

空军汉口新机场试验路段石灰改性膨胀土试验研究

杨明亮¹, 陈善雄¹, 全元元², 袁从华¹

(1. 中国科学院 武汉岩土力学研究所, 湖北 武汉 430071; 2. 武汉市人防工程公司, 湖北 武汉 430060)

摘要: 空军汉口新机场试验路段石灰改性膨胀土(简称灰土)试验研究包括室内和现场试验研究。室内试验研究包括: 天然膨胀土与击实膨胀土的基本物理特性和胀缩特性试验、灰土击实试验以及膨胀土掺石灰改性试验等。室内试验结果表明: 击实膨胀土比天然膨胀土的膨胀潜势更大; 在道面下一定范围内, 填料不能采用膨胀土, 而必须用灰土; 石灰能有效地对场区内的膨胀土进行改性, 最优石灰掺合比为 6%~8%; 不同灰土层的最大干密度与最佳含水量差异较大, 现场施工填料不能混填。现场试验包括: 碾压试验、压实灰土基本物理特性和胀缩特性试验、浸水载荷试验、测定路基回弹模量和回弹弯沉试验等。现场试验结果表明: 在有效控制灰土的石灰掺量和含水量情况下, 采用激振力为 450 kN 的碾压机对松铺厚度为 50 和 30 cm 的灰土进行碾压, 分别需碾压 8 和 6 遍, 路基压路度才能达到 95%, 表面沉降才趋于稳定; 现场压实灰土的膨胀潜势很低, 仍有明显失水收缩特性, 在施工时应注意采取保水措施; 压实灰土具有较高承载能力、强度特性和吸水稳定性。

关键词: 土力学; 膨胀土; 石灰改性膨胀土; 试验路段

中图分类号: TU 43

文献标识码: A

文章编号: 1000-6915(2006)09-1868-08

EXPERIMENTAL RESEARCH ON IMPROVED EXPANSIVE SOIL WITH LIME IN TEST SECTION OF THE NEW HANKOU AIRFIELD

YANG Mingliang¹, CHEN Shanxiong¹, QUAN Yuanyuan², YUAN Conghua¹

(1. Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan, Hubei 430071, China;

2. Wuhan Civil Defence Project Corporation, Wuhan, Hubei 430060, China)

Abstract: Experimental researches are comprised of inside experiments and field tests on improved expansive soil with lime(IESL) in test section of the new Hankou airfield. Inside experiments consist of general physical properties, impaction and swelling characteristics of natural, impacted and improved expansive soils. Some results are drawn, such as the impacted expansive soils are more expansible than natural expansive soils, not expansive soils but IESLs are filled in superstratum of roadbed; it is effective that expansive soils are improved with lime, optimal lime contents are 6% to 8%, different filling cannot be mixed because there are much difference in maximal dry density and optimal water content of IESL. Field tests include roller compacting of IESL, general physical properties and swelling characteristics of compacting IESL, load test with pouring water, resilient module and deflection of roadbed. Some conclusions are drawn, for example, if compactness of IESL can arrive at 95 percent or settlement of IESL can arrive gradually at stabilization on condition that lime and water content are controlled effectively; roller compacting number must be over eight times to loose filling thickness of 50 cm, and six times to 30 cm, when exciting force of roller is 450 kN; though swelling capacity of in-site impacted IESLs is very low, impacted IESLs still have shrinkage characteristic because of water reducing; and measures which prevent

收稿日期: 2005-05-31; **修回日期:** 2005-09-19

作者简介: 杨明亮(1971-), 男, 1997年于武汉理工大学采矿工程专业获硕士学位, 现为博士研究生, 主要从事岩土力学与工程方面的研究工作。E-mail: mlyang@whrsm.ac.cn

water from falling would be taken; the impacted IESLs have larger bearing capacity, intensity and water stability.

Key words: soil mechanics; expansive soil; improved expansive soil with lime; test section of airfield roadbed

1 引言

空军汉口新机场主跑道长度超过 3 km, 占地面积较大, 场区内土体大多数为膨胀土。膨胀土是颗粒高度分散, 成分以黏土矿物为主, 是对环境湿热变化敏感的高液塑限黏土。膨胀土吸水时, 体积膨胀产生膨胀压力, 土体失水时, 体积收缩并形成收缩裂缝; 膨胀与收缩变形可随环境变化重复发生, 导致土的强度衰减^[1-3]。不同地区膨胀土的物质成分及膨胀特性差异很大, 需进行具体的分析研究, 如果处理不当, 机场场道将出现开裂、软化、沉降不均匀等事故, 恶化机场的运营条件, 增加维修工作量。

压实膨胀土的膨胀力及膨胀率等远远大于天然膨胀土^[4-6]。一般地, 机场道面下 3 m 内不宜用膨胀土填料, 需进行改性处理。膨胀土改性主要采用石灰, 膨胀土加石灰后, 产生新的胶结物, 黏粒含量降低, 对环境湿热变化的敏感度降低, 膨胀势降低, 土体强度提高等^[1-3]。为控制改性膨胀土工程建设质量和造价, 必须对其进行试验研究。

