

文章编号: 1673- 9469(2011) 02- 0030- 03

钢筋弯曲过程的有限元模拟

孟欣佳¹, 张立香²

(1. 山西机电职业技术学院, 山西 长治 046011; 2. 中国农业大学 工学院, 北京 100083)

摘要: 本文针对钢筋在弯曲过程中的大变形及非线性的特点, 运用有限元分析软件 ANSYS/LS-DYNA 建立了钢筋弯箍系统的有限元模型, 对钢筋的弯曲过程进行了数值模拟, 并分析了钢筋在不同时刻的弯曲应力变化情况。当钢筋弯曲角度接近于零时, 钢筋产生的最大应力发生在与弯箍转套接触部位; 随着时间的增大, 与箍筋模接触部位的应力迅速增大, 且应力最大值逐渐由钢筋的边缘部位向中心部位靠近。

关键词: 钢筋弯曲; 弯箍; 数值模拟; 弯曲应力; ANSYS/LS-DYNA

中图分类号: TG333. 26

文献标识码: A

The steel bar bending process of finite element simulation

MENG Xin-jia¹, ZHANG Li-xiang²

(1. Shanxi Institute of Mechanical & Electrical Engineering, Shanxi Changzhi 046011, China;

2. China Agricultural University Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: Aimed at the large deformation and nonlinear characteristics of the steel bar in the bending process, the finite element model of the steel bar bending hoop system were established by using the finite element analysis software ANSYS/LS-DYNA. The process of the reinforcing steel bar bending was simulated and the bending stress changes of the steel bar in different time were analyzed. When the bending angle of the steel bar closed to zero, the biggest stress occurred in the contacting part of the steel bar and the bending hoop. With the time increasing, the steel bar and stirrup mode of contacting part stress increased rapidly, and the maximum stress gradually neared from the edge of the steel bar to the center.

Key words: steel bar bending; bending hoop; numerical simulation; bending stress; ANSYS/LS-DYNA

随着机电一体化技术的发展, 一些自动化程度较高的钢筋自动成型加工机已经出现。国外对这方面的研究起步较早, 从 20 世纪 80 年代初就开始研制这种机器。1998 年, Unimatic 18 XV 型钢筋自动成型加工机在 Stema 出现^[1]。我国的弯曲机从 70 年代开始起步, 80 年代初形成一定的规模。1996 年刘鸿鹰对 GW40B 型的钢筋弯曲机进行了深入的研究。目前弹塑性时程分析主要集中在复杂特殊结构工程应用上^[1-2], 常用结构软件包括 ANSYS、SAP2000、ETABS、Midas 等^[3]。本文选取工业中常用的 $\Phi 12$ 钢筋, 以弯曲角度为 90° 时为例, 采用 ANSYS 软件进行模拟分析, 为自动弯曲钢筋机的设计提供一定的理论基础, 并对手动弯曲钢

筋时具有现场指导意义。

1 实体模型的建立

ANSYS/LS-DYNA 可通过自身来建模, 也可通过外部的接口与 CAD 专用软件进行数据交换, 导入模型。为防止导入模型产生变形, 本文采用 LS-DYNA 自身来建模。

在建模过程中, 必须向程序提供统一单位制的数据, 否则将不能得到正确的分析结果^[4]。ANSYS/LS-DYNA 软件并没有为分析指定系统单位, 可以使用任何一套自封闭的单位制(自封闭是指这些单位量纲之间可以互相推导得出), 只要保证

收稿日期: 2011- 03- 23

作者简介: 孟欣佳(1982-), 男, 河北保定市人, 硕士研究生, 从事材料加工工程的研究与教学。

输入的所有数据的单位都是正在使用的同一套单位制里的单位即可。

在建模时, 将笛卡尔坐标系的 Z 轴, 也就是 ANSYS/LS-DYNA 软件默认的坐标系的 Z 轴设为弯箍转盘的回转轴。弯曲钢筋直径为 $\Phi 12$ 。所建立的实体模型如图 1 所示。

