

文章编号:1674-599X(2012)01-0001-05

干湿循环条件下碾压膨胀土的裂隙发展规律

杨和平, 刘艳强, 李晗峰

(长沙理工大学 特殊土工程研究所, 湖南 长沙 410004)

摘 要: 为探讨公路工程中膨胀土路基裂隙的开展过程和演化规律, 设计并开展了室内模拟试验, 初步获得压实膨胀土中裂隙的发育过程及随干湿循环作用次数的变化规律. 运用 MATLAB 的图像处理功能, 对开裂试样进行了定性描述和定量统计分析. 分析结果表明: 初始状态下, 试样中产生的裂隙细微短小, 裂隙率较低; 首次干湿循环作用后, 试样裂隙率大幅提高, 且开裂宽度和深度急剧加大; 但经随后几次干湿循环的作用, 裂隙的增长率逐步减小并趋于稳定. 研究结论对指导膨胀土路基施工有一定意义.

关键词: 干湿循环; 压实膨胀土; 室内模拟试验; 图形图像处理; 裂隙率

中图分类号: U416.1⁺67 文献标识码: A

The development of cracks of compacted expansive soil under dry-wet cycling

YANG He-ping, LIU Yan-qiang, LI Han-feng

(Research Institute of Special Soil Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410004, China)

Abstract: In order to study the development process and evolution of cracks of expansive soil embankment in actual highway engineering, a laboratory simulation tests are designed, the development and the change of cracks of compacted expansive soil with the numbers of dry-wet cycling are obtained, and the crack rates of the samples are described and quantitative analyzed with the graph and image processing of MATLAB. The tests and the analysis results show that the cracks of the expansive soil under the compact condition are fine, and the crack rate is small, the first dry-wet cycling can greatly increase the crack rate of the expansive soil, the width and depth are also increased. However, the effect of the following dry-wet cycles on the crack rates are gradually decreased. This study can provide certain significant guidance for the construction of expansive soil embankment.

Key words: dry-wet cycling; compacted expansive soil; laboratory simulation tests; graph and image processing; crack rate

膨胀土是自然地质历史过程中形成的一种多裂隙且具显著胀缩性地体. 它分布广, 并对各类浅表层轻型工程建设具有特殊危害作用, 被称之为“工程中的癌症”^[1]. 膨胀土具有胀缩性、裂隙性

和超固结性等三大特性, 其中裂隙性是造成工程结构破坏的关键因素. 土中裂隙的产生、延展和贯通, 极大地破坏了土体结构的整体性并降低了它的强度和稳定性^[2].

收稿日期: 2011-12-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50978035); 交通部科技项目(2009353311060); 广西交通科技项目(2011-20)

作者简介: 杨和平(1954-), 男, 长沙理工大学教授, 博士生导师.

现有对膨胀土裂隙性的研究,多停留于用解析方法模拟裂隙对边坡稳定性的影响^[3]及用数理统计方法描述裂隙与土的抗剪强度和变形特性间关系^[4-5],方法中因包含不少理想假定与简化,分析结果与实际工程存在着较大的差距.图像处理手段作为一种无扰动观测技术近期被引入对裂隙的观测与定量分析,推动了膨胀土裂隙性研究的发展^[6-8].但已有这项工作针对的多是农业和水利工程.将土样制备成饱和泥浆后,观察干缩裂隙的形成及其发育随温度、湿度和粒度组成等因素的变化规律.在公路工程中,无论是路堤的填筑还是

路堑边坡的柔性支护,膨胀土填料都必须达到一定的压实度.因此,很有必要针对实际的膨胀土填筑工程来开展试验研究,以获得碾压膨胀土中裂隙的发育过程及其随干湿循环作用次数的变化规律.

1 试验设计

1.1 试验用土

试验用土为广西百色膨胀土,其基本性质见表1,膨胀潜势为中一强.

