

文章编号: 1002-0268 (2006) 01-0036-04

合安高速公路膨胀土掺石灰试验研究

查甫生¹, 刘松玉¹, 崔可锐²

(1. 东南大学 岩土工程研究所, 江苏 南京 210096;

2. 合肥工业大学 资源与环境工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘要: 在穿越膨胀土地区的高速公路路基修筑工程中, 通常采用统一的掺灰率进行膨胀土性质改良。由于膨胀土工程性质的差别, 采用相同的掺灰率处理是不合理的。文章对合安高速公路沿线肥西、庐江和桐城三地区膨胀土进行掺石灰试验研究, 探讨掺石灰对膨胀土的胀缩性与强度的影响规律。试验研究结果表明: 在膨胀土中掺入一定量的石灰可有效降低膨胀土的胀缩性; 土体的最佳含水量随掺灰率的增大而增大, 而其最大干密度则随掺灰率的增大而减小; 土体的无侧限抗压强度随掺灰率的增加先增大, 当达到峰值后, 随掺灰率的继续增加而降低, 存在一个最佳掺灰率点, 肥西、庐江和桐城三地区膨胀土的最佳掺灰率分别为 8%、8% 和 6%。文章最后从膨胀土地质成因角度分析了肥西、庐江与桐城三地区膨胀土工程性质差异的原因, 为膨胀土研究提供了新的方法和思路。

关键词: 合安高速公路; 膨胀土; 胀缩性; 地质成因

中图分类号: TU443

文献标识码: A

Experimental Study on the Effect of Lime on Expansive Soils of He-an Expressway

ZHA Fu-sheng¹, LIU Song-yu¹, CUI Ke-rui²

(1. Institute of Geotechnical Engineering, Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096, China;

2. School of Resources&Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Anhui Hefei 230009, China)

Abstract: During the construction of the embankment of expressway on expansive soils, the same lime ratio has been used to stabilize the expansive soils, this is an unscientific method. The paper studies the effect of lime added in expansive soils located in Feixi, Lujiang and Tongcheng areas along He-an expressway. Testing specimens were subjected to physical properties, compaction, free swell index and swell potential, swelling pressure, unconfined compressive strength tests in laboratory. The swell-shrinking test results show that add lime in expansive soil reduces the swell-shrinking potential. With the addition of lime, the optimum water content increased, while the maximum dry unit weight decreased. The unconfined compressive strength of lime-soil increases with the addition of lime at first, after it reaches the peak value, then decreases. At end of the paper, the physical and engineering diversities of the three different expansive soils were analyzed through geological methods, this is a new way in studying expansive soil.

Key words: He-an expressway; Expansive soil; Swell-shrinking property; Geological

1 问题的提出

膨胀土是土中粘粒成分主要由亲水矿物 (主要是蒙脱石、伊利石、高岭石等) 组成, 同时具有显著的吸水膨胀和失水收缩两种变形特征的粘性土^[1]。由于它具有显著的胀缩性, 常常给膨胀土地区的工程建设

造成严重的破坏, 给人民的财产造成巨大的损失。

在高速公路设计和施工过程中, 经常遇到沿线分布有不良土质的土源, 如膨胀土等。由于土地资源珍贵, 不得不利用当地的不良土源如中等膨胀土或弱膨胀土来填筑路基。在这种情况下应对所用的土料进行试验, 根据试验结果采取相应的措施, 以防施工后出

收稿日期: 2004-08-12

作者简介: 查甫生 (1978-), 男, 安徽枞阳人, 博士生, 主要从事非饱和土与环境岩土工程等方面研究。(zhafusheng@sina.com)

现不良后果。本文对合安高速公路建设中使用的膨胀土路基填料进行了试验研究, 为以后膨胀土地区的公路工程建设和其他建筑工程建设起一定的参考和指导作用。

2 膨胀土的分布和特征

合安高速公路途径肥西、舒城、庐江、桐城和怀宁 5 个县市。主要为平原微丘区, 大部分地区为冲岗起伏, 拔畈相间的波状起伏平原, 由二级阶地、一级阶地及河漫滩组成; 中部地势稍高, 其两侧分布有低山丘陵。合安高速公路沿线广大地区的二级及二级以上阶地或岗地上广泛分布着具裂隙、胀缩性和超固结性的硬塑至坚硬状态的晚更新世冲洪积粘土^[2]。

据钻孔揭示和野外观察, 区内膨胀土形成于 Q₃ 时期, 可分为两层: 上层为褐黄色粘土, 厚度 1.5~3.0m, 岗地土厚度大斜坡上厚度薄, 甚至缺失, 硬塑-半坚硬状态, 含有较多灰白色高岭土, 并含有少量的铁锰结核; 下层为灰黄色粘土, 硬塑-半坚硬状态, 含有大量的球状铁锰结核和少量灰白色高岭土。

