

石灰改良过湿土的施工工艺和力学性质

王保田¹, 陈桂奇², 漆亭亭²

(1. 河海大学岩土工程研究所, 江苏 南京 210098; 2. 江苏省高速公路建设指挥部, 江苏 南京 210005)

摘要 针对用天然含水率高、黏粒含量较高的黏性土作为路堤填筑材料时, 存在破碎困难、含水率降低慢、土体强度低和不易压实等问题, 结合现场施工工艺试验和室内力学性质试验, 进行了石灰改良过湿土填料的力学性质和施工工艺研究。比较了采用干土法和湿土法这两种标准击实试验方法的试验结果, 认为在石灰改良过湿土施工时应采用湿土法, 先在取土坑掺 2% 的生石灰, 堆放 3 d 后用路拌法掺 3% 的消石灰, 使石灰量达到 5%。试验结果表明, 石灰改良后土体含水率快速降低, 黏性减小, 易于破碎, 压实后土体的 CBR 强度高, 胀缩性低, 成为良好的路堤筑堤材料。

关键词 石灰改良过湿土; 力学性质; 施工工艺; 加州承载比 (CBR); 湿土法; 干土法

中图分类号: TU521.3

文献标识码: B

文章编号: 1006-764X(2006)06-0054-04

Construction technology and mechanical properties of lime-stabilized over wet soil/WANG Bao-tian¹, CHEN Gui-qi², QI Ting-ting² (1. Geotechnical Research Institute of Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Expressway Construction Department of Jiangsu Province, Nanjing 210005, China)

Abstract: In consideration of the fact that the clay soil with high moisture content is hard to be crushed and compacted and is low in strength, and the fact that its moisture content decreases slowly when it is used for expressway embankment construction, the mechanical properties of the lime-stabilized over-wet soil as well as its construction technology are studied through the field construction test and laboratory mechanical test. It is concluded that the wetting method is suitable for improvement of over-wet soil with lime, and the construction technology is introduced as follows: 2% calcium oxide is added to the over-wet soil at soil pit, and 3 days later, another 3% white lime is added at road bed, thus the dosage of lime reaches 5%. The over-wet soil after improvement is of low viscosity, high CBR value, and low swelling potential, and easy to be crushed, and the moisture content decreases rapidly. It becomes a good material for construction of expressway embankment.

Key words: lime-stabilized over-wet soil; mechanical property; construction technology; California bearing ratio (CBR); watering method; water-reducing method

江苏省位于中国东部, 处于长江三角洲和黄淮三角洲平原地区。随着国民经济的快速发展, 高速公路建设规模大、速度快。2004 年江苏省在建高速公路达 1 600 km, 2005 年新增通车里程将超过 400 km。由于防洪需要和桥梁密度大等原因, 江苏的高速公路路堤高度平均达到 3~4 m, 需要大量的填土。公路建设用土主要依靠路线附近取土, 为了节约耕地, 取土坑深度一般达 3~4 m。江苏的地质特点决定了大量路堤填土为天然含水率 30% 以上 (有时高达 50% 以上)、黏粒含量 30%~70% 的土料, 工程上称这种土为“过湿土”。使用天然过湿土填筑路堤时, 存在如下工程问题: ①含水率降低速度慢且不均匀。这种土的最佳含水率一般在 14%~17%, 从天然状态开始到可以碾压, 含水率需要降

低 15% 以上。用自然风干的办法降低含水率, 土体含水率降低速度慢, 土块破碎变小很困难, 因为当含水率高于 20% 时, 土体呈可塑状态, 机械破碎只能形成大大小小的土块, 土块风干到平均含水率约 20% 开始变硬, 形成外面干、里面湿的硬土块, 极难破碎, 含水率难以继续减小, 给施工带来很大困难。②不易压实。土体中大量存在的外干内湿的土块, 碾压时压实机械压实功率较低则土块有时根本不变形, 在土体中形成架空现象。若用大型机械碾压则土块被压成土饼, 容易出现弹簧土现象。③压实土的 CBR (加州承载比) 值低。过湿土压实后, 现场试验得到的 CBR 值不均匀, 有大量测试点 CBR 值低于 3%, 不能满足高速公路设计规范对路基填土的要求^[1-2], 运行期间会造成路面出现大量裂缝的现象。

