

振冲碎石桩在杂填土地基中的应用

赵忠伟, 李勤厚, 赵 军

(辽宁工程勘察院, 辽宁 锦州 121000)

摘 要:介绍了某工程应用振冲碎石桩在堆积时间较短的杂填土地基中的处理情况,尤其是对承载力特征值要求较高的杂填土地基提出了经济、合理的处理方法。

关键词:振冲碎石桩;杂填土地基;承载力特征值

中图分类号:TU473.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)11-0055-03

Application of Vibro-replacement Stone Column in the Miscellaneous Fill Foundation/ZHAO Zhong-wei, LI Qin-hou, ZHAO Jun (Liaoning Engineering Investigation Institute, Jinzhou Liaoning 121000, China)

Abstract: This article describes the application of vibro-replacement stone column in miscellaneous fill foundation with short accumulation time, especially put forward the economic and reasonable processing method for miscellaneous fill foundation with high requirements on characteristic value of bearing capacity.

Key words: vibro-replacement stone column; miscellaneous fill foundation; characteristic value of bearing capacity

振冲碎石桩是利用一个产生水平振动和施加垂直力的管状设备在软土地基中成孔,再在孔内分批填入碎石填料,同时将振动设备沉至填料中进行振实,在地基中形成密实的桩体。碎石桩在软土地基中起到置换、排水、加筋和垫层的作用。该桩体和原来的地基构成复合地基,从而减少地基的变形,提高土体抗剪强度,增强地基稳定性。振冲碎石桩适用于处理砂土、粉土、粉质粘土、素填土和杂填土等地基。振冲碎石桩处理软土地基有施工工艺简单、成桩速度快、工程造价低等优点,在软土地基中得到了广泛的应用。

本文结合工程实例介绍振冲碎石桩在杂填土地基中的施工工艺和质量控制措施,可将杂填土地基承载力提高 2.5 倍,同时减少地基总沉降量与不均匀沉降,达到了良好的工程效果。

1 工程概况

近年来,随着城市建设的发展,以往的建筑垃圾、人工填土等场地逐渐被利用,然而此类场地的共同特点是:回填土未进行加固处理,回填成分复杂无序,且建筑垃圾中常含有大量大粒径的混凝土块、石块,回填厚度大,尚未完成固结,有自重湿陷性。根据场地土类型、设计条件和周围环境合理处理杂填土,使之成为满足设计要求的建筑物地基,对减少建筑的施工费用和周期具有重要的作用。

1.1 工程地质概况

某房屋开发有限公司拟建的碧海郡 1 栋高层住宅楼位于原砖厂挖土后的坑塘地带,后经垃圾回填,地势高低不平。建筑物地上 12 层,地下 1 层,采用筏片基础,框架剪力墙结构。

场地地层自上而下为:

①杂填土,杂色,稍湿,松散,以建筑垃圾为主间少量的生活垃圾,成分为大量的混凝土块、石块及少量的有机质、塑料袋、草木等,层厚 9.0~12.0 m;

②粘土,黄褐色,软塑,干强度高,韧性中等,层厚 1.0~2.0 m;

③角砾,杂色,湿~饱和,稍密,层厚 5.0~6.50 m;

④泥岩,强风化,灰黄色,黄白色,块状构造,粗显晶质结构。

基础埋深在自然标高下 4.0 m 左右,其中③层卵石以上地层厚度 10.0~14.0 m,自基底至③层卵石层厚 6.0~10.0 m。

以上各土层物理力学指标及承载力标准值详见表 1。

1.2 振冲碎石桩处理地基的设计

根据勘察资料,需加固①层杂填土、②层粘土。根据工程变形和承载特性的要求,经处理后的复合地基承载力特征值要求达到 200 kPa。在设计时其承载力计算采用下式初步确定:

收稿日期:2010-04-13

作者简介:赵忠伟(1981-),男(满族),辽宁锦州人,辽宁工程勘察院二级建造师、注册安全工程师,勘查技术与工程专业,从事岩土工程设计与施工工作,辽宁省锦州市凌河区人民街五段文昌里 1 号, zhaozhongwei2001@163.com。

