

文章编号: 1000-7598 (2009) 增刊 2-0064-04

不同颗粒级配的某火山灰的力学性质试验研究

蒋明镜^{1,2}, 郑 敏^{1,2}, 王 闯³, 张 焯³, 李立青^{1,2}

(1. 同济大学 土木工程学院地下建筑与工程系, 上海 200092; 2. 岩土及地下工程教育部重点实验室, 上海 200092;
3. 中国空间技术研究院, 北京 100094)

摘 要: 以吉林省靖宇县的红色火山灰为原材料, 配制了 5 种不同级配的试样, 通过比重、直剪和一维压缩试验测试了该火山灰材料的相对密度、剪切强度、压缩性等物理与力学特性, 分析了颗粒级配对该火山灰的剪切和压缩力学特性的影响, 为该材料的进一步应用提供参考。试验发现, 所配制的火山灰试样的剪切特性与干砂土的抗剪性质类似, 压缩特性都属于中压缩性土。

关 键 词: 火山灰; 颗粒级配; 抗剪强度; 压缩性

中图分类号: TU 443

文献标识码: A

Experimental investigation on mechanical properties of a volcanic ash with different grain size gradations

JIANG Ming-jing^{1,2}, ZHENG Min^{1,2}, WANG Chuang³, ZHANG He³, LI Li-qing^{1,2}

(1. Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;
2. Key Laboratory of Geo technical and Underground Engineering of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China;
3. China Academy of Space Technology, Beijing 100094, China)

Abstract: Using a red volcanic ash taken from Jingyu County of Jilin Province as a raw material, samples with five different grain gradations are prepared. The specific density is measured by specific density test and the shear strength and compressibility of volcanic ashes are tested by direct shear test and one-dimensional consolidation test. The influence of grain gradation on shear strength and compressibility of volcanic ashes is also analyzed for the application of volcanic ashes in engineering practice in the future. It is found that the shear characteristics of the red volcanic ash samples are similar to dry sand; and the samples all belong to medium compressible soil.

Key words: volcanic ash; grain gradation; shear strength; compressibility

1 引 言

火山灰是火山喷发时随同熔岩一起喷发的熔岩碎屑和粉尘沉积在地表面堆积形成的松散物质, 具有一定的活性, 是天然的轻集料。我国吉林、云南等 12 个省拥有火山灰资源, 且储量丰富。近年来, 火山灰材料在道路工程、建材等领域中得到了广泛的应用。火山灰可以作为水泥和混凝土的掺合料, 提高水泥和混凝土的强度并可以改善它们的性能。火山灰还被用于路面基层混合料, 试验表明, 火山灰路面基层混合料是一种有潜力的基层材料, 经过不断应用与改进, 可以成为火山灰分布地区的主要基层混合料类型^[1]。此外, 火山灰在建材领域中的

应用也十分广泛, 可以应用于防火隔热材料、保温板、墙板、轻质空心砌块等材料。

本次试验以吉林省靖宇县的红色火山灰为原材料, 分别配制了 5 种级配的试样, 通过比重、直剪和固结试验, 分析了该火山灰材料的相对密度、剪切强度、压缩性等物理力学特性, 分析了颗粒级配对剪切和压缩力学特性的影响, 为火山灰这种材料在今后的应用提供试验依据。

2 原料与制备

2.1 原料

原材料取自于吉林靖宇县的火山灰^[2], 现场取样。原始红色火山灰棱角明显, 粒径较大且分布散

收稿日期: 2009-07-18

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No. 50679057, No. 10922158)。

第一作者简介: 蒋明镜, 男, 1965 年生, 教授, 博士, 博士生导师, 从事土体试验及其本构模型和数值分析方面的研究。E-mail: mingjingjiang@tongji.edu.cn

乱, 密度很小且不易压实, 且冬季雨雪较大, 致使火山灰天然含水率偏高, 红色火山灰的含水率变化范围为 22.5 %~26.5 %。

2.2 相对重度

经测定, 红色火山灰的平均相对重度为 2.72, 其相对重度介于砂质粉土与黏土之间。

2.3 制备

原始火山灰颗粒较大, 蓬松多孔, 有大量肉眼可见的孔隙, 故不能直接作为试验材料, 需要先对其进行烘干、研磨、筛分。研磨前先将火山灰放入烘箱中烘干 24 h, 然后在研磨机上研磨。研磨后的火山灰试验前再次放入烘箱中烘干, 再测试火山灰试验时的含水率, 含水率的范围 (0.72 %~0.87 %), 故基本可以忽略含水率对其力学性能的影响。筛分后的火山灰分别封装并保存备用。

按照《土工试验方法标准》^[6]中的筛析法, 将研磨后的红色火山灰过整套筛, 再按各个粒径区间的比例人工配制成上限级配 A、下限级配 B、平均级配 C、级配 D、级配 E 等五种颗粒级配, 级配曲线如图 1 所示。

