

不同纤维布约束钢筋混凝土柱的加固效果分析

郭光玲

(陕西理工学院 土木工程系, 陕西 汉中 723003)

摘要: 采用 ANSYS 对不同纤维布约束钢筋混凝土柱的轴心受压性能进行了非线性数值分析, 探讨了纤维布约束混凝土的加固机理, 并与试验结果进行了分析比较. 结果表明: 碳纤维布对加固柱的加固效果明显强于玻璃纤维布对加固柱的加固效果, 在实际加固工程中, 应尽量采用碳纤维布加固钢筋混凝土结构.

关键词: ANSYS; 纤维布; 钢筋混凝土; 加固效果

中图分类号: TU 528 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X (2007) 06-0034-04

Strengthening Effect of Different FRP Confined Reinforced Concrete Columns

GUO Guang-ling

(Department of Civil Engineering, Shaanxi University of Technology, Hanzhong Shaanxi 723000, China)

Abstract Nonlinear analysis for the behaviors of different FRP (fiber reinforced polymer) - confined reinforced concrete is studied with the application of the large general structural analysis software ANSYS. Strengthening mechanism is then investigated in this paper. The computing results are compared with test ones. It is shown through the results that the strengthening effect by CFRP is superior to that by GFRP. Therefore, it is recommended that CFRP should be adopted to strengthen reinforced concrete in practical project.

Key words ANSYS; FRP; reinforced concrete; strengthening effect

0 引言

纤维布加固修补结构技术是一种新型的结构加固技术, 它是利用树脂类粘结材料将纤维布粘贴于混凝土表面, 以达到对结构及构件加固补强的目的. 纤维布由于具有高强、耐腐蚀、耐久、施工方便快捷、柔性好, 易于裁剪等特点已愈来愈广泛地用于混凝土结构加固工程中. 论文在有限元计算的基础上结合试验作了对比, 分析了不同纤维布约束钢筋混凝土轴心受压柱的力学性能和加固效果, 探讨了纤维布约束混凝土的加固机理.

1 有限元模型的建立与求解

1.1 结构有限元模型

1.1.1 混凝土与钢筋的组材料

ANSYS 中混凝土与钢筋组合可供选择的有有限元模型有: ①整体式模型; ②分离式模型, 位移协调; ③分离式模型, 界面单元. 采用整体式模型直接建立混凝土模型, 通过实参数定义钢筋模型.

1.1.2 混凝土与纤维布的组材料

纤维布包裹在混凝土的外面, 混凝土和纤维之间是通过树脂粘结, 具有良好的粘结界面, 可以不必考虑二者之间的滑移, 让纤维布和混凝土之间共用节点, 位移协调.

收稿日期: 2007-07-10 基金项目: 陕西理工学院科研基金项目 (项目编号: SLG0634).

作者简介: 郭光玲 (1975-), 女, 陕西城固人, 工学硕士, 讲师. 主要研究方向: 结构分析及试验.

E-mail: gg1750320@126.com

1.2 材料单元类型^[1]

1.2.1 混凝土单元

混凝土材料选用三维实体单元形式 Solid65

1.2.1 纤维布单元

外包纤维布单元采用 Shell41 膜单元, 该单元只能承受拉力作用, 没有抗弯、抗压能力, 符合纤维布约束混凝土中的受力状况。

1.3 加载与边界条件

计算实例是轴心受压构件, 柱底假设为固定端自由度被完全约束, 柱顶固定其水平面的两个自由度, 对实体模型加载为了保证均匀受压采用面荷载施加在柱顶面上; 并在柱顶与柱底部位加 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 20\text{mm}$ 的弹性垫块, 单元类型为 Solid45, 防止约束直接加在混凝土节点上, 造成支座位置产生应力集中, 使求解失败。

2 材料模型

钢筋混凝土结构中混凝土、钢筋以及外包纤维布材料的本构关系是钢筋混凝土结构非线性数值分析的基础。

2.1 混凝土的本构关系

2.1.1 混凝土单轴受压的本构关系:

混凝土单轴受压应力应变关系 ANSYS 中为便于程序收敛采用二次曲线 + 水平直线段的形式, 即为我国《混凝土结构设计规范》(GB50010—2002) 中的应力应变关系曲线。

混凝土单轴受拉应力应变关系取理想弹性应力应变关系曲线, 破坏准则为拉应力达到设计强度 f_t 时混凝土开裂。

2.1.2 混凝土多轴受压的材料模型

ANSYS 中混凝土多轴受压的材料模型采用的是 WILLAM - WARNKER (1975) 的 5 参数模型材料, 该模型属于相关流塑性本构模型中理想弹塑性本构模型一类。

2.2 钢筋的本构关系^[1]

钢筋受压的应力应变一般采用双线性理想弹塑性模型, ANSYS 中使用经典的双线性随动强化 (BKIN), 其包括弹性斜率和塑性斜率, 其应力应变关系为: 当 $\varepsilon_s \leq \varepsilon_y$ 时, $\sigma_s = E_c \varepsilon_s$; 当 $\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$ 时, $\sigma_s = f_s$;

