

Comparative Evaluation of Durability of Granite Residual Soil Modified by Lime and Cement

Lunlin Fei¹, Liyang Guo³, Qi Zhang², Shuoguo Cai⁴

¹Jiangxi Provincial Expressway Investment Group Co., Ltd., Nanchang Jiangxi

²Beijing Urban Transportation Infrastructure Engineering Technology Research Center, Beijing

³Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing

⁴Beijing Texida Transportation Facilities Consultants Co. Ltd., Beijing

Email: 924415705@qq.com

Received: Aug. 15th, 2017; accepted: Aug. 29th, 2017; published: Sep. 4th, 2017

Abstract

Granite residual soil has little cohesive force and poor water stability. It is easy to disintegrate in water, and soil modification is needed in application. The incorporation of cement or lime in the soil is the most commonly used chemical modification. The lime and cement were mixed into granite residual soil for soil modification, and the durability of lime and cement modified granite residual soil was evaluated from CBR strength, disintegration characteristics and water stability. The results show that under the optimal dosage, the indexes of cement modification are better than lime modification, and the durability of cement-modified granite residual soil is better.

Keywords

Granite Residual Soil, Lime Modification, Cement Modification, Durability, Disintegration

石灰与水泥改性花岗岩残积土耐久性的对比评价

费伦林¹, 郭利杨³, 张琦², 蔡硕果⁴

¹江西省高速公路投资集团有限责任公司, 江西 南昌

²北京中路汇技术咨询有限公司, 北京

³北京建筑大学, 世界城市顺畅交通协同创新中心, 北京

⁴北京特希达交通勘察设计院有限公司, 北京

Email: 924415705@qq.com

收稿日期：2017年8月15日；录用日期：2017年8月29日；发布日期：2017年9月4日

摘要

花岗岩残积土粘聚力小，水稳定性差，遇水易崩解，应用时需进行土体改性。其中在土体中掺入水泥或石灰是最常用的化学改性方式。展开室内试验，分别将石灰及水泥掺入花岗岩残积土进行土体改性，从CBR强度、崩解特性和水稳性三个方面对比评价石灰与水泥改性花岗岩残积土耐久性。结果表明，在最佳掺入量下，水泥改性后的各项指标基本均优于石灰改性，水泥改性花岗岩残积土的耐久性更优。

关键词

花岗岩残积土，水泥改性，石灰改性，耐久性，崩解性

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

花岗岩残积土就是花岗岩经物理风化和化学风化后残留在原地的碎屑物，是一种结构性很强的特殊土，具有高液限、持水能力强、可压实性差的特点，作为路基填料使用受到一定的限制，当施工时气候条件导致高液限土难以晾晒利用，综合工期、质量和造价等因素的考虑，采用低剂量的石灰、水泥等外掺剂进行化学改性是较为常见且必要的处治方法，其主要目的是降低高液限土的天然含水率和塑性指数，改善可压实性、提高土体强度及稳定性，改善其工程特性，满足工程要求。

国内外很多学者对该领域进行了相应的研究工作，取得了一定成果。贺建清等对软土路基进行石灰改性，提出非饱和状态下的石灰改性土存在最佳掺入量，并在进一步研究中发现石灰土动强度的衰减速率随着振动次数和振动频率的增加而增加，并利用动力弹塑性有限元定性分析了交通荷载作用下的石灰土道路的变形性状[1] [2]。杨广庆[3]等以粉质粘土为研究对象，通过动三轴试验研究发现：水泥的掺入可有效提高土体的强度，水泥改性土存在临界动应力，改性后的水泥土试样的累积塑性变形与动应力的大小和作用次数有关[4]；许魁等对浏醴路全风化花岗岩路基填料采用石灰、水泥改性试验，研究不同掺入量对路基填料的最佳含水量、最大干密度、液限、塑限以及无侧限抗压强度的影响，比较分析其性质变化，得出经济合理的掺入量，为施工提供技术指导[5]。

综上所述，在土体中掺入水泥或石灰是最常用的化学改性方式，本文通过对水泥和石灰两种改性方法的改性花岗岩残积土进行研究，从耐久性角度对水泥与石灰两种改性方式进行对比评价，为花岗岩残积土改性设计提供参考。

2. 试验材料与方案

2.1. 试验土样

本次试验土样均取自江西某在建高速公路，系典型高液限花岗岩残积土。根据《公路土工试验规程》(JTG E40-2007) [6]对各类土样进行液塑限分析、击实试验、CBR 试验等，其基本物理性质如表 1、表 2 所示。