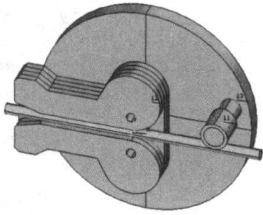


图1 钢筋弯曲的实体模型

Fig.1 The entity model of the steel bar bending

2 建立有限元模型

2.1 设置单元属性

本文中的模型均采用 SOLID164 实体单元。该单元由 8 节点构成, 只用在动力显示分析, 支持所有许可的非线性特性, 并且该单元不需要设置实常数。SOLID164 实体单元的积分算法有两种: 在默认的情况下采用一点的积分加上粘性沙漏控制来加快单元的方程式; 另一种是全积分算法, 虽无沙漏问题, 但计算速度缓慢, 是一种不常采用的算法。本文采用默认的积分算法。

2.2 定义材料模型

本文主要研究的内容是钢筋弯曲的变形过程, 而其他模型的变形可以忽略不计, 因此根据实际情况, 将箍筋模、弯箍转盘、转轴和转套定义为刚体, 钢筋为变形体模型。将箍筋模、弯箍转盘、转轴和转套定义为刚体可以大大减少显式分析的计算时间, 这是由于刚体内所有节点的自由度都耦合到刚性体的质量中心上去了, 不论定义了多少个节点, 刚性体仅有六个自由度。钢筋为变形体, 采用双线性各向同性硬化模型 (BISO), 该模型使用两种斜率 (弹性和塑性) 来表示材料的应力应变行为, 且为理想弹塑性变形体。由此得各材料模型的参数如表 1 所示。

表 1 模型的材料参数

Tab. 1 The material parameter of the model

| 项目 | 密度 /($\text{kg} \cdot \text{mm}^{-3}$) | 弹性模量 /kPa | 泊松 比 | 屈服 应力 /kPa | 切线 模量 |
|----------------|---|--------------------|---------|------------------|----------|
| 钢筋 | 7.83×10^{-5} | 2.06×10^5 | 0.3 | 4×10^5 | 0 |
| 箍筋模 | 7.83×10^{-5} | 2.06×10^5 | 0.3 | - | - |
| 弯箍转盘、 转轴、转套 | 7.83×10^{-5} | 2.06×10^5 | 0.3 | - | - |

2.3 划分网格

由于本文研究的实体模型较为复杂, 因此采用自由网格划分的方式。本文主要研究钢筋的变形情况, 为使研究的精度较高, 钢筋的网格划分应尽量密一些, 其他模型可以稀疏一些。为达到这一目的, 钢筋划分网格的单元边长设为 1.5, 箍筋模、弯箍转盘、转轴和转套的单元边长设为 2.5, 整个模型共得到 140 578 个单元, 166 001 个节点。据此所建立的有限元模型如图 2 所示。

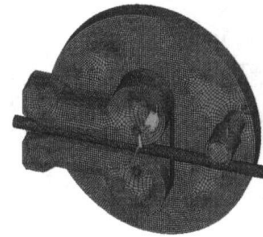


图2 钢筋弯曲的有限元模型

Fig.2 The finite element model of the steel bar bending

3 约束处理

在本模拟中, 箍筋模固定不动, 需限制所有的自由度 (弯箍转盘、转轴、转套限制 Z 方向的平动自由度, 并限制绕 X 、 Y 轴的转动自由度)。此外, 弯箍转盘在载荷的作用下, 只允许绕着回转中心旋转, 而且回转中心是固定不动的, 因此必须对弯箍转盘的回转轴施加约束, 否则在弯曲力的作用下弯箍转盘将会上下左右移动, 即同时限制弯箍转盘回转轴沿 X 轴和 Y 轴方向的平动自由度。

