文章编号:1005-0523(2009)05-0015-04

# 碳纤维布-钢筋混凝土组合方柱的轴压试验

朱爱华[1],朱成九[1],卜少磊[2]

(1.华东交通大学,江西 南昌 330013; 2.茂尔盛咨询(深圳)有限公司,广东 深圳 518001)

**摘要**:对纤维约束圆形截面混凝土柱的性能已有较多的研究,但我国大多数是使用方形柱或矩形截面柱,而对碳纤维布-钢筋混凝土组合方柱承压性能的研究相对较少。通过对该组合方柱的轴压试验,考虑碳纤维布间距和箍筋间距的变化对组合方柱破坏形态以及加固效果的影响,并绘制了荷载-应变试验曲线。结果表明:组合方柱的承载力提高效果明显;延性有较显著的改善;除个别柱外,碳纤维、混凝土和钢筋3者具有良好的变形协调性。

**关 键 词**:碳纤维布;钢筋混凝土;方柱;荷载-应变试验曲线

**中图分类号**:TU375.1 **文献标识码**:A

约束混凝土是采用复合材料加固结构的一种主要形式。早期的约束混凝土形式主要为箍筋约束混凝土,在这方面国内外已做了大量的试验研究[1,2],与箍筋约束混凝土柱相似,碳纤维布约束混凝土也是一种被动约束,随着混凝土轴向压力的增大,横向膨胀促使外包复合材料环向伸长,产生侧向约束力,使混凝土处于3轴受压的应力状态,限制了混凝土的横向变形,使核心混凝土变为约束混凝土,这样不但提高了混凝土的承载能力,而且提高了它的变形能力。目前,对碳纤维约束圆形截面混凝土柱的性能已有较多的研究,但多数都集中在碳纤维布(Carbon Fiber Reinforced Polymer,CFRP)加固素混凝土柱的约束模型上,而对碳纤维约束钢筋混凝土(Reinforced Concrete,RC)方柱承压性能的研究相对较少[3]。

## 1 试验结果及分析

实验分为五组,共计轴心受压试件15根。方柱尺寸均为150 mm×150 mm×600 mm。混凝土设计强度等级为C40,混凝土的保护层厚度为25 mm,配置的纵筋为4Φ10一级钢筋,箍筋采用Φ6一级钢筋。为了防止柱头压坏,全部柱头两端箍筋加密,箍筋间距取50 mm。试件分组及加固方案见表1,材料、试件及试验方案参见文献[4]。

**表1 试件分组及加固方案**

| 参数 | 对比柱 | 加固柱 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 全包柱 | | 间距加固 | |
| 试件分组 | D1~D3 | G1~G3 | Q1~Q3 | J1~J3 | J4~J6 |
| 箍筋间距/mm | 150 | 75 | 150 | 150 | 150 |
| 碳纤维布间距/mm | | 0 | 0 | 60 | 100 |
| 碳纤维布层数/层 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 试件根数/根 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |

注:D1~D3为未加固柱;G1~G3为全色柱,箍筋间路150 mm,J1~J3为间距加固,碳纤维布间距60 mm,J4~J6为间距加固,碳纤维布间距100 mm。

