

Experiment Study on Stabilization of Low Liquid Limit Soil with Cement in Subgrade Filling

Qiang You¹, Yongjun Luo², Yuhang Tang³

¹Luohe Highway Construction and Maintenance Center, Luohe Henan

²Luohe Highway Engineering Construction Corporation, Luohe Henan

³Changsha University of Science & Technology, Changsha Hunan

Email: 2690173207@qq.com

Received: Oct. 24th, 2019; accepted: Nov. 8th, 2019; published: Nov. 15th, 2019

Abstract

Taking the temporary auxiliary subgrade filling project of Beijing-Hong Kong-Macau Expressway as an example, firstly, the basic physical properties of the borrowed soil are tested and analyzed. The chemical reaction principle and microscopic mechanism of studying cement stabilized low liquid limit clay provide theoretical analysis for the test results, stabilizing low liquid limit clays with different cement dosages, studying their compaction characteristics and revealing the law between cement dosage and optimum water content and maximum dry density to provide a basis for the actual compaction process; comparing their CBR values to determine the optimum amount of cement; and evaluating the road performance of cement stabilized soil by the unconfined compressive strength. The result shows that the maximum dry density of cement stabilized soil increases with the increase of cement content. The CBR of cement stabilized soil increases with the increase of cement content within a certain range, and then tends to stabilize. While meeting road performance, the plan that the 94-area of subgrade uses 4% cement mixed stable soil, and the 96-area uses 5% cement content stable soil is the most economic and reasonable.

Keywords

Cement Stabilized Soil, Optimum Water Content, California Bearing Ratio CBR, Unconfined Compressive Strength

水泥稳定低液限粘土回填路基试验研究

游 强¹, 罗勇军², 唐宇航³

¹漯河市公路建设和养护中心, 河南 漯河

²漯河市公路工程建设总公司, 河南 漯河

³长沙理工大学, 湖南 长沙
Email: 2690173207@qq.com

收稿日期: 2019年10月24日; 录用日期: 2019年11月8日; 发布日期: 2019年11月15日

摘要

以漯河市京港澳高速临时辅道路基填筑工程为例, 首先对取土场的素土进行基本的物理特性试验与分析。研究水泥稳定低液限黏土的化学反应原理与微观机理为试验结果提供理论分析。用不同的水泥剂量稳定低液限黏土, 研究它们的击实特性, 揭示水泥用量与最佳含水量和最大干密度之间的规律, 为实际压实过程提供依据, 比较它们的CBR值, 确定水泥的最佳用量, 并通过无侧限抗压强度评定掺量后水泥稳定土的路用性能。研究表明: 水泥稳定土的最大干密度随水泥掺量增加而增加, 水泥稳定土的CBR在一定范围内随水泥掺量增加而增大, 随后趋于稳定。在满足路用性能条件下, 路基94区采用4%水泥掺量的稳定土, 96区采用5%水泥掺量的稳定土方案最为经济合理。

关键词

水泥改良土, 最佳含水量, 承载比CBR, 无侧限抗压强度

Copyright © 2019 by author(s) 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

由于 S238 常付线漯河市郾城区小王庄至漯河周口交界段改建工程京广铁路段下穿京港澳高速公路, 为减少扩建施工时对京港澳高速的影响, 在京港澳高速西侧修建一条辅助通道, 供京港澳高速在开挖情况下能满足正常的通行能力。本项目主要为填方路段, 路基工程量主要为借土填方 16.3 万 m^3 , 工程量巨大。通过对该项目借方土壤进行采样分析表明为低液限粘土。低液限粘土的液限低, 塑性指数少, 水稳性差, 吸水易崩解, 失水收缩等不良工程性质, 本地区主要是通过石灰来稳定低液限黏土, 魏建国等 [1] 研究表明掺加适量的石灰使其具有良好的水稳定性与强度能够更好地满足道路使用性能。随着省、市对环境保护工作的重视, 特别是市政府对环保问题做出了严格要求, 因此漯河市周边石灰生产企业经常处于半停工状态, 石灰供应紧张, 且路基加灰处理施工中, 仅用传统加灰处理施工工艺加雾炮湿法作业对扬尘抑制作用非常有限。且由于该项目为京港澳高速临时辅道工程, 车流量较多, 荷载大, 因此需要提高路基特别是路床部分的强度和稳定性, 以承受和扩散上传荷载, 减少土基产生的应力和变形 [2]。这就意味着在同时减少石灰掺量甚至不需要石灰的同时还要提高路基强度。因此本项目需要使用其他的材料来改良低液限黏土。文献 [3] 比对了水泥和石灰改良低液限黏土的特性, 从无侧限抗压强度等指标得出等量的水泥改良土性能优于石灰改良土。本文主要通过获得低液限黏土随着水泥剂量的不同其最佳含水率和最大干密度的变化规律, 并分析其微观机理确定合理的水泥掺量。并通过 CBR, 无侧限抗压强度指标检验其是否能作为道路材料使用, 拥有良好的路用性能, 为广泛分布低液限黏土地区的路基施工提供参考。