表1 土样基本性质测试结果

Table 1 The basic properties of soil samples

容重/ ($g \cdot cm^{-3}$)	液限/ %	塑性 指数	含水率 $\omega_{opt}/\%$	最大干密度 ρ_d / ($g \cdot cm^{-3}$)	颗粒组成/%			自由 膨胀率/%
					>0.075 mm	0.075~0.005 mm	<0.005 mm	
2.092	56.26	34.89	17.46	1.80	0.10	52.02	47.88	82

1.2 模型制作及试验设计

试验模型(如图1(a)所示)为一专门定做的玻璃缸,其内径40 cm×40 cm×10 cm,为目前同类试验中模型尺寸最大者.这一方面考虑了从试样面积和厚度的比例上模拟实际填筑,另一方面顾及到击实试样的均匀性和表面平整性,同时,方便放入烘箱,加快干燥失水进程.

试验设计的基本思路是让压实土样经历不同次数的干湿循环作用,研究其开裂过程及裂隙率随干湿循环次数的变化规律.按现场填筑的实际工况,确定膨胀土湿法重型标准最佳含水率(17.46%)为制样含水率,并初步选取压实度为75%;为保证击实试样的均匀性及经历干湿循环作用后能迅速产生裂隙且开裂的深度可充分发展,统一取试样厚度为1.5 cm(在玻璃缸上刻有标度线),并用膨胀土的液限含水率(56.26%)控制加湿过程的初始降水量;当烘干试样的质量在2 h内达到恒定时,一次干湿循环结束;初步拟定实施4次干湿循环.

1.3 试验方法与步骤

1) 将土料烘干、敲碎并过0.5 mm的筛;按压实厚1.5 cm和75%的压实度,称取土料3.240 kg并加水565.704 g后均匀搅拌,控制含水率为17.46%;将拌匀土料放入塑料袋密封、闷料24 h,

使土料中分布均匀.

2) 将已闷土料倒入玻璃缸并摊匀;在其表面搁一10 cm×10 cm×0.3 cm的钢板;用木槌轻击钢板压实填土,使其厚度减至1.5 cm(与刻度线齐平),满足压实度要求.敲击时注意每个部位都敲相同次数,以保证击实土样表面平整和密度均匀.

3) 为加快试样失水干燥,水平地将玻璃缸置入40℃恒温的烘箱中,期间不定时称其质量,实时获取试样的含水率,并用Panasonic DMC-ZS8增强光学防抖型数码相机拍照;出现裂缝后,加大拍照频率,以追踪裂缝的发展.为消除光线对拍照效果的影响,将窗帘全拉上,只开留灯光.

4) 降雨过程用气压喷壶喷水模拟,喷壶距试样表面需1 m以上,以减小降水对土表面的扰动;喷水量由液限含水率控制,喷洒时间不少于1 h;为使水充分渗入到土体内部,密封搁置试样10 h以上.

5) 重复步骤3)完成一次干湿循环.

1.4 图片处理

图1(a)为经历4次干湿循环后试样的最终形态.从图1(a)中可以看出,边界的影响使得试样周边的开裂有些杂乱无章.因此,做图片处理时,取试样中间38 cm×38 cm的区域进行分析,如图1(b)所示.由图1(a),(b)可以看出,开裂与未开

裂部分土样色彩的对比度明显,因此,可用灰度嫡对土中裂隙做定量分析.

本研究利用 MATLAB 7.0 的强大图形图像处理功能^[9-10],通过对初始图片的灰度转化、边缘提取及中值滤波等措施,最终提供转化形成的二值图像如图 1(c)所示.其具体过程为:①调用 imread 函数将拍摄的真彩图像读入 MATLAB 中并转换成数字图像;②调用 imcrop 函数,剪取数字图像中间的 38 cm×38 cm 部分;③调用 rgb2gray 函数,将剪切的数字图像转换成灰度图像;④调用 im2bw 函数将生成的灰度图像转换成二值图像(其中:黑点表示裂隙,灰度为 0;白点表示土样中未开裂部分,灰度为 1);⑤调用 imfilter 函数,对图像中值做滤波处理;⑥调用 [counts, x]=imhist 函数,统计二值图像中的黑、白像素;黑像素与总像素之比即裂隙率.图片的 MATLAB 处理流程如图 2 所示.