基金项目: 江苏省交通科学研究资助项目(04Y040)

作者简介: 王保田 (1963—), 男, 湖北浠水人, 教授, 博士, 从事岩土工程测试技术和土的基本性质研究。E-mail: btwang@hhu.edu.cn

如何合理利用过湿土填筑高质量的路基,成为江苏省高速公路建设的关键技术问题。通过现场和室内试验,总结出了不同施工工艺的掺灰改良方法以改善土的性质,现场施工方便。本文主要介绍改良过湿土的施工工艺和力学性质。

1 改良过湿土的施工工艺

通过多项高速公路工程建设的现场和室内试验,总结出了依据过湿土天然含水率的高低用生石灰、消石灰或将两者结合使用改良过湿土的办法。过湿土通过掺入生石灰,可以快速降低土体含水率,通过拌土试验得到如下规律:每掺入1%的二级生石灰,土体的含水率可降低1.8%~2.2%;每掺入1%的粉状消石灰,土体的含水率可降低0.5%左右。用石灰改良过湿土的施工工艺如下:

a. 准备取土。在取土坑部位先揭除表层15 cm的有机质含量高的耕植土层,纵横间距5 m左右、开挖深度0.8 m左右的网状排水沟,以降低表层土的含水率,现场测试取土坑内土体的平均干密度。

b. 第1次掺灰。在取土坑内掺入2%的生石灰,使土体“砂化”。工程上称在取土坑内对天然土掺加2%的生石灰、挖出、拌和、堆放的过程叫做“焖料”。通过“焖料”使土体黏性降低、易于破碎的过程称作土体“砂化”,即黏性土似乎变成了砂性土,容易破碎。第1次掺灰施工方法为:按照土体干密度和取土深度,计算掺2%的生石灰时单位面积上应该摊铺的生石灰质量。在地面画等面积的方格,使每个方格的面积刚好摊铺1车生石灰。当每个方格内堆放1车生石灰后,用机械或人工方法将各个方格内的生石灰推平。用挖土机在取土坑内顺序挖土,开挖出的土堆成锥状。为了拌和均匀并减小土块大小,每天将土堆用挖土机翻拌一遍。这样土堆堆放3~4 d,中间翻拌2次后,土堆内的含灰量大体均匀,土体含水率降低4%左右,土颗粒间的黏性大大降低,土块易于破碎。

c. 土料摊铺、风干、破碎。将焖料3~4 d、含灰量2%的土搬运到路基上摊铺,一般每层松铺厚度不超过25 cm,以保证压实后每层土厚度不超过20 cm。土料在路基上摊铺后推平,用旋耕机不断翻拌和粉碎,使土体含水率均匀降低并减小土块尺寸。

d. 第2次掺灰。通过旋耕翻晒,当土体的含水率降低到最佳含水率+5%左右时第2次掺灰,掺入3%的消石灰。掺灰后,用稳定土拌和机将土料连续粉碎2遍,使粉碎后的土块最大粒径小于5 cm。在摊铺和第2次掺灰拌和期间,若遇降雨,现场快速用静压碾碾压,使土面平实,降雨主要以地表径流形式

向路堤两侧流走,尽量减少雨水下渗,以免土体含水率增加。

e. 碾压。当粉碎后的掺灰土料含灰量达到设计要求的5%,土块最大粒径小于5 cm时,尽快连续碾压到设计的压实度。由于石灰改良土掺消石灰后,时间越长越难压实,因此,第2次掺灰后需要快速粉碎,连续碾压。为此,每个碾压段距离不要超过200 m。

f. 质量检测。每层土碾压完成后,进行压实度和含灰量检测,检测合格后再进行下一层填土或下一道工序施工。

2 石灰改良过湿土的工程性质

对于黏粒含量高的过湿土,掺灰后土体的工程性质迅速改善,成为良好的路堤填筑材料,主要表现在以下几个方面。

2.1 土体的黏性明显降低

黏粒含量高的天然过湿土,若不采用掺灰处理,土体在含水率降低的同时,土粒间的黏性连接不断增强,土块的硬度明显增加,破碎困难,压实难度很大。在取土坑中掺入2%的生石灰后,土粒的黏性明显降低,甚至表现出类似砂土的性质,呈散粒状,易于破碎。用旋耕机和稳定土拌和机能够快速将土体粉碎成散土状。