2. 水泥稳定低液限黏土机理

在填料土中掺入水泥后, 水泥和土及土壤中的水分发生一系列的物理化学反应, 改善土壤的物理力

学性质从而使水泥稳定土具有足够的力学强度，抗水性等。这些反应十分复杂，其中对水泥稳定土的强度，水稳性等起主要作用的有以下四种反应：水泥水化作用，离子交换作用，化学激发作用和碳酸化作用。首先填料土中掺加水泥后，水泥熟料中的硅酸二钙、硅酸三钙、铝酸三钙，铁铝酸三钙会与土壤中的水产生水化反应产生大量的具有胶结能力的产物，这些反应物迅速填充土颗粒之间孔隙，并相互交织从而使水泥改良土强度提高，水稳性和整体性增强。水泥水化过程中产生大量的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶于水中在土壤中形成一个含有较多 Ca^{2+} 的碱性环境，水解后的 Ca^{2+} 离子与土颗粒表面的 Na^+ 、 K^+ 、 Fe^{2+} 等金属阳离子发生交换反应，使土壤颗粒表面带二价阳离子，使黏土颗粒之间距离土减小，相互靠拢，土壤间相互吸引力增加凝聚起来絮凝结团，增加其强度和水稳性。同时水泥水化后产生的 OH^- 离子使黏土颗粒周围介质的 pH 增加，土粒中的 SiO_2 、 Al_2O_3 的活性被激发与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 反应生成硅酸钙、铝酸钙等物质，提高土体的后期强度。同时 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 还能与空气中的 CO_2 发生反应生成 CaCO_3 具有更好的强度与水稳性，且其对土壤的胶结作用使土壤固结形成水泥稳定土。

3. 材料特性

3.1. 素土

由于本工程全程为填方路段，因此在确定好的召临取土场进行土样采集分析。根据 JTG F10-2006《公路路基施工技术规范》[4]以及 JTG E40-2007《公路土工试验规程》[5]确定了路基土的定名以及对其物理性质指标进行了试验。通过现场筛分试验确定其为细粒土。将取回的素土进行界限含水率，结果如表 1 所示。

Table 1. Boundary moisture content test results of plain soil

表 1. 素土的界限含水率试验结果

液限/%	塑限/%	塑性指数/%
32.1	18.6	13.5

从表 1 可得该素土为低液限黏土(CL)，塑限指数较大，在实际施工过程中相对比较难压实，从而增加施工难度及工作量，进而影响路基工作能力。

3.2. 水泥

作为改良低液限黏土的水泥采用 P.O.42.5 主要性质如表 2 所示。

Table 2. Test results of cement technical indicators

表 2. 水泥技术指标的试验结果

初凝时间/min	终凝时间/%	安定性
194	301	0.5

水泥稳定土从开始加水拌和到完成压实的延续时间，需要控制在 6 个小时以内，延续时间太长则在加水拌和过程中水泥凝结从而导致水泥土难以压实，达不到压实度要求，并且破坏已凝结水泥的凝胶作用，从而导致水泥稳定土的强度下降。根据施工经验可知[6]，水泥稳定土从加水拌和到完成碾压一般需要 2~3 小时，所以选择的水泥初凝时间大于 3 h，终凝时间大于 6 h 适宜，从上述表中可知该水泥满足要求。

4. 工程特性

4.1. 击实特性

击实特性对控制路基的填筑压实质量至关重要[7]，用击实试验测试出的最大干密度和最佳含水率是

指导现场填筑压实的重要参数。对素土, 3%水泥 + 素土, 4%水泥 + 素土, 5%水泥 + 素土, 6%水泥 + 素土进行重型击实试验, 得到相应干密度和含水率。

由图 1 所示可知, 当土的含水率较低的时候, 其干密度随着含水率的增加而增大, 当土样的含水率超过一定的界限(最佳含水率)后, 其干密度随着含水率的增大而减少。素土的最佳含水率是 11.1%, 对应的最大干密度为 1.847 g/cm^3 。掺量为 3% 的水泥土的最佳含水率是 13.2%, 对应最大干密度为 1.84 g/cm^3 。掺量为 4% 的水泥土的最佳含水率是 15.5%, 对应的最大干密度为 1.837。掺量为 5% 的水泥土的最佳含水率是 16.1%, 对应的最大干密度为 1.842 g/cm^3 。掺量为 6% 的水泥土的最佳含水率是 16.4%, 对应的最大干密度为 1.844 g/cm^3 在实际的施工过程中需要严格控制路基的最佳含水率附近压实从而确保获得最大干密度。

