

文章编号:1673-2049(2008)02-0116-04

砂土地基加固方法的工程应用

白涛¹, 齐晓迪², 袁树基³, 杨廷文⁴

(1. 陕西省建筑科学研究院, 陕西 西安 710098; 2. 陕西龙泽地基工程公司, 陕西 西安 710014;
3. 浙江林学院 园林学院, 浙江 临安 311300; 4. 山东兖矿集团, 山东 邹城 273522)

摘要:以陕西榆林地区3个砂土地基处理工程为例,通过地基处理前后的标准贯入度试验、静载试验和孔隙比测定等现场试验,分别在适用范围、处理深度以及经济效益方面对水坠换填法和无填料振冲法的加固效果进行了分析比较。分析结果表明:对于承载力要求高、加固深度较大、地下水位较高和土质为粉细砂的地基,无填料振冲法比水坠换填法加固效果明显;无填料振冲法比水坠换填法具有更大的适用范围,是一种应用面广、加固效果显著、经济效益好的地基处理方法,可以在细砂地基加固中推广应用。

关键词:砂土地基;地基处理;加固方法;无填料振冲法;水坠换填法

中图分类号:TU441.4 **文献标志码:**A

Engineering Application of Reinforcement Method of Sand Foundation

BAI Tao¹, QI Xiao-di², YUAN Shu-ji³, YANG Ting-wen⁴

(1. Building Scientific Research Institute of Shaanxi Province, Xi'an 710098, Shaanxi, China;
2. Longze Foundation Engineering Ltd of Shaanxi Province, Xi'an 710014, Shaanxi, China;
3. School of Landscape Architecture, Zhejiang Forestry University, Lin'an 311300, Zhejiang, China;
4. Yankuang Group of Shandong Province, Zoucheng 273522, Shandong, China)

Abstract: Taking three sand foundation treatment engineering in Yulin City, Shaanxi Province as an example, the method of water weigh down sand and the method of vibroflotaion without additional backfill materials to reinforce the sand foundation were analyzed and compared in sides of the application area, the depth to deal with and economy effect through the standard penetration test, static loading test and the determination of pore-solids ratio. The analytical results show that the method of vibroflotation without additional backfill materials has a wider application area. In the condition that the depth of foundation to be reinforced is larger, the ground water table is higher or the situation of fine silty sand, the method of vibroflotation without additional backfill materials can get a more obvious reinforcement effect compared the method of water weigh down sand; the method of vibroflotation without additional backfill materials is a good method of foundation treatment which has a wide application area, obvious reinforcement effect and good economy benefits. The method can be applied to reinforce the sand foundation.

Key words: sand foundation; foundation treatment; reinforcement method; method of vibroflotaion without additional backfill material; method of water weigh down sand

0 引 言

陕西榆林地区位于毛乌素沙漠的南缘,地表大面积覆盖着风积砂,砂土厚度大,地基承载力标准值低,承载力多在 40~90 kPa 之间,未经处理一般不能满足工业与民用建筑的要求。

处理砂土地基的方法有水坠换填法(水坠砂法)^[1]、振冲法^[2-3]、换填垫层法^[4]、水泥土搅拌法。振冲法分填料振冲法和无填料振冲法,一般认为无填料振冲法用于中粗砂地基处理效果较好。但近年来,通过大量的振冲法加固砂土地基工程发现,无填料振冲法加固粉细砂地基同样具有很好的效果。

本文中笔者以榆林地区砂土地基处理工程为例,对无填料振冲法和砂土地基处理常用的水坠换填法进行比较,分析说明无填料振冲法是一种应用面广、施工简便、加固效果和经济效果良好的方法。

