

新型固化材料在软土地区的应用探索

刘海滨

(上海岩土工程勘察设计研究院有限公司, 上海 200438)

【摘要】 土加固技术经过近 100 年的发展, 应用范围广泛, 近 20 年来也出现了许多新型的加固材料。针对上海软土地基特点, 通过对室内试验进行分析、室外原位搅拌桩施工、钻探取芯及芯样试验, 分析了软土固化专用水泥这一新型固化材料的适用性, 并提出一些相应的应用建议, 以促进上海这类软土地基加固技术的进一步应用发展。

【关键词】 软土地基; 土壤固化剂; 无侧限抗压强度试验; 取芯检测

【中图分类号】 TU 472; TU 528

【文献标识码】 A

doi: 10. 3969/j. issn. 1007-2993. 2010. 03. 006

Primary Research on New Soil Stabilizer for Soft Subgrade

Liu Haibin

(Shanghai Geotechnical Investigations & Design Institute Co., Ltd., Shanghai 200438, China)

【Abstract】 In last one hundred years, the research of new soil stabilizers has developed fast. Through analyzing the test results in laboratory and place of soil-cement or soil-stabilizer mixed pile sample, we discuss the feasibility of Soft Subgrade Soil Stabilizer in Shanghai. For the application of this new soil stabilizer, some suggestions are put forward too.

【Key words】 soft subgrade; soil stabilizer; unconfined compressive strength test; core drilling

0 引言

上海市地处长江三角洲入海口东南前缘, 地基土总体而言, 松软土层较厚, 基岩埋深由西南向东北趋深, 市区一般为 200~300 m。

上海地区的软弱地基土具有以下特别明显的特征:

1) 土层强度低, 浅层地基土的天然地基承载力特征值基本在 65 kPa 左右;

2) 含水量高, 浅部第③层淤泥质粉质粘土和第④层淤泥质粘土的含水量基本均在 40%~55% 之间;

3) 地下水位高, 年平均水位埋深 0.5~0.7 m;

4) 渗透系数小, 排水固结条件差。浅部粘性土的渗透系数一般均在 10^{-6} ~ 10^{-7} cm/s 之间。

由于上述地基土特点, 导致在上海地区进行建(构)筑物建设时, 一般均需要采取一定的措施对软弱地基土进行适当的处理, 才能保证建设施工的顺利进行、满足工程安全性及建成以后的使用功能和使用年限的要求。土固化材料^[1]正是为了适应这类工程应用的需要而得到研究发展。

最为人们所熟悉的土固化材料包括水泥、石灰、粉煤灰等无机结合材料。然而这些传统固化材料存

在以下明显缺点^[2-4]:

1) 水泥加固土效果受到土的种类限制, 对塑性指数高的粘土、有机土及盐渍土等土类, 加固效果不理想;

2) 石灰与土形成的加固土强度发展缓慢, 影响施工进度。石灰土的水稳性较差, 对一些固化强度要求较高的工程, 石灰无法满足其要求;

3) 石灰粉煤灰加固土早强性差, 直接影响施工进度及质量, 虽然提高掺加化学添加剂的剂量等可以有效提高其早期强度, 但成本高, 并且由于粉煤灰本身的性质所限, 使得二灰土水稳性较差。

由于上述原因, 广大科技工作者及工程技术人员开始研究更加新型、高效的土体固化材料^[5]。

国外的新型土壤固化剂^[6]的研究大致兴起于上世纪 50 年代, 自上世纪 90 年代, 土体固化技术得到迅速发展, 新材料不断涌现^[7-10]。

而我国对于新型固化材料的研究相对起步较晚, 且多为引进美国、日本、欧洲等国的技术加以生产和推广^[11-12]。

本次试验研究选用的土壤固化材料是由上海某公司生产的软土固化专用水泥, 该材料的应用对象主

要面向上海及周边江浙地区的软土地基。

本文重点研究目的是通过分析室内制样及原位取样的无侧限抗压强度试验结果的基础上,综合检验新型固化材料的强度特性能否达到现行有关设计规范的设计要求,从而确定其替代传统固化材料的有效性。