如宁淮高速公路K173+200取土场土体的天然状态平均含水率为31.1%,为淡黄色黏土,具有弱膨胀性。在取土场掺2%的生石灰,堆放3 d,翻拌两遍后,土体平均含水率为26.2%,呈碎块状,土块用手捏即碎。用卡车将土拉到路基上摊铺,松铺厚度25 cm,用旋耕机翻拌并用中拖粉碎两遍后,土块最大粒径小于8 cm,平均含水率为24.8%。第2次掺入3%的消石灰,用稳定土拌和机粉碎两遍后,土块最大粒径小于5 cm,其中小于2 cm的土团含量超过80%,平均含水率降低到20%左右,可以进行碾压。

2.2 掺灰改良后土体的最大干密度明显降低

高速公路路基填土要求用重型标准击实试验获得土体的最大干密度^[2]。对于土体的标准击实试验《公路土工试验规程》^[3]给出了干土法和湿土法两种击实试验方法。实验室试验结果表明:天然含水率高的过湿土,掺石灰改良,改良土的最大干密度有两个显著特点:其一是改良土的最大干密度明显比天然土的低,同时,用干土法和湿土法两种不同的标准击实试验方法得到的改良土的最大干密度也明显不同;其二是用相同的试验方法,随掺灰后时间的延长,由击实试验得到的最大干密度不断降低,这一点在工程施工过程中也要注意,从第2次掺灰到

压实这段时间要尽可能短。

干土法和湿土法标准击实试验方法的区别是试样准备过程中土体含水率变化过程不同,工程意义在于需要试验过程符合实际施工工艺。为此,把两种标准击实试验方法简要介绍如下:

a. 干土法标准击实试验的试验过程如下:现场取代表性土样 30 kg,测试其含水率。若进行石灰改良土的标准击实试验,按照干土质量向土中掺加设计灰剂量的石灰(现场施工时用生石灰则掺生石灰,现场用消石灰则掺消石灰)。将土样风干到含水率 10% 以下,用快速方法粗略测试土样的含水率。将土样均分成 7 份试样,依次加不同的水,使每份试样间的含水率相差 2% 左右。将每份试样分别装入密封塑料袋中静置 24 h,使土体中含水率均匀。用重型标准击实试验的方法^[2]分别对 7 份试样进行击实,测试各试样击实后的密度和含水率。

对于过湿土,在现场施工过程中土体含水率是单调降低的,而干土法标准击实试验的试样含水率变化过程是先风干再加水,与现场不一致,且掺灰过程没有模拟两次掺灰时机^[4-5]。

b. 湿土法标准击实试验的试验过程如下:现场取代表性土样 30 kg,测试其含水率。对于石灰改良土,先向土样掺 2% 的生石灰,将土样放入容器中焖料,每天将土样翻拌 1 次并适当减小土样的土块大小,模拟取土坑第 1 次掺 2% 生石灰后“焖灰”、“砂化”等施工过程。3~4 d 后(采用与实际施工相同的时间间隔)第 2 次掺灰。对于灰剂量 5% 的灰土,第 2 次掺灰量为 3%。根据现场施工情况,若第 2 次掺灰前土体含水率高于 26% 则掺生石灰,否则掺消石灰。第 2 次掺灰后,将土样拌和并粉碎到最大颗粒小于 5 mm,满足击实试验的要求。然后将土样堆放 24 h。第 2 次掺灰的第 2 天,将土样摊薄风干,随时测试含水率,从含水率 21% 左右开始取样击实,然后继续风干,每隔 2% 左右的含水率取一个土样,共取 7 个土样,每个土样质量约 3 kg,作为标准击实的试样。用重型标准击实试验的方法^[2]分别对 7 个试样进行击实,测试各试样击实后的密度和含水率。湿土法试样准备过程模拟了过湿土施工过程中的 2 次掺灰工艺和土体含水率从高到低变化的过程。

宁淮高速公路 k173+200 和 k174+350 两个取土坑的过湿土素土和用 5% 的石灰改良后的改良土,用干土法和湿土法重型标准击实试验的结果见表 1。由表 1 可知,素土的最大干密度大于石灰改良土,干土法重型标准击实试验得到的最大干密度大于湿土法得到的最大干密度,第 2 次掺灰后 3 d 击实试验得到的最大干密度大于掺灰后 7 d 得到的最