1 工程概况

1.1 工程 1

工程 1 为榆林地区某单位 2 栋住宅楼。住宅楼地上 3 层,地下 1 层,1 号楼长 65.7 m,宽 13.9 m;2 号楼长 75.0 m,宽 13.9 m,砖混结构,要求地基承载力大于 150 kPa,处理深度 1.5 m 左右,场地地貌为风积砂丘地,主要地层为细砂层,地下水位埋深大于 30 m。由于建筑高度较低,地基处理较浅,且对地基承载力要求较低,故采用水坠换填法进行处理,根据设计将基础下一定深度挖除,放水浸坠,水面略高于底面 15~20 cm,使地基砂土达到过饱和,浸水、放水时缓慢,以水不带走砂粒为宜。随后推土机缓慢均匀抛砂入坑,所抛砂层略高于水面,以层面不见明水为原则,使砂土层达到饱和状态,再用推土机进行碾压,等待水坠完毕后,再放水、抛砂、覆碾,重复上述工作流程,以达到水坠层厚度要求。

1.2 工程 2

工程 2 为榆林市西沙某住宅小区。住宅楼地上 5 层,地下 1 层,砖混结构,条形基础,要求处理后的复合地基承载力大于 190 kPa。建筑场地地形较平坦,地貌单元属风积砂丘地貌,地层自上而下,第 1 层细砂,松散、稍湿、饱和,标准贯入平均击数 $N=6\sim9$ 。第 2 层细砂,松散、稍密、稍湿、饱和,层厚为 0~4.1 m,标准贯入平均击数 13.1。第 3 层中密~密实,稍湿、饱和,该层物理性质较好,平均标准贯入击数 21.4。

砂土地基采用无填料振冲法处理,设计采用

ZCQ-30 振冲器进行施工,设计桩径 900 mm,桩距 1 600 mm,排距 1 400 mm,正三角形满堂布置,孔深度为 10 m;施工电流大于 50 A,留振时间大于 45 s。振冲器由地面贯入,达到设计深度后即在底孔不停振动,利用振冲器的强力振动和喷水,使孔内振冲器周围和上部砂土逐渐塌陷并被振密。每到达加密电流后提 1 次振冲器,每上提 30~50 cm 继续振冲(留振),按此顺序由下至上逐段振密直至孔口。

1.3 工程 3

工程 3 为榆林拟建机场飞行区场道工程地基处理。拟建机场位于榆林城区西北方小纪汗乡昌汗界村。场地平整前为波状砂丘地,场地地貌属于毛乌素沙漠边缘半移动、半固定砂丘。场地上覆地层为素填土、第四系全新统风积成因细砂、粉质黏土,各层岩土野外特征为:第 1 层素填土,主要为细砂,稍湿~湿,松散~稍密,该层仅分布于填方区,是由场地平整推填而成;第 2 层细砂,湿~饱和,稍密~中密;第 3 层粉质黏土,坚硬致密,含少量钙质结核,可塑。场地平整后,部分场地为挖方区,部分场地为填方区,选择 6 块试验场地,采用无填料振冲法处理。5、6、7 号场地位于挖方区,8、9、10 号场地位于填方区。

2 试验结果及分析

2.1 工程 1

对水坠换填法处理前后的地基进行标准贯入度试验^[5]和孔隙比测定,确定地基承载力,试验结果见表 1。

表 1 工程 1 试验结果
Tab. 1 Test Results of Engineering 1

状态	楼号	标准贯入 击数最大值	标准贯入 击数最小值	平均 击数	承载力/ kPa	孔隙比
处理前	1	8	5	6	84	0.660~0.805
	2	8	4	6	84	
处理后	1	25	8	14	174	0.504~0.678
	2	24	8	12	156	

采用水坠换填法处理地基,改变了砂土的原生结构,砂土的孔隙度减少了 20%左右,地基承载力提高了 85%~107%,达到 150~180 kPa,满足了加固要求。

2.2 工程 2

对工程 2 处理前的地基进行了 1 个点标准贯入试验,对处理后的地基进行了 3 个点的静载试验和 4 个点标准贯入度试验。进行静载试验时,采

用慢速维持荷载法,分 8 级加载,最大加至设计要求的 380 kN。得到的荷载-沉降曲线如图 1 所示。

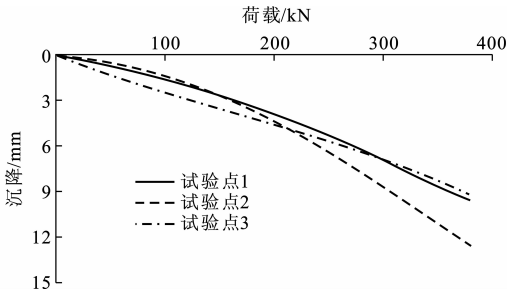


图 1 静载试验荷载-沉降曲线

Fig. 1 Load and Settlement Curves of Static Loading Test

荷载-沉降曲线属缓变形曲线,未出现急剧增大现象,根据文献[1],经振冲密实处理后的地基承载力标准值为 190 kPa,满足工程要求。处理前后的标准贯入试验结果见表 2。

