

深层搅拌桩加固地基在工程中的应用

黄耀辉¹, 陈智贤²

(1. 广州市建设工程质量监督站 广东 广州 510030 ; 2. 广东省南方岩土工程公司 广东 广州 510080)

摘要 : 广州某 6 层建筑场地下有较厚软弱淤泥质土, 难以满足天然地基要求, 如采用桩基础因桩长悬殊太大、成本很高, 因此采用了深层搅拌桩对场区软弱地基进行加固处理, 效果良好。介绍了本工程深层搅拌桩的设计方法及施工工艺。

关键词 : 不良地质现象 ; 深层搅拌桩 ; 加固地基

中图分类号 : TU472.3+6 **文献标识码** : B **文章编号** : 1672-7428(2006)04-0029-03

在拟建物层数低(9 层以下)、柱距较小、单柱荷载不大, 而场地工程地质条件差, 不宜采用天然浅基础方案, 软弱层相对较厚, 但要挖除深厚的软土层, 也属不易, 必须考虑采取地基处理, 深层搅拌法用于加固饱和软粘土地基的一种较为成熟且经济的地基加固方法。本文根据一个工程实例, 着重分析研讨设计、施工、质量控制与检测等关键问题, 为类似工程性质和岩土条件复杂地基加固提供借鉴。

1 工程概况

某军区医院护士楼(6 层), 位于广州市同和路之西, 白云山东侧, 坐落在该医院之西北侧, 根据勘察报告反映, 该楼场地下有较厚软弱淤泥质土, 难以满足天然地基要求, 地基土承载力较小, 一般在 30~50 kPa 之间, 不能满足设计要求($f_{ak} \geq 150$ kPa)。如采用桩基础, 持力层选择在中~微风化花岗岩中, 因桩长悬殊较大给设计带来不便, 基础费用较大。如采用天然浅基, 其软弱地层将对基础产生不均匀沉降。因此必须对场区软弱地层进行地基加固处理, 以提高该地承载力。

2 工程地质条件

根据场地的工程地质勘察资料分析, 本场地第四系地层分布如下:

(1) 人工填土(Q^{ml}), 灰黑色, 由泥质及少量砖块组成, 结构松散, 层厚 0.50~0.60 m。

(2) 冲积层(Q^{al}), 由淤泥、粉质粘土、粉土组成, 各亚层自上而下分别为:

① 淤泥, 深灰色, 软塑, 局部为流塑状, 饱和, 层厚一般为 4.15~5.20 m, 平均为 4.60 m, 标贯 $N=1 \sim 2$ 击 $f_{ak}=35$ kPa;

② 粉质粘土, 浅灰白色, 软塑~软可塑, 很湿, 厚为 0.50~0.60 m, 平均厚为 0.73 m, 标贯 $N=3 \sim 7$ 击 $f_{ak}=100$ kPa;

③ 粉砂, 浅灰白色, 松散, 饱和, 厚为 0.50~0.60 m, 平均厚为 0.55 m, 标贯击数 $N=6 \sim 9$ 击 $f_{ak}=100$ kPa。

(3) 残积层, 灰青色, 花岗岩风化残积土, 厚度变化较大 $f_{ak}=220$ kPa, 层厚为 10.00~30.10 m, 平均厚为 22.00 m。

根据设计要求, 地基土承载力特征值 ≥ 150 kPa。

综合上述工程地质条件, 第(1)~(2)层是本工程主要加固土层。

3 深层搅拌桩加固的设计

3.1 深层搅拌桩的设计

根据《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2002、J 220-2002)的有关要求, 以及结合同类工程经验来设计, 设计参数如下。

(1) 桩径设计为 550 mm, 桩长设计为 8.00 m, 要求进入花岗岩风化残积土 0.50~1.00 m。

(2) 桩的布置, 根据该宿舍楼采用条形基础, 搅拌桩的布置采用成柱(桩)状, 基础加固范围(条形基础 2.5 m, 宽内布置 3 根桩)沿条形基础方向间距为 1.00 m 布置一根桩, 本工程共布置搅拌桩 689

收稿日期 2006-01-18

作者简介: 黄耀辉(1975-), 男(汉族), 广东人, 广州市建设工程质量监督站, 工民建专业, 从事建设工程质量监督工作, 广东省广州市东风中路 318 号嘉业大厦六楼 604 室; 陈智贤(1964-), 男(汉族), 广东人, 广东省南方岩土工程公司, 工程地质及水文地质专业, 从事岩土工程工作, 广东省广州市加禾街鹤北西街四巷 2 号, 13808863555, gzczx555@126.com。