Table 1. Basic properties of granite residual soil
表 1. 花岗岩残积土基本性能参数

ω_0 (%)	w _p (%)	w _L (%)	w _p (%)	ω_{OP} (%)	1.672	不同压实度下 CBR		
						93%	94%	96%
29	62	22	40	19.2	1.672	3.6	3.7	4.2

Table 2. Gradation of soil sample
表 2. 土样级配

孔径(mm)	20	10	5	2	1	0.5	0.25	0.075
小于该孔径质量百分数(%)	100	100	99.7	92.9	84.5	71.8	57.5	32.8

从表 1、表 2 中可以看出，两处土样属于高液限花岗岩残积土，极细砂料偏多，不能用于路床填料，需要进行处治。

2.2. 外加剂

石灰采用普通生石灰粉，有效成分 CaO + MgO 含量为 62.3%，密封完好，未有结块现象；水泥采用江西万年青 P.O.42.5 水泥，密封完好，未有结块现象。

3. 试验结果与分析

3.1. 承载比(CBR)试验研究

承载比(CBR)试验是由美国加利福尼亚州首先提出，用于评估公路基层、底基层及垫层材料潜在强度的试验方法。承载比试件成型方法主要有干法和湿法两种，但在现场施工过程中，由于没有充足的时间进行晾晒，常常在天然含水率下进行掺灰改良，因此以湿法和干湿方式在最佳含水率下制件测得的 CBR 无法真实反应施工状况，故本文采用天然含水率土样进行试验，制作不同掺量的改性土试件，每种掺量的试件分三层击实，每层击实次数分别为 30 次、50 次和 98 次，然后进行 CBR 试验，根据干密度与 CBR 对应关系，求得在 96% 压实度下的 CBR 值。实验结果见图 1。

由图 1 可以看出：掺灰改性后，花岗岩残积土的承载比出现大幅提升，改性土的 CBR 值均高于素土的 CBR 值。生石灰掺量为 6% 时，石灰改性土 CBR 相对最高，在 96% 压实度条件下承载比达到 52.6%；水泥掺量为 6% 时，水泥改性土 CBR 相对最高，在 96% 压实度条件下承载比达到 67.9%。在不同掺灰比例下，水泥改性土的 CBR 值均高于石灰改性土。随着掺灰量的增长，改性土的 CBR 值均在增大，且水泥改性土的 CBR 增长速度大于石灰改性土的 CBR 增长速度，这是由于石灰强度形成较慢，水泥水化速度快，强度形成快。由此可见，水泥改性土的整体强度与稳定性优于石灰改性土。

3.2. 改性花岗岩残积土崩解特性

土由于浸水而发生碎裂，散体的现象，称为崩解性。崩解是由于土体没入水中后，水进入孔隙或裂隙中的情况不平衡，引起粒间扩散层增厚的速度也不平衡，以致粒间斥力超过吸力的情况也不平衡，产生应力集中，使土体沿着斥力超过吸力最大的面崩落下[7]，干湿循环导致含水率的变化是土体发生崩解的主要原因[8]。花岗岩残积土孔隙较大，分化程度较高，并且属于高液限粘土，极易发生崩解，影响工程性能[9]。当在天然花岗岩残积土中加入水泥或石灰，由于水泥和石灰的改性作用，花岗岩残积土的崩解性等得到改善，耐久性得以提升。因此改性花岗岩残积土的耐崩解性是改性花岗岩残积土耐久性的重要

指标之一[10]。

将石灰改性与水泥改性花岗岩残积土试样置于 50℃的烘箱中至干燥状态,取出试样称重并记录数据。将此试样充分浸水,待试样达到稳定不再崩解时取出试样,晾干后再次置于烘箱中烘干称重,如此循环三次,记录实验数据,以崩解掉损失质量与试件初始质量的比值作为崩解的量化指标,即崩解率。

根据表 3 中不同掺量下的石灰及水泥在崩解 3 次后的质量变化算出崩解率。绘制出石灰改性土崩解率曲线图和水泥改性土崩解率曲线图。并对比其最佳掺量下的改性土崩解性能。

由图 2、图 3 可以看出,当水泥和石灰掺量均为 6%时,相对于其他掺量,各循环次数崩解率均最低,耐崩解效果最好,在试验范围内,水泥和石灰的最佳掺量均为 6%。掺加水泥或石灰后,其反应产物具有胶结作用,不仅增加了土的致密性与强度,而且使土体颗粒不易流失,提高了花岗岩残积土的耐崩解性能,并且随着掺加量的增大,耐崩解性能进一步提升。由图 4 可以看出,最佳水泥掺入量的试样经过三次干湿循环崩解试验,崩解率为 7.51%;最佳石灰掺入量的试样经过三次干湿循环崩解试验,其崩解率