表 2 工程 2 试验结果

Tab. 2 Test Results of Engineering 2

标准贯入 深度/m	处理前标准 贯入击数	处理后标准贯入击数			
		试验点 1	试验点 2	试验点 3	试验点 4
1.0~1.3	6.0	16.0	17.0	12.0	13.0
2.5~2.8	6.0	17.0	19.0	19.0	18.0
4.0~4.3	6.0	27.0	28.0	25.0	17.0
5.5~5.8	13.2	29.0	23.0	20.0	20.0
7.0~7.3	13.7	24.0	25.0	25.0	19.0
8.5~8.8	21.4	23.0	26.0	24.0	24.0
平均值	11.1	22.7	23.0	20.8	18.5

由表 2 可见,经振冲密实处理后的地基,标准贯入击数的平均值比处理前提高 7~12,已达到中密程度,满足工程要求。

2.3 工程 3

对工程 3 的地基处理后进行静载试验,分 11 级加载,最大加载量为 500 kN。在 10 块试验场地中,除对 10 号场地的桩体和桩间土各进行 1 台静载试验,对其余场地的桩体和桩间土各进行 2 台静载试验。取 2 台加载数据平均值,由静载试验得到:桩体静载试验荷载-沉降曲线见图 2;桩间土静载试验荷载-沉降曲线见图 3。

由图 2、图 3 可确定振冲处理后的地基承载力均达到 250 kPa。对地基进行标准贯入试验,试验前后数据对比结果如表 3 所示。

由表 3 可见:振冲处理后的平均标准贯入击数提高 2~5 倍,加固效果显著;同时处理前桩体和桩间土这 2 项指标统计的变异系数为 0.218~1.064,处理后这 2 项指标统计的变异系数为 0.202~0.673。

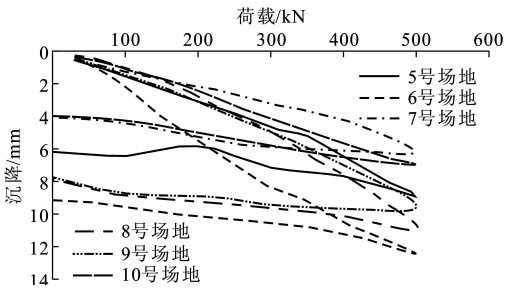


图 2 桩体静载试验荷载-沉降曲线

Fig. 2 Load and Settlement Curves of Pile Static Loading Test



图 3 桩间土静载试验荷载-沉降曲线

Fig. 3 Load and Settlement Curves of Soil Among

Piles Static Loading Test

表 3 工程 3 试验结果

Tab. 3 Test Results of Engineering 3

场地编号	处理前标准贯入击数平均值	处理后标准贯入击数平均值
5	4.1	20.3
6	3.8	14.5
7	6.0	12.9
8	5.9	15.1
9	4.9	11.9
10	8.2	14.0

由此可以看出,振冲处理后的场地均匀性得到了提高。

3 加固方法的分析比较

水坠换填法和振冲法在砂土地基处理中应用广泛,但通过上述工程试验结果的分析,可以得到如下结论。

3.1 适用范围

水坠换填法适用于对疏松的天然砂基进行浅层处理,大量工程实践表明,其对粒度较大的中粗砂处理效果最好,其次为细砂,若为粉砂则需掺入一定量的中粗砂或细砂水坠,才可取得较好的工程效果。此外,水坠换填法对地下水位的要求很高,要求地下水位必须低于需加固的土层,地下水位低时,才能产生自上而下的压力差,使砂土颗粒趋于密实,否则不能产生足够的压力差或水反向渗透,从而造成砂土