4 定义接触

接触算法是程序用来处理接触面的方法。在 ANSYS/LS-DYNA 中有单面接触(Single Surface)、点面接触(Nodes to Surface)和面面接触(Surface to Surface)。本文采用的是单面接触。单面接触用于当一个物体的外表面与自身接触或和另一个物体的外表面接触时使用。程序将搜索模型中的所有外表面,检查是否相互发生穿透。由于所有的外表面都在搜索范围内,因此不需要定义接触面与目标面,在预先不知接触情况时,单面接触非常有用。由于在接触分析中,很难判断钢筋与其它模型接触发生的方向,因此本文采用单面接触(Single Surface)中的自动接触(Automatic ASSC),它不需要人工干预接触发生的方向。

5 施加载荷

对于刚体,应该将载荷施加到 PART 号上,因此必须生成 PART 号。需要注意的是,在生成 PART 号之前,必须确认所有实体均被选择,以免遗漏某些实体。在本文模型中,共生成了 7 个 PART 号,弯箍转盘的 PART 号为 1。

在 ANSYS/LS-DYNA 有限元动态模拟过程中,在加载之前,首先要定义时间数组及其对应载荷数组。弯箍转盘的转速为 $1.08\pi/\text{s}$,本文的载荷分 5 步加载,载荷类型为 RBR,即弯箍转盘绕回转轴也就是 Z 轴转过的角位移。在 LS-DYNA 程序中,默认的角度单位是弧度(rad)。时间-载荷的数组取值如表 2 所示。

表 2 载荷(时间-角位移)

Tab. 2 The loading(time- angular displacement)

| TIME/s | 0 | 0.01 | 0.025 | 0.04 | 0.062 |
|---------|---|----------|----------|----------|----------|
| RBR/rad | 0 | -0.188 4 | -0.471 0 | -0.573 6 | -1.168 8 |

另外,在瞬态动力学问题中,经常需要定义系统的初始状态,如初始速度等。赋给初速度的对象可以是节点、组元和 PART 号。本文通过对弯箍转盘的 PART 号来施加初速度,弯箍转盘的初速度为 -18.84rad/s 。

6 不同时刻应力的变化情况

ANSYS/LS-DYNA 非线性有限元分析软件提

供了两种观察结果的方法: ANSYS 后处理器和 LS-Prepost 后处理器,本课题采用 LS-Prepost 后处理器来观察钢筋在弯曲过程中应力和变形情况。钢筋在弯曲过程中在不同时刻的应力分布如图 3 所示。

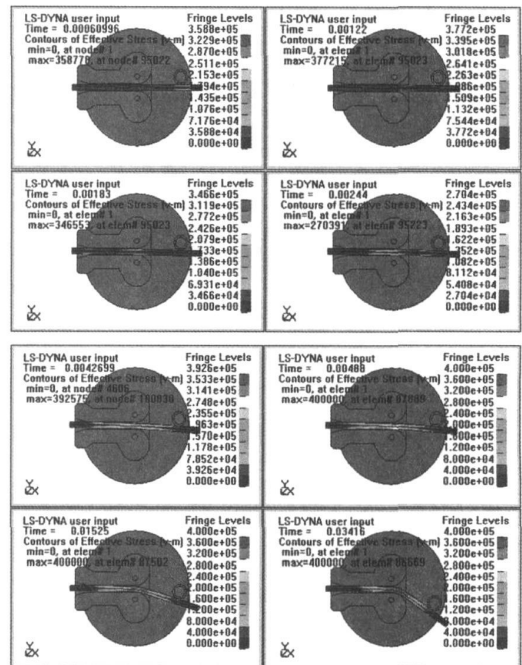


图 3 钢筋在弯曲过程中不同时刻的应力云图

Fig. 3 The stress contour in different times during steel bars bending

由图 3 可知:当弯箍转盘转过角度很小、钢筋弯曲角度接近于零时,钢筋产生的最大应力发生在与弯箍转套接触部位,但始终未达到屈服极限。随着时间的增大,与箍筋模接触部位的应力迅速增大,并很快超过屈服极限值,即进入弹塑性变形阶段。由图 3 可以看出当时间达到 0.004 3s 时,与箍筋模接触部位的应力已经非常接近屈服极限值,并且产生的应力最大值逐渐由钢筋的边缘部位向中心部位靠近。

