

文章编号: 1674-2869(2013)10-0036-05

复杂隧道模型的建模技术

张涛¹, 黄民水², 涂跃亚², 周麟²

(1. 中交第二公路勘察设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430056;

2. 武汉工程大学环境与城市建设学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 为了避免地下隧道出现安全隐患, 针对传统的计算方法在精度上不能满足实际要求的问题, 提出了数值模拟计算的方法. 基于快速拉格朗日方法的数值模拟软件 FLAC3D 在岩土工程计算中有着广泛的应用, 然而在建模方面, 该软件不够人性化, 较难建立复杂模型. 为弥补该软件在前处理功能上的不足, 利用福传软件高速计算能力和数组内存可分配性, 把模型从 ANSYS 转换到 FLAC3D; 首先利用 ANSYS 进行模型建立及网格划分, 接着通过其内置的参数化设计语言调用模型数据, 然后使用福传编写的接口程序, 将数据转换并导入 FLAC3D 完成分析. 最后, 建立武汉地铁三号线汉江过江地铁模型, 47360 个单元、50840 个节点的模型转换只花了不到 10 秒的时间, 验证了此方法的可行性与高效性.

关键词: 数值分析; 数据转换; 接口程序; 复杂模型

中图分类号: TU50

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1674-2869.2013.10.008

0 引言

FORTRAN^[1] 亦译为福传, 是 Formula Translator 的缩写, 意译为公式翻译器, 正式发布于 1954 年, 是世界上最早出现的计算机高级程序语言. 它是一种现代的表达性语言, 既适合解决各类数值问题, 又适合非数值问题, 广泛应用于教育部门和科学部门, 编写程序简洁、高效. ANSYS^[2] 软件是一个强大的通用有限元分析软件, 集结构、热、电磁、流体、声学分析于一体. 它不仅兼容性好、计算能力强、应用性广, 而且具有强大的实体建模功能和多样的网格划分手段. FLAC 是快速拉格朗日差分分析 (Fast Lagrangian Analysis of Continua) 的简称, FLAC3D^[3-4] 程序由美国 ITASCA 咨询集团公司推出, 是目前岩土力学计算中的重要数值方法之一. 该程序用于模拟三维土体、岩体及其它材料力学特性, 广泛应用于边坡、地下洞室、施工过程 (开挖、填筑等)、拱坝、隧道和矿山工程等多个领域的数值模拟. 由于它采用混合离散方法来模拟材料的屈服或塑性流动特性, 比有限元方法中采用的降阶积分更合理. FLAC3D 采用的是显式方法进行求解, 它无需存储刚度矩阵, 采用中等容量的内存能求解多单元结构模拟大变形问题. 即使模拟的系统是静态的, 仍采用了动态运动方程, 这使得 FLAC3D 在模拟

物理上的不稳定过程不存在数值上的障碍. 然而, FLAC3D 在前处理功能较弱, 很难建立复杂三维模型, 一般通过手动输入节点坐标来建立模型, 造成使用者把更多精力浪费在了建模上. 因此, 结合利用 ANSYS 强大的建模及网格划分能力和 FORTRAN 快速、有效的编程能力, 根据 ANSYS 与 FLAC3D 对应的单元和坐标关系, 通过 ANSYS 建模, 然后转换为 FLAC3D 能识别的节点及网格单元文件 (* .flac3d), 是一个能解决 FLAC3D 建模复杂问题的有效且可行的方法.

1 ANSYS 与 FLAC3D 坐标系及模型区别

ANSYS 与 FLAC3D 单元模型的区别主要体现在单元节点编号^[5-6] 和坐标系的不同, 如图 1 所示.

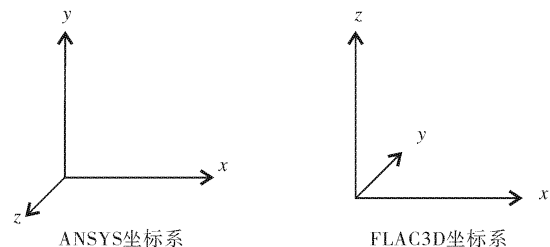


图 1 ANSYS 与 FLAC3D 坐标系区别

Fig 1 The coordinate system difference between ANSYS and FLAC3D

收稿日期: 2013-09-27

作者简介: 张涛 (1976-), 男, 湖北汉川人, 高级工程师. 研究方向: 隧道工程.

对于 ANSYS 坐标系,平面内水平向右为 x 轴正向,竖直向上为 y 轴正向,垂直平面向外为 z 轴正向;对于 FLAC3D 坐标系,平面内水平向右为 x 轴正向,竖直向上为 z 轴正向,垂直平面向内为 y 轴正向.

