

固化液改良膨胀土性能的试验研究

Experimental investigation on the properties of expansive soil improved by chemical liquid

雷胜友¹, 惠会清²

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 长安大学 理学院, 陕西 西安 710064)

摘要: 笔者合成了一种具有抑制膨胀土膨胀性的固化液, 按不同比例向膨胀土内添加固化液, 并用添加固化液后的膨胀土击实成试样, 根据不同条件对试样进行保湿养护, 随后又对试样进行了浸水试验、浸水后无侧限抗压强度试验、直接快剪试验, 试验结果表明其固化膨胀土的水稳定性比膨胀土的好, 浸水后的强度比膨胀土浸水后的强度高。本文结果具有工程应用价值。

关键词: 膨胀土; 固化液; 水稳定性

中图分类号: TU 443

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2004)05-0612-04

作者简介: 雷胜友(1965-), 男, 陕西澄城人, 1988年毕业于石家庄铁道学院铁路桥梁专业, 1993年毕业于西南交通大学桥梁与地下工程系, 获岩土工程专业硕士学位, 1996年毕业于四川大学水利系, 获岩土工程专业博士学位, 现为副教授, 从事加筋土、膨胀土、土动力学、基础工程方面的研究及教学工作。

LEI Sheng-you, HUI Hui-qing

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. School of Science, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: A kind of chemicals was synthesized by the authors, and it is added in expansive soil with different proportion. These specimen made of expansive soil improved by chemicals are cured and then submerged under water in a container. unconfined compression and direct shear tests are carried out, and the tests indicate that stability and strength of expansive soil improved by chemicals and submerged are better and greater than those of the original expansive soil submerged respectively. The test results are useful to engineering practice.

Key words: expansive soils; chemical liquid; water stable

0 前言*

膨胀土是一类具有吸水显著膨胀软化和失水急剧收缩硬裂的特殊性黏土。在我国的西北、西南、湖北等地区分布有大量的膨胀土, 有很多的铁路、公路穿越膨胀土地区, 由于土体的胀缩变形及其形成的滑坡, 导致了铁路、公路、机场、民用建筑等的破坏, 给国家和人民造成巨大的经济损失。为了减轻膨胀土地区的灾害, 各国学者对膨胀土进行了改性研究, 所得到的膨胀土病害治理方法基本上是向膨胀土内添加石灰、粉煤灰、碎石渣等^[1,2], 这些方法只适合于小范围的治理, 不能适用于膨胀土地区的大面积使用, 尤其是对高边坡高路堤这样的长大土工构筑物, 无论是从处理方法上, 还是从技术成本上讲都不合适, 所以关于膨胀土病害整治方面的研究还不够充分, 整治的方法上还显得单一, 还处于初级阶段, 甚至某些方面还是空白。因此, 开展膨胀土病害整治方法的新途径研究, 无论是在理论上, 还是在工程应用上均具有十分重要的意义。

为此笔者尝试用自己合成的一种化合物液体, 对膨胀土进行改良, 并对改良后的土进行了有关物理力学性质试验, 得到了一系列规律性资料, 以期对膨胀土地区的土木工程建设有指导意义。

1 试验材料、试验方法

试验用土取自陕西安康二级公路枣阳段膨胀土路堑坍塌处^[3], 颜色呈棕色、淡黄色。液限 $w_L = 42.48\%$, 塑限 $w_p = 23.64\%$, 最大干容重 $\gamma_{dmax} = 1.73 \text{ kg/cm}^3$, 最优含水率 $w_{opt} = 19.6\%$, 颗粒级配曲线如图1所示。

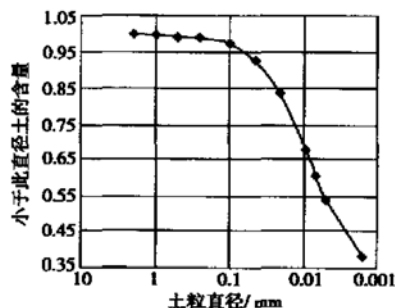


图1 颗粒级配曲线

Fig. 1 Grain size distribution of expansive soil

* 基金项目: 陕西省自然科学基金项目(97C22 2001C01)、地质灾害防治与工程地质环境保护国家专业实验室开放基金项目(99007)及西安公路交通大学青年科技发展项目资助内容
收稿日期: 2003-11-01