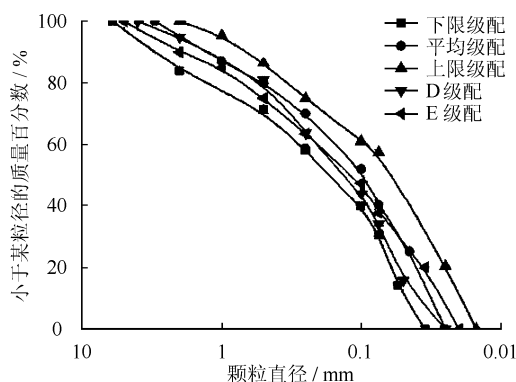


图 1 火山灰的颗粒级配曲线

Fig.1 Grain size distribution of 5 samples

试验材料的颗粒级配是决定火山灰物理力学性质的主要因素之一, 为研究粒径分布对火山灰的物理力学性质的影响, 本研究将红色火山灰分别配制 5 种不同级配的试样, 通过对比试验找出颗粒级配对该火山灰物理力学性质的影响。

3 试验与结果分析

3.1 抗剪强度试验结果分析

火山灰试样的黏聚力、内摩擦角通过直接剪切试验测定, 采用应变控制式直剪仪进行快剪试验。根据试验结果可得垂直压力与抗剪强度关系, 其中垂直压力取 50、100、150 kPa 和 200 kPa, 分别对 5 中不同颗粒级配及 2 种不同密度的红色火山灰进行

试验, 结果如图 2、3 所示。图 2 中 5 种级配的试样密度为 1.36 g/cm^3 。由图 2 和表 1 可以看出, 所配置的红色火山灰试样的黏聚力 c 很小, 从 $0.191 \sim 1.056 \text{ kPa}$, 与干砂抗剪性质类似。在 5 种级配中, 平均级配 C 的内摩擦角最小, 为 40.7° , E 级配的内摩擦角最大, 为 47.6° , 内摩擦角平均值为 44.82° , 最大与最小内摩擦角与之分别相差 7.4 %和 6.2 %。从所以级配试样的内摩擦角大小来看, 可以分为 2 组: 级配 A、C 和级配 B、D、E。这是因为级配 A、C 的级配曲线相近, 级配 B、D、E 的级配曲线相近, 其中级配 B、D、E 中的大颗粒含量较多, 级配曲线更加平缓, 级配较好, 颗粒间的咬合比 A、C 级配更好, 因此其强度更高。由图 3 可知, 同一种级配的试样, 其内摩擦角随密度的增大而有一定程度的增加。这是因为试样的密度增大, 孔隙比从 1.0 减少到 0.9, 试样更加密实, 因此强度也相应增大, 与干砂的抗剪性质类似。

3.2 压缩试验与结果分析

采用一维压缩仪测定火山灰的压缩特性, 采用相对密度控制火山灰的密实程度, 重复试验。整理试验数据可得红色火山灰孔隙比与垂直压力 $e-p$ 关系曲线如图 4、5 所示。图 5 中法向压力分别为

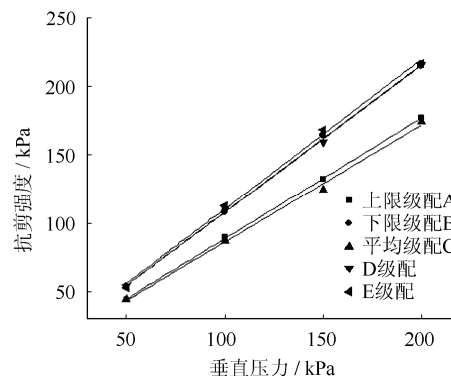


图 2 级配对红色火山灰剪切特性的影响

Fig.2 Shear strength for red volcanic ash sample A,B,C,D and E

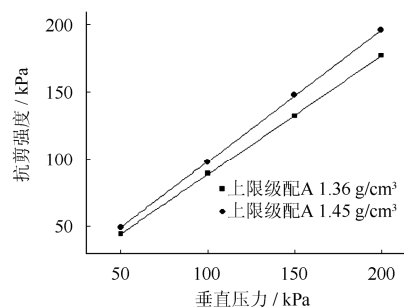


图 3 密度对红色火山灰剪切特性的影响

Fig.3 Shear strength for red volcanic ash sample A with different density

表 1 红色火山灰试样的剪切特性
Table 1 Shear strength for red volcanic ash sample

级配编号	密度/(g/cm ³)	内摩擦角/(°)	黏聚力/kPa
上限级配 A	1.36	41.5	0.191
	1.45	44.4	0.576
下上级配 B	1.36	47.2	0.384
	1.45	48.7	1.056
平均级配 C	1.36	40.7	0.192
	1.45	46.1	0.864
D 级配	1.36	47.1	0.384
E 级配	1.36	47.6	0.861

