

石灰改良高速公路膨胀土路基的试验研究

程 平¹, 姚海林^{2,3}, 李文斌⁴, 安骏勇³

(1. 华中科技大学土木工程学院 武汉市 430070; 2. 上海交通大学建筑工程与力学学院 上海市 200030;

3. 中国科学院武汉岩土力学研究所 武汉市 430071; 4. 宜昌市宜当高速公路开发有限责任公司 宜昌市 443000)

摘 要: 试验研究了用石灰改良膨胀土的胀缩性、强度、力学性质等方面的变化, 试验结果表明干法与湿法击实有较大的区别, 石灰改良膨胀土掺灰量和检验标准可以从膨胀性能和强度 2 个方面确定。

关键词: 膨胀土; 高速公路路基; 石灰土

膨胀土是一种吸水膨胀软化、失水收缩开裂的特种粘性土, 其主要工程性质是具有多裂隙性、强超固结性、强亲水性和反复胀缩性, 其矿物成分以强亲水性矿物蒙脱石和伊利石为主。膨胀土的膨胀势(等级)明显依赖于土中的粘土矿物成分及其含量。由于膨胀土的这些特性, 使得膨胀土地区的高速公路经常遭受巨大的破坏。主要表现在: (1)作为路基的填土材料, 在路堤填筑后, 可能在其表面产生滑动; (2)在上部路面、路基自重与汽车荷载的作用下, 路堤易产生不均匀下沉, 如伴随有软化挤出则可产生很大的沉陷量, 不均匀下沉导致路面的平整度下降, 严重时可使路面变形破坏, 甚至屡修屡坏; (3)由于路幅内土基含水量的不均匀变化, 引起土体的不均匀胀缩, 易产生幅度很大的横向波浪形变形; (4)雨季路面渗水, 土基受水浸并软化, 在行车荷载作用下, 形成泥浆, 挤入粒料基层, 并沿路面裂缝、伸缩缝溅浆冒泥。

膨胀土的矿物成分及结构型式, 使膨胀土具有胀缩特性, 含水量的变化使膨胀土的这种特性显示出来, 因此可以说, 膨胀土体的不良工程性质是由于膨胀土的内因(胀缩性)造成的, 而含水量的变化是其外界诱发因数。

我国高速公路尤其在我国西部高速公路建设中遇到大量的膨胀土问题, 为了使作为路基填料的膨胀土满足稳定和变形量方面的要求, 对膨胀土进行改性试验研究, 确定膨胀土改性后膨胀土的性质和最佳石灰掺含量, 这对于边坡工程和路基工程设计水平的提

高, 以及对膨胀土灾害的预防均有重要意义。

1 填料的基本特性

作为研究对象的膨胀土取自于宜当高速公路, 除强膨胀土外, 中、弱膨胀土均可用于路堤填料。不同种类的膨胀土尽管沉积环境、成因不同, 但都显示了一种规律, 即胀缩性能越强的土, 其天然含水量越大, 反映了矿物成分组成及结构的不同, 其亲水、持水性各异的特点。为了研究不同膨胀等级的膨胀土的路基填筑技术, 我们选取了 3 种具有代表性的膨胀土进行现场取样和室内试验, 其基本特性指标如表 1。

表 1 不同类别膨胀土的基本特性

土类	取样桩号	天然含水量	液限	塑限	塑性指数	取样深度
		W_M %	W_L %	W_P %	数 I_P	m
弱	K23+ 785	25. 6	41. 1	20. 4	20. 7	0. 8~ 1. 5
中	K25+ 502	23. 8	49. 9	26. 2	23. 7	0. 8~ 1. 5
强	K28+ 624	26. 5	54. 8	24. 1	30. 7	0. 8~ 1. 5

2 干法与湿法击实比较分析

击实试验是确定土的最大干容重和最佳含水量的一种方法, 也是判断压实填筑效果的对照标准。干法击实和湿法击实的主要区别, 在于干法击实采用过 20 mm 筛后的风干土样, 逐渐增加其含水量的办法, 逐个击实, 绘制击实曲线, 通过曲线求出最大干

容重和最佳含水量。它的优点在于土样可以重复使用,因此一次所需土样量较少,这是目前应用最广,也是大多数土工试验人员常用的试验方法。湿法击实利用天然含水量状况下的原状土,使其逐渐风干降低含水量的办法,逐个击实,绘制击实曲线,通过曲线求出最大干容重和最佳含水量,土样不能重复使用。二者在试验器械相同、击实功相同的情况下,试验结果却差异很大。3种典型膨胀土的试验结果见图1~图3。

