

异形柱框架结点受力性能研究*

崔清洋¹ 胡必武²

(1.盐城工学院 建筑工程系,江苏 盐城 224003 2.宁夏大学 土木工程系,银川 750021)

摘 要:研究钢筋混凝土框架顶层 T 形柱梁边结点在单调荷载作用下的受力性能,分析框架梁纵筋在结点处的锚固构造及结点的破坏机理和破坏方式,根据试验结果提出结点抗剪承载力公式。

关键词: T 形柱;结点;承载力;锚固;

中图分类号:TB124 文献标识码:A 文章编号:1671-532X(2004)04-0059-04

在住宅结构设计中,T形和L形截面柱得到了广泛的应用,但对异形柱的结构设计,目前国家设计规范还没有明确的条文指导。本文对框架T形截面柱-梁结点在试验的基础上,做了力学性能分析研究,根据破坏形式,探究破坏机理,提出

了相应的设计公式和构造措施。

1 试件和试验装置

10个试件(编号为EJ1~EJ10)的尺寸及配筋见图1和表1,钢筋的规格、力学性能见表2。试

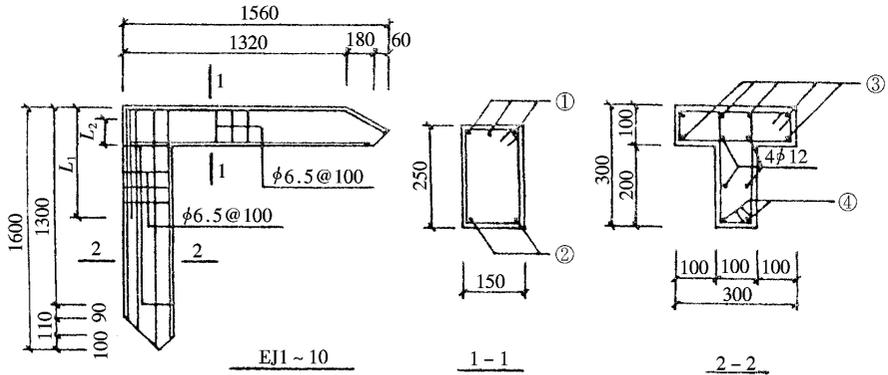


图 1 试件大样
Fig.1 test-piece

验的加载装置如图 2 所示。在试验中将试件倒立放置,使梁、柱两试件分别与地面成 45° 夹角,结点在上方,将试件的柱端为不动铰支座,用油压千斤顶在梁端施加单调荷载。试验中对梁纵筋和结点水平箍筋的应变及梁端的相对水平位移等进行了量测。

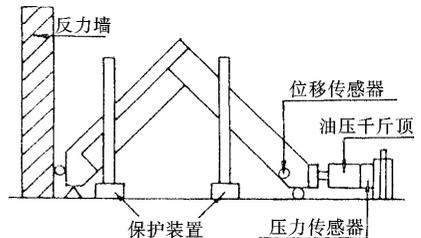


图 2 加载装置
Fig.2 increase load-install

* 收稿日期:2004-08-20

作者简介:崔清洋(1944-),男,山西长治人,盐城工学院教授,主要研究方向为结构力学与结构工程。

表 1 试件的主要特征

Table1 main characteristic of the test specimen

试件	梁 筋				柱 筋		f_{cu} (MPa)
	①	②	L1	L2	③	④	
EJ1	3 ϕ 16	2 ϕ 14	890	260	6 ϕ 16	2 ϕ 16	16.5
EJ2	3 ϕ 14	2 ϕ 12	810	180	6 ϕ 14	2 ϕ 16	20.0
EJ3	3 ϕ 16	2 ϕ 12	890	180	6 ϕ 14	2 ϕ 16	16.5
EJ4	3 ϕ 14	2 ϕ 12	810	180	6 ϕ 12	2 ϕ 16	18.7
EJ5	4 ϕ 12	2 ϕ 12	730	180	6 ϕ 12	2 ϕ 14	18.2
EJ6	3 ϕ 16	2 ϕ 14	890	260	6 ϕ 14	2 ϕ 16	17.6
EJ7	3 ϕ 14	2 ϕ 14	810	260	6 ϕ 12	2 ϕ 14	18.0
EJ8	3 ϕ 16	2 ϕ 16	890	340	6 ϕ 16	2 ϕ 16	14.0
EJ9	3 ϕ 14	2 ϕ 12	810	180	3 ϕ 14	2 ϕ 14	17.6
EJ10	3 ϕ 12	2 ϕ 12	730	180	6 ϕ 14	2 ϕ 14	22.0

表 2 钢筋的力学性能

Table2 Mechanics performance of the reinforcingbar

规格	弹性模量/ $N \cdot mm^{-2}$	屈服强度/MPa	极限强度/MPa
$\phi 6.5$	2.12×105	345.8	440.4
$\phi 12$	2.07×105	432.9	634.7
$\phi 14$	2.10×105	401.5	593.5
$\phi 16$	2.06×105	383.8	618.1

