

文章编号: 1000-5471(2008)04-0113-04

钢筋混凝土梁抗弯承载力有限元分析^①

鲍安红¹, 谭贤秀¹, 姜渝²

1. 西南大学 工程技术学院, 重庆 400716; 2. 中国人民解放军第 6905 工厂, 重庆 400700

摘要: 利用大型通用有限元软件 ANSYS10.0, 对钢筋混凝土梁的抗弯性能进行了有限元仿真分析, 包括开裂荷载、屈服荷载、极限荷载、挠度、裂缝、应力应变分布等. 仿真结果与理论结果吻合很好. 此方法可以应用于钢筋混凝土梁构件承载能力的分析.

关键词: 钢筋混凝土梁; 抗弯承载力; 有限元分析

中图分类号: TU37

文献标识码: A

钢筋混凝土结构是现代土木工程中最常用的结构形式. 本文利用大型通用有限元软件 ANSYS10.0, 对钢筋混凝土梁的抗弯性能进行了有限元仿真分析, 即避免了试验费用高、试验结果离散等优点, 还能更全面的观测钢筋混凝土梁的加载变化过程.

1 钢筋混凝土梁模型

简支钢筋混凝土梁承受对称集中荷载作用, 梁长 1 500 mm, 截面尺寸 100 mm×200 mm, 见图 1. 采用 C30 混凝土, 保护层厚度均为 25 mm, II 级螺纹钢(HRB335), 纵筋配筋率为 1.29%; II 级光圆箍筋, 间距为 180 mm, 防止发生剪切破坏. 混凝土弹性模量 $E_c=3\times 10^4$ MPa, 泊松比 $\nu_c=0.2$, 抗拉强度 $f_t=2.01$ MPa, 抗压强度 $f_c=20.1$ MPa, 闭合剪力传递系数取 0.9, 开裂剪力传递系数为 0.5. 钢筋弹性模量 $E=2\times 10^5$ MPa, 泊松比 $\nu=0.3$, 屈服强度 $f_y=335$ MPa.

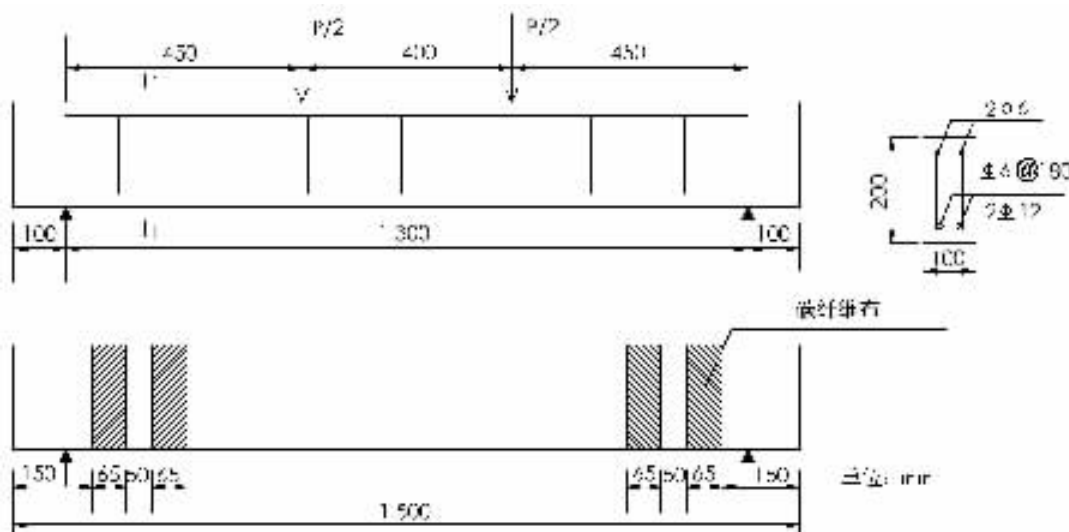


图 1 钢筋混凝土梁模型图

① 收稿日期: 2008-02-18

作者简介: 鲍安红(1969-), 女, 重庆潼南人, 博士, 副教授, 主要从事生态建筑与结构优化设计研究.

双筋矩形截面所承受的弯矩由下面两式求得^[1]:

$$\alpha_1 f_c b x + f'_y A'_s = f_y A_s \quad (1)$$

$$M = \alpha_1 f_c b x (h_0 - 0.5x) + f'_y A'_s (h_0 - a') \quad (2)$$

2 有限元模型

2.1 材料本构关系^[2]

混凝土受压应力—应变曲线考虑美国 E. Hognestad 建议的模型, 该模型上升段为二次抛物线, 下降段为斜直线。

$$\text{当 } \epsilon \leq \epsilon_0 \text{ 时, } \sigma = f_c \left[2 \frac{\epsilon}{\epsilon_0} - \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_0} \right)^2 \right] \quad (3)$$

$$\text{当 } \epsilon_0 \leq \epsilon \leq \epsilon_u \text{ 时, } \sigma = f_c \left[1 - 0.15 \frac{\epsilon - \epsilon_0}{\epsilon_u - \epsilon_0} \right] \quad (4)$$

