

基于 ADINA 钢筋混凝土结构非线性分析

张雪娜¹, 韩明一², 朱旭梅³

(1. 青岛理工大学管理学院, 山东 青岛 266520; 2. 中国石油大学(华东)储运与建筑工程学院, 山东 青岛 266555;

3. 中国石油大学(华东)经济管理学院, 山东 青岛 266555)

【摘要】 介绍了 ADINA 中钢筋混凝土的本构模型及破坏准则, 讨论了应用 ADINA 对预应力钢筋混凝土进行非线性分析时, 混凝土和预应力钢筋有限元模型以及预应力的处理方式。以一根简支梁为实例, 应用 ADINA 对简支梁进行非线性分析, 将其数值计算结果与理论计算结果对比, 结果表明 ADINA 计算的结果比较接近理论值, 误差在工程允许范围内, 因此可以应用 ADINA 对预应力钢筋混凝土结构进行非线性分析, 对今后进行复杂的预应力混凝土结构非线性分析提供参考价值。

【关键词】 ADINA; 预应力钢筋混凝土; 非线性分析

【中图分类号】 TU375

【文献标识码】 A

【文章编号】 1001-6864(2013)10-0040-02

THE NONLINEAR ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES BASED ON ADINA

ZHANG Xue-na¹, HAN Ming-yi², ZHU Xu-mei³

(1. School of Management, Qingdao Technological Univ., Shandong Qingdao 266520, China;

2. School of Storage & Transportation and Architecture Engi., China Univ. of Petroleum, Shandong Qingdao 266555, China; 3. China Univ. of Petroleum, Shandong Qingdao 266555, China)

Abstract: This paper introduced the reinforced concrete constitutive models and failure criteria in ADINA, and discusses application of the ADINA in nonlinear analysis of prestressed reinforced concrete, prestressed reinforced concrete, finite element model and method of disposal of the prestress. Taking a simply supported beam as an example, the ADINA is applied for the nonlinear analysis of simply supported beam, the numerical results is compared with the theoretical calculation results, the results show that the numerical results are close to the theoretical value, error is within the allowable range in the project, so we can use ADINA to deal with nonlinear analysis of prestressed reinforced concrete structure. It can provide the reference value for prestressed concrete structure nonlinear analysis in the future.

Key words: ADINA; prestressed reinforced concrete; nonlinear analysis

预应力混凝土由于具有结构的使用性能好、不开裂、减小变形、刚度大、耐久性好以及经济等优点, 目前已成为土木工程中的重要结构材料之一^[1]。由于钢筋混凝土是由两种性质不同的材料—钢筋和混凝土组合而成, 它的性能明显地依赖于这两种材料的性能, 特别是在非线性阶段, 钢筋和混凝土本身的非线性性能都不同程度在这种组合材料中反映出来, 由于钢筋和混凝土抗拉强度相差很大, 钢筋混凝土结构在正常使用状态下, 大部分结构都已经开裂进入非线性状态, 但钢筋并未屈服仍在弹性工作状态下, 这是用弹性分析方法求得的结构内力和变形都不能反映结构的实际工作状态, 而且传统的解析方法只能解决一些简单的钢筋混凝土结构^[2], 对于大量复杂的混凝土结构分析时, 只能用数值分析方法解决, 文中应用大

型通用软件 ADINA 对钢筋混凝土进行非线性分析, 结果表明数值解和解析解相差不大, 从而验证用 ADINA 处理钢筋混凝土结构的可行性。

1 ADINA 中钢筋混凝土的本构模型和破坏准则

(1) 混凝土的本构模型和破坏准则。预应力混凝土结构的本构关系对预应力混凝土结构有限元分析结果有重大影响, 因此选择恰当的本构模型至关重要。材料的本构关系, 反映了应力与应变之间相互联系的规律。在 ADINA 有限元程序中, 混凝土的应力应变关系采用多轴的应力应变关系, 而多轴的应力应变关系基于单轴的应力应变关系, 混凝土轴向受压时应力应变曲线的表达式^[3]:

$$\sigma = \frac{E\varepsilon}{A + B\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right) + C\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)^2 + D\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)^3} \quad (1)$$

式中 σ 为混凝土应力 N/mm^2 ; ε 为混凝土应变; E 为弹性模量 N/mm^2 ; A, B, C 和 D 为常数。

混凝土的破坏可分为受拉型和受压型破坏。受压型破坏特征是延性的, 而受拉型破坏是脆性的。受拉破坏是指主要拉应力达到了抗拉强度。受压型破坏中, 混凝土在各方面都丧失了强度, 表现为混凝土被压溃变软。因此, 混凝土的破坏理论表示了一种应力或应变状态, 在此状态下, 混凝土丧失了承载能力。拉坏和压溃由拉压破坏包络线决定, 在 ADINA 有限元软件中, 是通过输入 24 个离散的应力值来定义三轴压缩破坏包络面, 双轴混凝土的破坏包络线见图 1^[4]。

