

Research on Material Properties of Lime Soil with High Water Content

Zhongzhu Zhang, Zhishuang Xu, Xicheng Zhao, Yanchen Cui, Jing Cao

Heilongjiang Province Longjian Road & Bridge Second Engineering Co., Ltd., Anda Heilongjiang
Email: 240358280@qq.com, 907144576@qq.com, 77308705@qq.com, 543436282@qq.com, 448702714@qq.com

Received: Apr. 26th, 2020; accepted: May 19th, 2020; published: May 26th, 2020

Abstract

During the construction of road, water in the subgrade soil is one of the main reasons for quality problems in highway engineering. The use of quicklime to treat high water content soil is an effective technical measure. This article focuses on the volume stability and strength characteristics of high water content lime soil. The change law of volume stability of high water content soil with different initial water content and lime content was obtained through no-load expansion rate test and frost heave test. CBR test was used to study the strength characteristics of high water content soil treated with quicklime, and effects of initial water content and lime content on the strength characteristics of soil were obtained.

Keywords

High Water Content Soil, Quicklime, CBR, Expansion Rate, Frost Heave Rate

高含水量石灰土的材料性能研究

张忠柱, 许志双, 赵希成, 崔彦臣, 曹 晶

黑龙江省龙建路桥第二工程有限公司, 黑龙江 安达
Email: 240358280@qq.com, 907144576@qq.com, 77308705@qq.com, 543436282@qq.com, 448702714@qq.com

收稿日期: 2020年4月26日; 录用日期: 2020年5月19日; 发布日期: 2020年5月26日

摘 要

道路在修筑过程中, 路基土中的水是导致公路工程出现质量问题的主要原因之一, 而利用生石灰处理高

含水量土是一种有效的技术措施。本文主要针对高含水量石灰土的体积稳定性及强度特性进行研究,通过无荷载膨胀率试验以及冻胀试验,得到不同初始含水率及掺灰量条件下,高含水量石灰土体积稳定性的变化规律,同时利用CBR承载比试验对生石灰处理高含水量土的强度特性进行研究,分析得到初始含水率和掺灰量对于土体强度特性的影响规律。

关键词

高含水量土, 生石灰, CBR, 膨胀率, 冻胀率

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

道路修筑时,在地下水位较高的情况下,取土达到一定深度后,就会遇到含水量过大的土;在潮湿多雨地区,特别在雨季,即使在高地取土,也可能遇到含水量过大的土,尤其是在特殊潮湿地区的原始含水量往往过大,有时可能超过最佳含水量很多。而其含水率过高时,施工压实困难,路基强度低、稳定性差,易造成冻胀翻浆,进而带来致命的道路病害[1] [2] [3]。

在公路建设过程中,高含水量土路基的填筑是经常遇到的工程实际问题,如何保证高含水量土路基的填筑质量,提高高含水量路基的服役性能是目前急需解决的工程实际问题[4] [5]。采用生石灰处理高含水量土是目前常用的技术手段,国内外也有很多研究针对生石灰土的冻融特性以及动态性能[6] [7] [8] [9]。同时也有研究针对生石灰改良土的物理力学性能以及使用效果等进行分析[10] [11] [12]。但是目前对高含水量土生石灰的掺配比例的确定还没有具体的方法,导致生石灰的掺量具有一定的经验性和随意性,缺乏具体的设计方法和依据[13] [14]。同时,针对不同含水率和石灰掺量条件下石灰土的体积稳定性和强度特性的研究相对较少,但是这两种特性可以有效评价石灰土的使用性能。

本文通过主要通过室内试验的方法,针对高含水量土填筑路基的实际工程问题,开展通过生石灰处理高含水量土的相关技术研究。针对不同初始含水率及不同石灰掺量下的石灰土,分析石灰处理高含水量土的体积稳定性及强度特性,促进生石灰改性高含水量土这项技术的工程应用。

2. 试验原料与试验方法

2.1. 试验原料

现场取土试样中细粒组土粒(粒径 ≤ 0.075 mm)为总质量的 88%,粗粒组土粒(60 mm \geq 粒径 ≥ 0.075 mm)为总质量的 12%,细粒组质量大于等于总质量 50%,粗粒组质量小于等于总质量 25%,该土属于低液限黏土。实测该土的主要物理力学指标如表 1 所示。