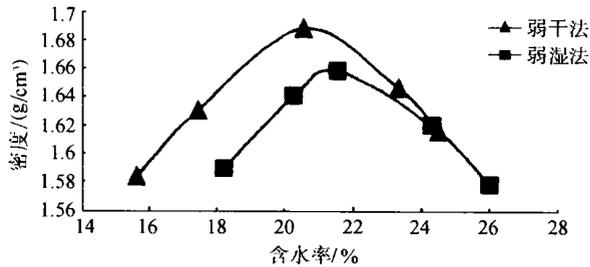


图1 弱膨胀土干法与湿法击实对比

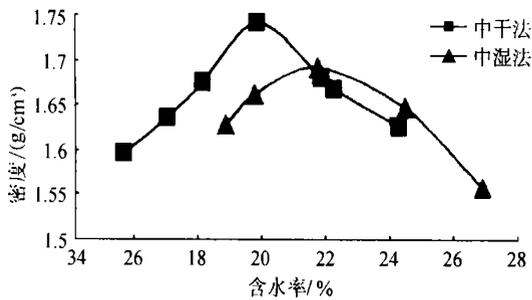


图2 中膨胀土干法与湿法击实对比

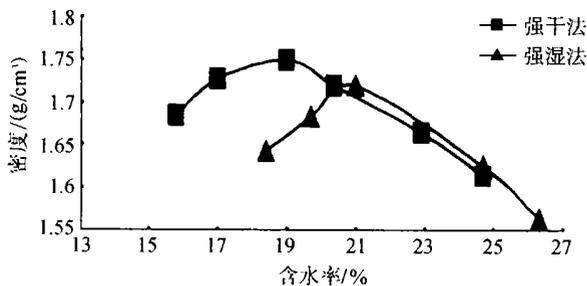


图3 强膨胀土干法与湿法击实对比

干法击实最大干容重较湿法击实大,而最佳含水量较湿法击实最佳含水量小。另一个重要的差异反映在击实土各自的胀缩性上,对于无荷载膨胀率,50 kPa膨胀率,膨胀力和线缩率等试验指标,试验结果表明,所有干法击实试验结果均大于湿法击实试验结果。造成以上性质上的差异,不仅与土的初始含水量和初始密度有关,而且与成型后试样的土颗

粒大小、排列方式、土的结构有关。与干法击实相比,湿法更适合施工现场的实际。

3 膨胀土的改性试验

在膨胀土地区修建高速公路往往找不到合适的填料,迫使我们膨胀土进行改良,多年以来,人们在这方面作了大量的研究工作。为了抑制其胀缩性而达到填筑标准,或采用控制含水量和密实度的方法,或采用化学添加剂诸如石灰和水泥等材料进行膨胀土的化学固化方法,取得不同程度的成效。石灰固化作用是由于盐基交换、胶结性粘土颗粒与石灰的相互作用而显现出来。水泥固化作用是由于钙酸盐和铝的水化物和颗粒相互间的胶结作用,胶结物逐渐脱水和新生矿物的结晶作用,从而降低了液限和体变,增大了缩限和抗剪强度。国内外的膨胀土工程广泛采用石灰土和水泥土这种处理方案,它的成败取决于所掺石灰或水泥的技术指标和施工工艺。本次室内试验将针对掺石灰研究其改性土的胀缩性、强度、力学性质等方面的变化,检验效果,找寻规律。

3.1 石灰土加固机理

(1) 阳离子交换

膨胀土组成以蒙脱石和伊利石为主。粘土颗粒表面吸附有大量的金属阳离子,当渗入石灰后,由于土中产生过量的 Ca^{++} ,同时 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的 OH^- 造成的强碱环境,使得 Ca^{++} 置换了膨胀土颗粒表面的某些阳离子,如 K^+ 、 Fe^{++} 等(Mg^{++} 除外),由此而改变了膨胀土颗粒表面的带电状态,结果使膨胀土颗粒很快地凝聚起来而提高了土的初期强度。

(2) 凝硬反应

这种反应相当复杂,也需要很长时间。

CaO 和水发生反应时会产生大量的热,它可在初期加快凝硬反应,更重要的是使土中的相当一部分 SiO_2 形成水溶性 SiO_2 胶体粒子,此外,氧化铝等也形成一些胶体粒子。

