

无填料振冲法处理新近吹填粉细砂地基的工程应用

肖黎明, 刘 兴, 徐 阳, 牛国生

(北京振冲工程股份有限公司, 北京 100102)

摘 要:唐山港曹妃甸港区煤码头二期(新近吹填区域)采用无填料振冲施工工艺对粉细砂地基进行处理, 消除了地基液化, 提高了承载力, 减小长期地基变形。在大面积施工前, 采取不同桩间距(2.2、2.5 m)进行试验, 用标准贯入法检测, 分析其地基承载力及液化消除情况, 对大面积施工提供参考数据。

关键词:粉细砂地基; 无填料振冲; 地基承载力; 地基液化

中图分类号: TU472.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2012)02-0056-04

Application of Vibroflotation without Additional Backfill Materials in Treatment on Fine Silt Foundation of Recent Hydraulic Fill/XIAO Li-ming, LIU Xing, XU Yang, NIU Guo-sheng (Beijing Vibroflotation Engineering Co., Ltd., Beijing 100102, China)

Abstract: The fine silt foundation was treated with vibroflotation without additional backfill materials in coal terminal phase II (recent hydraulic fill area) of CaoFeidian port area, Tangshan Port, the ground liquefaction was eliminated, the bearing capacity was improved and long-term foundation deformation was decreased. Before the large-scale construction, the tests were made in different pile spacing (2.2 and 2.5 m), the detection was made by standard penetration method and the bearing capacity of foundation and liquefaction removing situation were analyzed to provide the reference data for large-scale construction.

Key words: fine silt foundation; vibroflotation without additional backfill materials; bearing capacity of foundation; ground liquefaction

1 无填料振冲法加固地基原理

振冲器在加固砂土时, 砂土结构遭到破坏, 出现砂土液化现象, 砂土液化以后, 在上负重力及振动作用下, 砂土颗粒又重新排列, 使砂土孔隙比减少, 相对密度增加, 液化消除、承载力提高。具体分析如下。

在动荷载作用下砂土抗剪强度为:

$$\tau = (\sigma - \Delta\mu) \tan\varphi$$

式中: σ ——砂土所受的正应力; $\Delta\mu$ ——砂土所在位置的超静孔隙水压力; φ ——砂土的内摩擦角。

当振冲器在加固砂土时, $\Delta\mu$ 不断增长, 使 $\Delta\mu$ 趋近 σ , 此时导致砂土抗剪强度为零。砂土结构遭到破坏, 出现砂土液化现象。砂土液化以后, 在上负重力及振动作用下, 砂土颗粒又重新排列, 使砂土孔隙比减少, 相对密度增加, 承载力提高。

2 无填料振冲加固法的应用条件

根据《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2002)第七章第一节第 7.1.1 条“不加填料振冲加

密适用于处理粘粒含量不大于 10% 的中砂、粗砂地基。”对于处理粉细砂地基, 无填料振冲法在规范没有进行说明。

在唐山港曹妃甸港区煤码头(二期)(新近吹填区域)粉细砂地基进行处理中采用了无填料振冲施工工艺, 消除了地基液化, 提高了承载力, 减小长期地基变形, 取得了成功的经验。并对采取不同桩距的地基承载力的提高进行了统计, 可为以后类似工程提供借鉴。

3 工程概况

曹妃甸煤码头(二期)为大型专业化煤炭泊位, 位于煤码头起步工程北侧, 码头长度为 1455 m, 拟采用板桩码头或重力式码头结构。专业化煤堆场位于专业化煤炭泊位的西侧, 煤码头起步工程北侧。堆场南北长约 1500 m, 东西宽约 630 m。堆场区及轨道梁区设计要求地基承载力分别达到 150、200 kPa, 消除土层液化, 堆场下变形 < 50 cm、轨道梁下变形 10~20 cm。场地标高约 5.5 m, 地基处理深度