Table 1. Physical and mechanical index of soil

表 1. 土的物理力学指标

| 液限 $w_l/\%$ | 塑限 $w_p/\%$ | 塑性指数 $I_p/\%$ | 最佳含水率 $w_{op}/\%$ | 最大干密度 $\rho_{d,max}/\text{g/cm}^3$ |
|-------------|-------------|---------------|-------------------|------------------------------------|
| 39.4 | 23.1 | 16.3 | 17.4 | 1.79 |

根据基层施工技术规范的有关规定,可以适用石灰稳定土的土样应是塑性指数为 15~20,容易进行碾压与粉碎的黏性土,本研究所用土样满足要求。

石灰属于钙质消石灰,其有效氧化钙、氧化镁含量为 65%,属于三级灰。

2.2. 无荷载膨胀率试验

对土试样进行无荷载膨胀率试验,测定试样在无荷载有侧限条件下,浸水后在高度方向上的膨胀率。试验方案确定为 5 组生石灰掺量,分别为 2%、4%、6%、8%和 10%,3 组不同初始含水率,分别为 20%、25%和 30%,均高于最佳含水率,进行正交试验。

2.3. 冻胀试验

通过击实试验得到不同石灰掺量与含水率条件下的石灰土试件,然后对试件进行饱水 48 h,待试件完全饱水后放入冰箱内进行冻胀试验,冻结温度设置为 -20°C ,通过在试件表面设置千分表的方式进行冻胀率的测量,得到不同冻结时间条件下的冻胀率变化情况,对材料的冻胀特性进行研究。试验中选择 3 种初始含水率 20%、25%和 30%,以及 3 种掺灰量 2%、6%和 10%的高含水量石灰土进行正交试验,测定 48 h 内试件冻胀率的变化规律。

2.4. CBR 试验

参照规范中 CBR 试验方法,选择三组含水率分别为 20%、25%、30%,均高于最佳含水率,同时选择五组生石灰掺量 2%、4%、6%、8%、10%,通过击实试验制作石灰土试件。在进行 CBR 强度测试之前,需要将石灰土试样浸水 4 d,使试件处于饱水状态,这个过程可以得到石灰土试件的吸水率变化。对浸水后高含水量石灰土试件进行 CBR 强度试验,得到初始含水率和生石灰掺量对土体 CBR 强度的影响。

3. 体积稳定性研究

通过无荷载膨胀率试验可以得到不同初始含水率下石灰掺量对土体无荷载膨胀率的影响情况如图 1 所示。

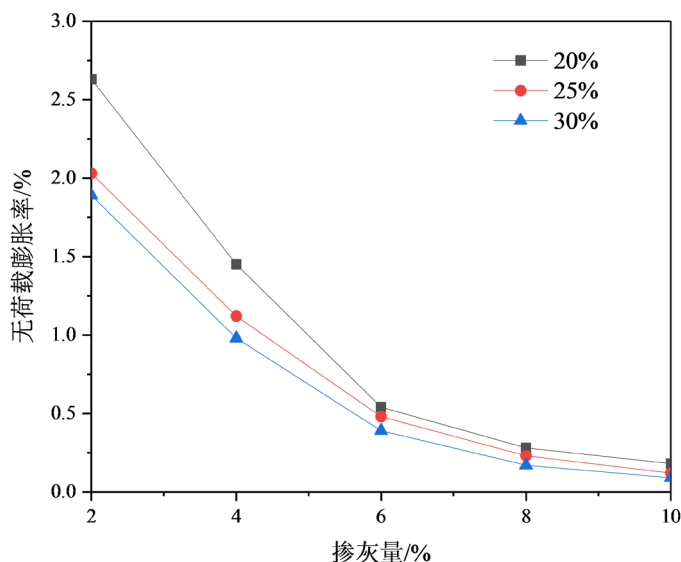
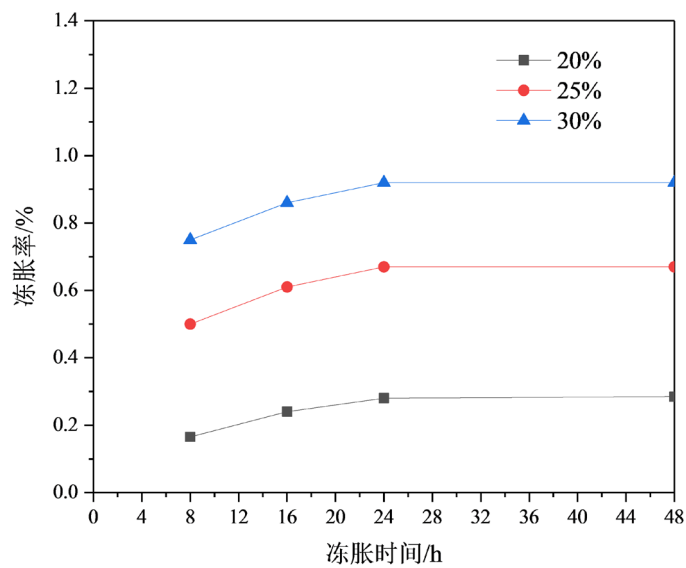