ANSYS 和 FLAC3D 的常用单元编号对比图,如图 2 所示. FLAC3D 的单元节点编号排序符合“右手法则”,而 ANSYS 的单元节点编号排序,右下至上螺旋增加.

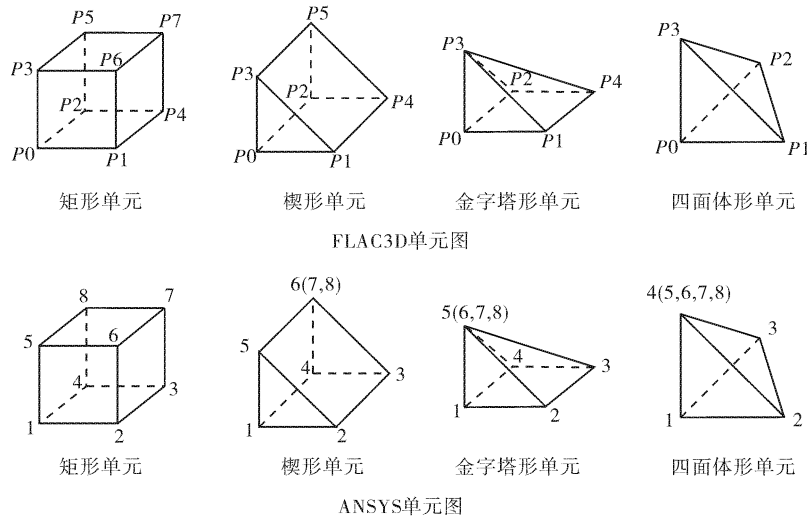


图 2 单元编号顺序对比图

Fig. 2 Comparison chart of element number

2 ANSYS 与 FLAC3D 模型的转换

ANSYS 与 FLAC3D 模型的转换原理就是坐标系的转换和单元对应节点的转换,达到模型形状和方向的一致性.而现有的转换程序,有些只简单做了单元的转换,未做坐标系的转换,转换后的模型方向不一致,需要手动修改,给建模造成困难;有些未考虑单元数量问题,造成模型转换失败或者单元丢失^[7-8].因此,编写转换程序必须解决上述问题.

转换的具体步骤如下:

1)ANSYS 端采用 GUI 界面操作结合命令流的方式,利用内置强大布尔操作和网格划分能力,完成模型建立及网格划分^[9-12],并赋予材料属性.以两个单元为例,单元如图 3 所示,左边为材料类型 1,右边为材料类型 2.

2)运用 ANSYS 中内置的 APDL 语言编写转换程序,删除所有 area,仅保留 element 和 node 信息,然后把节点总数与节点坐标和单元总数与单元数据分别写入“node.txt”和“element.txt”两个文本文件中.节点的存储格式是“节点总数+依序排列的节点坐标”;单元的存储格式是“单元总数+材料总数(转换到 FLAC3D 中以 group 形式表示)+组成单元的节点号”.

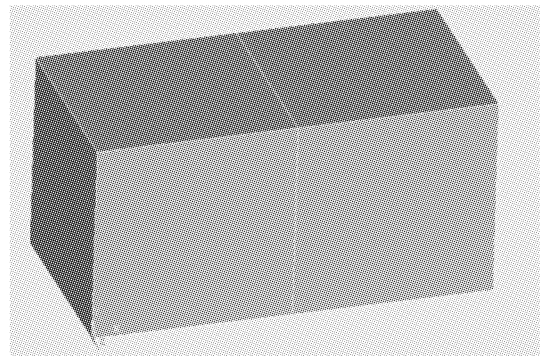


图 3 ANSYS 模型图

Fig. 3 ANSYS model fig

例子中 ANSYS 节点坐标文件和单元数据格式如表 1 和表 2 所示.

3)利用 FORTRAN95 软件编写转换程序.

由于编写的转换程序需要是一个通用转换程序,能运用到多个工程项目中,对于不同项目节点及单元数目可能不同,造成程序中记录节点和单元的数组大小是经常变化的,如果采用定义固定数组大小的方法,就会导致转换过程中数组过小无法完成,或者数组设置过大造成内存的浪费影响速度,遇到类似情况需要经常修改程序.使用可变大小的数组就可以在程序执行时根据需要决定数组大小,节省内存和时间.

