

文章编号: 1000-7598-(2006) 11-1941-04

膨胀土化学改良试验研究分析

虞海珍¹, 李小青¹, 姚建伟²

(1.华中科技大学 土木工程与力学学院, 武汉 430074; 2.铁道第四勘察设计院, 武汉 430063)

摘 要: 膨胀土的改良是膨胀土工程地基处理研究领域中的重要课题之一, 已受到岩土科学工作者和工程师的普遍关注。结合某公路膨胀土边坡防护工程, 采用 ESR 生态改性剂进行膨胀土化学改良试验研究, 探讨了膨胀土的化学改良机理和效果。结果表明, 膨胀土经化学改性为非膨胀土, 且由原来的亲水性变成憎水性, 能达到较好的水稳定性, 尤其是地表浅部的改性土能达到长期浸泡无崩解的效果。改性后的土体具有砂土的特征, 各项强度指标大幅度提高, 地基承载力有着明显的提高, 并随着 ESR 生态改性剂喷洒次数的增加, 其承载力逐步增大, 在短时间内达到稳定值, 最佳喷洒次数为 3~4 次。

关 键 词: 膨胀土; 化学改良; ESR 生态改性剂; 试验研究

中图分类号: TU 411

文献标识码: A

Experimental study and analysis of expansive soil improved with chemical medicine

YU Hai-zhen¹, LI Xiao-qing¹, YAO Jian-wei²

(1.College of Civil Engineering & Mechanics, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China;

2.The Fourth Railway Investigation & Design Institute, Wuhan 430063, China)

Abstract: The improvement of expansive soil is an important lesson in the study of expansive soil subgrade treatment; so it has been concerned by the geotechnical researchers and engineers. Combined with slope treatment project of expansive soil on a highway, the chemical improving expansive soil by experiment with ESR ecotypic medicine is studied. Both of the mechanism and the effectiveness of improving expansive soil are analysed. It is discovered that the expansive soil become non-expansive after chemical treatment. The improved expansive soil has been changed from hydrophilicity to hydrophobicity and has good water stability. While the soil has the characteristic of sand and every strength index is largely increased. The foundation bearing capacity is also increased by the number of spraying; and the best spraying number is 3—4.

Key words: expansive soil; chemical improvement; ESR ecotypic medicine; experimental study

1 引 言

膨胀土是在自然地质过程中形成的黏粒成分主要为强亲水性矿物, 具有显著湿胀干缩性的地质体。它是一种吸水膨胀软化、失水收缩开裂, 并能反复发生湿胀干缩变形的高塑性特殊黏土, 且具有多裂隙性、超固结性、崩解性、风化性、强度衰减等特殊性质, 有别于一般的黏性土^[1]。

由于膨胀土的显著胀缩特性, 使膨胀土地区的建筑、铁路、公路、机场、水利工程等经常遭受巨大的破坏, 造成重大的经济损失^[2]。

膨胀土的化学改良是膨胀土工程地基处理研究领域中的重要课题之一, 它涉及到化学、岩土力学

及工程力学等多种专业和学科。开展这方面的研究对于治理膨胀土基础工程, 从根本上解决膨胀土危害具有重要的理论价值和较好的工程应用前景^[3, 4]。

本文结合某公路膨胀土边坡防护工程, 采用 ESR 生态改性剂进行膨胀土化学改良试验研究, 探讨了膨胀土的化学改良机理及改良效果。

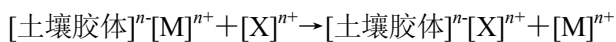
2 膨胀土的化学改良机理

在高速公路的施工过程中, 常遇到高液限土、膨胀土等不良地段。在设计施工中, 常采用换填土以及在膨胀土路堤填料中掺石灰、水泥等处理方法^[5]。石灰固化法通过盐基交换、胶结、黏土颗粒与石灰相互作用, 从而增强膨胀土的强度。水泥固化法通

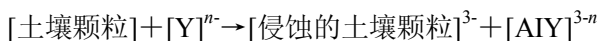
过硅酸盐和铝的水化物与黏土颗粒间相互胶结作用,胶结物脱水和新生矿物的结晶降低了液限,从而提高了膨胀土的抗剪强度。

以上两种方法虽都有一定的效果,但多年对施工过程和已通车道路的调查及室内、外试验结果分析表明,石灰、水泥与土反应的速度较慢,所生成的水化物强度较低,耐久性较差,而且石灰掺量在 8% 以上,水泥掺量在 6% 以上,用量较大,且在施工时需反复拌和均匀,其周期较长。