Figure 1. Variation curve of no-load expansion rate with lime content
图 1. 无荷载膨胀率随掺灰量变化曲线

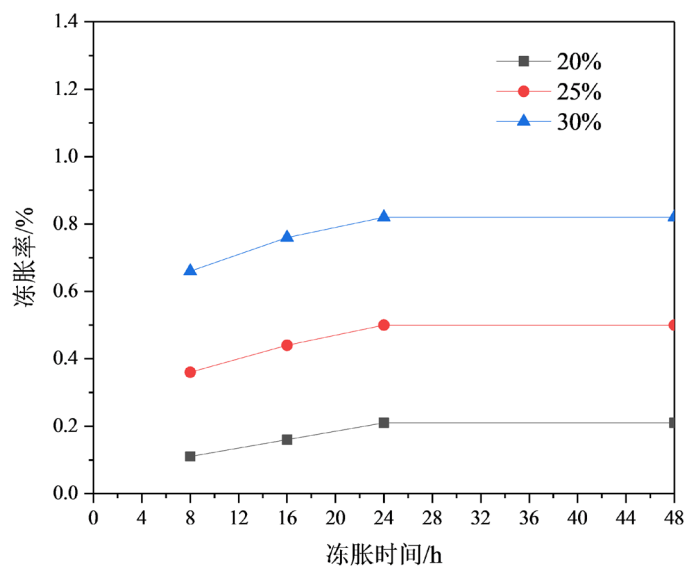
由上图可知,随着石灰掺量的增加,土的自由膨胀率在逐渐减小,且逐渐趋近于零,初始含水率对土体膨胀率的数值也会产生影响,掺灰量越小时,影响越显著,初始含水率越大,膨胀率的数值越小,因为它是诱发土膨胀变形的直接原因,当初始含水率越小时,膨胀潜势就越大。由变化曲线可以看出当石灰掺量为6%以上时,土的自由膨胀率就小于规范所规定的0.7%的界限,而当石灰掺量较小时,膨胀率无法满足规范的要求,所以土样用石灰改性处理后其膨胀性受到了较好的抑制,可以用来改善土体的体积稳定性。

采用上述冻胀试验方法与试验方案进行室内冻胀试验,得到不同掺灰量及含水率条件下,冻胀率随冻胀时间的变化规律如图2所示。

由上图可以看到,本试验中对土试件的高度变化在48h的时间内进行监测,发现冻胀率在前24h不断增加,而在24h后基本趋于稳定,随着初始含水率的增加,试件的高度变化更加明显,试件中会存在



(a) 掺灰量 2%



(b) 掺灰量 6%

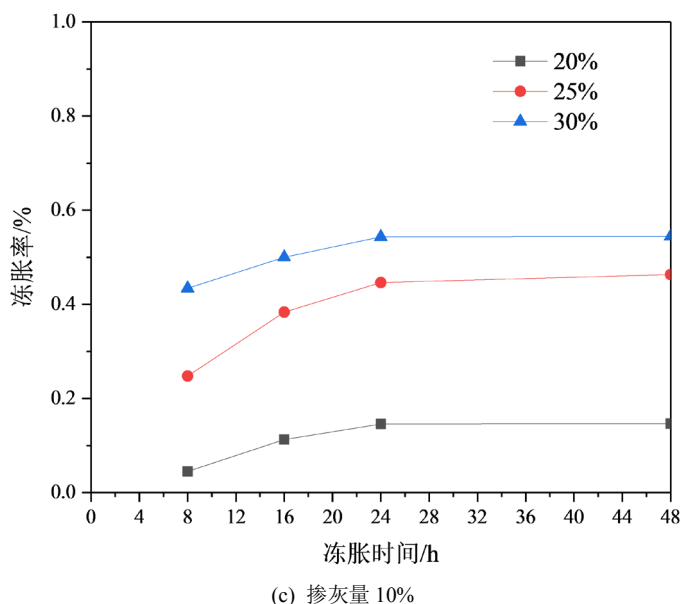


Figure 2. Variation curve of frost heave rate under different lime content
图 2. 不同掺灰量下冻胀率变化规律曲线