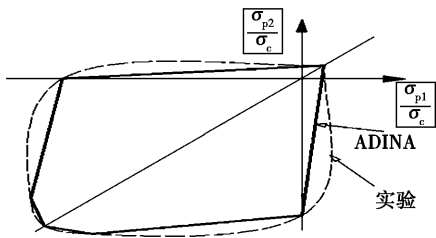


图1 双轴混凝土的破坏包络线

(2) 钢筋的本构模型和破坏准则。在 ADINA 中钢筋采用分离式模型, 这种模型把混凝土和钢筋作为不同的单元处理, 即混凝土和钢筋各自划分单元, 模型通过联结单元模拟钢筋和混凝土之间的粘结和滑移。在钢筋混凝土中, 钢筋处于单轴受力状态, 其应

力应变关系比较简单, ADINA 有限元程序中钢筋的应力应变曲线采用双折线模型。钢筋的屈服准则通常采用 Von Mises 屈服准则, 即当 $|\sigma_s| \geq f_y$ 时, 钢筋屈服, 进入塑性阶段。对无明显屈服点的预应力钢筋, 屈服应力通常取 0.2% 的应变时所对应应力值。

(3) ADINA 中预应力的处理。ADINA 有限元程序中, 预应力钢筋采用初应变的方法施加预应力, 即通过对单元和节点施加初试应变, 所施加的预应力考虑了预应力损失。施加的应变计算公式:

$$\varepsilon = \sigma / E_s \tag{2}$$

式中 σ 为考虑了预应力损失后的预应力; E_s 为预应力钢筋弹性模量。

2 实例分析

(1) 分析参数。以某后张预应力混凝土矩形截面简支梁为例, 计算跨径 12m, 截面高度 $h = 750mm$, 宽度 $b = 350mm$, 梁上作用均布荷载 $q = 30N/m$, 混凝土采用 C35, 预应力钢筋采用低松弛钢绞线, 非预应力钢筋采用 HRB335 级钢筋。

(2) 有限元建模。有限元模型见图 2 (由于对称, 取一半分析), 混凝土采用 8 节点 3-D Solid 单元, 普通钢筋和预应力钢筋采用 ADINA 专用的 Rebar 单元, 在对称端面上施加轴向约束, 简支端底部线上施加 Z 向约束^[5], 施加均布荷载和重力荷载, 网格密度设置整个模型单元尺寸为 0.1, 网格划分时仅对混凝土划分即可, 钢筋单元由 ADINA 程序自动生成划分。

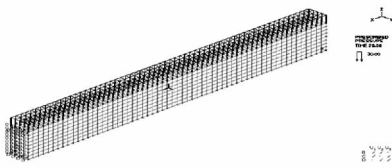


图2 预应力钢筋混凝土有限元模型

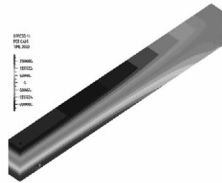


图3 普通钢筋混凝土简支梁应力

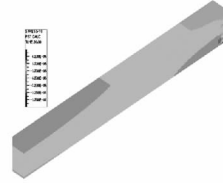


图4 预应力混凝土简支梁应力云图

3 结果分析

表 1 最大拉应力解析解和数值解比较

项目	四种解的结果	最大拉应力 /MPa
1	荷载作用下的解析解	2.304
2	荷载作用下的数值解	2.380
3	荷载和预应力作用下的解析解	1.558
4	荷载和预应力作用下的数值解	1.669

(1) 应力分析。从图 3 可看出, 在荷载作用下, 简支梁底部受拉, 顶部受压, 最大拉应力和压应力分别出现在对称面的底部和顶部, 且最大拉应力已超过混凝土的抗拉强度; 从图 4 可看出, 在荷载和预应力共同作用下, 简支梁受力更合理, 最大拉应力没有超过

混凝土的抗拉强度, 施加预应力可以减小简支梁底部的拉应力, 防止混凝土开裂。从表 1 可以看出, 用 ADINA 计算的解析解同按规范计算的解析解相比误差在 5% 以内, 符合工程要求。

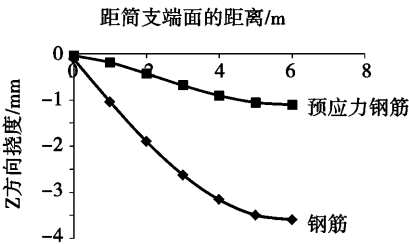


图5 挠度曲线图

(下转第 45 页)