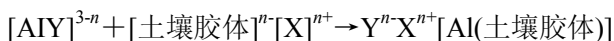
ESR 膨胀土生态改性剂是一种复合的化学配方与少量带有活性石灰掺配成的中性水溶液, pH 值界于 6~7 之间,无毒、无腐蚀性、无污染。它是一种交换树脂,也是一种电解质,能溶于水,在水中离解出带正电荷的阳离子 $[X]^{n+}$ 和带负电荷的阴离子 $[Y]^{n-}$,阳离子与土壤胶体表面的阳离子 $[M]^{n+}$ 产生交换作用,将这些原本吸附在土壤颗粒表面、亲水性极高的阳离子赶走,代之以亲水性较低、黏结力较强的铝离子及其水合物。即



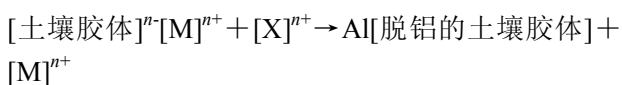
而离解出来的阴离子则与土壤中铝产生络合作用:



铝离子的树脂络合物 $[AlY]^{3-n}$ 再与 $[\text{土壤胶体}]^n[X]^{n+}$ 作用,使树脂得以再生:



总反应式是:



ESR 作用的结果是将吸附在土壤胶体表面的、非常容易水合的阳离子赶走,代之以水合度较低、黏结力较强的铝离子及其水合物。这样,水分子就不易再与膨胀土颗粒结合,从而容易被排出。

ESR 是在水中电解出离子与土壤颗粒离子进行交换作用,从而达到将土壤改性的目的,它与其他胶合材料不同,自身与土粒并不结合,而且具有再生功能,它与土壤作用时其总量并没有减少。其功效并不会随着时间的推移而逐渐减弱;相反,只要土壤中有水份,它的功效就会延续下去,这种作用是永久的、不可逆的。

当 ESR 改性剂喷洒在土体上,并渗透到一定深度,将该深度的膨胀土改性,还可以通过土体本身

含水率经土体毛细孔隙到达一定深度。同时,ESR 能溶于水,可以随雨水渗透到一定的深度,可解决雨水渗入对膨胀土的影响,做到对大气风化作用层影响深度范围内的膨胀土体改良。

同时,在以 ESR 改性剂对膨胀土的改良中,掺配了少量石灰,使水分子离解成 H^+ 、 OH^- ,从而与土粒交换离子,使吸附在土粒上的水化学键破坏形成自由水,使石灰土形成链状和网状结构,加快反应和离子交换速度,水份通过重力、蒸发、压实作用而排出,减弱其膨胀势能,改变膨胀土颗粒结构特性,使土相互吸引形成团粒,导致土体永久性能的改变,增强土的强度。

3 改性试验研究

改性试验范围在公路路段两侧的路堑边坡上,边坡最大高度为 6 m,最低为 1 m,坡率为 1:1.5,全长 120 m,实际改性面积 1 220 m²。据地质勘察资料显示,该土颗粒为高分散、对环境的湿热变化敏感的高塑性黏土。膨胀土矿物成分比较稳定,以黏土矿物为主,总量达 40%~65%;其次为石英,约占 30%~45%;长石 5%~20%。黏土矿物主要以蒙脱石为主,伊利石次之,并含有一定量的高岭石及少量绿泥石:蒙脱石含量为 8%~23%,伊利石为 3.5%~21%,高岭石为 3%~10%,绿泥石为 2%~6.5%。自由膨胀率为 61%,为弱~中膨胀土。

试验中由于土体含水率较大,采用了打眼灌入法施工(在土壤较干燥时,可直接喷洒),分 3 次喷洒施工。施工完成后,在现场进行钻孔取样。为了区分不同深度的改性效果,取深度分别为 0.0~0.3 m, 0.3~0.6 m, 0.6~1.0 m 土样进行相关试验。试验结果分述如下。

3.1 颗粒级配的变化

对改性后的土体表面进行观察,与原状土相比变化较明显,改性后的土体具有砂土的特征。膨胀土改良前后土的电镜扫描照片如图 1 所示。从图中可以明显看出,改良土的结构致密,孔隙明显减少,蒙脱石球状集合体的颗粒变粗,进一步证明了石灰改良土的“团聚”作用,比较直观地说明了改良对膨胀土粒径改变的效果。表 1 所示的颗粒分析试验结果定量地说明了其变化的程度。

由表 1 中颗粒分析结果可知,改性土土体中的砂粒含量增加,黏粒、胶粒含量明显减少,表明土体的比表面积减少,土粒分散程度得到降低,土粒相互聚集成结构较为紧密的絮凝结构,土颗粒与水分的接触面积减少。

