

基于 ANSYS 平台复杂地质体 FLAC^{3D} 模型的自动生成

廖秋林¹, 曾钱帮¹, 刘彤¹, 路世豹², 侯哲生¹

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所工程地质力学重点实验室, 北京 100029; 2. 中国矿业大学建筑工程学院, 北京 100083)

摘要: 由于 FLAC^{3D} 软件建模难度大, 提出了一种快速建模方法, 即以 ANSYS 有限元程序完成的复杂地质体建模、网格划分为基础, 采用 Visual Basic 语言编写了 FLAC^{3D}-ANSYS 接口程序, 实现了 FLAC^{3D} 软件建模的直观、快速和自动化。通过新疆下坂地水库坝址区和北京地铁四号线车站三维建模实例检验了该方法的有效性和可行性。该方法是运用不同程序优点解决复杂工程地质问题的典型范例。

关键词: 数值分析; 接口程序; 复杂地质体; 自动生成

中图分类号: O 241

文献标识码: A

文章编号: 1000-6915(2005)06-1010-04

AUTOMATIC MODEL GENERATION OF COMPLEX GEOLOGIC BODY WITH FLAC^{3D} BASED ON ANSYS PLATFORM

LIAO Qiu-lin¹, ZENG Qian-bang¹, LIU Tong¹, LU Shi-bao², HOU Zhe-sheng¹

(1. Key Laboratory of Engineering Geomechanics, Institute of Geology and Geophysics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 2. School of Architecture, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: For some complex geologic bodies, numerical models with FLAC^{3D} are difficult to construct. While finite element programs, such as ANSYS, can easily fulfill since it has perfect pre-processors such as entity modeling, Boolean operation of geometric body, and free mesh. In this paper, a procedure is proposed to build numerical model of FLAC^{3D} by using ANSYS, and the interface program of FLAC^{3D}-ANSYS is compiled with visual basic language since there are some differences between the element data conducted by the two programs. So the automatic model generation of complex geologic body can be conducted as follows: the construction of numerical model by ANSYS, the transferring of element data and calling FLAC^{3D}. Then three-dimensional numerical models of a dam and a subway are developed and the case study shows that the intuition, fastness, and automation of modeling, can be realized. The procedure gives an example to build complicated engineering geological model with the advantages of different programs.

Key words: numerical analysis; interface program; complex geologic body; automatic generation

1 引言

FLAC^{3D} 软件是率先将连续体的快速拉格朗日分析应用于岩土工程问题的计算软件。该软件在解

决岩土工程问题上具有许多优越性^[1], 已逐渐成为工程技术人员理想的三维数值模拟工具。然而, FLAC^{3D} 软件在模型建立以及单元网格划分等前处理问题上却存在以下不足, 造成了其建模的不便性:

(1) 模型的建立只能靠数据文件来实现, 不是

收稿日期: 2003-11-08; 修回日期: 2003-12-01

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2002CB412702); 中国科学院知识创新工程资助项目(KJ CX2-SW-L1-1)

作者简介: 廖秋林(1977-), 男, 现为博士研究生, 主要从事工程地质与地质灾害方面的研究工作。E-mail: qiulinliao@yahoo.com.cn

很直观,不能像 ANSYS 或 ALGOR 等有限元软件,可以直接进行图形的处理。

(2) 对于比较复杂的工程模型,在建模时需要各控制点详细的数据,容易出错,检查起来也不是很容易。

(3) 建模工作量大,花费时间长,直接造成了三维模拟计算的周期长、难度大。

为解决 FLAC^{3D} 软件建模的不足,文[2]采用 FORTRAN 语言专门编写了 FLAC^{3D} 的前处理程序,对于地表形态复杂、岩层和地质结构较单一的地质体实现了快速、便捷的建模。文[3,4]研究了 FLAC^{3D} 二维平面应变模型的快速建立。但是对于采动影响下的矿山工程和地质结构错综复杂的边坡等地质体,其 FLAC^{3D} 模型的建立及网格划分仍然非常不便。

