长安大学学报(自然科学版)

Journal of Chang'an University(Natural Science Edition)

Vol. 29 No. 4 Jul. 2009

文章编号:1671-8879(2009)04-0077-05

RC框架变梁变柱中节点抗裂性能试验

吴 涛,刘伯权,邢国华,姚显贵,杨 乐

(长安大学 建筑工程学院,陕西 西安 710061)

摘 要:为了研究 RC 框架变梁变柱中节点的抗裂性能,进行了 6 个变梁变柱中节点试件在低周反复荷载作用下的拟静力试验,分析了节点核心区尺寸、轴压比等因素对异型中节点抗裂性能的影响。研究结果表明:异型节点初裂时斜裂缝主要出现在由小梁和上柱构成的小核心区,小核心区开裂荷载为极限荷载的 50%~60%;抗裂性能较常规节点劣化,初裂阶段的剪力基本由小核心区混凝土承担,增大轴压比可以提高异型中节点的抗裂承载能力。提出的变梁变柱中节点抗裂承载力计算公式,可供结构工程设计时参考。

关键词:结构工程;RC框架;异型中节点;抗裂性能

中图分类号: TU375.4 文献标志码: A

Crack resistance test of interior joints with abrupt reduction in beam and column section in reinforced concrete frame

WU Tao, LIU Bo-quan, XING Guo-hua, YAO Xian-gui, YANG Le (School of Civil Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, Shaanxi, China)

Abstract: Six specimens of abnormal interior joints were tested under reversed cyclic loading. Experiments were carried out to investigate the influence of joint core dimensions and axial compression ratio on crack resistance of abnormal joints. The results show that: cracks mainly appear in the minor core (determined by the small beam and the top column); the crack resistance loads are from 50% to 60% of the ultimate load of abnormal interior joints, and the crack resistance is worse than that of ordinary joints; the crack resistance capacity is chiefly provided by the minor core concrete, and axial compression ratio is a significant parameter to increase the crack resistance capacity. A theoretical formula of crack resistance capacity was proposed, and it can be served as reference for engineering practice. 5 tabs, 2 figs, 9 refs.

Key words: structure engineering; RC frame; abnormal interior joint; crack resistance

0 引 言

近年来,随着建筑结构向大型、大跨方向发展, 梁柱截面发生变化的异型节点大量出现。该类非常 规节点的特点是节点核心处两侧梁截面和上下柱截 面尺寸变化较大,其受力特征明显不同于常规节点。中国现行规范[1-2]中有关该类节点的处理,仅是从经验或概念意义上考虑,缺乏充足的试验依据[3-5]和深入的理论分析。由于异型中节点部位出现裂缝后修复很困难,所以必须对含有该类非常规节点的重要

收稿日期:2008-09-12

基金项目:国家自然科学基金项目(50608004):教育部高等学校博十学科点专项科研基金项目(20060710004)

作者简介:吴 涛(1976-),男,安徽霍山人,副教授,工学博士,E-mail:wutao@chd.edu.cn。

建筑物^[6-7]进行节点核心区抗裂度验算。因此,本文对6个钢筋混凝土异型中节点进行试验研究,分析了节点核心区尺寸、轴压比等因素对异型中节点抗裂性能的影响,并提出变梁变柱异型中节点抗裂承载力的实用计算公式。

1 试验概况

1.1 试件设计

本次试验制作了6个钢筋混凝土框架异型中节点梁柱组合体,模型的缩尺比为1:3,试件的配筋大、小均按现行规范进行计算。主要研究参数为:大、小梁刚度比、节点区配箍率、轴压比和上柱截面变化等,具体试件尺寸及参数如表1所示;典型试件的配筋如图1所示。试验假定梁柱反弯点均位于跨

中及柱中,所有试件按照"强构件弱节点"的原则进行设计,预期破坏模式为节点核心区剪切破坏。

1.2 加载装置

试验加载装置如图 2(见下页)所示。试验时,在柱顶用液压千斤顶对试件施加轴力并保持恒定,随后用 MTS 伺服作动器在梁端施加同步反对称低周往复荷载。在试验加载全过程中均采用位移控制。大、小梁端荷载-位移滞回关系曲线由 MTS (Mechanical Testing & Simulation,力学试验模拟加载系统)加载系统自动进行采集,钢筋、混凝土的应变及电测百分表均与 DH-3816 数据采集系统相连,试验时可连续量测与记录,并在每一循环峰值时描绘裂缝的位置及走向。当大、小梁端荷载降低至峰值荷载的 80%以下时,停止加载,终止试验。