3 试验研究

3.1 试验方法

试验土料取自合安高速公路沿线地区(肥西、庐江和桐城)的取土坑。试验方法按照《公路土工试验规程》(JTJ051-93)进行。采用液限塑限联合测定法进行土的液、塑限试验; 重型击实试验采用干土法; 胀缩性及无侧限抗压强度试验的土样是按击实试验最佳含水率和 95% 的最大干密度制备。进行了饱和土样的无侧限抗压强度试验, 饱和试样制备后在保证湿度不变的条件下养护至试验龄期的前一天时浸水 24h 获得, 试验龄期为 7d 和 28d。

本文中掺石灰率是指生石灰质量与干土质量之比。试验时按比例称取一定质量的生石灰将其消解后掺入土中。生石灰等级为二级(要求石灰中的 CaO 和 MgO 的含量高于 70%)。对所取土料进行了物理性质及膨胀性试验, 包括矿物成分、液限、塑限、颗粒大小分析和自由膨胀率试验; 对不掺石灰和掺石灰后压实制备试样进行了不同龄期的胀缩性及力学性试验, 包括膨胀力、无荷及有荷膨胀率、重型击实试验、收缩试验、无侧限抗压强度试验。

3.2 土样的物理性质、自由膨胀率和膨胀力

合安高速公路沿线肥西、庐江和桐城三地区(分别以 A、B 和 C 表示)的代表性土样的物理性质、自由膨胀率和膨胀力见表 1。肥西(A)膨胀土为灰黄

色, 含有大量钙质结核; 庐江(B)膨胀土为褐黄色, 含有大量的铁锰结核和少量的钙质结核; 桐城(C)膨胀土中的钙质结核和铁锰结核较前两地都较少。三地区膨胀土裂隙都很发育, 肉眼可观察到许多次生风化裂隙。

表 1 土样的物理性质、自由膨胀率和膨胀力

土样	界限含水率/%		颗粒分析/%					自由膨胀率/%	膨胀力/kPa
	液限	塑限	塑性指数	0.5~0.1mm	0.1~0.05mm	0.05~0.005mm	<0.005mm		
				0.1mm	0.05mm	0.005mm	mm		
A	62.5	32.2	30.3	4.0	5.0	36.0	55.0	68	68.4
B	45.5	25.0	20.5	7.0	6.0	42.0	45.0	56	54.3
C	42.3	24.5	17.8	5.5	5.5	47.0	42.0	50	49.7

3.3 掺石灰膨胀土击实试验研究

为了分析掺石灰对膨胀土的压实性的影响, 对肥西、庐江和桐城三地区膨胀土进行了素土和掺灰率为 2%、4%、6%、8%、10% 和 12% 的土样的重型击实试验。试验所得的最佳含水率和最大干密度见图 1 和图 2。

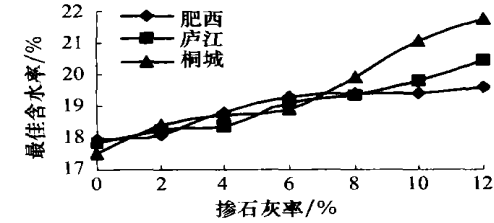


图 1 最佳含水率-掺灰率变化曲线图

Fig 1 Relationship between the optimum water content of mix and percentages of lime

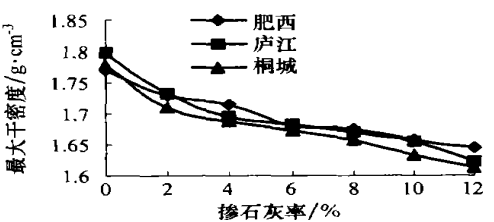


图 2 最大干密度-掺灰率变化曲线图

Fig 2 Relationship between the maximum dry unit weight of mix and percentages of lime

由重型击实试验结果可知, 掺石灰后, 最佳含水率随掺灰率的增加而增大; 而最大干密度则随掺灰率的增加而减小。

3.4 掺石灰对膨胀土胀缩性质的影响

为了研究掺石灰对膨胀土胀缩性质的影响, 对自由膨胀率较高的肥西地区的土样进行了不掺石灰和掺石灰率为 4% 不同龄期的无压膨胀率、50kPa 下的膨

胀率、膨胀力和收缩试验。结果见表 2。

表 2 胀缩性试验结果表

Tab 2 Effect of lime and curing time on swell-shrinkage properties

掺灰率 / %	龄期 / d	膨胀试验			收缩试验	
		无压膨胀 率 %	50kPa 膨胀 率 %	膨胀力 / kPa	缩限 / %	线缩率 / %
0		17	2.05	68.4	9.8	5.7
4	7	2.8	0	0	6.5	2.47
	28	0.18	-0.025	0	5.1	1.03

