

新型固化剂加固连云港地区 海相软土试验对比分析

谢胜华, 刘松玉, 杜广印

(东南大学岩土工程研究所, 南京 210096)

摘要:为了改善水泥土的力学性能,对某新型固化剂进行了研究,并与普通硅酸盐(325[#])水泥进行了对比分析。分别做了固化剂和 325[#] 水泥,掺入比 $a_w = 12\%$ 、 15% 和 18% ;水灰质量比取 0.6,室内 7 d 龄期的无侧限抗压强度试验,结果表明,该固化剂对水泥土的强度有增强作用,其早强作用尤为显著;在相同的掺入比的情况下,加入固化剂的水泥土的强度是加 325[#] 水泥的水泥土的强度的 2.5~3.0 倍。对于固化剂而言,增加掺入比可以大幅度的提高早期强度,每增加掺入比 2%~3%,可以提高强度 50%左右。因此,该固化剂能有效地提高水泥土的早期强度和标准强度,缩短施工工期,降低工程成本。

关键词: 固化剂; 水泥土; 无侧限抗压强度

作者简介: 谢胜华(1977—),男,安徽怀宁人,东南大学交通学院博士研究生,从事特殊地基处理研究。

0 前言

20 世纪 60 年代以来,固化剂被作为一种新型的工程材料,在国外被广泛加以研究。应用它处理过的土体,具有较高的强度及较小的渗透性,实现了对各种土质的加固。同时也由于它比水泥具有更好的经济效益,所以被广泛应用于实际工程中。美国称之为 20 世纪的伟大发明,日本称之为 21 世纪的新型材料。其适用范围广、性能稳定表现在:适用于各类地基的土壤加固;固化土强度可以调整能满足不同工程要求;加固土早期强度高,有利于加快施工进度;就地取材,减少砂土运量 and 无环境污染等。在美、日、英、韩、德、加、南非等国的大中型工程中,包括铁路、高速公路、机场、水利工程、港口、市政建设等得到大量的应用,固化剂在国外的应用已日趋成熟。国外如美国路邦(ROADBOND)公司的路基强固剂,日本世纪东急工业株式会社土壤安全剂,日本 UKC 公司土壤固化剂,日本住友株式会社土壤固化剂等。目前,开发性能优异的土壤固化剂,是国内外工程界积极探索的方向之一。

土壤固化剂按添加的形式可分为液状土壤固化剂和粉状土壤固化剂。通常固化土的质量指标分为两种:强度指标和耐久性指标。由于固化土无侧限抗压强度比较容易测定,在实际应用时,多

数国家和地区都采用无侧限抗压强度作为检测指标。本文主要对一种日本新型粉土壤固化剂与普通硅酸盐(325[#])水泥土的无侧限抗压强度进行了试验对比研究。

1 固化剂的分类

按照材料的物质组成特点,土体固化剂可分为无机型、离子型、复合型固化剂三大基本类型。

1.1 无机型固化剂

无机型固化剂是一种传统的固化材料,包括水泥、石灰、粉煤灰等,它们可单独使用,也可按一定的比例混合使用。国外用水泥加固土体已有 60 多年的历史,通常把采用普通硅酸盐水泥加固的土称为“水泥土”。多用水泥加固土体,主要是因为它能有效改善土的特性,具有市场充足、现场施工简单以及价廉等特点。黄新^[1]、胡同安^[2]通过试验研究和工程实践证明,水泥土中掺入废石膏,可增强对泥炭、淤泥的加固效果,对于一般软黏土,与单独使用水泥相比,可使加固土强度有较大幅度的提高并且节省水泥用量。童小东等^[3]通过室内试验证明,水泥土中掺入适量氢氧化铝或生石膏,均能够提高水泥土的早、中、后期强度,特别是早期强度;水泥土中掺入熟石灰,对早期强度的发展有抑制作用,对后期强度的提高有促进作用。王文军等^[4]通过室内试验证明,水泥土中掺入适