试件编号 WJ-1WJ-2WI-3 WJ-4 WJ-5 **W**J-6 $b \times h$ 180×500 180×500 大 梁 2×3**Ф**16 $2 \times 3\Phi 16$ $2 \times 3\Phi 16$ $2 \times 3\Phi 16$ $2 \times 3\Phi 16$ $2 \times 3\Phi 16$ 纵筋 $h \times h$ 180×400 180×400 180×350 180×300 180×250 180×250 小 梁 纵筋 $2 \times 3\Phi 16$ $2 \times 3\Phi 16$ $2 \times 3\Phi 16$ $2 \times 2\Phi 16$ $2 \times 3\Phi 16$ $2 \times 2\Phi 16$ 220×260(上柱) 220×260(上柱) $b \times h$ 260×260 260×260 260×260 260×260 260×260(下柱) 260×260(下柱) 柱 纵筋 $2 \times 3\Phi 20$ $2 \times 3\Phi 20$ 籍筋 Φ6@120 Φ6@100 Φ6@120 Φ6@120 Φ6@120 Φ6@100 节 体积配筛率/% 点 0.363 0.435 0.363 0.363 0.363 0.435 区 轴压比 0.152 0.163 0.203 0.152 0.203 0.201

表 1 中节点试件尺寸及参数

注:b 为梁宽;h 为梁高;单位为 mm。

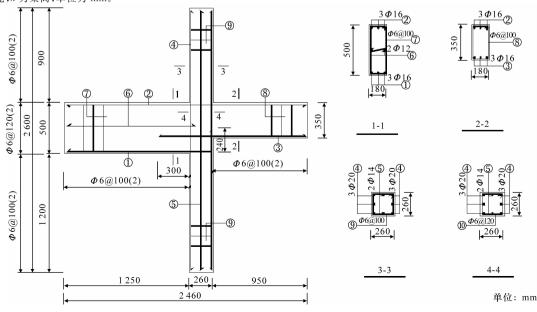
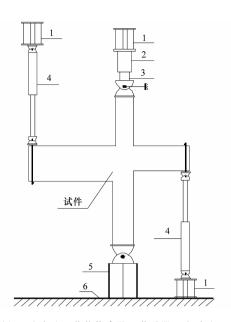


图 1 试件配筋



1-刚性横梁;2-千斤顶;3-荷载传感器;4-作动器;5-钢支座;6-地面 图 2 试验装置

2 试验结果分析

2.1 节点裂缝的开展情况

在反复荷载作用下,试件破坏的历程和形态经历了初裂、通裂、极限和破坏4个阶段。节点开裂以前基本处于弹性工作阶段,刚度变化很小,虽经反复荷载,残余变形甚微。节点开裂时,第一条对角斜裂缝出现在小核心区(小梁与上柱构成的区域)中心位置附近,宽度一般为0.04 mm;箍筋应力在跨越裂缝处有较大增长,应变为(200~300)×10⁻⁶。核心区裂缝一旦出现,荷载略增或稍经反复荷载,裂缝迅速发展,斜裂缝很快裂通对角,宽度可达0.3~0.5 mm,此时平行于对角线方向出现2~5条新裂缝,但裂缝的宽度及长度均较小。试件通裂后,荷载继续增加,核心区裂缝在原有基础上明显加宽,可达到1 mm以上;几次加载循环后,节点区变形急剧增大,承受外荷载的能力达到极值,此时小核心区混凝土开始剥落。试件破坏后,柱筋和箍筋外露。

试验表明:初裂前试件节点区基本处于弹性阶段,梁端荷载与位移曲线呈直线;异型节点的初裂荷载为极限荷载的50%~60%;节点初裂时斜裂缝主要出现在小核心区,宽度为0.02~0.04 mm,极限阶段前节点试件剪力主要由小核心区混凝土承担,由此可见,对异型中节点抗裂性能分析时,应以小核心区为主要研究对象。

