

文章编号:1674-2869(2017)01-0064-05

恩施红层砂岩细粒土工程特性对比的试验研究

钟园,丁峰,廖奇麟,潘登,王章琼*

武汉工程大学资源与土木工程学院,湖北 武汉 430074

摘要:以恩施地区广泛分布的红砂岩细粒土为例,通过室内试验,对比分析了5种典型红砂岩细粒土在天然密度、天然含水量、颗粒级配、最优含水量及抗剪强度等物理、力学特性方面的差异,并探讨了物理性质参数与力学性质参数的内在联系.结合工程实例,通过数值模拟方法获得不同红砂岩细粒土作为填料时路基的沉降特性,探讨了产生沉降差异的原因.结果表明:上述红砂岩细粒土的物理、力学性质有差别,作为填料时路基的沉降量有显著差异,建议施工过程中选取土料时加以区分.

关键词:红层砂岩;细粒土;工程特性;路基沉降

中图分类号:P642.13⁹ 文献标识码:A doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2017.01.0011

Comparative Test on Engineering Characteristics of Red Sandstone Fine-Grained Soils in Enshi

ZHONG Yuan, DING Feng, LIAO Qilin, PAN Deng, WANG Zhangqiong*

School of Resource and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 40074, China

Abstract: Taking red sandstone fine-grained soil widespread in Enshi, Hubei province as a case, both the physical and mechanical properties of five typical red sandstone fine grained soil, including natural density, natural water content, particle size distribution, optimum water content and shear strength were comparatively analyzed by laboratory tests, and the inner relationship between the physical and mechanical property parameters was also discussed. Combined with engineering cases, we explored the settlement characteristics of roadbed filled by the five red sandstone fine-grained soil, and the cause that leads to different settlement. The results show that the settlement of the roadbed may be significantly different when the red sandstone fine-grained soil is used as the filler. It is recommended that we should distinguish the soil material in the construction process.

Keywords: red sandstone; fine-grained soils; engineering characteristics; subgrade settlement

红砂岩大多形成于中生代和新生代,成岩作用差,岩体胶结程度低,易风化,在我国川、滇、皖、鄂、湘、内蒙、粤、鲁等地均有分布,红砂岩及其风化后形成的细粒土是工程建设中经常遇到的一类

岩土体^[1-2].学者对红层砂岩及其风化土的工程特性进行了大量研究,取得了丰富成果^[3-8].

由于成岩时物质来源、沉积环境不同,不同地区、不同时期形成的岩石在矿物成分、结构特征等

收稿日期:2016-08-03

基金项目:武汉工程大学第十届大学生校长基金(2015029)

作者简介:钟园,本科生. E-mail:zy19937@163.com

*通讯作者:王章琼,博士,讲师. E-mail:wzqcug@163.com

引文格式:钟园,丁峰,廖奇麟,等.恩施红层砂岩细粒土工程特性对比的试验研究[J].武汉工程大学学报,2017,39(1):64-68.

ZHONG Y, DING F, LIAO Q L, et al. Comparative test on engineering characteristics of red sandstone fine-grained soils in enshi [J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2017, 39(1): 64-68.

方面存在差异,其风化产物-残积土的工程性质也表现出不同特点^[9].同类或相似岩土体因成岩环境、风化作用等条件的不同而表现出不同的物理、力学、水理特性,这一现象已被许多学者发现,并开展了大量岩土体工程特性对比试验研究.

杨虹^[10]通过室内试验,对比分析了湖南、广西两地膨胀土的特性;王建军^[11]对襄樊地区两种膨胀土进行大量试验研究,发现黄褐色膨胀土比灰色膨胀土具有较好的水稳定性;滕珂^[12]通过室内试验对比分析了不同含水率情况下广西南宁膨胀土与株洲红黏土的压缩蠕变特性;葛建^[13]通过基质吸力试验,对比了高液限红黏土和含砂次生黏土的土水特征曲线;程克玲^[14]对华中地区3种典型膨胀土和3种典型非膨胀土进行CBR试验,得到不同类型土的CBR与压实功关系;许豪^[15]通过室内试验研究了膨胀土和红黏土在完全相同试验条件下的一维压缩蠕变特性以及回弹特性,得到了

二者回弹量的差异.

恩施地区红层砂岩广泛分布,工程建设中常将红砂岩细粒土作为路基填料.红砂岩细粒土表观特征(如颜色、颗粒组成等)种类较多,这些表观特征不同的细粒土工程性质差异性如何,是设计、施工中需要查明的问题.本文选取恩施地区5种典型红砂岩细粒土,通过室内试验对比其物理、力学性质的差异;结合在建公路工程,分析上述差异对路基沉降的影响,为该地区红层砂岩细粒土物理、力学参数取值提供理论依据和参考.