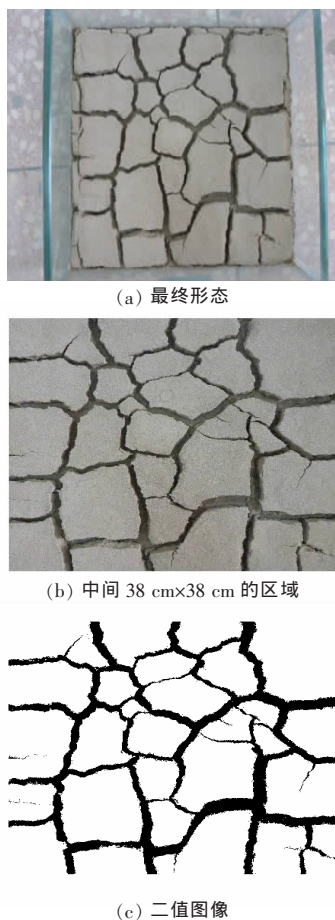


图 1 处理过程中,不同阶段得到土样的图片

Fig. 1 Pictures of the soil sample during different stage of the treatment

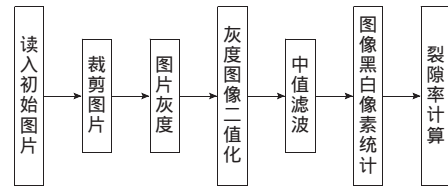


图 2 MATLAB 处理图片流程

Fig. 2 Flowchart of treating pictures with MATLAB

2 试验结果及分析

2.1 试验结果

图 3 为试样经历各次干湿循环的最终形态二值图像,其中“第 0 次”是将制备试样直接烘干后的形态图像.

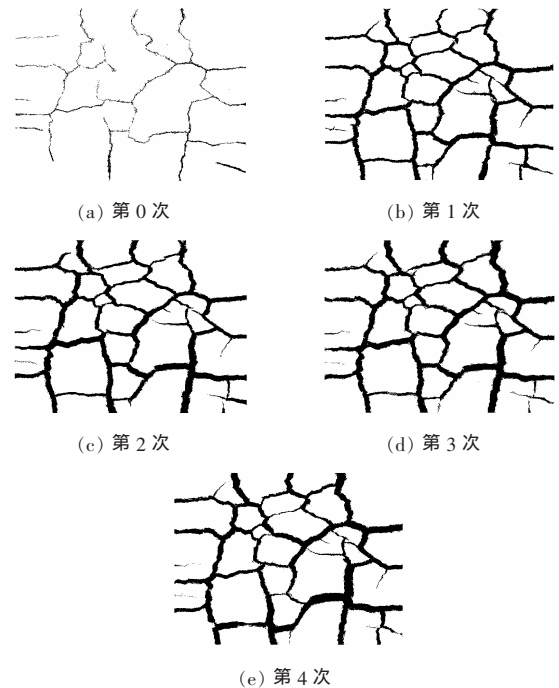


图 3 经历不同干湿循环次数试样的最终形态

Fig. 3 Final morphology graphs of the sample during different dry-wet cycles

2.2 测试结果分析

$$\text{裂隙率} = \frac{\text{黑色像素点数}}{\text{总像素点数}} = \frac{\text{黑色像素点数}}{\text{黑色像素点数} + \text{白色像素点数}} \quad (1)$$

由式(1)算得百色膨胀土试样经历不同干湿循环次数的裂隙率,见表 2.

- 1) 裂隙率随含水率的变化规律
试样未经干湿循环(第 0 次)及不同循环次

数后其裂隙率随水含水率的变化见表2和如图4,5所示。

表2 经历不同干湿循环次数后试样的裂隙率

Table 2 Crack rates of expansive soil samples during different dry-wet cycles

循环次数	黑色像素	白色像素	总像素	裂隙率/%
第0次	10 910	314 986	325 896	3.348
第1次	31 727	308 037	329 664	9.624
第2次	37 647	305 721	343 368	10.964
第3次	40 794	316 782	357 576	11.408
第4次	42 502	317 102	359 604	11.819

