

文章编号: 1000-7598-(2003)04-0606-04

石灰改性膨胀土工程性质的试验研究

崔 伟¹, 李华璠¹, 穆乃敏²

(1. 山东大学 土建与水利学院, 山东 济南 250061; 2. 山东建筑工程学院, 山东 济南 250014)

摘 要: 通过对济南、淄博地区膨胀土的室内物理力学性质、石灰改性的系列试验分析, 确定了膨胀土的等级、改性后土的胀缩性、强度与剂量的关系及掺入石灰的最佳配比。

关 键 词: 膨胀土; 胀缩性; 含水量; 压缩强度

中图分类号: TU 44 **文献标识码:** A

Experimental research on engineering character of improved expansive soil with lime

CUI Wei¹, LI Huan-luan¹, MU Nai-min²

(1. School of Civil Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China; 2. Shandong Institute of Architecture and Engineering, Jinan 250014, China)

Abstract: Through experimental analysis of improved expansive soil with lime of Jinan, Zibo region, the expansive soil ranks are classified. Meantime, the expansibility of improved expansive soil, the relation between compressive strength and lime dose is pointed out. And the optimal ratio of mixing expansive soil to lime is put forward.

Key words: expansive soil; expansibility; water content; compressive strength

1 概 述

土的胀缩性, 主要是指粘土中亲水性矿物在水的作用下吸水膨胀, 失水收缩的性质。亲水性矿物中以蒙脱石组的胀缩特性最为显著。单个蒙脱石粘土片只有几层, 层间仅靠分子间的相互联接, 结合力很弱, 水分子很容易进入晶胞之间, 使其距离增大。所以, 蒙脱石的晶格是活动的, 吸水后体积会发生膨胀, 脱水后则可收缩。这种胀缩性的反复作用对工程的危害非常大。工程上对弱膨胀土用控制含水量和密度的方法, 可以部分消除其胀缩性; 但对于中强膨胀土, 用上述方法不能达到消除其胀缩性的目的, 必须改性处理。公路施工中用石灰对膨胀土改性是既经济又实用的方法。由于膨胀土成因的复杂性, 因此, 当施工中遇到膨胀土时, 应对其改性后的物理力学性质进行详细的研究。本文按照高等级公路路基施工的技术要求, 从试验的角度研究了膨胀土用石灰改性后的物理力学性质。

2 素土的物理力学指标

试验土样取自济南市吴家堡、鹊山和德州市齐河县焦斌、小周 4 个土场, 分别用 A, B, C, D 来表示 4 个土样。根据公路施工的特点, 对原状土的物性指标和压实土的胀缩性指标进行了室内试验。

由表 1 可判定 4 个土场均为高液限粘土和中性膨胀土的标准 ω 为 26.5 %~31.5 %, ω_L 为 52 %~85.1 %, I_p 为 24 %~51.5 %; 中性膨胀土 <0.002 mm 的粘粒含量为 20.3 %~27.7 %, 自由膨胀率均 >60 %, 其中 C 土样的自由膨胀率达到了 88 %。压实度为 95 % 的重塑土的膨胀力 P_e 为 236~547 kPa, 无荷载膨胀量 V_H 为 10.31 %~11.24 %。其中 B, C, D 3 个土样的物理力学指标比较接近, 故选择该 3 个土样实施改性试验。

膨胀土的改性处理方法中常用的有掺入高分子化学材料、水泥、石灰、粉煤灰、矿渣等, 这些方法中被人普遍认可的方法还是石灰改良法。其优点

表1 素土物理力学指标

Table 1 Physico-mechanical indices of native soil

土 样	A	B	C	D
天然含水量 ω / %	30.7	28.6	26.5	31.5
比重 G_s	2.74	2.75	2.75	2.75
液限 ω_L / %	85.1	55.6	68.5	52.0
塑限 ω_p / %	33.6	28.4	38.9	28.9
塑性指数 I_p	55.1	27.8	29.6	24.0
缩限 ω_s / %	12.3	11.6	11.7	12.3
天然稠度 ω_c	1.06	0.99	1.42	0.96
粘粒 (<0.002 mm) / %	20.3	27.7	26.7	25.0
自由膨胀率 / %	77.0	80.0	88.0	67.0
最大干密度 ρ_{dmax} / g cm^{-3}	1.78	1.79	1.82	1.84
最佳含水量 ω_{OP} / %	18.1	16.0	16.9	15.9
无荷载膨胀量 V_H / %	11.2	11.1	10.3	10.9
50 kPa 膨胀量 V_{HP} / %	4.0	4.5	4.3	4.1
膨胀力 P_e / kPa	547	524	236	511
室内 CBR 值 / %	2.17	2.17	2.10	2.22

