

文章编号:1673-9469(2010)02-0019-03

湿式外包钢法加固 RC-L形柱的有限元仿真分析

李秋英,刘丽丽,董宏伟

(河北工程大学 土木工程学院,河北 邯郸 056038)

摘要:利用有限元分析软件 ANSYS 设置混凝土、钢筋和外包角钢的单元类型、控制参数及材料模型,进行精细网格划分,建立实足尺寸的湿式外包钢加固 RC-L形柱的有限元模型。有限元仿真分析得到了 RC-L形柱模型中混凝土、钢筋骨架及外包角钢的应力云图和相应的荷载位移曲线。在相同的边界条件及加载模式下,相比未加固柱模型,湿式外包钢加固模型破坏前用了较多荷载子步数且产生较小位移。对比分析结果,得出湿式外包钢加固法应用于钢筋混凝土异形柱构件的加固具有良好的性能。

关键词:有限元仿真;湿式外包钢加固法;异形柱;ANSYS

中图分类号: **文献标识码:**A

The FEM simulation analysis of RC column with L shape reinforced by wet - enclosing steel

LI Qiu-ying, LIU Li-li, DONG Hong-wei

(School of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

Abstract: The finite element model of full size RC-L column is established by using finite element analysis software ANSYS. The element types, control parameters and material models of concrete, steel bar and angle are set respectively and the grids are divided finely. Based on the analysis of FEM simulation, the stress and the corresponding load-displacement curves of concrete, steel skeleton and the external angle of RC-L-shaped column model are obtained. Under the same boundary conditions and loading, the model reinforced by wet-enclosing steel takes more load steps and produces a smaller sub-shift before the damage when compared with the model without reinforcement. Comparing with the analysis results, it can be seen that it has a good performance to reinforce RC column with special shape by wet-enclosing steel reinforcement method.

Key words: FEM simulation; wet-enclosing steel reinforcement method; special-shaped column; ANSYS

近年来,结构加固技术发展迅速并已得到高度重视,各种混凝土加固方法已进行了大量的试验和理论研究,并取得显著成果^[1-5],然而,钢筋混凝土异形柱加固的研究还比较少。湿式外包钢加固法在钢筋混凝土矩形截面构件的实际加固工程中,显示出良好的加固效果,但应用于异形截面柱的研究才刚刚起步。通过对湿式外包钢法加固钢筋混凝土异形柱的有限元模拟,分析湿式外包钢法加固 RC-L形柱建模过程,对比未加固柱模型,探讨湿式外包钢法加固 RC-L形柱的力学性能,

为实际工程应用提供可靠的参考。

1 有限元模型的建立

采用分离式模型将混凝土和钢筋作为不同的单元来处理^[6-7]。外包角钢与混凝土之间通过环氧树脂粘结,两者之间不会发生相对滑移,建模时使角钢与混凝土共用节点,从而保证两者之间的位移协调。

收稿日期:2010-3-09

作者简介:李秋英(1965-),河北永年人,教授,从事结构工程教学和研究工作。

1.1 湿式外包钢加固法

外包钢加固法应用于 L 形钢筋混凝土柱, 将外包角钢焊成构架并灌注结构胶粘剂, 以达到整体受力、共同约束原构件的要求(图 1)。因构件截面放大不多, 对建筑物的使用条件不构成损害, 在对构件的刚度变化也没有造成太多影响的前提下, 用来取代放大截面法用于混凝土强度等级偏低、混凝土强度离散型大或钢筋含量不足以及不能满足承载力要求的构件加固, 不失其优越性^[8]。