1 试验部分

1.1 试样采集

本文试验采用的红砂岩细粒土取自恩施市区某取土场,共选取5种典型红砂岩细粒土,分别编号为1#、2#、3#、4#、5#,如图1所示.

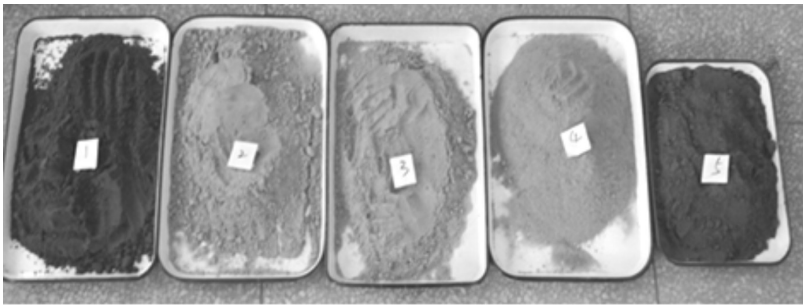


图1 红砂岩细粒土样品
Fig. 1 Specimens of red sandstone fine-grained soil

1.2 物理性质试验

对土样进行天然密度、天然含水率、颗粒分析和击实试验,室内试验按公路土工试验规程(JTG E40—2007)进行.

1.3 力学性质试验

力学试验在武汉工程大学资源与土木工程学院中心实验室完成,试验仪器为TSZ全自动三轴仪,试验时采用不固结不排水条件控制.试验过程中应力-应变曲线达到峰值时停止试验,如难达到明显峰值,则采用应变15%对应的应力差作为峰值.

1.4 算例分析

为分析5种典型红砂岩细粒土物理、力学性质的差异对填筑路基的影响,以恩施市城区某一级公路改线工程路基为例,通过数值模拟方法对比分析采用上述不同红砂岩细粒土作为填料时路基的沉降变形差异.

1.4.1 计算模型 采用FLAC^{3D}对路基填筑后的沉

降变形进行数值分析,建立的数值模拟模型分2层,下部为地基,长200 m,高50 m,厚10 m;上部为填土,底宽130 m,顶宽100 m,高10 m.模型共计3 654个节点,15 664个单元体,如图2所示.

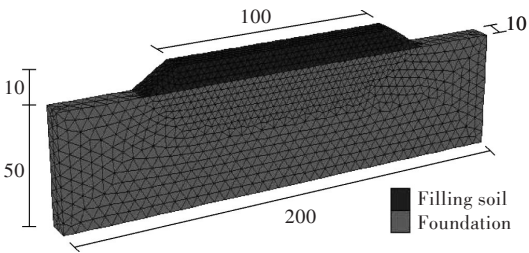


图2 填方路基数值分析模型(单位:m)
Fig. 2 Numerical model of fill subgrade(unit: m)

1.4.2 边界条件 对模型x方向约束两个端面的水平位移,对底部约束垂直方向位移,对z方向前后两个端面约束水平方向位移,其余均为自由边界.

1.4.3 材料参数 材料密度、粘聚力、内摩擦角等

参数均采用上述室内试验结果;根据三轴试验结果,弹性模量分别为 2.08 MPa、2.03 MPa、2.24 MPa、2.18 MPa、2.39 MPa;泊松比根据经验取 0.3.

2 结果与讨论

2.1 物理性质

物理性质试验结果见表 1.

表 1 土的物理性质指标

Tab. 1 Physical characters of soil samples

试样 序号 serial number	天然密度 natural density / (g/cm ³)	天然含水量 natural water content / %	不均匀系数 non-uniform coefficient	最优含水量 optimum water content / %
1#	2.01	7.98	3.40	12.73
2#	2.05	8.15	2.32	13.20
3#	1.51	7.03	2.52	12.44
4#	1.59	9.33	2.53	12.77
5#	1.58	8.62	3.18	12.07

试验结果表明:5 组试样天然密度差异明显,1#、2#土约为 2.0 g/cm³,3#、4#、5#土约为 1.55 g/cm³,最大天然密度约为最小天然密度的 1.37 倍;天然含水率差异较明显,由大到小依次为 4#、5#、2#、1#、3#,最大值为 9.33%(4#),最小值为 7.03%(3#);5 组试样最优含水率较接近,约 12%.

颗粒分析试验结果如图 3 所示,根据土工试验规程,5 组试样颗粒不均匀系数均小于 5,均为级配不良土;4#为含细粒土砂,1#为中砂,2#、3#、5#为细砂.