2.2 影响因素分析

节点试件初裂的主要试验结果如表 2 所示。

表 2 节点试件初裂的主要试验结果

试件编号	混凝土强	轴向力/	初裂剪力/kN		
以下细 5	度/MPa	kN	正向	反向	
WJ-1	49.6	330	207.1	164.5	
WJ-2	49.6	300	212. 2	206.8	
W J-3	49.6 440		255. 1	258.8	
WJ-4	49.6	330	200.0	231.5	
W J-5	49.6	440	266.4	266.1	
WJ-6	49.6	370	240.9	211.8	

由表 2 可以看出,钢筋混凝土框架异型节点的 抗裂性能主要受以下几个因素的影响。

(1)节点初裂时,抗剪承载力主要由小核心区混凝土承担,箍筋承担的剪力甚小,小梁截面高度变化对承载力的影响不明显;节点的开裂实质上是由于核心区存在应力集中现象,与小梁断面高度无直接关系,仅与核心区参与抵抗剪力的面积有关。

(2)轴压比增大后,不仅可以提高异型节点的初裂剪力(提高幅度正向为 16.8%~21.5%,反向为 10.5%~36.1%),还可以增大交叉斜裂缝与水平轴线的夹角。这主要是因为轴压比增大后,可以增大斜压杆机构中的压应力。

(3)节点试件正向加载与反向加载的受力性能有差异,表现出一定的非对称性。其原因是,模型本身为不对称结构,故在反复荷载作用下性能也必然不一致。

3 异型中节点抗裂承载力计算

3.1 抗剪承载力公式的建立

在异型节点抗裂计算^[8-9]时,可假定:①节点初裂前处于弹性工作状态;②核心区开裂前节点剪力全部由混凝土承担;③以小核心区为控制节点初裂的基本计算单元。

按照弹性体在双向应力作用下斜截面上的主拉 应力计算公式,可得到核心区裂缝出现时节点的剪 应力为

$$\tau = \sqrt{f_{\rm tk}^2 + f_{\rm tk}\sigma_{\rm c}' + f_{\rm tk}\sigma_{\rm b} + \sigma_{\rm c}'\sigma_{\rm b}} \tag{1}$$

式中: τ 为斜截面裂缝出现时节点的剪应力; f_{tk} 为节点区混凝土的抗拉强度标准值; σ_b 为梁上的轴向应力,对于本次试验可以忽略不计; σ_c' 为上柱的轴向应力, $\sigma_c' = \alpha\sigma_c = \alpha N/(b_c h_c)$;其中 σ_c 为上柱的轴向压应力; b_c 、 h_c 分别为上柱的宽度和高度;N 为轴压力; α 为加载时竖向产生的附加荷载对轴向应力的影响系数(表 3),建议取值为 0.93。

表 3 轴向应力影响系数

一 试件编号	轴向力/kN	荷载差 /kN	轴向应力影响系数 α		
八十二 5	抽門刀/KN	刊 以 左 / KIV	试验值	建议值	
W J-1	330	28. 26	0.914		
W J-2	300	32.11	0.893		
W J-3	440	9.94	0.975	0.93	
WJ-4	330	36.77	0.888	0.93	
W J-5	440	17.85	0.959		
WJ-6	370	18.73	0.949		

在核心区出现裂缝时,异型节点的名义剪应力 τ_i 为

$$\tau_{\rm j} = V_{\rm j}/(b_{\rm j}h_{\rm j}) \tag{2}$$

式中: V_j 为异型节点区水平剪力; b_j 、 h_j 分别为异型节点小核心区的有效宽度和高度,可分别取上柱的宽度和高度。

传递到节点的水平方向剪应力,是通过梁筋与 节点核心区混凝土之间的粘结力传递的,这一粘结 应力的分布是不均匀的,所以节点的剪应力分布也 不均匀。对此,可用剪应力影响系数 η 来考虑,还要 考虑到箍筋、垂直钢筋等对核心区初裂的影响。 η 值 根据试验确定,建议取值为 0.60,如表 4 所示。

在临界状态,即核心区出现裂缝时,框架异型节点开裂时的剪力 $V_{\rm ic}$ 为

$$V_{\rm jc} = \eta b_{\rm j} h_{\rm j} f_{\rm tk} \sqrt{1 + \frac{\alpha \sigma_{\rm c}}{f_{\rm tk}}} \tag{3}$$