本次进行了大量的室内和现场试验研究。室内试验研究包括: 通过天然膨胀土与击实膨胀土的试验, 分析膨胀土的基本物理特性和胀缩特性; 通过击实试验, 分析改性膨胀土的击实特性; 通过膨胀土石灰改性试验, 结合工程实际情况, 分析最优掺灰比、最大干密度与最佳含水量等现场施工控制指标。根据室内试验的结论, 可控制现场试验路段的施工参数。石灰改性膨胀土(简称灰土)现场试验研究包括: 通过灰土碾压试验, 分析灰土压实规律以及压实度达到 95% 时需碾压遍数; 通过碾压灰土试验, 分析现场施工控制条件下, 灰土基本物理特性和胀缩特性; 通过现场浸水载荷试验、承压板测定路基回弹模量试验和路面回弹弯沉试验等, 分析评价灰土路基的承载特性、水稳定性和强度特性。

2 室内试验研究

2.1 试验土料与试验设计

研究场区属剥蚀堆积低丘垅岗地貌单元, 膨胀土有: ③层亚黏土, 呈灰~黑色; ④层黏土, 呈黄~

黄褐色; ⑤层黏土, 呈棕黄色; ⑥层亚黏土, 呈粉红~浅紫色。该区属亚热带气候, 历年平均降水量为 1 433 mm, 年蒸发量为 1 587 mm, 大气影响深度和影响急剧深度分别为 3.00 和 1.35 m。

为减少数据离散性, 每一类膨胀土取某一范围内的土样进行较系统的试验研究。每一试验样本为 3~5 个, 取试验结果的平均值进行分析。研究天然膨胀土、击实膨胀土和灰土特性的试验有: 矿物成分、含水量、密度、比重、界限含水量、颗粒分析等基本特性试验以及膨胀与收缩试验等。

2.2 膨胀土的基本物理特性

取现场原状土进行室内试验, 得到该场区膨胀土的物理性质指标见表 1。

表 1 膨胀土的物理特性指标

Table 1 Physical properties of expansive soils

土层号	天然含水量/%	密度 (g·cm ⁻³)	比重	液限 /%	塑限 /%	塑性 指数 /%	小于 2 μm 黏粒含量 /%	矿物组成/%	
								蒙脱石	伊利石
③	27.9	1.51	2.72	64.5	31.6	32.9	34.4	27	21
④	24.5	1.61	2.68	39.7	17.3	22.4	30.2	10	5
⑤	31.9	1.56	2.71	70.8	30.3	40.5	47.6	40	11
⑥	28.9	1.97	2.69	65.2	30.7	34.5	36.1	39	10

从表 1 中可以看出: 除④层土外, ③, ⑤, ⑥层土黏粒、液限与塑性指数等指标均较高; 土层小于 2 μm 黏粒含量均超过了 30%; 除④层土外, 亲水矿物蒙脱石与伊利石总含量占 50% 左右, 两种矿物又以蒙脱石为主。因此可知, 本场区土层的胀缩特性主要受亲水黏土矿物蒙脱石的影响, 并具有较强的亲水性能及吸水膨胀潜能。

2.3 天然膨胀土与击实膨胀土的胀缩特性

在场区内取大量扰动土样和原状土样, 对扰动土样按不同含水量进行击实试验, 天然膨胀土与击实膨胀土的胀缩特性的比较见表 2。

由表 2 可知: 击实土样的最佳含水量比天然含水量小, 且没有结构特性, 其膨胀势远大于天然膨胀土。膨胀土击实后, 自由膨胀率有一定的离散性, 这主要是土性本身离散性所致; 击实膨胀土的无荷膨胀率与有荷膨胀率是天然膨胀土的 10 倍左右, 膨胀力是天然膨胀土的 2.5~11.0 倍, 膨胀总率是天然膨胀土的 1.2~15.3 倍。

表2 天然膨胀土与击实膨胀土的胀缩特性的比较

Table 2 Comparison of swelling characteristics between original expansive soil and compressed one

土层号	最佳含水量/%	自由膨胀率/%		无荷膨胀率/%		有荷膨胀率/%		膨胀力/kPa		收缩系数		膨胀总率/%	
		天然	击实	天然	击实	天然	击实	天然	击实	天然	击实	天然	击实
③	21.8	39	44	1.31	13.0	0.09	5.2	8.7	96.0	0.35	0.56	0.34	5.20
④	17.7	44	38	1.04	6.4	0.20	2.8	1.6	4.0	0.43	0.48	3.97	3.74
⑤	20.8	75	66	2.88	19.4	0.41	4.5	33.7	87.0	0.41	0.66	2.81	4.50
⑥	18.6	59	74	1.45	18.0	0.15	5.6	7.5	54.0	0.29	0.40	0.89	5.60