2 结果与分析

2.1 破坏特点

结点破坏经历了初裂、屈服、极限、下降 4 个阶段,出现了梁端弯曲破坏和核心区剪压破坏两种破坏形态,如图 3 所示。试验结果见表 3。可以看出,T形柱顶层边结点的承载力一般较低,梁一旦屈服,结点便马上进入极限阶段,且随即破坏,这主要是因为结点截面上的受剪面积较小,使混凝土斜压杆抗剪能力受到限制的缘故。

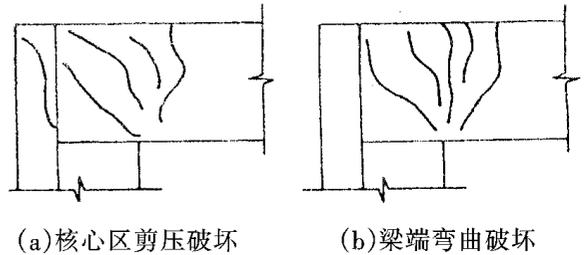


图 3 破坏形式

Fig.3 destroy form

表 3 试验的主要结果

Table3 main result of experiment

试件编号	EJ1	EJ2	EJ3	EJ4	EJ5	EJ6	EJ7	EJ8	EJ9	EJ10
初裂荷载	10.0	16.7	12.5	13.0	13.3	15.3	10.0	12.8	15.0	13.3
屈服荷载	42.5	55.0	47.5	42.0	44.0	45.0	47.5	45.0	40.0	40.0
最大荷载	47.0	60.0	54.0	45.0	52.0	47.0	52.5	47.5	45.0	50.0
极限荷载	39.0	56.3	50.0	43.8	48.4	37.6	45.0	45.3	43.8	46.8
$V_j = A_{sj}f_y$	231.4	85.5	31.4	85.5	97.5	231.4	185.5	31.4	85.5	148.1
$V_j/f_c b_j h_j$	0.334	0.150	0.340	0.240	0.307	0.324	0.282	0.457	0.259	0.080

2.2 结点水平箍筋应力

发生结点破坏的试件,箍筋应力随着荷载的

增加而增加,最终有一个箍筋屈服,但该箍筋的位置是随机的,如图 4 所示。

万方数据

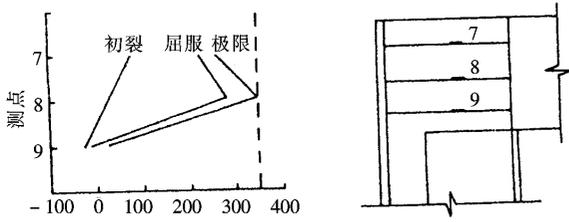


图 4 箍筋应力(N/mm²)

Fig.4 stirrup stress(N/mm²)

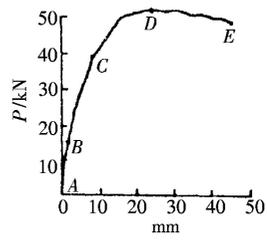


图 5 P-Δ 曲线

Fig.5 P-Δ curve

2.3 荷载 P - 位移 Δ 曲线

以 EJ5 试件为例,结点的 P - Δ 曲线大致可分为 4 个阶段:初裂段 AB、屈服段 BC、极限段 CD、下降段 DE,如图 5 所示。初裂段是弹性工作阶段,在屈服段 P - Δ 曲线的斜率逐渐下降,屈服后荷载仍有一定的增长,下降段的曲线比较平缓,所以,尽管结点破坏,试件仍有一定的延性。

2.4 梁纵筋的锚固

梁纵筋在顶层边结点的锚固长度包括水平段和弯折的垂直段。为了考察梁的边角部位处纵筋在结点内的锚固作用,在水平段设置了 3 个电阻应变片,在垂直段设置了 2 个,如图 6 所示。分析试验结果可得出以下结论:

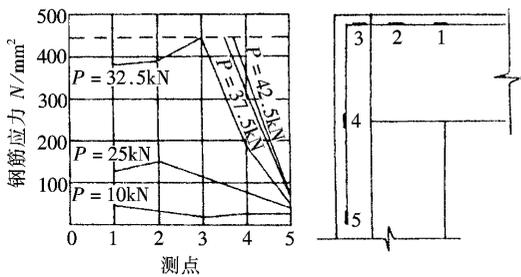


图 6 梁纵筋应力

Fig.6 reinforce stress

(1)加载初期,水平段的钢筋起主要持力作用,在加载后期,水平段的作用逐渐减弱,弯折段逐渐起主要锚固作用,但此时滑移量已经很大,超出正常使用范围。

(2)水平段越长,其锚固力占总锚固力的比例越大,发挥的锚固作用就越持久,只要水平段钢筋有足够的 $0.45 L_a$ 的长度,并符合规范要求,就能传递大部分粘结力,发挥主要锚固作用。

(3)为了探讨梁宽大于腹板时钢筋的锚固情况,本试验所有试件梁的四角纵筋均未经过柱腹板直接进入柱翼缘,从试验结果看,中间和两侧的钢筋的锚固条件并没有很大的区别,并未象中间层边结点那样出现梁纵筋的滑移现象^[2]。