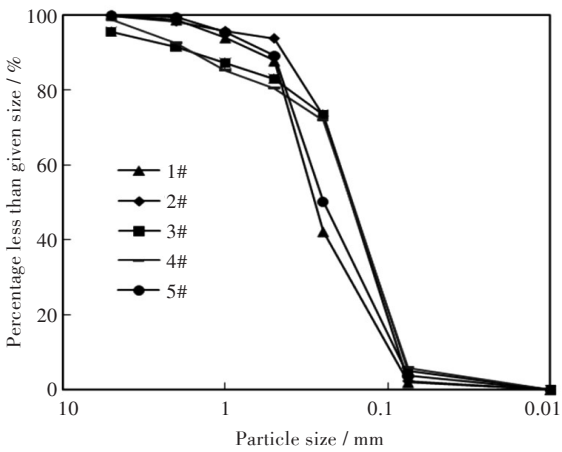


图 3 颗粒分析试验结果

Fig. 3 Results of particle analysis test

2.2 力学性质

通过不固结不排水试验,得到不同围压下试样主应力差与轴向应变曲线,如图 4 所示.

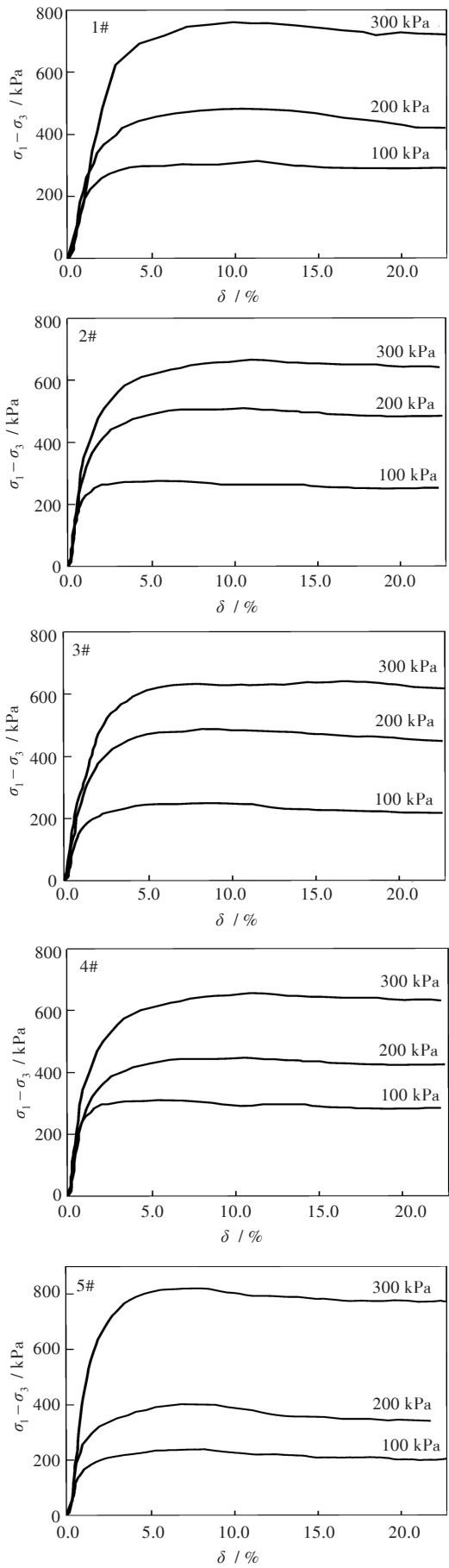


图 4 三轴试验应力-应变曲线

Fig. 4 Curves of deviator stress and axial strain

由图4可知,5种红砂岩细粒土在围压较低(100 kPa、200 kPa)时,应力-应变曲线峰值差别不大;在围压较高(300 kPa)时,应力-应变曲线峰值差别明显.其中围压为300 kPa时,1#、5#应力应变曲线峰值对应主应力差值约800 kPa,其余试样约600 kPa.

由图4所示试验结果得到5种红砂岩细粒土的抗剪强度参数,见表2.

表2 试样抗剪强度参数

Tab. 2 Shear strength of soil samples

试样序号	粘聚力	摩擦角
serial number	cohesion / kPa	friction angle / (°)
1#	15.9	32.6
2#	20.5	30.5
3#	24.0	30.0
4#	30.7	29.2
5#	28.1	31.0

由表2看出,5种红砂岩细粒土的粘聚力差别较大,而内摩擦角较为接近.粘聚力由大到小依次为4#、5#、3#、2#、1#,最大值30.7 kPa,约为最小值(15.9 kPa)的2倍;内摩擦角最大值为32.6°(1#),最小值为29.2°(4#),二者相差约12%.