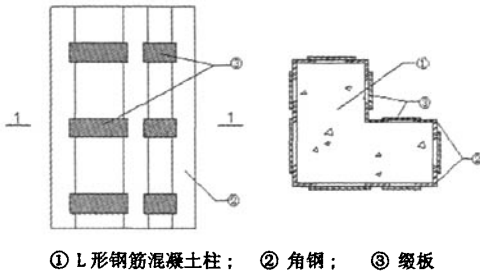


图1 外包钢加固示意图

Fig.1 Diagram of the wet-enclosing steel reinforcement

1.2 单元类型选取及实常数设置

混凝土采用 Solid65 单元^[9], Solid65 单元应力应变关系的总刚度矩阵表达式为

$$[D] = (1 - \sum_{i=1}^N V_i^R) [D^C] + \sum_{i=1}^N V_i^R [D^R]$$

其中 N —加固材料的数目; V_i^R —加固物的体积率; $[D^C]$ —混凝土贡献的刚度矩阵。

钢筋采用 Link8 单元, 分别设置纵向钢筋与箍筋的实常数, 纵筋截面积 $a_1 = 314\text{mm}^2$, 箍筋截面积 $a_2 = 50.24\text{mm}^2$; 纵筋为 12B16, 箍筋为 A8@100 全长加密。外包角钢采用 Shell43 单元, 采用角钢厚度 $d = 5\text{mm}$ 。

刚性垫块采用 Solid45 单位, 在柱端部加设刚性垫块, 以避免加载过程中产生应力集中现象而导致分析失真。加固用的缀材采用与箍筋同样的单元类型与实常数, 缀材使用直径为 8mm 钢筋条来连接各角钢, 沿柱体纵向间距 400mm。

1.3 材料模型的建立

混凝土材料模型: 不考虑混凝土应力应变关系的下降段, 采用 Rusch 混凝土本构关系; 采用常用的 Willam - Warnke 五参数强度准则作为混凝土的破坏准则, 关闭混凝土压碎检查开关。

钢筋材料模型: 钢筋采用理想的弹塑性本构关系, 设置为双线性随动强化模型。

1.4 实体建模

采用自底向上的实体建模方式(图 2), 模型尺寸为: RC - L 形柱肢高 500mm, 肢厚 200mm; 外包角钢 50mm × 50mm × 5mm。

2 有限元仿真分析

2.1 加载方法控制参数及求解方法

外包钢加固 RC - L 形柱模型与未加固柱模型采用完全相同的加载方式与控制参数。为模拟 L 形柱的小偏心受压状态, 将柱端底面设置为 6 个方向约束的固定支座, 柱顶端面设置为自由端, 对柱顶刚性垫块顶面实施竖向位移加载控制, 设置足够的子步数, 激活自动时间步长, 激活大变形选项, 使用 Newton - Raphson 法进行非线性求解^[10]。

2.2 有限元仿真结果分析

图 3(a) 显示了未加固的 RC - L 形柱的混凝土第一批裂缝产生情况, 上部右侧受压区裂缝密集, 满足小偏心受压状态下混凝土破坏情况的理论分析。

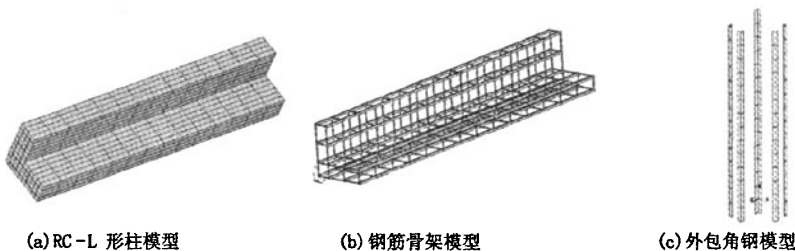


图2 RC-L形柱、钢筋骨架及外包角钢的实体模型

Fig.2 Physical models of RC column with L shape, reinforced skeleton frame and angle steel

图 3(b)为钢筋骨架应力强度云图,可以看出,在小偏心受压状态下,上部受压区及下部受拉区钢筋骨架应力较大,同样符合理论分析。分析有限元模拟结果显示:未加固柱的混凝土破坏时单元最大位移为 113.827mm,经外包钢加固后 RC-L 形柱的混凝土破坏时单元最大位移为 95.299mm,可以看出外包角钢及缀材对核心混凝土起到了一定的约束作用。

