

FRP 加固混凝土偏心受压柱力学性能的试验研究

杨志刚

(山东理工大学 建筑工程学院, 山东 淄博 255012)

摘要:设计制作了12个钢筋混凝土圆柱试件,分成3组进行试验,每组受荷时的偏心距分别为0,20,40 mm,每组各有4件试件,分别制成钢筋混凝土柱、外贴3层CFRP的钢筋混凝土柱、内掺体积率为1.5%钢纤维的钢筋混凝土柱、外贴FRP加内掺钢纤维的钢筋混凝土柱。试验在500 t的液压试验机上进行,试验结果表明,外包FRP能提高混凝土构件的抗压承载力,而掺加钢纤维能提高它的延性。

关键词: FRP; 偏心荷载; 钢纤维; 钢筋混凝土

中图分类号: TU375.1

文献标识码: A

0 引言

随着建设事业的不断发展,高强混凝土以其优越的性能在土木工程领域的应用越来越广泛。目前,许多建筑物正向着高强、大跨、高承载力方面发展,相比普通混凝土而言,它的强度虽然高,但延性明显不足。而在混凝土内部掺加钢纤维提高其性能的技术经过近10年的实践证明也是可行的,特别是近些年来应用的FRP加固混凝土构件的技术,对于提高其强度和韧性也是行之有效的。另外FRP也由于其自身优良的材料特性能防止混凝土的碳化和钢筋的腐蚀,提高了混凝土结构的耐久性^[1-2]。

于清^[3]、吴刚^[4]、L Guoqiang^[5]等曾对轴心受压状态下的FRP加固约束柱的受力性能和本构关系进行了研究,但大部分的加固试验均是建立在轴心受压的基础上^[6],而实际中,真正意义上处于均匀受压的可能性是极小的,即使理论上的轴心受压柱也可能因为施工误差造成一定的偏心,因此偏心受压才是最常见的混凝土柱受力形式。大部分柱在轴心荷载、水平荷载及弯矩的作用下处在偏心受压的状态,对钢纤维加固和FRP加固混凝土大多学者进行单项研究,很少能将其结合进行分析。基于此原因,笔者对FRP加固偏心受压柱的力学性能进行了研究,并考虑了钢纤维对其性能的影响,共制作了12根配筋相同的钢筋

混凝土柱,分别从粘贴FRP、加入钢纤维角度对其性能的影响进行了比较。试验结果表明,粘贴FRP能明显提高其强度,但对其韧性的增加贡献不大;而钢纤维却是能明显增加其韧性,对其强度影响不大。

1 试验概况

1.1 试验设计

试验共制作了12根试件,截面形状为圆形,尺寸为 $D \times H = 200 \text{ mm} \times 1200 \text{ mm}$ 。所有柱配筋均相同,纵向钢筋选用6根直径为16 mm的带肋钢筋,箍筋采用 $\phi 8 @ 100$,试件共分3组,偏心距分别为0,20,40 mm。每组4个试件,分别为钢筋混凝土柱、外贴3层CFRP的钢筋混凝土柱、内掺钢纤维的钢筋混凝土柱、外贴FRP加内掺钢纤维的钢筋混凝土柱。试验中的钢纤维采用的是长度为15 mm,掺加体积率为1.5%。CFRP布采用湿粘法进行粘贴,共贴了3层。在柱两端,为保证偏心荷载的施加做成了牛腿扩大形式,为防止端部局压破坏,两端各加一块钢板,试验构件的尺寸及配筋如图1所示。

1.2 材料性能

试验中预留了3块配合比与试验柱相同的边长为150 mm的立方体试块,实测其28 d的抗压强度平均值为26.5 MPa,掺加钢纤维后的抗压强度平均值为43.2 MPa,纵向钢筋实测名义屈服强

收稿日期:2010-04-29;修订日期:2010-06-30

作者简介:杨志刚(1980-),男,山东维坊人,山东理工大学讲师,硕士,研究方向为结构失效分析与加固,E-mail:sdlyzg@126.com.

度为 350 MPa,箍筋实测屈服强度为 240 MPa,混凝土保护层厚度为 20 mm,碳纤维布的实测抗拉强度为 759.6 MPa^[7].

