

文章编号: 1000-7598-(2004) 07-1155-04

江苏徐宿地区粉土的基本特性及加固方法研究

朱志铎, 刘松玉, 孙海军

(东南大学岩土工程研究所, 江苏 南京 210096)

摘 要: 对江苏徐宿地区的粉土进行试验研究, 发现该地区粉土具有弱可塑性、低粘结性、高分散性及强度较小等特征。通过对石灰、石灰+水泥和 SEU-2 型固化剂稳定该地区粉土进行无侧限抗压强度试验及干缩性能试验研究, 认为采用 SEU-2 型固化剂稳定效果较好。

关 键 词: 粉土; SEU-2 型固化剂; 无侧限抗压强度试验; 干缩性能试验

中图分类号: TU 441⁺.1

文献标识码: A

Study of stabilized silt in Xu-Su area

ZHU Zhi-duo, LIU Song-yu, XUN Hai-jun

(Institute of Geotechnical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: The test study on the silt of Xu-Su district in Jiangsu Province has been carried out. The results show that the silt of this area is of weak plasticity, low cohesiveness, high dispersion and low strength. The lime, cement adding lime, and stabilizer SEU-2 have been used to stabilize the silt respectively. The data of unconfined compression strength and dry-shrinkage tests show that the stabilizing effect of the stabilizer SEU-2 is the best one.

Key words: silt; soil stabilizer (SEU-2); unconfined compression strength tests; dry-shrinkage tests

1 概 述

在江苏省高速公路建设过程中, 连徐高速公路、徐宿淮高速公路等均位于废黄河泛滥冲积地区, 该地区沉积物以粉土、粉细砂为主, 并夹有软土, 结构松散、强度低, 是工程建设的不良地基。针对该沉积类型的土, 考虑采用不同的稳定方法进行处理, 以满足路基的使用要求。

稳定土是指采用一定的物理化学方法及其相应的技术措施使土的物理力学性能得到改善以适应工程要求的土。土的稳定方法有多种, 但目前国内外仍以无机结合料稳定为主, 改善土性质的产品主要有石灰、水泥、粉煤灰或这些材料按一定比例拌和的混合物。采用不同的结合料稳定, 其工程效果有着明显的不同。对于路基材料必须有足够的强度和稳定性、具有适宜的刚度和较强的抗冲刷能力, 因此粉土的稳定必须满足上列要求。

针对废黄河泛滥地区粉土的特殊性, 对其稳定方法进行研究, 一方面借鉴以往的研究成果, 采用

传统的无机结合料稳定的方法, 采用水泥取代部分石灰形成水泥石灰稳定土; 另一方面采用 SEU-2 型固化剂的稳定方法, 从力学性能和路用性能的角度出发, 研究粉土作为路基填料的可行性和实用性, 最终选用比较符合工程实际的稳定方法。本文主要研究内容为: 以室内试验为基础, 研究废黄河泛滥地区粉土的工程特性, 采用传统稳定方法和 SEU-2 型固化剂稳定粉土的物理力学性能, 评价其路用性能。

2 粉土的工程特性

粉土系介于粘性土和砂性土之间的一类土, 工程性质比较复杂, 按照《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001) 的规定: 凡粒径大于 0.075 mm 的颗粒含量小于或等于全重 50 %、且塑性指数小于或等于 10 的土为粉土, 粉土粒组成成分中, 0.005~0.05 mm 和 0.05~0.075 mm 的粒组占绝大多数。这类土的特性既不同于粘性土, 又有别于砂土, 水与土颗粒之间的作用明显异于粘性土和砂

土,主要表现为“粉粒”的特征。随着颗粒组成的不同,其工程性质有转折性变化,为了满足工程要求,必须对粉土有关的物理特性、化学组成以及力学特性作充分地了解。

2.1 粉土的组成

2.1.1 粉土的典型构造剖面

废黄河泛滥冲积地区位于黄淮海平原的南缘,基本地貌单元为黄淮冲积平原区,地势上具有西北高、东南低的特点,地面坡降约为万分之二,区域内最大冻土深度 19.0~24.0 cm。废黄河冲积地区沿线地表水系较多,多由西北向东南径流,并大都有人工河闸的控制,除此以外,人工河网、池塘较多,且与天然河流相贯通,地下水从含水介质及地下水存在形式来看,主要为孔隙水,其次为岩溶裂隙水。历史上由于黄河携带大量黄土高原的泥沙进入,后经历全新世海水进退迂回,形成的地层全部被第四纪冲洪积及湖相沉积的地层所覆盖,大部分地区基岩埋藏较深,第四纪沉积物较厚,可达 70~80 m,上部 Q_4^{al} 地层可分为三层,表层以低液限粉(粘)土为主,中部夹淤泥质薄层粘土,下部为低液限粘(粉)土,土层构造在垂直方向和水平方向上,均由粉砂、粉土夹薄层粘土、粘土构成,粉粒含量高,粘土矿物含量低。