收稿日期: 2011-10-10; 修回日期: 2011-11-09

作者简介: 肖黎明(1979-), 男(汉族), 湖北公安人, 北京振冲工程股份有限公司工程师, 勘察工程专业, 从事基础工程施工技术工作, 北京市朝阳区望京西园 221 号博泰大厦 12 层; 刘兴(1984-), 男(汉族), 湖北广水人, 北京振冲工程股份有限公司助理工程师, 土木工程专业, 从事基础工程施工技术工作, liu000xing@163.com。

为-15 m。本场地第四系松散堆积物在勘探所及深度范围内,主要为全新统中组第 I 海相层(Q_4^1m)和下组第 II 陆相层($Q_4^{II}al$),其地层岩性自上而下依次为粉细砂、粉质粘土、粉土,表部为水力冲填的粉细砂土及粘性土。

4 加固方案选择

由于堆场区地质条件复杂,为了对堆场采用合理、经济的处理方案,勘察单位对场区处理深度范围内(现有地面至标高-15 m 处)大致分为 2 部分。一部分地质情况良好,由粉细砂组成,粉质粘土层几乎没有或很薄。另一部分含粉质粘土层、粉土层在 3~10 m 左右。整个场地普遍存在液化情况。

对于地基处理深度范围内为粉细砂的区域,我们做了无填料振冲试验区 2 个:试验一区(振冲振点间距 2.5 m,40 m×40 m)、试验二区(振冲振点间距 2.2 m,40 m×40 m)。

4.1 试验区工程地质情况

场地标高约 5.5 m,从场地标高往下-15 m 范围内,均为粉细砂组成。试验一区内勘察孔号为 71 号,试验二区内勘察孔号为 42 号,其原始勘察孔剖面图如图 1 所示。

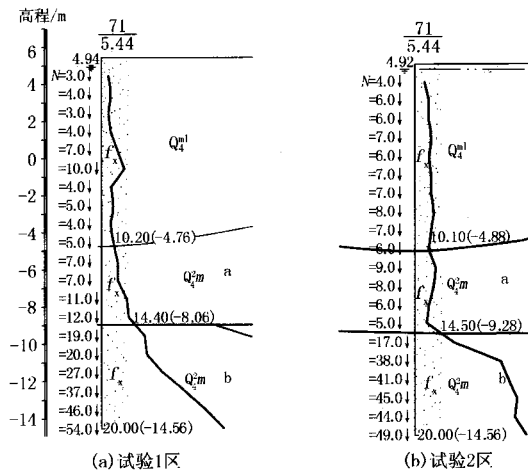


图 1 原始勘察孔剖面图

2 个勘察孔的颗粒组成统计如表 1、2。

4.2 试验施工方案

采用 75 kW 振冲器对场地进行无填料振冲处理,双点共振的振冲方式。振点间距试验一区为 2.5 m,试验二区为 2.2 m,等边三角形布置。施工场地地面标高 5.5 m,处理深度-10.0 m,即实际桩长为 15.5 m。图 2 为施工示意图。

无填料振冲施工技术要求:

- (1)振冲方式:采用双点共振法进行施工;

表 1 71 号勘察孔颗粒组成统计表

序号	取土深度/m	颗粒组成百分比/%			
		>0.5 mm	>0.25 mm	>0.075 mm	>0.05 mm ≤0.05 mm
1	0.8~1.0		5.0	80.0	15.0
2	1.8~2.0		4.0	80.0	16.0
3	2.8~3.0		1.0	82.0	17.0
4	3.8~4.0			84.0	16.0
5	4.8~5.0		3.0	82.0	15.0
6	5.8~6.0		8.0	77.0	15.0
7	6.8~7.0		10.0	74.0	16.0
8	7.8~8.0		4.0	80.0	16.0
9	8.8~9.0		6.0	80.0	14.0
10	9.8~10.0		5.0	80.0	15.0
11	10.8~11.0		3.0	82.0	15.0
12	11.8~12.0		8.0	78.0	14.0
13	12.8~13.0		6.0	79.0	15.0
14	13.8~14.0		4.0	80.0	16.0
15	14.8~15.0		3.0	80.0	17.0
16	15.8~16.0		2.0	80.0	18.0
17	16.8~17.0		2.0	81.0	17.0
18	17.8~18.0		2.0	82.0	16.0
19	18.8~19.0		4.0	80.0	16.0
20	19.8~20.0		5.0	80.0	15.0