注：本文中的有荷膨胀率，都是指在 50 kPa 荷载作用下膨胀土的膨胀率。

由此可知，在挖方区段，由于天然膨胀土具有弱~中膨胀潜势，路基应采取超挖处理措施，回填材料采用非膨胀土或灰土；在填方区段，由于击实膨胀土具有较强的膨胀潜势，不宜直接填筑膨胀土于路面结构物下面，必须对膨胀土填料进行改性处理。

其中，⑥层土样的无荷膨胀率、膨胀力和膨胀总率等与含水量的关系分别见图 1~3，相同击实功下，干密度与含水量的关系曲线见图 4。

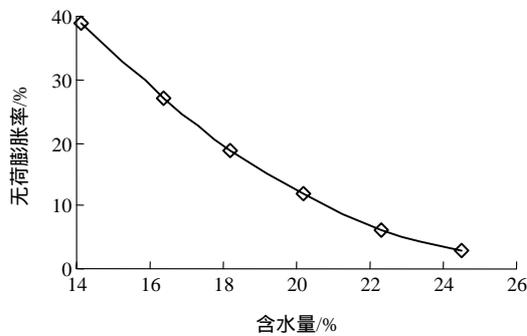


图1 无荷膨胀率与含水量的关系曲线

Fig.1 Curve of unload-swelling quantity vs. water content

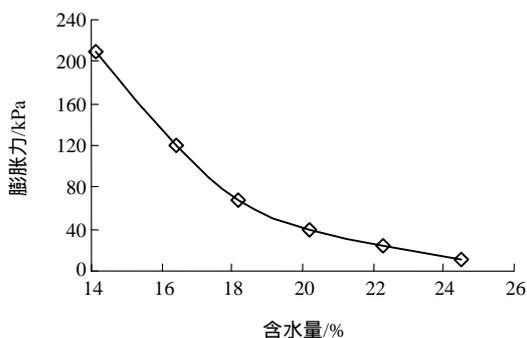


图2 膨胀力与含水量的关系

Fig.2 Curve of expansibility vs. water content

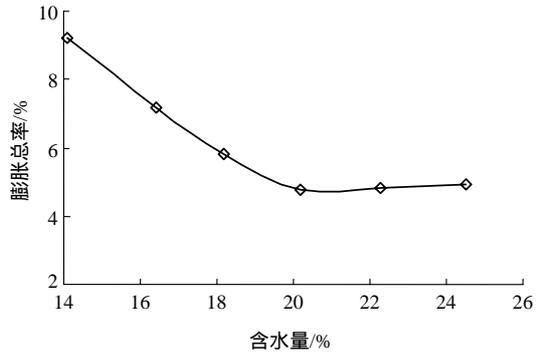


图3 相同击实功下膨胀总率与含水量的关系曲线

Fig.3 Curve of total swelling quantity vs. water content with same compacting energy

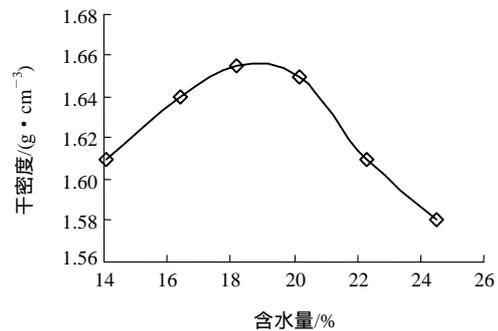


图4 相同击实功下干密度与含水量的关系曲线

Fig.4 Curve of dry density value vs. water content with same compacting energy

从图 1, 2 中可以看出，在相同击实功下，无荷膨胀率和膨胀力随含水量的增加而变小，最后将趋于 0，即膨胀土含水量增大到某一值后，膨胀潜能得到完全释放。从图 3 中可以看出，膨胀土的膨胀总率在含水量大于某值后有增大的趋势，这是由于含水量大于某值后在 50 kPa 荷载作用下的膨胀率下降的速度低于土的收缩率增大速度。由图 3, 4 可知，膨胀土的最小膨胀总率对应含水量略大于击实膨胀土的最佳含水量。

李献民等^[4]认为，含水量和干密度是影响膨胀力和膨胀量大小的主要外部因素，膨胀力曲线和膨胀量曲线的变化规律都为指数关系。由图 4 可知，干密度与含水量与击实功相关，具有不同含水量的土样在不同的击实功作用下可得到相同的干密度，但其膨胀力和膨胀量必然有很大差异。因此，只有在相同含水量条件下，用不同击实功击实，膨胀力曲线和膨胀量曲线才有可能与干密度呈指数关系。

根据试验结果可知：在击实功及功率相同的条件下，击实膨胀土的胀缩特征主要受含水量控制，无荷膨胀率和膨胀力随含水量的增加而变小；击实膨胀土的最小膨胀总率对应的含水量略大于击实膨