表 1 各土层物理力学指标及承载力标准值

名称	厚度 /m	天然重 度/(kN· m ⁻³)	粘聚 力/kPa	内摩擦 角/(°)	压缩 模量 /MPa	变形 模量 /MPa	承载力 标准值 /kPa
杂填土	9.0~12.0				4.1		80
粘土	1.0~2.0	19.3	31	8	4.6		100
角砾	5.0~6.50	20.4	33	12		9.6	150
强风化 泥岩	5.5~9.3	21.7				31.7	400

$$f_{spk} = mf_{pk} + (1 - m)f_{sk} \tag{1}$$

式中: f_{spk} ——振冲桩复合地基承载力特征值,kPa;
 f_{pk} ——桩体承载力特征值,kPa,宜通过单桩载荷试验确定; f_{sk} ——处理后桩间土承载力特征值,kPa,宜按当地经验取值,如无经验,可取天然地基承载力特征值; m ——桩土面积置换率, $m = d^2/d_e^2$; d ——桩身平均直径,m; d_e ——一根桩分担的处理地基面积的等效圆直径,等边三角形布桩 $d_e = 1.05s$; s ——桩间距,m。

本工程碎石桩桩位布置采用梅花形满堂布置,桩径 1.0 m,桩距为 1.50 m,等边三角形布桩 $d_e = 1.05s$,基础外缘增设 2 排护桩。利用上述公式,计算所得处理后的复合地基承载力特征值为 212 kPa,满足地基承载力要求。

复合土层的压缩模量可按式计算:

$$E_{sp} = [1 + m(n - 1)]E_s \tag{2}$$

式中: E_{sp} ——复合土层压缩模量,MPa; E_s ——桩间土压缩模量,MPa,宜按当地经验取值,如无经验时,可取天然地基压缩模量; n ——桩土应力比,在无实测资料时,对粘性土可取 2~4,对粉土和砂土可取 1.5~3.0,原土强度低取大值,原土强度高取小值。

利用上述公式,计算所得处理后的复合土层压缩模量为 5.22 MPa,满足设计要求。

1.3 施工机具

施工采取的主要机具有 75 kW 振冲器、QY25 起重机、ZL50 装载机。

1.4 填料选择

桩体材料采用含泥量 $\geq 5\%$ 的碎石,质地坚硬,未风化的石料,填料粒径 40~150 mm。

2 施工步骤

首先对场地进行第一次基坑开挖,然后平整场地进行振冲碎石桩处理,再对场地进行二次基坑开挖,最后对场地进行碾压处理。

2.1 第一次开挖

根据场地第一次基坑开挖图,将拟建场地挖除

至 ± 0.00 下 -3.50 m,放坡系数为 1: 1,开挖范围为:基础外边线外扩 7.7 m。然后平整场地进行振冲碎石桩处理。

2.2 第二次开挖

根据设计基底标高并结合碎石桩结束场地情况,将桩体顶部 1 m 左右挖去,铺设 30 cm 的碎石垫层,再用 40 t 带振压路机碾压密实,然后进行建筑物基础施工。

3 施工方法

3.1 施工工艺(见图 1)

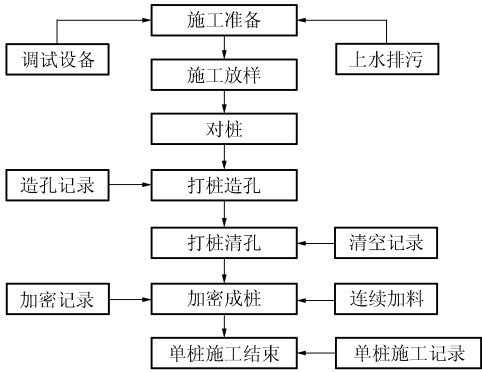


图 1 振冲碎石桩施工工艺流程图

3.2 试桩

3.2.1 试桩施工参数

正式施工前,选取场地西南角 20 根桩,桩长 14.5 m,工作量 290 m,进行试桩。试桩采用的施工技术参数为:造孔电流 110 A,造孔水压 0.2~0.4 MPa,加密电流 100 A,加密段 ≤ 500 mm,留振时间 10 s,加密水压 0.3~0.4 MPa。造孔过程中振冲器应处于悬垂状态,孔位如发生大的偏斜,应及时纠正。造孔深度低于设计桩底标高。造孔速度控制在 0.5~0.2 m/s 为宜。

