

文章编号: 1005—0523(2004)01—0008—04

Z 形截面柱正截面承载力的试验与分析

徐海燕, 薛海宏, 袁志华

(华东交通大学 土建学院, 江西 南昌 330013)

摘要:通过对 9 根 Z 形截面柱在双向偏心集中力作用下的试验研究, 揭示了 Z 形截面双向压弯柱的破坏形态及正截面承载力的一般规律. 在此基础上, 采用数值积分方法, 编制了相应的电算程序, 对其受力性能作了进一步的理论分析.

关 键 词: Z 形柱; 双向压弯; 正截面承载力; 数值积分方法

中图分类号: TU991.35

文献标识码: A

1 引 言

随着住宅产业的不断发展成熟, 异形柱框架结构在住宅中的应用越来越广泛, Z 形柱也随之出现. 在偏心荷载和地震作用下, Z 形柱常处于双向压弯受力状态. 因而, Z 形柱在这种情况下的受力性能以及设计方法就成为工程中急需解决的问题. 本文对 Z 形截面钢筋混凝土双向压弯柱的正截面承载力进行试验及理论研究.

2 试件及试验情况简介

为探讨偏心距、荷载角等因素对 Z 形截面钢筋混凝土双向压弯柱正截面承载力的影响, 采用 9 根等截面 Z 形钢筋混凝土柱进行不同荷载角和不同偏心距的双向偏压试验. 试件截面尺寸及配筋见图 1.

所有试件两端设有用来加偏心荷载的方头, 其几何中心均与 Z 形截面的几何中心重合, 内部设有钢筋网片和承压筋. 试件的制作按照普通钢筋混凝土结构施工程序进行. 机械搅拌混凝土, 采用木模板, 普通施工方式浇筑. 28 天自然养护.

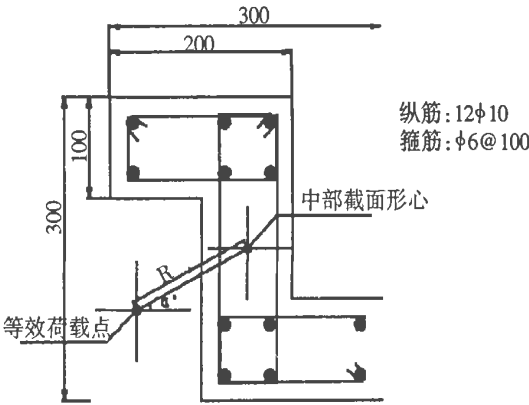


图 1 试件截面尺寸及配筋图

试验加载方式是直接在 500 吨试验机上加竖向偏心荷载. 采用分级加载, 开始以 50 kN 为一级, 根据电算结果, 加到计算极限荷载 40—60%; 以后减半荷载步长; 到临近破坏时, 则采用连续加载, 定时读数的方式. 数据采集采用东华(DH3819 型)静态数据自动采集系统采集.

3 试验结果分析

1) 受力破坏特征及其分类

试验表明: Z 形截面钢筋混凝土双向偏压柱的破坏

收稿日期: 2003—07—20

作者简介: 徐海燕(1955—), 男, 吉林怀德人, 教授.

特征与单向偏压构件相似,分为受压破坏、受拉破坏及界限破坏三类。

(1) 受拉破坏 在偏心距较大时(试件 1,2,5),当荷载达到破坏荷载的 35%~70%时,砼受拉区出现横向裂缝,随着荷载增大,横向裂缝迅速延伸并发展,当荷载达到破坏荷载的 80%左右时,拉应力较大棱角处纵向钢筋首先达到屈服强度,以后,大多数钢筋相继屈服,砼压应变迅速增大,受压钢筋屈服,砼最大压应变达 3 700~4 300 $\mu\epsilon$ 左右,试验柱破坏。

(2)受压破坏 在偏心距较小时(试件 6,7,8),当荷载达到破坏的 60%~80%时,砼受拉区拉应力最大处首先开始出现少数微小横向裂缝,荷载继续增大,裂缝的宽度和长度缓慢发展,当荷载达到破坏荷载的 80%~90%时,压应力最大的棱角处出现了细小的纵向裂缝,压区棱角处压应力最大的纵向钢筋首先达到屈服强度;随着荷载继续增大,纵向裂缝不断扩大和发展,当纵向裂缝发展到一定程度砼最大压应变达到 2 300~2 600 $\mu\epsilon$ 左右,柱极限破坏,而拉区钢筋未屈服。