1 室内制样的无侧限抗压强度试验

根据上海地区一般场地地基土的分布特点,选用三种典型地基土分别与软土固化专用水泥和

P. O32.5 级普硅水泥进行搅拌,加工成加固土并经过适当的养护之后,取不同的养护龄期,分别进行无侧限抗压强度试验和渗透试验。三种典型自然土类型为上海地区浅部通常分布的第②层褐黄色粉质粘土、第③₁层淤泥质粉质粘土及第③₂层砂质粉土。

室内加固土试样无侧限抗压强度的试验结果见表 1 和图 1。

表 1 不同龄期、不同土性试件无侧限抗压强度一览表

试验龄期/d	无侧限抗压强度平均值/kPa						强度比率①/②
	①固化专用水泥			②P. O32.5 水泥			
	褐黄色粉质粘土	淤泥质粉质粘土	砂质粉土	褐黄色粉质粘土	淤泥质粉质粘土	砂质粉土	
3	1450	1021	1975	430	327	372	3.1~5.3
7	2228	1808	2787	691	509	547	3.2~5.1
14	3364	2739	4012	949	752	1098	3.5~3.7
28	4233	3690	5229	1541	1072	1478	2.7~3.5
60	4606	4537	5473	1376	1360	1714	3.2~3.3
90	5013	4023	5715	1590	1172	1540	3.2~3.7

注:1)两种材料的水灰质量比均为 0.45,掺入量质量分数为 13%;
2)褐黄色粉质粘土、淤泥质粉质粘土、砂质粉土的含水量分别为 35%、45%和 35%

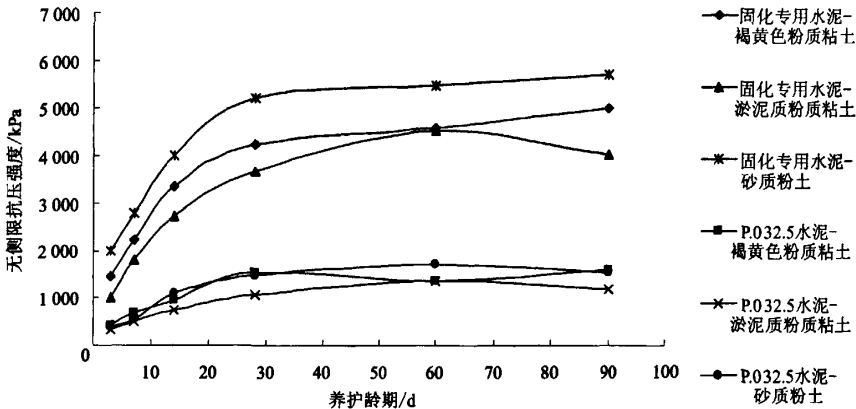


图 1 固化土强度随龄期增长曲线

根据以上试验结果,对于两种胶结材料可以得出以下几点结论:

1)无论是软土固化专用水泥还是 P. O32.5 级普硅水泥,由两种胶结材料通过室内制备成的试件强度均随着养护龄期的增长而增长,强度增长速度在龄期 28 d 后明显变缓。

2)土质的不同对于试件强度有明显的影响,粉性土的无侧限抗压强度较高,而淤泥质土的无侧限抗压强度较低。特别是对于软土固化专用水泥,该

特性尤为明显。

3)由软土固化专用水泥制拌的试件强度明显高于由 P. O32.5 级普通硅酸盐水泥制拌的试件强度,两种胶结材料试件的同龄期无侧限抗压强度比在 2.7 以上,初期强度差异更加明显,这也从侧面说明固化专用水泥的初凝时间相对较短,初期强度增长较快。

4)因此,从强度特性上来说,软土固化专用水泥可以用来替代 P. O32.5 级普通硅酸盐水泥用于土

体加固。

2 原位施工及试验检验

对于一种新型固化材料,如研究工作仅仅局限于室内实验,并不能充分反映材料的真实工程特性。这是因为,实验室内的试样制备是通过人工制拌而成,这一过程和实际的水泥土搅拌桩加固施工过程还是有明显差别的。并且,实验室的研究环境相对于实际工程来说要简单得多,也便于控制的多。因此,在了解了材料的室内试验性能的基础上,又通过进行野外的原位搅拌桩施工以及相应的试验,来对