这些生成物聚凝后也会改善膨胀土的工程性质,它们的主要作用是提高石灰土的后期强度及耐久性。以上物质的生成过程类似于水泥的水化反应过程。同时,室内试验表明,石灰土浸水后强度还会提高。因此,从某种意义上来说,可将石灰土视为水硬性材料。

另外,石灰本身会产生消化反应。

消化反应生成的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的体积比 CaO 的体积增大近一倍(1:1.98),使土固结,降低含水量而

起到加固作用, CaCO_3 本身具有较高的强度, 它和铝酸钙作用也可起到加固土体的作用, 但这个反映过程缓慢, 对于改善土的工程性质初期作用不大, 然而随着时间的延长将越来越明显。

3.2 试验结果分析

根据上述原理, 我们对宜当段不同种类的膨胀土进行了改性试验。试验过程遵照《土工试验方法标准》(GBJ123-88) 规范的要求, 将 3 种典型的膨胀土土样风干后碾碎过 20 mm 筛, 按照土的重量掺入不同配比的石灰, 根据不同的含水量 (16% ~ 30%) 喷水拌和土样。参考其它资料, 本次试验采用了 4 种掺灰量, 即: 2%、4%、6%、8%。静置一昼夜后用单位体积功能为 2167 kJ/m^3 的重型击实仪制备土样, 得到各种掺灰比的击实曲线, 找出各种土样的最佳含水量和最大干密度。用击实土样制备做膨胀力、膨胀率及强度等试验的试样。同时, 还做了各种掺灰量土样的液、塑限无侧限抗压强度等试验。试验结果显示, 随着石灰的掺入, 土体的物理、化学、力学性质发生了较大的变化。

(1) 物理性质的变化

掺入石灰以后, 3 种膨胀土的颗粒成分均发生了相应的变化, 随着掺入量的增加, 砂粒组含量增加, 粘粒组、胶粒组的含量则明显减少。掺灰量与塑性指数和掺灰量与自由膨胀率之间的关系见图 4 和图 5。

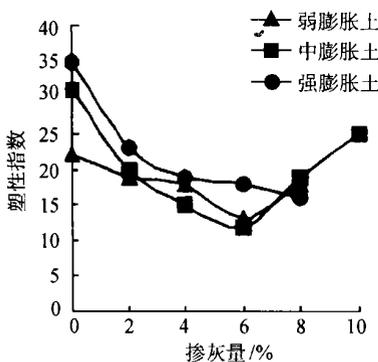


图 4 掺灰量与塑性指数的关系

从图 4 可以看出, 随着石灰剂量的增加, 膨胀土的可塑性发生变化, 液限变化较小, 而塑限有较大幅度地增加, 塑性指数明显降低, 亲水性大大减弱。

(2) 掺石灰后膨胀土工程性质的变化

膨胀土的胀缩性对工程的危害性很大, 未经改性的原状土的膨胀力强度和胀缩指标均达不到规范要求。经过改性后的膨胀土, 其自由膨胀率、膨胀量、

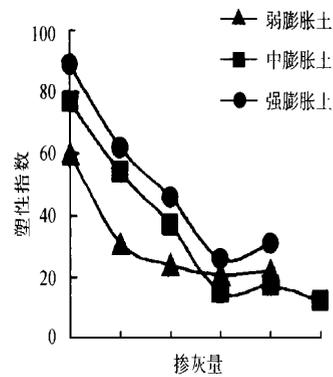


图 5 掺灰量与自由膨胀率的关系

膨胀力、线缩率、体缩率、收缩系数各有不同程度地下降, 缩限呈明显上升趋势。

(3) 养护时间对石灰土性质的影响

以弱膨胀土掺加 2% 的石灰为例加以说明, 表 2 为养护时间对膨胀土强度的影响, CBR 值随龄期的增加而增加。

表 2 养护时间对石灰土性质的影响

养护时间 / d	CBR 值 / %	抗剪强度	
		凝聚力 / kPa	内摩擦角 / ($^\circ$)
1	19.4	35.4	30.9
7	28.7	58.2	33.7
28	36.5	70.9	30.4

(4) 最佳掺灰量的确定

胀缩总率 e_{ps} 按下式计算:

$$e_{ps} = e_{p50} + \alpha_1 (w - w_m) \quad (1)$$

式中: e_{ps} 为胀缩总率; e_{p50} 为 50 kPa 压力下的膨胀率, %; α_1 为收缩系数, 通过收缩试验确定; w 为土的天然含水量, %; w_m 为地基土在收缩过程中可能产生的含水量的下限值, %。