对于砂类土,内摩擦角大小与粗粒组含量正相关,粘聚力与细粒含量正相关.上述5种试样中,1#为中砂,粗粒含量最高,因而粘聚力最小,内摩擦角最大;4#为含细粒土砂,细粒含量最高,因而粘聚力最大,内摩擦角最小;2#、3#、5#为细砂,其粗粒、细粒含量介于1#、4#之间,因而粘聚力和内摩擦角大小也介于1#、4#之间.可见,土的物理性质与力学性质存在内在联系.

2.3 数值模拟模型计算

考虑到数值模拟模型为对称结构,沉降最大的部位在路基顶面中轴线附近,为此,监测路基顶面中点处变形量,为路基最大变形.采用不同土作为填料时路基顶面中线处沉降量计算结果见图5.

由图5可知:5种土作为填料时,路基沉降量大体可以分为两组.一组是1#、2#土,对应的路基沉降量较大,分别为0.606 m、0.572 m;另一组是3#、4#、5#土,对应的沉降量较小,分别为0.290 m、0.303 m、0.275 m. 1#、2#土对应的沉降量约为3#、4#、5#土的2倍.

对比5种土的物理性质参数发现,1#、2#土密度较大,约为2.0 g/cm³;3#、4#、5#土密度较小,约为1.55 g/cm³,这与路基沉降变形规律有明显相关性,但较大密度与较小密度在数值上并非2倍关系.

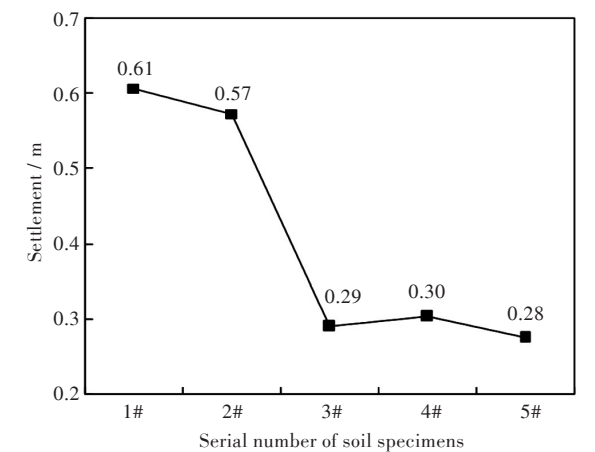


图5 填方路基中心沉降量

Fig. 5 Settlement of fill subgrade center

出现上述现象的主要原因可能是,在数值计算中,土在自重作用下的沉降变形受密度与变形参数的共同影响.三轴试验得到5种土的弹性模量分别为2.08 MPa、2.03 MPa、2.24 MPa、2.18 MPa、2.39 MPa,1#、2#土弹性模量均较小,3#、4#、5#土弹性模量均较大.即1#、2#土密度较大且弹性模量较小,3#、4#、5#土密度较大且弹性模量均较大,从而导致作为路基填料时,1#、2#土沉降量显著大于3#、4#、5#土.

3 结 语

通过室内试验及数值模拟,对恩施地区5种典型红砂岩细粒土的工程特性进行了对比,得到以下结论:

- 1)5种典型红砂岩细粒土天然含水率接近,天然密度差异明显,均为级配不良均粒土.不固结不排水条件下,5种土粘聚力最大值为30.7 kPa(4#),最小值为15.9 kPa(1#);内摩擦角最大值为32.6°(1#),最小值为29.2°(4#).
- 2)探讨了土的抗剪强度参数与土颗粒组成之间的关系,1#为中砂,粗粒含量最高,因而粘聚力最小,内摩擦角最大;4#为含细粒土砂,细粒含量最高,因而粘聚力最大,内摩擦角最小;其他土样介于1#、4#之间.
- 3)不同性状红砂岩细粒土在路基填土中沉降量存在明显差异,密度和变形参数是影响沉降量的重要因素,作为路基填料时,土在自重作用下的沉降变形受密度与变形参数的共同影响.
- 4)本文选取的5种典型恩施红砂岩细粒土的工程特性差异明显,在设计、施工过程中应加以区分.

