

单轴压缩条件下的堆石混凝土破坏过程研究

李 翔^{1, 2}, 乔浩洋¹, 刘云柯¹, 赵应洪¹

(1. 贵州大学 土木工程学院; 2. 贵州省岩土力学与工程安全重点实验室, 贵州 贵阳 550025)

摘 要: 文中基于实际工程中的堆石混凝土试件切割面, 对堆石混凝土进行单轴压缩数值模拟实验。结果表明, 堆石混凝土试件在单轴压缩过程中其破坏区域主要集中在堆石骨料与自密实混凝土之间的交界面处, 且堆石率对抗压强度有积极影响。

关键词: 堆石混凝土; 堆石率; 数值模拟

中图分类号: TU317

文献标识码: A

文章编号: 1006-7973 (2023) 01-0143-02

一、引言

堆石混凝土是以自密实混凝土为基础发展起来的一种大体积混凝土, 在施工中主要分为两道工序: 将大粒径石块 (粒径>30cm) 堆放入仓然后浇筑自密实混凝土。与传统大坝施工技术相比堆石混凝土施工技术具有施工速度快、高强、耐久、造价相对较低、水化热较低、温控相对容易、节能环保等一系列优点^[1, 2]。由于其良好的施工性能, 堆石混凝土自 2005 年开始投入实际工程以来, 目前已在水利水电工程中被广泛应用。截至 2020 年底, 据不完全统计, 新建、在建的堆石混凝土大坝已有 114 座^[3]。堆石混凝土作为一种准脆性材料, 在采用普通有限元方法进行数值模拟时, 由于其细观单元的力学性能存在随机性和非均匀性, 其破坏过程不能很好的被表征。为了解决上述关于准脆性材料的问题, 唐春安提出了真实破坏过程分析 (Realistic Failure Process Analysis, 简称 RFPA) 方法^[4], 该方法基于有限元和统计损伤理论, 细观上认为各个单元满足弹脆性本构关系, 并假定材料单元的力学特性服从 Weibull 统计分布规律, 通过大量基元的状态变化以及单元物理特性的随机性和非均匀性, 来反映材料宏观破坏是复杂的非线性特征。

文中基于 RFPA 方法, 对堆石混凝土进行单轴压缩数值模拟, 并验证堆石混凝土中堆石率对其抗压强度的影响。

二、数值实验设计

在得到堆石混凝土切割试件的基础上^[5], 文中首先对试件的切割面进行拍照, 然后对图片中的堆石骨料和自密实混凝土进行识别并以不同颜色区分, 最后基于图片生成对应的数值模型并进行单轴压缩数值模拟实验。如图 1 所示, 其四张切割面图片的堆石率分别为: 45%、67%、76%、87%。图 1 中的数值模型为弹性模量分布云图, 图例中单位为, 可以看出不论是堆石骨料还是自密实混凝土, 其弹性模量都满

足统计概率分布规律。材料力学参数见表 1, 模型尺寸为 450mm, 采用位移加载, 每一步加载位移为 0.015mm, 加载 30 步, 总应变为 0.1%。

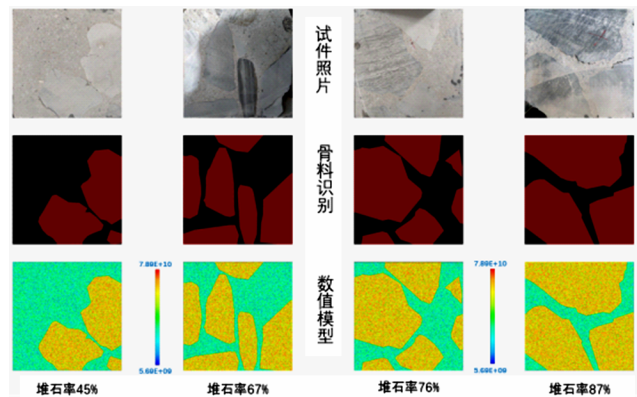


图 1 数值实验设计流程

表 1 材料力学参数

材料名称	堆石骨料	自密实混凝土
弹模/GPa	65	32
抗压强度/MPa	69.47	49.71
弹模均质度	10	4
抗压强度均质度	10	4

三、结果分析

如图 2 所示, 四个模型在加载破坏后都出现了明显的裂纹分布。由于堆石骨料的形状和位置分布具有随机性, 导致四个模型中裂纹的形状和分布区域有很大区别, 表明堆石混凝土在单轴压缩情况下, 堆石骨料的形状和位置分布对破坏形态有着很大的影响。裂纹主要发生在自密实混凝土与堆石骨料的交界面处, 少数的堆石骨料也出现了裂纹。

以堆石率为 87% 的模型为例, 其破坏过程的第一主应力云图如图 3 所示, 在加载到第 2 步时, 堆石骨料边缘的交界面处出现了较高的应力, 产生了应力集中现象; 在加载到第

收稿日期: 2022-08-20

作者简介: 李 翔 (1996-), 男, 贵州大学, 硕士生, 主要从事堆石混凝土力学性能研究。

基金项目: 贵州省研究生科研基金 (YJSKYJJ [2021] 064); 贵州大学实验室开放项目 (SYSKF2022-011); 贵州大学研究生创新人才计划项目 (YRC202215)。

9 步时, 之前的应力集中导致交界面处的单元出现损伤形成了宽度较小的裂纹; 之后伴随着加载位移的增加, 其裂纹在交界面处不断扩展并增加宽度, 到最后形成了贯穿整个模型的倾斜裂纹。

