

贵州玄武岩残积土崩解特性试验研究*

唐 军^① 余 沛^{②③} 魏厚振^③ 孟庆山^③

(^①贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司 贵阳 550001)

(^②天津城市建设学院土木工程系 天津 300384)

(^③中国科学院武汉岩土力学研究所 岩土力学与工程国家重点实验室 武汉 430071)

摘 要 完成了2种不同风化程度的玄武岩残积土的崩解特性试验,通过对原状、烘干1h、风干48h 3种情况下试块的浸水崩解曲线的分析后发现:棕红色残积土的崩解速度较快;由于含水率的不同,原状土完成崩解的时间最长,烘干1h的次之,风干48h的最短。不同条件下试块的崩解破坏形式是不同的,烘干、风干试样由于经历了干湿循环的作用而崩解速度加快,其中大量裂隙的出现是玄武岩残积土发生崩解加快的主要原因。研究结果为玄武岩残积土层的边坡加固方案设计提供了依据。

关键词 玄武岩残积土 崩解性 崩解速率

中图分类号: TU472 文献标识码: A

SLAKING BEHAVIOUR OF WEATHERED BASALT RESIDUAL SOIL IN GUIZHOU

TANG Jun^① YU Pei^{②③} WEI Houzhen^③ MENG Qingshan^③

(^①Guizhou Transportation Planning Survey & Design Academe Co. Ltd. Guiyang 550001)

(^②Department of Civil Engineering, Tianjin Institute of Urban Construction, Tianjin 300384)

(^③State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071)

Abstract This study carried out slaking tests of two different weathering of basalt residual soil, and analyzed the slaking curve of the undisturbed soil, dried one hour and weathered 48 hours. As a result, it was found that the slaking velocity of the dark red sample was the fastest. Because of the different water contents, the slaking time for the undisturbed sample, the dried one hour sample and the weathered 48 hours sample lasted the longest, the second and the shortest of all, respectively. Slaking destroyed forms were different under different conditions and were influenced by content change. The fractures induced by wetting/drying cycle was the one of the most important facts in slaking of basalt residual soil. The results are useful for the design of protecting and strengthening measures for the basalt residual soil.

Key words Basalt residual soil, Slaking, Slaking velocity

* 收稿日期: 2011-03-20; 收到修改稿日期: 2011-07-22.

基金项目: 交通部西部交通建设科技项目(2009318802074), 国家自然科学基金资助项目(11072255), 岩土力学与工程国家重点实验室重点方向项目(Q110601).

第一作者简介: 唐军, 工程地质专业, 从事山区高速公路工程地质勘察及岩土工程设计工作. Email: jtang@gzjtsj.com.cn

1 引言

我国西南部大面积分布的二叠纪玄武岩,其中贵州、云南被认为是典型的大火成岩省^[1,2],其特点与常见的碳酸岩有明显的不同,在其分布地段岩石节理、裂隙发育,强风化厚度大,风化后成碎块状,另外,还存在大量棕红色和黄褐色残积土,其中表层为棕红色,厚度1~4m左右,其次是风化较弱的黄褐色,厚度8m左右(图1)。表层风化程度较大,斜坡上常有许多坡积物且厚度大,坡面坍塌、泻溜现象严重,有时会因为水的影响产生规模较大的滑坡^[3]、公路隧道的塌方^[4]以及其他地质灾害^[5,6]。在工程实践中发现,玄武岩残积土遇水的快速崩解给玄武岩地区隧道施工、边坡处理、公路建设等问题造成了诸多困扰;然而,现有资料对玄武岩残积土的崩解特性研究不多。