图 3(c)为加固用外包角钢的第一主应力云图,图中颜色的差异代表区域应力的差异,红色为最大

应力部位,蓝色为较小应力部位。由于外包角钢及加固用缀材组成了柱外围钢筋骨架,其不仅起到对混凝土柱的约束作用,而且还直接承担一部分荷载,图中 1、2 角钢的下方显示出较大应力,是因为角钢骨架在受小偏心受压时在底部产生了较大应力,而其上方应力却很小,是因为此处的大部分荷载由核心混凝土承担;图中角钢 3 的上部显示出较大应力存在,主要因为此有限元模型的角钢与混凝土柱共用节点,柱顶受偏心荷载时产生侧移而引起了一侧的外包角钢受拉。

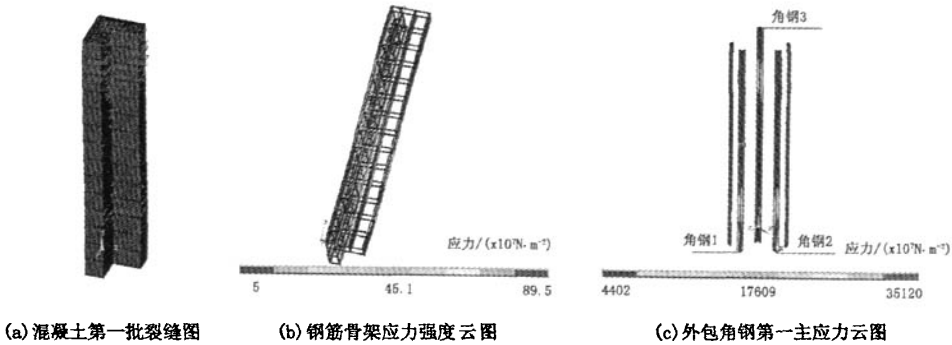


图3 有限元分析结果图
Fig.3 Outcome of finite element analysis

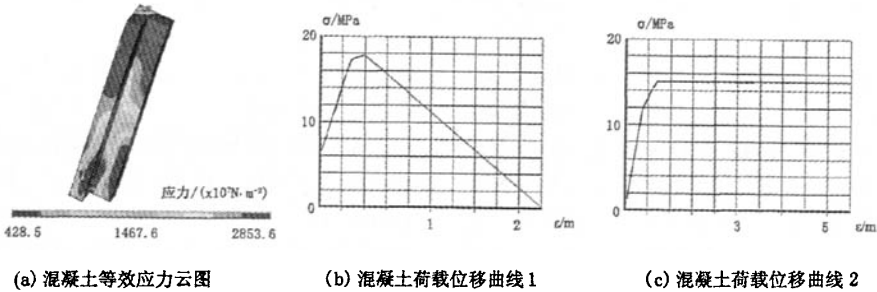


图4 混凝土等效应力云图与荷载位移曲线
Fig.4 Von-mises stress and load-deformation curves of concrete

有限元仿真分析同时得到了混凝土等效应力云图(图 4(a))与钢筋骨架应力云图(图 3(b))有相似之处,主要因为模型假定了钢筋与混凝土两者材料之间无滑移。图 4(b)与图 4(c)分别为 627 节点处混凝土单元在未加固与经外包钢加固过的荷载位移曲线,模型中的 627 节点位于 L 形柱模型背部下方,未加固时单元最大位移值较大并产生了负

值,加固过的单元最大位移值较小,主要因为 L 形柱此处的外包角钢与混凝土共同工作。

3 结论

在相同的边界条件及加载模式下,相比未加固柱模型,湿式外包钢加固模型破坏(下转第 29 页)

- [3] 姜新佩, 刘丽娜, 邓子辰. 预应力碳纤维布加固钢筋混凝土梁的实验研究[J]. 西北工业大学学报, 2007, 25(4): 492 - 497.
- [4] 郝文化. ANSYS 土木工程应用实例[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [5] 王小燕, 闫博文, 姜新佩. 预应力碳纤维加固 RC 梁的有限元分析[J]. 华北水利水电学报, 2009, 30(2): 40 - 44.
- [6] 过镇海, 时旭东. 钢筋混凝土原理和分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [7] 袁勇. 混凝土结构早期裂缝控制[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [8] 张可禾, 周立欣, 董亚男. CFRP 加固带裂疑向板的计算及有限元分析[J]. 黑龙江科技学院学报, 2009, 19(4): 301 - 305.
- [9] 邓子辰, 姜新佩. 预应力碳纤维加固混凝土梁技术问题探讨[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2007, 24(4): 15 - 18.
- [10] 姜新佩, 王小燕, 刘丽娜. 预应力碳纤维加固 RC 梁挠度和裂缝计算[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2008, 25(4): 10 - 13