表 4 剪应力影响系数 η

试件编号	加载方向	试验值 /kN	计算值 /kN	η的试验值	η的建议值
WJ-1	正向	207.1	359.1	0.577	
	反向	164.5	339.1	0.458	
WJ-2	正向	212. 2	310.2	0.684	0.60
	反向	206.8	310.2	0.667	
WJ-3	正向	255.1	391.4	0.652	
	反向	258.8	391.4	0.661	
WJ-4	正向	200.0	359.1	0.557	
	反向	231.5	339.1	0.645	
WJ-5	正向	266.4	391.4	0.681	
	反向	266.1	391.4	0.680	
WJ-6	正向	240.9	330.5	0.729	
	反向	211.8	330.5	0.641	

3.2 抗剪承载力公式的验证

为了保证建筑物在"小震"情况下,不影响结构 的正常使用,应验算"小震"时节点的抗裂度。按照 文献[2],可对一般的框架梁柱节点核心区截面进行 抗震验算。

表 5 为抗剪承载力试验值与计算值的比较。由表 5 可知,按本文公式所计算的值与试验结果非常

接近,且偏重于安全,可供实际工程设计时参考。

表 5 抗剪承载力试验值与计算值的比较

 试件	加载	轴压力					$V_{ m exp}/$
	,		α	η	$V_{\rm exp}/{ m kN}$	$V_{ m cal}/{ m kN}$	v exp/
编号	方向	N/kN					$V_{ m cal}$
WJ-1	正向	330	0.93	0.64	207.1	215.4	0.96
	反向				164.5		0.76
WJ-2	正向	300	0.93	0.64	212.2	186.1	1.14
	反向				206.8		1.11
W J-3	正向	440	0.93	0.64	255.1	234.8	1.09
	反向				258.8		1.10
WJ-4	正向	330	0.93	0.64	200.0	229.8	0.87
	反向				231.5		1.01
W J-5	正向	440	0.93	0.64	266.4	215.5	1.24
	反向				266.1		1.23
WJ-6	正向	370	0.93	0.64	240.9	198.3	1.21
	反向				211.8		1.07

注:Vexp、Vcal 分别为抗剪承载力的试验值和计算值。

4 结 语

- (1) 试验研究表明,异型节点初裂时斜裂缝主要出现在小核心区,小核心区开裂荷载为极限荷载的 50%~60%,其抗裂性能较常规节点的抗裂性能劣化。
- (2) 异型节点初裂阶段的剪力主要由小核心区 混凝土承担,增大轴压比可以提高试件的抗裂承载 能力,增大交叉斜裂缝与水平轴线的夹角。
- (3)根据试验和分析,推导出钢筋混凝土框架 异型中节点抗裂承载力计算公式,通过试验值与计 算值的对比,说明该计算公式是实用的。

参考文献:

References:

- [1] GB 50010—2002,混凝土结构设计规范[S].
- [2] GB 50011—2001,建筑抗震设计规范[S].
- [3] 吴 涛,刘伯权,白国良,等.大型厂房钢筋混凝土框排架结构中异型节点的抗震性能和设计方法研究 [J]. 土木工程学报,2006,39(4):1-6.

WU Tao, LIU Bo-quan, BAI Guo-liang, et al. A study on the seismic behavior and the design method for irregular reinforced concrete frame joints of large-scale plant structures [J]. China Civil Engineering Journal, 2006, 39(4):1-6.

[4] 吴 涛,刘伯权,白国良,等.大型厂房框排架结构变形与耗能性能试验[J].长安大学学报:自然科学版,2005,25(5):62-65.

WU Tao, LIU Bo-quan, BAI Guo-liang, et al. Experiment of deformation and dissipation property of major

- plants with frame-bent structures [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(5):62-65.
- [5] 陈招平,董 平,黄丽婷. 高层建筑地震反应的 TLD 振动控制[J]. 建筑科学与工程学报,2008,25(1): 122-126.
 - CHEN Zhao-ping, DONG Ping, HUANG Li-ting. TLD vibrational controlling for seismic response of high-rise building [J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2008, 25(1):122-126.
- [6] 赵鸿铁. 钢筋混凝土梁柱节点的抗裂性[J]. 建筑结构 学报,1990,11(6):38-48.

