

DOI: 10.11835/j.issn.2096-6717.2023.058



开放科学(资源服务)标识码 OSID:



微生物加固钙质砂试样的声发射能量统计特性

王柠浩¹, 吴秉阳¹, 史金权¹, 郭浩天¹, 蒋翔²

(1. 重庆大学土木工程学院, 重庆 400045; 2. 重庆交通大学材料科学与工程学院, 重庆 400074)

Acoustic emission energy statistical properties of biocemented calcareous sand specimens

WANG Ninghao¹, WU Bingyang¹, SHI Jinqun¹, GUO Haotian¹, JIANG Xiang²

(1. School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China; 2. School of Materials Science and Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, P. R. China)

微生物加固是一种环境友好型土壤加固技术, 具有提高强度、降低渗透率、控制液化等优点, 也可以用于修复重金属污染物、防治矿井粉尘, 大量学者对其进行了研究^[1]。在中国南海地区, 大量岛礁建设工程中主要地基材料均为钙质砂, 由于复杂的工程环境, 钙质砂地基存在沉降变形量过大、不均匀沉降和液化等问题, 威胁到工程建设安全, 有学者提出可以使用微生物加固技术对岛礁钙质砂地基进行加固以解决工程问题^[2]。笔者利用微生物技术对大型钙质砂地基模型进行加固, 并在加固后取出代表性试样开展单轴压缩试验, 同步采集声发射信号, 将模型尺度试样的声发射统计规律与已有研究的颗粒尺度、单元尺度进行对比, 研究其能量统计特性的变化。

首先在长、宽、高分别为 1.0、0.8、0.8 m 的模型箱四角及中心处放置 PVC 硬管, 然后使用砂雨法在模型箱内浇灌钙质砂, 钙质砂基本参数为: 平均粒径 0.43 mm, 比重 2.81, 最大和最小干密度为 1 588 kg/m³ 和 1 279.2 kg/m³。最终地基厚度为 0.7 m, 干密度 1 362.5 kg/m³。在实验室内培养 70 L 巴士芽孢杆菌菌液, 加入无菌水稀释至 100 L 作为加固用菌液; 利用尿素、氯化钙配置 100 L 浓度为 1 mol/L 的胶结液。加固时, 将菌液或反应液从四角处的 PVC 硬管泵送注入, 同时从中心处的 PVC 硬管内使用另一个泵抽出废液。加固步骤: 1) 地基清水饱和 24 h; 2) 注入 100 L 菌液并同时抽出清水静置 4~

5 h; 3) 注入 100 L 胶结液并同时抽出菌液静置 18~20 h, 此为一次加固。钙质砂地基共加固 12 次。加固完成后在 2~3 d 内分期抽出废液, 减少地基内液体残余, 晾干 3 d 左右后对地基进行切割。自上而下分为 A、B、C 三层, 厚度分别为 20、30、20 cm, 并将每层分为 9 块, 长度方向为 30、40、30 cm, 宽度方向为 25、30、25 cm。将 27 个块体取出并烘干, 然后分别通过打磨制备成多个尺寸为 50 mm×50 mm×100 mm 的长方体试样, 开展单轴压缩试验并使用 DISP 声发射工作站(美国物理声学公司)同步采集声发射信号。

Wang 等^[3]开展了钙质砂单颗粒破裂、群颗粒摩擦以及实验室微生物加固钙质砂柱单轴压缩试验, 对试验中同步采集的声发射信号展开了讨论, 并在声发射信号能量的概率密度分布与最大似然估计中发现微生物加固钙质砂柱破坏时的破裂-摩擦混合作用机制。笔者用相同的方法对所有试样的声发射信号能量进行分析, 由于结果相似, 仅列出具有代表性的 3 个试样 A1、B1、C1(A、B、C 层各 1 个)的概率密度分布以及极大似然估计结果如图 1 所示。可以发现, 在地基模型中加固的试样 A1、B1、C1 声发射信号能量在双对数坐标下的直方图概率密度分布表现为线性, 即幂律分布形式, 如图 1(a)所示, 与 Wang 等^[3]的颗粒、砂柱试验相同, 且图 1(a)中线性斜率值与图 1(b)中相应的最大似然估计值相同, 分别为 1.66、1.62、1.65, 是试样 A1、B1、C1

