

滩涂淤泥加固处理的试验研究

秦鹏飞^{1,2} 周克^{1,2} 高华东^{1,2}

(1. 北京工业大学岩土工程与地下工程研究所,北京 100124;

2. 北京工业大学城市与工程安全减灾省部共建教育部重点实验室,北京 100124)

【摘要】 唐山曹妃甸工业区是国家正在着力开发建设的重要经济产业区,其滩涂大面积淤泥的固结硬化处理是开发建设中的首要技术难题。现场研究表明,用固化剂将曹妃甸淤泥进行化学加固处理是行之有效的办法。通过室内试验,提出固化剂中熟料、 Na_2SO_4 、 Na_2SiF_6 等配方的最佳配比,并通过无侧限抗压强度试验检验其强度。试验结果表明,此固化剂配方具有极大的优越性,可为现场施工提供科学指导。

【关键词】 土壤固化剂;最佳配比;试验;滩涂淤泥

【中图分类号】 TU 472

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2009.03.010

Stablization Technical Research on Coastal Mud of Cao Feidian

Qin Pengfei^{1,2} Zhou Ke^{1,2} Gao Huadong^{1,2}

(1. Geotechnical Research Institute of Beijing University of Technology, Beijing 100124; 2. The Key Laboratory of Urban Security and Disaster Engineering of Ministry of Education, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

【Abstract】 Cao Feidian Tangshan Industrial District is now being seriously exploited, the stabilization of the generous mud on the surface is the preliminary thorny problem. Reaches indicate that the chemical stabilization is an effective method. By library tests, the preferable prescription of cement, Na_2SO_4 and Na_2SiF_6 is obtained, and the anti-pressure has been checked. Result shows that this prescription is superior, and could provide scientific guide for the construction.

【Key words】 soil hardening agent; preferable prescription; test; coastal mud

0 引言

土体固化剂是指凡是在常温下能够直接胶结土体中的颗粒或能够与粘土矿物反应生成胶凝物质,从而改善和提高土体力学性能的材料^[1]。国外在 20 世纪 40 年代就开始了土体固化技术的研究,并形成了一门综合性的交叉学科^[2];国内 20 世纪 90 年代才开始引进土壤固化技术。近些年来,土体固化剂和土壤固结技术都得到了较好的推广和应用^[3]。

1 曹妃甸工程概况及地基处理方案

唐山曹妃甸工业区位于唐山市南端,距市中心约 80 km,是渤海的浅海滩地。初期规划开发约 300 km²,以曹妃甸工业区为中心,沿海岸向两侧填海延伸,形成人造陆地。曹妃甸“面向大海有深槽,背靠陆地有浅滩”,是渤海湾唯一不需开挖人工航道即可建设大型深水港的港址,而且其腹地是首都钢铁公司(新址)、中堡石油加工基地等大型产业的聚集区。对曹妃甸的开发建设作用重大,意义深远。

该区域表层分布有 0.7~2.8 m 厚度不等的淤泥层,其下依次分布粉土层、粉砂层等。表层淤泥沉

积浅,分布广阔,而且含水率高、孔隙比大,加荷后变形剧烈,为建筑地基的不良土层,必须采取方法进行加固处理^[4]才能满足开发建设的要求。

1.1 传统处理方法的缺陷

曹妃甸工业区北环路是用抛石挤淤进行加固处理的,抛石料成本造价很高。这种抛石挤淤的方法只能逐渐推进施工,越往里挤越困难,而且经过挤淤扰动的水域周围出现了水质污染现象。

曹妃甸工业区首钢京唐钢公司所占据的 12 km² 的人造陆地,是采用吹填粉细砂技术完成的。吹填达到标高的粉细砂层下面含有 1~3 m 不等厚度的淤泥夹层。在这种不稳固的地基上建造厂房等建筑物,需采用打桩措施进行补救。

1.2 化学加固处理的思路和优势

曹妃甸作为首钢新址,将会产生大量的矿渣废弃物。目前首钢已开始小量生产,有废弃工业矿渣产生。针对曹妃甸的具体地质情况,我们选择了化学加固处理措施。即利用首钢生产过程中产生的废弃矿渣为原料,辅以其它配方调制固化剂,将淤泥就