表 1 ANSYS 节点坐标文件

Table 1 The file of ANSYS node coordinates

节点编号	坐标		
	X	Y	Z
1	2.000 000	1.000 000	0.000 000
2	1.000 000	1.000 000	0.000 000
3	2.000 000	0.000 000	0.000 000
4	1.000 000	0.000 000	0.000 000
5	0.000 000	1.000 000	0.000 000
6	0.000 000	0.000 000	0.000 000
7	1.000 000	1.000 000	-1.000 000
8	0.000 000	1.000 000	-1.000 000
9	0.000 00	0.000 000	-1.000 000
10	1.000 000	0.000 000	-1.000 000
11	2.000 000	1.000 000	-1.000 000
12	1.000 000	1.000 000	-1.000 000

表 2 ANSYS 单元数据文件

Table 2 The file of ANSYS element datas

单元	材料		节点						
1	1	1	4	3	2	7	10	9	8
2	2	5	6	4	1	11	12	10	7

FORTRAN95 可以定义可变数组,需要经过两个步骤:第一步,使用 allocatable 属性对相关数组进行定义;第二步,运用 allocate 语句为该数组确切的定义大小,分配内存空间,然后再使用该数组。

转换程序主要思路如下:

1)用 allocatable 属性定义需要使用的可变数组,读取“node. txt”中第一个数据和“element. txt”文件中的第一、二个数据(记录节点和单元数);

2)根据读取的数据经过相关转换,使用 allocate 语句定义数组大小;

3)由于 ANSYS 单元都是由 8 个节点组成的,程序根据 8 个节点中节点的重复程度判断该单元类型,然后将“node. txt”和“element. txt”文件中关于节点、单元和材料属性的数据根据节点关系和坐标关系转换好后,写入相应数组中;

4)按照 FLAC3D 模型文件“*. flac3d”的特点将数组中的数据写入文件里。

5)将“*. flac3d”导入 FLAC3D 后,根据 group 名赋予材料属性,转换后的图如图 4 所示,左边为 group 1,右边为 group 2。例子中关于“*. flac3d”文件的数据如表 3 和表 4 所示。

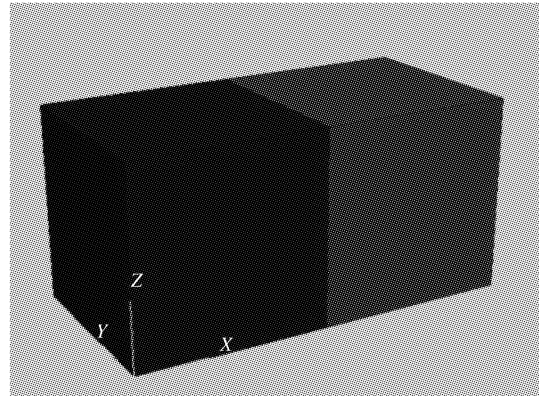


图 4 FLAC3D 模型图

Fig. 4 FLAC3D model fig

表 3 FLAC3D 数据文件

Table 3 The file of FLAC3D datas

节点编号	坐标		
	X	Y	Z
G1	0.1000E+01	0.0000E+00	0.1000E+01
G2	0.0000E+00	0.0000E+00	0.1000E+01
G3	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
G4	0.1000E+01	0.0000E+00	0.0000E+00
G5	0.2000E+01	0.0000E+00	0.1000E+01
G6	0.2000E+01	0.0000E+00	0.0000E+00
G7	0.1000E+01	0.1000E+01	0.1000E+01
G8	0.0000E+00	0.1000E+01	0.1000E+01
G9	0.0000E+00	0.1000E+01	0.0000E+00
G10	0.1000E+01	0.1000E+01	0.0000E+00
G11	0.2000E+01	0.1000E+01	0.1000E+01
G12	0.2000E+01	0.1000E+01	0.0000E+00

表 4 FLAC3D 单元数据文件

Table 4 The file of FLAC3D element datas

单元	组名		节点						
1	1	1	4	2	7	3	8	10	9
1	2	5	6	1	11	4	7	12	10

3 应用实例

武汉轨道交通三号线越江区间隧道,区间线路出宗关站后,沿建一路南侧地块向西南方向延伸,下穿水厂路中学、过沿河大道后,区间隧道下穿汉江进入汉阳区,下穿江汉二桥体育训练基地和龙阳大道与琴台大道交叉口后,线路转入龙阳大道下继续向西南方向延伸,左右线双绕龙阳大道高架桥桩基,最后到达汉阳大道与龙阳大道交叉口的王家湾站。项目段 CK11+253.876~

CK11+577.50 隧道底板埋深 30.0~38.5 m 左右,标高+4.0~-19.5 m 左右,基底依次位于(18-2)中风化灰岩、中风化石英砂岩、中风化砂岩、泥质砂岩.考虑到单元数量和计算时间,取前 60 m 为研究对象.依照前面所述的建模方法,可以方便快捷的建立三维模型及网格划分,如图 5 所示.该网格由 4 面体和 6 面体组成,总共 47 360 个单元,50 840 个节点,从 ANSYS 导出到利用 FORTRAN 转换,整个过程仅用了 10 s 不到.

