

# 一级公路高液限土水泥改良试验研究

戴范<sup>1</sup>, 刘枫<sup>2</sup>, 黄希望<sup>2</sup>, 王强<sup>3</sup>, 姜平<sup>3\*</sup>

(1.广东省湛江市公路管理局, 广东 湛江 524000; 2.中建湛江大道投资建设有限公司; 3.中南大学 土木工程学院)

**摘要:**以湛江大道一级公路建设项目为工程背景,针对高液限土不能直接用于路基填筑现状,开展高液限土改良试验研究。选取有代表性的高液限土,首先对原土进行室内试验,然后分别添加3%、5%、7%的水泥进行改良,测定其液塑限、CBR值、膨胀量等指标。试验结果表明:随水泥掺量的增大,高液限土的液限减小、塑限增大、CBR值增大、膨胀量减小;综合考虑试验结果、技术可行性、经济合理性和可操作性,推荐采用3%的水泥掺量改良方案。

**关键词:**一级公路;高液限土;水泥改良;CBR值;液限;塑限

## 1 引言

高液限土大量分布在中国广东地区,这类土具有液塑限高、含水率高、孔隙比大、强度和压缩性能差等特点。高液限土直接用于路基填土时,难以压实,易出现翻浆、边坡坍塌、路面开裂、不均匀沉降等现象,影响道路的正常运营。JTG F10-2006《公路路基施工技术规范》规定,高液限土不得直接用作路基填料,应采取一定的措施对其改良,经检查合格后方可使用。高液限土的处治方法很多,根据其类型可分为化学改良和物理改良。化学改良包括掺入化学改良剂、无机结合料,如石灰、水泥等进行改良,其机理是掺合料与高液限土拌和后发生化学反应,产生晶体的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、含水硅铝酸钙等胶结物,增强了土颗粒间的联系,从而降低液限,提高土的强度及稳定性。物理改良主要有隔水防护法、改善颗粒级配法,如外掺碎石、砂砾、粉煤灰等,其机理是改变土颗粒原有的级配,使掺料与土体中的粗颗粒形成骨架,减少细颗粒对土体物理性质的影响。

国内外学者对高液限土的改良开展了大量研究:程涛等通过试验获得了不同性能高液限土的最佳掺砂比例;李方华研究了不同性质高液限土的最佳掺砂砾石比;赵朝阳进行了石灰改良高液限土试验的研究,提出了路基填筑改良措施;龙韬进行了掺砂对湖区路基

黏土工程性质的影响研究,得出掺细砂对承载比提高有明显作用;朱冬梅等研究了高液限土的改良填筑施工工艺,分析了各种方案的改良效果和机理;杨和平等研究了石灰改良高液限土的路用特性;曾静等研究了高液限土与红黏土路用性能。综上所述,现有文献采用石灰、砂改良高液限土的研究较多。该文针对湛江大道一级公路高液限土开展水泥改良试验研究,分析不同水泥掺量对高液限土物理性质的影响,根据试验结果并考虑经济性、技术可行性和可操作性等因素确定较合理的水泥掺量,为湛江大道高液限土现场改良施工提供依据,亦可为类似高液限土改良提供参考。

## 2 水泥改良高液限土试验研究

### 2.1 高液限土基本物理性质

在湛江大道一级公路某标段,选取液限高、含水率大的代表性土:灰黄、褐黄夹灰白色,含少量粉砂,干燥时强度高,硬度较大难以挖掘,不易压实,遇水后有很大的膨胀性和黏性,能长时间保持水分,承载能力相比干燥时降低。

对所选高液限土进行室内试验,采用烘干法测定含水率,液塑限采用标准100g锥仪器测定,采用击实试验测定最大干密度及最佳含水率,进行CBR试验获得高液限原土的承载比。通过试验得到该土天然含水率为35.8%,液限值达到70.5%,塑性指数为35.7,最

收稿日期:2019-12-08(修改稿)

基金项目:中建湛江大道投资建设有限公司科研课题(编号:2018001)

作者简介:戴范,男,大学本科,工程师,E-mail:13902501681@163.com

\*通信作者:姜平,男,博士,教授,E-mail:pinglou@csu.edu.cn

大干密度为 1.67 g/cm<sup>3</sup>,最佳含水率为 20%,击实功为 98 击时的 CBR 值为 10.2%。根据《广东省高液限土路基修筑技术指南》中规定,当液限大于 70%时,高液限土不能直接用于路基填料。由于该地区具有大范围的高液限土,若直接作为弃方处理,则经济性较差,而且对环境影响大,因此对于此类高液限土应该改良后填筑。

