

基于 ABAQUS 平台的空间框架结构参数化建模开发与应用

李华伟 宋子龙

(兰州理工大学 土木工程学院 甘肃兰州 730050)

摘要: 基于有限元软件 ABAQUS 计算平台提供的二次开发脚本程序接口,开发了适用于空间框架结构的参数化建模脚本程序 Frame-3D。并在 ABAQUS 中利用该脚本程序对空间钢框架和钢管混凝土框架结构建模,通过算例计算分析验证了 Frame-3D 具有较高的建模效率以及其合理性。

关键词: 空间框架结构; ABAQUS; 参数化建模

中图分类号: TU201.4

文献标识码: A

文章编号: 1004-6135(2014)11-0114-03

The development and application of the spatial frame structure parametric modeling script based on ABAQUS

Li Huawei, SONG Zilong

(College of Civil Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050)

Abstract: Based on the script programming interface of the finite element software ABAQUS, the spatial frame structure parametric modeling script Frame-3D was developed in this paper. A steel spatial frame model and a concrete-filled steel tubular spatial frame model were built in ABAQUS by Frame-3D and the performance of these spatial frames were tested and verified. The results show that the developed program is reasonable and can improve the efficiency of modeling of the spatial frame structure.

Keywords: Spatial frame structure; ABAQUS; Parametric modeling

E-mail: cesongzl@gmail.com

引言

在结构体系的受力性能分析研究中,数值计算可作为一种重要有效的研究手段。结构体系的数值模型多采用杆系模型,由于实际结构的多样化和复杂性,其有限元软件中建立结构体系的数值模型是一项较为繁琐和复杂的工作。如果充分利用有限元软件的二次开发接口,可大大提高建模和分析效率,简化相应工程问题的有限元分析。

ABAQUS 作为大型通用有限元分析软件,具有强大的非线性求解平台,同时提供了丰富的二次开发接口,用户可通过以下四方面实现二次开发^[1]: 1) 通过环境初始化文件,可改变 ABAQUS 许多默认的设置; 2) 通过用户子程序接口,可开发新的计算模型,控制计算过程和计算结果; 3) 通过内核脚本接口,可实现前处理建模和后处理计算结果分析; 4) 通过图形用户接口,可创建新的图形用户界面和用户交互界面。因此用户根据特定的建模和分析需求,利用 ABAQUS 提供的二次开发接口能够进行自定义开发,提高有限元分析效率。

基于 ABAQUS 的参数化建模,多用于机械工程和材料工

程领域,在土木工程领域还并不多见。杨大彬等(2009)^[2]在 ABAQUS 中开发了空间网架结构的参数化建模程序。李华伟和王文达(2013)^[3]通过 ABAQUS 的参数化接口,编写了钢管混凝土构件的参数化脚本程序 CFST-3D。

目前基于 ABAQUS 平台的框架结构的参数化建模程序还未见相关报道,因此本文根据 ABAQUS 提供的内核脚本程序接口,利用 Python 语言开发了可实现框架结构参数化建模的脚本程序 Frame-3D,提高了空间框架结构在 ABAQUS 中的建模效率,为后续的结构体系分析提供了较快速便捷的建模方法。

1 ABAQUS 脚本接口介绍

ABAQUS 的脚本接口是基于 Python 语言进行开发定制的对象模型库,Python 语言通过调用这些内置的对象模型,绕过 ABAQUS/CAE 用户图形界面,直接与 ABAQUS 内核进行通信交互,大大提高建模的工作效率,同时可以完成 ABAQUS/CAE 没有提供的功能。将脚本程序提交给 ABAQUS 执行的过程为: 1) 脚本程序通过 ABAQUS 自带的 Python 解释器编译脚本; 2) 调用 ABAQUS 内核执行脚本命令; 3) 转化为 inp 模型文件; 4) 提交 ABAQUS 求解器进行分析计算。

2 开发过程

在空间框架建模过程中,先通过 Part 模块建立一榀平面框架,之后在 Assembly 模块中通过阵列平面框架,再加入垂直方向的梁,以及各层的楼板。实际建模过程如采用该传统的建



