

黄土地区渠道防渗固化剂初探

韩苏建^{1,2}, 郭敏霞¹, 李宁²

(1. 西安理工大学, 陕西 西安 710048; 2. 西北农林科技大学 水利水电科学研究院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 为了在渠道防渗工程中推广应用新型土壤固化剂, 基于关中黄土引入了几种不同类型的固化剂。从击实、无侧限抗压、渗透、冻融等方面进行了固化土性能试验。结果表明, 黄土在掺用了固化剂后, 最优含水量有所降低, 最大干密度得到提高, 压实性能向好的方面发展。在浸水条件下, 不同类型固化土 28 d 强度有所不同, 从 0 强度到 3.37 MPa 不等; 固化黄土的渗透系数在 $8.59 \times 10^{-6} \sim 1.81 \times 10^{-7}$ cm/s 之间。填加不同固化剂的固化土对抵抗冻融循环的次数不尽相同, 最大可达到 20 次。总之, 将固化土直接用做渠道面层防渗材料, 其耐久性远不如混凝土, 但好的固化土具有的基本性能, 也为其作为复合防渗材料的一部分或在低等级渠道防渗工程中使用提供了可能。

关键词: 土壤固化剂; 渠道防渗; 黄土

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2005)02-0060-03

中图分类号: TV44

Discussion on Soil Stabilizer for Seepage Control of Canal in Loess Area

HAN Su-jian^{1,2}, GUO Min-xia², LI Ning¹

(1. Institute of Geotechnique Engineering, Xi'an University of Technology,

Xi'an 710048, Shaanxi Province, China; 2. College of Water Resources and Architectural Engineering,

Northwest University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi Province, China)

Abstract: Several new-style soil consolidator are introduced according to the loess properties of Guanzhong area in Shaanxi Province. The capacities of the soils mixed with stabilizers were tested, including compaction, unconfined compression strength, seepage and frozen-thawing. The results indicated that their optimal water content decreased; maximum dry density increased; and the compression characteristics had significant effects after the soils were mixed with soil consolidators; the intensities of the soils inundated in water, after 28 days, were separated from 0 ~ 3.37 MPa; the seepage modulus is between $8.59 \times 10^{-6} \sim 1.81 \times 10^{-7}$ cm/s; and the frozen-thawing times were also different, the ultimate up to 20 times. In short, when stabilized soil is directly used as channel face seepage control material, its endurance is worse than concrete, but it is possible to be used as secondary grade seepage control of canal.

Keywords: soil stabilizer; seepage control of canal; loess

我国灌溉渠道 80% 以上为土渠^[1], 未进行渠道防渗处理, 渠道水利用系数为 0.5, 渠道输水损失占总损失量的 1/2, 从而加剧了水资源的紧缺程度。传统的固化剂如水泥固化土、灰固化土等, 在北方黄土地区的渠道防渗工程中, 在防渗效果、防冻、耐久性成本等方面存在着各种不足。本文就几种不同类型的新型固化剂的防渗性能进行研究与分析探讨。

1 土壤固化剂的基本性能

土壤固化剂种类很多, 根据其主要成分, 大致可分为无机类、有机类及生物酶系列。无机类土壤固化剂一般为粉末状, 多采用工业废料如粉煤灰、煤矸石

或水泥、沸石、石灰生料磨细, 添加各种不同的激发素配制后, 按照一定的加工工艺制作而成。工程实践表明, 采用无机材料的固化土性能较为稳定, 通过固化剂与土中水的水解水化反应, 可以生成水化物结晶, 充填土体中的空隙, 使土颗粒胶结密实。水化生成物还可与黏土颗粒产生硬凝作用, 并与空气中 CO₂ 进行碳酸化反应, 因此使固化土具有一定的气硬性和水硬性。正常条件下, 固化土的性能可保持 30 ~ 50 a 基本不变, 在地下工程中受土压力或水压力的影响, 其抗压强度还有缓慢增加的趋势。由于填加了一些工业废料和较易取得的建筑材料, 而且施工简便, 因而不仅可以降低工程造价, 还具有环保和节能意义。

收稿日期: 2004-07-16

资助项目: 863 资助项目 (2002AA2Z4131)

作者简介: 韩苏建 (1964—), 男 (汉族), 江苏泗洪人, 高级工程师, 在读博士, 主要从事材料结构研究工作。电话 (029) 87081756, E-mail: hjan@nwsuaf.edu.cn。