(3)界限破坏 在偏心距适当时(试件 3,4,9),当荷载达到破坏荷载的 70%时,砼受拉区出现横向裂缝,继续加载则裂缝增加,当荷载达到破坏荷载的 90%左右时,砼受压区的变形迅速发展,压区部分钢筋达屈服强度;此后,荷载继续增大,拉区横向裂缝的宽度和长度继续增长,压区纵向裂缝出现;最后,受拉区钢筋屈服的同时,砼最大压应变达 3 100 $\mu\epsilon$ 左右,柱极限破坏。

2)平截面假定验证

Z 形柱属于宽肢薄壁型构件,其受力性能由弯矩控制截面逐渐过渡到剪力成为控制截面破坏的主要部分。试验过程中,我们主要通过量测构件截面混凝土平均应变定性分析剪切对于构件破坏的影响;当混凝土构件的截面控制内力为剪力时,截面的应变分布越来越偏离直线。同时,平截面假定也是钢筋混凝土构件正截面承载力计算的基本假定之一;变形后截面仍保持平面,截面应变为直线形分布。

试验前,在混凝土表面沿加载方向贴 100 mm 长电阻应变片,量测该范围内混凝土表面平均应变。量测结果(如图 2)表明:从加载开始直至破坏,柱平均应变基本上符合平截面假定。

3) 双向偏压性能分析

所谓构件双向偏压性能指的是在双向偏心荷

载作用下,截面的中和轴法线方向与荷载作用方向既不重合也不平行,而是有一个偏角。不管是矩形柱还是异形柱,只要是双向偏压或压弯构件,均存在这个问题。从研究分析中可以看到,Z 形柱所表现出来的各项不同于其他柱性能的直接原因是它的双向偏压性。在试验中,这种双向偏压性能的表现可以通过图 3 来说明,图中实线表示中和轴,虚线表示过形心且与荷载作用方向垂直的直线,中和轴位置根据实测的混凝土和钢筋的应变,经过简单计算确定。

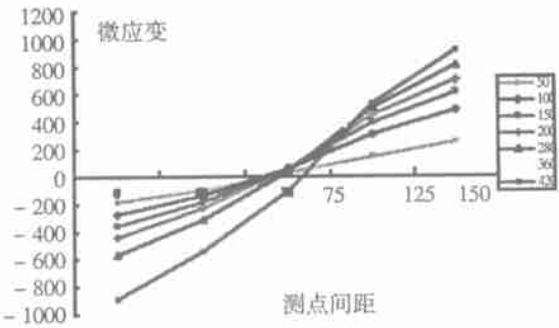


图 2 平截面假定验证

由图 3 可见,受压区的大小及形状不但与轴压比有关且与荷载角有关。随着荷载角的变化,中和轴法线方向与荷载方向的偏角也发生变化。荷载角在 90°和 0°附近,中和轴方向与荷载方向的偏角大;而荷载角在 45°和 135°附近时,这种偏角就小。

4) 承载力分析

由试验和电算得到试件破坏时的弯矩列于表 1。可以看出,Z 形截面双向压弯柱正截面承载力随偏心距、荷载角的变化而不同,且差异很大。从试验结果可以看到,在-15 度到 45 度这个范围,随荷载角的变化,Z 形柱的极限承载力变化不大,且此段范围柱的抗弯能力较差;而在 45 度到 135 度这个范围,柱抗弯能力变化很大,且抗弯能力较强。

表 1 承载力的试验与电算结果一览表

序号	α (°)	e_0 (mm)	$M_{试}$ (kNm)	$M_{计}$ (kNm)	$\frac{M_{试}}{M_{计}}$
1	5	85	34.587	33.667	1.027
2	25	75	27.831	32.193	0.865
3	35	50	26.453	30.365	0.871
4	45	65	25.940	31.576	0.822
5	65	130	34.617	32.11	1.078
6	80	100	55.721	38.54	1.446
7	-10	20	21.678	25.436	0.853
8	110	60	58.335	50.573	1.153
9	140	130	72.437	76.104	0.952

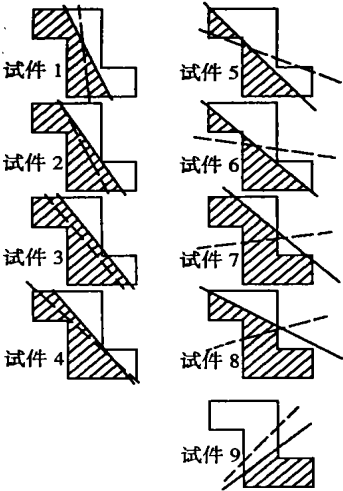


图 3 试件极限破坏时中和轴位置

4 极限承载力的数值分析

为了深入探讨各种因素对 Z 形截面钢筋砼双向压弯柱受力性能的影响规律, 本文采用数值积分方法对截面极限承载力进行理论分析.

