

A Review of FLAC3D Software Applications and Complex Modeling

Yinan Tang

School of Civil Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing, China

Abstract: FLAC3D, also known as Fast Lagrangian Analysis of Continuum, uses explicit Lagrangian algorithm and mixed-discrete zoning technology, and is widely used in geotechnical engineering and other fields. This article will discuss the application of FLAC3D in various geological conditions, different working conditions and between different fields, as well as rapid modeling methods for large complex models.

Keywords: FLAC3D software; Software application; Fast modeling; Literature review

FLAC3D 软件应用及复杂模型建立综述

唐一楠

重庆交通大学, 土木工程学院, 重庆, 400000, 中国

摘要: FLAC3D 全称为快速拉格朗日差分分析 (Fast Lagrangian Analysis of Continua), 该软件采用显式拉格朗日算法和混合-离散分区技术, 广泛被岩土工程等领域所应用。本文将讨论 FLAC3D 在各种地质条件下, 不同工况、不同领域之间的应用以及复杂大型模型的快速建模方法。

关键词: FLAC3D 软件; 软件应用; 快速建模; 文献综述

1 引言

FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua) 软件是由 Itasca 公司研发推出的一款连续介质力学分析软件, 该软件是 Itasca 公司旗下全球知名度最高的软件之一, 目前推广到全世界数十个国家, 享誉于岩土工程学术界^[1]。FLAC3D 采用混合离散法进行显式、动态有限差分解算, 加之其具有丰富的本构关系、多种结构单元、可进行开放式二次开发等特点, 是岩土、矿业领域求解连续介质非线性、大变形、动态问题中使用最为频繁的数值模拟软件之一。FLAC3D 通过调整三维网格中的多面体单元来拟合实际的结构。单元材料可采用线性或非线性本构模型, 在外力作用下, 当材料发生屈服流动后, 网格能够相应发生变形和移动 (大变形模式)。FLAC3D 采用了显式拉格朗日算法和混合-离散分区技术, 能够非常准确地模拟材料的塑性破坏和流动。FLAC 作为有限差分软件, 相对于其他有限元软件, 具有以下几个优点: 在模拟材料的塑性破坏与塑性流动过程中采用的“混合离散法”比有限元软件中的“离散集成法”更加合理、准确; 由于可以用动态运动方程模拟静态系统, 所以能够模拟物理学中的不稳定状态。

2 应用场景

FLAC3D 广泛应用于岩土工程、公路工程、基础工程、矿区土体稳定性分析、防灾减灾工程等土木工程领域。

管红兵^[2]依托国内某商业广场大型深基坑工程开挖支护施工, 应用 FLAC3D 软件, 对基坑开挖支护后的周边土层变形量、塑性变形分布范围、支护结构内力变化等进行模拟分析, 验证基坑支护方案设计的合理性。赵勇等^[3]以国内某隧道工程为背景, 应用 FLAC3D 模拟台阶法开挖隧道的围岩变形及应力变化规律, 并从优化施工方法的角度, 综合分析开挖过程中隧道围岩位移及塑性区分布情况, 评价不同施工方案对围岩稳定性的影响。金兆鑫等^[4]通过分析某高速公路滑坡的变形特征, 采用 FLAC3D 软件对滑坡治理前后的稳定性和剪切变形做了分析。刘冀等^[5]以湖南某泥质粉砂岩顺层边坡为工程背景, 通过数值模拟, 分析现状边坡稳定性及滑坡趋势; 在分析锚固初步设计基础上进行优化, 并分析锚杆分布、长度、倾角、间距等对边坡稳定性的影响。曲晓帆^[6]基于强度折减法理论, 运用 FLAC3D 软件, 通过自编强度折减法计算了不同填土高度路堤的稳定安全系数, 找出了安全