上浮。排水和降水是地基处理的关键。

应用无填料振冲法加固砂类土地基,从粉细砂到含砾粗砂,只要粒径小于 0.005 mm 的黏粒质量分数不超过 10%,均可使地基得到显著的挤密效果。近年来的试验研究表明,根据细砂的具体性质选择合理的施工工艺,对于黏粒质量分数小于 5% 的饱和疏松细砂加固也可以取得很好的加固效果。振冲法对地下水位要求不高,只需满足施工机械行走即可。

工程 1、2 的土层主要为细砂层,对承载力要求不高,所以采用水坠换填法和无填料振冲法都会取得很好的加固效果;工程 3 的土层主要为细砂层和粉质黏土,对承载力要求较高,水坠换填法不易满足要求,而采用无填料振冲法处理此类地基更合适。

工程 1 的地下水位埋深大于 30 m,满足水坠换填法的要求;工程 3 的实测稳定水位为 2.1~12.0 m,该地下水属赋存于第四系松散层中的上层滞水,水位升降主要受大气降水补给影响,不适宜采用水坠换填法处理。

3.2 处理深度

水坠换填法一般适用于对天然砂基进行浅层处理,当深度稍大时,施工成本迅速加大,而振冲法则对有一定加固深度要求的工程更适合。

对于上述工程,工程 1、2 两种方法均可使用。工程 3 加固深度较大,又由于地下水位较高,水坠换填法无法达到预期效果,而应用振冲法则可满足工程要求。

3.3 经济指标

采用水坠换填法处理砂土地基,施工机械要求不高,工艺流程简单,所耗费用低,在处理浅层地基时,经济合理。但当地基加固深度较大时,因为无填料振冲法节约填料,施工速度快,所以具有更好的经济效益。

通过综合分析近年来在榆林地区包括以上工程在内的 50 多项地基处理的工程数据,以 1 000 m² 为计量单位,按榆林地区市场价格进行比较的结果见表 4。

由表 4 可见,无填料振冲法与水坠换填法相比是一种更经济、运用范围广泛、处理效果更好的砂土地基处理方法。

4 结 语

通过对上述砂土地基加固工程的研究和砂土地

表 4 水坠换填法与无填料振冲法指标对比

Tab. 4 Indicator Contrast Between Method of Vibroflotation Without Additional Backfill Materials and Method of Water Weigh down Sand

加固方法	水坠换填法	无填料振冲法
加固后承载力/kPa	156~174	180~250
处理深度/m	3.0~3.5	6.0
施工工期/d	8	6
用水量/t	3 450	2 800
单价/(元·m ⁻²)	4(挖土)+8(水坠)	10
总价格/元	38 000	35 700
综合经济指标/(元·m ⁻²)	38.00	35.70

区大量地基加固工程实践证明,无填料振冲法是一种运用面广、加固效果显著、经济效益好的地基处理方法,可在砂土地基处理中推广应用。

参考文献:

References:

[1] 郑勋涛. 水坠砂法处理砂土地基的应用[J]. 西部探矿工程, 2002(2): 53-54.
ZHENG Xun-tao. Application of the Method of Water Weigh down Sand to Dispose the Subgrade Foundation Sand [J]. West-China Exploration Engineering, 2002 (2): 53-54.

[2] 郑念屏. 无填料振冲挤密处理风积细砂[J]. 工业建筑, 1997, 27(8): 58-59.
ZHENG Nian-ping. The Method of Vibroflotation Without Additional Backfill Materials to Dispose Eolian Deposit [J]. Industrial Construction, 1997, 27 (8): 58-59.

[3] 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, 22 (8): 1350-1355.
ZHOU Jian, JIA Min-cai, CHI Yong. Vibroflotation Compaction of Silty Fine Sands Without Additional Backfill Materials [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(8): 1350-1355.

[4] 《地基处理手册》编写委员会. 地基处理手册[M]. 2 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
Foundation Treatment Directory Compile Committee. Foundation Treatment Directory [M]. 2nd ed. Beijing: China Architecture & Building Press, 2000.

[5] JGJ 79—2002, 建筑地基处理技术规范[S].
JGJ 79—2002, Construction Foundation Treatment Technical Code[S].