



## 科学研究

### 实验室在自主化国产软件-“岩土工程大变形数值仿真分析软件”研究取得进展

发布时间：2023-09-26 10:39

近年来，岩土工程大变形数值仿真分析方法迅猛发展。该方法既能模拟评估岩土工程的稳定性，为实际工程提供设计支撑的基础，同时能进一步模拟工程结构破坏形式、失效过程等，评价工程失稳所造成的危害。为推动大变形数值仿真分析方法在实际工程的应用，岩土力学与工程国家重点实验室王颀助理研究员、陈昊博士后及其团队成员开发了一套自主化国产软件，该软件基于物质点法（MPM）、离散单元法（DEM）和传统有限元法（FEM），结合图形加速处理技术（GPU），构建了高效的岩土工程大变形数值仿真分析平台，实现了诸如新磨村滑坡等大变形失效过程的高效模拟（如图1）。

目前，岩土工程大变形数值模拟方法仍存在一些缺陷，特别是对岩土体失效机制的模拟和分析方面。已有数值模拟方法多注重于宏观评估岩土工程问题的稳定性、破坏形式、失效过程等，通常采用唯象本构模型和连续性介质假设对岩土体进行模拟。这些方法虽然能把握岩土体的物理力学响应，但缺乏对岩土体内部作用机制的捕捉，难以充分刻画内在失效机制；另一方面，基于离散介质的数值模拟方法能较好地描述土体颗粒层面的微观机制，但在处理实际工程问题时受到计算成本的限制。因此，工程尺度边坡失效破坏过程仍缺乏有效的模拟方法和深入的机制研究。

针对这一现状，该套自主化国产软件新增了基于MPM-DEM耦合的多尺度数值分析模块，开发了一种基于MPM-DEM耦合的层级多尺度数值模拟方法（如图2），并将其应用于三轴实验模拟、边坡破坏分析等方面，旨在全面了解边坡失效和破坏后的岩土体宏微观响应机制。一方面，该方法在传统物质点法（MPM）的基础上引入Affine-particle-in-cell（APIC）速度更新格式和B样条基函数，提高了宏观模拟的稳定性；另一方面，引入了代表性体积单元（RVE）替代本构模型，捕捉岩土体微观物理力学演化机制。通过在颗粒间使用Coulomb摩擦定律和Johnson-Kendall-Robert（JKR）粘聚力模型再现微观颗粒的摩擦和粘团结效应。

基于该层级多尺度数值模拟方法，模拟再现了不同摩擦、粘结、级配特性下边坡的大变形失效过程，探究了边坡大变形失效过程中滑带内部土体的微观失效机制。多尺度分析显示：滑带破坏中，坡趾处的土体受到剪切作用强烈，而顶部破坏作用则受到拉伸作用（如图3）；基于该方法对渐进式边坡破坏过程进行了更深入的分析，发现这类失效往往由坡趾处微小的破坏引起，但可以持续发展至数公里的范围。层级多尺度方法模拟分析结果显示：土壤的流动破坏与颗粒材料的剪切破坏相关，而宏观剪切带的发展通常伴随着拉伸破坏（如图4）。由于剪切和拉伸破坏是摩擦和粘聚材料的典型破坏机制，可以推断摩擦和粘聚

效应在不同的渐进式破坏模式中起到关键作用。因此，通过进一步探究微观颗粒粘结和摩擦作用力的分布规律，提出了一个微观描述参数  $\eta$  来量化摩擦和粘聚之间的相互作用。进一步的分析证明： $\eta$  可以捕捉摩擦和粘聚的效应，并区分不同的退步性破坏模式（如图5）。最后，建立了一个颗粒边坡的一系列渐进式破坏模式云图，其中破坏机制通过不同的主导效应来解释，即土壤中的摩擦或粘聚（如图6）。

相关研究成果发表在 Journal of Geophysical Research: Solid Earth 和 Computers and Geotechnics 等国际期刊上，研究工作获得了中国科学院青年人才项目、国家自然科学基金面上项目（51979270、51709258）资助。

论文链接：

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2022JB026008>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0266352X22002300?via%3Dihub>

图1 新磨村滑坡堆积模拟结果与勘探及其他模拟方法对比

图2 基于物质点法-离散单元法耦合的多尺度数值模拟方法

图3 边坡失效滑带多尺度分析

图4 渐进式边坡破坏机制多尺度分析

图5 破坏模式量化指标  $\eta$  与分布模式

图6 边坡渐进式破坏模式分布云图

---

上一篇：[实验室在深地咸水高效脱盐关键技术研究取得进展 \(/t20240122\\_768712.html\)](#)

下一篇：[国重室揭示了土体蒸发过程中的真实界面蒸发 \(/202309/t20230922\\_754318.html\)](#)

电话：027-87198413

LRSM@whrsm.ac.cn

地址：湖北省武汉市武昌区水果湖街小洪山2号

友情链接

[实验室概况 \(/../sysgk/\)](#)

[科学研究 \(/../kxyj/\)](#)

[研究团队 \(/../yjtd/\)](#)

[开放交流 \(/../kfjl/\)](#)

[人才培养 \(/../rcpy/\)](#)

[运行管理 \(/../yxgl/\)](#)

[共享服务 \(/../gxfw/\)](#)



岩土力学与工程国家重点实验室 © 2024 版权所有 鄂ICP备05001981号-4  
(<https://beian.miit.gov.cn/#/Integrated/index>) 鄂公网安备 42010602001893号