然而,许多有限元程序对于复杂工程地质体数值模型的建立有明显优势。由于在所研究对象的前处理上,有限元法和有限差分法基本一致,即将研究对象划分为许多具有一定形状且有一定编制规则的节点组成的单元体(面)。因此,作者试图利用已有的建模与网格划分功能强大的 ANSYS 软件对复杂工程地质体建立相应数值模型(包括网格划分),再通过数据转化实现 FLAC^{3D} 模型的自动生成。

2 FLAC^{3D} 模型的自动生成

FLAC^{3D} 和 ANSYS 所采用的单元体形状大都相同,但其每一单元节点编制的规则和节点坐标,即单元数据,却有一定的差别。因此,根据这 2 种软件单元形状及其单元数据的关系编写 FLAC^{3D}-ANSYS 接口程序是本文建议建模方法的关键。FLAC^{3D} 模型的自动生成主要由以下步骤组成: ANSYS 模型的建立、ANSYS 和 FLAC^{3D} 的数据转换以及 FLAC^{3D} 调用生成的模型数据文件。

2.1 ANSYS 模型的建立

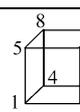
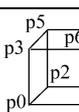
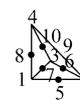
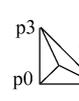
ANSYS 作为广泛应用的有限元软件,充分综合了 CAD, CAE, CAM 等图像处理工具^[5],是建立复杂计算模型有效而又方便快捷的平台。ANSYS 可以自上而下直接建立实体模型,还可通过自下而上依次生成点、线、面和体,从而建立实体模型。强大的布尔运算工具可以实现实体之间加、减、分

类、搭接、粘接和分割等复杂运算,大大提高了建立复杂地质体三维模型的效率。对于实体模型的网格划分,ANSYS 提供了功能强大的控制工具,如单元大小和形状的控制、网格的划分类型(自由和映射)以及网格的清除和细化;此外,还可对实体模型图直接划分网格;最后,输出各单元节点坐标及单元信息 NODE. DAT 和 ELE. DAT 文件。

2.2 FLAC^{3D} 与 ANSYS 单元数据关系

要将 ANSYS 所生成的单元数据文件为 FLAC^{3D} 所利用,有必要掌握 FLAC^{3D} 与 ANSYS 单元数据之间的关系。在模拟对象的单元处理上,FLAC^{3D} 与 ANSYS 都提供了丰富的单元形状。根据地质体的特征、计算精度要求以及单元形状的空间展布特点,仅考虑以下 5 种单元体:六面体、五面楔形体、五面锥形体、四面体和圆柱体。这 5 种单元体基本能满足各种地质体数值模型的建立。这 2 种软件所采用单元节点编制对应关系如表 1 所示。此外,由 ANSYS 存在单元退化和二次单元等问题,而 FLAC^{3D} 则只能通过对 ANSYS 单元退化节点的判断用低节点的单元替换退化的高节点单元。例如,六面体可退化为五面楔形体、五面锥形体和四面体,如表 1 所示。

表 1 ANSYS 与 FLAC^{3D} 单元数据关系对照
Table 1 Computation of element data between ANSYS and FLAC^{3D}

| 单元类型 | 单元数据 | | 备注 |
|---------|--|---|------------------------|
| | ANSYS | FLAC ^{3D} | |
| 六面体 |  |  | Brick 单元 |
| 五面楔形体 |  |  | 其 ANSYS 单元为 Brick 退化单元 |
| 五面锥形体 |  |  | 其 ANSYS 单元为 Brick 退化单元 |
| 四面体(I) |  |  | 其 ANSYS 单元为 Brick 退化单元 |
| 四面体(II) |  |  | |

根据以上对 FLAC^{3D} 与 ANSYS 单元数据关系的分析,作者利用 Visual Basic 语言编写了 FLAC^{3D}-ANSYS 接口程序包。首先,该程序将单元节点坐标

转化成 FLAC^{3D} 单元节点坐标。其次，根据 ANSYS 提供的单元信息 ELE. DAT 文件的格式特点，该程序自动判断其每一单元的形状(也考虑了退化单元的转换)，并生成相应的 FLAC^{3D} 单元；该程序除实现了 2 种软件的单元数据的转换之外，还将 ANSYS 定义的不同实体遗传到 FLAC^{3D} 中，并形成相应的 Group，方便了计算参数的赋值。最后，该程序直接产生 FLAC^{3D} 计算所需的数据文件，其主要内容包括：