表 2 42 号勘察孔颗粒组成统计表

序号	取土深度/m	颗粒组成百分比/%			
		>0.5 mm	>0.25 mm	>0.075 mm	>0.05 mm ≤0.05 mm
1	0.8~1.0			84.0	16.0
2	1.8~2.0			85.0	15.0
3	2.8~3.0		10.0	75.0	15.0
4	3.8~4.0		5.0	80.0	16.0
5	4.8~5.0		4.0	80.0	16.0
6	5.8~6.0		3.0	80.0	17.0
7	6.8~7.0		2.0	80.0	18.0
8	7.8~8.0		4.0	78.0	16.0
9	8.8~9.0		5.0	80.0	15.0
10	9.8~10.0		6.0	80.0	14.0
11	10.8~11.0		6.0	80.0	14.0
12	11.8~12.0		7.0	78.0	15.0
13	12.8~13.0		3.0	80.0	17.0
14	13.8~14.0		4.0	80.0	16.0
15	14.8~15.0		3.0	80.0	17.0
16	15.8~16.0		2.0	80.0	18.0
17	16.8~17.0		7.0	78.0	15.0
18	17.8~18.0		4.0	80.0	16.0
19	18.8~19.0		8.0	77.0	15.0
20	19.8~20.0		6.0	80.0	14.0

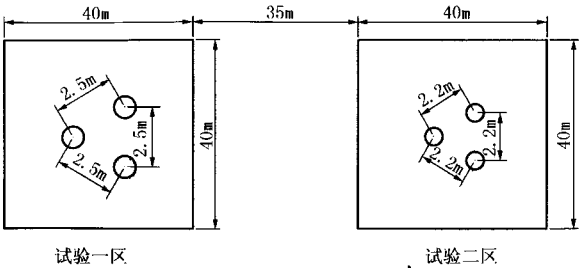


图 2 施工示意图

- (2)留振时间:10 s;
- (3)下沉和上提速度:4 m/min;
- (4)水压:上部 2 m 成孔时为 0.3 MPa,2 m 以深为 0.2 MPa;
- (5)提升间距:每段提升高度为 0.5 m;
- (6)成桩:①慢速振冲下沉至桩底,留振 60 s;②慢速振冲上拔至孔口处,留振 120 s;③慢速振冲下沉至桩底以上 0.5 m 处,留振 30 s;④慢速振冲上拔 0.5 m,留振 10 s;⑤依次类推,每段上拔 0.5 m,每段留振 10 s;⑥直至孔口处,再留振 60 s;⑦再次振冲下沉至桩底以上 1.0 m 处,留振 20 s;⑧慢速振冲上拔 0.5 m 处,留振 10 s;⑨依次类推至孔口,每段上拔 0.5 m,每段留振 10 s;⑩成桩结束,关闭水泵及振冲器,移至下一根桩。

4.3 试验效果评价

4.3.1 施工工效

根据本工程施工情况,桩长 15.5 m 的桩,一次完整的施工需要费时 40 min,以此来计算,如果采用双点振冲进行施工,每天完成桩数 60~70 根。桩间距以 2.5 m 计,每天可处理的施工区域面积为 324~378 m²。在场地条件及设备条件保证的情况下,采用三头振冲进行施工,每天可处理的施工区域面积更多。

4.3.2 工后沉降分析

根据对施工区域在施工前后地面标高的量测,试验一区(振点间距 2.5 m)施工后的地面平均比施工前低 100 cm,试验二区(振点间距 2.2 m)施工后的地面平均比施工前低 150 cm,说明本施工方法在此地层中的加密效果的有效性。

4.4 施工结束后地基检测情况

施工结束 14 天后,采用标准贯入试验检验。共布置检验点 12 个,试验一区、试验二区各 6 个;半数布置在振冲点中心处,半数布置在振冲点围成的区域形心处;检验深度标高为 -12.0 m(高程采用当地最低理论潮面为基准),标贯间距 1.0 m。