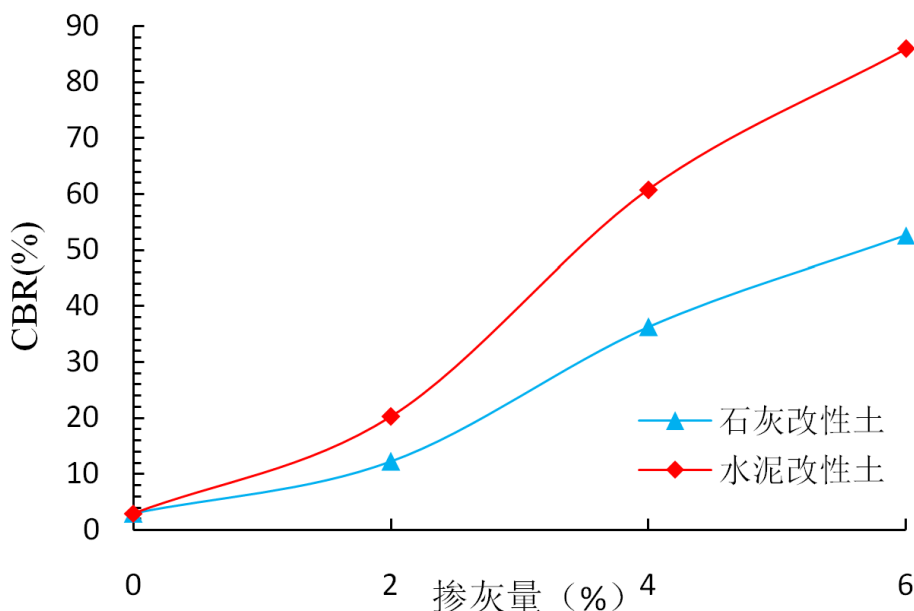


Figure 1. Relationship curve between CBR value and ash content of modified soil
图 1. 改性土 CBR 值与掺灰量关系曲线

Table 3. Disintegration test results of different lime and cement content
表 3. 不同石灰及水泥掺量下崩解试验结果

改性土类型	掺量(%)	初始质量/g	第一次崩解后烘干质量/g	第二次崩解后烘干质量/g	第三次崩解后烘干质量/g
石灰土改性	2	163.52	160.41	159.69	159.25
	4	161.32	159.09	158.19	157.90
	6	159.82	158.05	157.07	156.73
水泥改性土	2	169.32	159.09	154.19	153.13
	4	153.42	145.05	141.32	139.95
	6	156.82	150.23	146.52	145.05