本次试验测得的极限荷载以及极限荷载时所对应的混凝土纵向、横向应变、碳纤维布以及钢筋应变均

**收稿日期**:2009-06-04

**基金项目**:江西省教育厅科学技术研究项目(赣教技字[2005]129字)

**作者介绍**:朱爱华(1964-),女,江西临川人,副教授,研究方向为机械力学与工程。

中国知网 https://www.cnki.net

列于表2中。

表2 试验结果汇总表

| 试件编号 | | 极限荷载/kN | 混凝土纵向应变/με | 混凝土横向应变/με | 碳纤维布应变/με | 钢筋应变/με | 荷载平均值/kN | 荷载提高值./% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 对比柱 | D1 | 769 | 1 684.0 | 1 213.0 | | 1 963.0 | | |
| | D2 | 780 | 1 715.0 | 965.0 | | 1 778.0 | 753.5 | |
| | D3 | 752 | | | | | | |
| 碳纤维布间距60 mm | J1 | 815 | 2 245.0 | 256.0 | 2 568.0 | 1 900.0 | | |
| | J2 | 857 | 2 477.0 | 640.0 | 2 847.5 | 2 300.0 | 835.7 | 10.9 |
| | J3 | 835 | 2 358.0 | 1 161.0 | 3 146.5 | 3 338.0 | | |
| 碳纤维布间距100 mm | J4 | 810 | 2 622.5 | 1 336.5 | 3 482.0 | 1 916.0 | | |
| | J5 | 792 | 2 670.5 | 1 435.5 | 3 240.0 | 1 836.0 | 799.0 | 6.04 |
| | J6 | 795 | 2 815.0 | 1 554.0 | 2 531.0 | 1 801.0 | | |
| 全包柱 | Q1 | 882 | 2 756.0 | 2 176.5 | 4 951.0 | 3 398.0 | | |
| | Q2 | 902 | 2 867.0 | 3 705.0 | 3 731.0 | 2 372.5 | 889.0 | 17.98 |
| | Q3 | 883 | | | | | | |
| 全包柱 | G1 | 1 015 | 3 327.0 | 5 731.0 | 5 854.0 | 5 013.0 | | |
| | G2 | 965 | 3 735.0 | 3 854.0 | 2 522.0 | 7 480.0 | 977.0 | 9.50 |
| | G3 | 951 | 3 267.0 | 2 025.0 | 4 138.5 | 4 063.0 | | |

通过对以上试验结构分析发现:碳纤维布-钢筋混凝土组合方柱对构件的承载力提高效果明显。无论是纤维布条带包裹,还是纤维布完全包裹的试件,与未加固CFRP的柱相比,承载力都有一定程度的提高。尤其以全包CFRP试件的增强效果明显,荷载提高了17.98%;纤维布间距分别为60 mm和100 mm条带包裹的试件,荷载分别提高了10.9%和6.4%;箍筋为75 mm间距的全包柱比箍筋为150 mm间距的全包柱荷载提高了9.5%。

## 2 荷载-应变试验曲线

在普通试验机上获得有下降段的荷载-应变曲线是比较困难的。Whitney很早就分析过此种现象,认为是由于试验机刚度不足引起[5]。有关文献认为试验机的刚度必须大于荷载-应变曲线下降段最陡部分的斜率。本次试验在改装后的微机控制电液伺服万能试验机上进行,该试验机具有较高的刚度。试验控制原理图见图1,将试件放入试验机,连接到计算机,利用信号的转换,测量出具有真实下降段的荷载-应变试验曲线。

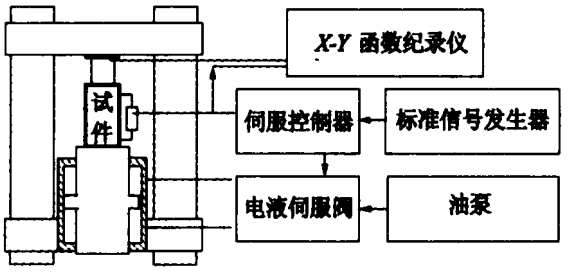


图1 电液伺服万能试验机

将试验曲线用Origin软件[6]处理得到部分荷载-应变试验曲线,如图2~7。每个试件的混凝土横向和纵向应变是由试件两个侧面的应变取平均值所得,钢筋和碳纤维布上的应变也取平均值进行研究。

未包裹碳纤维布的对比柱,应力-应变曲线无明显的下降段,加固后的混凝土柱,荷载达到极限荷载时,应力-应变曲线有相对明显的下降段,极限压应变得以提高,推迟了受压区混凝土的破碎,延性有较显著的改善;条带加固柱的延性不如全包加固柱,箍筋间距为75 mm的全包柱延性最好,证明箍筋的加密一定程度上可以改善柱的延性。

