

干湿循环下掺砂改良前后高液限黏土压缩特性研究

孙 键 项 尚

苏交科集团检测认证有限公司 江苏南京 210000

摘 要: 通过室内试验,分析了干湿循环下掺砂改良后高液限土与改良前高液限土的高度、质量和压缩系数等试验结果,比较研究了干湿循环下掺砂改良后高液限土与改良前高液限土的压缩特性变化规律,并从机理上对两者的变化规律进行了分析,结果表明:(1)无论高液限土是否经过改良,干湿循环作用都对其内部结构产生较大影响,且初次干湿循环的影响最大;同时发现,干湿循环对于改良前后的土样都是不可逆的过程。(2)随着干湿循环次数的增加,改良前后土样的质量、高度及压缩系数均变化规律较为相似;同时经过3次干湿循环之后,改良前后的土体的质量、高度及压缩系数趋于稳定。(3)掺砂改良后的高液限土与改良前的高液限土均表现出一定的弱膨胀性。(4)掺砂改良后的高液限土的压缩系数均小于改良前高液限土的压缩系数,且随着掺砂率的逐渐增加,压缩系数在逐渐减小。

关键词: 干湿循环; 掺砂高液限土; 压缩系数; 高液限土

在广东省梅山地区进行勘察发现,该地区高液限土分布广泛,然而根据《公路路基设计规范》^[1]中的规定,其不可直接充当路堤填料。从节约资源与节省造价方面进行考虑,应该对高液限土进行处治,使其满足工程相关指标。因此很多学者都致力于高液限土改良方面的研究,如李方华研究高液限土填料改良的最佳掺砂砾石比,并得出最佳掺砂砾比^[2]。如赵朝阳研究了不同石灰掺量对不良土的物理性质、强度力学性质等的影响程度,并得出外掺剂的最佳掺量^[3]。柳厚祥等研究了掺入康耐改良后高液限土的物理力学性质和强度变化规律,并得出经掺入0.005%的康耐处理后,其液限和塑限降低,强度大幅度增长的结论^[4]。可以说对高液限土的改良方面的研究已较为成熟^[5-9]。

然而高液限土多数分布于沿海地区,其地区气候具有雨季时间长、降雨量大、地下水位变化较大等特点,导致土体经常处于吸水失水的循环状态,因此对高液限土及改良后的高液限土在干湿循环条件下的变化规律的研究就显得尤为重要。而目前对高液限土及改良高液限土在干湿循环条件下压缩特性的研究还鲜见报道,在土体水稳性方面学者们做了一定的工作,如乐金朝^[10]对钢渣稳定土的水稳性试验研究,凌建明^[11]进行了水泥石灰土水稳性的实验研究,胡昕、洪宝宁等进行了高液限土和煤系土抗剪强度的水敏感性比较研究^[12],可见不论土性如何,水环境对土体均有一定的影响。故本文开展对掺砂高液限黏土与改良前的高液限土在干湿循环下压缩特性的比较研究,并从机理上分析改良前后高液限土干

湿循环条件下压缩特性的变化规律,对高速公路的工程建设有着重要指导意义。

一、土料参数及试验方法

1. 土料参数

试验用土均取自广东省二广高速连山段第6标,通过联合液塑限试验测定未改良高液限黏土的液限为57.26%、塑限为23.65%,其它基本物理力学指标如表1。

表1 改良前后高液限黏土物理力学特性

掺砂量 (%)	最大干密度 (g/cm ³)	最优含水量 (%)	天然含水量 (%)	土粒比重
0	1.695	18.3	25.6	2.739
15	1.752	16.5	22.8	2.819
20	1.801	15.6	21.8	2.754
25	1.832	16.0	22.3	2.713