系数为 1.1 时对应的填土高度，即为稳定控制的临界高度，并与传统公式计算的结果对比分析，对数值模拟确定临界高度的结果进行评价。运用 FLAC3D 软件进行路堤分级加载过程的数值模拟，通过分析不同填土高度时路堤中心的沉降变化、路堤坡脚的沉降及水平位移变化曲线，得到以变形控制的路堤临界高度，并与稳定控制的临界高度进行对比，说明数值模拟方法的合理性。王涵等^[7]以某隧道为工程背景，采用 FLAC3D 程序研究了隧道穿越断层破碎带 CD 法施工方案，分析拱顶沉降、水平收敛与塑性区范围，依据分析结果并结合现场监测数据，给出了锚—网—喷—钢拱架联合支护方案。Yachao Yang 等^[8]利用 FLAC3D 中强大的编程语言和图像处理功能，分析了非均质岩石的水力耦合特性。Hua Zhou 等^[9]以某边坡为例，利用有限差分软件 FLAC3D 搜索极限条件下剪切应变增量的穿越区域，寻找潜在滑动面，为边坡稳定性及其加固研究提供了可靠的技术支持。

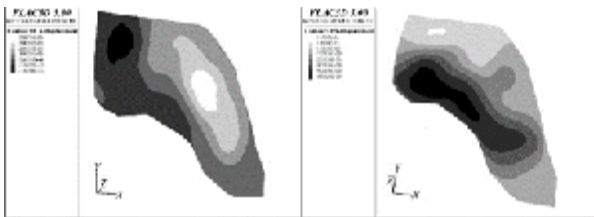


Figure 1. Computational cloud image of displacement of extrusion zone

图 1. FLAC3D 挤压带位移计算云图

3 FLAC3D 快速建模方法简介

在实际工程研究中，我们需要建立正确且恰当的模式来进行数值模拟，从而对工程实际问题进行预测并提出解决方案，同时在模型分析过程中，提高对研究对象及其模型的认识，以便从后期的监测资料中获取关键的指标进行定量定向分析。数值分析结果的合理性在很大程度上取决于模型建立的正确性及输入参数的可靠性。因此，在数值分析中，模型的正确建立是至关重要的一步。

随着计算机软硬件性能与算法的快速发展，近年来采用数值模拟方法进行工程力学分析、指导设计施工，已成为一种趋势，并具有高效性、便捷性、经济性的优势。基于有限差分理论的 FLAC 程序已在岩土工程领域得到了广泛应用。然而，在具有高效分析计

算能力的同时，FLAC 薄弱的前处理功能也成为其自身的最大短板，尤其是在构建具有复杂地质条件的三维数值计算模型时，程序自身的建模功能及方法难以满足实际工程需求，往往需借助第三方软件辅助建模。因此，目前已有部分学者在此方面开展了研究工作。白欣^[10]通过编译接口程序，实现了将 Surpac 模型导入 FLAC3D 程序并针对采空区岩层稳定进行了力学计算；刘世奇^[11]构建了一套将 CAD 二维平面图形快速转换为 FLAC3D 计算网格的方法。BockS.^[12]采用 Ansys—Solid Works 开源程序完成了区域加密钢拱架等措施，对隧道塌方冒顶区进行治理，在浅埋偏压段隧道后续开挖过程中建议采用 CD 法进行开挖，并在隧道开挖前应对地表及隧道掌子面前方及隧道中间岩柱土体进行预加固的处理方案。

4 FLAC3D 应用及研究展望

作为岩土工程等领域广泛应用的软件，虽然 FLAC3D 还存在一些缺陷，但由于其庞大的用户群和产品的不断完善，可以预见，FLAC3D 在未来依然拥有广阔的应用前景，如：

对模型可视化的实时显示。FLAC3D 相较于其他数值模拟软件（如 ABAQUS、ANSYS 等），虽具有较强的后处理能力，但在前端的模型建立，特别是大型复杂模型建立，以及实时的模型可视化能力上，FLAC3D 需要用代码来设定模型的一些基本尺寸及材料情况，使用者无法通过实时的模型可视化图像来判别模型建立是否正确等等一系列问题。所以需要加快研发出适合 FLAC3D 的更快速的模型建立机制。

新型支护形式及理论的验证。支护问题既是一个基础性问题，需要保障工程临时支护或永久支护的有效性；同时又不断面临着新的挑战，如隧道开挖中高应力、不良地质、地温影响、溶蚀性环境、复杂构造、冲击地压、瓦斯、地下水等复杂条件下的施工支护构造的安全验证。而在新型的支护形式上，就抗滑桩而言已经提出 H 型抗滑桩、门式抗滑桩、单双排抗滑桩、T 型抗滑桩等多种理论及形式，与之相对应的就存在不同的支护设计方法。随着新型支护材料的研发、新的支护理论的提出，FLAC3D 依然是验证新型支护技术的重要工具。