分析表2与图4,5可知,随着含水率的降低,试样的裂隙率呈上升趋势。每次干湿循环过程中,裂隙率的增加都遵循3阶段变化规律:

从图4中可以看出,第0次循环中,试样从制件的初始含水率降至约16.5%,裂隙发展很慢,曲线近似水平;含水率由16.5%降至14%,裂隙发展较快,曲线斜率很陡;当含水率<14%后,曲线斜率变化平缓。这表明裂隙虽有发展,但增幅缓慢。

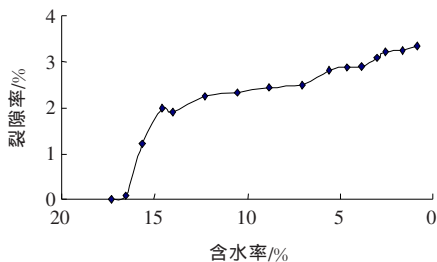


图4 试样裂隙率随含水率的变化关系(第0次)

Fig. 4 Change of crack rates with different moisture content (0 time)

从图5中可以看出,第1~4次干湿循环中,试样从初始(液限)含水率减至48.5%时,裂隙发展很慢;含水率从48.5%减至23.5%,曲线斜率变陡,裂隙发展很快;含水率减至23.5%以下,试样中裂隙率的增幅除第1次干湿循环为稍有变缓外,其余3次循环后都明显变缓。

2) 裂隙率与干湿循环次数的关系

试样裂隙率随干湿循环次数的变化如图6所示。结合表2分析可知,第1次干湿循环对试样裂隙开展影响最大,增幅达6.276%,是第0次干湿循环后裂隙率的近2倍,而以后的干湿循环作用

对试样裂隙的开展影响很小,且随着干湿循环次数的增加,其裂隙率趋于稳定。

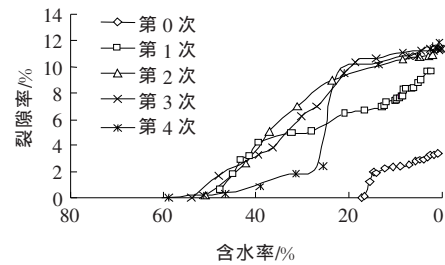


图5 干湿循环条件下裂隙率随含水率的变化

Fig. 5 Change of crack rates with different moisture contents under dry-wet cycling

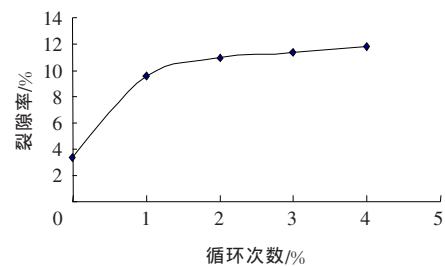


图6 裂隙率随干湿循环次数的变化规律

Fig. 6 Change of crack rates with numbers of dry-wet cycles

3) 裂隙开展与干湿循环次数的关系

比对图3可看出裂隙开展与干湿循环次数的关系:试样裂隙的数量、裂网的形状及分布不会因干湿循环的次数而产生大的变化,即使是对试样裂隙率影响最大的第1次干湿循环也如此。究其原因,未加湿而经烘干已产生一定裂隙的试样,在模拟降雨过程中,裂隙因水充填及膨胀土的湿胀作用会闭合,但裂隙的产生已破坏土样的完整性,裂隙部位成了结构最薄弱处,以后每次干湿循环时,裂隙就先在该处发展,而对其他部位影响很小。此外,未加湿而经烘干试样的表面裂隙细微,并未贯穿整个土层;经历第1次干湿循环作用后,其主裂缝宽度可达3~6 mm且贯穿到底,因而导致试样的裂隙率大幅增加。第1次干湿循环作用对膨胀土层裂隙发育的最大影响是使其开展的深、宽度急剧加大。