(1) 产生节点的命令，主要格式为：

```
GEN POINT ID 1 0.000 0.000 414.075
```

(2) 产生单元的命令，主要格式为：

```
GEN ZONE BRICK(WEDGE)SIZE 1 1 1 P0 and
POINT 5532 P1 POINT 5393 P2 POINT 719 P3 and
POINT 5274 P4 POINT 580 P5 POINT 461 P6 and
POINT 5511 P7 POINT 698
```

(3) 产生实体的命令，主要格式为：

```
GROUP 5 RANGE ID 3591
```

2.3 模型的自动生成

最后，通过 FLAC^{3D} 命令“call”调入由接口程序输出的数据文件，并加入边界条件、初始条件以及岩土体的力学参数，即可生成数值模型。

3 应用实例

3.1 新疆下坂地水库坝址区三维数值模型

新疆下坂地水库坝址区，峡谷长约 1 200 m。峡谷区岸坡陡峭，比高近 600 m，峡谷及其两侧斜坡累计宽度达 2 500 m，其岩层之间的接触关系比较复杂。对于这样一个地表形态和地质结构复杂的坝址，采用本文提出的建模方法可以很理想地建立其三维模型，具体操作如下：

(1) 准备几何图形数据。首先，将复杂地表划分为一系列三角形面，以三角形的顶点作为主要地表数据点；然后，根据岩层的产状，定义岩层接触面控制点和模型边界点；最后，将这些数据做成 ANSYS 的脚本文件。

(2) 生成实体模型。先根据点数据生成图 1(a)的表面形态，再沿三角面向下生成一系列柱体，利用布尔运算相加成 4 个体(每一岩层为一个实体)。之后，以模型底面为基础向上生成一个长方体。最后，将前面生成的 4 个体与长方体相减，即得到图 1(a)。

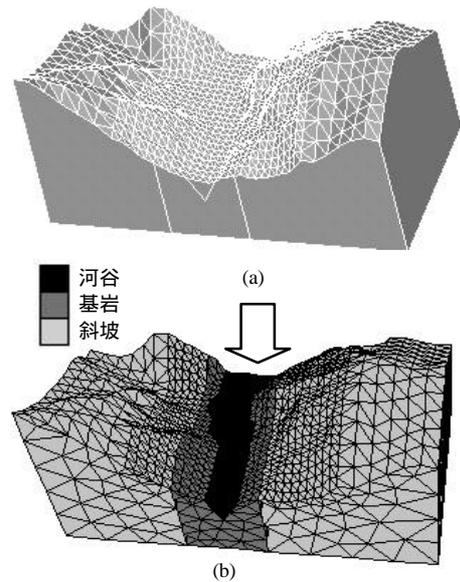


图 1 新疆下坂地水库坝址区三维数值模型

Fig.1 Numerical model in the Xiabandi reservoir area , Xinjiang Autonomous Region

(3) 划分网格。该模型选择了四面体单元划分网格并根据岩性定义了 3 种材料。在网格划分时，根据计算需要进行网格密度和重点研究区网格细化的控制，并通过 ANSYS 网格检验达到网格最优化。最终，该模型共划分 2 357 个节点，9 987 个单元。

(4) 生成 FLAC^{3D} 三维模型。利用 ANSYS 生成的 NODE. DAT 和 ELE. DAT 文件和作者开发的接口程序生成 FLAC^{3D} 可调用的脚本文件，最后生成 FLAC^{3D} 三维数值模型，如图 1(b)所示。

整个建模从数据采集到模型开始计算，共用时不到 2 d，且实现了单元的最优化。

3.2 北京地铁四号线车站数值模型

北京地铁四号线车站为一大型地下硐室群结构，其两边隧道与车站的衔接处是三维数值模型建立的难点。该模型若用 FLAC^{3D} 所提供的基本单元(如 radcylinder 或 cylinder)来处理这一复杂硐室群，而且要保证圆弧之间的衔接和实体之间网格的数目匹配(FLAC^{3D} 要求数目一致或成倍数关系，以免计算得出结果在此处不连续)，难度很大。即使利用 FLAC^{3D} 中的 FISH 语言来处理这一复杂硐室群，其结果也并不理想，且耗时达一周之久。