所用固化液为笔者自行研制的一种化合物液体,颜色呈棕色,无毒无害,不会造成环境污染。

试样的制备:参照有关资料,分别向已经按最优含水率配好的土内添加固化液,固化液的添加量分别按干土质量的0.4%,0.6%计算。由于固化液添加量很少,先加少量的水稀释,其量用万分之一的分析天平称量,用滴管逐滴均匀地加入土中,并确保固化液不能撒漏在外,使调配好后土的含水率与最优含水率相差无几,土调拌均匀后,为了观察固化液起作用是否有一段,用其中一部分土立即击实制样,另一部土静置不同的时间后再击实制样,其制成的试样尺寸为 $\phi 3.91\text{ cm} \times 8.1\text{ cm}$ (简称1型试样), $\phi 6.24\text{ cm} \times 2.0\text{ cm}$ (简称2型试样),1型试样作无侧限抗压强度试验用,2型试样作直剪试验用。将制好的试样分不同时间分批编号,置于底部盛有水的干燥器内保湿养生。将养生好的试样,进行泡水崩解试验、无侧限抗压强度试验、直剪快剪试验。

泡水崩解试验及强度试验

对于1型试样,为了模拟一维渗水及三维渗水试验,将1型试样又分为套橡皮膜和不套橡皮膜两类。对于套橡皮膜的试样,则一定选用合适的橡皮膜,使橡皮膜能紧贴试样侧面,以保证一维渗水情况;作完泡水崩解试验后,擦干试样表面的水,再用该试样进行无侧限抗压强度试验。

对于2型试样,分为三种试验情况。第一类试验,为了模拟一维渗水试验,将制好的试样与环刀不脱离,并在试样的上下面上盖上铺有滤纸的透水石,将它们一起浸泡在水中,经过一定时间,将试样和透水石小心地压入直剪盒中,进行直剪快剪试验,得抗剪强度曲线,求抗剪强度指标;第二类试验,将试样底面铺塑料纸,顶面铺滤纸,压入直剪仪内,随后连同直剪仪放入水中浸泡,因剪切仪上下盒之间有缝隙,一部分水可以通过试样侧面浸进试样,因模拟三维浸水情况很困难,真正的三维浸水试验不是这样,所以我们这种试验只能称之为准三维浸水试验。

为了便于比较,针对以上情况还分别进行了膨胀土的泡水试验、无侧限抗压强度试验、直剪快剪试验。

2 试验结果分析

水稳定试验部分

将膨胀土泡进水里,土体崩解很快,最后形成一团散泥,强度完全丧失;将固化膨胀土泡进水里,土体崩解很少,其形状基本跟原样一样,用手可以拿起来,揩干后,随即进行无侧限抗压强度试验。

强度试验分析部分

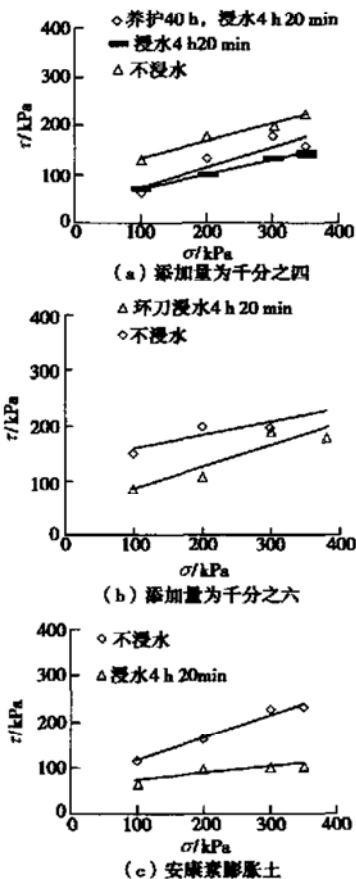


图2 膨胀土及其改良土直剪试验结果

Fig. 2 Results from direct shear tests of original and improved expansive soil

从表1中可以发现当固化剂添加量为0.4%时,土样的无侧限抗压强度皆比素膨胀土的小,因养护时间的不同,其强度的降低程度也不尽相同,其固化土的强度约为膨胀土的(0.86~0.60)倍。