2.1.2 粉土的化学成分

以徐宿地区在建的几条高速公路路段粉土为试验样品,测得该地区粉土的化学成分如下:

表 1 粉土的化学成分分析结果 (%)

Table 1 Chemical composition of silt

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	烧失量	有机质
74.64	6.53	10.20	0.54	0.63	0.74	1.44	0.57	0.078	0.027	0.52	4.10

从粉土化学成分比例表中可以看出其特点是,高硅(Si),铝(Al),SiO₂和 Al₂O₃ 占总量的 84.84%,其次为铁(Fe),占总量的 6.53%,钾、钠(K₂O+Na₂O) 占总量 2.01%。

2.1.3 粉土矿物组成

对徐宿地区粉土的矿物组成采用 X 射线—衍射分析方法,其测定的矿物组成结果如下表:

表 2 徐宿地区粉土的矿物组成分析结果 (%)

Table 2 Mineral composition of silt in the district of Xusu

试样	非粘土矿物含量/%						粘土矿物含量/%					其他
	总量	石英	长石	云母	方解石	白云石	角闪石	蒙脱石	伊利石	高岭石	绿泥石	
平均	65	40	7	8	7	3	微量	10.2	5.6	4	5.2	10

粉土的矿物组成分析的结果表明,非粘土矿物含量占整个矿物组成的 75%,主要以石英、长石、云母等原生矿物为主,粘土矿物约占矿物组成的 20%,以蒙脱石、高岭石等次生矿物为主,其余矿物成分占整个矿物组成的 5%。土的物质组成主要是原生矿物砂粉粒,含有较少的次生粘土矿物,其中蒙脱石含量较高,因此,该地区粉土具有弱可塑性、低粘结性、高分散性。

2.1.4 粉土粒度成分分析

徐宿地区粉土的粒度成分分析曲线见图 1。

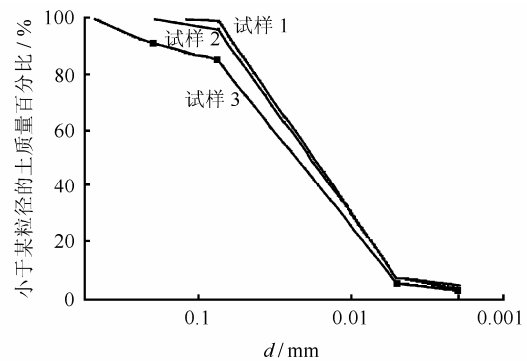


图 1 徐宿地区粉土粒径分布曲线

Fig.1 Granularity of curve of silt in the district of XuSu

粉土粒径分布曲线在整体上呈较陡的形状,其中 0.074~0.002 mm 粉粒平均占 95.7%,其中 75.8% 的颗粒集中在 0.05~0.005 mm 的范围内, $d < 0.002$ mm 的粘粒平均占 4.3%,不均匀系数 C_u 平均为 4.62,因此,该粉土属于以粉粒为主的级配不良土。

2.2 粉土的物理力学性质

在徐宿地区取 9 个代表性土样进行液塑限试验、击实试验、CBR 试验,试验结果见表 3。

表 3 粉土的液塑限试验、击实试验、CBR 试验结果

Table 3 Value of liquid-plastic limit, compaction and CBR test of silt

土样号	W_L / %	W_P / %	I_P	ρ_{dmax}	W_0 / %	CBR / %		
						90	93	95
1	27.2	20.6	6.6	1.82	14.0			2.4
2	24.2	17.4	6.8	1.81	13.5			2.4
3	24.6	17.6	7.0	1.79	13.1			2.5
4	29.6	20.5	9.1	1.79	15.0	4.8		
5	31.0	23.2	7.8	1.71	16.0	1.0	3.8	9.5
6	32.0	24.2	7.8	1.82	13.5	2.4	3.5	4.4
7	29.6	20.5	9.1	1.79	15.0	4.8	7.0	14.3
8	31.0	23.2	7.8	1.71	16.0	1.0	3.8	6.2
9	32.0	24.2	7.8	1.82	13.5	2.4	3.5	4.4
平均值	29.0	21.3	7.8	1.78	14.4	2.7	4.3	5.8

由试验结果可知,土样的平均塑性指数 I_p 为 7.8,为低液限粉土。最佳含水量为 13.1~16.0%,最大干密度为 1.71~1.82 g/cm³。CBR 值在压实度为 90% 时为 1.0~4.8,压实度为 93% 时为 3.5~7.0,压实度为 95% 时为 2.4~14.3。