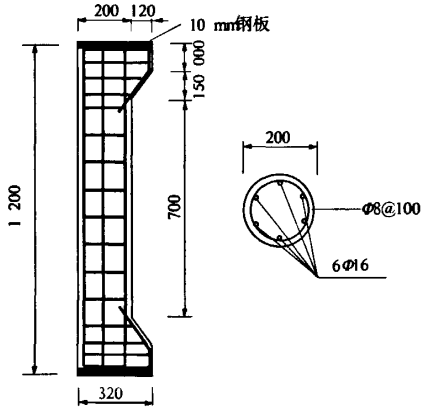
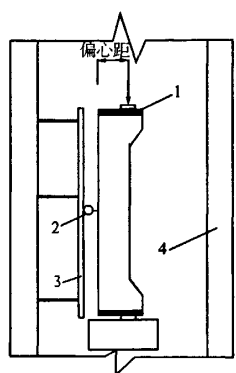


图 1 试验构件的尺寸及配筋
Fig.1 The size and reinforcement of the test component

1.3 试验方法

试验是在 500 t 的液压试验机上进行,为了保证试件的加载位置和两端的自由转动,试件的上下两端均采用单刀铰支座,试验中采用千分表测量试件的跨中侧向挠度,试验机自带传感器采集竖向挠度.试验装置简图如图 2 所示.试验加载前,对加载点进行了严格的对中就位.每级加载时按照预估破坏荷载的 10% 加载,快到极限荷载时加载值减半.每级加载完毕需等待 5 ~ 10 min 待试件变形稳定后再采集位移和力的数据并及时记录^[8].

试件共分 4 组进行比较,试验的主要数据如表 1 所示.



1 - 钢板;2 - 千分表;3 - 支架;4 - 试验机立柱
图 2 试验装置简图
Fig.2 Experimental device of the test component

表 1 主要试验数据
Tab.1 Main test data

试件	受力情况	材料	备注
RC - A	轴心受压		—
RC - 20	偏心受压	钢筋混凝土柱	偏心距为 20 mm
RC - 40	偏心受压		偏心距为 40 mm
RC _f - A	轴心受压	外贴 3 层碳纤	—
RC _f - 20	偏心受压	维布的钢筋混	偏心距为 20 mm
RC _f - 40	偏心受压	凝土柱	偏心距为 40 mm
RC _s - A	轴心受压	掺加 1.5% 钢纤	—
RC _s - 20	偏心受压	维的钢筋混凝	偏心距为 20 mm
RC _s - 40	偏心受压	土柱	偏心距为 40 mm
RC _{fr} - A	轴心受压	外贴 3 层碳纤	—
RC _{fr} - 20	偏心受压	维布内掺 1.5%	偏心距为 20 mm
RC _{fr} - 40	偏心受压	钢纤维的钢筋	偏心距为 40 mm
混凝土柱			

2 试验结果及分析

2.1 轴向荷载试验

首先进行了 4 个钢筋混凝土柱的轴压破坏性试验,并测量其横向和纵向变形及其承载力,试验的结果见表 2.从表 2 中数据可以看出,RC - A 试件破坏力较小,变形也较小,试验中观察到试件首先从柱中间位置的表层混凝土逐渐开裂脱落,但柱仍保持直立状态,然后是核心内混凝土开始出现膨胀变形开裂,最终导致纵筋的突出变形和箍筋位置的改变,表明柱子受压破坏. RC_f - A 初始加载外观无明显表现,但最终破坏力较大,并且发生破坏时非常突然,且发出了大的响声,FRP 突然断裂和混凝土突然开裂脱落几乎同时发生. RC_s - A 的试验现象前半部分与 RC - A 的表现几乎相同,都表现为表层混凝土的开裂和脱落,但核心内部的混凝土的开裂和脱落的速度明显比 RC - A 放缓,最终也表现为钢筋的外形发生变化而被破坏,此破坏现象显示出了钢纤维对混凝土受压性能的影响.从图 3 的破坏曲线中可以看出,柱子的变形曲线形状从加载到破坏比较缓长,表现出最大的轴向变形量和良好的延性. RC_{fr} - A 表现为加载的破坏荷载最大,发生屈服时的轴向变形大,最终的破坏也有一定的突然性,FRP 断裂标志着试验的结束.

在本次试验中,为表示各种材料对混凝土受压破坏性能的影响采用了延性系数的概念,如表

2 所示,延性系数是柱子最大轴向变形量与屈服时轴向变形量之比,它能表示出柱子的延性是否良好.