量性能优异的纳米硅粉,能够显著提高水泥土的强度,特别是早期强度。目前在岩土工程中利用工业废渣进行土体改良非常广泛,粉煤灰配合石灰、水泥是工业废渣中利用最多的一种。粉煤灰具有火山灰活性,可以部分取代石灰、水泥,亦可起到填充料的作用。

1.2 离子型固化剂

离子型固化剂(Ionic Soil Stabilizer,简称ISS)是一种由多个强离子组合而成的化学物质,一般为液体。磺化油产品的离子型固化剂已在发展中国家应用多年,并取得了良好的加固效果。20世纪60年代,离子型固化剂被提出,最初用在修建二级公路上。在过去的20年(特别是过去的10年)间,离子型固化剂被许多国家所接受,主要应用于道路工程中。

适宜加固吸附阴离子的黏土和淤泥。对于无黏性土,如砂土,只有掺入适量的黏土材料才能起到加固作用。CBR PLUS主要用于道路工程,可提高土体强度、水稳定性和加州承载比CBR,具有施工方便、经济性好及环保的特点。CBR PLUS在公路上的使用已有20多年的历史,在96个国家已成功地铺筑了3万多公里的道路,被世界银行采纳为发展中国家铺筑乡村道路的首选方法。

RoadPacker Plus通过离子交换作用加固黏土,使土体密实,含水量降低,永久改变黏土的亲水性。适宜固化线收缩率大于2%、粒径小于0.075 mm的含量大于15%、pH值小于8的土,当线收缩率小于2%时,可掺入一定量的黏土材料。过去的20多年已在许多国家应用于道路工程中,可提高CBR值、密度、强度、压实性,延长道路寿命,降低塑性、收缩性、亲水性、材料用量、维护费用等。

1.3 复合型固化剂

复合型固化剂是指采用两种或两种以上化学物质按一定比例配合,形成一种新型固化材料,改善土的物理力学性质。从形态上看,复合型固化剂包括固态和液态两种;从化学组成上看,有主固化剂和助固化剂两部分。自上世纪90年代以来,复合型固化剂成为国内研究应用的主要产品。

2 新型固化剂固化机理初探

新型固化剂加固土的机理非常复杂,因为土本身的化学成分和黏粒含量就比较复杂。固化剂

加固土的机理可能主要表现在以下两方面:一是固化剂的加入,在土壤颗粒表面发生化学离子交换反应,改变了土体表面的电荷平衡,减少了土壤毛细管、土体孔隙以及表面张力所引起的吸水作用,使土体更有利于压实,提高了固化土的密实度,使其抗压强度提高;二是水泥与土拌和后,水泥矿物与土中的水分发生水解和水化反应下生成硅酸钙和铝酸钙等胶结物,同时从溶液中析出氢氧化钙。而构成黏土的矿物是以 SiO_2 为骨架而合成的板状或针状结晶,通常其表面会带有 Na^+ 和 K^+ 等离子,析出的 Ca^{2+} 会与土中的 Na^+ , K^+ 进行当量吸附交换,其结果使大量的土粒形成较大的土团。由于水泥水化生成物 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,具有强烈的吸附活性,使这些较大的土团粒进一步结合起来形成了水泥土的链条状结构,封闭土团间孔隙,形成稳定的联结。而且,随着水泥水化反应的深入,当溶液中析出的 Ca^{2+} 的数量超出离子交换的需要量后,在碱性的环境中 Ca^{2+} 会与组成黏土矿物的部分 SiO_2 和 Al_2O_3 ,发生化学反应,生成不溶于水的稳定的结晶矿物 $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{HO}$ 系列铝酸石灰水化物和 $\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ 系列硅酸石灰水化物等,提高了固化土的强度。