跨软件平台建模及跨平台研究。长期以来，数值模拟研究一般局限于同一软件平台，而没有发挥出跨平台建模及研究的优势。目前，FLAC3D 的网格导入

支持 ABAQUS、ANSYS 格式直接导入，或通过 Midas、Kubrix、Rhino 等建模再重新导入 FLAC3D 进行力学分析。但由于跨平台目前的应用还相对较少，在研究过程中也会遇到很多新问题。如何能快速直接将模型导入不同的软件，甚至可能需要软件发行商们进行共同商讨及研发才能实现

精细化建模与多因素耦合研究。复杂精细化建模技术之所以不能快速发展，与民用计算机硬件的配置关系密切。未来，随着计算机高速计算、快速传输、海量存储、云计算、跨平台数据共享等的发展和普及，复杂精细化建模有望得到更广阔的应用，从而可以在 FLAC3D 中进行更加复杂的运算。

5 结语

FLAC3D 自 20 世纪 90 年代初引入我国以来，已广泛应用于边坡稳定性分析、地下洞室、隧道、采矿工程的设计与施工等方面。由于其在解决许多岩土工程问题方面的优势，逐渐成为工程技术人员理想的三维数值模拟工具。经过多年的研究与发展，FLAC3D 如今已偏向于对大型复杂的工程环境或构造进行数值模拟与仿真分析。采用 FLAC3D 与 CAD、ANSYS 等软件共同进行复杂模型建模并进行力学行为分析已经成为如今大型复杂工程结构仿真分析的主流趋势。

参考文献

- [1] Itasca Consulting Group. Fast Lagrangian Analysis of Continua in Three Dimensions. America: Itasca Consulting Group. 1997.
- [2] 管红兵. FLAC3D 数值分析软件在深基坑工程中的应用探析. 安阳工学院学报. 2021, 20(02), 82-85.
- [3] 赵勇, 杨志刚, 周智辉, 凌同华, 张韦华, 何文超. 基于 FLAC3D 的公路隧道塌方段工程处置及其优化. 湖南城市学院学报(自然科学版). 2021, 30(02), 1-7.
- [4] 金兆鑫, 杨鹏, 庞建平, 贾存鹏. 基于 FLAC3D 的宝天高速公路 K82 段滑坡稳定性分析及治理措施研究. 工程质量. 2021, 39(04), 37-40.
- [5] 刘冀, 胡焕校, 邓超, 张剑. 基于 FLAC3D 的顺层岩质边坡稳定性及锚固优化研究. 内蒙古公路与运输. 2021, (01), 1-5.
- [6] 曲晓帆. 基于 FLAC3D 软件的路堤临界高度数值模拟. 低温建筑技术. 2021, 43(03), 133-135.
- [7] 王涵, 高永涛, 李建旺. 隧道穿越断层破碎带施工方案及力学效应研究. 公路. 2021, 66(02), 316-323.
- [8] Yang Yachao, Cui Yongqiang, Song Daifu, Lu Keyu. Hydraulic Coupling Numerical Simulation of Heterogeneous Rock with Random Defects. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021, 643(1).
- [9] Zhou Hua, Wu Xiaotao, Zhou Dongni, Tian Tian. A Coupling Modeling Method with ANSYS/FLAC3D and its Application. Applied Mechanics and Materials. 2012, 1800.
- [10] 白欣, 朱鹏瑞, 万飞. 大冶铁矿实测空区 Surpac-FLAC3D 耦合稳定性评价. 金属矿山. 2019, (1), 158-162.
- [11] 刘世奇, 胡小龙, 张罗迅. 基于 AutoCAD 的 FLAC3D 断层模拟快速建模方法. 煤矿安全. 2018, 49(5), 141-144.
- [12] Bock S. New open-source ANSYS-SolidWorks-FLAC3D geometry conversion programs. Journal of Sustainable Mining. 2015, 14(3), 124-132.