表 2 轴向荷载作用下试验结果
Tab.2 Test results on axial load

试件 编号	最大破坏 荷载/kN	屈服荷 载/kN	屈服变 形/mm	最大变形 /mm	延性 系数
RC-A	1 216.9	1 113.2	3.43	6.64	1.94
RC _f -A	2 928.9	2 900.5	14.64	23.86	1.63
RC _s -A	1 550.5	1 521.9	4.79	26.64	5.56
RC _{fs} -A	3 193.8	3 154.8	15.21	24.23	1.59

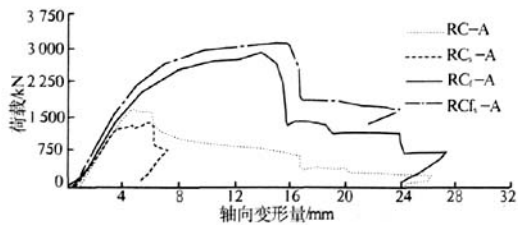


图 3 轴向荷载作用下荷载与轴向变形关系图
Fig.3 Load-deflection diagrams of tested column specimens on axial load

2.2 偏心荷载试验

一共做了 8 个偏心混凝土柱的试验,4 个为 20 mm 的偏心,4 个为 40 mm 的偏心.所有偏心受压柱受压初期与对应的轴向受压柱并无多大区别,当荷载达到极限荷载的 80% 左右后,在受压侧,FRP 与混凝土柱出现剥离的情况,尤其是偏心距为 40 mm 时表现更为明显,RC_{fs}-40 与 RC_f-40 及 RC_s-20 与 RC_f-20 相比,前者在最终破坏之前的 FRP 脱离现象比后者更严重一些.外包 FRP 的钢筋混凝土柱的最终破坏都表现为受压侧混凝土压碎,受压侧 FRP 压皱,而受压对边则均表现为 FRP 出现了沿柱轴向的撕裂和混凝土的受拉裂缝,但撕裂的程度有明显的区别,偏心距为 40 mm 的撕裂程度明显大于偏心距为 20 mm 的情况,其混凝土受拉裂缝也较宽,明显表现出了大偏心破坏的特征.RC_{fs}-20 与 RC_f-20 相比,后者破坏更严重,而前者表现出良好的韧性特征.而 RC_{fs}-40 与 RC_f-40 相比,两者并无较大的区别.另外,随着偏心距增大,柱的最大承载力有明显降低,RC、RC_f、RC_s、RC_{fs} 大约分别下降了 31%、42%、29%、46%.试验结果表明:外包 FRP 的钢

筋混凝土柱承载力随着偏心距的增大有明显下降,甚至下降的程度超过了普通的钢筋混凝土柱,相比之下钢纤维混凝土柱的情况要好得多.试验中 RC-20、RC_s-20 的破坏是以轴力受压侧混凝土压碎为破坏标志,同时对应侧出现了一些细微的受拉裂缝,而后的裂缝时间出现的要早,裂缝数量比前者要少.RC-40、RC_s-40 的破坏情况与 RC-20、RC_s-20 基本相同,但对边的受拉裂缝的数量和宽度明显要多得多.图 4 至图 5 为偏心距分别为 20 mm 和 40 mm 偏心荷载作用下轴向变形和侧向变形与荷载之间的关系曲线.从图中可以看出,加入了钢纤维的钢筋混凝土柱的变形曲线缓长,而外包 FRP 的柱的变形曲线却明显高陡,即表明加入钢纤维能提高混凝土柱的延性,而粘贴 FRP 能显著提高混凝土柱的承载能力;另外在相同情况下,柱的横向变形明显大于其轴向变形量,也反映了偏心受压柱的一个变形特点;在偏心距为 40 mm 时,RC_{fs}-40 与 RC_f-40 相比而言,除了前者曲线高度稍高一些外,曲线长度及坡度相差不多,表明在大偏心作用下而者的延性相差不多.

