

水泥土深层搅拌法在软土地基处理中的应用

邸元秀¹, 曹学有²

(1. 中国水利水电第十二工程局施工科学研究所, 浙江 建德 311600; 2. 浙江省建筑科学设计研究院, 浙江 杭州 310012)

摘要 运用水泥搅拌法加固软土地基基本原理, 通过不同水泥掺量的水泥土强度室内配比试验, 对试验结果进行对比分析, 得出水泥土强度与龄期及水泥掺入比的变化关系, 为温州电厂二期工程某厂区工程施工设计提供了合理的水泥掺入比; 同时, 介绍了水泥搅拌桩施工工艺及施工质量控制手段与检测方法。检验结果表明, 温州电厂二期工程某厂区 A 标段和 B 标段使用水泥土深层搅拌法处理地基, 水泥土浆体强度均达到设计要求。

关键词 水泥土; 深层搅拌法; 软土地基加固; 水泥掺入比; 施工工艺; 质量控制

中图分类号 TV223; TU471.8 **文献标识码** B **文章编号** 1006-764X(2008)S1-0090-03

水泥土搅拌法是一种工艺简单、高效低耗、技术可靠及环保的软土地基加固方法。该方法适用于加固饱和黏性土和粉土等地基, 它是利用水泥或石灰等材料作为固化剂, 通过特制的搅拌机械, 就地将软土和固化剂(浆液或粉体)强制搅拌, 经软土与固化剂之间通过一系列缓慢而复杂的物理-化学变化之后, 使软土硬结成具有整体性、水稳定性和一定强度的水泥加固土, 从而提高地基土强度并减小地基变形。

由于水泥土搅拌法将固化剂和原地基软土就地搅拌混合, 因而最大限度地利用了原土, 费用低廉, 且施工时无振动、无噪音、无环境污染, 对周围原建筑物影响小, 是一种适用于铁路、公路、市政工程、港口码头、工民建、水利堤防等软土地基加固的有效方法。

水泥土搅拌法分为深层搅拌法(简称湿法)和粉体喷搅法(简称干法)。湿法采用水泥浆等浆液材料作为固化剂, 适用于处理正常固结的淤泥与淤泥质土、饱和黄土、素填土、黏性土以及无流动地下水的饱和松散砂土等地基^[1], 本工程中拟采用湿法施工。

1 水泥土室内配比试验

温州电厂二期工程某厂区 A 标段和 B 标段拟使用水泥土深层搅拌法处理软土地基。设计前进行了拟处理土的室内配合比试验, 针对现场拟处理的最弱层软土的性质, 选择石膏作为固化剂, 木质素磺酸钙为外掺剂, 为了取得比较可靠的施工设计参数, 在试验中采用强度等级相同但品牌不同的水泥, 按

不同的掺入比(掺入水泥质量与自然软土质量之比)对 A 标段和 B 标段 4 m 以下土体进行了各龄期立方体抗压强度对比试验。

1.1 水泥的选用及土体性能

a. 水泥。水泥宜选用强度等级为 32.5 级及以上的普通硅酸盐水泥^[1], 此次试验 A 标段选用“嘉兴三塔”牌普通硅酸盐水泥, 强度等级为 32.5 级, 强度富余系数为 1.18; B 标段选用“斯米克虎溪”牌普通硅酸盐水泥, 强度等级为 32.5 级, 强度富余系数为 1.10。两种品牌的水泥经检测其性能指标均符合标准要求。

b. 天然土。厂区地面 4 m 以下土体为淤泥质土, 土体状态呈软塑, 含水率在 32% ~ 36% 之间。试验采集土样在工程不同部位取样对比, 为了保证施工参数的合理确定, 选用密度较小的土样作为设计依据。

1.2 水泥浆体配料及设计强度

水泥浆体配料为: 水泥、水、石膏、木质素磺酸钙。水泥浆体配比为: 水泥: 水: 石膏: 木质素磺酸钙 = 1: 0.50: 0.02: 0.002 5(湿法的水泥浆水灰比宜选用 0.45 ~ 0.55^[1], 太小不利于泵送, 太大则影响工程质量)。不同水泥掺入比的浆体配合比见表 1。

水泥土浆体设计强度要求: $R_{28} \geq 1.0 \text{ MPa}$ 。

1.3 试件的制作和养护

试件采用人工拌制, 将淤泥质土和水泥放在搅拌机内搅拌均匀, 然后用喷水设备将水均匀喷洒在

表 1 水泥土浆体配合比

水泥掺入 比/%	浆体配合比/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)				
	自然土	水泥	石膏	木质素磺酸钙	水
10	1807	180.7	3.614	0.452	90.4
11	1807	198.8	3.975	0.497	99.4
12	1807	216.8	4.337	0.542	108.4
13	1807	234.9	4.698	0.587	117.5
14	1807	253.0	5.060	0.633	126.5
15	1807	271.0	5.421	0.678	135.5