在于不但改性效果明显、石灰资源丰富、成本较低、消除胀缩性和提高强度兼得,而且,采用生石灰粉能降低天然土的含水量,达到缩短工期的目的。

3 试验方法

本次所有试验均按照部颁 JTJ051-93《公路土工试验规程》和 JTJ057-94《公路工程无机结合料稳定土试验规程》进行。

土样经过风干碾碎过 5 mm 圆孔筛,石灰为 II 级钙质生石灰粉,预定掺加石灰量为 2%, 4%, 6% 和 8%, 个别增至 10%。采用重型击实法测定其不同石灰剂量时的最大干密度和最佳含水量,再根据不同石灰掺量的最佳含水量采用静压法(压实度为 95%)制备试样,浸润 24 h,进行膨胀力、膨胀量、无侧限抗压试验。对不同石灰掺量的 CBR 值和界限含水量也进行了试验。

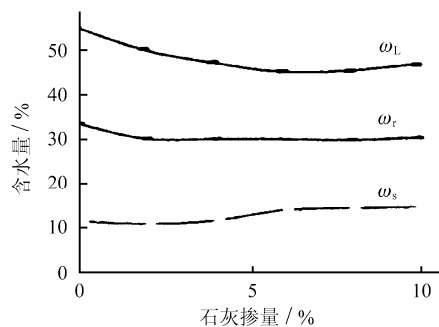
4 试验结果分析

4.1 石灰改性后的膨胀土界限含水量

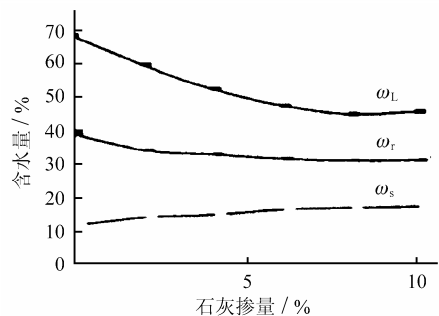
石灰掺入粘土中所形成的离子交换能力与土中粘粒(<0.002 mm)的含量有关,由于粘土颗粒具有很大的比表面积,含量越高,颗粒表面电荷所形成的表面能就越大,相应的离子交换作用进行得更为显著。离子交换的结果使土粒双电层中的扩散层变薄,结合水减少,从而,使粘土粒间的结合力增强。反映在界限含水量中则使土的塑限降低,收缩界限及缩限提高。

图1是根据不同石灰掺量测试的界限含水量变化曲线,可以看出,界限含水量随着石灰掺量的增加具有一定的规律性,石灰掺量在 2%~6% 时,液限含水量逐渐降低,石灰掺量由 6% 增至 8%,液

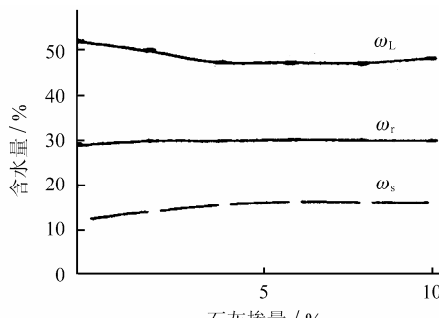
限几乎没有变化,石灰掺量达到 10% 时,液限略有增加,但升幅不大。也就是说,石灰掺量达到 6% 时,液限值降到最低限度,此时由高液限均已降为低液限。缩限具有同样的规律性,当石灰掺量超过 6% 时,缩限含水量提高甚微。因此,掺入 6% 的生石灰粉可作为最佳配比参考值。



(a) B 土样



(b) C 土样



(c) D 土样

图1 石灰掺量与 CBR 关系曲线

Fig. 1 Relationship between limiting water content and lime dose

4.2 用石灰改性后土的膨胀性指标

膨胀土的膨胀量随着石灰剂量增加而降低,如图2。素土在压实度为 95% 时的无荷载膨胀量均 $>10\%$, 在荷载 50 kPa 下的膨胀量也 $>4\%$, 掺入石灰后有明显的改善。当石灰掺量由 2% 到 4% 时,膨胀量急剧下降;石灰掺量由 4% 到 8%, 膨胀量趋于稳定,此时的无荷载膨胀量均 $<0.5\%$, 在荷载 50 kPa 下其膨胀量为负值。因此,石灰掺量的最佳配比应在 4~8% 范围内。

