

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2009.02.013

型钢偏心对型钢混凝土柱承载力的影响

阿里甫江·夏木西,张德娟

(新疆大学建筑工程学院,新疆 乌鲁木齐 830008)

摘要 :为了利用非线性推覆分析(Push-over)方法分析型钢偏心对型钢混凝土(SRC)柱承载力的影响,建立了 SRC 柱的 Push-over 分析模型,进行了偏心 SRC 柱的偏心受压试验和 Push-over 计算,验证了 Push-over 方法用于 SRC 柱分析的可靠性,并用 Push-over 方法分析了当 SRC 柱的长度和荷载作用位置等参数变化时,随着型钢偏心距的不同, SRC 柱受力性能的变化情况,找出了型钢偏心对整柱承载力影响的变化规律.分析结果表明:当荷载和型钢同时偏心在截面形心轴的同一侧时,荷载偏心距较小的 SRC 柱的承载力随着型钢偏心位置的增大而减少,荷载偏心距较大的 SRC 柱的承载力随着型钢偏心位置的增加而略有增加;当荷载和型钢偏心在截面形心轴的两侧时,无论荷载偏心距的大小, SRC 柱的承载力随着型钢偏心位置的增加而增加,但其变化幅度不大.

关键词 :型钢混凝土柱;非线性推覆分析;型钢偏心;偏心受压;承载力;混凝土

中图分类号 :TU375.3 文献标识码 :A 文章编号 :1000-1980(2009)02-0185-05

型钢混凝土结构^[1]是指配置型钢的混凝土结构(SRC),在日本称之为钢骨混凝土结构(steel reinforced concrete)^[2],在英、美等西方国家称之为混凝土包钢结构(steel encased concrete)^[3],在前苏联称之为劲性混凝土结构^[4].

目前工程中最主要的 SRC 构件为 SRC 柱^[5]. SRC 柱根据截面型钢配置方式的不同,可以分为截面形心与型钢形心相重合的对称截面 SRC 柱和截面形心与型钢形心不重合的非对称截面 SRC 柱.对称截面 SRC 柱的设计已有相关规程可参考^[6],但是对非对称截面 SRC 柱,目前理论和试验研究(特别是针对型钢偏心对整柱承载力影响的相关研究)较少.本文采用非线性推覆分析(none-linear push-over analysis, Push-over)与试验研究相结合的方法,研究了非对称截面 SRC 柱截面型钢偏心对整柱承载力的影响.

1 SRC 柱的 Push-over 模型与分析方法

Push-over 方法是一种非线性静力分析方法^[7],目前更多地应用于建筑结构抗震性能的分析研究,主要是针对弹塑性动力时程分析方法的缺陷而提出的^[8].

Push-over 方法能较好地反映混凝土和型钢 2 种材料的非线性特性.该方法运用于 SRC 柱研究的基本原理是^[9]将作用于柱的竖向轴力和弯矩从小到大分为若干个荷载级别,以单调递增的方式施加于柱上,将柱横截面的应变或应力按荷载级别推覆至某一预定的数值(达到目标应变或应力数值)后,则停止施加荷载,并对柱横截面对应于每一荷载级别的受力情况进行分析,最后得出柱的全过程受力特征.

Push-over 程序采用梁柱单元模型,梁或柱沿其长度可以离散为许多个梁柱单元(如图 1 所示的 n 个单元).虽然单元与单元之间的梁或柱的截面界面尺寸可以不一致,但是同一个单元内部具有不变的截面形状^[10].单元截面在所有的荷载阶段符合平截面假定,并且不考虑剪切变形.朱杰江^[10]认为,当单元的长度比较大时,这样的假定具有足够的精度.梁柱单元的横截面被离散为许多混凝土条带(如图 2 所示),这样做能够 (a)适合于任何非均匀横截面 (b)考虑材料特性

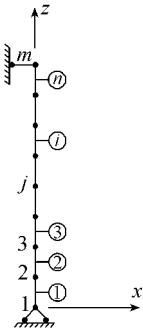


图 1 柱的单元划分
Fig. 1 Elements of the column

沿横截面变化 (c)考虑材料应力-应变关系的非线性 (d)假定每一个混凝土条带和钢材条带处于单轴应力状态,其材料特性可以由当前的应变状态所决定。

选取模型后确定材料本构关系、梁柱单元应变矩阵和切线刚度矩阵等诸多因素,用 Fortran 语言编程创建 Push-over 程序。

为了验证 Push-over 程序分析 SRC 柱的可靠性,本文对文献 [11] 提供的对称截面 SRC 柱的试验结果进行了 Push-over 分析,表 1 为文献 [11] 的试验结果和本文的 Push-over 计算结果的比较。