作者简介: 宋子龙(1989-)男。

收稿日期: 2014-06-16

模方法则费时较多。因此本文归纳在 ABAQUS 中建立框架结构数值几何模型的建模方法,主要为框架结构在各个方向的跨度和层数,以及层数和层高。

根据上述原理,编写了框架结构的几何参数化建模脚本程序,主要参数为框架结构在各个方向的跨度以及跨数和层数与层数。在 ABAQUS 中运行该程序,首先通过脚本接口,利用 `getInputs()` 函数来接收需要的建模信息参数,参数输入界面如图(1)所示,在该模型参数输入对话框中包含了所需的几何建模信息。点击对话框的 OK 按钮之后,根据 ABAQUS 脚本接口工作机理,通过内核命令调用 ABAQUS 中 Part 模块和 Assembly 模块的相应对象,实现框架结构的模型建立工作。

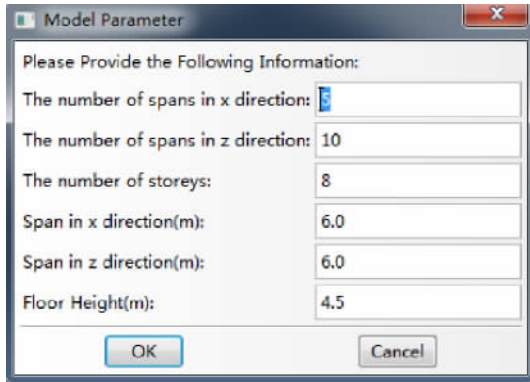


图1 模型参数输入框

为了扩展程序的可用性,Frame-3D 分为带楼板和不带楼板的脚本程序(图2)为不带楼板的空问框架模型,(图3)为带楼板的空问框架模型。两者之间的模型参数输入框一致。

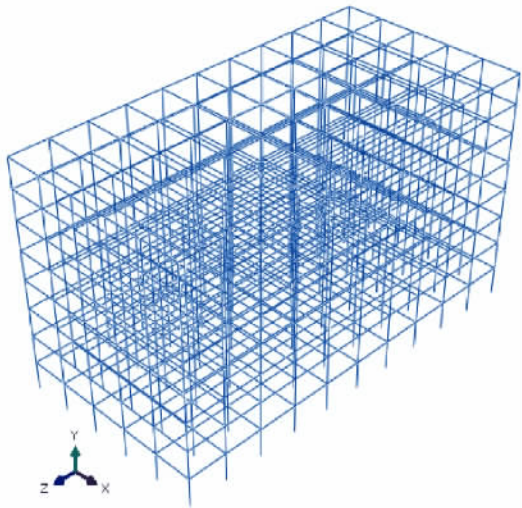


图2 不带楼板空问框架模型

对框架结构的进一步分析则采用已开发的纤维模型程序 iFiberLUT^[4],调用其中的材料模型库,完成最终的框架结构有限元模型。

3 算例验证

为了验证本文开发的参数化脚本程序 Frame-3D 的合理性以及建模效率,则分别对空问钢框架和钢管混凝土框架的算例进行验证。

3.1 空问钢框架

谢甫哲和舒赣平^[5]对由 H 型钢组成的 2 层空问钢框架进

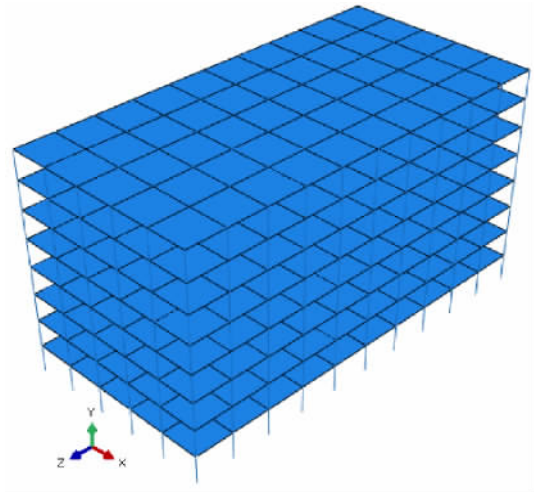


图3 带楼板空问框架模型

行连续倒塌拟静力试验,该钢框架平面布置为 2 跨和 4 跨,跨度分别为 2m 和 1.5m,1 层层高为 1m,2 层层高为 0.9m,次梁间距为 1m,梁柱均为 H 型钢。平面和梁柱截面尺寸具体信息见文献^[5]。荷载分布在结构中间区域,荷载的大小为 6.5 kN/m^2 。通过千斤顶模拟失效中柱,竖向 MTS 位移加载,最后提取失效柱处的竖向位移以及竖向抗倒塌承载力。