有机类土壤固化剂多为液体状,目前有磺化油类、改性水玻璃类和环氧树脂类,一般采用离子交换的原理作用于土壤。

由于土中大部分水分受土颗粒表面张力影响而滞留在土中,使土难以压实,易膨胀收缩和受冻融影响,离子交换类土壤固化剂通过减弱土壤所含盐类中金属元素的正电位,可以破坏土颗粒与水之间的吸附作用,根据双电层理论,还可以使一部分带有正电荷的吸附水变成自由水使土体易于压实,此类固化剂使用过程中需要严格控制土壤的含水量,有些有机类固化剂需要与水泥配合使用。有机类固化剂的理论寿命约 30 a,但随使用的环境不同变化较大,仍有待时间检验^[2]。

生物酶固化剂是由有机质发酵而成的多酶基产品,通过酶的催化作用,促进土颗粒间的凝聚力。由于含酶固化剂都具有生物降解的特点,因此其固化土

经水浸泡后强度较低,尽管此类固化土的设计使用寿命为 8 a,但其长期强度和稳定性仍有待实际验证。

2 几种新型固化剂防渗与抗冻性对比

选用的新型固化剂有有机和无机 2 大类^[3]:北京、美国产有机液态固化剂代号各为 BJ1,SR;咸阳、天津产无机粉态固化剂代号各为 XY1,TJ1。选用的固化辅助剂为陕西扶风产普硅 32.5R 型水泥。

2.1 试验依据

由于目前国内尚无专门的固化土试验标准,本次试验参照《土工试验方法标准》GB/T 50123—1999;交通部《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTJ 057—94。

2.2 试验用料

土料选用杨凌黄土,土性指标见表 1。固化土混合料配合比见表 2。

表 1 试验土料基本物理性能指标

液限/ %	塑限/ %	塑性指数	按塑性图分类	颗粒组成 mm / %			最优含水量/ %	最大干密度/(kN·m ⁻³)
				>0.05	0.05~0.005	<0.005		
30.5	18.6	11.9	CI	6.5	61.4	32.1	20.5	16.5

表 2 固化土混合料配合比(重量比)及基本性能试验一览表

试验序号	固化剂		固化剂掺量	土掺量	水泥掺量	最优含水量/ %	最大干密度/(kN·m ⁻³)
	名称	类型					
1	BJ(1 200)	液态	15.2	100	8	17.8	17.4
2	SR(1 25)	液态	13.0	100	0	14.5	18.1
3	SR(1 50)	液态	13.9	100	0	15.6	17.9
4	SR(1 50)	液态	14.5	100	9	16.0	17.2
5	XY1	粉态	10.0	100	0	18.0	17.1
6	TJ1	粉态	40.0	100	0	14.2	17.7
7	水泥	粉态	0.0	100	9	16.5	17.2

注:表中粉态固化剂为实际掺量,液态固化剂为()内所表示的水和固化剂溶液的重量。

2.3 压实性能试验

无论是渠道防渗工程还是道路工程中,对黏性土料设计的主要依据和施工质量控制的主要指标之一是土的最优含水量和最大干密度。本次对黄土本身和黄土固化土均在标准击实条件下进行了击实试验,其结果见表 1 和表 2。从表中可见相对于黄土本身来说,采用不同种类的固化剂和同一种固化剂而掺量不同时,经压实后所获得的最优含水量和最大干密度均有所不同,但从试验结果可以肯定的是,黄土在掺入上述固化剂以后,最优含水量有所降低,最大干密度得到提高,压实性能得以向好的方面发展。

2.4 无侧限抗压强度试验

无侧限抗压强度试验分浸水和不浸水 2 种,固化土无侧限抗压强度及渗透性能试验见表 3。

(1) 无论浸水和不浸水条件,7 d 和 28 d 成果相比,随着龄期增长,试件强度均有所提高。(2) 固化土浸水后其强度均有所降低,水稳定系数越高,说明遇水后强度降低的幅度越小,纯 SR 固化剂固化的黄土无法直接在有水的环境中使用。(3) 在有水的条件下,北京产代号为 BJ1 的固化剂固化黄土的强度比其它均高,且比 9% 水泥含量的纯水泥固化黄土的强度要高 1.9 倍。(4) 在不浸水的条件下,以 TJ1 号固化黄土的强度最高,水泥固化黄土次之。(5) 在 SR 固化剂固化土中掺与不掺固化辅助剂水泥,对其水稳定性能有质的影响,不掺水泥的 SR 固化黄土,遇水就产生了崩解。(6) 在黄土中填加 SR 固化剂及固化辅助剂水泥和纯粹填加水泥的固化黄土即 4 号与 7 号相比较,其强度没有太大的变化。