3 抗剪承载力公式

3.1 顶层边结点的受力机理

基于试验结果,可以认为顶层边结点在单调荷载作用下,按斜压杆模型来传递荷载。

(1)从结点裂缝发展情况来看,出现了多条大致平行于对角线方向的斜裂缝,结点核心区混凝土只能传递压力,形成混凝土斜压杆,结点最后的破坏形式是沿对角线方向斜压杆混凝土被压碎。

(2)从箍筋应力发展来看,箍筋屈服比较晚,而且只有个别的箍筋达到屈服强度,结点在闭合弯矩作用梁柱的负筋作为拉杆,拉力通过拉杆传到结点外凸角,再经斜压杆传到内折角后由梁柱受压区平衡,如图 7 所示。

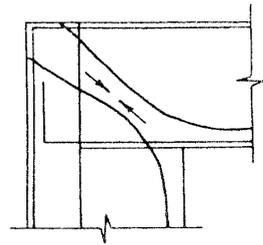


图 7 斜压杆传力原理

Fig.7 carrying force principle of sway pressure rod

3.2 抗剪承载力公式

按照斜压杆机理^[4],节点核心区的抗剪承载力可取混凝土斜压杆极限抗压承载力的水平分量^[1],即

$$V_j = \xi f_c abc \cos \theta \quad (1)$$

其中 f_c 为混凝土轴心抗压强度; θ 为斜压杆轴线与梁纵筋的夹角; b 为斜压杆的厚度,当柱腹板宽与梁宽不同时,可取两者的平均值; a 为斜压杆宽度, $a = k \sqrt{a_c^2 + a_b^2}$, a_b 、 a_c 为梁、柱截面受压区高度。

k 和混凝土强度有关,根据试验数据,回归出如下关系

$$k = 2.504 - 0.008f_c \quad (2)$$

ξ 为箍筋对节点约束作用影响系数,根据文献[2]

$$\xi = 0.95 + 4.5\mu_{SV} \quad (3)$$

μ_{SV} 为横向钢筋体积百分比

$$\mu_{SV} = (nh^* + mb^*)A_t/b^*h^*s_t$$

A_t 为一根箍筋的横截面积; s_t 为横向钢筋间距; $m(n)$ 为 Y-Y(X-X)方向箍筋的肢数。最后,得到顶层边节点的抗剪承载力公式

$$V_j \leq \xi f_c [(2.504 - 0.008f_c) \sqrt{a_c^2 + a_b^2}] b \cos\theta \quad (4)$$

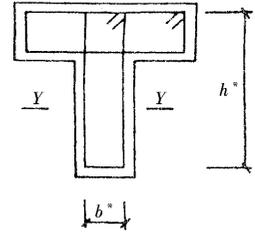


图 8 结点核心区尺寸

Fig. 8 core areaSize of the joint

表 4 为结点抗剪承载力计算值 V_j^c 与试验值 V_j^0 的比较,其符合程度较好。

表 4 结点抗剪承载力计算值 V_j^c 与试验值 V_j^0 的比较

Table4 comparative of the calculated value and test data for the joints sheering strength

试件编号	EJ1	EJ2	EJ3	EJ4	EJ5	EJ6	EJ7	EJ8	EJ9	EJ10
V_j^0	231.4	185.5	231.4	185.5	197.5	231.4	185.5	242.1	185.5	195.5
V_j^c	218.2	216.0	248.8	175.3	191.1	210.0	216.8	285.4	181.9	210.5
V_j^c/V_j^0	0.942	1.162	1.075	0.975	0.968	0.908	1.168	1.178	0.981	1.076

4 结论

(1)顶层边节点的受力机理可用斜压杆模型解释,当梁的受拉钢筋配筋率小于界限配筋率时,可保证梁端弯曲破坏先于节点破坏。

(2)梁的四角钢筋的锚固不经过翼缘是可行的,但要保证水平段的长度,宜用直径较小的钢筋。

(3)为了约束节点核心区的混凝土,应在节点加密箍筋

参考文献:

[1] 唐九如. 钢筋混凝土框架节点抗震[M]. 南京:东南大学出版社,1989.
 [2] 张连德. 钢筋混凝土平面框架节点抗剪强度的研究[J]. 工业建筑,1983(2):78-80.
 [3] 吴修文. 低周反复荷载下 T 形柱框架边节点的试验研究[J]. 华南理工大学,1994(3):123-130.
 [4] 郭棣. 钢筋混凝土 T 形截面柱性能分析[J]. 工程力学,2003(增刊):150-153.

An Experimental Investigation into Behavior of Exterior Beam - t Column Joints

CUI Qing - yang¹, HU Bi - wu²

(1. Department of Architecture and Civil Engineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224003, China)
 (2. Department of Civil Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: The test results of ten exterior beams - T column joints on the top floor under monotonous loading are reported. The anchorage of beam and the failure mechanics of the joints are also discussed. Based on the experimental results a formula to calculate the shear capacity of the joints is put forward.

Keywords: 万方数据
 T-column; joints; capacity; anchorage