另外从编号为2,3,4,6,9,10,11,14,16,17,20,所对应的无侧限抗压强度可以看出,固化土随着养护时间的增加,其强度在增加,浸水后的强度也表现出类似的规律性,即养护时间越长,浸水后的强度也越大,从另一个侧面也可以看出,养护时间越长,浸水后强度降低得越少。

当不加橡皮膜,试样经过浸泡,然后再经过晾晒,则强度降低很多,若不经晾晒,则强度降低些。

从表2可以看出膨胀土浸水后,黏聚力及内摩擦角分别减少了15 kPa、15.74°,减少的百分数分别为20.3%、61.94%;而当固化液的添加量为干土质量的千分之六时,在不浸水的情况下,黏聚力增大了50 kPa,而内摩擦角减少了8.361°,但与膨胀土的浸水情况相比,则黏聚力虽然减少了,但是内摩擦角却增大了,增大的百分数为45.76%。

当固化液的添加量为干土质量的千分之四时,黏聚力增大了31 kPa,而内摩擦角减少了7.09°,与添加

量为千分之六的情形相比,黏聚力减少了 15.32%,而内摩擦角增大了 7.45%;当浸水 4 h 20 min 后,与不浸水的相比,黏聚力及内摩擦角分别减少了 58.10%, 17.11%,可知内摩擦角减少量很少,与膨胀土的相应浸水情况比,则黏聚力减少了 27.12%,而内摩擦角却增加了 5.516%,与膨胀土的不浸水情况相比,则黏聚力及内摩擦角分别减少了 41.89%, 40.22%。

当固化液的添加量为干土质量的千分之四且保养 40 h,然后浸水 4 h 20 min 时,与不保养的情况相比,黏聚力减少了 11.62%,而内摩擦角却增加了 5.634%,由此可见,经过保养,可以提高土在浸水情况下的内摩擦角;与膨胀土的浸水情况比,则黏聚力减小了 35.59%,而内摩擦角却大幅度增加,增加的百分数为 115.31%,可见保养后可以很大程度上提高固化膨胀土浸水后的内摩擦角。

纵观表 2,可以发现,添加固化液后的膨胀土,经浸水,其内摩擦角均比素土浸水后的内摩擦角大;仅从浸水后内摩擦角的变化情况看,添加量为千分之六的比添加量为千分之四的效果好,从加入固化液后土样经过保养后的情况看,添加量为千分之四的经保养 40 h,再浸水,其内摩擦角比对应素土的提高了 115.31%,而没有经过保养的,其内摩擦角只比对应素土的提高了 30.11%,由此可见,保养的作用是非常明显的。结合工程实践,可以将固化液添加到膨胀土的表层,等静置一段时间后,土体的强度就提高了,如果逢上下雨天,土体有一定的支持强度,这时候土体就不会立刻坍塌,固化液就显示出它的效用。在本次试验中,由于试样的量少,对于浸水、浸水后晾晒和不晾晒试样的含水率没有进行测定,其强度对比值仅考虑相对应情况,在下一步试验中应考虑各自含水率的测定。

表 1 膨胀土及其改良土的无侧限抗压强度对比

Table 1 Unconfined compression strength of expansive soil compared with that of improved one

编号	σ_{1f} / kPa	比较对象	比率	浸水时间	养护时间	土样类型	备注
1	368.0097					素土	不浸水
2	283.3406	与 1 相比	0.7699		24h		不浸水
3	318.1658	与 1 相比	0.8646		48h		不浸水
4	228.0282	与 1 相比	0.6196		120h	A	不浸水
5	184.4882	与 1 相比	0.5013	1h	120h	A	
		与 4 相比	0.8091				
6	288.6417	与 1 相比	0.7843		168h	A	不浸水
7	227.2532	与 1 相比	0.6175	1h	168h	A	
		与 6 相比	0.7873				
8	104.8118	与 1 相比	0.2848	1h	432h	A	不加橡皮膜,不晾晒
9	252.4618	与 1 相比	0.6860		30h	1B	
10	257.5859	与 1 相比	0.6994		54h	1B	
11	271.8497	与 1 相比	0.7387		120h	1B	
12	221.5822	与 1 相比	0.6021		72h	2 批	
13	162.0389	与 1 相比	0.4403	1h	72h	2 批	
		与 12 相比	0.7312				
14	249.5434	与 1 相比	0.6780		120h	2 批	
15	186.8311	与 1 相比	0.5077	1h	120h	2 批	
		与 14 相比	0.7487				
16	272.2825	与 1 相比	0.7399		168h	2 批	
17	185.0666	与 1 相比	0.5028	1h	168h	2 批	
		与 16 相比	0.6797				
18	244.2882	与 1 相比	0.6638		240h	2 批	
19	194.3889	与 1 相比	0.5282	1h	240h	2 批	
		与 18 相比	0.7957				
20	280.5594	与 1 相比	0.7623		1392h	2 批	
21	32.06658	与 1 相比	0.087	1h	360h	2 批	不加橡皮膜,晾晒 20 min
		与 22 相比	0.3639				
22	88.12927	与 1 相比	0.2395	1h	360h	2 批	不加橡皮膜,不晾晒