地固结。这样利用了工业废弃物,变废为宝,实现了资源节约与环境友好的统一。化学加固处理适宜于曹妃甸的工程实际情况,具有很大的优势。

1.3 固化剂配方的选取

工业废弃矿渣是一种具有潜在水硬活性的材料,其化学成分主要为 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 和 MgO 等。研究表明,在碱性环境条件下矿渣的活性将被有效地激发出来。其原理是,在碱性环境下,这些活性氧化硅和活性氧化铝与碱盐发生硬凝反应,生成的胶凝物质在固化剂和土壤颗粒之间形成有效的作用力,在较长的时间内能稳定地增加强度,将土壤颗粒牢牢固结^[5]。经过对有关文献^[6-7]的

查阅,本试验选取了 Na_2SiF_6 和 Na_2SO_4 作为碱激发剂,并辅以水泥熟料将工业废渣调制成淤泥固化剂。

2 试验材料

2.1 土样

本试验的原状土取自曹妃甸施工现场。试验前将取来的土放入烘箱,温度控制在 110° 左右烘干,时间为 16h。将烘干后的土样过 2mm 筛除去杂质,将筛余的干土置于干燥地方密封以备。试验时,将烘干土样调制成含水率为 25% 的淤泥。经筛分试验,得到土样中各粒径范围的土粒的分布情况见表 1。

表 1 筛分试验结果

孔径/mm	粒径>2mm	2mm>粒径>0.5mm	0.5mm>粒径>0.25mm	0.25mm>粒径>0.074mm	粒径<0.074mm
土质量/g	13.2	9.2	6.7	138.2	9.3
质量分数/%	167.3/177=94.5			9.3/177=5.3	

2.2 固化剂主配方

本试验所用固化剂主配方为曹妃甸附近钢厂生产的水淬钢渣,比表面积约为 $450\text{ m}^2/\text{kg}$ 。水淬钢渣的化学成分及质量分数见表 2。

表 2 水淬钢渣的化学成分

化学成分	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	其它
质量分数/%	30~50	2~10	30~40	3~15	少量

2.3 固化剂辅配方

①熟料:取自曹妃甸附近的水泥厂,比表面积约为 $450\text{ m}^2/\text{kg}$; ② Na_2SO_4 (硫酸钠):北京化工厂生产; ③ Na_2SiF_6 (氟硅酸钠):北京化工厂生产; ④ CaO (氧化钙):北京化工厂生产。

3 试验指标

3.1 压缩系数

曹妃甸滩涂淤泥沉积层浅,分布广阔,初期开发处理应建设通向海湾的道路、现场指挥办公室等临时设施,因此要求化学加固处理后的淤泥土块能承受一定荷载,且压缩变形不能太大。压缩系数是衡量地基土压缩变形的重要指标,也是本试验所选取的试验指标。

3.2 抗压强度

抗压强度指标用来衡量淤泥试样承受荷载能力的大小。化学加固处理后淤泥土块的抗压强度的高低,反映了固化剂配方的适用性和科学性,因此也是本试验的重要指标。

4 固结压缩正交试验

4.1 试验方案

正交设计是一种科学地安排多因素的试验和有效分析试验结果的好方法,在不影响试验效果的前提下,正交试验设计可以大大减少试验次数^[8]。本试验采用三因素四水平(不同质量百分比)的试验方案,共 16 个试样。正交试验见表 3。

表 3 固结压缩正交试验表 $L_{16}(4^3)$ %

试验号	熟料	Na_2SO_4	Na_2SiF_6
1	0	1	0
2	10	2	0.50
3	20	3	1
4	30	4	1.50
5	0	2	1
6	10	1	1.50
7	20	4	0
8	30	3	0.50
9	0	3	1.50
10	10	4	1
13	0	4	0.50
14	10	3	0
15	20	2	1.50
16	30	1	1

4.2 试验结果

试样制备完成后,在一定湿度环境下养护 14 天。取出做固结压缩试验,测算出各试样的压缩系数见表 4。

表4 各试样的压缩系数

编号	1	2	3	4	5	6	7	8
压缩系数/MPa ⁻¹	0.1	0.12	0.06	0.06	0.14	0.1	0.08	0.11
编号	9	10	11	12	13	14	15	16
压缩系数/MPa ⁻¹	0.09	0.05	0.07	0.17	0.09	0.09	0.11	0.07