2. 试验方法

为了研究在干湿循环下,高液限黏土改良前后压缩特性的变化规律,本实验从试样质量、高度以及压缩系数这三个方面着手,对干湿循环前后的试样进行研究分析。本实验中将试样在自然风干1天后再吸水1天,称作一个干湿循环。根据方庆军^[13]干湿循环下高液限黏土和粉土压缩特性的比较研究,本试验干湿循环次数定为5次。为了模拟现场,试样含水率取现场测试所得含水率(16%),制备四种土样,分别为原状高液限黏土、掺砂率为15%的改良高液限土,掺砂率为20%的改良高液限土和掺砂率为25%的改良高液限土。将上述每中土样,制备三份试样,分别用于质量、高度及压缩系数的测量。其中,为了提高测量精度,高度测量时采用精度为

0.1mm的游标卡尺；固结试验的仪器为WG型单杠杆固结仪，试样高度为2cm，面积为30cm²，压缩试验过程中，固结压缩试验参照公路土工试验规程（JTGE40—2007）。试验成果计算中取100Kp和200Kp范围内的压缩系数，试验所得各项指标如表2所示。

表2 不同循环次数下改良前后高液限黏土压缩系数

掺砂率 (%)	干湿循环次数					
	0	1	2	3	4	5
0	0.261	0.443	0.414	0.500	0.500	0.491
15	0.192	0.425	0.469	0.431	0.484	0.503
20	0.228	0.452	0.319	0.426	0.393	0.401
25	0.222	0.363	0.356	0.394	0.382	0.354

二、试验成果分析

1. 试样质量及试样高度在干湿循环下的变化规律

根据实验的目的，测量每次干湿循环中，试样风干1天后的质量以及吸水1天后的质量。为了更加直观的研究试样的质量变化，引入质量变化率，其中，

$$\text{质量变化率} = \frac{\text{本次试样质量} - \text{初次试样质量}}{\text{初次试样质量}}$$

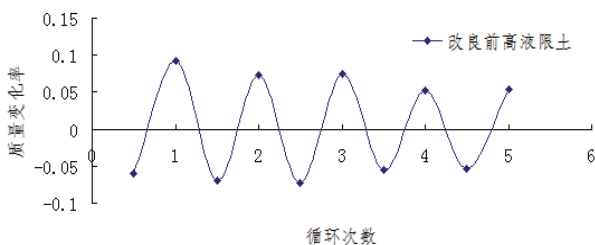


图1 改良前高液限黏土干湿循环过程中质量变化率的变化

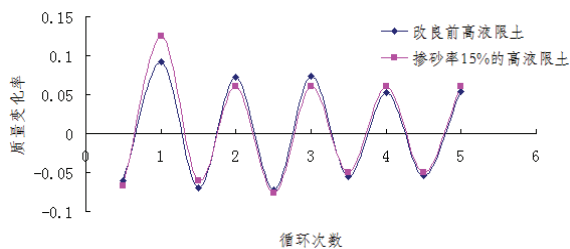


图2 掺砂率为15%的高液限黏土与改良前高液限黏土干湿循环过程中质量变化率的变化情况对比图

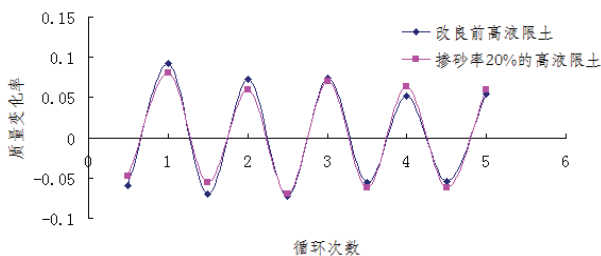


图3 掺砂率为20%的高液限黏土与改良前高液限黏土干湿循环过程中质量变化率的变化情况对比图

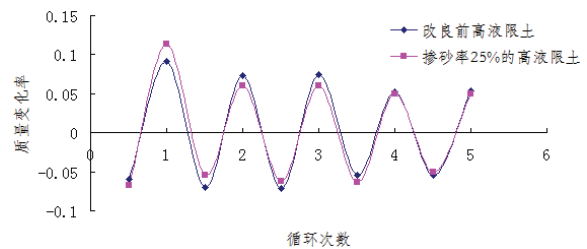


图4 掺砂率为25%的高液限土与改良前高液限黏土干湿循环过程中质量变化率的变化情况对比图

通过对试样质量变化率的研究，得出试样质量的变化规律，现将处理之后的结果绘制于图1~4。由图1知，随着干湿循环次数的增加，改良前的高液限土的质量的变化率逐渐趋于稳定，即说明土样的吸水能力与失水能力趋于一致。通过对比图2~3知，随着干湿循环次数的增加，掺砂改良后的试样质量的变化率亦趋于稳定；同时，随着干湿循环次数的增加，改良前后土样的质量变化趋于一致，特别在3次循环之后，这种现象更为明显。