图1 玄武岩残积土分布示意图

Fig. 1 Schematic diagram distribution of basalt residual soil

谭谨益^[7]以广西覆盖型岩溶区原状土样和扰动土样为实验对象,研究了土的崩解与土的矿物成分、化学成分、结构、颗粒大小、物理性质、古水状态和水的化学成分以及水位变化等因素的关系,最后得出,当地下水位降幅大于临界降幅时,地下水位的变化是影响土层崩解的最直接和最主要的因素。张永安^[8]等研究了红层泥岩水岩作用对边坡的影响,研究表明:结构面遇水泥化导致楔形体失稳,泥岩塑性变形引起边坡蠕变,同时红层还具有很强的崩解性,边坡开挖后发生崩解等现象是影响边坡的主要因素。蒋定生等人^[9]研究了黄土高原土壤崩解速率的分布情况,所取土样为原状土;李家春等人^[10]为研究公路边坡降雨侵蚀的特殊性以及土质边坡的可蚀性,通过观察分析,并利用自行研制的崩解仪进行了压实黄土浸水崩解试验;郭永春^[11]等人对侏罗系遂宁组红层泥岩烘干、风干、原状等试样

的浸水崩解特性进行了模拟试验研究,结果表明:试样在浸水瞬间有一个短暂的吸水增重过程,干湿循环导致含水率的变化是红层泥岩发生崩解的主要原因;刘晓明等^[12]认为吸水膨胀崩解是胀性软岩的一个特点,并通过研究软岩崩解物的粒度及其分形特征变化规律,根据分形概念建立了模拟红层软岩崩解的数学模型。

本文主要对2种不同风化程度下的玄武岩残积土的物理崩解特性进行了室内试验研究,以探讨玄武岩残积土的工程地质特性,为工程建设提供一定的技术参考。

2 试验设计

2.1 试验土样

由于对玄武岩的崩解研究并不多,我们根据现场勘测和其他研究人员对不同土的崩解性研究方法^[13,9],试验土样选用原状土、风干48h及烘干1h的3种情况,初步探讨玄武岩的崩解特性。

试验土样采用取自贵州赫章县境内的玄武岩风化残积土,选用2种不同风化程度的原状土样,试样分别为棕红色、黄褐色,其基本物性参数见表1,粒径分布曲线图见图2,根据相关文献知^[14],2种土样分别定名为黏土和粉质黏土。

表1 二种玄武岩残积土的基本物理指标

Table 1 The physic indexes of weathered basalt

土性描述	密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	含水率/ (%)	比重	液限/ (%)	塑限/ (%)	塑性 指数
棕红色	1.94	41.1	2.76	74.0	40.1	33.9
黄褐色	1.87	24.8	2.69	59.9	43.2	16.7

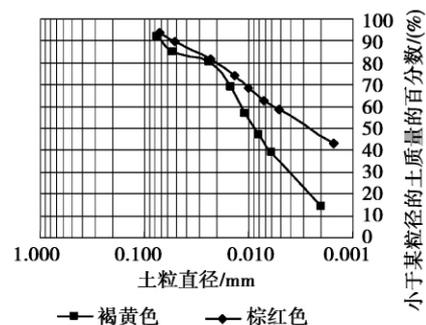


图2 玄武岩残积土的颗分曲线

Fig. 2 Curve of gradation of weathered basalt

试块大小为 $5\text{cm}\times 5\text{cm}\times 5\text{cm}$,试样质量为170~180g,分别进行了浸水条件下的原状样、风干样、烘

干样的崩解试验,原状样为现场密封取回的风化土试样,含水率为41.1%和24.8%,风干样在室内放风干48h,含水率为26.7%和19.3%,烘干样是将原状样在烘箱中烘干1h,含水率为28.5%和22.2%。

2.2 试验装置

实验装置(图3):1是边长10cm网板,用直径约20mm铁丝织成,网孔20mm×20mm,根据文献[13]知,网孔应为10mm,但前期试验发现颗粒团聚,无法下落,故根据土的特殊性做相应的调整;2是边长为5cm的立方体试样;3为玻璃水槽,长、宽均为20cm,高70cm,内盛清水;4为浮筒,采用量程为500mL的量筒,最小刻度5mL。

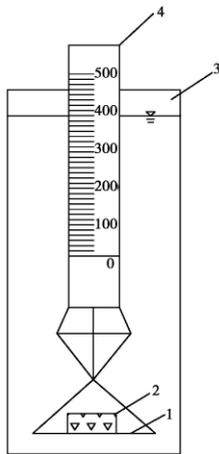


图3 崩解试验装置

Fig. 3 Test device for soil disintegrating in water

试验时将试样放在网板中央,网板挂在浮筒下,然后手持浮筒上端,匀速浸入水槽中,并立即记下浮筒齐水面处刻度的瞬间稳定读数,然后按适当的时间间隔测记浮筒齐水面处的刻度读数,直至崩解结束。