4.3 试验结果分析

试验结果分析见表5。其中, K_1 这一行的3个数分别是三个因素的第1水平所在的试验中对应的压缩系数之和。类似地, K_2 这一行的3个数分别是三个因素的第2水平所在的试验中对应的压缩系数之和; K_3 、 K_4 同理。而 k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 每一行的3个数, 分别是 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 中对应各数除以4所得的结果, 即各水平对应的平均值。

同一列中, k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 这4个数中的最大者减去最小者所得的差称为极差。极差越大, 则这个因素的水平改变时对试验指标的影响越大。计算得出的3列极差分别为0.03, 0.07, 0.03。第二列 Na_2SO_4 的极差最大, 应是考虑的主要因素。它的第4水平所对应的压缩系数最小, 所以取它的第4水平最好。同样方法, Na_2SiF_6 和熟料取第3水平。

表5 固结压缩试验结果分析

数据分析	熟料	Na_2SO_4	Na_2SiF_6
水平			
和			
K_1	0.42	0.34	0.44
K_2	0.36	0.54	0.39
K_3	0.32	0.35	0.32
K_4	0.41	0.28	0.36
水平			
均			
值			
$k_1 (=K_1/4)$	0.11	0.09	0.11
$k_2 (=K_2/4)$	0.09	0.14	0.10
$k_3 (=K_3/4)$	0.08	0.09	0.08
$k_4 (=K_4/4)$	0.10	0.07	0.09
极差	0.03	0.07	0.03
最优方案%	20	4	1

5 无侧限抗压强度试验

5.1 试验方案

为了对比, 取三类试样进行无侧限抗压强度试验。分别为最优配比试样、最大配比试样和熟料对比试样。试样中各组分的质量分数见表6。

表6 各配比试样的材料组成

试样类别	方案中各组分占淤泥的质量分数
最佳配比试样	1.4%熟料 + 0.21% Na_2SO_4 + 0.07% Na_2SiF_6 + 5.6%矿渣
最大配比试样	2.1%熟料 + 0.28% Na_2SO_4 + 0.105% Na_2SiF_6 + 4.9%矿渣
熟料对比试样	7%全为熟料

5.2 试验结果

每类试样均做两组试验, 选用的仪器为三轴压缩仪(不加围压)。试验结果见表7。

表7 无侧限抗压强度试验结果

无侧限抗压强度	最佳配比试样	最大配比试样	熟料对比试样
第一组试样的无侧限抗压强度/kPa	>950	>810	>102
第二组试样的无侧限抗压强度/kPa	>650	>567	>232
平均值/kPa	>800	>689	>167

5.3 试验结果分析

1) 最佳配比试样和最大配比试样的无侧限抗压强度明显高于纯熟料试样, 说明矿渣的活性被充分激发, 对淤泥质砂土的固化效果明显;

2) 最佳配比试样的无侧限抗压强度高于最大配比试样, 证明利用固结压缩的正交试验所得到的最优配比是正确的。

6 结论

通过室内固结压缩正交试验, 得到熟料、 Na_2SO_4 、 Na_2SiF_6 等因素的最佳配比, 通过无侧限抗压强度试验检验其强度。结果表明, 此固化剂配方具有极大的优越性, 可为现场施工提供科学指导。

参考文献

- [1] 梁文泉, 何真, 等. 土壤固化剂的性能及固化机理的研究[J]. 武汉水利大学学报, 1995, 28(6): 675-679.
- [2] 苏群, 徐渊博, 张复实. 国际以及国内土壤固化剂的研究现状和前景展望[J]. 黑龙江工程学院学报, 2005, 19(3): 1-4.
- [3] 谭文英, 汪益敏, 陈页开. 土固化材料的研究现状[J]. 中外公路, 2004, 24(4): 169-172.
- [4] 龚晓南. 地基处理手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [5] 郭印. 淤泥质土的固化及力学特性的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- [6] 李立坤, 唐修仁. 碱-矿渣胶凝材料水化机理及动力学特征[J]. 硅酸盐通报, 1994, 13(3): 49-52.
- [7] 张德成, 黄世锋, 吴波, 等. 钢渣矿渣水泥碱性激发剂的研究[J]. 硅酸盐通报, 2004, 23(3): 118-120.
- [8] 陈魁. 试验设计与分析(第2版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.

收稿日期: 2008-11-25