2.3 纤维布的本构关系

纤维布材料采用理想线弹性模型, 其应力应变关系为: 当 $f_{cf} \leq f_{cy}$ 时, $f_{cf} = E_{cf} \varepsilon_{cf}$; 当 $f_{cf} \geq f_{cy}$ 时, 纤维布拉伸破坏。

3 实例与分析

3.1 试验模型

5 根试验轴心受压柱: 柱高均为 700 mm, 均配置 $4\Phi 10$ 的纵筋和 $\Phi 6@150$ 的箍筋, 为防止试件端部混凝土局部压坏, 两端加密为 $\Phi 6@50$ 混凝土实测的立方体抗压强度 $f_{cu} = 21.5\text{MPa}$ 纵筋和箍筋实测抗拉屈服强度为 360MPa 和 210MPa 采用双向纤维布、纤维条宽 100mm、厚 1.3 mm, 试验变化参数为纤维布材料如表 1 所示。

表 1 试件不同加固材料

Tab 1 Different strengthening materials

试件编号	截面 /mm	加固层数	加固材料	加固间距 /mm
c1 柱	150 × 150		不加固	
Gc2 柱	150 × 150 (倒圆角)	2	玻璃纤维布	100
Gc3 柱		4	玻璃纤维布	
Gc8 柱		3	两层玻璃纤维布和一层碳纤维布	
Cc7 柱		2	碳纤维布	

3 2 ANSYS模拟结果分析

3 2 1 理论计算值与试验结果比较

表 2 为 5 组试件的试验结果和计算结果比较,由表 2 不难看出,计算结果与试验结果吻合较好,其相对误差均在 10% 以内,这表明用 ANSYS 来分析纤维布约束钢筋混凝土轴心受压柱的非线性时,所选择的计算模型和单元类型是合理的,计算结果是可靠的^[4]。

表 2 计算值与试验值

Tab 2 Test results and calculated results

破坏荷载值	c1 柱	Gc2 柱	Gc3 柱	GCc8 柱	Cc7 柱
试验结果 /kN	357.3	385.0	406.3	449.8	474.5
有限元 /kN	323.2	374.5	386.1	424.5	436.6
承载力提高值 /%	0	10.62	19.46	31.35	35.08
相对误差 /%	9.55	2.72	4.98	5.63	7.99

3 2 2 不同纤维布加固构件受力效果的影响

采用不同加固材料加固钢筋混凝土柱的轴心受压计算结果如表 2 所示,不同加固材料与荷载提高效果关系曲线如图 1 所示,荷载与混凝土纵向应变关系曲线如图 2 所示:

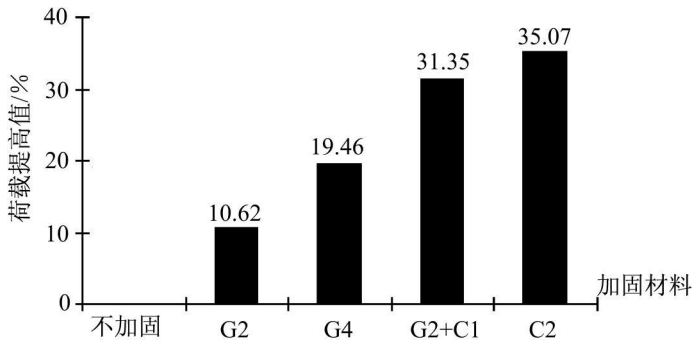


图1 不同加固材料与荷载提高关系曲线

Fig.1 Curves of different FRP and load enhance effect

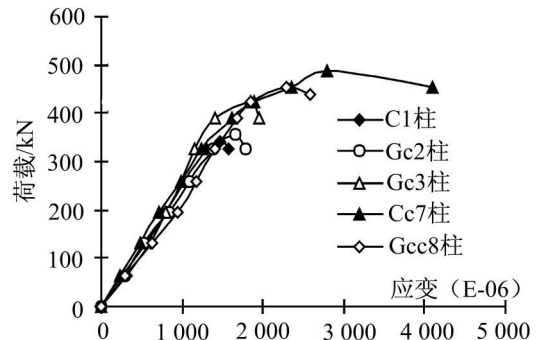


图2 荷载与纵向平均应变关系曲线

Fig.2 Curves of load and concrete longitudinal average strain

从表 2 数据、图 1 和图 2 关系曲线可以看出:

1) 碳纤维布加固钢筋混凝土柱对承载力的提高明显强于玻璃纤维布加固钢筋混凝土柱: Gc2 柱的承载力相对于 C1 柱承载力提高了 10.62%, Gc3 柱的承载力相对于 C1 柱承载力提高了 19.46%, GCc8 柱的承载力相对于 C1 柱承载力提高了 31.35%, Cc7 柱的承载力相对于 C1 柱承载力提高了 35.07%, 因此在构件截面形状、加固间距和加固方法相同的情况下碳纤维布加固钢筋混凝土柱对承载力的提高明显强于玻璃纤维布加固钢筋混凝土柱以及在经济条件许可的情况下,应优先选用碳纤维布来加固^[2]。