胀土的最佳含水量。因此，为了满足路基的压实度，同时降低膨胀土的膨胀潜势，路基填料进行碾压时，其含水量应略大于最佳含水量。

2.4 灰土室内试验

2.4.1 试验目的与方法

试验目的是研究不同石灰掺合比条件下，灰土与膨胀土相关的指标变化规律，确定灰土的最优石灰掺合比。研究方法是取现场扰动土样，经风干后，分别加入 4%，6%，8% 的石灰，采用干法击实，取最大干密度对应的击实土样进行室内试验。

2.4.2 颗粒分析试验

膨胀土的膨胀潜能与小于 2 μm 黏粒含量具有相关性。小于 2 μm 黏粒含量与石灰掺合比的关系曲线见图 5。由图 5 可知，膨胀土加石灰后，灰土产生化学反映，改变了原膨胀土的颗粒分布，使小于 2 μm 的颗粒含量迅速降低。

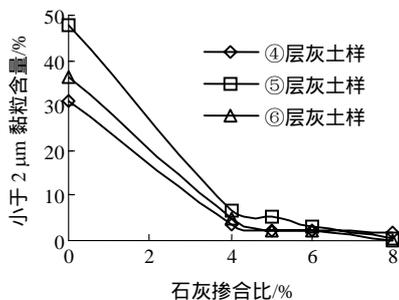


图 5 小于 2 μm 黏粒含量与石灰掺合比的关系曲线

Fig.5 Relation curves between clay granules content and lime content

2.4.3 界限含水量试验

从本次试验结果可知，灰土的界限含水量随石灰掺合比而改变，其中液限随石灰掺合比增加而减小，塑限随石灰掺合比增加而增加，塑性指数随石灰掺合比增加而减小。其中，⑥层灰土样的试验结果见图 6。塑性指数减小反映了土的亲水能力的下降。

2.4.4 膨胀试验

击实灰土膨胀性试验结果见图 7~10，由图可知，当石灰掺合比为 4% 时，灰土样的自由膨胀率下降较快，除④层灰土样外，其他改性土的无荷膨胀率与有荷膨胀率仍较大，有荷膨胀率仅略低于 0.7%，③，⑤层灰土样的膨胀力仍较大(大于 10 kPa)，膨胀力大于机场路面自重压力；当石灰掺合比为 6% 时，自由膨胀率下降缓慢，灰土的膨胀力较小(小于 3.2 kPa)，膨胀力低于机场路面自重压力，除⑤层灰土样外，无荷膨胀率与有荷膨胀率变