采用本文开发的 Frame-3D 中不带楼板的脚本程序,在 ABAQUS 中建模。由于该空问框架底层与二层的层高不同,因此采用脚本程序分别生成底层和二层的模型,通过 `merge` 命令将两层整合为一个完整的模型,全过程仅需 58s(图4)为空问钢框架模型。而采用传统建模方法,该过程需要 306s。可见 Frame-3D 的建模效率高于传统建模方法。

为了验证计算的精度,则将建好的模型结合文献^[4]中开发的纤维模型程序对该钢框架进行数值计算,提取失效中柱处的竖向位移 Δ 以及反力 P 。计算结果如图(5)所示,计算结果与试验结果前期吻合较好。试验中由于最终破坏是由于梁柱节点焊缝断裂造成,并没有形成较好的悬链线抗力机制,而采用纤维模型模拟该框架结构时,并不能真实的反应焊缝的情况,因此计算曲线的后期可反映悬链线抗力机制,与试验曲线后期存在差别。但是计算可把握钢框架的整体计算精度,可见采用 Frame-3D 除了具有较高的建模效率,结合 iFiberLUT 程序还具有良好的计算精度。

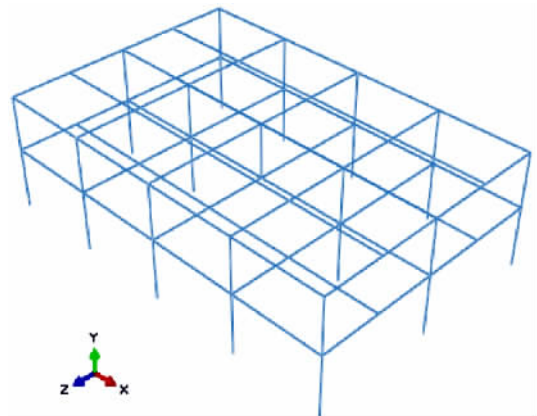


图4 空问钢框架模型

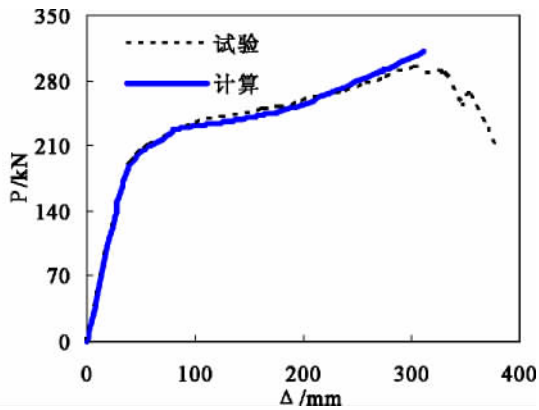


图5 钢框架抗连续性倒塌 P-Δ 曲线对比

3.2 空间钢管混凝土框架

为了验证带楼板的 Frame-3D 脚本程序,采用 Midas 设计了一幢 8 层的钢管混凝土柱-钢梁空间框架结构,楼层层高均为 3.6m。其中柱子采用圆形截面钢管混凝土柱,柱截面尺寸为 $D \times t = 500\text{mm} \times 12\text{mm}$,楼板厚为 120mm。钢管混凝土柱核心混凝土采用 C40,楼板混凝土采用 C35。钢梁截面尺寸为 $450\text{mm} \times 300\text{mm} \times 11\text{mm} \times 18\text{mm}$,钢管和钢梁均采用 Q345 钢材。楼面恒载为 6.5kN/m^2 ,活载为 2.0kN/m^2 ;屋面恒载为 6.0kN/m^2 ,活载为 0.5kN/m^2 。

