c}}}{1 + 1.4 \frac{e}{h_c}} f_t b_c h_c \tag{8}$$

主筋传到节点的横向剪力,是通过梁中主筋与节点砼的粘结力传递的,而沿梁主筋在节点中延伸

长度,粘结应力的分布是不均匀的,故实际上节点的剪应力并非均匀分布。为了考虑剪应力分布的不均匀性,同时包含了除约束梁以外其它因素(如节点区的横向钢筋与纵筋)的影响,因此引进一个系数 β (综合影响系数)。根据本次试验资料建议取 $\beta = 0.7$ 。

令 $\alpha = \frac{\sqrt{1 + \frac{N}{f_t b_c h_c}}}{1 + 1.4 \frac{e}{h_c}}$, 则(6)式可简化为:

$$V_{jc} = \alpha \beta f_t b_c h_c \tag{9}$$

4 公式的验算

为了保证建筑物在“小震”情况下,不影响结构的正常使用,因此应当验算“小震”时节点的抗裂度。此时节点的计算剪力为

$$V_j = (M_{b1} + M_{b2}) \left(\frac{1}{h_0 - \alpha_s} - \frac{1}{H - h_b} \right) \tag{10}$$

式中: M_{b1} 、 M_{b2} : 分别为按众值烈度计算的地震作用与竖向荷载组合下节点两侧梁端弯矩。

α_s : 梁上部钢筋重心至梁上边缘的距离。

用所做 3 个偏心节点试件和 1 个对中节点试件的试验结果验证了上述计算方法,试验实测值与计算值的比较列于表 2。根据试验结果可知,实测值与计算值之比的平均值为 $\bar{X} = 1.017$, 标准差为 $\sigma = 0.150$ 。从表中可以看出,按本文公式所计算的值与试验结果是接近的。

表 2 试验结果与计算值的比较

Table 2 The results of experiment and calculation

试件号	偏心距 e mm	砼强度 等级 N/mm ²	节点箍筋	轴压力 N kN	开裂荷载 P_c kN	开裂剪力 试验值 V_{jc}^{exp} kN	开裂剪力 计算值 V_{jc}^{cal} kN	V_{jc}^{exp} V_{jc}^{cal}
JM-1	0	29.56	Φ6.5@90	414	42.0	264.012	286.006	0.923
JM-2	33	29.56	Φ6.5@90	414	37.6	236.354	241.357	0.979
JM-3	67	29.56	Φ6.5@90	414	41.0	257.726	207.957	1.239
JM-4	100	29.56	Φ6.5@90	414	27.0	169.722	183.346	0.926

5 结论

(1) 由于偏心节点部位的重要性及修复困难,因此控制节点裂缝的出现是必要的。(2) 框架节点的抗裂性能随偏心距的增大而降低,在设计中

应尽可能减小梁柱轴线偏心距。(3) 本文提出的偏心节点的抗裂度验算公式与试验值比较吻合,由于试件数量有限,有待于今后涉及更多影响因素开展进一步研究。

参考文献：

- [1] 赵鸿铁. 钢筋混凝土梁柱节点的抗裂性[J]. 建筑结构学报 ,1990.(6) :19 – 21 .
- [2] 柳炳康. 钢筋混凝土框架偏心节点抗震性能的试验研究[J]. 建筑结构学报 ,1999 (10) 25 – 27 .
- [3] Shigeru Hakuto ,Robert Park ,Hitoshi Tanaka . Seismic Load Toad Tests On Interior and Exterior BeamColumn Joints with Substandard Reinforcing Detail[J]. ACI Structural Journal January 2000 (2) :115 – 119 .
- [4] Gregory S. Raffaele ,James K. Wight . Reinforced Concrete Eccentric Beam – Column Connections Subjected to Earthquake – Type Loading[J]. ACI Structural Journal ,1995 (2) :1134 – 1137 .

The Crack Resistance of Eccentricity Joint of Steel Reinforced Concrete

ZHANG Hua-yue

(Jiangsu da sheng Group ,Jiangsu Yancheng 224003 ,China)

Abstract :Based on experiment of eccentricity joint of steel reinforced concrete acted on less frequency and repetition loads , the calculation methods were put forward by probing effect of eccentricity . It gained good result by comparing experiment to calculation .

Keywords :eccentricity joint ; crack ! resistance ; calculation

(上接第 68 页)

参考文献：

- [1] GBJ7 – 89 . 建筑地基基础设计规范[S].
- [2] JGJ125 – 99 . 危险房屋鉴定标准[S].
- [3] 曾国熙 . 地基处理手册[M]. 北京 : 中国建筑工业出版社 ,1998 .

A Case of Rectifying Inclined Residence

LIU Yan – qin

(Yancheng Building securty Identifying office ,Jiangsu Yancheng 224003 ,China)

Abstract :This is a rather special example in project . The original residence had inclined out of the regulation of THE CRITERION of GROUNDSTILL . Some parts have even exceeded the limits of danger and tend to get worse . The residents have successfully returned to the building after we have rectified it and made it safe . This thesis explains the muthor ' s experience in the project .

Keywords :unbalanced sinking ;incline ;rectify ;reinforce