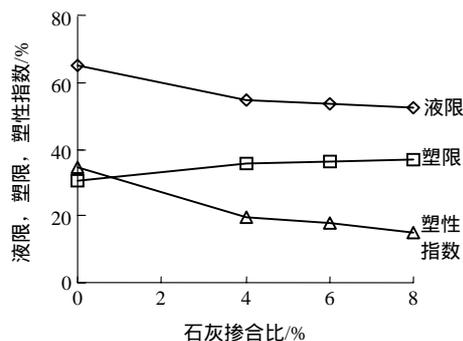


图 6 ⑥层灰土样的试验结果

Fig.6 Relation between limited water content and lime content

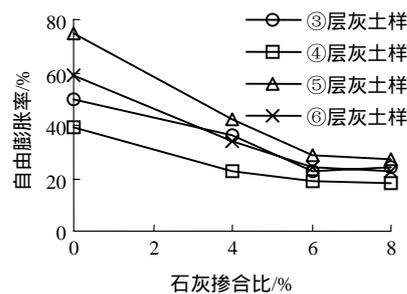


图 7 自由膨胀率与石灰掺合比的关系曲线

Fig.7 Relation curves between free swelling and lime content

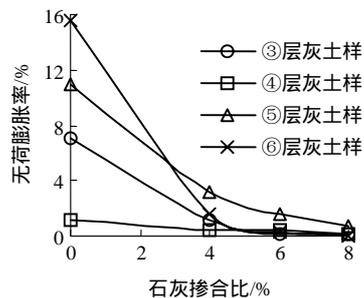


图 8 无荷膨胀率与石灰掺合比的关系曲线

Fig.8 Relation curves between unload-swelling and lime content

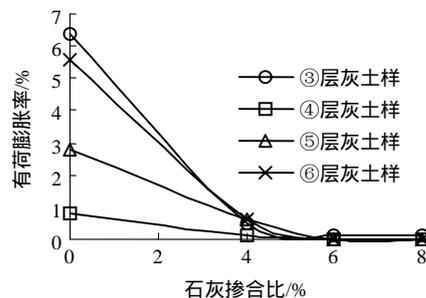


图 9 有荷膨胀率与石灰掺合比的关系曲线

Fig.9 Relation curves between load-swelling and lime content

得很小；当石灰掺合比为 8% 时，⑤层灰土样的无荷膨胀率与有荷膨胀率也变得很小。

膨胀土改性后塑限增大，且最佳含水量也略有

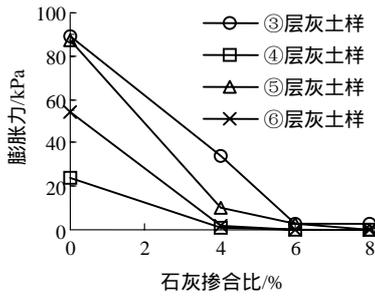


图 10 膨胀力与石灰掺合比的关系曲线

Fig.10 Relation curves between expansibility and lime content

增大,根据《公路路基设计规范》(JTJ013 - 95)中膨胀总率计算式,灰土的膨胀总率与有荷膨胀率相等。

2.4.5 膨胀土的最优石灰掺合比

根据试验结果,当石灰掺合比为 4%时,灰土的膨胀潜势大大降低,但是膨胀总率仍较大,膨胀力也较大,对机场路面运营安全有一定影响;当石灰掺合比为 8%时,灰土的膨胀潜势很低,近似于一般黏土。根据室内试验结果可知,④层灰土样的最优石灰掺合比为 4%,其余各层土的最优石灰掺合比为 6%。由于膨胀土的天然含水量较高,掺合石灰时膨胀土的含水量高于最佳含水量,这与室内试验采用风干膨胀土加石灰拌合均匀后加水制料的试验方法有较大差异;现场改性一般采用消石灰,消石灰掺入土体后,吸水能力有限;再加上现场施工只进行有限次拌合,灰土中石灰的均匀程度比室内石灰掺合的均匀程度差;同时考虑到施工单位现场鉴定各土层样品的膨胀特性有难度,以及拟建工程的重要性,提出③,④,⑥层土的石灰掺合比不宜低于 6%,⑤层土的石灰掺合比不宜低于 8%。

2.5 灰土室内击实试验

在灰土击实试验中,每类膨胀土石灰掺含量分别为 4%, 6%, 8%, 击实试验采用重型干土法进行击实。其中⑤层灰土样的击实曲线见图 11。石灰掺合量为 6%时,不同灰土样的击实曲线见图 12。

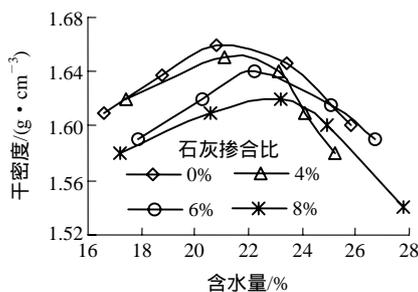


图 11 ⑤层灰土样击实曲线

Fig.11 Compacting curves of ⑤ layer soil with different lime contents

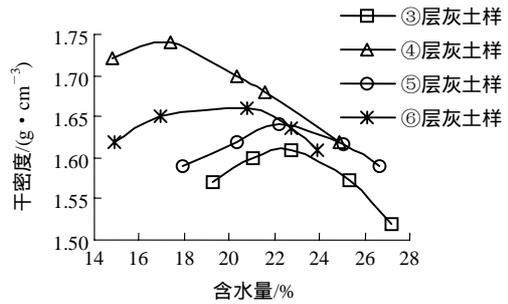


图 12 石灰掺合量为 6%时,不同灰土样的击实曲线

Fig.12 Compacting curves of different IESLs with six percent of lime

由图 11 可知,最大干密度随石灰掺量增加而下降,最佳含水量随石灰掺量增加而增大。由图 12 可知,不同灰土的击实特性有较大差异,最大干密度变化范围为 1.61~1.74 g/cm³,最佳含水量变化范围为 17.4%~22.7%。

由此可知,如果膨胀土填料进行混填改性时,将不能确定灰土的最佳含水量和最大干密度,在现场碾压施工过程中,灰土路基压实度测量时,如果最大干密度采用高值,可能导致现场碾压永远不能达到要求的压实度,如果采用低值,又容易造成工程隐患。因此,在试验路段严禁灰土混填碾压,取土前需进行土类鉴别,现场土体多为过湿土,改性前需控制土料含水量不大于最佳含水量+3%。

3 机场试验路段现场试验

3.1 现场碾压试验

场区内膨胀土为过湿土,填料进场后按不同土类铺开晾晒,在掺消石灰前,测试土样含水量是否在允许范围内。土料含水量达到要求时,加入消石灰,控制其掺合量,掺入消石灰后采用路拌机反复拌合均匀,检测消石灰掺合量与拌和均匀程度。

将准备好的土料搬运至试验小区,形成松铺厚度为 30 和 50 cm 碾压试验小区。采用具有 450 kN 激振力的重型碾压。先不带激振力将松铺灰土静压一遍后,设置试验小区表面沉降观测网,在距试验影响范围以外设 3 个基准点,进行初读。在碾压过程中,每碾压 2 遍后,检测路基压实度,观测路基表面沉降。现场压实度测试采用环刀法,在距地表 $H/4$, $H/2$ 及 $3H/4$ (H 为松铺厚度)处取土测试。③层灰土现场碾压试验结果见图 13, 14。由图 13 可知:不同深度测点压实度不同, $H/4$ 处测点碾压 2