而根据本文所提出的建模方法，在获得该模型的任一横截面的几何数据坐标后，直接利用 ANSYS 绘制出模型的横截面图，再对该截面划分网格形成

二维模型,之后利用 ANSYS 中的 Vdrag 命令将该截面沿指定方向拉成体,即完成了 ANSYS 的建模,并生成了相应的数据文件。最后,利用接口程序生成的 FLAC^{3D} 数据文件,建立三维数值模型,如图 2 所示。该模型建立的每一环节都简单、易操作,整个建模时间不到半天。而且,该模型既美观,又符合 FLAC^{3D} 的要求,其计算结果也令人满意。

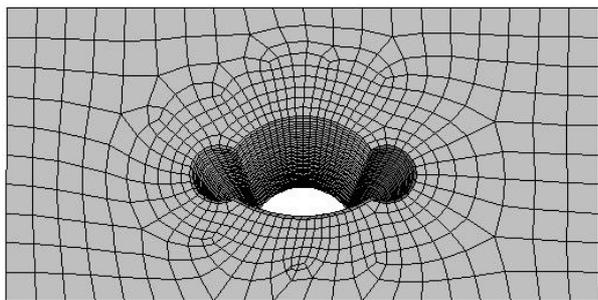


图 2 北京地铁四号线车站三维数值模型

Fig.2 Numerical model of a station of Beijing subway No.4

4 结 论

本文基于分析功能强大的岩土工程计算软件 FLAC^{3D},提出了基于 ANSYS 平台复杂地质体 FLAC^{3D} 数值模型的自动生成方法。该方法不仅克服了建立复杂计算模型的困难,而且实现了建模的自动化。其流程的每一个操作均简单、易行,所要求的基本数据仅为几何图形数据点,大大减少了建模所需的时间、精力,提高了数值模拟的频度,有利于充分发挥 FLAC^{3D} 解决工程地质问题的强大功能,也促进了 FLAC^{3D} 在岩土工程领域的普及和应用。

该方法的主要思路着眼于发挥和结合 FLAC^{3D} 与 ANSYS 软件的优点,并开发了 FLAC^{3D}-ANSYS 接口程序,解决了复杂工程地质体的建模难题。在科技手段发达且种类繁多的当今社会,对于复杂工程地质问题的数值模拟,本文提出的方法值得借鉴。

参考文献(References):

- [1] Itasca Consulting Group, Inc.. Fast Language Analysis of continua in three dimensions[R]. [s.l.]: Itasca Consulting Group, Inc., 1997.
- [2] 胡 斌,张倬元,黄润秋等. FLAC^{3D} 前处理程序的开发及仿真效果检验[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(9): 1 387-1 391.(Hu Bin, Zhang Zhuoyuan, Huang Runqiu, et al. Development of pre-processing package for FLAC^{3D} and verification of its simulating effects[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(9): 1 387-1 391.(in Chinese))
- [3] 油新华. 土石混合体随机结构模型及其应用研究[博士学位论文][D]. 北方交通大学, 2001.(You Xinhua. Stochastic structural model of the earth-rock aggregate and its application[Ph. D. Thesis][D]. Beijing :Northern Jiaotong University ,2001.(in Chinese))
- [4] 吴剑波. 三峡库区白衣庵滑坡稳定性研究[硕士学位论文][D]. 北京:中国矿业大学, 2002.(Wu Jianbo. Study of the stability on Baiyi'an ancient landslide in the Three Gorges District [M. S. Thesis][D]. Beijing : China University of Mining and Technology , 2002.(in Chinese))
- [5] 边 萌. ANSYS 5.7 有限元实例分析教程[M]. 北京:机械工业出版社, 2002.(Bian Meng. The case-analysing tutorial by the finite element program, ANSYS 5.7[M]. Beijing : China Mechanical Industry Press , 2002.(in Chinese))