同时，从图中还可以发现，试样的吸水变化率大于失水变化率，这正好也说明了高液限土难以通过晾晒的方法达到设计要求的含水率的情况。从图中变化率可知，不论是原状高液限土还是掺砂改良的高液限土，干湿循环都是一个不可逆的过程。

从微观的角度分析知，高液限土属于细粒土，土的比表面积较大，同时土中含有一定的矿物成份，如伊利石、高岭石。伊利石、高岭石的结晶结构组成的基本单元为硅氧四面体和氢氧化铝八面体，通过置换与水解反应，将上述基本单元中的硅、铝置换，同时，水解生成SiO₃²⁻。上述反应使得高液限土表面积累大量负电荷，从而形成电场，使得高液限土具有较强的吸附性，不仅吸附水化反应后的阳离子，还吸收大量水分子，使得土颗粒间的水膜变厚，进一步减小渗透系数。从宏观的角度分析知，高液限渗透系数较小，同时具有较强的亲水性，因此水不容易排出，从而使得土体不易压实。

故可知，由于高液限土的静电作用，前两次试样的吸水率强于失水率；随着干湿循环次数的增加，高液限土中结晶结构逐渐被破坏，从而使得高液限土的吸水能力逐渐减小，最终趋于稳定，正好与图1~4一致。通过改良的高液限土，增加了粗颗粒的含量，其透水性比改良前的高液限土好，故其质量趋于平稳的速度比改良前的快。

本实验也针对试样高度的变化，进行了一些量测工作，并将测量结果绘制于图5，通过对结果分析知，高度的变化规律与质量的变化规律趋于一致，在第一次干湿循环过程中，失水的高度远远小于吸水时的高度，随着