更多的自由水发生冻胀，而随着掺灰量的增加，试件的高度变化在逐渐减小，证明生石灰可以对土体的冻胀起到有效的抑制作用。综上所述，石灰的掺加可以有效改善土体的体积稳定性，且石灰掺量越大，效果越明显。

分析原因为生石灰粉掺入粘土中形成的离子交换能力与土中粘粒含量有关，由于粘粒具有很大的比表面积，含量越高颗粒表面电荷所形成的比表面就越大，相应的离子交换作用进行得更为显著。离子交换使土粒双电层中的扩散层变薄，结合水减少，从而使粘土粒间的结合力增强，表现为体积稳定性更强。

4. 强度特性研究

参照上述试验方法进行 CBR 承载比试验，在进行 CBR 强度试验之前，需要对试件进行饱水操作，通过比较不同初始含水率和石灰掺量的试件，可以得到试件在饱水情况下的吸水率变化情况如图 3 所示。

由下图可知，随着石灰掺量的增加，土的吸水率在逐渐减小，且在不同初始含水率下变化较为一致，随着石灰掺量的增加，土样的初始含水率会有所降低，由于生石灰会消耗一部分水，但是在吸水饱和状态下的含水率也会降低，这是由于石灰土的压实度更高，吸收的水也就较少，但从整体来看，掺灰量对于吸水率的影响较小。

然后对饱水试件进行 CBR 试验，得到初始含水率和生石灰掺量对土体 CBR 强度的影响如图 4 所示。

通过图中可以看出，随着生石灰掺量的增加，土的 CBR 强度值在逐渐增大，且初始含水率较低时变化较为显著。随着初始含水率的增加，土的 CBR 强度值在逐渐减小，当石灰掺量较大时，含水率较低时，石灰掺量会对强度值产生更大的影响。规范中规定在一般路基施工中，高速公路和一级公路要求路基填料的最小强度(CBR 强度)上路床不小于 8%，下路床不小于 5%，上路堤不小于 4%，下路堤不小于 3%。因此，当含水率小于 25%时，4%以下的石灰掺量就可满足最高要求，而当含水率为 30%时，需要掺加 6%以上的石灰才可满足大于 8%的要求。

分析石灰对于土体 CBR 值的影响原因为，当石灰掺入土中时，不仅发生阳离子交换作用和絮凝作用，还会发生吸水膨胀作用和碳化胶结作用。一方面，由于水化作用，石灰吸收了土中的水份，体积膨胀，

放出热量，使土发热和水分蒸发，从而改善土质。另一方面，掺合后土中剩余的石灰和空气中的 CO_2 发生作用，可形成 CaCO_3 这种物质，使土碳化，提高了土体的坚固性，从而增加了土体强度，所以土体 CBR 值也相应的有所增加。

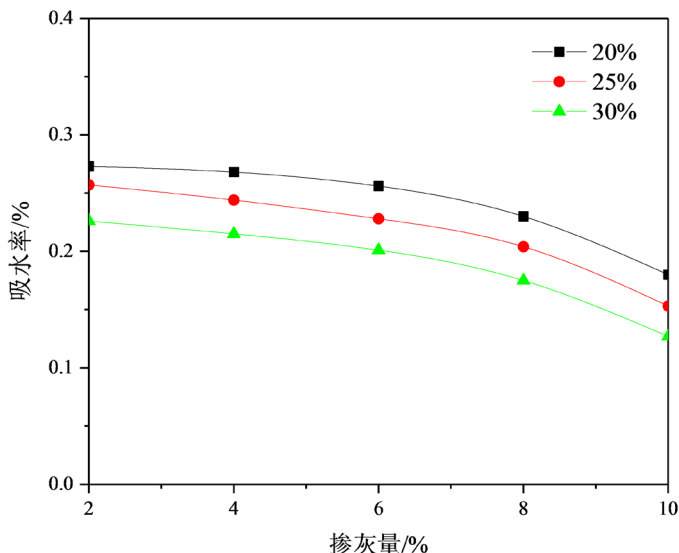


Figure 3. Variation curve of water absorption under different initial water content