2.3 粉土作为路基填土存在的主要工程问题

作为路基填土的粉土存在着以下几个主要工程问题:

(1) 由于该地区粉土塑性指数较低,粘结性小,路基成型比较困难,路基压实度难以达到要求;

(2) 该地区粉土强度 (CBR 值) 较低,一般低于路基设计规范中高速公路对路基土的要求,所以,粉土一般不能直接作为路基填土使用;

(3) 粉土的颗粒组成中,绝大部分颗粒集中在 0.074~0.002 mm 的范围内,在最佳含水量时,土中的孔隙率仍高达 9% (一般土为 3%~6%),即使在 98% 的压实度下,仍不能有效阻止毛细作用的进行,路基土极易吸水聚冰冻胀翻浆,从而,导致路面因强度损失而开裂,大大地缩短公路的使用寿命。

3 粉土的稳定方法

3.1 稳定土的无侧限抗压强度试验

针对徐宿地区粉土的特殊性,结合其他细粒土稳定的成功经验,考虑采用水泥取代部分石灰形成水泥石灰稳定土,另外考虑采用 SEU-2 型固化剂的处理方法,并将两者的稳定效果进行对比,以选用比较符合工程要求的稳定方法。

试验拟定掺加 4% 石灰、2% 水泥+2% 石灰和 4% SEU-2 型固化剂 (主要成分为水泥、掺合料、粉煤灰、石灰、膨胀组分等按一定比例混合而成) 进行粉土稳定试验。由表 4 击实、CBR 试验结果知,粉土稳定后 CBR 值明显增大,特别是采用 SEU-2 型固化剂稳定后的 CBR 值分别是石灰土的 5 倍,水泥石灰土的 2 倍,充分显示出 SEU-2 型固化剂稳定的优越性。

表 4 各稳定材料的击实、CBR 试验结果

Table 4 Value of compaction and CBR test of stable material

名称	粉土	4% 石灰土	2% 石灰+2% 水泥 稳定土	4% SEU-2 型 固化剂稳定土
最大干密度 /g·cm ³	1.82	1.77	1.81	1.87
最佳含水量 /%	13.4	15.5	12.9	13.3
CBR 值 /%	2.5	33	81	162

据表中数据分析可知,掺加 4% SEU-2 型固化剂的最佳含水量与粉土最佳含水量相比几乎没有变化,而最大干密度增大;而掺加 4% 石灰土的最佳含水量增大,最大干密度明显减小;掺加 2% 石灰+2% 水泥的最佳含水量和最大干密度则介于两者之间。根据以上击实试验结果进行稳定土的 7、14 及 28 d 无侧限抗压强度试验,试验结果见图 2 所示。

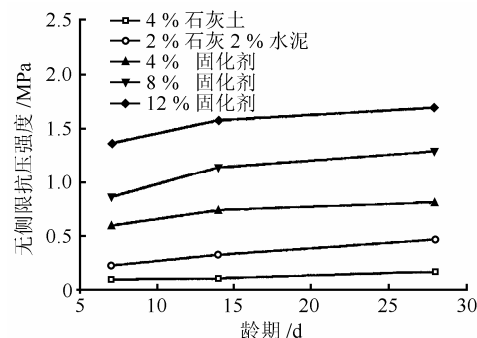


图 2 稳定土无侧限抗压强度随龄期变化图

Fig.2 Change of unconfined compression strength of stable soil with old

从图 2 中可以看出,掺加 4% SEU-2 型固化剂稳定土的强度远远大于单独掺加同剂量石灰和掺加同剂量的水泥石灰土的强度,特别是早期强度,掺加 4% 石灰土 7 天无侧限强度仅有 0.09 MPa,而掺加 4% SEU-2 型固化剂的 7 d 强度则达到 0.92 MPa;一般的稳定土 28 d 饱水后强度为饱水前强度的 67%~80%,以此类推,4% SEU-2 型固化剂用量下稳定土 7 天强度大约为 0.62 MPa,大于规范对二灰土的强度要求 (大于等于 0.5 MPa);掺加稳定材料的稳定土的强度均随着时间的增长而增加,但掺加 SEU-2 型固化剂与掺加石灰的强度增长规律有所不同,掺加 SEU-2 型固化剂的早期强度增长较快,后期强度增长平缓;而石灰土的强度随着时间的变化缓慢增长,水泥石灰土的强度增长则介于两者之间。

3.2 稳定土的干缩性能试验

在粉土路基填筑过程中,当湿度和温度发生变化时,路基表面易产生收缩缝隙,由于裂缝的存在,使得路基成型后,路表的水会通过这些裂缝渗入路基,在车辆荷载反复作用下,最终导致路面反射裂缝的形成,使路面结构产生损坏。因此,必须对不同的稳定粉土进行干缩试验,以掌握其变形规律。稳定土干缩试验结果如图 3。