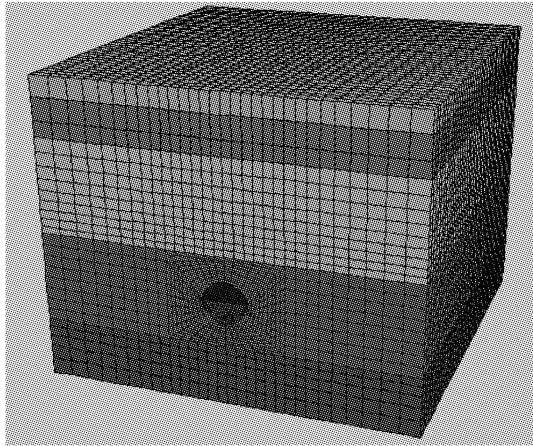


图 5 三维网络模型

Fig. 5 Three-dimensional network model

为检验网格划分和单元几何形状是否满足要求,进行自重应力下初试地应力场计算,竖向应力云图如图 6 所示,分布均匀且连续,说明网格划分及模型良好.图 7 为隧道开挖完成,并完成锚喷支护后,中间段面(纵向 30 m 处)的位移图,拱底因开挖卸荷,以隆起为主,最大回弹量为 6.9 mm.拱顶因开挖发生沉降,最终稳定在 10.2 mm.

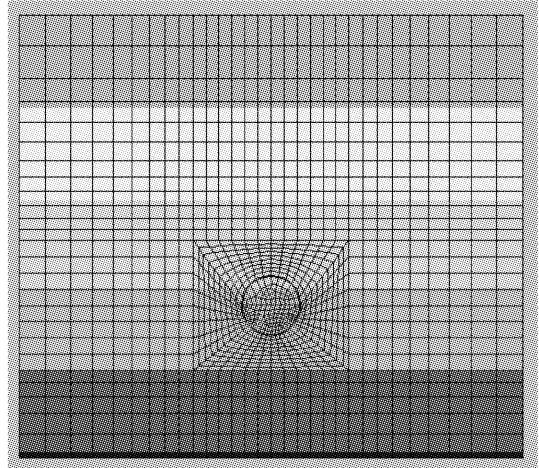


图 6 竖向应力云图

Fig. 6 Vertical stress

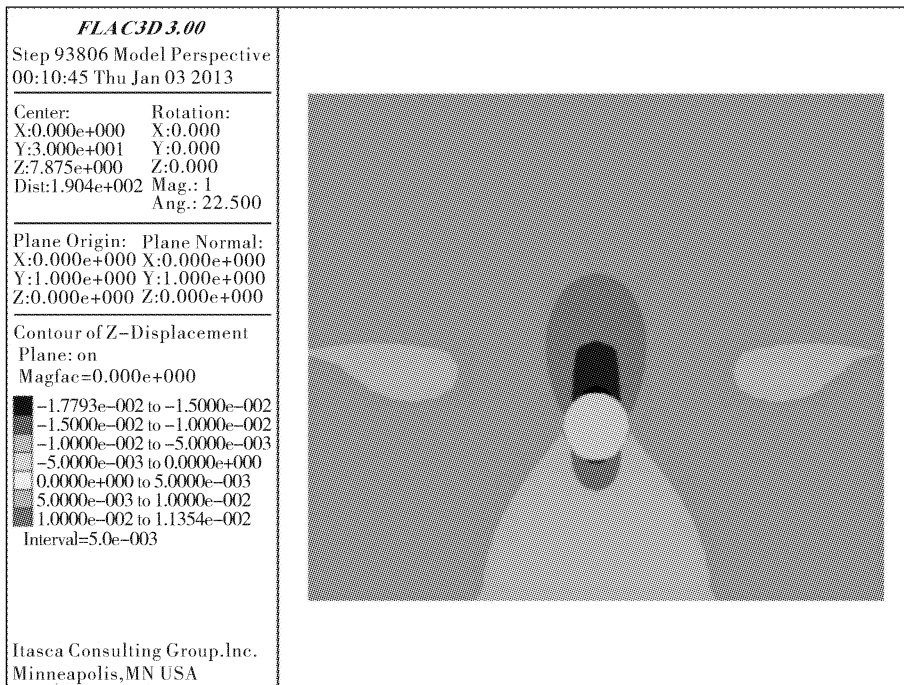


图 7 竖向位移图

Fig. 7 Vertical displacement

4 结 语

a. 与一般转换方法相比较,少了另外修改坐标那一步,模型所建即所得.

b. 借助 FORTRAN 高效的计算能力和独特的可变量组定义功能,可以在节约内存的前提下提高 ANSYS 模型转换 FLAC3D 模型的效率. 47 360个单元、50 840 个节点的模型转换只花了

不到 10 s 的时间,相比其它方法更为高效.

c. 通过工程实例验证了通过 ANSYS 建模转换 FLAC3D 计算的可行性,具有良好的工程应用前景.