图 3. 不同初始含水率下吸水率变化曲线

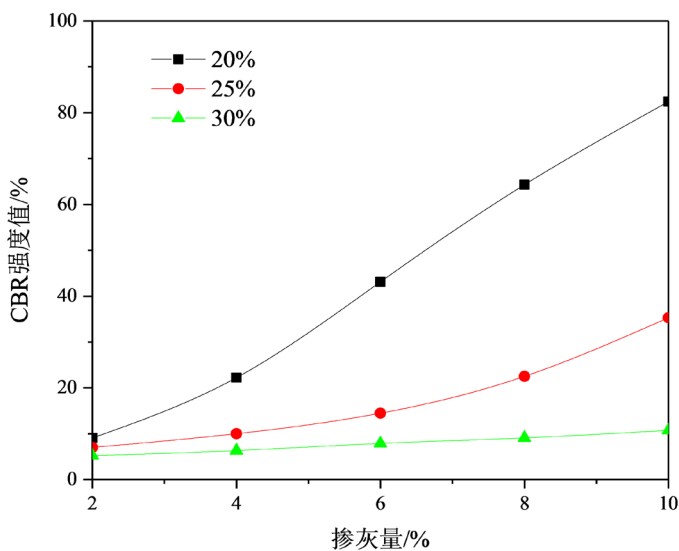


Figure 4. Variation curve of CBR intensity value under different water content

图 4. 不同含水率下 CBR 强度值变化曲线

5. 结语

通过对生石灰处理高含水量土的室内试验研究，得到如下结论：

- 1) 高含水量石灰土的无荷载膨胀率随初始含水率的增加而不断减小，随着石灰掺量的增加而显著减

小, 高含水量石灰土的冻胀率变化随着冻结时间的增加而不断增大, 并最终趋近于一个定值, 随着含水量的增加, 冻胀率变化也在增加, 但石灰掺量的增加可以明显减少试件土的高度变化, 有效减少冻胀变形, 即生石灰的掺加可以有效地提高高含水量土的体积稳定性;

2) 随着石灰掺量的增加, 土的吸水率在逐渐减小, 且在不同初始含水率下变化较为一致, 同时随着初始含水率的增加, 土体饱和情况下的吸水率在逐渐减小。随着初始含水率的增加, 高含水量石灰土的 CBR 强度值在逐渐减小, 而随着掺灰量的增加, 高含水量石灰土的 CBR 强度值逐渐增大, 并且含水率越低时变化越明显, 生石灰可以有效提高高含水量土的强度特性。

参考文献

- [1] 刘聪聪, 张家生. 生石灰改良过湿土的试验研究[J]. 山西建筑, 2006(19): 145-146.
- [2] 赵崇科, 苗禾. 磨细生石灰处理高含水量土路基施工技术[J]. 石家庄铁道学院学报, 1998(S1): 56-59.
- [3] 冯特立, 光治河, 张曙光. 高含水量土快速筑路方法的探讨[J]. 科技信息(科学教研), 2007(33): 121.
- [4] 文飞国. 过湿土处治技术研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2004.
- [5] 刘阳, 张洪彦, 黄旭. 高含水率粘性土路基压实的控制方法[J]. 科技风, 2009(22): 137.
- [6] Bai, H.B. and Kong, L.-W. (2009) Experimental Research on Influence of Consolidation Ratio on Dynamic Characteristics of Lime-Treated Soil. *Rock and Soil Mechanics*, **30**, 1590-1594.
- [7] Cuisinier, O., Auriol, J.C., Borgne, T., *et al.* (2011) Microstructure and Hydraulic Conductivity of a Compacted Lime-Treated Soil. *Engineering Geology*, **123**, 187-193. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2011.07.010>
- [8] 张伯平, 陈友富, 崔鹏飞, 王宏辉. 冻结对黄土灰土碾压质量的影响[J]. 西北农业大学学报, 2000, 28(3): 74-78.
- [9] Wang, T.-L., Liu, J.-K. and Tian, Y.-H. (2010) Dynamic Properties of Cement- and Lime-Improved Soil Subjected to Freeze-Thaw Cycles. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, **32**, 193-198.
- [10] 朱宏涛. 生石灰改良膨胀土路基的应用效果探讨[J]. 建筑施工, 2020, 42(2): 213-215.
- [11] 黄春丽, 阮永芬, 李志伟, 马金龙, 张涛. 改性膨胀土的膨胀率研究[J]. 硅酸盐通报, 2019, 38(12): 3759-3766.
- [12] 刘俊瑞. 石灰改良高液限土物理力学特性分析[J]. 山西交通科技, 2019(6): 37-39.
- [13] 蔡宁生, 蓝日彦, 陈钊. 石灰改良高含水率粘土作为路基填料的试验研究[J]. 中国水运(下半月刊), 2010(9): 194-196.
- [14] 于晓阳. 生石灰处治过湿土冻融稳定性研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林建筑大学, 2018.