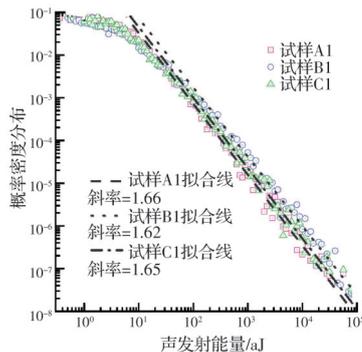
收稿日期: 2023-04-06

基金项目: 国家自然科学基金(52178313)

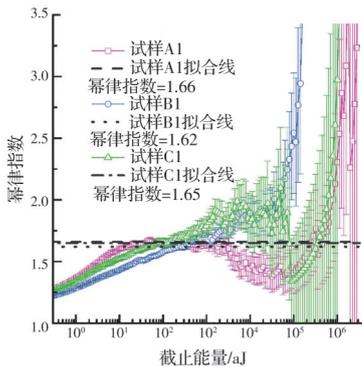
作者简介: 王柠浩(1998-), 男, 主要从事砂土力学特性试验研究, E-mail: wangninghao@163.com。

吴秉阳(通信作者), 男, 博士生, E-mail: wby8840@163.com。

的幂律指数,与实验室微生物加固钙质砂柱 1.46 相似,均介于钙质砂单颗粒破裂(1.37)与群颗粒摩擦(1.70)之间,是试样中破裂与摩擦共同作用的结果^[3]。但因为加固的差异性,地基模型中加固试样的加固效果要劣于实验室微生物加固钙质砂柱,其幂律指数 1.66、1.62、1.65 均大于微生物加固钙质砂柱 1.46,更接近颗粒摩擦 1.70,破坏时摩擦行为更为突出。



(a) 概率密度分布



(b) 最大似然估计

图1 试样声发射信号能量概率密度分布与最大似然估计

Fig. 1 The probability density distribution and maximum likelihood estimation of acoustic emission signal energy of specimens

研究发现,从颗粒尺度的钙质砂颗粒到单元尺度的微生物加固钙质砂柱到模型尺度中的微生物加固钙质砂试样,其破坏时声发射信号能量的统计特性所表现的破坏机制基本一致,即在双对数坐标系下均保持为线性且线性斜率介于钙质砂颗粒破裂(1.37)与颗粒摩擦(1.70)机制之间,这是试样中破裂与摩擦混合作用的结果。同时发现,模型尺度中加固试样的加固效果要劣于单元尺度试样,其幂律指数 1.66、1.62、1.65 均大于微生物加固钙质砂柱 1.46,更接近颗粒摩擦 1.70,表明破坏时摩擦行为更为突出。

参考文献

- [1] ALMAJED A, LATEEF M A, MOGHAL A A B, et al. State-of-the-art review of the applicability and challenges of microbial-induced calcite precipitation (MICP) and enzyme-induced calcite precipitation (EICP) techniques for geotechnical and geoenvironmental applications [J]. Crystals, 2021, 11(4): 370.
- [2] 刘汉龙, 马国梁, 肖杨, 等. 微生物加固岛礁地基现场试验研究[J]. 地基处理, 2019, 1(1): 26-31.
LIU H L, MA G L, XIAO Y, et al. Field test study on microbial reinforcement of island reef foundation [J]. Journal of Ground Improvement, 2019, 1(1): 26-31. (in Chinese)
- [3] WANG L, JIANG X, HE X, et al. Crackling noise and bio-cementation [J]. Engineering Fracture Mechanics, 2021, 247: 107675.

(编辑 胡英奎)