在所有的荷载-应变曲线中,全包柱钢筋应变和混凝土的纵向应变基本保持一致,而全包柱在混凝土超出弹性阶段范围后,钢筋应变比混凝土应变增长要快,考虑可能是箍筋加密后,核心混凝土受到的约束力较强,柱较小的位移产生的应变较大。而混凝土的纵向应变片贴在柱表面,致使柱的位移产生的应变较

中国知网 https://www.cnki.net

钢筋的应变要小。

在荷载－应变曲线中,碳纤维布间距 60 mm 的 J1 和 J2 柱,在混凝土进入弹塑性阶段后,其横向应变比碳纤维的应变变化小许多,其原因可能是混凝土破坏并非发生在贴横向应变片处,其余柱混凝土横向应变和碳纤维的应变变化较同步。

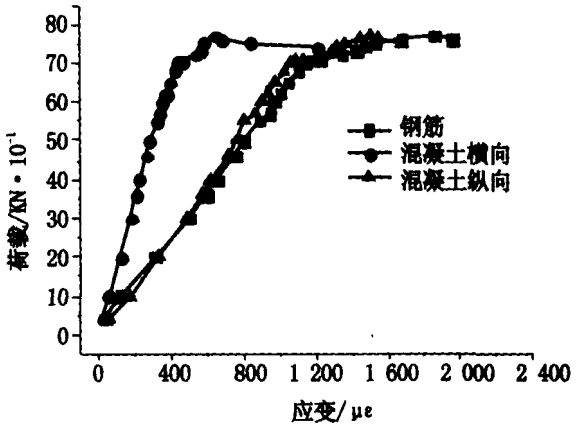


图 2　对比柱 D1

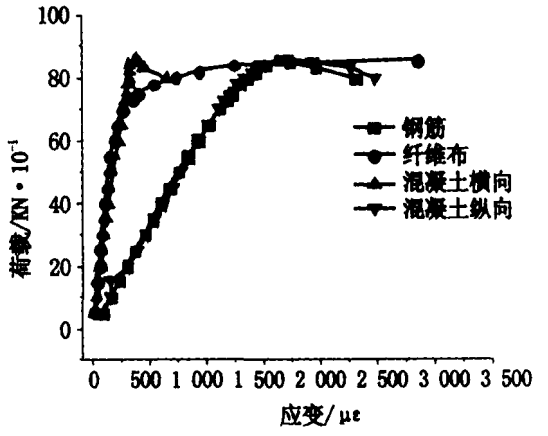


图 3　CFRP 间距 60 mm J2 柱

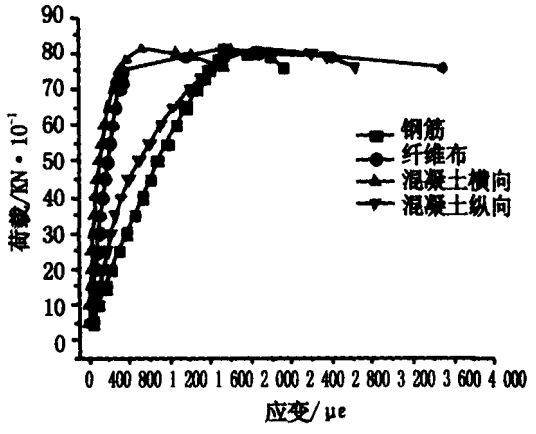


图 4　柱 FRP 间距 100 mm J4 柱

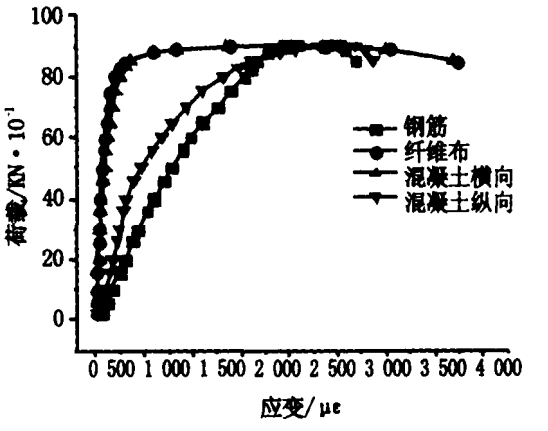


图 5　全包 Q2 柱

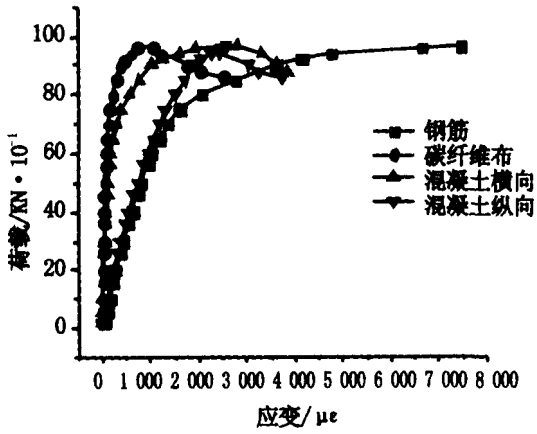


图 6　全包 G2 柱

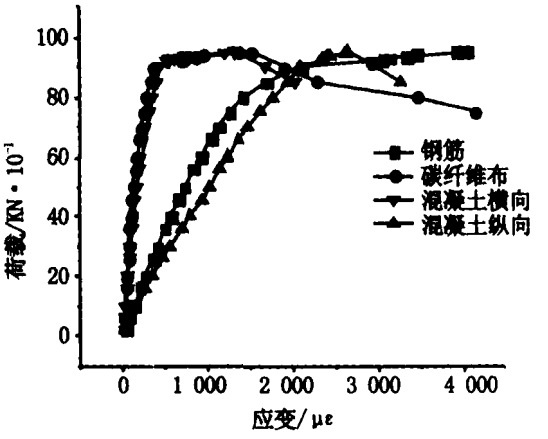


图 7　全包 G3 柱

## 3　结论

本次试验通过碳纤维布的全包、不同间距以及不同箍筋间距下的试验,揭示了碳纤维－钢筋混凝土组

中国知网　https://www.cnki.net

合方柱的全过程破坏现象、特征。试验研究表明:碳纤维布-钢筋混凝土组合方柱对构件的承载力提高效果明显;延性有较显著的改善;碳纤维布、混凝土和钢筋3者具有良好的变形协调性。

**参考文献:**

[1] Shamim A Sheikh and S M Uzumeri. Analytical model for concrete Confinement in tied columns[J]. Journdl of the Structural Division, 1982,108(12):2 703-2 722.

[2] Mander, J. B. Priestley, M. J. N. and Park, R. Theoretical stress-strain model for confined concrete[J]. Journal of Structural Engineering, 1988,114(8):1804-1826.

[3] 卢亦焱,史健勇,赵国藩.碳纤维布约束轴心受压混凝土方形柱承载力计算研究[J].工程力学,2004,21(4):2-27.

[4] 卜少磊.碳纤维布加固钢筋混凝土柱试验研究与分析[D].南昌:华东交通大学,2008,6.

[5] Whitney. CS. Discussion on Jenson VP's Paper[M]. Journal of ACI, Proceeding: 1943.

[6] 周建平. Origin实用教程[M].西安:西安交通大学,2007.

# The Load-Strain Test Curve of CFRP-RC Composite Square Columns

ZHU Ai-hua[1], ZHU Cheng-jiu[1], BU Shao-lei[2]

(1. East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China; 2. MAUNSELL/AECOM, Shenzhen, 518001, China)

**Abstract:** Many researches concentrate on the behavior of confined concrete columns with circular sections but the square and rectangle-section ones are mostly applied in China, and researches on bearing capacity of CFRP-RC composite square columns are comparatively few. Through compression tests, and taking into account the influence that spacing changing of fiber and stirrup has on failure form of composite square columns and its reinforcement, we adopt a load-strain test curve. The results indicate that the supporting capacity of CFRP-RC composite square columns enhances obviously; the ductility improves remarkably; and that, the carbon fiber the concrete and the steel bar have good distortion coordination except the very few ones.

**Key words:** CFRP; reinforced concrete(RC); square column; load-strain test curve

(责任编辑:王全金)

中国知网 https://www.cnki.net