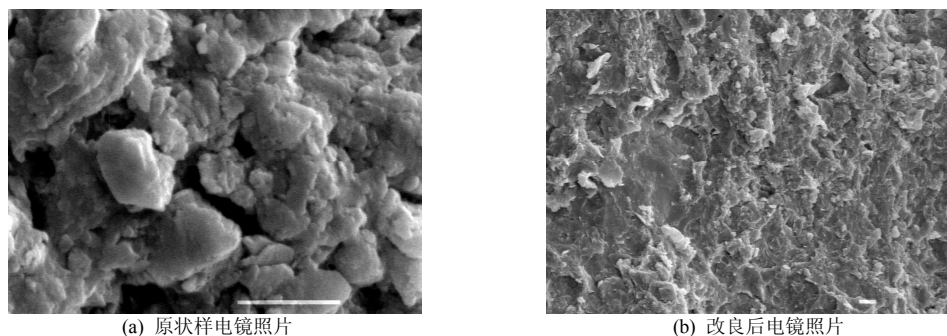


图 1 改良前后黏土矿物微观结构电镜扫描照片

Fig.1 Scanning electron microscope photos on microstructure of the clay mineral before and after improved test

表 1 改性试验前后土体的物理指标对比结果

Table 1 Comparison results of physical indexes of expansive soil before and after improved test

土样名称	深度 /m	液限 w_L /%	塑限 w_p /%	塑性指数 I_p	不同粒径 (mm) 的颗粒组成/%					
					0.5~0.25	0.25~0.075	0.075~0.05	0.05~0.005	0.005~0.002	<0.002
原状土	/	68.9	21.7	47.2	1.2	3.5	1.9	57.8	15.8	19.8
改性土	0.0~0.3	56.5	28.0	28.5						
改性土	0.3~0.6	58.5	27.2	31.3		3.3	13.3	61.7	9.8	11.9
改性土	0.6~1.0	62.1	25.1	37.0						

3.2 改性后土体的物理力学指标变化

改性后土体的物理力学指标变化如表 1~3 所示。由表 1 可知,ESR 改性土的可塑性发生了变化,液限减小,塑限有较大程度增加,塑性指数明显降低。随着深度的增加,塑性指数降低程度为 30%~10%,这表明改性土亲水性大大减弱。

由表 2、表 3 的结果可以看出,改性土各项强度指标大幅度提高,内摩擦角 φ 值提高明显,凝聚力 c 值和无侧限抗压强度为原状土的 1.3~1.8 倍左右,这说明改性后土的工程性质得到了很大程度的改善。但随着改性土埋深的增加,其各项强度指标在逐渐减小,这说明深部土体没有得到充分的改性,从表 4 所示的改性效果可明显地看出,改性深度在 0.5~0.8 m 左右,超过 1 m 后,改性效果不理想。

表 2 试验前后重型击实试验结果

Table 2 Result of heavy compaction test before and after test

土样名称	深度 /m	击实试验	
		最优含水率/%	最大干密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$
原状土	/	16.1	1.848
改性土	0.0~0.3	17.1	1.803
改性土	0.3~0.6	16.8	1.815
改性土	0.6~1.0	16.3	1.835

表 3 试验前后土体力学性质指标

Table 3 Mechanical indexes of expansive soil before and after improved test

土样名称	深度 /m	剪切试验		无侧限抗压强度 平均值/kPa
		凝聚力 c /kPa	内摩擦角 φ /(°)	
原状土	/	105.8	24.1	1 120
改性土	0.1~0.3	193.5	26.3	2 050
改性土	0.4~0.8	162.1	25.8	1 730
改性土	0.8~1.1	151.0	24.9	1 300

表 4 渗透影响深度试验结果

Table 4 Result of the depth and permeability

指标	改性前	改性后取样深度/m					
		0	0.2	0.5	0.8	1.0	1.5
液限 w_L /%	68.9	55.8	56.5	58.5	60.5	62.1	68.2
塑限 w_p /%	21.7	28.5	28.0	27.2	26.7	25.1	21.8
塑性指数 I_p	47.2	27.3	28.5	31.3	33.8	37.0	46.4

3.3 改性后土体的膨胀特性

由表 5 所示的试验结果,不同深度的 3 个改性土样的自由膨胀率分别为 20%, 25%, 35%, 都小于 40%, 膨胀土经改性后均变为非膨胀土。

表 5 试验前后土体膨胀性指标变化情况

Table 5 Changes on expansive indexes of the soil

指标	原状土	改性土取样深度/m		
		0.3	0.6	1.0
自由膨胀率/%	61	20	25	35

3.4 改性后土体的水理特性变化

表 6 为试验前后土体水理特性变化情况对比表。试验结果说明,改性膨胀土能达到较好的水稳性效果,尤其是在地表浅部(0~0.3 m)的改性土能达到长期浸泡而无崩解的效果。