3 试验结果及分析

3.1 原状土的崩解试验

原状土样含水率较大,黄褐色为24.8%,棕红色为41.1%,因没受到风干或烘干作用,裂隙基本不发育。试验开始时,在试块四周有大量气泡,这说明其中还有一定的微小孔隙,试块表面附着的小碎屑纷纷下落。

在前10min内,崩解速度和崩解量黄褐色土大

于棕红色风化土,30min时褐黄色试块崩解速度最快,完成崩解量92.4%。而棕红色风化土,17min时速度最快,崩解量达到74.3%,崩解量和崩解速度较黄褐色大的多;含水率大的土样,愈接近饱和和密度,土样越容易崩解^[7],崩解量和崩解速度由以下公式求解^[13],其曲线如图4所示。

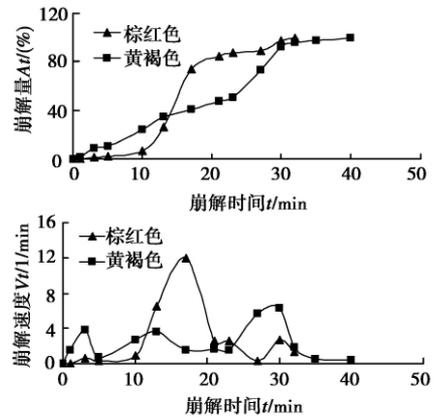


图4 原状土的崩解曲线

Fig. 4 Curve of disintegrating of the undisturbed soil

$$A_t = \frac{R_0 - R_t}{R_0} \times 100\%; \quad V_t = \frac{A_t^{i+1} - A_t^i}{t_{i+1} - t_i}$$

式中 A_t 为试样在 t 时刻的崩解量(%); R_0 为试验开始时浮筒齐水面处刻度的瞬间稳定读数(mm); R_t 为试验开始后 t 时刻浮筒齐水面处的刻度读数(mm); V_t 为试样在某个时段($t_i \sim t_{i+1}$)的平均崩解速率($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$)。

3.2 烘干1h后的崩解试验

取原状新鲜样在105℃的烘箱中烘1h,得到烘干样,黄褐色土样损失含水为9.8%,棕红色土样损失含水为30.7%。当土层出现干湿交替变化时,土层含水量和饱和度发生剧烈或较大的改变,土层更容易崩解;经初步研究,由于棕红色土样含有游离态氧化铁,胶态的游离态氧化铁具有高温干燥脱水不可逆的化学特性,使土的可塑性降低,浸水后崩解更快^[15-16]。

由于短时间内试块表层大量失水,且出现了许多裂隙,试块在干燥容器冷却后开始试验,浸水后有大量气泡冒出,表面大量浮沉细小颗粒下落,接着从上到下逐步变成松散的小片状碎屑,在很短的时间内试块表面很快破碎;由于烘干只有1h,试样内部保留原状土的性质,表层崩解后,即3min后崩解速度开始减慢,以后平缓;而棕红色土块在开始时,先

是小粒下沉,后出现片状剥落,5min 时速度最快(图5)。

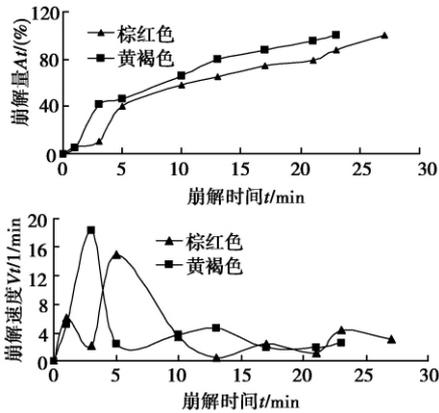


图5 烘干 1h 后的崩解曲线

Fig. 5 Curve of disintegrating of drying one hour

3.3 风干 48h 后的崩解试验

试样制好后在室内自然放置 48 h,测得黄褐色含水率为 19.3% 棕红色含水率为 26.7%,表面有不同程度的裂隙存在 棕红色的裂隙要大于黄褐色,在浸水崩解中 棕红色土块崩解速率最快,13min 即完成崩解。试验刚开始时,就有大量气泡,出现较大的裂纹,3min 时速度最快。试样已经大块下落。