.

ZHAO Hong-tie. Crack resistance of reinforce concrete beam-column joints [J]. Journal of Building Structures, 1990, 11(6):38-48.

- [7] 白国良,朱佳宁,李红星. 钢筋混凝土框架异型节点抗裂计算[J]. 世界地震工程,2003,19(3):12-16. BAI Guo-liang, ZHU Jia-ning, LI Hong-xing. The anti-crack calculation on abnormal joint of reinforced concrete frame [J]. World Earthquake Engineering, 2003,19(3):12-16.
- [8] 王静峰,孙 捷,柳炳康. 钢筋混凝土框架梁柱偏心节点的抗裂度计算[J]. 工业建筑,2004,34(1):42-44. WANG Jing-feng, SUN Jie, LIU Bing-kang. Calculation of crack resistance capacity of eccentric beam-column connections in reinforce concrete frames[J]. Industrial Construction,2004,34(1):42-44.
- [9] Taylor H P J, Clarke J L. Some detailing problems in concrete frame structures [J]. Structural Engineer, 1976,54(1):19-32.

(上接第33页)

参考文献:

References:

- [1] 谢永利,刘保健. 公路软基沉降计算新理论及其仿真计算方法[J]. 交通运输工程学报,2001,1(3):32-36. XIE Yong-li,LIU Bao-jian. New theory and simulating method of calculating the subsidence of soft ground under highways[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering,2001,1(3):32-36.
- [2] 王 伟,孙斌祥,卢廷浩.公路路堤软土地基工后沉降的三参数预估模型[J].中国公路学报,2008,21(2): 12-17.
 - WANG Wei, SUN Bing-xiang, LU Ting-hao. 3 parameter prediction model of post-construction settlement for soft soil foundation under highway embankment [J]. China Journal of Highway and Transport, 2008, 21(2);12-17.
- [3] 傅 珍,王选仓,陈星光,等. 拓宽路基差异沉降特性和影响因素[J]. 交通运输工程学报,2007,7(1):54-57.
 - FU Zhen, WANG Xuan-cang, CHEN Xing-guang, et al. Differential settlement characteristics and influencing factors of widening subgrade [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(1): 54-57.
- [4] 李又云,刘保健,谢永利. 饱和软土地基固结沉降的现场测试[J]. 长安大学学报:自然科学版,2006,26(6): 1-5.

LI You-yun, LIU Bao-jian, XIE Yong-li. Spot test of consolidation settlement of soft clay foundation [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2006, 26(6):1-5.

♦ 0 0 ♦ 0 0 ♦ 0 0 ♦ 0 0 ♦ 0 0 ♦ 0 0 ♦ 0 0 ♦ 0 0 ♦ 0 0 ♦ 0 0 ♦ 0 0 ♦ 0 0 ♦ 0 0 ♦ 0 0 ♦ 0 0 ♦ 0 0 ♦ 0 0

- [5] GBJ 5007—2002,建筑地基基础设计规范[S].
- [6] JTJ 250—98,港口工程地基规范[S].
- [7] Serguey A. Strength analysis in geomechanics [M]. New York: Springer Berlin Heidelberg, 2007.
- [8] 王志亮,高 峰,殷宗泽,等.考虑侧向变形的路堤沉降一维法计算修正系数研究[J].岩土力学,2005,26 (5):763-768.
 - WANG Zhi-liang, GAO Feng, YIN Zong-ze, et al. Study on modified factors for 1-D calculation of embankment settlement considering soil lateral deformation [J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26 (5): 763-768.
- [9] 王志亮,孙锡杰. 考虑土体应力历史影响的沉降修正初探[J]. 岩土力学,2006,27(10):1723-1726.
 WANG Zhi-liang, SUN Xi-jie. Discussion of settlement modification considering stress history of soil
 - ment modification considering stress history of soil mass[J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27 (10): 1723-1726.
- [10] 郑为中,史其信. 基于贝叶斯组合模型的短期交通量预测研究[J]. 中国公路学报,2005,18(1):85-89.

 ZHEN Wei-zhong, SHI Qi-xin. Study of short-term freeway traffic flow prediction based on BAYESIAN combined model [J]. China Journal of Highway and Transport,2005,18(1):85-89.