表 1 对称截面 SRC 柱试验与 Push-over 分析的比较

Table 1 Comparison between test and Push-over results of SRC columns with symmetrical cross-section

试件 编号	承载力 N_u/kN		柱中侧向挠度 f/mm		混凝土的压应变 $\epsilon_c/10^{-6}$	
	试验值	Push-over 计算值	试验值	Push-over 计算值	试验值	Push-over 计算值
SRCC I -1	100	97.45	13.62	13.98	3 130	2 802
SRCC II -2	290	312.64	15.73	16.16	2 930	2 824
SRCC III -4	450	473.93	27.11	27.61	2 070	2 137

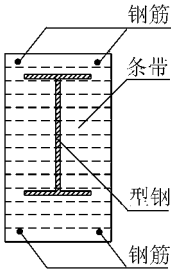


图 2 柱的横截面

Fig. 2 Cross-section of the column

由表 1 可见,Push-over 程序的计算结果与试验结果吻合得较好,说明 Push-over 方法用于对称截面 SRC 柱的计算分析,其结果是可靠的。

2 非对称截面 SRC 柱的试验与 Push-over 法计算结果的比较

为了进一步验证 Push-over 程序分析非对称截面 SRC 柱的可靠性,本文进行了 3 根非对称截面 SRC 柱的偏心受压试验,并与 Push-over 分析结果进行比较。

2.1 试验概况

试验装置见图 3。根试验柱的相关参数为:混凝土 28 d 龄期抗压强度为 42.02 N/mm^2 ,型钢采用 10 号普通热轧工字钢,纵向钢筋采用 $4\phi 8$ (其中 ϕ 代表 HRB335 钢筋),箍筋采用 $\phi 4 @ 200$ (其中 ϕ 代表 HPB235 钢筋)。SRC 柱截面尺寸为 $240\text{ mm} \times 160\text{ mm}$,长度 l_0 为 $1\,800\text{ mm}$,型钢偏心距 s_0 为 40 mm ,荷载偏心位置与型钢偏心位置在截面形心轴的同一侧,荷载偏心距 e_0 为 150 mm ,如图 4 所示。

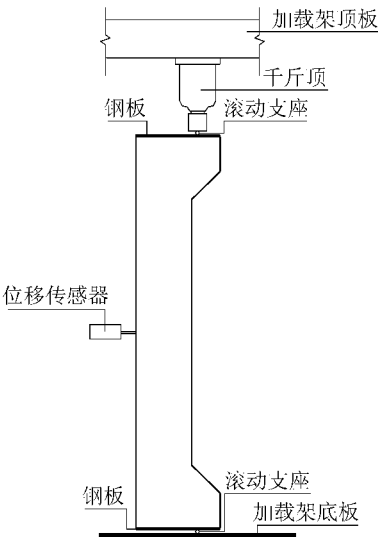


图 3 SRC 柱加载示意图

Fig. 3 Loading of the SRC column

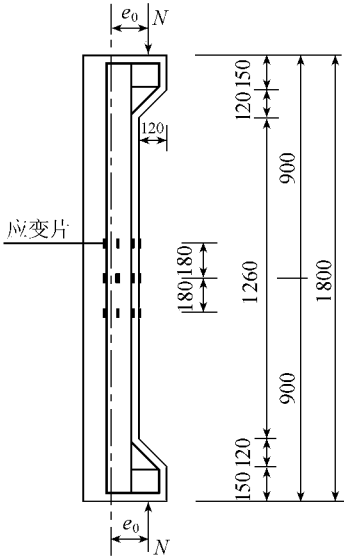


图 4 截面测试位置(单位: mm)

Fig. 4 Test positions of the cross-section

试验根据计算分析结果得到的极限荷载值($N = 358\text{ kN}$)分 10 级,施加在试验柱上。

当施加的荷载达到计算值的 70% 时,柱中混凝土的受拉侧开始出现微裂缝,继续施加荷载,裂缝从跨中向两边扩展,缝深加大,当荷载达到计算值的 94% 左右时,受压区跨中混凝土开始削落,受拉区裂缝开通,

SRC 柱的承载力开始下降,但并没有完全丧失承载力.

2.2 试验与 Push-over 分析结果的比较

试验数据是用智能应变仪记录的.图 5 为 SRC 柱的荷载-挠度关系试验与计算曲线,图 6 为荷载与型钢翼缘应变关系的试验曲线.