黄褐色土样要比棕红色土样慢,试验开始时,进入试块的孔隙中,一部分空气被挤出,形成许多小气泡,表层细小颗粒下落,随后四角小块下落,水迅速浸入试块,沿着一些软弱部位产生明显裂隙,10min 左右时试块中间出现大的裂缝,浸水后强度降低,裂隙得以迅速发展。

试验进行 15min 时,金属网格上的试块已基本破碎完毕,仅有几块不规则的小块且不再随时间发生变化,下落的块体也已经破碎,崩解试验随即结束。图 6 是崩解量与崩解速度随时间的变化图。

4 崩解特性对比与分析

以上是对褐黄色试块在不同条件下进行崩解试验,同一种土,但试验结果各不相同,主要表现在崩解的速率以及破坏方式等方面上。另外,不同风化的残积土,风化程度较大的棕红色崩解速度大于风化较弱的黄褐色土(表 2)。

在非饱和土中,一般认为,土中的基质吸力随含水率的增加而降低,含水率降低时,表面收缩容易出现裂纹,当土体的含水量增加时,基质吸力随含水量

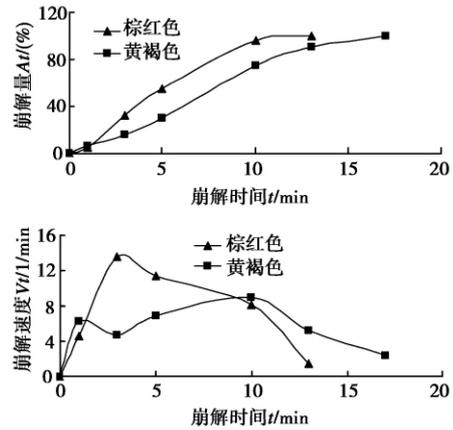


图6 风干 48h 后的崩解曲线

Fig. 6 Curve of disintegrating of weathered 48h

表 2 褐黄色(H)与棕红色(Z)玄武岩残积土的物理崩解特性试验结果

Table 2 Disintegrating characteristic of test results of weathered basalt of brown yellow and brownish red

试样类型	处理方法	含水率/(%)	崩解时间/min	崩解特征
原状(H)	浸水	24.8	40	少量气泡,开始粉末状、散粒状剥落,而后中间出现裂纹,大块下落,直至崩解完成
烘干(H)	烘干 1h	22.2	23	开始有大量气泡出现,表层大量浮沉、散粒状剥落,随后崩解速度减慢,并出现裂纹
风干(H)	风干 48h	19.3	17	气泡迅速浸入土体,表层粉末状剥落,随后裂隙加快,四角大块颗粒下落,崩解完成
原状(Z)	浸水	41.1	32	微小气泡,小裂纹出现、下部两角剥落,中间出现裂纹,大块下落,直至崩解完成
烘干(Z)	烘干 1h	28.5	27	开始有大量气泡出现,表层小颗粒下沉、片状剥落,随后崩解速度减慢,并出现裂纹
风干(Z)	风干 48h	26.7	13	气泡迅速浸入土体,四角大块脱落,随后裂隙加快,崩解完成

增加而减小,当土体的含水量达到或接近饱和时,基质吸力趋于零^[17,18];基质吸力在土体中会形成一种吸附强度,吸附强度亦随含水量的增加而减少直至为零遇水时,更容易进入土体,发生崩解。

土的矿物成分不同,其崩解率也不一样,由于棕红色土样含有游离态氧化铁,使得土样的崩解速率加快。刘晓红等^[15]通过研究原状、风干以及烘干土样的试验,结果表明烘干状态下的液限最低,风干土样其次,原状土样最高。烘干脱水对液限、塑性指数影响较为明显,使其崩解速率最大。