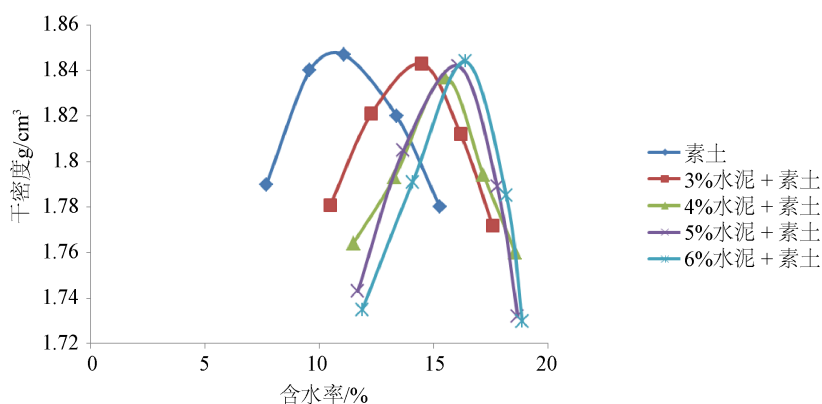


Figure 1. Compacted soil compaction curve with different dosages of cement
图 1. 不同掺量水泥稳定土击实曲线

由图 2 可知, 当土样的掺灰量由 0% 增加到 3% 和 4% 时, 水泥稳定土的最佳含水率增加的比较快, 由 11% 增加到 13.2%, 15.5%, 涨幅分别为 18.9% 和 39.6%, 对应的干密度降低。当土样的掺灰量由 4% 增加到 5% 和 6% 时, 水泥稳定土的最佳含水率增加速率减少, 由 15.5% 增加到 16.1%, 16.4%, 涨幅分别为 3.8% 和 5.8%, 说明此时过量的水泥掺量黏土改良作用不大, 过多的水泥用量会出现开裂等现象, 因此水泥掺量需保持在合理的量。随着水泥用量增加, 最佳含水率的增加的原因可能是因为水泥与土的水解反应从而增加了实际压实时所需的用水量。而干密度随水泥掺量的先呈下降趋势降低, 当掺加一定量以后呈增大趋势, 减少的原因是因为水泥与土发生一系列反应使土体中的颗粒胶结成团, 粗化从而使颗粒间的空隙率增加, 当与途中反应完成以后多于掺量的水泥填充颗粒间, 干密度增大但是从干密度减少的数值来看其实变化量很少, 水泥的掺量从 0%~4% 减少约为 0.7%, 几乎掺灰对土的最干密度影响不大, 但是改良后的土壤的强度和水稳定性增加。

4.2. 承载比(CBR)试验分析

通过承载比(CBR)试验来表征不同掺量水泥稳定土的强度与水稳性, 为获得不同干密度的 CBR 值, 分别采用 3×30 次, 3×50 次, 3×98 次的击实次数制备试样, 各制备 3 组进行平行试验, 取每组试验平均值作为每组试验的 CBR 值, 并绘制干密度-CBR 值关系曲线。

由图 3 可知: 随着击实次数增加, 不同掺灰量稳定土的 CBR 值以及干密度均增加。同一种击实次数的情况下, 随着掺灰量增加, 稳定土的干密度大体不变, CBR 增加且增加幅度较大。不同掺灰量稳定土干密度减少幅度与 CBR 值增加幅度时大致相同。说明掺灰量增加可以显著提高含砂低液限粘土的水稳性。

水泥土的强度随水泥剂量的增加而增长,但过多的水泥用量,虽能获得强度增加,在经济上却不一定合理,而且由于刚度过大容易开裂。经过综合分析在满足经济条件下选择用4%水泥来改良低液限黏土这一方案最佳。考虑到实际施工过程中水泥用量难以精确的确定以及过程中的损失决定在94区用掺加4%水泥进行改良,96区掺加5%水泥改良。研究表明路基工作区的范围一般在路床作用,93区受到的车辆荷载作用很小忽略不计且由于素土的CBR值大于8%满足高速公路路基标准,考虑经济性93区采用素土回填路基。