3 无侧限抗压强度试验过程

3.1 试验材料

(1) 土样

试验所用土样为连云港开发区高速公路工程的海相软黏土(扰动土),天然含水量为87.1%。所需干土的质量约10 kg,则需要现场取得土样约25 kg。

(2) 固化材料

固化剂:NO.1固化剂(日本某新型建材有限公司)以及普通硅酸盐325#水泥。所需固化剂粉末和水泥各约2 000 g。

(3) 试样的掺入比

掺入比 a_w 是指固化剂与湿土重的百分比。结合实际工程,固化剂的水灰比取0.6,与水一起加入试样中。根据试验要求,分别做10%、12%、15%三种掺入比下所需的固化剂质量、干土质量和水的质量。以掺入比10%为例:干土:320.9 g;87.1%含水量:279.1 g;10%固化剂:60 g;水灰比0.6:36;即湿土:600 g;固化剂:60 g;水:36 g。

其他掺入比下所需的掺入物含量见表 1。试验中严格按照表 1 中不同掺入比时所需固化剂、干土质量和水的质量进行控制。做土样时分 2~3 次。

表 1 各种掺入比下所需的掺入物含量表

掺入比	10%	12%	15%
湿土(g)	600	600	600
固化材料(g)	60	72	90
水(g)	36	43.2	54

3.2 试样的制备

试样制备时先将干土和固化剂加到器皿中,用刮刀人工拌和 5~10 min,然后将称量好的水分四到五次加到混合料中,边加水边搅拌,再充分搅拌 10~15 min 即可开始制作试样。将做无侧限抗压强度的模子(7.07 cm×7.07 cm×7.07 cm)洗净晾干,然后在其内壁和制模的底座内壁用刷子均匀涂上一层薄机油,以方便脱模。具体步骤如下:

(1) 模子分为三片,将其按顺序套在底座上,套上套环。

(2) 用外架固定模子。分三次加入拌好的混合料,每次加完料后用振捣器人工振捣,振捣完后用针状物将接合面磨砂,然后再加料。

(3) 排气。由于刚拌好的混合土与黏土一样,气泡排出较为困难。在制作试样过程中尽量排除试样中的气体(泡)很重要。在接合面处理时,要加以注意。划痕的方向也应尽量通向接合缝,便于气体的排出。如果接合面做成凹面,就比较容易形成大面积的气泡,使试样有严重的断层缺陷。为减少这种现象,在试样断面处,沿模子三条接合缝处分别做一段坡度很小的斜面,方向由试样中央向周边倾斜,使试样中间稍微突起,既便于排出气体,又免于形成断层缺陷。

3.3 试样养护方法

试样制备成型 1 d 后放入标准养护室中养护,养护温度为 20℃±3℃,相对湿度为 100%,养护龄期为 7 d。

3.4 试验步骤

由于加固土具有较高的强度,用无侧限抗压强度实验仪加压较为困难,则改用 CBR 仪做无侧限抗压强度实验,即取围压 $\sigma_3 = 0$ 。具体步骤如下:

(1) 将试样两底面涂上一层凡士林,在 CBR 仪上进行。仪器试验时的底座上升速率为 1 mm/min。试验过程中同时测读出试件的竖向变形,试件竖向变形每增加 0.2 mm,测读一次强度值。试验至强度下降或停止增大后再读 2~3 个数终止试验;

(2) 描述试样破坏特征,取下破坏的试样;

(3) 根据其各阶段的变形值,求出各变形阶段的应力值,得其破坏强度 q_u 。

4 试验结果分析

4.1 无侧限抗压强度与掺入比的关系

实验结果见图 1、表 2 和表 3。

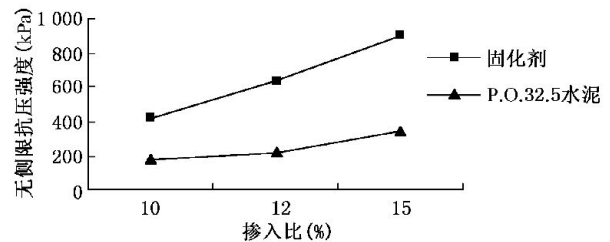


图 1 无侧限抗压强度与掺入比之间关系

表 2 新型固化剂在不同的掺入比下水泥土强度值

掺入比	力峰值(kN)	平均值(kN)	强度(kPa)
10%	2.156	2.094	418.8
	2.000		
	2.125		
12%	3.156	3.177	635.4
	3.094		
	3.281		
15%	4.813	4.510	902.1
	4.563		
	4.156		