四个模型的单轴抗压强度见表 2, 可知在堆石混凝土中随着堆石率增加, 其抗压强度也会增加。

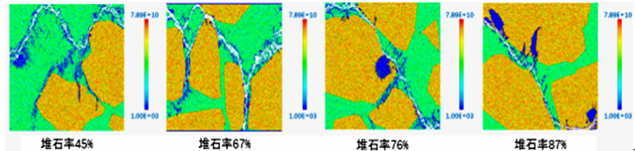


图 2 加载后的弹性模量分布云图

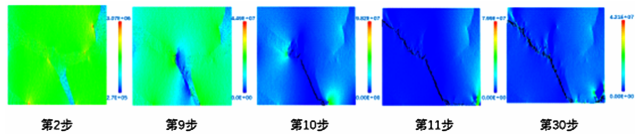


图 3 加载过程第一主应力云图

表 2 单轴抗压峰值强度

堆石率	45%	67%	76%	87%
峰值强度/Mpa	12.3	14.1	14.2	15.1

四、结语

文中以切割的堆石混凝土试件为样本, 选取不同堆石率的四个切割面, 基于图像生成数值模型并进行了单轴压缩数值模拟计算。结果表明:

(1) 堆石混凝土在单轴压缩荷载下的破坏形态与堆石骨料的形状、堆石骨料的位置分布存在较大的联系。

(2) 在堆石混凝土单轴压缩的情况下, 裂纹主要在堆石骨料与自密实混凝土的交界面处扩张。

(3) 堆石率对堆石混凝土的抗压强度起积极作用。

参考文献

[1] 金峰, 安雪晖, 石建军等. 堆石混凝土及堆石混凝土大坝[J]. 水利学报, 2005, 36 (11): 78-83.

[2] 何世钦, 陈宸, 周虎等. 堆石混凝土综合性能的研究现状[J]. 水力发电学报, 2017, 36 (5): 10-18.

[3] 金峰, 周虎, 李玲玉等. 堆石混凝土系列技术在西部水电工程中的应用[J]. 水电与抽水蓄能, 2021, 7 (1): 16-22.

[4] 唐春安, 赵文. 岩石破裂全过程分析软件系统 RFPA^{2D}[J]. 岩石力学与工程学报, 1997, (5): 109-110.

[5] 李友彬, 朱柏松, 唐晓玲等. 绿塘水库堆石混凝土大试件力学性能试验研究[J]. 水利规划与设计, 2020, (4): 142-147+163.

(上接第 111 页)

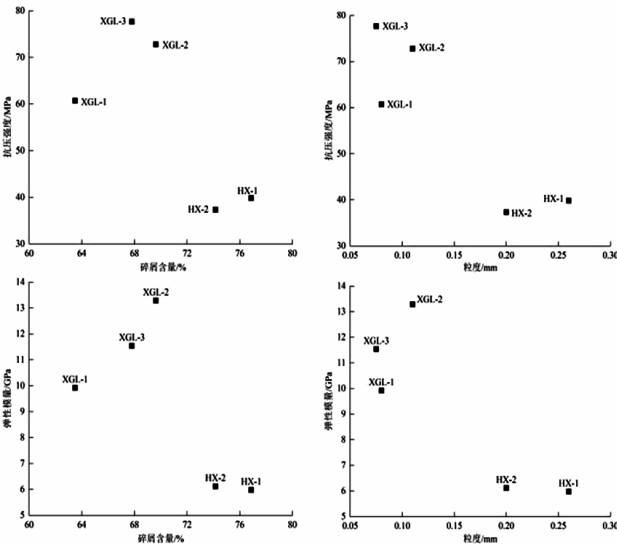


图 5 砂岩结构特征与力学性质

五、结论

砂岩有海相沉积和陆相沉积两种成因, 沉积环境的差异导致其工程力学性质的差异。海相砂岩碎屑以石英为主, 含少量白云母和斜长石, 碎屑通过钙质、粉砂质和硅质胶结, 胶结方式以接触式和缝合式为主, 陆相砂岩碎屑由石英和燧石岩屑为主, 胶结方式以泥质的接触式胶结为主。结合砂岩

成岩过程和岩石力学实验结果, 认为胶结方式是影响两类砂岩抗压性质的主要原因。岩石力学性质受其成分、结构、构造等多种因素影响, 工程活动中可通过砂岩成岩环境和岩石组构的系统分析, 对岩石的抗压性进行初步分析, 从而为进一步工程试验和设计提供参考。

参考文献

[1] Lv H, Peng K, Shang X, et al. Experimental research on the mechanical and acoustic emission properties of layered sandstone during tensile failure[J]. Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 2022, 118: 103225.

[2] Su Q, Ma Q, Ma D, et al. Dynamic mechanical characteristic and fracture evolution mechanism of deep roadway sandstone containing weakly filled joints with various angles[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2021, 137: 104552.

[3] 胡杰, 何满潮, 李兆华等. 各向异性层状砂岩应变岩爆试验研究[J]. 中国矿业大学学报, 2019, 48 (4): 735-741.

[4] 赵文瑞. 泥质粉砂岩各向异性强度特征[J]. 岩土工程学报, 1984, (1): 32-37.

[5] 姜彤, 尹纯阳, 王江锋等. 裂隙位置和开度对岩体抗剪强度影响的试验研究[J]. 华北水利水电大学学报 (自然科学版), 2022: 1-9.