表 3 偏心荷载作用下试验结果

Tab.3 Test results on Eccentric load

试件	最大破坏 荷载/kN	屈服变 形量/mm	屈服荷 载/kN	最大变 形量/mm	延性 系数
RC-20	675.1	3.721	674.9	9.75	2.62
RC _f -20	1 563.2	12.890	1 514.1	19.96	1.55
RC _s -20	852.4	4.364	913.7	14.89	3.41
RC _{fs} -20	1 808.3	7.540	1 681.9	16.69	2.21
RC-40	467.3	9.826	466.7	9.93	1.01
RC _f -40	914.6	6.584	913.7	14.98	2.28
RC _s -40	602.7	4.226	591.3	15.52	3.67
RC _{fs} -40	986.3	7.128	985.3	14.48	2.03

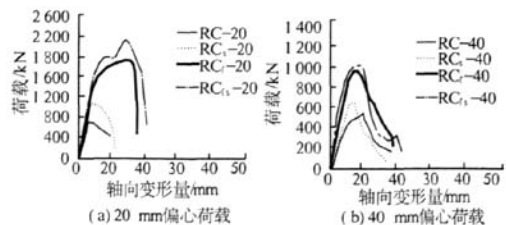


图 4 偏心荷载与轴向变形关系图

Fig.4 Load-axial deflection diagrams for column specimens tested under 20 mm & 40 mm eccentricity

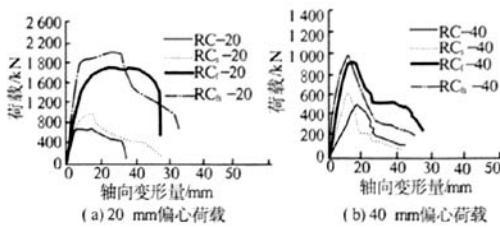


图5 偏心荷载与侧向变形关系图

Fig.5 Load-lateral deflection diagrams for column specimens tested under 20 mm & 40 mm eccentricity

3 结论

(1) 钢筋混凝土柱表面粘贴 FRP 能显著提高其破坏承载能力,但从材料屈服到最终破坏纵向和横向的变形量较小,表现为混凝土柱的延性较差。

(2) 混凝土内添加钢纤维能显著提高其材料的韧性,但对其破坏承载能力提高不大。

(3) 内部掺加钢纤维外部粘贴 FRP 的钢筋混凝土柱其承载能力比单纯的贴布约束加固有所提高,但提高幅度不大,韧性与单纯的掺加钢纤维相比没有明显变化,但相比钢筋混凝土柱却明显提高了其承载力和韧性。

(4) 随着偏心距增大,钢筋混凝土柱承载力

均降低,但经 FRP 加固后柱子的降低程度更大,说明 FRP 加固偏心受压柱比轴心受压柱的更不能发挥加固材料的性能,尤其是在大偏心受压情况下。

参考文献:

- [1] 薛伟辰,康清梁.纤维塑料筋在混凝土结构中的应用[J].工业建筑,1999,29(2):19-21.
- [2] 王新玲,朱俊涛,吕林,姚章堂.碳纤维布加固完好混凝土框架结构抗震性能试验研究[J].郑州大学学报:工学版,2008,29(4):81-84.
- [3] 于清.FRP约束混凝土柱强度承载力计算[J].工业建筑,2000,30(10):40-44.
- [4] 吴刚,吴智深,吕志涛.FRP约束混凝土圆柱有软化段时的应力-应变关系研究[J].土木工程学报,2006,39(19):7-14.
- [5] L I. Effect of fiber orientation on the structural behavior of FRP wrapped concrete cylinders [J]. Composite Structures, 2006,74(4):475-483.
- [6] 杨志刚.FRP加固圆形混凝土桥柱的轴压强度模型研究[J].玻璃钢/复合材料,2008(1):30-34.
- [7] 国家工业建筑诊断与改造工程技术研究中心.CECS 146:2003—2007 碳纤维片材加固混凝土结构技术规程[S].北京:中国计划出版社,2007.
- [8] 姚振纲,刘祖华.建筑结构试验[M].上海:同济大学出版社,2004.

Experimental Study on Behaviour of Eccentric Loading Concrete Columns Confined by FRP

YANG Zhi-gang

(School of Architecture Engineering, Shandong University of Technical, Zibo 255012, China)

Abstract: 12 reinforced concrete column specimen are fabricated and tested. All the columns are divided into 4 groups by 3 different eccentricities which are 0, 20 and 40 mm. Each group has 4 specimens, and the specimens in first group were just made of reinforced concrete. The specimens in second group were wrapped with 3 layers' CFRP. The specimens in the third group had 1.5% steel fibres volume fraction added into the concrete. The final group of specimens were reinforced with steel fibres and wrapped with CFRP. The test was performed on 500t test machine, the results showed that the compressive bearing capacity of concrete column wrapped with CFRP can increase, and the introduction of fibres can make the ductility increase.

Key words: FRP; eccentric loading; steel fibre; reinforced concrete column