注:表中固化液的添加量皆为干土质量的 0.4%,A 和 2 批表示添加固化液后立即击土样;1B 和 A 是同时制样,添加固化液后土放置两天,然后再击土样。

表 2 膨胀土及其改良土的强度指标对比分析

Table 2 Comparison between the strength index of expansive soil and that of improved one

编号	土名	C / kPa	ΔC / kPa	$\Delta C/C$ /%	φ / (°)	$\Delta \varphi$ / (°)	$\Delta \varphi/\varphi$ /%	比较对象	试验条件
①	膨胀土	74			25.41				不浸水
②	膨胀土	59	- 15	- 20.27	9.67	- 15.74	- 61.94	与 ①相比	浸水 4 h20 min
③	改良土	124	50	67.56	17.049	- 8.361	- 32.90	与 ①相比	不浸水, 千分之六
④	改良土	30	- 94	- 75.81	24.85	+ 7.801	45.76	与 ③相比	环刀浸水, 千分之六, 浸水 4 h20 min
			- 29	- 49.15		+ 15.18	156.98	与 ②相比	
			- 44	- 59.46		- 0.56	- 2.2	与 ①相比	
⑤	改良土	105	31	41.89	18.32	- 7.09	- 27.90	与 ①相比	不浸水, 千分之四
			- 19	- 15.32		+ 1.271	7.45	与 ③相比	
⑥	改良土	43	- 61	- 58.10	15.186	- 3.134	- 17.11	与 ⑤相比	千分之四, 浸水 4 h20 min
			- 16	- 27.12		+ 5.516	30.11	与 ②相比	
			- 31	- 41.89		- 10.22	- 40.22	与 ①相比	
			13	43.33		- 9.664	- 38.88	与 ④相比	
⑦	改良土	38	- 67	- 63.81	20.82	+ 2.5	13.65	与 ⑤相比	千分之四, 保养 40 h, 浸水 4 h20 min
			- 21	- 35.59		+ 11.15	115.31	与 ②相比	
			- 5	- 11.62		+ 5.634	37.10	与 ⑥相比	
			- 36	- 48.65		- 4.59	- 18.06	与 ①相比	
			8	26.67		- 4.03	- 16.22	与 ④相比	

能较好地应用于工程实践。

3 结 语

从固化液的特性看, 添加固化液后, 能大幅度提高膨胀土的水稳定性, 使固化膨胀土浸水后的强度均高于膨胀土浸水后的强度; 并且随着养护时间的增长, 固化膨胀土的强度明显在增大, 其浸水后的强度也在增大。但随着龄期的增长, 固化液的作用愈加就显示出来, 并有良好效果。本次膨胀土的改性试验仅仅是个开始, 从初步的试验结果看, 已显示出固化液的效果, 试验的成果已初见端倪, 至于怎样能使固化膨胀土的强度不低于膨胀土的强度, 这还需在固化液性质改进、固化液合理添加量等方面做大量探索、尝试工作, 使其

参考文献:

[1] 廖世文. 膨胀土与铁路工程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1987.

[2] 雷胜友, 惠会清. 膨胀土及其改良土的动静力特性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 待刊.

[3] 许 瑛. 膨胀土的加水变形、强度特性及结构变化的细观分析[D]. 西安: 长安大学, 2003. 5

[4] 高国瑞. 近代土力学[M]. 南京: 东南大学出版社, 1990. 2

[5] 密切尔(美). 岩土工程土性分析原理[M]. 南京: 南京工学院出版社.