大干密度。

表 1 天然土和改良土的重型标准击实试验结果

取土坑 编 号	土类	试验 方法	第 2 次掺灰后 3 d		第 2 次掺灰后 7 d	
			最大干 密度/ (g·cm ⁻³)	最佳含 水率/%	最大干 密度/ (g·cm ⁻³)	最佳含 水率/%
马武 9 标 6 号 取土坑 (K173+ 200)	素土	干土法	1.88	12.6		
	素土	湿土法	1.82	14.9		
	5% 灰土	干土法	1.69	15.4	1.65	17.2
	5% 灰土	湿土法	1.62	18.6	1.60	19.4
马武 9 标 7 号 取土坑 (K174+ 350)	素土	干土法	1.89	12.8		
	素土	湿土法	1.82	15.3		
	5% 灰土	干土法	1.72	15.8	1.66	17.0
	5% 灰土	湿土法	1.65	18.3	1.61	19.2

2.3 改良过湿土的强度显著增加

过湿土掺 5% 的石灰改良后,土体的 CBR 强度和回弹模量都大大提高。实验室用静力压样法在容积 2 177 cm³ 的击实容器内制取压实度 90% 和 95% 的试样,试样在相对湿度大于 90%、温度 20 ℃ 的条件下养护 6 d,然后浸入水中,分别在制样后的第 7 天、第 14 天、第 28 天、第 60 天和第 90 天进行 CBR 试验和回弹模量试验,试验结果如图 1 所示。由图 1 可见,改良土的 CBR 强度和回弹模量先随龄期增长,但第 90 天的 CBR 值有少许降低,这可能是由于有少量 Ca²⁺ 溶解的缘故^[6-7]。

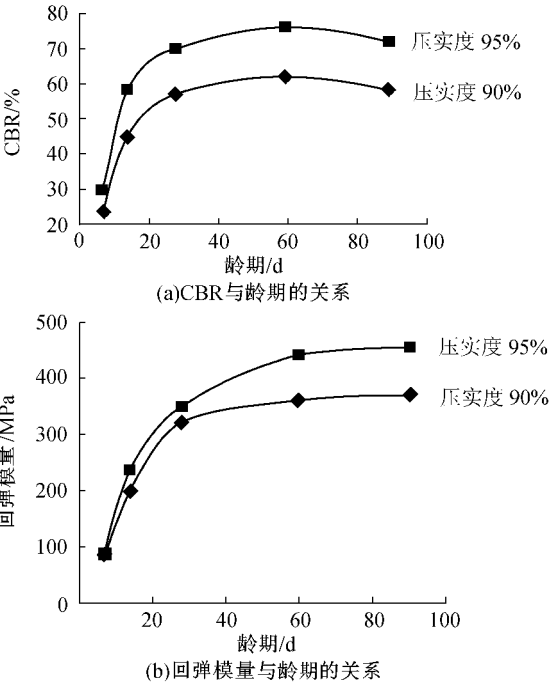


图 1 5% 石灰改良土的 CBR 和回弹模量

2.4 改良过湿土的压缩性和胀缩性明显降低

宁淮高速公路淮安段所有取土场的天然土自由膨胀率在 40% ~ 75% 之间,为弱膨胀性土。天然土控制压实度 90% 压实后,膨胀力达到 150 ~ 250 kPa; 竖向压力超过膨胀力后,会发生明显的浸水压缩现

象,压缩模量 6~10 MPa,属中等压缩性土,50 kPa 的线胀率达到 3%~8%,达到中~强膨胀性土的范围。掺 5% 的石灰改良后,压实度 95% 的土在养护 28 d 后,自由膨胀率 8%~17%,比一般黏土更低,浸水过程中基本不产生膨胀现象,50 kPa 的线胀率为 0~0.026%,压缩模量达到 20~35 MPa,因此,改良土的胀缩性和压缩性很小,是优良的路基填土。