- 1) 模型及算式
- (1) 材料本构关系模型

钢筋本构关系模型采用理想弹塑性模型, 极限应变取 0.01.

根据文献^[4]考虑箍筋对混凝土的约束影响, 受压区混凝土采取约束混凝土的本构关系模型, 其曲线方程如表 2a 所示:

此处 1.1 的系数系考虑压弯构件应变梯度的影响, 其中 a 和 α 为素混凝土的曲线参数, 见表 2b.

表 2a 约束混凝土应力—应变全曲线方程^[4]

约束指标	$\lambda_t \leq 0.32$	$\lambda_t > 0.32$
抗压强度	$f_{ce} = (1 + 0.5 \lambda_t) f_{ce}$	$f_{ce} = (0.55 + 1.9 \lambda_t) f_{ce}$
峰值应变	$\epsilon_{pc} = (1 + 2.5 \lambda_t) \epsilon_p$	$\epsilon_{pc} = (-6.2 + 25 \lambda_t) \epsilon_p$
	$x \leq 1.0$	
曲线方程	$y = a_t x + (3 - 2 a_t) x^2 + (a_t - 2) x^3$	
$x = \epsilon / \epsilon_{pc}$	$x \geq 1.0$	$y = \frac{x^{0.68} - 0.12 x}{0.37 + 0.51 x^{1.1}}$
$y = \sigma / f_{ce}$	$y = \frac{x}{a_t (x - 1)^2 + x}$	

注: 混凝土为 C20~C30 时, $a_t = (1 + 1.8 \lambda_t) a'$, $a_t = (1 - 1.75 \lambda_t^{0.55}) a'$, $f_{ce} = 1.1 f_c$

表 2b 素混凝土的曲线参数

强度等级	水泥标号	a	α	$\epsilon_p / 10^{-3}$
C20, C30	325	2.2	0.4	1.4
	425	1.7	0.8	1.6
C40	425	1.7	2.0	1.8

- 2) 基本假定
- 本文截面性能分析的基本假定:
- (1) 平截面假定: 构件从开始受力直至破坏, 截面始终保持平面;
- (2) 不考虑混凝土抗拉强度;
- (3) 应用上述本构关系进行构件分析.

根据截面各部分约束指标 λ_t 值, 将构件截面分成三个区域(如图 4 所示). 区域 1 为强约束区, 区域 2 为弱约束区, 区域 3 为非约束区. 不同的区域构件约束指标 λ_t 值采用相应的全曲线方程.

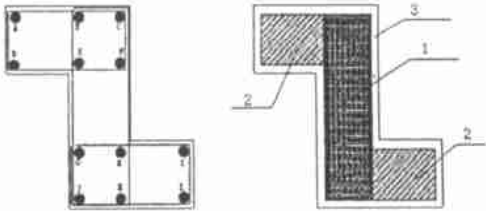


图 4 截面区域划分

- 3) 建立坐标系
- 为了建立应变方程的需要, 本程序中的坐标系始终将截面放在第一象限, 如图 5 所示.

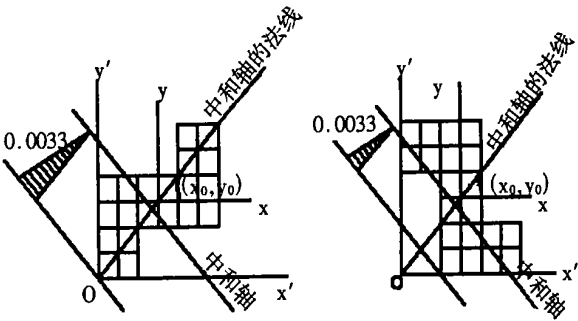


图 5 Z 形柱坐标系建立

- 4) 基本计算公式
- 在上述坐标系下, 截面中和轴方程如下:

$$\frac{x}{r} \cos \theta + \frac{y}{r} \sin \theta = 1$$
 (1)

式中, R 为原点到中和轴的距离; θ 为中和轴法线与 x 轴的夹角. 任意一点的应变可表示为

$$\epsilon = \epsilon_0 (1 - \frac{x}{r} \cos \theta - \frac{y}{r} \sin \theta)$$
 (2)

式中, ε₀ 为混凝土原点的应变, 以受压为正.