通过室内试验,风干样在室温条件下,放置 48 h,烘干试块在 105℃ 的高温下烘干 1 h,试块表面裂

隙发育及含水率是有差异的。由于试验时含水率的差异,浸水瞬间烘干土样有较多气泡,且粉末状细小颗粒较多,水槽中的水逐渐变得浑浊,5min后减慢;崩解作用开始后,风干土样有较大贯通裂隙,小块片状试样纷纷下落,不时有气泡冒出。黄褐色风干样在17min左右崩解完毕,烘干样而则需要23min。而棕红色风干土样在13min左右崩解完毕,烘干1h土样而则需要27min。

5 结 论

(1) 原状土样由于没有产生含水率的变化,崩解速度较慢;风干土样表层裂隙增加,导致土样崩解速度最快,烘干1h的土样次之。

(2) 土样本身的矿物成分、颗粒大小、含水率和土层外部因素等对土样的崩解产生重要影响,棕红色土样由于含有游离态氧化铁等因素,崩解速率大于黄褐色土样。

(3) 玄武岩残积土的易崩解性是在遇水及蒸发循环作用下发生的。在边坡开挖等工程建设时,建议坡面喷射混凝土封闭或者采用人工膜覆盖,防止水分流失。

参 考 文 献

- [1] Courtillot V, Jauport C, Manighetti et al. On causal links between flood basalts and continental breakup [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1999, **16**(6): 177~195.
- [2] Mathoney JJ, Coffin M. Large igneous provinces: Continental, oceanic and planetary flood volcanism. Washington: AGU Geophysical Monograph, 1997, 1~438.
- [3] 李晓军, 马惠民, 吴红刚. 复杂含水条件下滑坡的稳定性分析及治理措施[J]. *工程地质学报*, 2010, **18**(1): 60~65.
Li Xiaojun, Ma Huimin, Wu Honggang. A case study for stability analysis and hazard control of on going land slide under complex ground water conditions. *Journal of Engineering Geology*, 2010, **18**(1): 60~65.
- [4] 李志厚, 杨晓华, 来弘鹏, 等. 公路隧道特大塌方成因分析及综合处治方法研究[J]. *工程地质学报*, 2008, **16**(6): 806~812.
Li Zhihou, Yang Xiaohua, Lai Hongpeng, et al. A case study on the cause and treatments of huge collapse of highway tunnel during construction. *Journal of Engineering Geology*, 2008, **16**(6): 806~812.
- [5] 刘艳辉, 唐灿, 李铁锋, 等. 地质灾害与降雨雨型的关系研究[J]. *工程地质学报*, 2009, **17**(5): 656~661.
Liu Yanhui, Tang Can, Li Tiefeng, et al. Statistical relations between geo-hazards and rain-type. *Journal of Engineering Geology*, 2009, **17**(5): 656~661.
- [6] 王建秀, 杨立中, 何静. 非饱和土降雨诱发塌陷成因探讨[J]. *地质灾害与环境保护*, 2002, **13**(2): 17~21.
Wang Jianxiu, Yang Lizhong, He Jing. The ground water Pressure transference in unsaturated soil and genesis of karst collapse. *Journal of Geological Hazards and Environment Preservation*, 2002, **13**(2): 17~21.
- [7] 谭谨益. 广西覆盖型岩溶区土层崩解机理研究[J]. *工程地质学报*, 2001, **9**(3): 272~276.
Tan Jinyi. Study on disintegration mechanism of solum in covering karst zones in Guangxi province. *Journal of Engineering Geology*, 2001, **9**(3): 272~276.
- [8] 张永安, 李峰, 陈军. 红层泥岩水岩作用特征研究[J]. *工程地质学报*, 2008, **16**(1): 22~26.
Zhang Yong'an, Li Feng, Chen Jun. Analysis of the interaction between and water. *Journal of Engineering Geology*, 2008, **16**(1): 22~26.
- [9] 蒋定生, 李新华, 范兴科, 等. 黄土高原土壤崩解速率变化规律及影响因素研究[J]. *水土保持通报*, 1995, **15**(3): 20~27.
Jiang Dingsheng, Li Xinhua, Fan Xingke, et al. Research on the law of soil disintegration rate change and it's effect factors on the loess plateau. *Bulletin of Soil and Water conservation*, 1995, **15**(3): 20~27.
- [10] 李家春, 崔世富, 田伟平. 公路边坡降雨侵蚀特征及土的崩解试验[J]. *长安大学学报(自然科学版)*, 2007, **27**(1): 23~26.
Li Jiachun, Cui Shifu, Tian Weiping. Erosion characteristic of road slope and test of soil disintegration. *Journal of Chang'an University (Natural Science Edition)*, 2007, **27**(1): 23~26.
- [11] 郭永春, 谢强, 文江泉. 红层泥岩崩解特性室内试验研究[J]. *路基工程*, 2008, (2): 53~55.
Guo Yongchun, Xie Qiang, Wen Jiangquan. Disintegration characteristics of experiment of mudstone. *Subgrade Engineering*, 2008, (2): 53~55.
- [12] 刘晓明, 赵明华, 苏永华. 软岩崩解分形机制的数学模拟[J]. *岩土力学*, 2008, **29**(8): 2043~2047.
Liu Xiaoming, Zhao Minghua, Su Yonghua. Mathematical simulation of fractal mechanism for slaking of soft rock. *Rock and Soil Mechanics*, 2008, **29**(8): 2043~2047.
- [13] 吴能森. 结构性花岗岩残积土的特性及工程问题研究[D]. 南京: 南京林业大学博士学位论文, 2005.
Wu Nengsen. A study on Characteristics and Some Engineering Problems of Granite Residual Soil with Structural Nature. Nanjing: Nanjing University, 2005.
- [14] 公路土工试验规程(JTG E40-2007) [S]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
Test Methods of Soils for Highway Engineering (JTG E40-2007). Beijing: China communications Press 2007.
- [15] 刘晓红, 饶秋华. 结合水及游离态氧化物对黏性土相关物理指标的影响[J]. *桂林工学院学报*, 2004, **24**(1): 55~58.
Liu Xiaohong, Rao Qiuhua. Bound water and free oxide effects on relevant physical index of clayey soil. *Journal of Guilin Institute of*

