FLAC^{3D}在岩质边坡稳定性分析中的应用

张玉灯
(三峡大学三峡库区地质灾害教育部重点实验室 湖北宜昌 443002)

摘 要 介绍了 FLAC^{3D}的基本原理和使用步骤。根据 ADINA建立的某工程边坡三维模型，采用 JAVA语言编写了 ADINA - FLAC^{3D}的接口程序，实现 FLAC^{3D}快速建模，并用 FLAC^{3D}分析了边坡的稳定性。经计算，开挖后，安全系数有所降低，但整体上趋于稳定。与 ADINA的计算结果对比表明：两种软件在计算上取得了较为一致的结果，用于分析时可互为补充。

关键词 边坡稳定性 岩质边坡 FLAC^{3D} ADINA 结果对比

1 引言

FLAC^{3D}特别适合解决非线性问题和大变形问题[1],[2]，它在边坡的稳定性数值模拟分析中越来越得到重视。同时 ADINA由于具有强大的非线性运算能力和多种适合于岩土的材料模型，在岩土工程中早就得到广泛应用，这两种软件各自具有不同的优点，因此两者的联合运用，将有利于扩大解决问题的领域和效率。

2 基本原理及使用步骤

FLAC^{3D}基本原理是拉格朗日差分法[2]。有限差分法可在每一步重新生成有限差分方程。不需构造总刚度矩阵，对大变形模式每次循环都更新坐标，将位移增量累计到坐标系中。因此，网格与其所代表的材料都发生移动和变形。而对于欧拉方程，材料运动及其变形都是相对于固定的网格的，这种更新坐标的方法，就是“拉格朗日方法”。拉格朗日法是一种利用拖带坐标系分析大变形问题的数值方法，并利用差分格式按时步积分求解，随着构形的不断变化，不断更新坐标，允许介质有较大的变形[1]。对于某一结点而言，在每一时刻它受到来自其周围区域合力的影响。如合力不等于零，结点就具有失稳力而产生运动。假定结点上集中有连接该结点的质量，在失稳力作用下，结点就产生加速度，进而可在一个时步中求得速度和位移的增量。对于每一个区域而言，可根据其周围结点的运动速度求得它的应变率，根据材料的本构关系求得应力的增量。应力增量求出 t和 $t+\Delta t$时刻各个结点的不平衡力和各个结点在 $t+\Delta t$时的加速度。对加速度积分，即可得结点新的位移值，由此可求得各结点新的坐标值[4]。

利用 FLAC^{3D}进行实际工程分析计算包括以下几个过程[2],[3]：

(1) 建立模型。根据工程地质条件简化处理形成抽象模型，其中包括建立概化模型，设置材料单元组和边界条件，并进行网格划分。

(2) 建立原始平衡。若运行结果不理想应修改模型，直到合理为止。

(3) 根据实际工程情况改变模型的相关条件，重新运行程序达到新的平衡或出现破坏。

(4) 结合其他资料对运行结果进行评价。

张玉灯，男，硕士研究生。

3 工程概况

里底水电站位于云南省维西县巴迪乡底村的澜沧江上。其左岸岸坡为Ⅱ级基座阶地的前缘天然边坡，在1 791～1 795 m高程有德钦—维西公路通过，公路以上岸坡坡度平均 39°，地表多为坡积层覆盖，发育Ⅲ级基座阶地。表层为崩坡积碎石土层；其下为冲洪积含漂石块碎石土。公路以下发育澜沧江Ⅰ级阶地，阶地台面高程1 786～1 790 m，阶地宽 13～60 m，组成物质表部为含卵砾碎石土，下部为冲积砂、砂卵砾石层，阶地覆盖层总厚 15～30 m。坝址区断层较发育，规模较小，破碎带宽度一般小于 30 cm。坝址左岸1 830 m高程以下为基岩岸坡，卸荷深度较浅，程度轻微，左岸坡无强卸荷带，弱卸荷带水平深度 10～20 m，弱卸荷带岩体中张裂隙发育，裂隙宽度一般 0.5～10.0 cm，随水平深度加深，张裂隙明显减少。

4 计算模型的建立

ADINA的材料模型可模拟岩土材料的非线性。本研究选取左岸边坡整体作为边坡整体分析模型，模型顺河流长 770 m，垂直河流长 595 m，高 490 m，在计算时采用 8个单元组，每组都用 Mohr - coulomb材料模型。相关的材料参数见表 1。建好的模型见图 1。

表 1 各岩组计算参数表

单元组	弹性模量 E/Pa	泊松比 μ	容重 γ /(kN·m^{-3})	摩擦角 φ/(°)	内聚力 c/Pa
1岸坡坡积碎石土	3×10^7	0.36	19.0	27	50000
2岸坡冲洪积卵砾碎石土	7×10^7	0.34	22.0	33	70000
3岸坡含砾中细砂层	3×10^7	0.32	17.0	27	50000
4河床冲积砂卵砾石	5.5×10^7	0.32	22.0	29	20000
5断层	6×10^8	0.30	27.0	22	50000
6强风化	1×10^8	0.30	27.0	32	400000
7弱风化	4×10^9	0.28	27.2	37	700000
8微风化	6×10^9	0.25	27.4	44	1000000

模型 z是垂直方向，模型 x是顺河流方向，y是横河方向。其临河方向是自由表面，河床以下为约束边界。四周采用法向约束，底部固定约束。本次模拟仅考虑重力荷载作用。

由于 FLAC^{3D}在模型建立以及单元网格划分等前处理问题上，存在许多不足[5]，这极大地影响了 FLAC^{3D}的效率。针对 FLAC^{3D}不足及对比分析的需要，