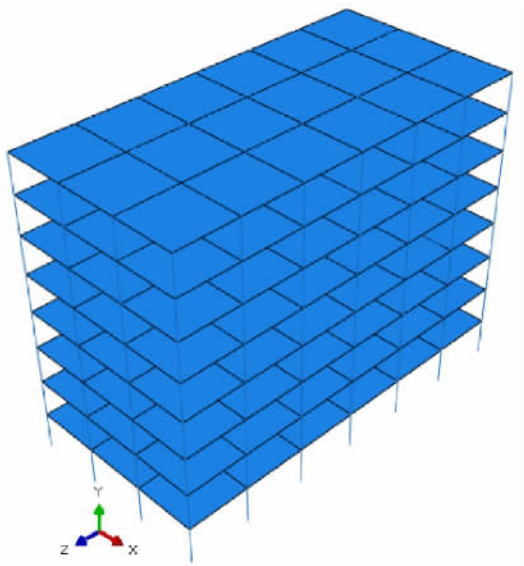


图6 钢管混凝土框架模型

采用 Frame-3D 脚本程序,在 ABAQUS 中建模,模型如图(图6)所示,由于该钢管混凝土框架层高一致,因此建模过程仅需 10s,同时为了对比建模时间,采用传统建模方法对该模型在 ABAQUS 中进行建模,需要 606s。可见 Frame-3D 脚本程序在较为规整的结构建模中更能发挥建模速度快的优势。同样为了对所建模型的合理性进行验证,选择连续倒塌工况对该钢管混凝土空间框架进行分析验证。

在本算例的钢管混凝土框架的抗连续倒塌分析中,采用非线性动力方法,其计算步骤如下:

- (1) 结构施加正常使用荷载,达到静力平衡;
- (2) 迅速拆除目标支撑柱;

(3) 对残余结构进行非线性动力分析,直至结构达到稳定或者发生连续倒塌。

本文中拆除底层角柱,在 ABAQUS 中提供了“生死单元”技术,即 Model change 的接触方式,在该接触方式对应的分析步刚开始时,ABAQUS 把将要移除部分施加给剩余部分的作用力存储下来,在对应的分析步内,这个作用力逐渐减小为 0。因此通过定义 Model change 的接触方式,可模拟支撑柱失去支撑作用。

采用 iFiberLUT 纤维模型程序^[4],通过该钢管混凝土的抗连续倒塌的非线性动力分析,提取失效角柱所连接节点的竖向位移时程曲线,图7为计算结果。角柱处由于钢梁以及楼板的拉结作用,角柱连接节点的竖向位移为 16.59mm,远远小于 GSA2003^[6]规定的限制。可见采用 Frame-3D 建立的空间框架模型除了建模效率高外,框架模型合理,可进一步用于数值模拟计算。

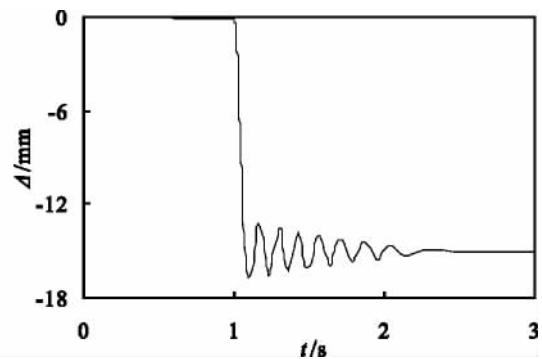


图7 角柱连接节点竖向位移时程曲线

4 结论

本文利用 ABAQUS 二次开发接口进行开发定制,得出以下主要结论:

- (1) 基于 ABAQUS 提供的二次开发脚本接口,开发空间框架的参数化脚本程序 Frame-3D,可提高空间框架的建模效率。
- (2) 空间框架参数化程序 Frame-3D 结合纤维模型程序 iFiberLUT 用于结构体系的分析时,可实现快速建模和良好计算精度的结构数值分析平台。

参考文献

- [1] ABAQUS. Abaqus Scripting User's Manual [M]. Version 6.10. USA, Rhode Island: ABAQUS, Inc., 2010.
- [2] 杨大彬,王长欣,张毅刚,吴金志. 基于 ABAQUS 的空间结构参数化建模系统开发[C]. 第九届全国现代结构工程学术研讨会, 2009.
- [3] 李华伟,王文达. ABAQUS 二次开发在钢管混凝土结构有限元分析中的应用. 建筑结构学报, 2013, 34(增刊1): 353-358.
- [4] 李华伟. 钢管混凝土柱-钢梁环板式节点抗连续倒塌性能研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2014.
- [5] 谢甫哲,舒赣平. 空间钢框架连续倒塌拟静力试验[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2013, 14(2): 195-201.
- [6] The United States General Services Administration. Progressive Collapse Analysis and Design Guidelines for New Federal Office Buildings and Major Modernization Projects [S]. Washington, D. C., 2003.