致 谢

感谢中国交通第二公路勘察设计院为本研究提供支持和帮助!

参考文献:

- [1] 王保旗. FORTRAN95 程序设计与数据结构基础教程[M]. 天津:天津大学出版社, 2007.
WANG Baoqi. Foundation Course about Program Design and Data Structure of FORTRAN95 [M]. Tianjin: Tianjin University Press, 2007. (in Chinese)
- [2] 龚曙光, 谢桂兰, 黄云清. ANSYS 参数化编程与命令手册[M]. 北京:机械工业出版社, 2009.
GONG Shu-guang, XIE Gui-lan, HUANG Yun-qing. Parametric Programming and Manual Command of ANSYS[M]. Beijing: China Machine Press, 2009. (in Chinese)
- [3] 陈育民, 徐鼎平. FLAC/FLAC3D 基础与工程实例[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2009.
CHEN Yu-min XU Ding-ping. FLAC/FLAC3D foundation and practical engineering [M]. Beijing: China water conservancy and hydropower press, 2009. (in Chinese)
- [4] 欧湘萍, 白楷, 朱云升. 基于 FLAC-3D 的强度折减法边坡稳定性分析[J]. 武汉理工大学学报, 2008, 31(9): 59-61.
OU Xiang-ping, BAI Kai, ZHU Yun-sheng. The Strength Reduction Method for Stability Analysis of Slope Based on FLAC-3D[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2008, 31(9): 59-61. (in Chinese)
- [5] 彭文斌. FLAC3D 实用教程[M]. 北京:机械工业出版社, 2007.
PENG Wen-bin. FLAC3D practical tutorial [M]. Beijing: China Machine Press, 2007. (in Chinese)
- [6] 王新敏. ANSYS 工程结构数值分析[M]. 北京:人民交通出版社, 2007.

- WANG Xin-min. ANSYS engineering structure numerical analysis [M]. Beijing: China Communications Press, 2007. (in Chinese)
- [7] 董鹏, 李长洪. 基于 ANSYS 软件的 FLAC3D 实体建模[J]. 山西建筑, 2007, 33(3): 350-351.
DONG Peng, LI Chang-hong. Modeling in FLAC3D software based on ANSYS software entity[J]. Shanxi Architecture, 2007, 33(3): 350-351. (in Chinese)
- [8] 刘秀军. 基于 GOCAD 的复杂地质体 FLAC3D 模型生成技术[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2011, 22(4): 41-45.
LIU Xiu-jun. FLAC3D modeling for complex geologic body based on GOCAD [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2011, 22(4): 41-45. (in Chinese)
- [9] 刘丽贤, 马国鹭, 赵登峰. 基于 APDL 的 ANSYS 网格划分应用[J]. 重庆科技学院学报, 2008, 10(5): 122-123.
LIU Li-xian, MA Guo-lu, ZHAO Deng-feng. Grid Division of ANSYS and Application Based on APDL [J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology, 2008, 10(5): 122-123. (in Chinese)
- [10] 袁国勇. ANSYS 网格划分方法的分析[J]. 计算机应用, 2009(6): 59-60.
YUAN Guo-yong. Analysis of Meshing Division Method [J]. Modern Machinery, 2009(6): 59-60. (in Chinese)
- [11] 丁克勤, 刘关四, 魏化中. 快开式压力容器异型密封圈有限元分析[J]. 武汉工程大学学报, 2013, 35(8): 52-56.
DING Ke-qin, LIU Guan-si, WEI Hua-zhong. Finite element analysis of special-shaped sealing ring on quick actuating pressuke vessel [J]. Journal of Wuhan Institute of technology, 2013, 35(8): 52-56.
- [12] 吴作为. ANSYS 软件在盾构管片设计中的应用[J]. 武汉理工大学学报, 2010, 37(3): 655-657.
WU Zou-wei. Application of ANSYS Software in shield Segments Pesign [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2010, 37(3): 655-657. (in Chinese)

(下转第 45 页)