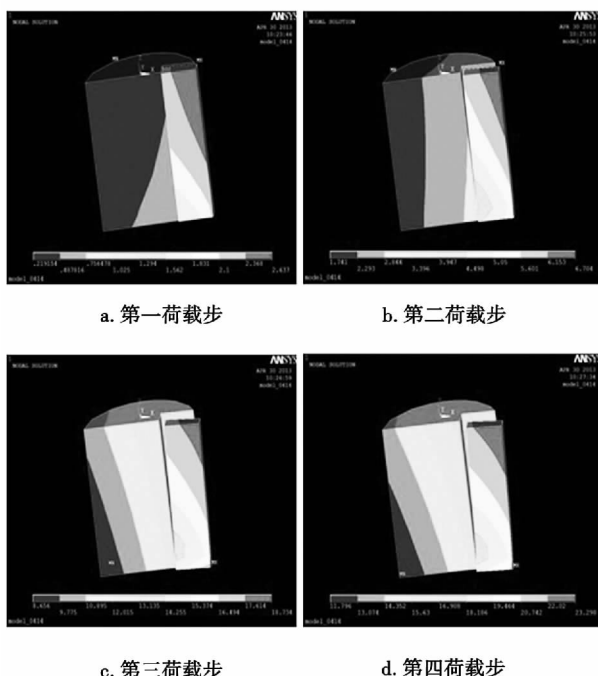


图6 榫头拔榫变形应力云图

由于额枋底面处顺纹受拉,产生较大应力、应变,最终

(上接第41页)

(2) 挠度分析。由图5可知,在对称面上梁的挠度最大,钢筋混凝土梁最大挠度为 -3.589mm ,预应力的钢筋混凝土梁最大挠度为 -1.1mm ;施加预应力可以减小梁的挠度,防止梁产生过大的变形。

(3) 裂纹分析。图6、图7中红色圆环表示处于张开状态的裂纹,蓝色圆环表示处于闭合状态的裂纹(裂纹开裂后,在多向力的作用下可能闭合,表示此刻局部为非扩展状态),星号表示受压产生的压溃破坏区域。

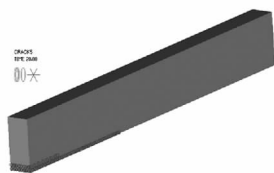


图6 钢筋混凝土裂纹显示

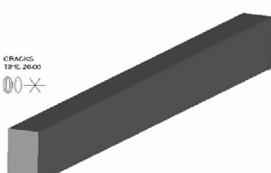


图7 预应力钢筋混凝土裂纹显示

图6看出,在简支梁底部产生了竖向裂缝,对称面底部裂缝开展最深,图7看出,由于施加了预应力,混凝土没有产生裂缝,预应力可以限制裂缝的产生。

4 结语

(1) ADINA有限元程序中,通过对钢筋单元和节点施加初应变的方法模拟预应力的施加,其模拟结果和实际比较吻合。

伴随着榫头底部压缩在榫卯底部沿额枋长度方向弯剪破坏;燕尾榫节点破坏的过程中结构表现出明显的拔榫现象,在竖向荷载作用下,伴随着榫头压缩变形,榫头顶部不断脱离卯口的约束,沿水平方向拔出。

参考文献

- [1] 丁磊,王志赛,俞茂宏. 西安鼓楼木结构的动力特性及地震反应分析[J]. 西安交通大学学报, 2003, 37(9): 956-95.
- [2] 石四军. 古建筑营造技术细部图解[M]. 辽宁: 辽宁科学技术出版社, 2010.
- [3] 梁思成. 清式营造则例[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1981.
- [4] GB50165-92, 古建筑木结构维护与加固技术规范[S].
- [5] 王天. 古代大木作静力初探[M]. 北京: 文物出版社, 1992.
- [6] 赵鸿铁,薛建阳,隋龔,谢启芳. 中国古建筑结构及其抗震[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [7] 隋龔. 古建筑木结构直榫和燕尾榫节点试验研究[J]. 世界地震工程, 2010, (2).

[收稿日期] 2013-06-26

[作者简介] 吴 洋(1987-),男,山东菏泽人,硕士研究生,研究方向: 古建筑木结构防灾减灾。

(2) 应用ADINA有限元软件对预应力混凝土简支梁进行模拟和数值计算,其模拟结果和理论计算结果比较接近,说明了文中模型建立方法的正确性,同时也表明应用ADINA对预应力钢筋混凝土结构作有限元分析是可行的。

(3) 对钢筋混凝土梁施加预应力,可以使其受力更合理,变形更小,并且还可以防止裂缝的产生。

参考文献

- [1] 王连广,刘莉. 现代预应力混凝土结构设计[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2009.
- [2] 吕西林,金国芳,吴晓涵. 钢筋混凝土结构非线性有限元理论与应用[M]. 上海: 同济大学出版社, 1999.
- [3] 朱兴吉. 大型预应力LNG储罐混凝土外墙结构非线性分析[D]. 青岛: 中国石油大学, 2009.
- [4] 程旭东,朱兴吉,胡晶晶. 大型LNG储罐预应力混凝土外墙应力分析与结构优化[J]. 油气储运, 2011, 30(11): 819-823.
- [5] 岳戈,陈权. ADINA应用基础与实例详解[M]. 北京: 北京人民交通出版社, 2008.

[收稿日期] 2013-06-24

[作者简介] 张雪娜(1991-),女,山东德州人,本科生,研究方向: 混凝土结构设计以及工程项目管理。