3.5 改性膨胀土的承载力变化

在该边坡膨胀土改性试验工程中,采用 ESR 溶液对其固化,每喷洒一次,用轻型触探仪对改良边坡进行动力触探试验,得出承载力的变化如表 7 所示。试验结果显示,改性后土体的承载力有明显地提高,并随着喷洒次数的增加,改性土体的承载力

逐步增大, 喷洒 1 次的承载力约为改性前的 2.7 倍, 喷洒 2 次为 3.5 倍, 喷洒 3 次则达 4.2 倍以上, 但 3 次与 4 次的变化不大(喷洒 4 次为 4.3 倍), 这说明改性过程中最佳喷洒次数是 3~4 次。使用 ESR 对膨胀土进行改性, 对提高膨胀土地基承载力有明显效果, 经过观察、测试, 地基承载力在短时间内达到一定值后趋于平稳, 水稳性极好。

表 6 试验前后土体水理特性变化情况
Table 6 Changes on the hydrated properties of the soil

土样 名称	深度 / m	溶裂时间及状况	
		初始情况	最终状况
原状土	/	试块浸水后即开始溶裂, 3 min 开始塌落, 30 min 塌落 50 %	24 h 后剩下约十几个大于网眼的小团状土块, 塌落量为 88.9 %
改性土	0.6~1.0	试块浸水后出现大量气泡上浮, 10 min 出现裂缝并逐渐扩大, 1 h 开始慢慢向下掉土屑	24 h 后掉土屑量为 51.1 %
改性土	0.3~0.6	试块浸水后出现微量气泡, 整体无变化。	48 h 无变化, 48 h 之后表面起皮, 随之开始慢慢掉土屑, 48~72 h 之间掉土屑 25.5 %
改性土	0.0~0.3	试块浸水后无任何反应	在 72 h 无崩解的情况下, 继续观察 720 h 无崩解, 无溶裂, 无变形, 整体形状保持完好。

表 7 承载力试验结果
Table 7 Result of bearing strength test

指标	改良前	喷洒次数			
		1	2	3	4
锤击次数	18	42	52	60	62
承载力/kPa	124	340	440	520	540

4 结 论

膨胀土的化学改性是膨胀土工程地基处理研究领域中的重要课题之一。结合边坡工程实际, 采用 ESR 生态试剂进行膨胀土化学改良试验研究, 取得了较好的改性效果。

(1) ESR 生态试剂是一种离子交换剂, 通过离子交换将膨胀土由原来的亲水性改变成憎水性, 能使膨胀土土体永久改变属性, 增强土的强度。改性后的边坡坡面形成一个整体固结网, 水稳性极好, 能保持坡面长久稳定。

(2) 改性后的土体具有砂土的特征, 各项强

度指标大幅度提高, 内摩擦角、凝聚力值和无侧限抗压强度提高明显, 其工程性质得到了很大程度的改善。

(3) 膨胀土经化学改良后改性为非膨胀土, 改性膨胀土能达到较好的水稳性效果, 尤其是在地表浅部的改性土能达到长期浸泡, 而无崩解的效果, 且地基承载力有着明显的提高, 并随着喷洒次数的增加, 其承载力逐步增加较大, 地基承载力在短时间内达到一定值后趋于平稳, 水稳性极好。化学改良最佳喷洒次数为 3~4 次。

(4) 土体改性效果随着改性土埋深的增加而逐渐减小, 改性深度在 0.5~0.8 m 左右。超过 1 m 后, 改性效果不理想。

参 考 文 献

- [1] E A 索洛昌. 膨胀土上建筑物的设计与施工[M]. 徐祖森译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1982.
- [2] 孔令伟, 郭爱国, 赵颖文, 等. 荆门膨胀土的水稳性及其力学效应[J]. 岩土工程学报, 2004, 26(6): 727—732.
- [3] 惠会清, 雷胜友. 膨胀土膨胀机理及其改良(抑制)方法的研究综述[J]. 公路交通科技, 2005, 22(9): 90—102.
- [4] 肖武权, 徐林荣. 膨胀土化学改良法[J]. 铁道建筑, 2001, (5): 30—32.
- [5] 郭爱国, 刘观仕, 孔令伟, 等. 高速公路建设中中膨胀土特性的试验研究[J]. 岩土力学, 2005, 26(3): 397—403.
- [6] GUO Ai-guo, LIU Guan-shi, KONG Ling-wei, et al. Testing study on properties of mid-expansive soil for expressway construction[J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(3): 397—403.