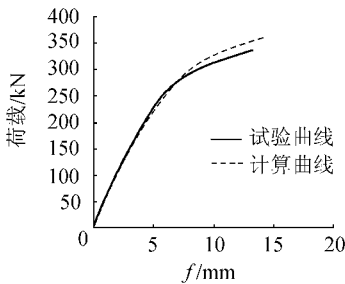


图 5 荷载-挠度试验曲线与计算曲线的比较

Fig. 5 Comparison between test and calculated load-deflection curves

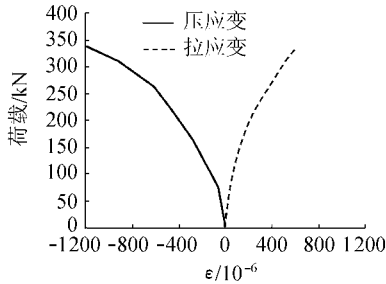


图 6 荷载与型钢翼缘应变的关系

Fig. 6 Relationship between load and strain on steel flange

型钢和荷载偏心在截面形心轴同一侧时,非对称截面 SRC 偏心受压柱有下述特征:在最大荷载之前,型钢受拉翼缘应变较小,且发展较慢,受压翼缘的应变发展较快.因型钢抗弯刚度较大,受拉区混凝土开裂对截面刚度变化影响不大,开裂时荷载-挠度曲线无明显转折.开裂后,随着荷载继续增加,型钢受拉翼缘应变发展有所加快.当型钢受拉翼缘达到屈服时,截面曲率的发展亦显著加快,SRC 柱承载力开始下降,此时可以认为 SRC 柱达到极限承载力.

表 2 为 SRC 柱达到极限承载力时的试验值和 Push-over 计算值的比较.

表 2 非对称截面 SRC 柱试验值与 Push-over 计算值的比较

Table 2 Comparison between test and Push-over results of SRC columns with asymmetrical cross-section

型钢受压翼缘应变 $\varepsilon_{sp}/10^{-6}$		型钢腹板应变 $\varepsilon_{st}/10^{-6}$		型钢受拉翼缘应变 $\varepsilon_{sl}/10^{-6}$		混凝土的压应变 $\varepsilon_c/10^{-6}$		柱中侧向挠度 f/mm		承载力 N_u/kN	
试验值	Push-over 计算值	试验值	Push-over 计算值	试验值	Push-over 计算值	试验值	Push-over 计算值	试验值	Push-over 计算值	试验值	Push-over 计算值
-1185	-1225	-59	-62	601	618	-2993	-3025	13.31	14.30	335.3	358.1

由图 5 可见,当 SRC 柱承受的荷载较小时,试验结果与 Push-over 计算结果吻合较好.由图 5 和表 2 还可以看出,极限承载力和挠度的计算值比试验值约大 6%,这是因为 Push-over 法始终假定型钢与混凝土之间没有相对滑移,满足变形协调条件,而实际当 SRC 柱承受的荷载接近极限荷载时,受拉区的型钢与混凝土之间将发生相对滑移,平截面假定不再成立,因此 SRC 柱的实际承载力比计算值小.

由此可见,Push-over 法用于非对称截面 SRC 柱的计算分析,其结果是可靠的.

3 非对称截面 SRC 柱的进一步计算分析

为了研究型钢偏心对 SRC 柱承载力的影响,本文进行了 3 根不同长细比和不同型钢偏心布置的 SRC 柱在不同荷载偏心位置情况下的非线性分析.

3 根柱的横截面尺寸相同, $h \times b$ 均为 $240 \text{ mm} \times 160 \text{ mm}$,长度 l_0 分别为 1800 mm 、 2500 mm 、 3500 mm ,长细比 l_0/h 分别为 7.50 、 10.42 、 14.58 .每根柱有 5 种不同的型钢配置截面,即有不同的型钢偏心位置,这里说的型钢偏心位置是指型钢形心离开 SRC 柱截面形心轴的距离,即图 7 中的 s_0 .3 根柱采用的 5 种型钢偏心位置 s_0 分别为 0 mm 、 10.0 mm 、 18.4 mm 、 29.6 mm 、 40.0 mm .

采用的材料为:混凝土采用 C40,型钢采用 10 号普通热轧工字钢,纵向钢筋为 $4\phi 8$,箍筋为 $\phi 4@200$.