3.2.2 试桩结果的检测

根据文献[3]规定,采用现场静载荷试验进行复合地基承载力试验,复合地基极限承载力为 450 kPa,沉降量为 25 mm。均满足设计要求。

3.3 碎石桩施工工序

(1)施工放线:根据建筑物主轴或控制点坐标测放控制轴线和桩位,桩位测放点与设计桩位的允许偏差 < 50 mm。

(2)根据施工现场具体情况挖好横、纵排污沟和污水泵坑,以利于排污。

(3)根据试桩结果,确定采用以下施工技术参数:造孔电流 110 A,造孔水压 0.2~0.4 MPa,加密

电流 100 A,加密段 ≤ 500 mm,留振时间 10 s,加密水压 0.3~0.4 MPa。

(4)启动吊车的卷扬机,使振冲器以 1~2 m/min 的速度在土层中徐徐下沉。注意振冲器在下沉过程中的电流值不得超过电机的额定值。万一超过,必须减速下沉,或者暂停下沉,或者向上提升一段距离,借助高压水流冲松土层后再继续下沉。在开孔过程中,要记录振冲器经各深度的电流值和时间。电流值的变化定性地反映出土的强度变化。

(5)造孔过程中振冲器应处于悬垂状态,其偏差 $\leq 1.5\%$;孔位如发生偏斜,应及时纠正。

(6)当振冲器达到设计加固深度时,开始将振冲器往上提,直至孔口。提升速率可增至 5~6 m/min。造孔速度控制在 0.5~2.0 m/min 为宜。

(7)清孔必须紧接着造孔后进行,不应在开始填料制桩时再进行清孔,以避免产生断桩。

(8)制桩:

①填料制桩应从孔底开始,自下而上逐段进行,清完孔和第一次填料后,振冲器应振到桩底,满足留振时间,以免产生断桩;

②应控制每次填料量和振冲器的提升高度,以确保加密段长度控制在 500 mm 以内,并保证达到加密电流值以后的留振时间,使桩体密实;

③桩径应达到设计要求;成桩后,桩顶中心与设计桩位允许偏差 $\leq 0.2d$ (d 为设计桩径)。

4 施工的质量控制

(1)遇到软弱地基土,则采取“先护壁,后制桩”的施工方法。即在振冲器开孔到达第一层软弱层时,加些填料进行初步挤振,将填料挤到此层软弱层周围以加固孔壁,直到加固深度。

(2)填料和振料方法,一般采取成孔后,将振冲器提出少许,从孔口往下填料,边填边振,直至该段振实,如此逐段施工。

(3)每次填料数量不宜过多,约为堆积在孔内 0.8 m 高,然后用振冲器振密后再继续填料,此时电动机电流值为超过原空振时电流值 35~45 A。

(4)桩体材料采用含泥量 $\geq 5\%$ 的碎石,质地坚硬,未风化的石料,填料粒径 40~150 mm。

(5)施工结束后将桩体顶部 1 m 左右挖去,铺设 30 cm 的碎石垫层,再用 40 t 带振压路机碾压密实。挖去桩顶部分长度的理由是该处上覆压力小,很难做出符合密实要求的桩体。

(6)碎石桩布桩范围:根据基础边缘 45°应力扩

散范围,振冲加固处理范围为在基础外缘增设 2 排桩,以保证扩散范围强度。

(7)桩长的控制:碎石桩桩长穿透软弱层,深入持力层不少于 0.5 m。

5 地基处理的效果检测

5.1 开挖

施工过程中深层的塑料袋、草木等有机物通过高压给水系统排至工作面,垃圾排除体积约为 10 m³。基坑开挖后,振冲碎石桩呈整齐排列,桩径 < 1.10 m,绝大部分碎石桩连通在一起,块径较大的混凝土块多呈竖向排列,几乎看不到生活垃圾。

5.2 重型动力触探

施工结束后选择 20 根碎石桩用重型动力触探试验检测其承载力。根据文献[2],碎石土的密实度和承载力可根据 $N_{63.5}$ 来评价,见表 2 和表 3。

表 2 碎石土的密实程度

$N_{63.5}$ /击	密实度
$N_{63.5} \leq 5$	松散
$5 < N_{63.5} \leq 10$	稍密
$10 < N_{63.5} \leq 20$	中密
$N_{63.5} > 20$	密实

表 3 $N_{63.5}$ 与承载力 f 的关系

$N_{63.5}$ /击	3	4	5	6	8	10	12	14	16
f /kPa	140	170	200	240	320	400	480	540	600
$N_{63.5}$ /击	18	20	22	24	26	28	30	35	40
f /kPa	660	720	780	830	870	900	930	970	1000

动力触探试验采用连续触探方式进行,击数为 10~15 击(10 cm),大者达 20 击(10 cm),平均 14.3 击,依据文献[1]判定(表 4)碎石桩密实程度为密实,相应的地基承载力为 561 kPa,符合设计要求。