(责任编辑 马立)

(上接第 21 页)前用了较多荷载子步数且产生较小位移,具有良好的性能。有限元仿真分析能够较好地模拟湿式外包钢加固 RC - L 形柱的力学性能,可以取代部分实体实验,为实际工程应用提供可靠的参考。

参考文献:

- [1] GHOBABAH A, SAID A. Shear strengthening of beam - column joints[J]. *Engineering Structures*, 2002, 24: 881 - 888.
- [2] HADIMNS. Behavior of FRP strengthened concrete columns under eccentric compression loading [J]. *Composite Structures*, 2007, 77(1): 92 - 96.
- [3] 刘瑛, 赵金先, 荣强. 湿式外包钢加固钢筋混凝土柱抗震性能试验研究[J]. 世界地震工程, 2004, 20(1): 105 - 111.
- [4] GB50367 - 2006, 混凝土结构加固设计规范[S].

(上接第 24 页)

参考文献:

- [1] PARK S, CHOI S, SIKORSKY C, *et al.* Efficient method for calculation of system reliability of a complex structure [J]. *International Journal of Solids and Structures*, 2004, 41(18 - 19): 5034 - 5050.
- [2] GB50292 - 99. 民用建筑可靠性鉴定标准[S].
- [3] 杨志民. 未确知信息的数学处理方法[J]. 中国管理科学, 2000, 11(8): 192 - 196.
- [4] 浦津修. 关于鉴定评级分级标准问题[J]. 工业建筑, 1990, 20(11): 5 - 8.
- [5] 陈少杰, 顾祥林, 张伟平. 层次分析法在既有建筑结构体系可靠性评定中的应用[J]. 结构工程师, 2005, 21(2): 31 - 35.

- [5] 张俊杰, 何陶. 型钢轻骨料混凝土梁正截面受弯裂缝实验[J]. 黑龙江科技学院学报, 2009, 9(6): 482 - 485.
- [6] 李华, 黎立云. 钢管混凝土组合节点的非线性有限元分析[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2010, 27(1): 25 - 28.
- [7] 芳枋, 卫建祥, 慈军, 等. 工程结构的非线性有限元分析[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2008, 25(3): 30 - 33.
- [8] 谢征勋, 谢敏. 工程事故与安全 - 结构加固技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.
- [9] 王吉忠, 杨辉, 王苏岩. CFRP 加固高强混凝土柱试验及有限元分析[J]. 武汉大学学报(工学版), 2008, 41(增刊): 6 - 10.
- [10] 郝文化, 肖新标. ANSYS7.0 实例分析与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.

(责任编辑 马立)

- [6] 顾祥林, 陈少杰, 张伟平. 既有建筑结构体系可靠性评估实用方法[J]. 结构工程师, 2007, 23(4): 12 - 17.
- [7] 丁传波, 关柯, 李恩霖. 施工企业安全评价研究[J]. 建筑技术, 2004, 35(3): 214 - 215.
- [8] 杨树标, 胡光园, 李荣华. 建筑结构的复合加层减震分析[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2009, 26(1): 1 - 4
- [9] 刘开第, 吴和琴, 庞彦军. 不确定性信息数学处理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [10] FABIAN C H. Analysis of events in recent structural failures [J]. *Journal of Structural Engineering*, 1985, 111(7): 1468 - 1481.
- [11] WALKER A C. Study and analysis of the first 120 failure cases, structural failures in buildings[M]. London: The Institution of Structural Engineers, 1981.

(责任编辑 马立)