根据假定的 R 和 θ 可以求出 Z 形柱中任意一点的应变, 根据钢筋和混凝土的应力—应变关系, 可求出钢筋和混凝土的应力 σ_{si}, σ_{ci}, 然后用下面的公式求出截面的内力:

$$N = \sum_{i=1}^n A_{ci} \sigma_{ci} + \sum_{j=1}^n A_{sj} \sigma_{sj}$$
 (3)

$$M_x = \sum_{i=1}^{n_c} A_{ci} \sigma_{ci} (y_{ci} - y_0) + \sum_{j=1}^{n_s} A_{sj} \sigma_{sj} (y_{sj} - y_0) \quad (4)$$

$$M_y = \sum_{i=1}^{n_c} A_{ci} \sigma_{ci} (x_{ci} - x_0) + \sum_{j=1}^{n_s} A_{sj} \sigma_{sj} (x_{sj} - x_0) \quad (5)$$

式中, M_x , M_y 分别为关于 x , y 轴的弯矩, 这里 x , y 轴为过截面形心并平行 x' , y' 轴的轴线; N 为轴向力; n_c 为混凝土截面的划分单元数; n_s 为钢筋的根数; σ_{ci} , A_{ci} 为第 i 个混凝土单元的应力和面积; σ_{sj} , A_{sj} 为第 j 根钢筋的应力和面积; x_0 , y_0 为截面形心坐标; x_{ci} , y_{ci} 为第 i 个混凝土单元的形心坐标; x_{sj} , y_{sj} 为第 j 根钢筋的形心坐标.

将计算出的 N , M_x , M_y 与设计值比较, 如果满足一定的精度要求, 则计算结束, 否则, 通过调整 R , θ , 反复计算直到满足要求.

5) 结果分析

根据上述方法, 编制了计算 Z 形柱正截面 $N-M$ 相关关系曲线的计算程序, 计算异形柱分别在轴压比、荷载角、柱肢宽厚比等因素分析对正截面承载力的影响.

(1) 轴压比的影响

如图 7a 所示, 对于任意一种荷载角, 当截面极限承载力 N_u 小于某一值 N_{ub} 时, 随截面轴向极限承载力 N_u 的增大, 破坏时截面对应的极限抗弯承载力 M_u 增大; 当 N_u 大于某一值 N_{ub} 时, 随着 N_u 的增大, M_u 随之减小. 和矩形柱一样, Z 形柱的破坏随着轴压比的变化, 也有明显的拉压破坏界限. 经研究, 还可以看到, 对于不同的荷载角, Z 形柱大小偏压破坏的界限 (确定轴压比限值的依据) 比较固定, 这与 T 形和 L 形柱是明显不同的.

(2) 荷载角影响

如图 7a, b 所示, 不同的荷载角作用下, Z 形柱的 $N-M$ 相关曲线成同心包络. 这与 T 形和 L 形等异形柱有较大的不同. 在同一轴力下, 不同角度的抗弯承载力不同, 基本规律是: 截面极限抗弯承载力在 0 度到 90 度范围内变化不显著, 而在 90 度到 135 度和 -135 度到 0 度之间变化较明显.

(3) 柱肢宽厚比影响

图 7a 的柱肢宽厚比为 3:1, 图 7b 的柱肢宽厚比为 5:1, 可以看到, 由于宽厚比增大, 不同荷载角下截面极限抗弯能力也发生变化, 使得抗弯能力弱的荷载角方向更弱, 抗弯能力强的荷载角方向更强. 图 7c 所示为荷载角等于 25° (抗弯能力弱的方向) 时, 三种不同柱肢宽厚比下的 $N-M$ 相关曲线情况. 所以在设计中应该使 Z 形柱的柱肢宽厚比控制在 5

以内才比较合适.