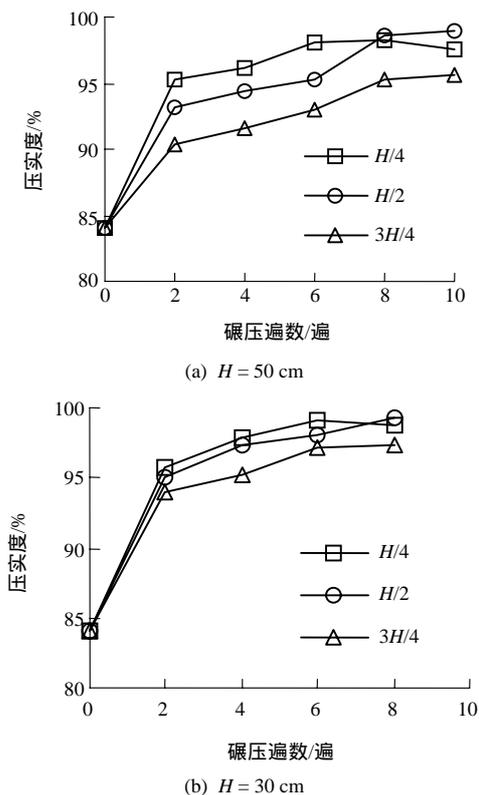


图 13 压实度与碾压遍数的关系曲线

Fig.13 Relation curves between compactness and roller compacting number

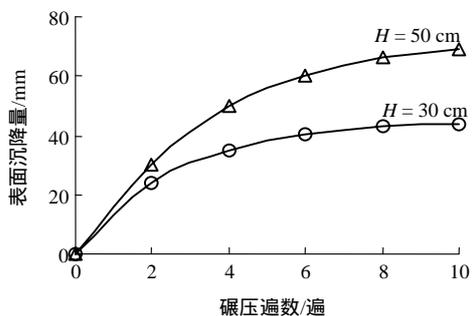


图 14 表面沉降量与碾压遍数的关系曲线

Fig.14 Relation curves between of compactness and roller compacting number

遍后压实度就达到 95%， $3H/4$ 处测点压实度要达到 95% 需用更多的碾压遍数；当 $H = 50\text{ cm}$ 时，碾压需要超过 8 遍，当 $H = 30\text{ cm}$ 时，碾压需要超过 5 遍。因此，路基压实度检测不能仅检测上部或中部填料的压实度，更多的应考虑下部填料的压实度，否则将造成一定的工程隐患。由图 14 可知：表面沉降量随碾压遍数的增加而增加，在碾压初始阶段表面沉降量增大较快，随后表面沉降量随碾压遍数增加逐渐收敛；当 $H = 50\text{ cm}$ 时，碾压 8 遍后表面沉降量趋于稳定；当 $H = 30\text{ cm}$ 时，碾压 6 遍后表面沉降量趋于稳定。

3.2 现场压实灰土的基本物理性质及胀缩特性

在现场碾压结束 15 d 后，取碾压扰动土样进行颗粒分析和液塑限指标测试，取压实灰土样进行膨胀试验与收缩试验，其结果见表 3。

由表 3 可知，压实灰土的塑性指数、黏粒含量、膨胀率等指标较低，膨胀力略高于室内试验结果。这是由于土样含水量小于最佳含水量以及现场压实功率较大等因素，使压实灰土的膨胀率和膨胀力等指标增加的缘故。

试验路段施工正值夏季，经连续曝晒后，灰土路基表面出现一系列裂纹，随时间推移，裂纹不断发展，出现一系列沿振动碾压前进方向贯通的平行裂缝，最后又进一步被与振动碾压前进垂直方向的裂纹切割成长方形(见图 15)。灰土路基碾压完成后，在某一范围内采用单层塑料布进行覆盖，虽然气温很高，历时较长，但覆盖下的路基未出现明显裂缝(见图 16)。根据试验和现场观测表明，虽然灰土的胀缩特性大大降低，但仍有较明显的失水收缩特性。因此，灰土路基在夏季施工过程中，应采取一定的保水措施。

3.3 现场浸水载荷试验

表 3 碾压试验区压实灰土的基本物理性质及胀缩特性

Table 3 General physical properties and swelling characteristics of improved expansive soils in roller compacting experiment section

土层号	石灰掺含量/%	最佳含水量/%	土样含水量/%	液限/%	塑限/%	塑性指数/%	小于 $5\ \mu\text{m}$ 黏粒含量/%	膨胀试验			收缩试验		胀缩总率/%	
								自由膨胀率/%	无荷膨胀率/%	有荷膨胀率/%	膨胀力/kPa	收缩系数		缩限/%
③	6	22.7	19.1	36.6	23.6	13.0	13.5	16.0	0.51	-0.42	18.5	0.24	16.3	-0.42
④	6	17.4	17.3	40.4	23.2	17.2	5.5	21.0	0.72	-0.46	2.3	0.35	15.0	-0.46
⑤	8	23.2	20.0	52.4	28.2	24.2	7.8	31.0	1.34	-0.54	15.0	0.18	10.7	-0.54
⑥	6	20.8	19.6	50.8	28.6	22.2	6.2	29.0	1.47	-0.71	5.2	0.20	13.2	-0.71