水泥土料中并进行拌和,拌制均匀后装入试模。将制作好的试件放在标准养护室养护(温度控制在 $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$,湿度大于90%)。养护方法对水泥土的强度影响主要表现在养护环境的湿度和温度,国内外试验资料都表明,养护方法对短龄期水泥土强度的影响很大,随着时间的增长,不同养护方法下的水泥土抗压强度趋于一致,说明养护方法对水泥土后期强度的影响较小^[2]。

1.4 试验结果与分析

取用不同水泥掺入比情况下,A标段和B标段水泥土各龄期强度试验结果见表2。

表 2 水泥土强度测试结果

标段	水泥掺入 比/%	立方体抗压强度/MPa			
		7 d	14 d	28 d	90 d
A 标段	10	0.687	0.833	1.080	1.296
	11	0.872	1.096	1.276	1.458
	12	0.870	1.098	1.322	1.559
	13	0.873	1.097	1.387	1.759
	14	0.988	1.208	1.558	1.756
	15	0.987	1.209	1.591	1.827
B 标段	10	0.593	0.702	0.912	1.176
	11	0.680	0.757	0.980	1.187
	12	0.890	0.970	1.222	1.285
	13	0.910	0.991	1.344	1.478
	14	1.056	1.247	1.520	1.732
	15	1.055	1.318	1.577	1.738

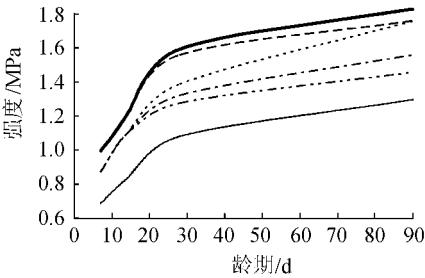
1.4.1 强度与龄期及水泥掺入比变化关系

从龄期-强度-水泥掺入比变化趋势线分析(A标段和B标段分别见图1(a)及(b)),在水泥掺入比相同的条件下,水泥土强度随龄期的增加呈上升趋势,且到一定的龄期后(90 d)趋于稳定;在浆体配合比、龄期及养护条件相同的情况下,水泥土强度随水泥掺入比的增大而增大。

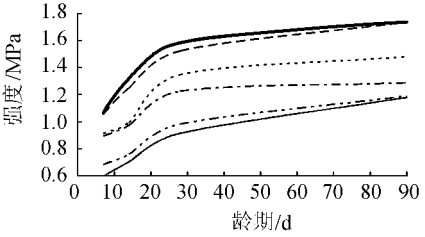
1.4.2 施工设计参数的确定

水泥土搅拌法的水泥掺量除块状加固时可用被加固湿土质量的7%~12%,其余宜为12%~20%^[1]。由于A标段和B标段所选用的水泥品质不同,所以在相同水泥掺入比及同龄期条件下,其强度也略有不同,在试验成果的基础上,综合水泥和土体性能、质量安全度及经济效益考虑,对于A标段

— 水泥掺入比10% 水泥掺入比13%
- - - 水泥掺入比11% - - - 水泥掺入比14%
- - - 水泥掺入比12% — 水泥掺入比15%



(a) A 标段



(b) B 标段

图 1 龄期—强度—水泥掺入比关系

和B标段来说,分别用12%和13%的水泥掺入比对该工程厂区软土地基的加固效果可以满足施工设计要求。

2 水泥搅拌桩施工工艺

a. 试桩。为了使施工顺利进行,在施工设备进入现场后应进行现场试桩试验,以获取适应工地现场土质条件的施工参数。

b. 搅拌机就位、调平。施工前平整场地,按照设计轴线准确安装深层水泥搅拌桩机,钻头对准设计桩位,并保证其水平、稳固、定位可靠、移动方便。

c. 制浆。先将一定量的水放入强制式搅拌机,再按0.5水灰比将一定量的水泥加入,搅拌均匀。

d. 钻进。启动钻机,被加固的土体在原位受到搅动,如遇钻进困难可适当注水,钻机钻到搅拌桩底设计标高时停止钻进。

e. 提升喷浆。启动泥浆泵和泥浆发送器,边反转提升、边喷浆。中心管喷浆式搅拌机在预搅下沉时不喷浆,准备提升时开始喷浆,提升至井口时停止喷浆,并复搅下沉到位后再喷浆提升至孔口,为两次成桩;叶片喷浆式搅拌机开始下沉时即进行喷浆,直至设计标高,再提升到孔口,为一次成桩,中途不得停止喷浆。不管何种喷浆形式,提升时均应力求匀速,并将提升速度控制在0.2~1.0 m/min范围内。

f. 复搅。重复钻进搅拌,提升喷浆。复搅完成后,搅拌头在设计标高土层仍应持续搅拌30 s,以表层土料微微泛浆为准。

水泥搅拌土成桩后与天然地基形成复合地基 , 共同承担建筑物的荷载。

3 水泥搅拌桩施工质量控制与检测

3.1 质量控制

所用水泥要过筛 ,水泥和外掺剂用量以及泵送浆液的时间等应有专人记录 ;在施工中严格控制浆液水灰比、单桩每米注浆量、总注浆量、桩身垂直度指标、施工定位允许误差及桩机移位距等影响桩质量的关键因素。