荷载分为 17 个荷载步施加.共有 16 种不同的荷载偏心距.在确定荷载偏心距时采用以下约定:当荷载偏心位置和型钢偏心位置落在截面形心轴的同一侧,即位于 y 轴的同一方时,取荷载偏心距为正.当荷载偏心位置和型钢偏心位置不在截面形心轴的同一侧时,取荷载偏心距为负.16 种不同的荷载偏心距 e_0 分别为 30 mm 、 60 mm 、 90 mm 、 100 mm 、 120 mm 、 150 mm 、 180 mm 、 210 mm 、 -30 mm 、 -60 mm 、 -90 mm 、 -100 mm 、 -120 mm ,

150 mm, - 180 mm, - 210 mm 图 7 为 SRC 柱截面的条带划分以及型钢偏心位置情况.

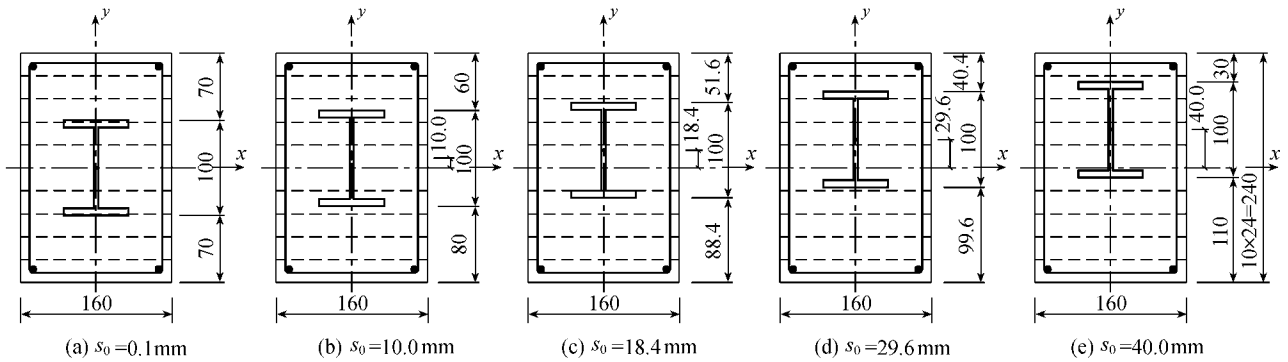


图 7 型钢偏心位置及截面条带划分(单位 mm)

Fig. 7 Positions of steel eccentricity and strips of the cross-section

每根 SRC 柱有 5 种型钢偏心和 16 种荷载偏心 3 根 SRC 柱总共有 $3 \times 5 \times 16 = 240$ 种情况. 本文对这 240 种情况进行了计算, 计算结果显示, 非对称截面 SRC 偏心受压柱, 其承载力与型钢位置、挠度与型钢位置的关系有如下规律:

a. 受压承载力 N_u 与型钢位置 s_0 的关系. 荷载和型钢同时偏心在截面形心轴的同一侧(荷载偏心距为正); 当荷载偏心距较小时, SRC 柱的承载力随着型钢偏心位置的增大而减少; 当荷载偏心距较大时, 柱的承载力随着型钢偏心位置的增加而略有增加, 如图 8 所示. 荷载和型钢分别偏心在截面形心轴的两侧(荷载偏心距为负); 无论荷载偏心距的大小, SRC 柱的承载力随着型钢偏心位置的增加而增加, 但其变化幅度不大.

b. 挠度 f 与型钢位置 s_0 的关系. 在型钢布置位置不同的情况下, 当 SRC 柱达到极限承载力时, 混凝土的破坏应变不一定相同, 即对于承载力不同的 SRC 柱, 当它们同时达到极限承载力时, 承载力大的 SRC 柱的破坏应变不一定比承载力小的 SRC 柱的破坏应变大, 而截面曲率的大小又与截面应变有一定的关系, 截面应变大, 截面曲率也就大. 因此, 要分析截面曲率与型钢偏心位置的关系, 对于不同的型钢偏心位置, 截面曲率必须取在相同的截面应变条件下的截面曲率值. 图 9 为 SRC 柱在相同截面应变条件下的挠度与型钢位置的关系曲线. 从图中可以看出, 型钢偏心位置对 SRC 柱弯曲变形的影响较大, 荷载偏心距越大, 影响越明显.