2) 从图 4~ 11 可以看出: Cc7 柱的极限压应变和破坏荷载最大, GCc8 柱次之, Gc2 柱最小。Cc7 柱和 GCc8 柱破坏时的极限应变大,对混凝土的约束效果较好,间接的提高了整个构件的延性,属塑性破坏性质; Gc2 柱和 Gc3 柱破坏时的极限应变小,具有相对的脆性性质。

3 2 3 破坏机理^[3]

用纤维布加固钢筋混凝土柱时,纤维布的主要作用就是对其内部混凝土起到了约束作用,由于纤维布的抗拉强度和弹性模量都很高,因此这种约束作用是很明显的。纤维布约束混凝土是一种被动约束,约束机制取决于 2 个因素:混凝土横向膨胀性能和外包纤维布的环向约束能力。纤维布约束混凝土表现出 2 阶段受力过程:第 1 阶段,混凝土处于类似素混凝土的线弹性阶段,横向膨胀变形小,纤维布横向应变也很小,故纤维布约束高强混凝土应力应变曲线的上升段与素混凝土基本相同,分界点在素混凝土峰值应力的附近;第 2 阶段,混凝土达到峰值应力后,其横向膨胀变形急剧增加,纤维布环向应变显著增长,环向约束

力增加,这就使得应力应变曲线的下降段变得较为平缓,混凝土的极限压应变得以提高,因而推迟了受压区混凝土的破碎,充分发挥了纵向钢筋的塑性变形性能,显著改善了构件的延性,提高了构件的承载力,这与箍筋的作用基本相同.同时从试验中可以看出,由于纤维布在其包裹范围内的连续使用,且直接约束最外层混凝土,所以它比箍筋的约束作用更为直接更加有效;约束机制如图 3 所示.

4 结论

以有限元为基础,运用 ANSYS 软件对不同纤维材料约束钢筋混凝土轴心受压柱进行了非线性分析,并将分析结果与试验结果进行了对比,得出以下结论:

1)纤维布加固后柱的裂缝出现较晚,且发展缓慢;纤维布有效约束了混凝土的横向变形,使混凝土处于三向受压状态,推迟了混凝土的破碎,使纵向钢筋的塑性变形能得到充分发挥,改善了构件的延性和破坏形态,其中碳纤维布加固柱的性能改善更为显著.

2)纤维布包裹加固钢筋混凝土柱可明显提高柱的轴压承载力和极限应变,其承载力和极限压应变的提高随纤维布约束能力的增强而增加,即纤维布抗拉强度越高,加固效果越好.

3)碳纤维布加固柱的承载力和压应变的提高明显大于玻璃纤维布加固柱,在实际加固工程中,如经济条件许可,应尽量采用高强高弹的碳纤维布.

4)合理地选用有限元单元类型、材料模型和有限元计算模型,可以对纤维布约束钢筋混凝土结构的受压性能作准确的模拟,从而达到减轻试验工作量,提高工作效率的目的.

参考文献:

- [1] 陆征新,江见鲸. Soli65单元分析混凝土组合构件复杂应力[J]. 建筑结构, 2003, 33(6): 22-24.
- [2] 惠军民,孙静,屈永照. 碳纤维布和玻璃纤维布加固柱的特性分析[J]. 西安理工大学学报, 2003, 19(3): 261-264.
- [3] 赵彤,谢剑著. 碳纤维布补强加固混凝土结构新技术[M]. 天津:天津大学出版社 2001.
- [4] 周志军,郭光玲. 纤维布包裹钢筋混凝土轴心受压柱有限元数值模拟[J]. 四川建筑科学研究, 2006 32(4): 55-57

(上接第 28 页)

3 结论

山洪灾害自动测报系统采用现代最新信息技术方法进行测报,可以改变传统的人工测报方法,在数据传输方面有所创新,是地形复杂地区进行山洪灾害自动预测的有效手段.此系统集成目前较为先进的科技资源,实现测报功能,具有科技减灾、保持当地经济持续增长和维护社会稳定的现实意义,有很强的推广和实用价值.

参考文献:

- [1] 马东涛,张金山. 云南盈江滑坡泥石流山洪灾害成因及减灾对策[J]. 灾害学, 2005, (1): 61-71.
- [2] 胡伯谦. 河北省诱发山洪灾害的临界雨量分析[J]. 南水北调与水利科技, 2006(B06): 28-29
- [3] 王仁乔,周月华. 湖北省山洪灾害临界雨量及降雨区划研究[J]. 高原气象, 2006(2): 330-334

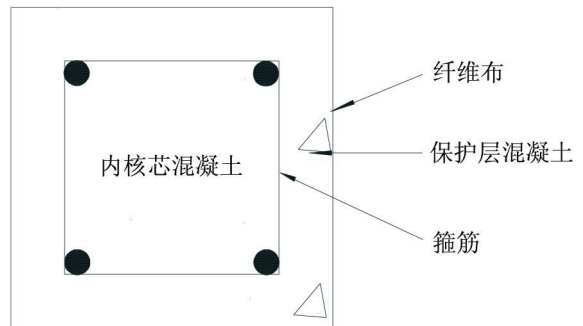


图3 约束机制示意图

Fig.3 Sketch map of FRP confined mechanism