根,累计总进尺 5622.6 m。

(3) 水泥浆配合比 水泥掺入比为 15% (质量比约 65 kg/m³) ,外加剂为醇胺(添加量为水泥用量的 0.05%)或木质素(添加量为水泥用量的 0.2%) ,以提高搅拌桩的早期强度。

(4) 注浆材料 采用 32.5R 普通硅酸盐水泥,水泥浆液水灰比为 0.50。每米土所需水泥掺合量 65 kg,其参数见表 1。

表 1 施工工艺参数表

名称	参数	备注
桩长/m	8	进入残积土 1.00 m
桩径/mm	550	
喷搅次数	四搅四喷	
水泥掺入比/%	15	R32.5 普通硅酸盐水泥
喷浆量/(kg·m ⁻¹)	65	
搅拌提升速度/(m·min ⁻¹)	0.8~1	

3.2 复合地基土承载力的设计

本工程采用水泥-土柱状喷浆加固,以形成复合地基土(水泥-土),因此,复合地基土承载力可采用桩土分担荷载比的原理公式计算:

$$f_{\text{spk}} = mR_a/A_p + \beta(1-m)f_{\text{sk}} \quad (1)$$

式中 f_{spk} ——复合地基的承载力特征值; f_{sk} ——处理后桩间土承载力特征值,无经验时也可取天然地基承载力特征值,本工程取 50 kPa; m ——面积置换率,本工程取 0.205; β ——桩间土承载力折减系数,桩端土为软土时可取 0.5~1,桩端为硬土时可取 0.1~0.4; R_a ——单桩竖向承载力特征值。

而单桩竖向承载力特征值 R_a 按以下两式计算:

$$R_a = u_p \sum_{i=1}^n q_{si} l_i + a q_p A_p \quad (2)$$

$$R_a = \eta f_{\text{cn}} A_p \quad (3)$$

式中 f_{cn} ——90 天试块抗压强度平均值, kPa; η ——桩身强度折减系数,可取 0.25~0.50; u_p ——桩周边长; A_p ——桩的横截面积; q_p ——桩端天然地基土的承载力特征值,本工程取 450 kPa; q_{si} ——桩周第 i 层土的侧阻力特征值,本工程 q_{si} 平均取 8.5 kPa; α ——桩端天然地基土的承载力折减系数,可取 0.4~0.6。

本工程设计单桩竖向承载力特征值由(3)式计算 $R_a = 179$ kN。

桩体强度设计为 1.5 MPa,则:

$$\eta f_{\text{cn}} A_p = 179 \text{ kN} > u_p \sum_{i=1}^n q_{si} l_i + a q_p A_p = 162 \text{ kN}$$

经水泥-土柱状喷浆加固形成复合地基土(水泥-土),其地基承载力特征值由(1)式计算得:

$$f_{\text{sp}} = 193 \text{ kPa} > 150 \text{ kPa}$$

4 施工程序

根据场区的情况,施工程序大致为:开线验线→安装机械及调试→深层搅拌桩施工。

4.1 开线验线

按委托方所提供的地形红线图,在场区准确放线后,经委托方验线无误后才进行施工。

4.2 深层搅拌桩的施工

依据设计要求和场地工程、水文地质条件,并结合多年的施工经验确定采用四搅四喷工艺:桩机就位→制备水泥浆→边搅边喷下沉→边喷边提升→边搅边喷下沉→边搅边喷提升→移位重复上述步骤。

4.2.1 放线定位

首先在施工现场根据已定的轴线,放出搅拌桩的桩位。对各搅拌桩进行编号,经甲方、监理复线后开始移动搅拌桩机到达指定桩位置并对中。当地面起伏不平时,应调整搅拌桩机的 4 个脚,使搅拌桩钻杆保持垂直(对位的误差 < 50 mm,钻杆垂直度误差 < 0.5%)。

4.2.2 制备水泥浆

搅拌桩机准备搅拌下沉时先用清水调试整个喷浆系统,待喷浆系统正常后,再开始按设计确定的配合比拌制水泥浆。

4.2.3 预搅拌下沉

就位后,开启搅拌桩机电机,放松钢丝绳,使搅拌桩沿导向架搅拌切土下沉,下沉速度可由电机的电流监测表控制,工作电流 > 70 A。为防止喷浆孔在搅拌时被堵塞,从输送系统输入少量水泥浆以利钻进和防止堵塞喷孔。正常后,开动压浆泵将水泥浆压入土层中。送浆量按设计要求,通过送浆泵调速电机调整,搅拌桩速度通过桩机的挡位调整至设计要求。