- Technology, 2004 **24**(1): 55 ~ 58.
- [16] 谭罗荣, 孔令伟. 某类红黏土的基本特性与微观结构模型[J]. 岩土工程学报, 2001 **23**(4): 458 ~ 462.
Tan Luorong, Kong Lingwei. Fundamental property and micro-structure model of red clay. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2001 **23**(4): 458 ~ 462.
- [17] DG 弗雷德隆德, H 拉哈尔佐. 非饱和土土力学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
Fredlund, D. G., Rahardjo. H. Soil Mechanics for Unsaturated Soils[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1997.
- [18] 罗晓辉, 叶火炎. 考虑基质吸力作用的土坡稳定性分析[J]. 岩土力学, 2007 **28**(9): 1919 ~ 1922.
Luo Xiaohui, Ye Huoyan. Stability analysis of soil slope considering matric suction. Rock and Soil Mechanics, 2007 **28**(9): 1919 ~ 1922.

10th symposium on Engineering geology and the Environment

The time of the symposium: August 15, 16 and 17 2012

The address of the symposium: Villa Carlos Paz City, Cordoba Province, Argentina.

Conference organizers: The Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería (ASAGAI), Argentina - National Group of the International Association for Engineering Geology and the Environment (IAEG).

The themes of the symposium:

1. Groundwater
2. Engineering geological mapping
3. Work cases
4. Contamination of natural resources
5. Applied engineering geology education
6. Geotechnical studies
7. Environmental evaluation of plans, projects and works
8. Geoindicators
9. Environmental geology
10. Water resources management
11. Construction materials
12. Land planning
13. Geologic hazards
14. Engineering-geological problems in works
15. Recuperation of degraded lands

Contact email: simposio@asagai.org.ar