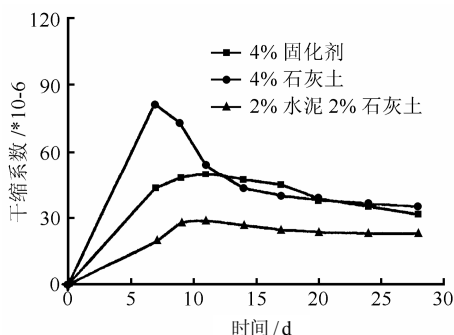


图3 不同稳定土干缩系数随时间变化图

Fig.3 Change of dry shrinkage coefficient of stable soil with old

从图3可以发现,在粉土稳定后的10d左右时间,稳定土的干缩系数变化最大,10d以后稳定土的干缩系数变化趋于平缓;另外,石灰土的干缩系数最大,水泥石灰土的干缩系数最小,4%SEU-2型固化剂则介于两者之间;水泥石灰土和4%SEU-2型固化剂的干缩系数随着时间的增长逐步增大,而石灰土的干缩系数则是在开始的7d内最大,随着时间增长而逐步变小,至15d时降为最大值的50%左右。从图4中可以看出,粉土在用不同材料稳定时,干缩系数随着失水率变化的规律略有不同,对于4%石灰土,随着含水量开始损失,石灰稳定土的干缩系数急剧增加,在失水率约为2%左右时,石灰稳定土的干缩系数达到最大,而后,随着失水量继续增加石灰稳定土的干缩系数逐步减小;对于水泥石灰稳定土,随着含水量开始损失,干缩系数缓慢增加,在失水率约为8%左右时,水泥石灰稳定土的干缩系数达到最大,而

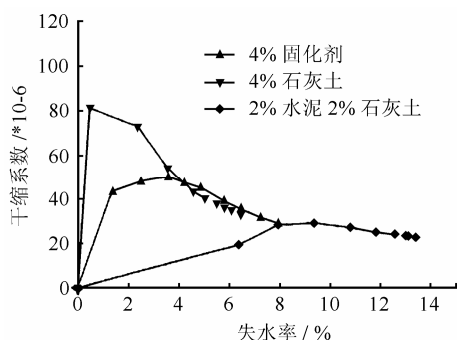


图4 稳定土干缩系数随失水率变化图

Fig.4 Change of dry shrinkage coefficient of stable soil with lost of water

后,随着失水量继续增加干缩系数缓慢减小,总的说来,水泥石灰稳定土的干缩系数变化比较小。对于掺加4%SEU-2型固化剂,在失水率约为4%左右时,干缩系数达到最大,而后,随着失水量继续增加,干缩系数逐步减小。

4 结论

通过本文的工作,可以得到以下几点结论:

(1) 徐宿地区粉土化学成分特点是高硅铝,其次为铁、钾、钠。粉土中非粘土别矿物含量高,粘土矿物含量低,土的物质组成主要是原生矿物砂粉粒,因此,该地区粉土具有弱可塑性、低粘结性、高分散性、CBR强度值较小,属级配不良土。

(2) 对粉土采用不同稳定方法进行试验研究,粉土稳定后CBR值明显增大,其中SEU-2型固化剂稳定土CBR值是石灰土的5倍、水泥石灰土的2倍。掺加SEU-2型固化剂的稳定土7d无侧限抗压强度为0.92 MPa,4%石灰土为0.09 MPa,2%水泥+2%石灰为0.23 MPa。在考虑掺加剂量因素时,掺加SEU-2型固化剂的强度随着掺加剂量的增加而增加。

(3) 稳定土在用不同材料稳定时,干缩系数均随着失水率的变化而变化,但不同稳定土干缩系数达到最大值时所对应的含水量不同,石灰土约为2%左右,石灰水泥土约为8%左右,SEU-2型固化剂约为4%左右干缩系数达到最大值,而后,随着失水量继续增加干缩系数逐步减小,所以,稳定土施工时应加强初期的养护,尽量控制稳定土初期含水量。

注:硕士研究生李迎春参加了该研究的试验工作。

参考文献

- [1] 张登良. 加固土原理[M]. 北京: 人民交通出版社. 1990.
- [2] JTJ051-93, 公路土工试验规程[S].
- [3] JTJ057-94, 公路工程无机结合料稳定材料试验规程[S].
- [4] CJJ/T80-98, 固化类路面基层和底基层技术规程[S].
- [5] 安景峰. 低液限粉土铺筑高等级公路路面底基层的性能和应用研究[硕士学位论文D]. 南京: 东南大学. 2000.