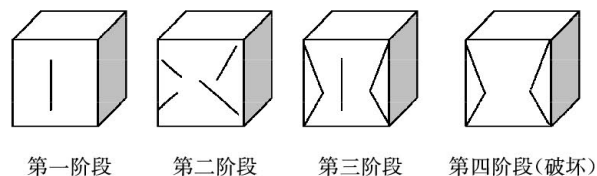
表 3 325# 水泥在不同的掺入比下水泥土强度值

掺入比	力峰值(kN)	平均值(kN)	强度(kPa)
10%	0.938	0.854	170.8
	0.813		
	0.813		
12%	1.031	1.083	216.7
	1.063		
	1.156		
15%	1.688	1.750	350.0
	1.719		
	1.844		

从上图可以看出:在相同的掺入比的情况下,加入固化剂的水泥土的无侧限抗压强度是加P.O.32.5水泥的水泥土的无侧限抗压强度的2.5~3.0倍。对于固化剂而言,增加掺入比可以大幅度的提高早期强度,每增加掺入比2%~3%,可以提高强度50%左右。而对于普通的P.O.32.5水泥来说,每增加掺入比2%~3%,可以提高强度25%左右。

4.2 固化土受压破坏过程描述

固化土在整个无侧限受压过程中,通过加荷-卸荷调压阀控制加荷速率,直到试样发生破坏。其破坏过程大致可以分为以下4个阶段:第一阶段,加荷一段时间后,在试样表面出现微细裂缝,并在两端逐渐发展为八字形裂缝;第二阶段,随着裂缝的开展,裂缝由两端向试样中部发展,裂缝宽度也逐渐加大;第三阶段,由于试样两端承压面处受到约束的影响,而试样中部的横向变形并不受约束,所以试样中间的一些部分出现剥落;第四阶段,当试样四周部分均剥落时,试样呈两个方锥对接状,试样破坏,其破坏形式与混凝土立方体轴心受压破坏情形相似。固化土从开始出现微细裂缝到最终破坏经历的时间非常短,基本上属于脆性破坏。其破坏过程可用下图简单表示。



破坏后典型实物图

图2 固化土破坏过程示意图

5 结 语

通过对新型固化剂加固土的无侧限抗压强度试验研究,可以初步得出以下结论:

(1) 新型固化剂的加入使固化土的无侧限抗压强度明显提高,在获得相同抗压强度下可以节约水泥用量,降低工程施工成本。

(2) 新型固化剂加固土的无侧限抗压强度受固化剂掺入量、成型压力、水泥掺量和龄期影响较大,可根据工程需要和施工工艺调整固化剂配方。

(3) 新型固化剂早期强度高,每增加掺入比2%~3%,可以提高强度50%左右。可以加快施工进度。

然而,这种新型固化剂加固连云港地区海相软土的无侧限抗压强度试验仅做了7 d三组对比试验。今后应加大固化剂和水泥的混合配比以及7 d、28 d和90 d等龄期试验,以获得较为充分的结果。本文仅为阶段性室内试验成果,还有待于进一步的完善和进行现场试验研究。

参 考 文 献

- [1] 黄新,等. 软土固化剂优化设计方法探讨[J]. 工业建筑,2006(1):7~11.
- [2] 胡同安,等. 工业废石与水泥配合加固软土地基[J]. 建筑技术,2001,32(3):161~163.
- [3] 童小东,等. 某添加剂在水泥土搅拌法中的应用[J]. 东南大学学报,2007,16(2):12~16.
- [4] 董邑宁,等. 固化土强度特性试验研究[J]. 科技通报,2003,19(6):477~480.