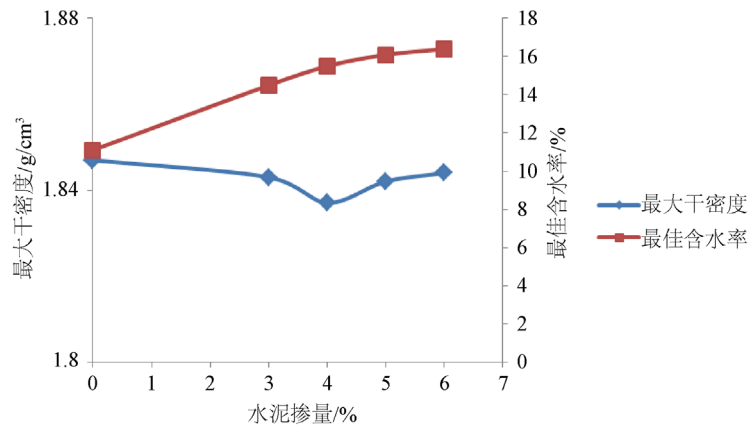


Figure 2. Maximum dry density and optimum water content of cement mixed soil with different contents

图 2. 不同掺量水泥稳定土的最大干密度以及最佳含水量

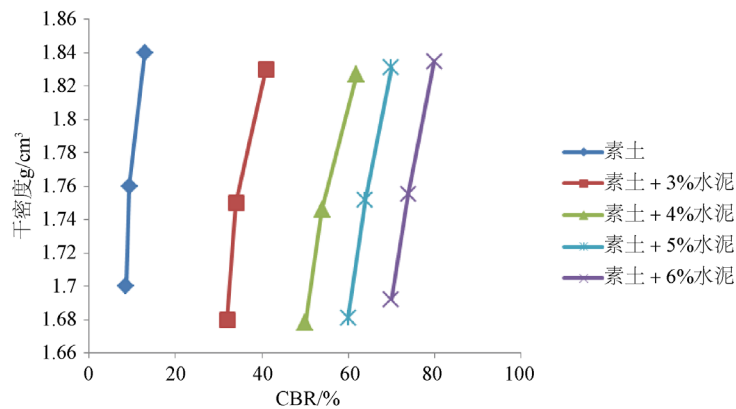


Figure 3. Dry density-CBR value of stabilized soil with different dosages of cement

图 3. 不同用量水泥稳定土干密度-CBR 值

4.3. 无侧限抗压强度

无侧限抗压强度作为道路材料的控制条件,是土体力学性质主要参考指标。无侧限抗压强度能有效评价土在抵抗轴向压力时的极限强度。为研究拟定的4%,5%含量的水泥改良低液限黏土是否能作为路用材料使用,对4%,5%掺量的水泥下的改良低液限土根据击实的所得最佳含水量和最大干密度制样,每组制备6个平行试样,7d养生测其无侧限抗压强度。

如表3、表4所示,其无侧限抗压强度满足设计强度,即4%,5%掺量的能够作为路基填料满足路用性能。

Table 3. 4% cement soil unconfined compressive strength
表 3. 4%水泥土无侧限抗压强度

试件编号	1	2	3	4	5	6
强度(MPa)	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
平均强度(MPa)	标准差	偏差系数(%)	设计强度(MPa)	Za	R_0^d	
0.7	0.041	5.8	0.5	1.645	0.79	

Table 4. 5% cement soil unconfined compressive strength
表 4. 5%水泥土无侧限抗压强度

试件编号	1	2	3	4	5	6
强度(MPa)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9
平均强度(MPa)	标准差	偏差系数(%)	设计强度(MPa)	Za	R_0^d	
0.8	0.041	5	0.5	1.645	0.75	

5. 结论

1) 在合理水泥掺量范围内, 水泥改良土的最佳含水率随着水泥掺量的增加而增大, 因此在实际施工过程中要控制在最佳含水率附近压实。而最大干密度受水泥掺量影响较小, 可以忽略不计。

2) 在水泥掺量的增大能够提高水泥稳定土的 CBR 值, 及提高水泥稳定土的水稳定性和强度。从 0%~4% 时 CBR 增加较快, 当达到 4% 后水泥改良土 CBR 保持在比较稳定水平。

3) 掺加水泥同样也能增加水泥改良土的无侧限抗压强度值, 提高其强度使其更好地满足路面使用性能。

参考文献

- [1] 魏建国, 刘庭, 张军辉, 南彩秋, 尹学良. 石灰改良含砂低液限土在高速公路拓宽路基中的应用研究[J]. 中外公路, 2016, 36(1): 277-281.
- [2] 伍邦勇. 水泥稳定土处治路基路床的工程实践[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2007(3): 88-90.
- [3] 林玲, 陈武新, 袁二键, 米海涛. 6%石灰与 6%水泥改良低液限黏土的试验对比研究[J]. 福建建材, 2011(1): 24-25.
- [4] JTG F10-2006 公路路基施工技术规范[S]. 2006.
- [5] JTG E40-2007 公路土工试验规程[S]. 2007.
- [6] 赵雨. 浅谈水泥稳定土路拌法施工的质量控制[J]. 四川水泥, 2017(3): 238.
- [7] JTG E51-2009 公路工程无机结合料稳定材料试验规程[S]. 2009.