固化专用水泥加固土的工程特性进行检验。

本次采用的施工方式为搅拌桩方式,这是因为(水泥土)搅拌桩在地基处理、基坑围护等领域均有广泛的应用,且施工工艺相对简单、成熟。

2.1 工程地质条件

为了能够具有充分的代表性,选择的试验场地位于上海市虹口区的凉城地区,地基土类型属于滨海平原地貌类型。

试验场地浅部土层的主要物理力学性质见表 2。

表 2 试验场地浅部地层物理力学性质一览表

土层	平均层厚/m	重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	含水量 $w/\%$	直剪固快(峰值)		标贯击数 N	比贯入阻力 $/\text{MPa}$
				$\varphi/(\text{°})$	c/kPa		
①填土	1.28						
②粉质粘土	1.80	18.5	31.6	22.5	20	3.0	0.97
③淤泥质粉质粘土	4.81	17.5	41.1	15.2	10		0.64
③a 粘质粉土	2.05	18.7	28.6	31.7	3	7.4	1.96
④淤泥质粘土	6.53	16.8	49.3	11	10		0.53

2.2 搅拌桩施工技术要求

施工机械采用市场上应用广泛的 SJB-2 型双轴搅拌桩机,每台搅拌机配置灰浆搅拌机、灰浆泵、电气控制柜、自动流量计各一台及其他辅助设备,施工主要技术要求为:

- 1)胶结材料的水灰质量比均为 0.5~0.55。
- 2)桩体采用两喷三搅施工工艺,即空搅下沉—第一次喷浆提升—重复空搅下沉—第二次喷浆提升—重复空搅下沉—空搅提升—移机。
- 3)钻头提升、下沉速度不宜大于 0.5 m/min,钻头每转一圈提升或下沉量为 1.0~1.5 cm。

4)桩位垂直度控制为 1%。

2.3 钻探取芯及无侧限抗压强度试验

本工程无侧限抗压强度试验的芯样采用 XY-1B 型钻机进行连续取芯施工,现场钻探取芯试样使用 STYE-2000B 型压力试验机进行无侧限抗压强度试验。

通过现场钻探钻取的搅拌桩芯样,对于两个不同的养护龄期(21 d 和 40 d)均进行了无侧限抗压强度试验,总共 31 个芯样的无侧限试验结果汇总表 3。

表 3 无侧限抗压强度试验结果一览表

养护时间/d	胶结材料类型	掺入量质量分数/%	试件平均无侧限抗压强度		
			幅值/MPa	平均值/MPa	标准差
21	软土固化 专用水泥	10	0.62~1.56	1.24	0.35
		13	1.01~1.95	1.46	0.31
40	软土固化 专用水泥	10	0.83~1.71	1.24	0.28
		13	0.88~2.03	1.41	0.42
	32.5 级 普硅水泥	13	0.18~1.94	0.74	0.72

由以上无侧限抗压强度试验结果可以得到以下几点结论:

1)采用固化专用水泥的搅拌桩桩身结构强度明显要高于采用 32.5 级普硅水泥的搅拌桩的强度,其中 10% 掺量的固化专用水泥土搅拌桩强度约为

13% 掺量的普硅水泥土搅拌桩强度的 1.67 倍,13% 掺量的固化专用水泥土搅拌桩强度约为 13% 掺量的普硅水泥土搅拌桩水泥强度的 2 倍。

2)水泥掺入量的增加对于搅拌桩强度有较为明显的影响,其中 13% 固化专用水泥掺入量的搅拌桩

约比10%搅拌桩强度高约15%。

因此,从原位施工、取芯试验的结果来看,认为固化专用水泥可以替代普通硅酸盐水泥在搅拌桩工程中加以利用,并且其强度明显高于同掺量的32.5级普通硅酸盐水泥搅拌桩,总体性能优于普通硅酸盐水泥。

3 存在的问题与分析

1)养护龄期分别为21天和40天,天而掺入量相同的固化专用水泥土搅拌桩芯样的强度并没有明显提高。这一点与常规的经验不符,经初步分析,认为导致这种结果的原因有:

①由于施工试验是在6、7月份进行的,正处于气温比较高的时间段。而搅拌桩深度不大,故早期强度增长很快,并导致后期强度增长不明显。

②从一定程度上反映固化专用水泥土具有强度增长快、早期强度高的特性,这与室内实验的结果是相吻合的。

③通过现场观察,40天龄期时,现场芯样的完整性要好于21天龄期,说明养护期的增长对于搅拌桩的强度增长还是有利的。

2)搅拌桩原位施工的缺陷

①由本文第3节和第4节的试验数据可见,原位搅拌桩芯样的的无侧限抗压强度值不足室内制样试验结果的1/3(在0.24~0.30之间)。这充分反映了原位试验同室内试验的差异性和施工工艺对桩体强度的影响。

②试验得到的40天养护龄期的13%掺入量普通硅水泥土搅拌桩的芯样的无侧限抗压强度仅为0.74 MPa,要明显低于常规经验值(应达到0.95 MPa以上);并且根据上述反映的原位试验和室内试验强度的比值,采用P.O32.5级普通硅水泥的水泥土搅拌桩的28天无侧限抗压强度值将仅在0.5 MPa以下,这也是大量地基处理工程不能达到预期效果的重要原因之一,给工程安全带来较大隐患。

4 结论与建议

综合上述室内试验和原位搅拌桩施工、试验结果的分析,可以初步得出以下结论:

1)软土固化专用水泥可以用于替代普通硅酸盐水泥应用于地基加固和基坑围护工程中。

2)软土固化专用水泥的加固效果要明显好于P.O32.5级普通硅酸盐水泥,10%掺量的软土固化专用水泥土搅拌桩的无侧限抗压强度值即可以达到13%掺量的P.O32.5级普通硅酸盐水泥土搅拌桩强度的1.67倍。

3)原位施工搅拌桩加固土的强度要明显小于室内制样的加固土强度,折减系数大致在0.24~0.3之间。

4)由于原位施工情况的复杂性,在后期应用中,仍应加强对软土固化专用水泥的性能检测,获得更广泛的工程数据,从而更深入、细致地了解该材料的工程特性。

5)根据原位施工发现,现今搅拌桩施工质量较难保证,故建议在今后的工程中,应对搅拌桩施工质量加强检测、控制,保证工程安全。

6)由于双轴水泥土搅拌桩施工工艺的局限性,从有利于对材料性能的研究角度出发,在今后的研究中,建议可考虑采用施工质量更好的其他工艺,如三轴搅拌桩等。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国城镇建设行业标准. CJ/T3073—1998 土壤固化剂[S]. 北京:人民交通出版社,1994.
- [2] 谭文英,汪益敏,陈贞开. 土固化材料的研究现状[J]. 中外公路,2004,24(4):169-172.
- [3] 张 文,童小东. 土体固化剂研究现状及其固化机理[OL].
- [4] 周永祥,阎培渝. 土壤加固技术及其发展[J]. 铁道科学与工程学报,2006,3(4):35-40.
- [5] 张信贵,欧 鸥,易念平. 土壤固化类材料及其应用[J]. 工程设计与建设,2004,36(6):8-11.
- [6] 龚晓南主编. 地基处理技术发展及展望[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004.
- [7] 王 红,汪良旗. 固土材料在我国公路岩土工程中的应用[J]. 采矿技术,2004,4(4):86-87.
- [8] 王银梅,韩文峰,谏文武. 新型高分子固化材料与水泥加固黄土力学性能对比研究[J]. 岩土力学,2004,25(11):1761-1765.
- [9] 汪益敏,张丽娟,苏卫国,等. ISS加固土的试验研究[J]. 公路,2001(7):39-42.
- [10] 杨志宏,张炳宏. 新型材料——奥特赛特(Aught-Set)土壤固化剂的应用技术[J]. 铁道标准设计,2000,20(5).
- [11] 杨 柳,金立勇. 土壤固化技术在抚顺地区的应用[J]. 辽宁省交通高等专科学校学报,2006,8(2):25-26.
- [12] 顾正维,孙炳楠,董邑宁. 粘土的原状土、重塑土和固化土渗透性试验研究[J]. 岩石力学与工程学报,2003,22(3):505-508.