7 结论

- 1) 在弹塑性范围内,利用有限元分析软件可以简便准确地分析钢筋弯曲的变形情况,并与实际结果基本相吻合。
- 2) 钢筋在弯曲过程中,弯曲角度约在 5° 以内时为弹性变形,之后进入弹塑性变形。
- 3) 钢筋弯曲时内部应力随弯曲时间、弯曲角度的增加逐渐增大,在弯曲时间为(下转第 37 页)

型的压碎开关关闭导致这几处的第一主应力和第三主应力早已超过了混凝土的相应允许值。说明混凝土已经在局部区域发生拉裂和压碎,但整个混凝土梁的大部分区域应力较小。

3) 在不同锚固长度时各钢材部件应力对比可见钢材应力很接近,锚固长度对其影响不大。

4) 张拉力达到 94kN 时反拱度为 4.55mm,与本文计算模型中的张拉力达到 96kN 时的反拱度为 4.47mm 相当接近。说明本文很好的模拟了张拉过程中混凝土梁的反应特性。

5) 锚固长度越大其跨中挠度(竖向位移与跨度比值)越小,说明锚固长度对反拱度和挠度有一定的影响。

6) 在张拉过程中,裂缝发育情况很接近,大部分分布在定位钢板处混凝土、插销处混凝土以及张拉处梁底混凝土。对于这三个关键部位,可以通过增设钢筋网片等措施来加强其附近混凝土的抵抗能力。

(上接第 32 页) 0.004 3s 时达到最大,之后最大应力值不再变化,最大应力区域由钢筋边缘向中心发展。因此在设计钢筋弯曲机或手工弯曲钢筋时,应注意并非弯曲到要求角度时钢筋内部应力才达到极值。在达到应力极值左右时,应施加合理的弯曲速度与弯曲力。

参考文献:

- [1] FORDE PAULSEN, TORGEIR WELO. Application of numerical simulation in the bending of aluminium alloy profiles [J]. Journal of Materials Processing Technology, 1996, 58

参考文献:

- [1] 重庆交通学院横张预应力混凝土课题组. 横张预应力混凝土技术在 T 型桥中的应用研究报告[R]. 1999.
- [2] 王世良,周志祥. 横张预应力技术在荣经大桥中的应用研究[EB/OL]. 中国技术专家网
- [3] 沈聚敏,王传志,江见鲸. 钢筋混凝土有限元与板壳极限分析[M]. 北京:清华大学出版社,1993.
- [4] 胡晓伦,周志祥. 横张预应力砼梁关键部位的应力分析[J]. 重庆交通学院学报,2004(1): 95-106.
- [5] 徐有邻,朱龙. 钢绞线基本性能与锚固长度的试验研究[J]. 建筑结构,1996(3): 34-38.
- [6] GB 50010-2002, 混凝土结构设计规范[S].
- [7] 周志祥. 预应力混凝土梁受载行为研究与新技术探索[D]. 重庆:西南交通大学,1998.
- [8] 杨勇. 横张预应力混凝土梁受弯性能试验研究[D]. 重庆:重庆交通学院,2003.
- [9] 郑升宝. 横张预应力混凝土梁抗剪性能的试验研究[D]. 重庆:重庆交通学院,2003.

(责任编辑 刘存英)

(5): 274-285.

- [2] 庄萌,王宗纲,钱稼茹. CNP1000 安全壳 1:10 模型的模态分析[J]. 河北工程大学学报(自然科学版),2007,24(13): 7-11.
- [3] 胡宝琳,李国强. 框架结构层间位移的分析方法比较[J]. 河北工程大学学报(自然科学版),2007,24(11): 17-19.
- [4] 何涛,杨竞,金鑫,等. ANSYS 10.0 LS-DYNA 非线性有限元分析实例指导教程[M]. 北京:机械工业出版社,2007.

(责任编辑 刘存英)