12.5、25、50、100、200、400 kPa 和 800 kPa; 图 4 中法向压力分别为 100、200、300、400 kPa。通过 $e-p$ 曲线, 按式 (1) 可计算出压缩系数 a , 一般采用 100~200 kPa 压力区间内对应的压缩系数 a_{1-2} 来评价土的压缩性;

$$a = \tan \alpha = \frac{\Delta e}{\Delta p} = \frac{e_1 - e_2}{p_2 - p_1} \quad (1)$$

从以上各图表可以看出, 所配制的红色火山灰试样的压缩系数都在 $0.1 \text{ MPa}^{-1} < a_{1-2} < 0.5 \text{ MPa}^{-1}$ 之间, 所以, 所有试样均属于中压缩性土。

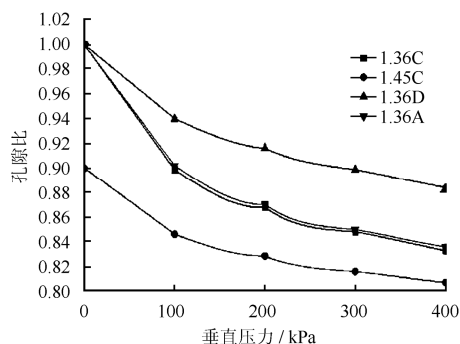


图 4 红色火山灰试样的 $e-p$ 曲线

Fig.4 $e-p$ curves for red volcanic ash samples

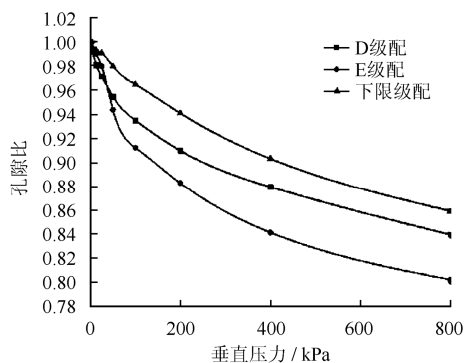


图 5 红色火山灰试样的 $e-p$ 曲线

Fig.5 $e-p$ curves for red volcanic ash samples

从图 4、5 中可以看出, 火山灰试样中下上级配 B 的压缩性最小, 因为下上级配 B 的粒径分布良好,

颗粒不均匀。平均级配 C 的压缩性最大, 这是因为其粒径中大颗粒含量较少, 级配不良, 试样中孔隙较大, 受压后小颗粒填充到孔隙之中, 所以其压缩性较大。

表 2 红色火山灰试样的压缩系数
Table 2 Coefficients of compressibility of red volcanic ash samples

级配编号	ρ /(g/cm ³)	初始 e	a_{1-2}	含水率/%
下上级配 B	1.36	1.0	0.32	0.72
	1.45	0.9	0.18	0.82
平均级配 C	1.36	1.0	0.31	0.82
	1.36	1.0	0.24	0.79
E 级配	1.36	1.0	0.28	0.87

4 结 语

采用吉林省靖宇县的红色火山灰为主要原料, 按照不同的级配曲线各加工配制了 5 种试样。对比测试了这 5 种火山灰试样的物理力学性质, 得到其剪切和压缩特性。所配制火山灰试样含水量很小(为 0.72%~0.87%), 其剪切特性与干砂土的抗剪性质类似, 黏聚力 c 很小, 内摩擦角随密实度的增加而增大, 剪切特性受级配的影响较大, 5 种级配中红色火山灰最大与最小内摩擦角与平均内摩擦角分别相差 7.4% 和 6.2%。火山灰试样的压缩系数 a_{1-2} 的范围在 $0.12 \text{ MPa}^{-1} \sim 0.32 \text{ MPa}^{-1}$ 之间, 属于中压缩性土, 级配良好, 密度增加, 其压缩性都会减小。

致谢 参加实验的还有同济大学贾敏才博士, 以及胡海军、孙渝刚、王富周、肖俞 4 位研究生, 特此致谢。

参 考 文 献

- [1] 陈志国, 王哲人, 赵长虹. 火山灰路面基层路用性能研究及机理分析[J]. 公路交通科技, 2008, 25(8): 15-20.
- [2] 金伯禄, 张希友. 长白山火山地质[M]. 延吉市: 东北朝鲜民族教育出版社, 1994.
- [3] 王淑云, 香晓兵, 时忠民. 颗粒级配和结构对粉砂力学性质的影响[J]. 岩土力学, 2006, 26(7): 1029-1032.
- [4] 张众, 李春洪. 天然火山灰掺合料在水电工程中的应用[J]. 云南水利发电, 2009, 25(1): 67-71.
- [5] 鄢全树, 石学法, 刘季花等. 中沙群岛近海表层沉积物中的火山灰及其对构造环境的响应[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(4): 9-15.
- [6] 中华人民共和国水利部. GB/T50123-1999 土工试验方法标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 1999.