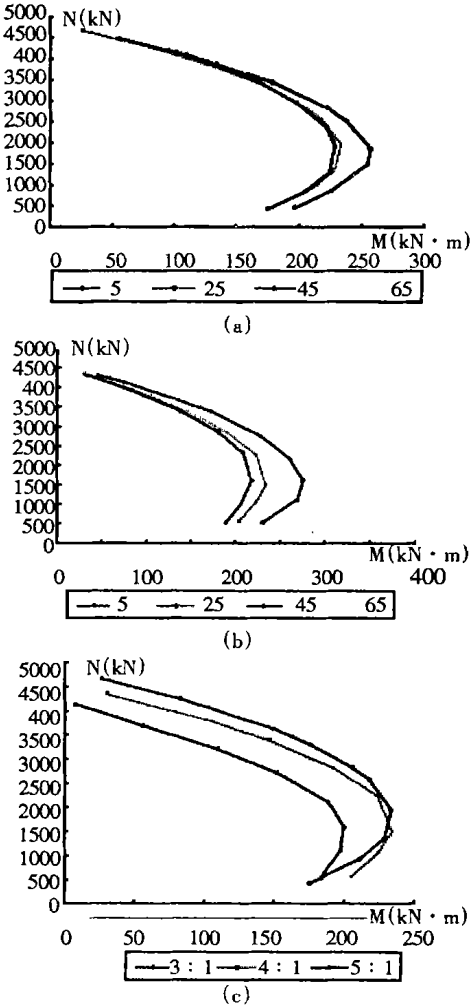


图 6 不同计算参数下的 $N-M$ 相关曲线

5 结 论

1) Z 形柱的正截面破坏形式根据偏心距的不同, 分为拉坏、压坏和界限破坏三种形式, 不同的荷载角下, 大小偏压破坏的界限轴压比非常接近; 2) 荷载角对异形柱承载力影响很大, x 方向的抗弯能力比 y 方向的小得多, 且中和轴平行与 y 轴时截面承载力基本最小. $0^\circ \sim 45^\circ$ 方向的抗弯能力较小, 且变化幅度小, 变化幅度在 10% 以内, 极限状态下截面的中和轴位置很接近于与 y 轴平行; 3) Z 形柱肢宽厚比对受力影响较大, 随着柱肢宽厚比增大, 承载力下降. 建议 Z 形柱肢宽厚比控制在 5 以内.

参考文献:

[1] 广东省标准. 钢筋混凝土异形柱设计规程 (DBJ/T15-15-95). 1995.

(下转第 20 页)

11th European Conference on Object-Oriented Programming (Jyv? skyl?, Finland, 9. 13 June 1997) . published by Springer-Verlag as Lecture Notes in Computer Science no. 1241 (Mehmet Ak? it and Satoshi Matsuoka, editors)

[2] Tzilla Elrad, Mehmet Aksits, Gregor Kiczales, Karl Lieberherr, and Harold Ossher, “Discussing Aspects of AOP”[J]. Communications of the ACM, vol. 44, no. 10, pp 33—38, October 2001.

[3] Niklas P ahlsson, An Introduction to Aspect — Oriented Programming and AspectJ, Topic Report for Software Engineering 2002—11—03.

[4] Ken Wing Kuen Lee An Introduction to Aspect — Oriented Programming. Reading Assignment.

[5] 邵维忠,杨芙清. 面向对象的系统分析[M]. 北京:清华大学出版社,广本西科学技术出版社,1998.

[6] Ramnivas Laddad, 刘克科,编译. 利用 AOP 分离软件关注点[J]. 程序员 2002 合订本下:pp167—170.

[7] Ramnivas Laddad, 刘克科,编译. 通过 AspectJ 更好地了解 AOP[J]. 程序员 2002 合订本下:pp170—172.

[8] <http://Tech.ccidnet.com>

A Brief Introduction to Aspect Oriented Programming

HUANG Xiao-sheng

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jioatong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Separation of concerns is an important software engineering principle. The leading programming paradigm used today is object oriented programming (OOP), yet OOP has its limitations, some design decisions can not be illustrated with the OOP. This paper introduces an new programming paradigm called aspect oriented programming—a programming technique that make it possible to express those programs that OOP fail to support. Also, AOP fundamentals and the basic concept of Also, AOP language AspectJ are introduced in the paper.

Key words: concerns; OOP; AOP; programming paradigm

(上接第 11 页)

[2] 天津市标准. 大开间住宅结构钢筋混凝土异形柱框轻结构技术规程(DB29—16—98). 1998.

[3] 上海市标准. 钢筋混凝土异形柱结构设计规程(试行)(DG/TJ08—009A—2001). 2001.

[4] 过镇海. 钢筋混凝土原理[M]. 北京:清华大学出版社, 1999.

Experimental and Theoretical Research on Load-bearing Capacity of Z-shaped R·C· Columns

XU Hai-yan, XUE Hai-hong, YUAN Zhi-hua

(School of Civil Eng. and Arc., East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Based on the experimental study of 9 R·C short columns with “Z” shaped section subjected to axial compression and cyclically biaxial bending, this paper reveals the failure pattern and general regularity for load-bearing capacity of the columns. The theoretical analyses result using the digital iteration method is proposed.

Key words: Z shaped R·C columns; axial compression; biaxial bending; bearing capacity