参考文献:

- [1] 刘林芽,高柏松.红砂岩工程特性的试验研究[J].铁道建筑,2007,47(11): 44-46.
LIU L Y, GAO B S. Experimental study on engineering properties of red sandstone [J]. Railway Engineering, 2007,47(11): 44-46.
- [2] 彭勃,杨建永,潘建平,等.不同厚度红砂岩粗粒土静力压实特性试验研究[J].公路,2015,44(11): 1-9.
PENG B, YANG J Y, PAN J P, et al. Test and research on impact of soil layer thickness on compaction properties of coarse-grained red sandstone soil [J]. Highway, 2015,44(11): 1-9.
- [3] 赵明华,邓颀宇,曹文贵.红砂岩崩解特性及其路堤填筑技术研究[J].中国公路学报,2003,16(7): 1-5.
ZHAO M H, DENG J Y, CAO W G. Study of distintegration character of red sandstone and the construction techniques of red sandstone embankment [J]. China Journal of Highway and Transport, 2003, 16(7): 1-5.
- [4] 王贵荣,任建喜.基于三轴压缩试验的红砂岩本构模型[J].长安大学学报(自然科学版),2006,26(6): 48-51.
WANG G R, REN J X. Constitutive model of red sandstone based on triaxial compression test [J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2006,26(6):48-51.
- [5] 韦慧,曾胜,赵健,等.路用红砂岩碎石土湿化变形特性试验[J].中南大学学报(自然科学版),2015,46(6): 2261-2266.
WEI H, ZENG S, ZHAO J, et al. Test on wetting deformation of red sandstone gravel soil in filled subgrade [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2015,46(6): 2261-2266.
- [6] 沈明荣,谌洪菊.红砂岩长期强度特性的试验研究[J].岩土力学,2011,32(11): 3301-3305.
SHEN M R, CHEN H J. Testing study of long-term strength characteristics of red sandstone [J]. Rock and Soil Mechanics, 2011,32(11): 3301-3305.
- [7] 胡甜,赵健,洪雄杰,等.干湿循环下红砂岩路基填料压缩特性试验研究[J].工程勘察,2013,41(8): 17-18.
HU T, ZHAO J, HONG X J, et al. Study on the compression property of red sandstone roadbed under the action of dry-wet cycles [J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2013,41(8): 17-18.
- [8] 甘文宁,朱大勇,吴迎雷,等.红砂岩细粒土抗剪强度的试验研究[J].四川大学学报(工程科学版),2014,46(增刊2): 70-75.
GAN W N, ZHU D Y, WU Y L, et al. Experimental study on shear strength of red sandstone fine-grained soils [J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition), 2014,46(Suppl. 2): 70-75.
- [9] 彭贤明,符铎砂.不同崩解条件下泥质红砂岩路用性能试验研究[J].路基工程,2012,28(2): 105-107.
PENG X M, FU X S. Experimental study on road performance of muddy red sandstone under different disintegration conditions [J]. Subgrade Engineering, 2012,28(2): 105-107.
- [10] 杨虹,孙莉萍,刘义虎,等.南方地区膨胀土性质对比试验[J].中南公路工程,2005,30(2): 203-206.
YANG H, SUN L P, LIU Y H, et al. Test study on the characteristics of swelling soil of central south [J]. Central South Highway Engineering, 2005, 30(2): 203-206.
- [11] 王建军,刘玉欣,杨有海.襄樊地区黄褐色膨胀土与灰色膨胀土对比试验研究[J].兰州交通大学学报(自然科学版),2007,26(3): 21-24.
WANG J J, LIU Y X, YANG Y H. Comparison between the yellow expansive soil and gray expansive soil in Xiangfan area [J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University (Natural Sciences), 2007,26(3): 21-24.
- [12] 滕珂,肖宏彬,许豪,等.非饱和膨胀土与红粘土的对比试验研究及微观结构分析[J].公路工程,2010,35(5): 4-9.
TENG K, XIAO H B, XU H, et al. Comparative laboratory study and microstructure study on unsaturated expansive soil and red clay [J]. Highway Engineering, 2010,35(5): 4-9.
- [13] 葛建,付强,梁经纬.两种黏性土的基质吸力试验对比分析[J].工程勘察,2014,42(12): 5-8.
GE J, FU Q, LIANG J W. Comparative analyses on the matric suction experiment of two kinds of clays [J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2014, 42(12): 5-8.
- [14] 程克玲.华中地区膨胀土与非膨胀土CBR试验对比研究[J].公路工程,2015,40(1): 209-211.
CHENG K L. CBR test study on expansive soils and non-expansive soils of central china [J]. Highway Engineering, 2015,40(1):209-211.
- [15] 许豪,肖宏彬,林明明.南宁膨胀土和株洲红粘土对比试验研究[J].公路工程,2015,40(1): 14-17,38.
XU H, XIAO H B, LIN M M. Comparative experimental study on Nanning expansive soil and Zhuzhou red clay [J]. Highway Engineering, 2015, 40(1): 14-17,38.

本文编辑:苗 变