3 结论

1) 针对实际的膨胀土填筑工程,首次进行试

验设计、模型制作及系列试验,初步获得碾压膨胀土中裂隙的发育过程及随干湿循环作用次数的变化规律,研究结论具有工程应用价值。

2) MATLAB 的图形图像处理功能能很好地实现对土样裂隙的无扰动观测和定量分析,用来评价膨胀土样的裂隙率,具有准确性高、方便、快捷的优点。

3) 第 1 次干湿循环的作用对膨胀土层的裂隙发育发展影响最大,以后的干湿循环作用也会使裂隙率有所增加,但开展影响减小。

4) 膨胀土试样的裂隙数量、裂网形状及其分布不会因干湿循环作用次数的增加而产生显著变化,而裂隙率增大的原因主要是裂缝深度和宽度的增加。

5) 直接用膨胀土填筑路基的工程施工宜在旱季进行,对填芯膨胀土要及时封闭包盖,设法避免遭受干湿循环的作用,以保持路基良好的整体稳定性。

参考文献 (References):

- [1] 郑健龙,杨和平.公路膨胀土工程[M].北京:人民交通出版社,2009.(ZHENG Jian-long, YANG He-ping, Expansive soil engineering of highway[M]. Beijing:China Communications Press,2009. (in Chinese))
- [2] 包承纲.膨胀土裂隙性研究[A].膨胀土处治理论、技术与实践[C].北京:人民交通出版社,2004:24-35.(BAO Cheng-gang. Fissuring property study of expansive soils[A]. Theory and Practice of Expansive Soil Treatment Technology[C]. Beijing:China Communications Press,2004:24-35. (in Chinese))
- [3] 袁俊平,殷宗泽.考虑裂隙非饱和膨胀土边坡入渗模型与数值模拟[J].岩土力学,2004,25(10):1581-1586.(YUAN Jun-ping, YIN Zong-ze. Numerical model and simulation of expansive soils considering slope infiltration with fissures[J]. Rock and Soil Mechanics,2004,25(10):1581-1586. (in Chinese))
- [4] 杨和平,肖夺.干湿循环效应对膨胀土抗剪强度的影响[J].长沙理工大学学报:自然科学版,2005,2(2):1-6.(YANG He-ping, XIAO Duo. The influence of alternate dry-wet cycling effect on the strength characteristic of expansive soils[J]. Journal of Changsha University of Science and Technology: Natural Science,2005,2(2):1-6. (in Chinese))
- [5] 杨和平,张锐,郑健龙.有荷条件下膨胀土的干湿循环胀缩变形及强度变化规律[J].岩土工程学报,2006,28(11):1936-1941.(YANG He-ping, ZHANG Rui, ZHENG Jian-long. Variation of deformation and strength of expansive soil during cyclic wetting and drying under loading condition[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28 (11): 1936 - 1941. (in Chinese))
- [6] 施斌,唐朝生,王宝军,等.粘性土在不同温度下龟裂的发展及其机理讨论[J].高校地质学报,2009,15(2):192-198.(SHI Bin, TANG Chao-sheng, WANG Bao-jun, et al. Development and mechanism of desiccation cracking of clay soil under different temperatures[J]. Geological Journal of China Universities,2009,15(2):192-198. (in Chinese))
- [7] 李雄威,冯欣,张勇.膨胀土裂隙的平面描述分析[J].水文地质工程地质,2009(1):96-99.(LI Xiong-wei, FENG Xin, ZHANG Yong. Depicting and analysis of expansive soil fissure in view of plane[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2009 (1): 96-99. (in Chinese))
- [8] Venkataramana K, Hanumantha R B, Singh D N, et al. Some investigations on cracking characteristics of soils[A]. Proceedings of the 12th IACMAG: Geomechanics in the Emerging Social & Technological Age [C]. Goa, India: IACMAG, 2008: 1532-1538.
- [9] 王正林,刘明.精通 MATLAB 7[M].北京:电子工业出版社,2006.(WANG Zheng-lin, LIU Ming. Master MATLAB 7[M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2006. (in Chinese))
- [10] 王家文,李仰军. MATLAB 7.0 图形图像处理[M].北京:国防工业出版社,2006.(WANG Jia-wen, LI Yang-jun. MATLAB 7.0 graph and image processing[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2006. (in Chinese))