3 结 论

- a. 采用石灰改良后的过湿土含水率降低较快,易于破碎,碾压后板结性好,是良好的路基填筑材料。
- b. 石灰改良后的过湿土的材料击实试验应该用湿土法进行,改良土的最大干密度比素土的低,最佳含水率比素土的高。改良土的干密度对含水率的变化没有素土敏感。在现场碾压时,含水率在最佳含水率+4% 以下就可以顺利碾压。
- c. 石灰改良土的 CBR 强度和回弹模量比素土的高得多,在水下养护时,90 d 的 CBR 强度和回弹模量比 28 d 的值有所降低。

d. 对于具有弱~中等膨胀性的过湿土,石灰改良后,不再具有膨胀土的随含水率变化产生大的胀缩性和明显的软化特性等工程性质,压缩性很低,是优良的路基填土。

参考文献:

[1] JTJ034—2000,公路路面基层施工技术规范[S].
[2] JTJ013—95,公路路基设计规范[S].
[3] JTJ051—93,公路土工试验规程[S].
[4] 王保田,武良金,向文俊,等.改良膨胀土筑堤技术研究[J].岩土力学,2005,26(1):87-90.
[5] 刘爱兰,王保田,张福海.改良膨胀土填筑路堤与压实度控制标准研究[J].防灾减灾工程学报,2004,24(增刊):23-25.
[6] 向文俊,刘爱兰,吴育琦,等.改良土二次掺灰工艺的石灰剂量检测方法[J].河海大学学报:自然科学版,2004,32(3):313-315.
[7] 向文俊,牛宏斌,施接峰,等.宁淮高速公路改良膨胀土压实特性研究[J].河海大学学报:自然科学版,2004,32(4):434-436.

(收稿日期 2005-10-31 编辑 骆超)

(上接第 53 页)形态基本一致,差别仅在具体数值上.在第一级偏载作用下,修正剑桥模型计算的最大沉降值最小,用关口太田模型计算的最大沉降值最大,用修正关口太田模型计算的最大沉降值比关口太田模型计算的略小,用二次修正关口太田模型计算的沉降值更小。这是因为修正剑桥模型采用了过大的弹性区范围,而关口太田模型又过大地调整了弹性区范围,修正和二次修正关口太田模型对弹性区作了适当调整,所以计算结果介于修正剑桥模型和关口太田模型之间,其中因为二次修正关口太田模型的弹性区比修正关口太田模型的稍大,所以计算结果略小。第二级偏载作用下,发生最大沉降的区域的土体进入塑性区,导致 4 种模型计算的最大沉降值都显著增大。但是除关口太田模型外,其余 3 种修正模型的计算值都比较接近,其中二次修正关口太田模型的计算结果最小。

4 结 语

在修正剑桥模型椭圆屈服轨迹的基础上,借鉴关口太田模型可以反映 K_0 固结土体各向异性的建模思想,对关口太田模型进行了第一次修正,通过适当调整硬化轴的角度得到比较合理的弹性区范围,从而得到二次修正的关口太田模型。有限元计算所

反映的变形规律符合各模型在 $p-q$ 平面上的弹性区分布范围规律,说明通过修正屈服轨迹形态,调整弹性区范围的再次修正关口太田模型的方法是有效的,可以从一定程度上更好地反映天然地基所具有的初始各向异性。

参考文献:

[1] ROSCOE K H, SCHOFIELD A N, THURAIRAJOH A. Yielding of clay in state wetter than critical[J]. Geotechnique, 1963, 13(3):211-240.
[2] 钱家欢,殷宗泽.土工原理与计算[M].2 版.北京:中国水利水电出版社,1996:4-77.
[3] 孙德安,姚仰平,殷宗泽.初始应力各向异性土的弹塑性模型[J].岩土力学,2000,21(3):221-226.
[4] SEKIGUCHI H, OHTA H. Induced anisotropy and time dependency in clay[C]//MURAYAMAS, SCHOFIELD A N. Proc 9th ICSMFE, Specialty Session 9. Tokyo: JSSMFE, 1977:229-238.
[5] 韩国城,连镇营,姚仰平.一个适用于基坑开挖的三维各向异性模型[J].水利学报,2002,15(11):14-19.
[6] 孙德安,姚仰平,殷宗泽.SMP 准则的双屈服面弹塑性模型的三维化[J].岩土工程学报,1999,21(5):631-634.
[7] 卢海华.土体的弹塑性柔度矩阵研究及修正的双屈服面模型[D].南京:河海大学,1994.

(收稿日期 2006-04-20 编辑 高建群)