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

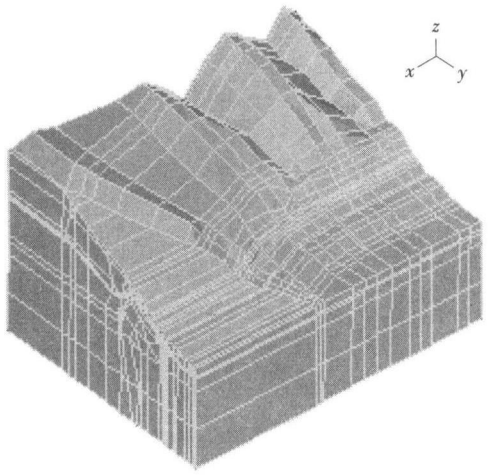


图 1 ADINA 中建立的边坡模型图

本文编写了 ADINA—FLAC3D的数据转换接口程序，可以方便地将现有的 ADINA 三维模型转换为 FLAC3D模型。其基本原理是两种软件在某些单元类型上相同，仅单元节点的编号上存在差异。根据两者节点编号的对应关系（见表 2），编写接口程序后，将 ADINA 中的单元节点坐标数据和单元信息数据分别导出来形成两个数据文件。然后通过接口程序转换成 FLAC3D所需的建模文件，建立 FLAC3D模型。

表 2 ADINA 与 FLAC3D 单元数据关系对照表

单元类别	单元编号	
	ADINA	FLAC3D
六面体	P2 P1 P3 P4 P5 P8 P6 P7	P5 P7 P3 P6 P4 P2 P0 P1
三棱柱体	P2 P1 P6 P5 P3(P4) P7(P8)	P5 P4 P3 P2 P1 P0
五面锥形体	P1 P2 P4 P3 P5(P6,P7,P8)	P1 P4 P0 P2 P3
四面体	P2 P3(P4) P1 P5(P6,P7,P8)	P1 P2 P0 P3

5 计算方案及结果分析

分析仅考虑初始工况和开挖工况。

（1）初始状态下应力场、位移场分析：①在天然应力状态下，该边坡局部处于受拉状态。最大拉应力（0.5 MPa）出现在岸坡坡积碎石土层。最大压应力（3.67 MPa）在基岩的中底部。②在断层部位，应力场变化较剧烈，有较明显的应力集中。③初始状态下坡体大部分区域没有发生明显变形。y方向的位移发生在坡面临空面，最大 3 cm。z方向最大位移为 13.25 cm。出现在左岸边坡坡度较陡部位，主要是坡体的表面存在弱卸荷带。

（2）开挖状态下的应力场和位移场分析：①开挖后应力场发生了应力重分布，但不明显，最大压应力 3.25 MPa左右，较开挖前有所降低。表明由于开挖产生一定程度的卸荷。②坡体较大的位移主要集中在开挖面上，沿 y方向（临空面）移动，最大达 2.52 cm，z方向最大位移 26.3 cm，主要为回弹变形。

根据地质调查报告显示，目前该边坡是稳定的。用 FLAC3D强度折减法计算的该边坡在自然和开挖状态下的安全系数分别为 1.18和 1.08。说明开挖后边坡的稳定性有所降低。

（3）与 ADINA 计算结果的比较：两种不同工况相关数据见表 3。从表 3看出，两者的结果有差异，但总趋势一致，没有量级差别，说明两者在模拟岩土材料方面，具有较好的一致性。

表 3 ADINA 和 FLAC3D 计算结果对比表

项目	最大主应力 /MPa		最小主应力 /MPa		y方向位移 /cm		z方向位移 /cm		塑性区
	ADINA	FLAC3D	ADINA	FLAC3D	ADINA	FLAC3D	ADINA	FLAC3D	
初始工况	3.17	3.67	0.048	0.046	2.28	3.00	13.25	16.20	无
开挖工况	2.87	2.91	0.039	0.043	2.26	2.52	23.22	26.30	无

6 结语

（1）用作者编写的接口程序可生成 FLAC3D建模所需的数据文件，从而实现 FLAC3D的快速建模。该法简单实用，极大地提高了分析效率。同时对 FLAC3D功能的发挥具有较大作用。

（2）用 FLAC3D的强度折减法计算的该边坡在自然和开挖状态下的安全系数分别为 1.18和 1.08，同时根据本文对应力场和位移场的分析，可以判断该边坡整体上是稳定的，开挖后边坡的稳定性有所降低。

（3）ADINA 和 FLAC3D作为岩土界广泛采用的两种数值模拟软件，通过对比表明：两者能获得较好的一致性。两者各具优势，可相互补充。

参考文献：

[1] 邹力，彭雄志. 浅谈 FLAC3D的应用原理、优缺点及改进措施 [J]. 四川建筑，2007 (1)：151 - 153.

[2] 刘波，韩彦辉. FLAC原理、实例与应用指南 [M]. 人民交通出版社，2005.

[3] 陈祥军，汤劲松. 用 FLAC3D进行马崖高边坡稳定性分析 [J]. 石家庄铁道学院学报，2002，15 (3)：76 - 79.

[4] 魏继红，吴继敏，孙少锐. FLAC3D在边坡稳定性分析中的应用 [J]. 勘察科学技术，2005 (2)：27 - 30.

[5] 廖秋林，曾钱帮等. 基于 ANSYS平台复杂地质体 FLAC3D模型的自动生成 [J]. 岩石力学与工程学报，2005，24 (6)：1010 - 1013.

[6] 乔国文，王运生，房冬恒. 西南某电站右岸开挖边坡稳定性 FLAC3D分析 [J]. 工程地质学报，2004，12 (3)：280 - 284.

收稿日期：2007 - 11 - 14

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net