其中: $\epsilon_0 = 0.002$; $\epsilon_u = 0.0038$

钢筋应力应变关系采用 Y. Higashibata 提出的应力应变关系曲线, 将强化段简化为直线(坡度为 $tg\theta' = E'_s = 0.001E_s$)。

$$\text{当 } \epsilon_s \leq \epsilon_y \text{ 时, } \sigma_s = E_s \epsilon_s (E_s = f_y / \epsilon_y) \quad (5)$$

$$\text{当 } \epsilon_y \leq \epsilon_s \leq \epsilon_{s,u} \text{ 时, } \sigma_s = f_y + (\epsilon_{s,u} - \epsilon_{s,h}) tg\theta' \quad (6)$$

2.2 材料单元选取

混凝土和钢筋采用分离式模型建模。混凝土选取 Solid65 单元, 钢筋选取 Link8 单元^[3]。混凝土屈服准则采用多线性随动强化模型(MKIN), 钢筋采用双线性随动强化模型(BKIN)。

为避免应力集中, 分别在钢筋混凝土梁的集中荷载处和支座处建立刚性垫块, 垫块大小为 $100 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$, 采用 Solid45 单元, 弹性模量取钢的弹性模量。

2.3 基本假设

(1) 钢筋和混凝土有足够的粘结, 无相对滑移, 变形协调;

(2) 荷载作用在相应尺寸的节点上, 有限元结构直接通过节点的相互作用承受荷载, 直接将荷载施加在节点上。

2.4 模型处理

采用实体建模功能直接建模, 映射网格划分单元。ANSYS 软件规定单元的长宽比不应大于 $20:1$, 控制在 $5:1$ 范围内能取得比较好的结果。混凝土单元尺寸为: $25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$, 箍筋单元为长 25 mm , 纵筋单元长为 10 mm 。

对重合节点进行耦合, 不重合节点采用约束方程耦合, 确保钢筋和混凝土有足够好的粘结而无相对滑移。两端简支约束, 在荷载作用下, 一端能转动而不能平动, 另一端有转动且可有梁轴方向的平动。分级加载, 以 1 kN 为变量增加直至钢筋混凝土梁破坏。

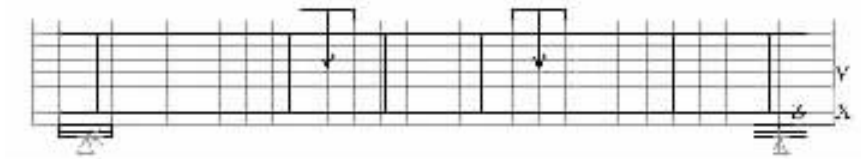


图 2 模型单元及荷载图

3 计算结果分析

图 3 为钢筋混凝土梁跨中节点的荷载—位移曲线图, 从图中可以看出, 钢筋混凝土梁经历了三个受力阶段:

弹性阶段: 荷载初始, 钢筋混凝土梁处于弹性受力阶段, 钢筋和混凝土共同受拉。当荷载增加到 9 kN ,

弯矩为 2.03 kN·m 时, 钢筋混凝土梁跨中的内部单元开始出现微小的裂缝, 混凝土单元最大主拉应力为 1.84 MPa, 受拉钢筋轴向应力为 53.72 MPa, 上部架力筋应力 25.49 MPa.

带裂缝工作阶段: 梁开裂后刚度降低, 随着荷载增加, 竖向裂缝在梁的纵向方向增多, 逐步出现横向裂缝, 宽度增大, 当荷载增加到 25kN, 跨中弯矩为 5.6 kN·m 时, 梁外部侧面出现裂缝. 受拉钢筋轴向应力为 156.43 MPa, 上部架力筋应力为 70.1 MPa. 混凝土中有 3 个单元的最大主拉应力为 2.4 MPa, 分析原因为该单元与钢筋耦合, 受钢筋应力影响, 单元平均应力增加, 但对整个计算影响不大.

屈服破坏阶段: 当荷载达到 52 kN, 跨中弯矩为 11.7 kN·m 时, 截面受拉钢筋应力为 336 MPa, 钢筋屈服, 混凝土出现大量的裂缝, 钢筋混凝土梁跨中位移快速增长, 直至承载能力极限, 此时集中荷载达到 63 kN, 跨中弯矩为 14.05 kN·m, 受拉钢筋轴向应力为 377.70 MPa, 上部架力筋应力 339.46 MPa.

由于有限元分析中没有考虑混凝土的压碎, 以钢筋的屈服为钢筋混凝土梁破坏的标准. 破坏时梁挠度为 3.47 mm. 整个受力过程中, 跨中的箍筋应力最大, 向两端逐渐减小. 有限元分析计算结果与试验值^[4]和理论值的比较见表 1, 各值吻合较好, 误差较小.