干湿循环的次数增加, 增加的高度与减小高度趋于稳定。从试验的结果分析知, 高液限黏土与掺砂改良土均表现出一定的弱膨胀性。

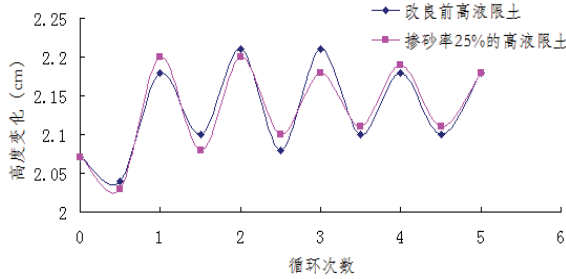


图5 掺砂率为25%的高液限土与改良前高液限黏土干湿循环过程中高度变化情况对比图

2. 试样压缩系数在干湿循环下的变化规律

为了研究高液限黏土与改良土的压缩系数变化规律, 依据试验所得数据表2, 绘制图6~9。

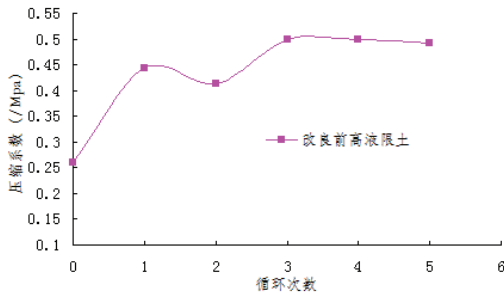


图6 改良前高液限黏土干湿循环过程中压缩系数的变化情况

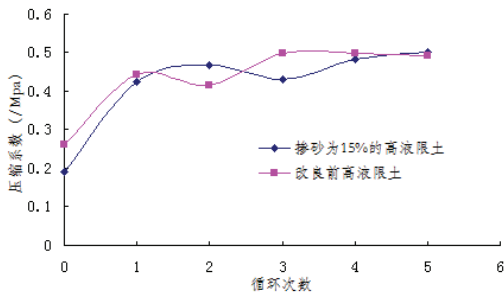


图7 掺砂率为15%的高液限土与改良前高液限黏土干湿循环过程中压缩系数变化情况对比图

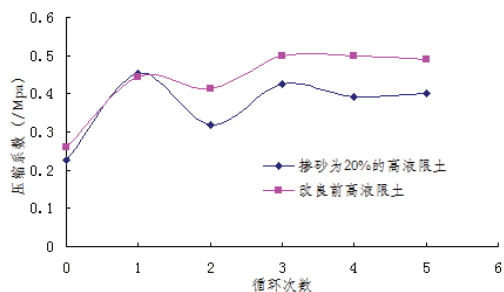


图8 掺砂率为20%的高液限土与改良前高液限黏土干湿循环过程中压缩系数变化情况对比图

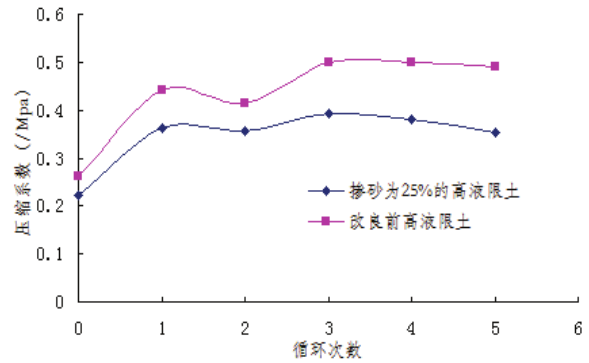


图9 掺砂率为25%的高液限土与改良前高液限黏土干湿循环过程中压缩系数变化情况对比图

根据图6~9可以发现, 随着干湿循环次数的增加, 改良前的高液限黏土的压缩系数逐渐趋于稳定, 保持在 0.5MPa^{-1} 附近; 而对于改良后的高液限土, 随着掺入砂的不同, 压缩系数的变化规律也有所不同, 其中, 掺砂率为15%的改良土, 压缩系数逐渐趋于 0.45MPa^{-1} ; 而掺砂率为20%和25%的改良土, 压缩系数分别趋于 0.401MPa^{-1} 和 0.377MPa^{-1} 。根据上述分析可以发现, 改良后的高液限土的压缩系数小于改良前的压缩系数。这主要是由于掺砂后, 改变了高液限土中粗颗粒含量, 使粗颗粒在土中起骨架作用, 削弱细颗粒对土的性质影响; 同时, 随着掺入量的增加, 粒径较大的颗粒开始接触, 形成骨架, 土体的强度和密实度进一步提高, 收缩性在进一步减小, 从而使得掺砂后的改良土压缩系数减小。

从图6~9可以观察到, 在第一次干湿循环作用下, 改良前后的高液限土的压缩系数均有较大的增长, 其中, 改良前的高液限土的增加率为70%, 其他三种改良土增长率分别为121%、98%和64%。这表明, 无论是改良前的土, 还是掺砂改良后的土, 干湿循环的作用都会对土体的内部结构有很大影响。

同时, 根据图6~9, 可以发现, 无论是改良前的高液限土, 还是掺砂后的改良高液限土, 经过3次干湿循环后, 土体的压缩系数趋于稳定, 这主要是由于经过多次干湿循环, 土体内部结构趋于稳定。

三、结论

(1) 通过试验可知, 无论是高液限土是否经过改良, 干湿循环作用都对其内部结构产生较大影响, 且初次干湿循环的影响最大; 同时发现, 干湿循环对于改良前后的土样都是不可逆的过程。

(2) 随着干湿循环次数的增加, 改良前后土样的质量、高度及压缩系数均变化规律较为相似; 同时经过3次干湿循环之后, 改良前后的土体的质量、高度及压缩

系数趋于稳定。

(3) 掺砂改良后的高液限土与改良前的高液限土均表现出一定的弱膨胀性。

(4) 掺砂改良后的高液限土的压缩系数均小于原状高液限土的压缩系数,且随着掺砂率的逐渐增加,压缩系数在逐渐减小。

参考文献:

[1] JTG D30-2004公路路基设计规范[S].北京:人民交通出版社,2008.