桩体压浆要求一气呵成 ,不得中断 ,每根桩宜装浆 1 次并喷搅完成 ,且要连续施工 ,相邻两桩施工间隔不得超过 12 h ,如超过则应在中间进行补桩。

水泥土搅拌桩的质量控制应贯穿在施工全过程中 ,做好全过程的施工监理 ,随时检查施工记录和计量记录。

3.2 质量检测

a. 浅部开挖外观检查。成桩 7 d 后 ,分别在 4 个部位进行顶部开挖检查 ,顶部开挖要求剔除桩头施工泛浆硬结层 ,露出清晰的水泥土桩 ,检查成桩直径、搅拌均匀程度等。

b. 力学指标检测。根据设计规定在施工 28 d 后随机在不同部位 ,用双管单动取样器钻取芯样作抗压强度检验 ,检验结果表明搅拌桩施工质量达到了设计要求(检验结果见表 3)。

由于试验设备等因素的限制 ,尽管取芯可达深层 ,但由于桩体的不均匀性 ,而水泥土强度很低 ,因

(上接第 53 页)

反演时 ,坝体和基础的弹性模量上、下限分别为 (36.0 ,1.0)GPa 和 (90.0 ,10.0)GPa。反演计算结果如表 1 所示。由反演结果可知 ,CSV-PSO 方法是一种性能良好的反分析方法。

表 1 反演计算结果

算法	E_1 /GPa	E_2 /GPa	E_3 /GPa	时间/s
PSO	21.695	27.821	18.872	5
CSV-PSO	21.872	27.961	18.912	3

4 结 语

粒子群优化是一种模拟鸟群捕食行为的集群智能方法 ,是解决复杂连续函数优化问题的理想方法。笔者从提高收敛速度、收敛精度和克服陷入局部最优等方面对基本粒子群算法进行了改进 ,提出了 CSV-PSO 算法 ,算例证明该算法是进行反演研究的

表 3 桩身强度检验结果

标段	水泥掺入比/%	水泥土浆体强度 R_{28} /MPa	
		设计值	实测值
A	12	≥ 1.0	1.327
B	13	≥ 1.0	1.349

此取样过程中很容易发生破碎无效现象 ,使得试验结果很难保证随机而真实 ,经常会出现强度不够、桩体样品破碎无效而不作为处理依据的情况 ,因此建议在水泥土强度和均匀性检测方面有更合理可靠的方法。

4 结 语

近年来 ,随着施工技术和施工条件的发展 ,深层搅拌水泥土桩的应用范围越来越广泛 ,在土类地基加固工程中有着广阔的前景 ,它除了作为一种复合地基使用之外 ,更多是作为一种经济型的基坑围护结构得到推广 ,在施工过程中一定要密切结合工程实际 ,正确选择固化剂的种类和固化剂在土体中的掺入比 ,并通过严格的生产性试验合理确定搅拌法的施工工艺及其技术参数 ,才能有效地保证工程施工质量。

参考文献 :

[1] JGJ 79—2002 ,建筑地基处理技术规范 [S] .
[2] 李彰明 . 软土地基加固的理论、设计与施工 [M] . 北京 : 中国电力出版社 , 2006 .
(收稿日期 2008-03-12 编辑 : 高建群)

一种好方法。

笔者提出的 CSV-PSO 算法仅是一种初步研究成果 ,也仅用一个简单算例对其进行了验证 ,更加复杂的工程应用将是本方法下一步应做的工作。

参考文献 :

[1] 杨林德 ,朱合华 ,冯紫良 ,等 . 岩土工程问题的反演理论与工程实践 [M] . 北京 : 科学出版社 , 1996 .
[2] 冯夏庭 ,张治强 ,杨成祥 ,等 . 位移反分析的进化神经网络方法研究 [J] . 岩石力学与工程学报 , 1999 , 18 (5) : 529-533 .
[3] 高玮 ,郑颖人 . 采用快速遗传算法进行岩土工程反分析 [J] . 岩土工程学报 , 2001 , 23 (1) : 120-122 .
[4] 杨维 ,李歧强 . 粒子群优化算法综述 [J] . 中国工程科学 , 2004 , 5 (5) : 87-90 .
[5] 黄岚 ,王康平 ,周春光 ,等 . 粒子群优化算法求解旅行商问题 [J] . 吉林大学学报 : 理学版 , 2003 , 13 (4) : 477-480 .
(收稿日期 2008-01-10 编辑 : 高建群)