2.2 试验方案确定

采用单掺不同比例的 P.C32.5 级复合硅酸盐水泥对高液限土进行室内改良试验,通过击实、液塑限、承载比等试验,分析水泥掺量对高液限土物理力学性能的影响。

水泥改良试验的土样按水泥与烘干的土质量比为 3%、5%、7% 进行配土,对配制好的土样进行 100 g 锥液塑限试验,分析高液限土经过不同比例水泥改良后的液塑限变化规律。通过击实试验测定掺入不同比例水泥改良后试件的最大干密度和最佳含水率并分析其变化规律。每种土样按最佳含水率掺水,在不同击实功(30、50、98 击)作用下制作试件各 3 组,标准养护 24 h,安装百分表后浸水 4 d,对改良后的土样进行 CBR 室内试验,分析其改良后的 CBR 值及膨胀量变化情况,结合工程实际,考虑技术性、经济性和可操作性,得到较优的高液限土改良比例。

3 改良试验结果及分析

3.1 水泥掺量对高液限土液塑限及最佳含水率的影响

在高液限土中掺入 3%、5%、7% 的水泥进行改良后,进行液塑限测定和击实试验,得到液塑限、最大干密度、最佳含水率如表 1 所示。

表 1 高液限土掺入不同比例水泥改良后物理性质变化

掺入水泥 比例/%	液限/ %	塑限/ %	改良后最大干 密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	最佳含 水率/%
0				
3	52.73	62.22	1.623	15.97
5	51.01	63.78	1.704	16.18
7	50.68	64.43	1.711	15.82

由表 1 可知:① 随着水泥掺量的增加,高液限土的液限逐渐减小,塑限逐渐增大,当水泥掺量为 3% 时,液限相对原土降低 25.2%,塑限相对原土增加 78.8%,掺水泥后高液限土亲水性减弱,使工程性质得到

较好的改善;② 随水泥掺量的增加,最佳含水率先增加后减小,相对于不掺水泥的原土,分别减小了 20.2%、19.1%、20.9%,随水泥掺量的增加,最大干密度逐渐增大,主要原因是水泥掺入后与水、土发生复杂的反应,增加了土颗粒间的联系,同时土体的亲水性减弱,水稳定性增强,导致高液限土的最佳含水率降低,土的压实度提高。

3.2 水泥掺量对高液限土 CBR 值的影响

CBR 试验是用于评定路基土和路面材料的强度,是填料能否用于路基填筑的重要评价指标。将烘干后的高液限土按水泥与土的质量比分别为 0%(即不掺水泥)、3%、5%、7% 进行混合,每个比例配制 9 个土样,按表 1 中对应的最佳含水率掺水,经拌和后焖料 4 h,将每组的 9 个土样平均分为 3 份,分别采用 30、50、98 击对土样进行击实,将击实后得到的试件进行标准养护 24 h,安装百分表并读取初始读数后浸水养护 4 d,通过贯入量与单位压力的关系,测定在 2.5、5 mm 贯入量时的单位压力值,进而求得该土样的 CBR 值,读取百分表的数据得到试件的膨胀量,结果如表 2 所示。

表 2 水泥改良后的 CBR 值和膨胀量

水泥掺 量/%	击数/ 击	CBR 值/%	提升幅 度/%	膨胀 量/%	降低幅 度/%
0	30	3.54		4.78	
	50	5.81		4.29	
	98	10.20		3.88	
3	30	5.33	50.6	4.25	11.1
	50	7.42	27.7	4.01	6.5
	98	14.92	46.3	3.56	8.3
5	30	8.01	126.3	3.83	19.9
	50	12.14	109.0	3.46	19.4
	98	19.01	86.4	2.12	45.4
7	30	15.62	341.2	1.62	66.1
	50	31.18	436.7	1.56	63.6
	98	52.50	414.7	1.34	65.5

由表 2 可知:① 未加水泥的高液限土 98 击的 CBR 值为 10.2%,根据 JTG F10—2006《公路路基施工技术规范》,一级公路路基加州承载比(CBR 值)最小强度要求为 8%,该高液限土 CBR 值与规范的最小值接近,由于土体物理性质具有不确定性,为安全起见,该土宜改良后填筑。水泥对高液限土的改良主要是通过水泥与土中的水发生复杂水化反应,生成硅酸