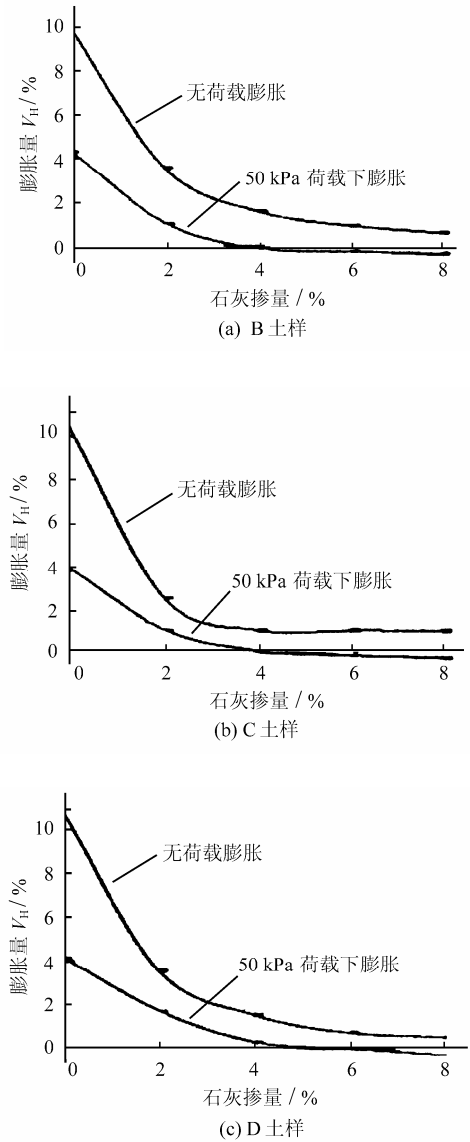


图 2 石灰掺量与膨胀量关系图

Fig. 2 Relationship between lime dose and expansive value

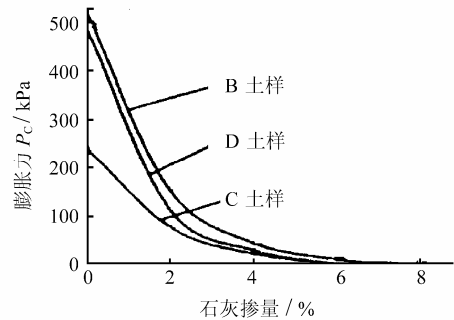


图 3 石灰掺量与膨胀力关系图

Fig. 3 Relationship between lime dose and expansive pressure

图 3 是膨胀力与石灰掺量的关系曲线。可以看出，膨胀力随着石灰掺量增加而降低，其变化规律与膨胀量的变化完全一致。石灰掺量 6 % 时，膨胀力消除 97 %，这时最大的膨胀力为 15 kPa，最小的

为 8 kPa，已满足设计要求。图 4 是改性土的膨胀力、膨胀量与龄期关系曲线。由图显示，在标准养护条件下，龄期越长，膨胀力越小，膨胀量越低。

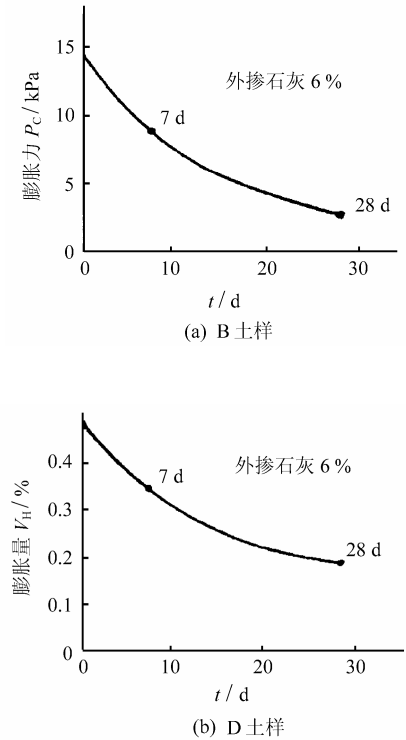


图 4 膨胀量、膨胀力与龄期关系图

Fig. 4 Relationship among expansive value, expansive pressure and lime dose

4.3 石灰改性后膨胀土的强度

承载比 (CBR 值) 和无侧限抗压强度都是衡量材料承载能力的指标。改性土的 CBR 值和不同龄期的无侧限抗压强度见表 2。

表 2 改性土的强度指标

Table 2 Compressive strength parameters of improved soil				
土样 编号	石灰掺量 / %	CBR 值 / %	无侧限抗压强度 / MPa	
			7 d	28 d
B	2	23	0.45	0.65
	4	52	0.73	0.97
	6	92	0.93	1.18
	8	/	1.02	1.33
	10	/	1.02	1.40
C	2	15	0.43	0.76
	4	34	0.68	0.83
	6	62	0.86	1.02
	8	/	0.95	1.14
	10	/	0.96	1.22
D	2	18	0.42	0.57
	4	40	0.72	0.86
	6	71	0.92	1.08
	8	/	1.03	1.23
	10	/	1.06	1.38