从膨胀试验结果可以看出, 不掺石灰时, 无压膨胀率为 17%、50kPa 膨胀率为 2.05%、膨胀力为 68.4kPa。掺入 4% 的石灰后, 以上各项指标都有明显的降低。这说明掺石灰对消除膨胀土膨胀性具有显著的效果。

从收缩试验结果可以看出, 掺入 4% 的石灰后, 线缩率从 5.7% 降低为 28d 的 1.03%, 这表明, 掺入石灰还可以有效降低膨胀土施工后的收缩变形。

从表 2 还可以看出, 掺入 4% 的石灰后, 土样的 28d 的无压膨胀率、50kPa 膨胀率、膨胀力和线缩率比其相应的 7d 龄期的各项指标均有不同程度的降低。说明了掺入的石灰对消除膨胀土的膨胀性和降低其收缩变形作用随养护龄期的加长而增加。因此在具体的工程施工中应注意施工后的龄期养护, 以达到最佳的施工效果。

3.5 最优掺灰率的确定

影响石灰改良土强度的因素有: 土质类型 (包括膨胀土矿物组成、团粒大小等)、石灰类型及掺入量、养护时间与方法 (温度与湿度)、含水量、容重等^[3,4]。

由于试验条件的限制及考虑到实际路基工程施工中的试验方法, 本研究只做了饱和石灰土的无侧限抗压强度试验。通过无侧限抗压强度试验来确定最优掺灰率是简单、易操作且可行的方法。图 3 和图 4 是不同掺灰率土样 7d 和 28d 龄期的无侧限抗压强度试验结果。图中强度的峰值点所对应的掺灰率就是所谓的最优掺灰率。

从无侧限抗压强度试验结果可以看出, 掺石灰饱和土的无侧限抗压强度先随着掺灰率的增加而变大, 达到峰值后, 饱和土的无侧限抗压强度随掺灰率的继续增大而减小。这是由于石灰中强的钙离子取代土中低价的阳离子, 比如粘土颗粒表面的钠离子而发生的阳离子交换, 没有发生交换的钙离子可能会被吸收, 造成总的离子单位质量增大, 当石灰与土混合时, 通过粘土颗粒的絮凝, 土的组织发生了变化^[5]。随着掺

石灰率的增加, 人为地减少了粘粒含量, 因而也就相应减小了膨胀与收缩, 提高了石灰土的强度。但过量的石灰在击实过程中除结合掉一部分外还有一部分残留在土中, 阻碍土颗粒的结合, 导致石灰土的强度降低。

肥西、庐江和桐城三地区膨胀土的最优掺灰率分别为 8%、8% 和 6%。

从图 3、图 4 可以看出石灰土在最佳掺灰率下的强度比较大, 都远大于路基施工 7d 的抗压强度需大于 800kPa 的要求。这就意味着按最佳掺灰率处理膨胀土会造成较大强度剩余, 也造成材料 (主要是生石灰) 的浪费, 增加了建设成本。建议在施工前进行掺石灰土的强度等试验, 在保证强度等设计要求的前提下适当减少掺石灰量, 可以适当减少工程造价。

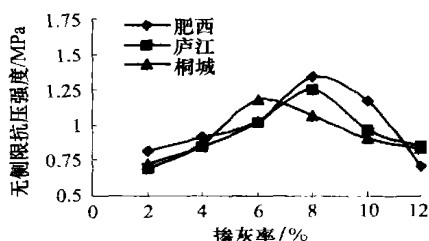


图 3 石灰土 7d 无侧限抗压强度随掺灰率变化曲线

Fig 3 Effect of percentage of lime on unconfined compressive strength of mix with 7 days curing time

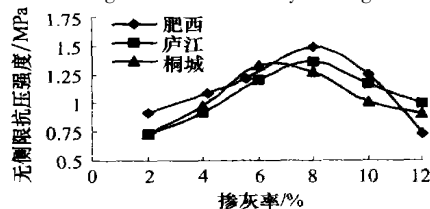


图 4 石灰土 28d 无侧限抗压强度随掺灰率变化曲线

Fig 4 Effect of percentage of lime on unconfined compressive strength of mix with 28 days curing time

对于穿越膨胀土地区的高速公路的路基处理, 采用石灰改善膨胀土时一般的做法是指定统一的掺灰率。笔者认为对于穿越膨胀土地区的高速公路, 沿线几百公里, 由于控制膨胀土性质的地质构造格局及其微构造格局的差异导致膨胀土性质有所差别^[2], 对不同性质的膨胀土指定统一的掺灰率来改善其性质是欠妥的。建议在穿越膨胀土地区的高速公路路基建设过程中, 各施工单位对取自取土坑的土料做不同掺灰率的抗压强度试验, 确定最优掺灰率。