4.4.1 处理后的地基土密实度及承载力特征值

根据标贯值估算振冲处理后的地基承载力特征值见表 3。基本满足设计要求,地基处理效果十分明显。

4.4.2 处理后的地基消除液化情况

根据《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2001)(2008 年版)附录 A(本工程施工时 2010 版抗震规范未执行),查得本场地抗震设计参数见表 4。

按《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2001)(2008 年版)第 4.3 节中的有关规定,对地面以下 20

表 3 处理后的地基土密实度及承载力特征值

施工地层 区段编号	分层及分 段底深度 /m	标贯修正击数/N		密实度	承载力 特征值 f_{ak}/kPa
		范围值	标准值		
①	3.3	8~15.5	11.3	稍密,局部松散	140
试验 ①	9.3~9.6	13.7~34.4	21.6	中密	170
一区 ②	13.5~13.6	19.9~60.7	37.7	密实,局部中密	220
③	17	12.6~26.9	14.1	稍密~中密	170
①	3.8	9~15.5	10.3	稍密,局部松散	140
试验 ①	8.8~9.1	17.4~56.7	29.5	中密~密实	200
二区 ②	13.1~13.5	29.2~64.5	44.3	密实	280
③	16.5	17.8~43.1	24.2	中密,局部密实	210

表 4 场地抗震设计参数

县区	抗震设 防烈度	设计基本地 震加速度	设计地 震分组	标贯锤击 数基准值
唐海	7	0.15g	第一组	8

m 范围内的饱和砂土及粉土层进行液化判别。地下水位按实测静止水位考虑,标准贯入锤击数临界值计算公式如下:

$$N_{cr} = N_0 [0.9 + 0.1(d_s - d_w)] \sqrt{3/\rho_c} \quad (d_s \leq 15)$$
$$N_{cr} = N_0 (2.4 - 0.1d_w) \sqrt{3/\rho_c} \quad (15 \leq d_s \leq 20)$$

式中: N_0 ——液化判别标准贯入锤击数基准值,取 $N_0 = 8$; d_s ——饱和土标准贯入点深度, m; d_w ——地下水位深度, m; ρ_c ——粘粒含量百分率,当砂土粘粒含量 < 3% 时,取 $\rho_c = 3$ 。

采用上式计算出的标贯临界值与地基处理后的检验值进行比较,其消除液化情况如下:

试验一区大部分检验点已基本消除液化,但在 I P1、I P3、I P5、I P6 号检验点出现零星液化点,液化指数 $I_{LE} = 0.34 \sim 1.00$,均属较微液化。

试验二区大部分检验点已全部消除液化,仅在 II P2 号检验点出现零星液化点,液化指数 $I_{LE} = 1.64$,属较微液化。

按《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2001)(2008 年版)表 4.3.5 对本次检验液化情况综合划分见表 5。

4.4.3 处理后的地基情况评价

试验一区振冲点间距为 2.5 m,地基处理效果较好,砂土液化基本消除,但有 4 个检验点局部区域存在零星的液化点,根据野外岩(土)心肉眼鉴定,粉砂层中局部含有粘粒,对砂层的排水不利,可能影响到振密效果。

试验二区振冲点间距为 2.2 m,地基处理效果良好,砂土液化全部消除(II P2 底部出现的液化点

表5 场地液化情况

施工 区段	检验点 编号	液化 土层	液化点 深度 /m	液化段 厚度 /m	液化指数 I_{LE}				
					单点	单层	液化 等级	平均	
试验 一区	I P1	③	14.3 ~ 16.3	2.0	0.34	0.34	轻微	0.39	
	I P3	①	0.7 ~ 2.3	1.6	0.16	0.16	轻微		
	I P5	③	15.3 ~ 16.3	1.0	0.07	0.07	轻微		
	I P6	①	4.3 ~ 5.3	1.0	0.46	1.00	轻微		
		③	15.3 ~ 16.3	1.0	0.55				
试验 二区	II P2	③	14.8 ~ 16.5	1.7	1.64	1.64	轻微	1.64	