图 15 灰土路基表面干缩裂隙图

Fig.15 Desiccation fissures in improved expansive soil roadbed



图 16 灰土路基表面有无覆盖效果对比图

Fig.16 Effect comparison in roadbed surface with or without overcast

采用现场浸水载荷试验可确定灰土地基的承载力以及浸水时灰土的变形特性。试验采用堆载作为反力平台，堆载物为袋装松散黏土，承压板为方板，板宽为 0.707 m。采用钻孔砂沟双面浸水，钻孔深度为 3 m。试验过程中，分级加载至 350 kPa，每级载荷按 50 kPa 增加，当施工加到最后一级载荷沉降达到稳定后，在砂沟内浸水，浸水水面不高于承压板底面，浸水历时 21 d，路基浸水沉降基本稳定后，继续按每级 50 kPa 增加载荷，直至拟定试验终止载荷 600 kPa。沉降量与载荷和时间的关系曲线分别见图 17, 18。由图 17, 18 可知，浸水期间在 350 kPa 载荷作用下，灰土路基表现为浸水软化下沉，无膨胀现象；在浸水初期，路基下沉较快，最后逐渐收敛。在浸水期间出现连降大雨，上部堆载黏土吸收大量雨水后增加了制质量，使作用于地基土上的载荷增加，由于未能及时卸荷调整，导致出现长期超压，载荷最高达 460 kPa。浸水结束后，沉降量与载

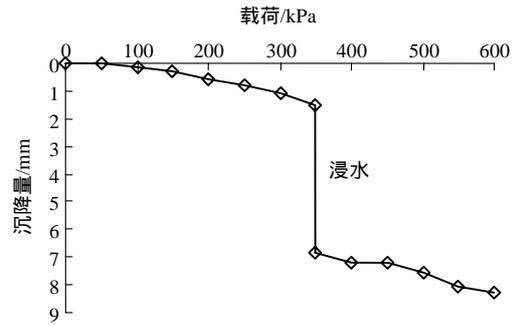


图 17 沉降量与载荷的关系曲线

Fig.17 Relation curve between settlement and load

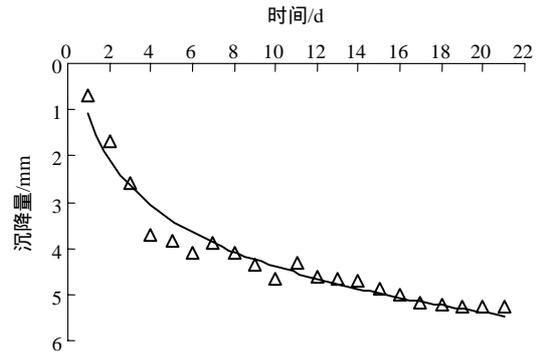


图 18 沉降量与时间的关系曲线

Fig.18 Relation curve between settlement and time

荷的关系曲线近似线性，即灰土在 600 kPa 载荷作用下并没表现出加速下沉现象。这一现象可能是由于超压和灰土承载能力随时间增加不断提高这两方面因素引起的。因此，试验路段灰土路基具有较高的承载能力和吸水稳定性。

3.4 承压板测定灰土路基回弹模量试验

试验前，用压路机对路基表面进行无振碾压。试验采用载有土料的汽车大梁后轴附加一小梁后作反力架，刚性承压板直径为 30 cm，在试验段共测试 6 个点，回弹变形与载荷的关系曲线见图 19。

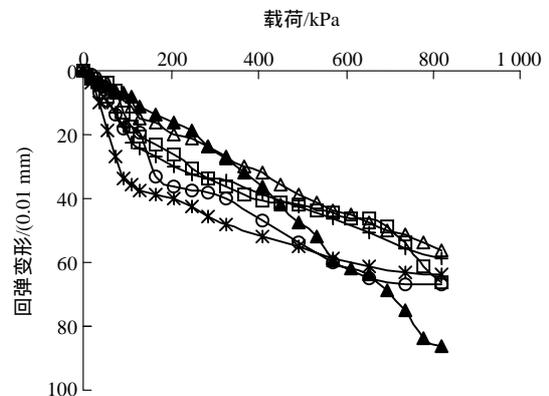


图 19 回弹变形与载荷的关系曲线

Fig.19 Relation curves between of resilient deformation and load

由图 19 可知, 大部分试验曲线可分为 2 个阶段, 即灰土路基压实阶段、压密阶段和近似线性阶段, 个别曲线还有变形收敛或加速下降阶段。灰土路基填筑完成后历时 1 个多月, 才进行现场试验, 路基表面部分受雨水浸蚀软化, 虽然试验前进行了补充碾压, 但是路基表层强度仍低于下层强度, 因此试验曲线有压实、压密阶段。根据试验结果, 灰土路基回弹模量为 122~198 MPa, 平均值为 159 MPa, 标准差为 23.8。因此, 灰土路基具有较高的强度特征。