如式中 e_{p50} 为负值时, 按负值考虑; 如 $(w - w_m)$ 大于 8% 时, 按 8% 考虑, 小于零时, 按零考虑。

根据室内膨胀土的改性试验, 3 种膨胀土的胀缩总率与掺灰量的关系如图 6。

从图 6 可以看出, 按胀缩总率接近于零取值, 对于弱膨胀土的最佳掺灰量为 4%, 对于中膨胀土的最佳掺灰量为 7%。现场施工时, 土块粉碎、石灰储存、拌和以及压实后养护条件都达不到室内条件的要求, 因此现场石灰掺和量要比室内石灰掺和量大 1%, 所以现场施工时弱膨胀土和中膨胀土的掺灰量分别按风干土重的 3% 和 8% 选取。

(5) 石灰土压实标准

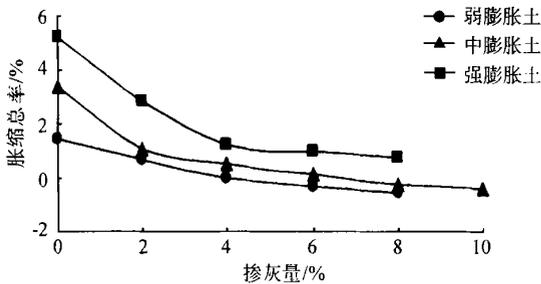


图6 膨胀土的胀缩总率与掺灰量之间的关系

石灰土的强度和变形模量随压实度增加而提高,国内外资料均要求石灰土的压实度达到95%以上,与基础表层填土压实度要求一致,但有时压实度达到95%以上较困难。实际上石灰土的强度和变形模量均比填土高很多,在满足强度和变形要求的条件下,石灰土的压实可以低于一般基础表层填土的压实度,即少于95%的要求。现场施工点实测,采用85%的施工压实度,石灰土的施工抗压强度在240~400 kPa之间。因此,石灰土的压实度标准采用不少于85%是可行的。

石灰和土混合后会发生一系列的化学反应。其中,凝硬反应和碳化反应需要一段较长的时间,石灰土的压实度势必要随着时间的长短发生变化。石灰土的混合和压密之间的时间拖长,最大干容重和最佳含水量也降低。最大干容重减小的原因:其一是不断进行的化学反应形成的絮凝结构对击实功的抗力增大;其次是石灰土在养护期间不断的碳化作用使土粒变得象砂粒一样,很难击实。至于最佳含水量减少的原因是不不断凝硬反应使一部分水变成结晶水所致。

结合现场的施工实际及国内外经验,建议石灰土混合料的样品养护1~3d进行标准击实,确定最大干容重和最佳含水量。压实后的干容重随养护时间的增加还要增大,根据这个特点,可以考虑适当降低压实标准。

4 膨胀土胀缩性和 CBR 对比分析

CBR 又称加州承载比,是由美国加利福尼亚州公路局首先提出来的,用于评定路基土和路面材料的强度指标。在国外多采用 CBR 作为路面材料和路基土的设计参数。在我国的柔性路面设计中,虽然以路基土和路面材料的回弹模量值作为设计参数,但不少单位,特别是科研单位,为了参考国外有关 CBR 方面的资料,在寻求模量与 CBR 的关系上面作了大量工作。交通部、水利部等都将其列入土工试

验规程

所谓 CBR 值,是指材料贯入量达 2.5 mm 时,单位压力对标准碎石压入相同贯入量时标准荷载强度的比值。

因此, CBR 值是高速公路路基填筑强度控制的重要指标。膨胀土路段高速公路路基的 CBR 值受干密度、掺灰率和龄期的影响。

4.1 含水率的影响

以 3 种膨胀土掺加 4% 的石灰为例,按照不同含水率配制土样,击实后浸水,得到 CBR 值,绘制曲线如图 7。

从图 7 可以看出, CBR 值随着土样初始含水率的增加而提高,但存在一个极限值,即超过此含水率后,土样的 CBR 值反而会下降。这是因为土样含水率增加,膨胀潜势减小,浸水后对原状击实土样的强度影响变小;但过高的含水率致使击实土样密实度不够,虽然有较低的膨胀潜能,仍然不会得到高 CBR 值。