带有随机性)。

对比试验一区与试验二区,可初步得出振冲点间距的适当加密,致使二区处理效果好于一区,承载力提高也略大于一区。表层地基承载力略低。

在大面积施工的情况下,为了满足堆场区地基承载力达到 150 kPa,轨道梁区地基承载力达到 200 kPa 的设计要求,可以在无填料振冲施工结束后,增加低夯击能强夯处理表层地基,使其达到地基承载力设计要求。

5 结语

(1)采用无填料振冲处理粉细砂类土地基的方法,对提高地基承载力、消除液化地基液化的效果毋

容置疑。它的突出优势在于处理深度深,处理深度达到 15.5 m,从上到下处理深度内,砂的密实度都得到了提高,消除了大部分后期沉降。采用常规的强夯法、“塑料排水板+强夯”,无法处理消除如此深度的地基液化。

(2)无填料振冲与传统填料振冲相比,具有不需石料、排污少、施工简便、施工效率高、施工工期短等优势。

(3)含泥量的大小对施工参数和地基加固质量有较大的影响,采用无填料振冲法进行粉细砂地基加固,必须先在典型区域做试验区,验证有关技术参数及无填料振冲在本场区的适用性。

(4)本工程的成功实施,为无填料振冲法在同类型地基中的推广应用及相应规范的制定或修改提供了一些成功的经验。

参考文献:

- [1] JGJ 79-2002, 建筑地基处理技术规范[S].
- [2] GB 50011-2001, 建筑抗震设计规范[S].
- [3] DB 13(J)/T48. 2005, 河北省建筑地基承载力技术规程[S].
- [4] 杨光绪. 粉细砂特性及其工程措施[J]. 施工设计研究, 1996, 33(2): 1-16.
- [5] 周健, 贾敏才, 池永. 无填料振冲法加固粉细砂地基试验研究及应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, (8).

(上接第 55 页)

的加工要求不高,并可根据工程需要模拟场地应力条件进行渗透试验;

(4)采用气水隔离供液装置不但解决了压气增加渗透压使气体进入渗透液的问题,而且可进行渗透液脱气;

(5)采用数字化采集处理系统,不但减少了测量读数等人为影响,提高了测量精度,而且快速便捷,可无人值守,提高了工作效率,减轻了劳动强度。

参考文献:

- [1] 靖向党, 于波, 谢俊革. 柔壁渗透仪的试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(9): 28-31.
- [2] 靖向党, 于波, 刘自放, 等. 柔壁渗透仪的研制[J]. 长春工程学院学报(自然科学版), 2010, 11(3): 19-23.
- [3] 靖向党, 于波. 加压式柔壁渗透仪[P]. 中国专利: ZL 2005 2 0091576. X.
- [4] 靖向党, 于波, 谢俊革. 柔壁渗透仪气水隔离供液装置[P]. 中国专利: ZL 2009 2 0094935. 5.
- [5] 何世鸣, 等. 长螺旋搅拌水泥土帷幕桩及其施工方法[P]. 中国专利: ZL 200810101832. 7.

2012 年全国水井钻机情报网年会在长沙召开

中国水利学会、水利部综合事业局主办的“2012 中国(国际)水利机械及施工装备展览会”,定于 2012 年 3 月 22~24 日在湖南省长沙市国际会展中心举办,会议内容涉及全国的水利工程机械展及中国水利建设投资等多项国家重点工程宣传与展示,借此会议机会,全国水井钻机情报网决定在长沙召开 2012 年年会以配合此次展览会,并组织有关单位参展、参观。

一、会议内容

1. 参观水利机械及施工装备展览
2. 有选择的参加会议组织的论坛
3. 举办有关抗旱打井新工艺内容的座谈
4. 各生产厂家介绍新产品及产品推广

二、报到时间及地点

1. 报到时间: 2012 年 3 月 21 日(会期 4 天, 22~25 日)
2. 报到地点: 长沙市三和大酒店(湖南省展览馆内)
3. 路线: 长沙火车站乘坐 803 外环公交长沙市一中下车即到

三、联系方式

单位: 河北省地矿物资总公司
地址: 石家庄市中山西路 891 号; 邮编: 050085
联系人: 赵明杰
联系电话: 0311-83620547, 0311-85236046(传真)
可直接联系: 13931877675(赵明杰), 13831158967(何旭)