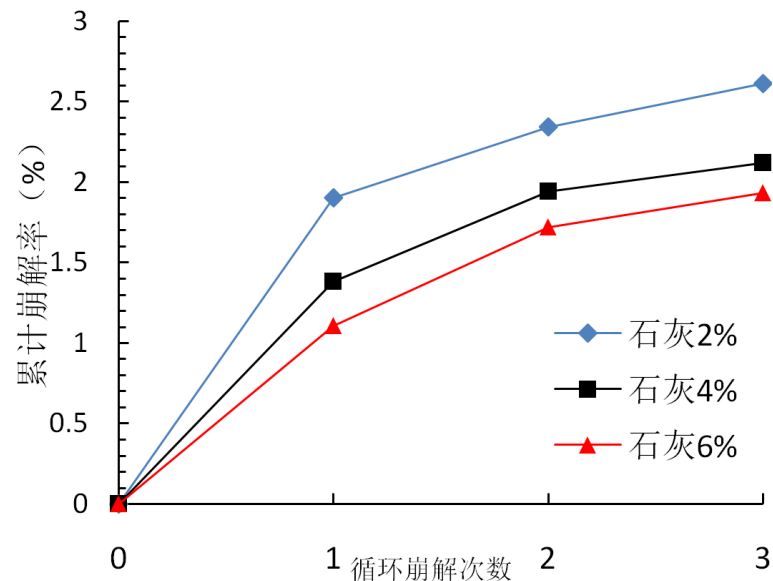


Figure 2. Lime modified open solution rate curve

图 2. 石灰改性土崩解率曲线

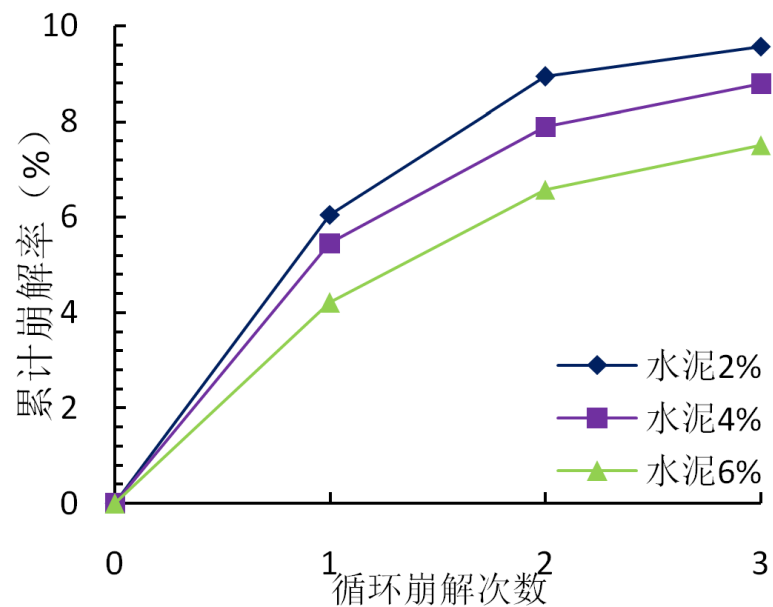


Figure 3. Cement modified open solution rate curve

图 3. 水泥改性土崩解率曲线

为 1.93%，由此可知，对于耐崩解性能，石灰改性花岗岩残积土的改性效果优于水泥改性。

3.3. 改性花岗岩残积土水稳定性

水是道路破坏的重要因素，当固化后的土基长期遇水，即会出现二次泥化现象，产生破坏。改性土的水稳定性，又叫耐水性，是指改性土遇水侵蚀时的稳定性，即抵抗水分侵蚀破坏的能力。在工程实际中，虽然土体经过了石灰或水泥改性，水稳定性有所提升，但当改性土长期受自然因素作用，如降雨及地下水侵蚀等，极易吸水膨胀，发生软化现象，土体强度降低，影响耐久性[11]。因此，水稳定性是改良土重要的耐久性指标之一。

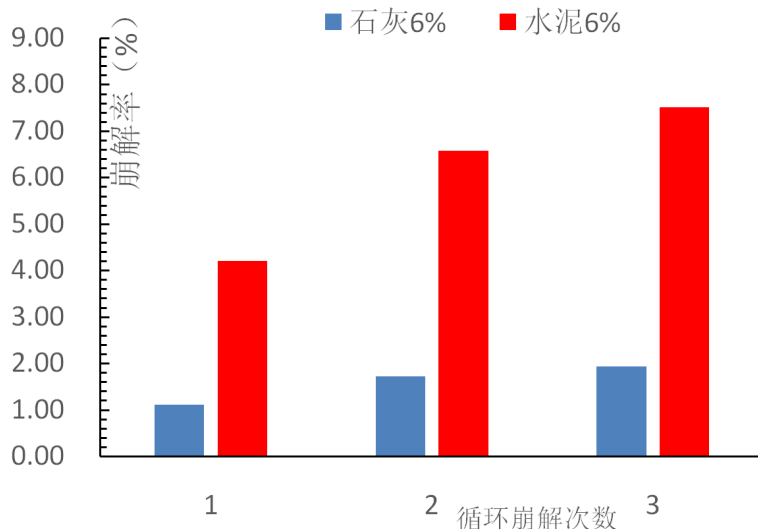


Figure 4. The optimal dosage of modified open solution performance comparison
图 4. 最佳掺量下改性土崩解性能对比

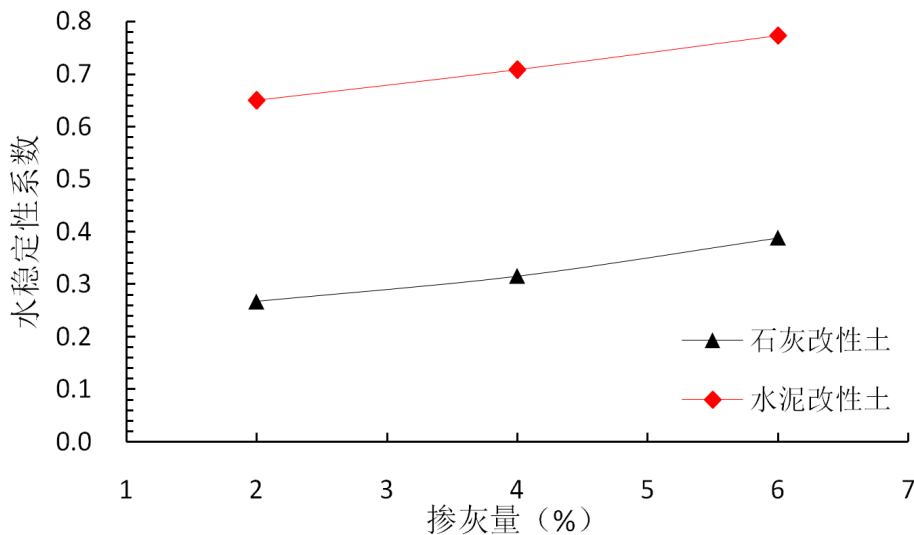


Figure 5. Relation curve between ash content and water stability coefficient
图 5. 掺灰量与水稳定性系数关系曲线