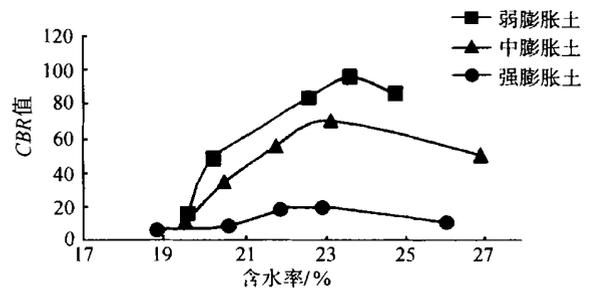


图7 含水率对 CBR 值的影响曲线

4.2 不同剂量的影响

以 3 种膨胀土添加不同剂量的石灰为例,从图 8 可以看出,膨胀土的 CBR 值随着石灰掺合量的增加而单调增加。

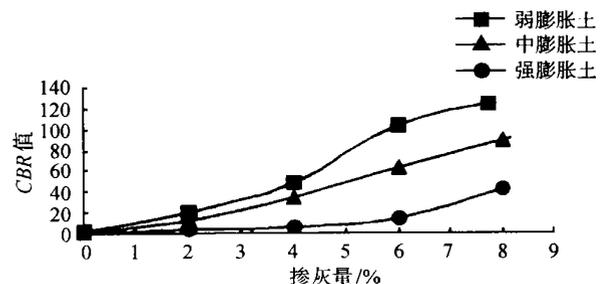


图8 掺灰量对 CBR 值的影响曲线

5 结语

通过研究得到以下几点结论:

(1)干法击实与湿法击实有较大的区别,与干法击实相比,湿法有较大的最佳含水量,较小的胀缩性能,更适合施工现场的实际情况;

(2)建议用胀缩总率来确定石灰土最佳掺合量,中等膨胀土的最佳掺灰量为 8%,弱等膨胀土的最佳掺灰量为 5%;

(3)改性膨胀土的 CBR 一般都大于 20,远远超过规范对路基强度的要求值;

(4)采用 85%的压实度,不论强度和变形指标

均能达到规范的要求,且随着龄期的增长,改性膨胀土的强度还会增加,因此,可以考虑降低改性膨胀土的压实标准

参考文献

[1] 黄世飞.石灰土整治膨胀土路基基床病害的研究.路基工程,1992(2).

[2] 王小军,赵中秀.用生石灰改良膨胀岩基床的室内试验研究.岩土工程学报,1998(1).

Study on Expansive Soils Subgrades of Highway Improved with Lime

CHENG Ping¹, YAO Hai-lin^{2,3}, LI Wenbin⁴, AN Jun-yong¹

(1. Institute of Civil Engineering, Huzhong University of Science and Technology, Wuhan 430052, China;

2. College of Civil Engineering and Mechanics, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China;

3. Institute of Rock and Soil Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China;

4. Yidang Highway Developing Co. LTD., Yichang 443000, China)

Abstract Strength characteristics, swelling and shrinkage characteristics and mechanics characteristics of expansive soils improved with lime are studied based on tests. The results show that there are apparent differences between results of dry compaction and wet compaction. The optimum lime-additive amounts and ckeckout criteria can be decided from swelling and shrinkage characteristics and strength of expansive soils improved with lime.

Key words expansive soils; subgrades of expressway; lime

通县公路建设紧锣密鼓

—— 一季度已开工项目 154个,完成投资 54.9亿元

交通部西部地区通县公路建设办公室对今年第一季度通县公路建设情况进行了通报。截至3月26日,250个通县公路建设项目工程可行性研究报告已全部完成,其中已开工项目154个,累计完成路基土石方1亿多m³,路面工程近1500万m²,完成投资54.9亿元,占计划投资的15%。

在未开工的96个项目中,处于设计阶段的项目有7个,处于招标投标阶段的项目有89个。除西藏、新疆(含兵团)、吉林和黑龙江四省区受自然、地理条件限制,部分项目计划5月份开工外,其他项目4月份已进入施工阶段。

按照国家计委下达的通县公路建设计划,西部地区通县公路建设项目共计250个,总规模为2.5万多km,总投资373.2亿元。其中二级公路3036km,三级公路1.8万多km,四级公路4017km。由于各地对通县公路建设高度重视,工程建设环境较好,通县公路建设各项工作进展较为顺利。目前,完成投资比例在20%以上的有广西、甘肃、重庆、湖北和贵州五个省(区、市);项目全部开工建设的有广西、重庆和湖北三个省(区、市)。据了解,各地在争取地方政策、积极筹措资金方面做了不少工作,但地方配套资金仍还有缺口;此外,各省区之间工程进度不平衡,建设进度还须快马加鞭。