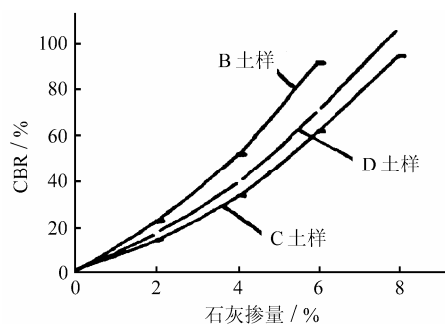
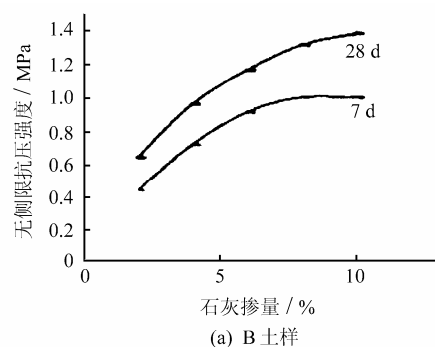
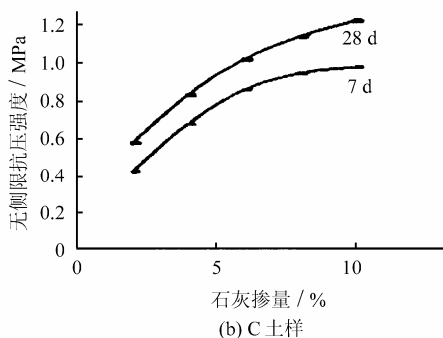


图5 石灰掺量与 CBR 关系曲线

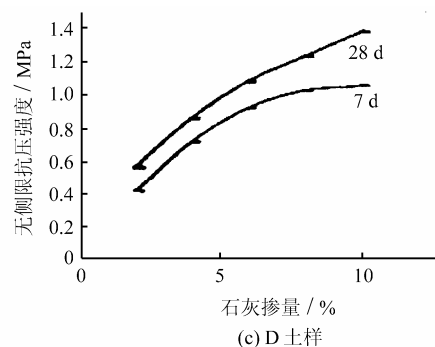
Fig. 5 Relationship between lime dose and CBR



(a) B 土样



(b) C 土样



(c) D 土样

图6 无侧限抗压强度与石灰掺量关系图

Fig. 6 Relationship between unconfined compressive strength and lime dose

图5是 CBR 值与石灰掺量的关系曲线。素土的 CBR 值一般在 2 % 左右, 改性后 CBR 值随石灰掺量增加而迅速提高。石灰掺量只要 >1 %, 改性后膨胀土的 CBR 值就能够满足设计要求。图6是不同龄期抗压强度与石灰掺量的关系。改性土的无侧限抗压强度试验, 是按照稳定细粒土的标准制备试件, 石灰掺量控制在 2 %~10 %, 共 5 组, 在标准养护条件下养护 7 d 和 28 d 进行抗压试验。石灰掺量由 2 % 增加至 6 % 时, 无侧限抗压强度由 0.42 MPa 提高到 0.90 MPa, 此时, 已满足设计要求。当石灰掺量超过 6 % 后, 对其强度提高不大, 石灰掺量由 8 % 增加到 10 % 时, 无侧限抗压强度几乎没有变化。

由此可以看出, 在一定范围内, 抗压强度并不是随掺灰量的增加而增大, 而是与石灰土的龄期有关, 龄期增加则强度提高。

5 结 语

由对济南、淄博地区的膨胀土改性试验可知, 中性膨胀土用石灰改性效果显著, 能够较好地改善膨胀性粘土的胀缩性, 强度也可大幅度提高。通过对试验结果的分析, 得到以下几点认识:

(1) 膨胀土用石灰改性处理后其胀缩性受到较好的抑制, 膨胀量由 >10 % 降至 0.5 % 以下, 在 50 kPa 荷载下的膨胀量 <0, 膨胀力最大不超过 15 kPa。

(2) 石灰处理后膨胀土的界限含水量有良好的改善。液限和塑性指标降低, 由改善前的高液限粘土降至低液限粘土, 收缩界限也有一定幅度的提高。

(3) 膨胀土经石灰改性处理后强度显著提高, 并且随龄期增长而增大。

(4) 根据试验结果综合分析, 石灰剂量的最佳配比为 6 %。

参 考 文 献

- [1] 胡广韬, 杨文远. 工程地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- [2] 唐大雄, 孙懋文. 工程岩土学[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- [3] 杨英华. 土力学[M]. 北京: 地质出版社, 1989.