[2] Li Fang-hua. Experimental study of optimal proportion of gravel adopted to improve the properties of high liquid limit soil subgrade[J].Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(3): 785-788.[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,2010,31(3):785-788.]

[3] Zhao Zhao-yang. Study on improvement of high liquid limit soil[J].Highway Engineering, 2010, 35(2): 70-74.[赵朝阳.石灰改良高液限土试验研究[J].公路工程,2010,35(2):70-74.]

[4] Liu Hou-xiang, Yu Zhi-jiang, Li Ning. Experimental re-search on engineering behaviors of high liquid limit soil im-proved[J].Journal of xi'an University of Technology, 2008, 24(2): 144-148.柳厚祥,余志江,李宁等.高液限土工程特性改良的试验研究[J].西安理工大学学报,2008,24(2):144-148.

[5] Pan Hong-li, Cao Liang-hong, Liu Shi-ming. Field filling con-struction technology of the doping sand modified high liquid limit soil foundation[J].[潘红丽,曹亮宏,吕世明.掺砂改良高液限土路基现场填筑施工技术[J].山西建筑,2010,36(1):299-300.]

[6] Liang Wei, Ou Xiaoduo. Experimental study on high liquid limit soil roadbed improved with lime in Nanning[J].Build-ing Science, 2008, 24(7): 57-60.[梁伟,欧孝夺.南宁高液限土路基石灰改良试验研究[J].建筑科学,2008,24(7):57-60.]

[7] Liu Jian-tian, Yue Yin-sheng. Study the test of mixing sand to improve high liquid limit of soil[J]. Foreign Highway, 2004, 24(4): 147-149.[刘见天,岳银生.掺砂改良高液限土的试验研究[J].中外公路,2004,24(4):

147-149.]

[8] 宋军,柳厚祥,张起森等.康耐改善高液限土工程特性的试验研究[J].长沙交通学院学报,2004,20(3):38-42.]

[9] Zeng Xian-xin, Zhong Yang-you. Study on subgrade construction by mixing sand to improve high-liquid limit soil[J]. Journal of Guang Dong Communications Polytechnic, 2005, 4(1): 13-19.[曾宪新,钟扬有.掺砂改良高液限土修筑路基技术研究[J].广东交通职业技术学院学报,2005,4(1):13-19.]

[10] Yue Jin-chao, Li Xin-ming, Yue Xudong. Experimental study on water stability of steel slag stabilized soil[J]. Journal of Zhengzhou University: Engineering Science, 2010, 31(2): 18-21.[乐金朝,李新明,乐旭东.钢渣稳定土的水稳性试验研究[J].郑州大学学报:工学版,2010,31(2):18-21.]

[11] Ling Jian-ming, Xie Hua-chang, Zhuang Shao-qin. Ex-perimental study on water stability of cement-lime stabilized soil[J]. Journal of Tongji University, 2001, 29(6): 733-737.[凌建明,谢华昌,庄少勤,等.水泥石灰土水稳性的实验研究[J].同济大学学报,2001,29(6):733-737.]

[12] Hu Xin, Hing Baoning, Wang Haiming. Comparativestudy on the water sensitivity of shear strength of high liquid limit soil and coal-bearing soil[J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition, 2010 42(1): 54-59.[胡昕,洪宝宁,王海明等.高液限土和煤系土抗剪强度的水敏感性比较研究[J].四川大学学报:工程科学版,2010,42(1):54-59.]

[13] Fang qing-jun, Hing Bao-ning, Lin li-xian. A Study on the Different Compression Characteristic of High Liquid Limit Clay with Sand Mixed on Wetting-drying Cycles [J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition, 2011 43(1): 73-77.[方庆军,洪宝宁,林丽贤等.干湿循环下掺砂改良高液限黏土压缩特性研究[J].四川大学学报:工程科学版,2011,43(1):73-77.]

[14] 洪毓康.土质学与土力学[M].北京:人民交通出版社,1998.