表 4 碎石桩密实程度判别准则

连续 5 击下沉量/cm	密实程度
< 7	密实
7~10	不够密实
10~13	不密实
> 13	松散

5.3 载荷试验

试验点的数量为 3 点,依据文献[3]进行复合地基载荷试验,用方形压板(3.0 m \times 3.0 m),采用慢速维持荷载法,加载等级为 10 级。检测结果,最大加载 450 kPa 时,沉降量为 20~25 mm,复合地基承载力特征值不小于 225 kPa,复合地基静载荷试验成果汇总见表 5。

(下转第 72 页)

含量超过 80%, 国产优质牙轮钻头的进尺不到 10 m, 而且机械钻速低。使用上述刀翼式金刚石全面钻头同样表现出对该地层不适应, 使用寿命稍长, 但机械钻速同样低。为此我们在刀翼式金刚石全面钻头基础上加以改进, 即进一步减少前期工作层的面积, 以求获得较好的机械钻速, 同时利用高性能的耐磨块来保证钻头有较长的工作时间。在须家河地层该结构的钻头使用情况统计见表 3。钻头使用前后的图片见图 3。

表 3 二次镶嵌式金刚石全面钻头在须家河地层使用情况

钻头种类	钻头只数	累计进尺/m	平均机械钻速/(m·h ⁻¹)	平均单只钻头进尺/m
某厂牙轮钻头	7	61.58	0.40	8.8
探工所金刚石钻头	7	197.12	0.42	28.16



(a) 使用前



(b) 使用后

图 3 二次镶嵌式金刚石全面钻头

从表 3 可以看出: 与牙轮钻头相比, 我们研制的金刚石钻头, 在不降低机械钻速的情况下, 钻头寿命

是牙轮钻头的 3 倍以上。从钻头使用前后的图片(图 3)可以看出: 钻头某些部位磨损严重导致钻头过早报废, 影响了钻头的寿命, 适当改进耐磨块的布置, 可进一步提高钻头寿命。

5 结论

(1) 在自流井组底部和须家河组使用金刚石全面钻头配螺杆钻进工艺是非常有效的, 既降低了成本又缩短了钻进时间, 达到了钻探提速的目的;

(2) 在均质砂岩地层(石英含量在 50% 以下)或砂岩、页岩和泥岩互层地层, 采用刀翼式金刚石全面钻头能获得较高的机械钻速和较长的寿命;

(3) 在含砾砂岩地层和石英含量极高的砂岩地层, 采用二次镶嵌式金刚石全面钻头能获得相对较高的机械钻速和较长的钻头寿命;

(4) 在钻头结构设计方面, 刀翼式金刚石全面钻头结构设计是合理的, 钻头各部位的磨损基本上是同步的, 而二次镶嵌式金刚石全面钻头在耐磨块的布置上存在缺陷, 某些部位过早磨损而导致钻头报废, 改进后可进一步提高钻头寿命。

参考文献:

[1] 张伟, 王达, 刘跃进, 等. 深孔取心钻探装备的优化配置[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(10): 34-38, 41.
[2] 刘广志, 等. 金刚石钻探手册[M]. 北京: 地质出版社, 1991.
[3] 赵尔信, 等. 金刚石钻头与扩孔器[M]. 北京: 地质出版社, 1982.

(上接第 57 页)

表 5 振冲碎石桩地基静载试验成果汇总表

试验点	试验点 1		试验点 2		试验点 3	
试验土层	碎石土		碎石土		碎石土	
承压板宽度/m	3.0×3.0		3.0×3.0		3.0×3.0	
最大加荷值与承载力标准值	最大加荷值	承载力特征值	最大加荷值	承载力特征值	最大加荷值	承载力特征值
	/kPa	/kPa	/kPa	/kPa	/kPa	/kPa
	450	225	450	225	450	225
对应沉降量/mm	20.0		21.8		25.0	

6 结论

通过置换软土, 振冲碎石桩可以有效加固杂填土地基。在深层的低强度、高压缩性土层场区, 采用振冲法加固软土地基效果好, 具有施工进度快、操作简易、成本低、工期短, 软基固结快, 沉降稳定, 适用

性广, 不受地下水影响等优点。本工程通过振冲法地基处理取得了满意的效果, 从本次测试来看, 其承载力提高均在 2 倍以上, 对加固软土地基经济效益显著, 一般比灌注桩节约 20%~50% 造价, 特别是对复合地基承载力特征值要求较高的建筑物能够达到要求, 取得了预期的效果。

参考文献:

[1] 编委会. 地基处理手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
[2] GB 5007-2002, 建筑地基基础设计规范[S].
[3] JGJ 79-2002, 建筑地基处理技术规范[S].
[4] 林宗元. 岩土工程处理手册[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1993.