4.2.4 提升喷浆搅拌

当搅拌桩下沉到标高粘土层,即开始搅拌提升,开启泵将水泥浆压入土体中,同时边喷浆边搅拌提升,直到设计桩顶标高位置时为完成一次搅拌过程。

4.2.5 重复上下搅拌

为使软土和水泥浆搅拌均匀,按第 4.2.4 步骤再次重复,即完成一根柱状加固体。

4.2.6 清洗

完成重复上下搅拌时,向送浆泵注入清水,清洗全部管路中残存的水泥浆,直到基本干净,并将粘附在搅拌头上的软土清洗干净。

4.2.7 移位

重复上述(1~6)步骤,进行下一根搅拌桩的施工。

为确保桩端施工质量,当浆液到达出浆口后,应喷浆 30 s,使浆液完全到达桩端。为使桩强度达到设计要求,最后一次提升宜采用慢速提升,速度控制在 0.8 m/min。

5 质量控制与检测

5.1 质量控制

5.1.1 钻孔成孔质量控制

严格控制成孔施工质量,主要对软土完全预搅切碎,以利于同水泥浆均匀搅拌。

5.1.2 水灰比的质量控制

严格执行本方案所设计的配比进行施工,防止水泥浆发生离析,要求浆液均匀搅拌。

5.1.3 加固强度和均匀性的质量控制

严格按照所设计的压力注浆,压浆阶段不允许发生断浆现象,控制喷浆和搅拌提升速度,以及重复搅拌时的下沉和提升速度,以保证加固范围内每一深度均得到充分搅拌。

5.2 质量检验

(1)水泥浆液应做试块进行不同龄期的抗压试验,以检验注浆桩的强度;

(2)可采用钻探抽心法检验桩的强度及质量;

(3)可采用压板试验来检查搅拌桩成桩后复合地基承载力特征值能否达到设计要求;

(4)可用钻探方法检查桩与桩间土注浆效果,并用原位测试(如轻便触探或标准贯入方法)检查复合地基的承载力特征值是否达到设计要求,以及桩体的均匀性和现场各时间段的强度。

6 工程效果及评价

6.1 开挖检验

加固完成约 1 个月后进行基础开挖,至 -1.80 m 时,发现搅拌桩之桩身质量以及桩体加固的均匀性较好。

6.2 压板试验

由质检部门对该加固工程(选 3 个点)进行压板试验(1.0 m × 1.0 m 刚性承压板),经搅拌桩加固后复合地基试验结果见表 2。

从压板试验中看到,当荷载达到 300 kPa 时,压板下土体仅产生竖向位移,没有从侧向挤出,表明在最大荷载 300 kPa 时,压板处于弹塑性变形阶段,从

表 2 加固后复合地基土载荷试验结果表

试验点号	最大试验荷载 P/kPa	总沉降量/mm	残余沉降/mm	回弹/%	变形模量 E ₀ /MPa	复合地基承载力标准值 f _{ak} /kPa
1	300	23.98	2.20	9.17	10.50	>150
2	300	29.72	5.37	18.07	8.50	>150
3	300	22.04	3.21	14.56	11.43	>150

3 个试验点的 P-s 曲线中可以判断:复合地基承载力特征值 f_{ak} > 150 kPa。

6.3 沉降观测

从 2003 年 9 月开始施工到 2004 年 1 月竣工后至 2005 年 8 月的沉降观测,从沉降观测数据反映(4 个角点及中部 2 点),建筑物在建成半年后已稳定(见表 3)。

表 3 沉降观测结果表

观测点编号	最大沉降量/mm	沉降差/mm	允许沉降量/mm	允许沉降差/mm
1	7.25	1.69	32	0.002H
2	8.13	2.57	32	0.002H
3	10.05	4.49	32	0.002H
4	9.16	3.60	32	0.002H
5	8.79	3.23	32	0.002H
6	7.69	2.13	32	0.002H

注 H 为建筑物相邻桩基中心距离。

7 结语

(1)水泥土搅拌桩复合地基的设计旨在使用比刚性桩基础更为经济,充分挖掘和利用土的承载作用,使桩和地基土共同受力,以提高地基土承载力和减少沉降为目的,是加固不良地质现象发育场区地基的一种好方法。

(2)采用搅拌桩在松散软弱地层中加固地基土效果明显,从该工程复合地基压板试验到竣工后的沉降观测数据,进一步证实地基加固已取得预期效果。

(3)该方法较为成熟,且比其它方法成本低,施工简便,质量可靠,工期短,对于地质条件复杂、施工条件差的工程特别适用,有较大的经济效益。

参考文献:

- [1] JGJ 79-2002, J 220-2002, 建筑地基处理技术规范[S].
- [2] 叶书麟. 地基处理工程实例应用手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998. 369-418.
- [3] 江正荣. 地基与基础施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997. 288-306.
- [4] GB 50007-2002, 建筑地基基础设计规范[S].
- [5] 余至钧, 曹名葆. 水泥土搅拌法处理地基[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004. 47-63.