4 膨胀土工程性质的差异与地质成因的关系探讨

4.1 膨胀土的地质成因

膨胀土的分布与水文和地貌有极其密切的关系。在我国, 膨胀土大部分都分布在各河流形成的阶地、湖盆及平原内部。各类母岩风化作用的产物, 被流水等介质搬运并在搬运过程中发生沉积分异作用, 使蒙脱石粘土矿物明显集中, 经压实和固结等成土作用形成以沉积建造为主的膨胀土^[6]。膨胀土地层的时代主要是新第三纪至第四纪下更新世、中更新世、上更新世, 乃至全新世。膨胀土的分布地区与物源区距离不能太远, 一般河流沉积成因的膨胀土主要分布于二、三级阶地上; 残坡积成因的膨胀土主要分布于盆地内坳岗、山前丘陵和低丘缓坡上; 洪积成因的膨胀土主要分布于山前平原和山前洪积扇上^[2]。

4.2 膨胀土工程性质的差异与地质成因的关系

研究区三县市由北往南的排列顺序依次为: 肥西、庐江和桐城。从以上试验结果可以发现三地区膨胀土工程性质的变化存在如下两点规律: (1) 由北往南看 (即由肥西到庐江再到桐城), 液限、塑限、塑性指数、自由膨胀率和膨胀力依次减小, (2) 上述各指标在出现变化的同时, 还表现出数值变化与距离和地理位置之间的关系: 由肥西到庐江, 各指标变化较大, 而从庐江到桐城各数值的变化相对较小。

肥西、庐江和桐城三地区膨胀土的工程地质性质为什么会出现这种空间展布规律呢? 这主要与三地区膨胀土成因和物源的远近与贫富状况有关。肥西地区位于合肥盆地中部地带, 受肥西-韩摆渡断裂作用显著, 物源丰富, 覆盖着一层较厚的 Q_{2-3} 沉积物, 因而其膨胀土发育良好, 主要是冲积和洪积膨胀土, 胀缩性大, 是典型的强膨胀土; 庐江地区主要位于合肥盆地与庐枞盆地的交界地, 受合肥盆地和庐枞盆地共同作用, 其膨胀土的形成与庐枞断裂作用密切相关, 覆盖着一层较厚的 Q_{2-3} 和较薄的 Q_4 沉积物, 膨胀土发育较好, 主要以湖积和冲积方式为主, 属于中等膨胀土; 桐城地区位于庐枞盆地的边缘地带, 受断裂作用不十分显著, 形成膨胀土的物源比较贫乏, 覆盖着较薄的 Q_{2-3} 和 Q_4 沉积物, 膨胀土的形成主要以残积和残坡积为主, 属于中等偏弱膨胀土。

肥西与庐江地区膨胀土工程性质差异较大, 主要是由于两地区空间位置相距较远, 沉积物源差异较大, 并且受不同的构造地质作用, 因而两地区膨胀土性质差别明显; 而庐江与桐城地区膨胀土工程性质差别较小, 主要是由于两地区空间位置相毗邻, 接受沉积的物源差别不大, 因而两地膨胀土性质差别不大。

5 结论

(1) 掺石灰对消除膨胀性的效果是明显的, 而且掺石灰后缩限和线缩率也有所降低, 说明掺石灰不但能消除膨胀性, 对降低施工后的收缩变形也是有效的。

(2) 石灰土最大干密度随掺灰率的增加而减小; 最佳含水率随掺灰率的增大而增大。

(3) 在无侧限抗压强度试验中, 无侧限抗压强度随掺灰率的增大先增加, 当达到一个强度的峰值过后随掺灰率的增大而减小。即存在一个最佳掺灰率。肥西、庐江和桐城三地区的最佳掺灰率分别是: 8%、8%、6%。

(4) 建议在穿越膨胀土地区的高速公路路基建设过程中, 施工单位对取自取土坑的土料做不同掺灰率的抗压强度试验, 确定最优掺灰率。并根据设计要求选择合适的掺灰率, 可有效减少工程造价。

(5) 膨胀土工程性质的差异与其地质成因的不同存在着一定的关系。

参考文献:

- [1] GBJ112-87, 膨胀土地区建筑技术规范 [S].
- [2] 查甫生. 合安高速公路膨胀土改性研究及膨胀土与构造的关系 [D]. 合肥工业大学硕士学位论文, 2004
- [3] 张登良. 加固土原理 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1990.
- [4] 赵振平. 用石灰改变膨胀土的工程性质 [J]. 科技情报开发与经济, 1998 (1): 44-45.
- [5] 张宛林, 张绍东, 顾凯, 等. 膨胀土掺石灰对土的工程特性影响机制探讨 [J]. 工程地质学报, 1999, 7 (4): 372-374.
- [6] 廖世文. 膨胀土与铁路工程 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1984