对改性土的水稳定性进行量化，首先将改性土按无侧限抗压强度试验方法制件，然后将改性土试件在恒温恒湿状态下养护 7 d，再放入 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 水中浸泡 7 d，没过试件 2 cm 以上，最后测试其无侧限抗压强度[12]。养护 7 d 再泡水 7 d 试件无侧限抗压强度与养护 7 d 试件无侧限抗压强度之比即为改性土的水稳定性系数。试验结果见图 5。

从图 5 所有曲线的总体趋势可以看出，改性土的水稳定性系数均随着石灰或水泥掺量的增加而增大，这说明改性后土体的水稳定性均在提高。但由曲线图可以看出，水泥改性土的水稳定性远远超过石灰改性土水稳性。水泥改性土经养生后具有很好的水稳定性，是因为水泥水化生成的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 具有强烈的吸附活性，使不断吸引凝结的土团粒进一步结合起来，在水泥改性土中形成了链条状结构，既封闭了部分土团间孔隙，又在一定程度上阻止了水分进入，并且水泥改性土相对石灰改性土而言，强度形成更快[4]。

4. 结论

从承载比 CBR、崩解特性及水稳性三方面对石灰与水泥改性花岗岩残积土的耐久性进行对比评价, 得出以下结论:

1) 改性土的 CBR 值均高于素土的 CBR 值, 说明高液限花岗岩残积土进行改良之后, 承载能力均得到提高, 土体的结构强度增大, 耐久性得以提升。水泥改性土的 CBR 值优于石灰改性土, 这是因为石灰土强度增长速率较慢, 而水泥强度产生较快。

2) 在石灰、水泥各自的最佳掺量下, 石灰改性花岗岩残积土经 3 次干湿循环, 崩解率仅为 1.93%, 由此可见石灰改性花岗岩的遇水耐崩解性要优于水泥改性花岗岩残积土。

3) 随着掺量的增加, 水泥与石灰改性花岗岩残积土的 7 d 无侧限抗压强度均呈增长趋势, 且伴随掺量增加, 浸水后强度损失逐渐减小, 水稳性逐渐提高。从水稳系数看, 水泥改性花岗岩残积土的水稳性优于石灰改性花岗岩残积土。

4) 水泥及石灰对花岗岩残积土均有较好的改性作用, 综合承载比 CBR、崩解特性及水稳性三方面, 可以认为水泥改性的花岗岩残积土耐久性要优于石灰改性花岗岩残积土。

参考文献 (References)

- [1] 贺建清, 张家生. 石灰改良软土路基填料饱水强度特性研究[J]. 矿冶工程, 2004, 24(4): 18-21.
- [2] 贺建清. 石灰改良土路基填料的动力特性及应用研究[D]: [博士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2005.
- [3] 杨广庆. 水泥改良土的动力特性试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(7): 1156-1160.
- [4] 范冲. 结构性花岗岩残积土的试验研究和数值分析[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2015.
- [5] 许魁, 过年生, 黄杰. 全风化花岗岩路基改良土试验研究[J]. 公路工程, 2012, 37(3): 168-172.
- [6] 中华人民共和国交通部. 公路土工试验规程: JTG E40-2007[S]. 北京: 人民交通出版社, 2007
- [7] 孔宪立. 工程地质学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [8] 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): 2043-2046.
- [9] 吴能森. 花岗岩残积土的分类研究[J]. 岩土力学, 2006, 27(12): 2299-2304.
- [10] 吴能森. 花岗岩残积土的崩解性及软化损伤参数研究[J]. 河北建筑科技学院学报, 2006, 23(3): 58-62.
- [11] 戴继, 高广运, 王铁宏. 花岗岩残积土的地区差异及其工程特性的研究[J]. 港工技术, 2009, 46(1): 56-59.
- [12] 交通部公路科学研究院. 公路工程无机结合料稳定材料试验规程: JTG E51-2009[S]. 北京: 人民交通出版社, 2009.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3431, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: ojtt@hanspub.org