钙、铝酸钙和氢氧化钙等凝胶物质,增大土颗粒间的联系,水化反应生产物增加了级配中粗颗粒含量,同时液限减小使土体含水率减小,黏聚力增强,进而提升高液限土的强度;② 掺入 3% 水泥改良后,击时功为 30、50 击时的 CBR 值相对于原土相同击实功下的 CBR 值变化不大;击实功为 98 击时的 CBR 随着水泥掺量增大而提高;当水泥掺量由 5% 增加到 7% 时,击时功为 98 击时的 CBR 大幅度提高,为掺 5% 水泥的 2.76 倍,表明掺水泥改良高液限土 CBR 值的效果明显;③ 试件浸水后的膨胀量则随水泥掺量的增加而逐渐减小;水泥掺量为 7% 时,30、50 击的膨胀量降低幅度较大,相对于原土同样击数对应的膨胀量分别降低了 66.1%、63.6%,表明掺入水泥能有效降低高液限土的膨胀量,增强土体水稳定性,使改良后高液限土的工程性质得到提升。

### 3.3 水泥合理掺入量讨论

从技术上看,掺入 3%、5%、7% 的水泥对高液限土进行改良,改良后的 CBR 值均能满足规范要求。其中,水泥掺量为 3% 时,98 击 CBR 值为 14.92%,膨胀量仅为 3.56%,其力学性能较好,能够满足工程要求。从经济性来看,经调研 P.C32.5 级复合硅酸盐水泥市场价格为 370~420 元/t,改良时掺入 3%、5%、7% 的水泥,平均每吨土改良费用分别为 11.1~12.6、18.5~21、25.9~29.4 元,采用掺水泥改良高液限土的方案比换填法费用低,对环境影响小。从可操作性来看,水泥是最常用的建筑材料之一,易于获取,可在当地大量采购,而且水泥改良高液限土操作简单,可采用机械施工减少人工作业量。

综合考虑试验结果、技术可行性、经济性和可操作性等因素,推荐采用 3% 的水泥掺量来改良高液限土。

## 4 结 论

通过对高液限土开展室内改良试验,对比分析改良前后高液限土的物理性质,得出如下结论:

(1) 该高液限土的最佳含水率为 20%,当含水率为 20% 时,该土击实后干密度达到最大为  $1.67 \text{ g/cm}^3$ ;

水泥对高液限土最佳含水率影响较大,掺入 3%、5%、7% 水泥后最佳含水率相对于原土分别减小 20.2%、19.1%、20.9%。

(2) 水泥与水发生化学反应生产胶结物,增大了土颗粒间的联系,进而改善高液限土的性质,随水泥掺量增大,高液限土液限减小、塑限增大、CBR 值增大、膨胀量减小、最佳含水率相对于原土减小。

(3) 掺入 3%、5%、7% 水泥对该土 CBR 值分别提高 46.3%、86.4%、414.7%,表明掺入水泥后高液限土能够得到良好的改良效果。

(4) 综合考虑试验结果、技术可行性、经济合理性和可操作性,推荐采用 3% 的水泥掺量改良方案。

### 参考文献:

- [1] 卢博,陈群,陈秀强,等.压实度对高液限黏土路堤稳定性的影响[J].中外公路,2018(1).
- [2] 骆俊晖,米德才,刘先林,等.软土工程特性研究与评价[J].中外公路,2017(6).
- [3] JTG F10—2006 公路路基施工技术规范[S].
- [4] 吴立坚,钟发林,吴昌兴,等.高液限土的路用特性研究[J].岩土工程学报,2003(2).
- [5] 程涛,洪宝宁,刘鑫,等.高液限土最佳掺砂比的确定[J].西南交通大学学报,2012(4).
- [6] 李方华.高液限土填料改良的最佳掺砂砾石比试验研究[J].岩土力学,2010(3).
- [7] 赵朝阳.石灰改良高液限土试验研究[J].公路工程,2010(2).
- [8] 龙滔,石婧.掺砂对于湖区路基黏土工程性质的影响研究[J].中外公路,2019(1).
- [9] 朱冬梅,邓百洪,洪宝宁,等.广东云浮高液限土路堤填料改良方案试验研究[J].公路交通技术,2010(2).
- [10] 杨和平,李宏泉.石灰改良处治高液限土的路用特性试验研究[J].公路工程,2013(4).
- [11] 曾静,邓志斌,兰霞,等.竹城公路高液限土与红粘土路用性能的试验研究[J].岩土力学,2006(1).
- [12] GDJTG/T E01—2014 广东省高液限土路基修筑技术指南[S].
- [13] 王健.库区高液限黏土改良试验及路基沉降控制[D].长沙理工大学硕士学位论文,2013.