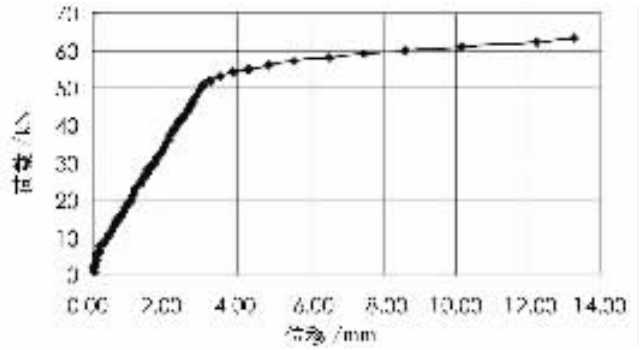


图 3 钢筋混凝土梁跨中节点荷载 - 位移图

表 1 计算结果对比

kN·m

	开裂荷载(外)	屈服荷载	极限荷载	破坏方式	误差
试验值	5.6	11	12.0	混凝土压碎	2.5%
有限元	5.6	11.7	11.7	钢筋屈服	
理论值			12.0	混凝土压碎	2.5%

图 4 为钢筋混凝土梁底部中间节点的第一主应力和等效应力 - 荷载曲线图. 加载初始阶段, 梁处于弹性受力阶段, 应力呈线性增长, 随着荷载增加, 单元内部出现微小裂缝, 节点应力重分布, 开裂剪力传递系数降低, 在逐级荷载作用下, 应力出现新的增长, 但低于未开裂的应力水平, 随着单元内部裂缝扩展, 应力不断重分布, 直至混凝土单元受拉破坏. 节点变形图和混凝土裂缝分布图如下:

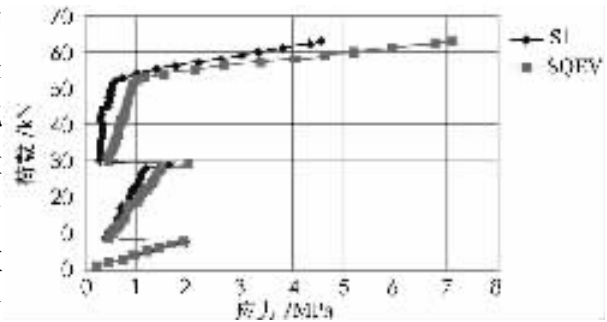


图 4 跨中节点及单元的时间 - 应力图

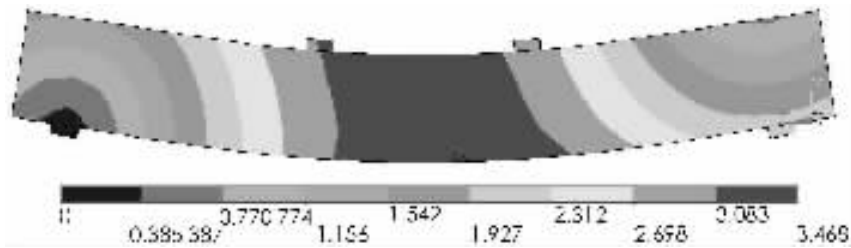


图 5 各节点位移分布



图 6 混凝土裂缝分布

4 结论与建议

1)有限元仿真计算和试验、理论计算所得各项荷载吻合较好,说明建立的有限元模型合理.此次分析没有考虑钢筋和混凝土的粘结滑移,如果要模拟钢筋和混凝土之间的粘结滑移关系,可以加入由转动自由度的单元进行分析.

2)利用 ANSYS 软件所提供的强大的后处理功能,可把这些特征值以彩色云图、曲线、图表、动画等形式输出.比实际试验更优越的是,可以知道在任意时刻、任何截面或任何一点的应力、应变、位移等.该方法还可用于钢筋混凝土结构的受力分析,以及相关专业的教学实践中.

参考文献:

- [1] 腾智明,朱金铨.混凝土结构及砌体结构[M].北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [2] 朱伯龙.钢筋混凝土非线性分析[M].上海:同济大学出版社,1985.
- [3] 李 围. ANSYS 土木工程应用实例[M].北京:中国水利水电出版社,2005.
- [4] 王怀亮.碳纤维片材加固混凝土梁的试验和理论研究[D].华北水利水电学院,2004.

Finite Element Analysis for Bending Resistance of Reinforced Concrete Beams

BAO An-hong¹, TAN Xian-xiu¹, JIANG Yu²

1. College of Engineering & Technology, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2. The 6905 factory of People Liberation Army of China, Chongqing 400700, China

Abstract: The bending resistance function of a reinforced concrete beam is simulated by using ANSYS 10.0 software. The simulation includes critical loads, displacement, stress distribution, and so on. The crush load and the yield load are found to agree with the actual loads. The method may be used to simulate the load capacity of RC beams.

Key words: reinforced concrete beams; the bending resistance; finite element analysis(FEA)

责任编辑 汤振全