3.5 贝克曼梁测定路基回弹弯沉试验

试验采用后轴 10 t 的 BZZ - 100 标准车, 路面弯沉仪长度为 3.6 m, 弯沉采用百分表人工测读。试验区内有 22 个测点, 灰土路基各测点弯沉的平均值 (0.01 mm) 为 54, 标准差为 18, 保证系数取 2.0, 则试验路段灰土路基的代表弯沉值 (0.01 mm) 为 90。因此, 灰土路基整体承载能力较高。

4 结 论

(1) 击实膨胀土的最佳含水量比天然含水量小, 击实膨胀土的无荷膨胀率与有荷膨胀率是天然膨胀土的 10 倍左右, 膨胀力是天然膨胀土的 2.5~11.0 倍, 膨胀总率是天然膨胀土的 1.2~15.3 倍。因此, 在场道路基一定范围内必须对膨胀土填料进行有效改性处理。

(2) 膨胀土加灰后, 灰土产生化学反应, 使小于 2 μm 黏粒含量迅速降低, 灰土液限随石灰掺合比增加而减小, 塑限随石灰掺合比增加而增加, 塑性指数随石灰掺合比增加而减小, 膨胀性指标如膨胀力与膨胀率等随石灰掺量增加而减少。

(3) 根据灰土室内试验、现场施工条件及拟建工程的重要性, 提出③, ④, ⑥层土的石灰掺合比不宜低于 6%, ⑤层土的石灰掺合比不宜低于 8%。

(4) 不同灰土的击实特性有较大差异, 因此取土前需进行土类鉴别, 场区内严禁灰土混填。

(5) 灰土路基碾压施工时, 先将不同土层的填料分开晾晒, 使其含水量在允许范围内, 掺入消石灰, 拌合均匀后检测石灰含量是否在允许范围, 达到要求后, 控制填料松铺厚度, 对松铺厚度为 50 cm

的路段, 振动碾压 8 遍, 对松铺厚度为 30 cm 的路段, 振动碾压 6 遍。如果对压实度需要抽检时, 应取中下部土样进行检测。

(6) 试验小区各层灰土的胀缩潜能大大降低, 但仍有较明显的失水收缩特性。因此, 灰土路基施工过程中, 应采取一定保水措施。

(7) 在本文施工控制条件下, 灰土路基具有较高的整体承载能力、较高强度特性和吸水稳定性。

参考文献(References) :

- [1] 陈善雄, 孔令伟, 郭爱国. 膨胀土工程特性及其石灰改性试验研究[J]. 岩土力学, 2002, 23(增): 9 - 12.(Chen Shanxiong, Kong Lingwei, Guo Aiguo. Experimental research on engineering properties of expansive soil and stabilized soil[J]. Rock and Soil Mechanics, 2002, 23(Supp.): 9 - 12.(in Chinese))
- [2] 崔 伟, 李华奎, 穆乃敏. 石灰改性膨胀土工程性质的试验研究[J]. 岩土力学, 2003, 24(4): 606 - 609.(Cui Wei, Li Hualuan, Mu Naimin. Experimental research on engineering character of improved expansive soil with lime[J]. Rock and Soil Mechanics, 2003, 24(4): 606 - 609.(in Chinese))
- [3] 钱玉林, 卜龙章, 胡顺洋, 等. 石灰稳定膨胀土的效用及其施工质量控制[J]. 岩土力学, 2002, 23(3): 325 - 328.(Qian Yulin, Bu Longzhang, Hu Shunyang, et al. Effectiveness of stabilized expansive lime soil and construction quality control[J]. Rock and Soil Mechanics, 2002, 23(3): 325 - 328.(in Chinese))
- [4] 李献民, 王永和, 杨果林, 等. 击实膨胀土工程变形特征的试验研究[J]. 岩土力学, 2003, 24(5): 826 - 830.(Li Xianmin, Wang Yonghe, Yang Guolin, et al. Test study on engineering deformation characteristics of compacted expansive soil[J]. Rock and Soil Mechanics, 2003, 24(5): 826 - 830.(in Chinese))
- [5] 刘松玉, 季 鹏, 方 磊. 击实膨胀土的循环膨胀特性研究[J]. 岩土工程学报, 1999, 21(1): 9 - 13.(Liu Songyu, Ji Peng, Fang Lei. Approach to cyclic swelling behavior of compacted expansive clays[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1999, 21(1): 9 - 13.(in Chinese))
- [6] 杨和平, 郑健龙. 云南楚大公路膨胀土的土性试验研究[J]. 中国公路学报, 2002, 15(1): 10 - 14.(Yang Heping, Zheng Jianlong. Experimental research on properties of expansive soil on Chuda expressway in Yunnan[J]. China Journal of Highway and Transport, 2002, 15(1): 10 - 14.(in Chinese))