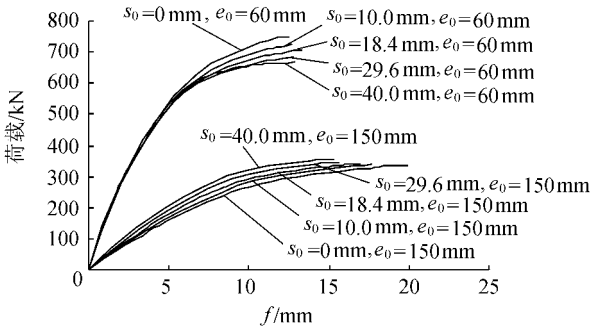


图 8 荷载-挠度曲线

Fig. 8 Relationship between load and deflection

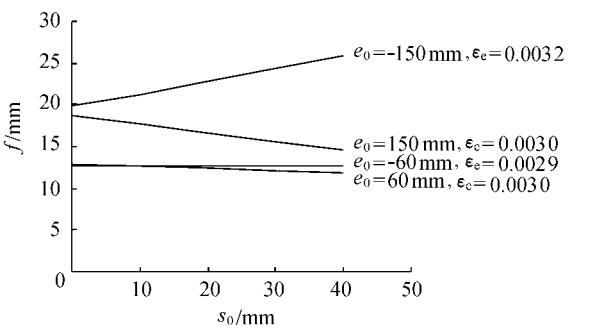


图 9 挠度与型钢位置的关系

Fig. 9 Relationship between deflection and steel placement

4 结 论

根据本文的研究结果, 说明 Push-over 方法运用于任意截面 SRC 柱的计算分析是完全可行的. 另外还可以看出, 型钢偏心对 SRC 柱的承载能力和变形能力都有比较大的影响, 这种影响可以归纳为以下 2 种情况:

a. 型钢和荷载偏心在截面形心轴的同一侧. 当 SRC 柱的受压荷载偏心距较小时, 型钢偏心位置应较小, 这样得到的配筋截面比较合理; 当 SRC 柱的受压荷载偏心距较大时, 型钢偏心位置应较大.

b. 型钢和荷载分别偏心在截面形心轴的两侧. 无论 SRC 柱的受压荷载偏心距的大小, 型钢偏心位置均应较大, 才能得到比较合理的配筋截面.

将本文研究的配筋规则应用到实际工程中, 则可以在 SRC 柱的受力性能和技术经济方面获得较好的均

衡,提高构件的承载力,降低构件的制造费用.

参考文献:

[1] JGJ 138—2001 型钢混凝土组合结构技术规程[S].
[2] YB9082—97 钢管混凝土结构设计规程[S].
[3] Explaining the Growth of E-Commerce Corporations, Composite structures[M]. New York :The Construction Press ,1981.
[4] CH3—78 苏联劲性钢筋混凝土结构设计指南[S].
[5] 叶列平. 钢管混凝土柱的设计方法[J]. 建筑结构,1997(5) 8-12.
[6] 阿里甫江·夏木西, 乌不力艾山. 型钢混凝土柱正截面承载力计算的几种方法比较[J]. 工业建筑, 2006(6) 431-434.
[7] MOJEKWU E. C. Nonlinear analysis of reinforced concrete fram[D]. Austin : University of Texas , 2006.
[8] 叶燎原, 潘文. 结构静力弹塑性分析(Push-over)的原理和计算实例[J]. 建筑结构学报, 2000(2) 37-43.
[9] 阿里甫江. 钢管混凝土柱承载能力的研究[D]. 南京: 河海大学, 2002.
[10] 朱杰江. 带加强层框架—芯筒结构体系受力特性的研究[D]. 南京: 河海大学, 2000.
[11] 叶列平. 劲性钢筋混凝土偏心受压中长柱的试验研究[J]. 建筑结构学报, 1995(6) 45-52.

Influence of steel placement eccentricity on bearing capacity of SRC columns

ALIFUJIANG Xiamuxi ,ZHANG De-juan

(College of Architectural and Civil Engineering , Xinjiang University , Urumqi 830008 , China)

Abstract : In order to analyze the influence of steel placement eccentricity on the bearing capacity of SRC columns using of nonlinear push-over analysis(Push-over) method , the Push-over model for SRC columns was established. In addition to the Push-over calculations , tests on the loading eccentricity of SRC columns were performed. The reliability of the Push-over method in analysis of SRC columns was validated. The present method was employed to study the properties of the SRC columns under loading with various column lengths , steel placements and loading eccentricities. The rules of influence of the steel placement eccentricity of SRC columns on the bearing capacity were determined. The analytic results show that when the load and steel are placed on the same side of the central axis of the cross-section , the bearing capacity of the SRC columns with smaller loading eccentricity decreases with the increase of the steel placement eccentricity , while that with a larger loading eccentricity increases slightly with the increase of the steel placement eccentricity. When the load and steel are placed on the opposite sides of the central axis of the cross-section , the bearing capacity of the SRC columns with arbitrary loading eccentricity increases with the increase of the steel placement eccentricity , but the variation amplitude is small.

Key words : SRC column ; nonlinear push-over analysis ; steel placement eccentricity ; loading eccentricity ; bearing capacity ; concrete