表 3 固化土无侧限抗压强度及渗透性能试验

试验序号	固化剂名称	无侧限抗压强度/MPa		水稳定系数		渗透系数/(cm s^{-1})	冻融次数
		7 d	28 d				
1	BJ1(1 200)	—	3.37	—	—	1.81×10^{-7}	20
2	SR(1 25)	浸水坍塌/1.63	浸水坍塌/2.50	0	0	—	—
3	SR(1 50)	浸水坍塌/1.64	浸水坍塌/2.34	0	0	—	—
4	SR(1 50)	1.42/2.90	1.44/3.90	0.49	0.37	7.25×10^{-7}	1
5	XY1	2.09/2.30	2.50/3.50	0.91	0.71	6.59×10^{-6}	10
6	TJ1	1.80/2.25	3.06/4.19	0.80	0.73	5.32×10^{-6}	10
7	水泥	1.27/2.77	1.78/3.92	0.46	0.45	8.59×10^{-6}	1

注：“/”上为浸水试验结果，其下为不浸水试验结果，水稳定系数为浸水和不浸水状态下抗压强度的比值。

2.5 渗透性能试验

渗透系数试验结果见表 3。从表中可见固化黄土的渗透系数在 $8.59 \times 10^{-6} \sim 1.81 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ 之间，满足一般的抗渗要求，而压实黄土的渗透系数一般在 10^{-5} cm/s 左右。且填加 SR 固化剂及固化辅助剂水泥和纯粹填加水泥的固化黄土相比较，其强度虽没有太大的变化，但渗透系数比纯水泥固化黄土降低了一个数量级，可见 SR 固化剂对其渗透性能的改善有所贡献。

2.6 固化土的冻融试验

该冻融试验是将饱水试件放在温度为 -18°C 的冰柜中，采用慢冻法使试件冷冻 12 h，然后在 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 的水中解冻 12 h，如此为一个循环。其结果用试件的重量损失率来衡量，当试件的重量损失率大于 5%，认为试件发生冻融破坏，表 3 中所列的冻融次数即为试件的重量损失率达 5% 左右时的试验结果，重量损失率用下式计算。

$$\text{重量损失率}(\%) : W_n = (G_0 - G_n) \times 100 / G_0$$

式中： G_0 —— 冷冻前试样的重量(g)； G_n —— 每次冻融循环后试样的重量(g)。

从表 3 的冻融结果可见，填加不同固化剂的固化土对抵抗冻融循环的次数不尽相同，从抗冻角度来衡量，在关中地区的渠道防渗工程首推的应该是北京产的 BJ1 固化剂，而美国产的 SR 系列固化剂则不能用于有抗冻要求的渠道工程。

3 结论及应用前景

综上所述，固化黄土最优含水量在 14.2% ~ 18.0% 之间，最大干密度在 $17.1 \sim 18.1 \text{ kN/m}^3$ 之间，压实性能得以向好的方面发展；纯 SR 固化剂固化的黄土无法直接在有水的环境中使用，其余几种固化黄土在水环境下 28 d 的无侧限抗压强度在 1.44 ~ 3.37 MPa 之间，在无水环境下 28 d 的无侧限抗压强

度在 3.50 ~ 3.92 MPa 之间；固化黄土的渗透系数在 $8.59 \times 10^{-6} \sim 1.81 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ 之间，满足一般的抗渗要求；且填加不同固化剂的固化黄土对抵抗冻融循环的次数不尽相同，但全部低于北方地区对混凝土衬砌最低冻融 50 次的技术要求。

从固化黄土的压实性能、抗压强度、抗渗性能、和水稳定性能来看，选用合适的固化剂，用于渠道防渗基土处理工程较为理想，但其抗冻性能较低，像混凝土一样直接用于北方地区渠道防渗衬砌体，其耐久性远不如混凝土等材料，但本身渗透系数很低，具有很高的水密性，吸水及透水性极低，可以阻隔渠道内渗水、地面降水、地下水毛细管水补给，从而达到改善渠道基土防渗、冻胀特性方面对渠道防渗工程还是非常有意义的，特别是对于一些设计等级低或临时渠道工程无疑是非常现实的。此外，还可以利用这些固化土的一些优点与其它材料如混凝土、沥青混凝土等组成复合结构，提高渠道防渗等级，降低工程造价。这种防渗结构形式对于旧渠改造较为适用，一般旧渠防渗衬砌前原渠断面均需修正，基土必须处理，这样可以就地取材，仅在基土处理层中加入一定量的土壤固化剂，按常规的施工方法施工就可以构成下部防渗抗冻基层，再加上表面保护层，成为防渗、抗冲、抗冻胀、耐久性较好的复合材料衬砌结构，这对我国尚有 80% 输水渠道未进行防渗处理的灌区节水改造工程有很广阔的前景。

[参 考 文 献]

- [1] 李安国. 我国渠道防渗工程技术综述[J]. 防渗技术, 2000(1): 1—5.
- [2] 侯瑜京, 等. 土壤固化技术在堤防加固工程中的应用[J]. 北京: 中国水利水电科学研究院学报, 1999, 3(2): 114—119.
- [3] 固化土性能试验研究[R]. 水利部西北水利科学研究所, 2001.