

水泥土搅拌桩在高层建筑地基处理中的应用

杜文义, 蒙学礼

(核工业柳州工程勘察院, 广西 柳州 545005)

摘要:结合工程实例,介绍了水泥土搅拌桩在高层建筑地基处理中的设计计算、施工质量控制和检测方法与结果。检测结果证明,水泥土搅拌桩应用于高层建筑的地基处理是可靠和可行的。

关键词:水泥土搅拌桩;高层建筑;地基处理

中图分类号:TU473.1⁺4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)11-0045-03

Application of Cement-soil Mixing Pile in the Foundation Treatment of High-rise Building/DU Wen-yi, MENG Xue-li (Liuzhou Engineering Investigation Institute of Uranium Geology, Liuzhou Guanxi 545005)

Abstract: The design calculation, construction quality control & detection and the effect of cement-soil mixing pile in the foundation treatment of high-rise building were introduced with the engineering case. The detection result showed that cement-soil mixing pile was feasible in the foundation treatment of high-rise building.

Key words: cement-soil mixing pile; high-rise building; foundation treatment

水泥土搅拌桩是一种应用范围比较广泛的地基处理方法。《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2002)规定的水泥土搅拌桩适用范围为“正常固结的淤泥与淤泥质土、粉土、饱和黄土、素填土、粘性土以及无流动地下水的饱和松散砂土等地基”^[1]。该施工工艺具有施工效率高、成本低、施工占地面积小,无污染、无噪声、无震动,对邻近建筑物影响很小等特点^[2]。虽然如此,水泥土搅拌桩在高层建筑的地基处理中使用仍然较少。

本文结合工程实例,通过介绍水泥土搅拌桩应用于高层建筑地基处理的设计计算、施工质量控制和检测检验方法与结果,表明水泥土搅拌桩可以应用于高层建筑的地基处理。

1 工程概况

柳州市某房地产开发公司拟建 16 层的佳圆大厦,占地约 32 m × 19 m,接近矩形,框架结构,设计一层地下室,原设计采用人工挖孔桩基础形式,并采用人工挖孔桩作为基坑支护结构。支护桩施工完毕、基坑开挖完成后,进行工程桩的试开挖。工程桩试开挖过程中发现,地下岩溶发育、地下水水量很大,无法进行人工挖孔桩的正常施工。

经过反复论证研究,决定采用筏板基础形式,但必须对场地内存在的约 5 m 厚的软弱土层进行地基

加固处理。经过建筑设计单位验算,处理后地基承载力特征值要求达到 220 kPa。

经过重新勘察,并多次按“技术可靠、经济合理、施工便利”的原则进行各种地基处理方案的对比分析、论证,最后决定采用水泥土搅拌桩进行地基处理。水泥土搅拌桩的设计和施工由我单位完成。

2 场地工程地质条件

根据地质勘察报告,场地工程地质条件简单描述如下:

①杂填土,褐色,结构松散,主要由碎石、碎砖及少许粘土组成,场区内均有分布,平均层厚 2.0 m,根据经验确定承载力 $f_{ak} = 60$ kPa;

②淤泥,灰褐、褐色,呈流塑~软塑状,含少量有机质,场区内均有分布,平均层厚 1.0 m, $f_{ak} = 60$ kPa;

③淤泥质土,灰褐色,结构松散~稍密,含少许有机质,场区内均有分布,平均层厚 1.0 m, $f_{ak} = 90$ kPa;

④可塑状粉质粘土,褐黄色,可塑状,结构紧密,土质均匀,具砂感,分布于整个场地,揭露层厚 > 10 m, $f_{ak} = 220$ kPa。

3 水泥土搅拌桩设计方案

3.1 设计计算

收稿日期:2010-04-08

作者简介:杜文义(1966-),男(汉族),陕西三原人,核工业柳州工程勘察院副总工程师、工程师、注册一级建造师,化学工程专业,硕士,从事岩土工程设计与施工、行政与技术管理工作,广西柳州市荣军路 317 号, dwywh@sina.com;蒙学礼(1969-),男(汉族),广西金秀人,核工业柳州工程勘察院高级工程师、注册一级建造师,水文地质工程地质专业,从事岩土工程设计与施工、行政与技术管理工作, mxl3023221@163.com。

3.1.1 地质条件参数

根据地质报告,土层分为4层,并依据规范^[1]及柳州地区的实践经验,确定各土层的相关技术参数:

①层杂填土, $f_{ak} = 60$ kPa, 桩周土的摩擦力 $q_s = 8$ kPa, 平均厚度 $l = 2$ m;

②层淤泥, 桩周土的摩擦力 $q_s = 6$ kPa, 平均厚度 $l = 1$ m;

③层淤泥质土, 桩周土的摩擦力 $q_s = 10$ kPa, 平均厚度 $l = 1$ m;

④层可塑状粉质粘土, $f_{ak} = 220$ kPa, 桩周土的摩擦力 $q_s = 18$ kPa。

3.1.2 水泥土搅拌桩技术参数

复合地基承载力特征值 $f_{spk} = 220$ kPa, 桩间土承载力特征值 $f_{sk} = 60$ kPa。

桩径 500 mm, 桩长 $l = 5$ m (进入持力层 1 m), 桩周长 $U_p = 1.57$ m, 桩截面积 $A_p = 0.196$ m²。

桩端天然地基土承载力折减系数 $\alpha = 0.5$, 桩间土承载力折减系数 $\beta = 0.75$ (设褥垫层)。

桩身强度折减系数 $\eta = 0.33$, 桩端地基土承载力特征值 $q_p = 220$ kPa。

3.1.3 有关计算

按《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79 - 2002) 进行各项计算。

(1) 单桩承载力 R_a (公式 11.2.4-1)

$$\begin{aligned} R_a &= U_p \sum q_{si} l_i + \alpha A_p q_p \\ &= 1.57 \times (8 \times 2 + 6 \times 1 + 10 \times 1 + 18 \times 1) + \\ &\quad 0.5 \times 0.196 \times 220 \\ &= 100.06 \text{ kN} \end{aligned}$$

取 $R_a = 100$ kN。

(2) 置换率 m (公式 9.2.5)

$$\begin{aligned} f_{spk} &= m R_a / A_p + \beta (1 - m) f_{sk} \\ 220 &= m \times 100 / 0.196 + 0.75 \times (1 - m) \times 60 \\ m &= 0.376 \end{aligned}$$

(3) 搅拌桩布置

按正方形方式进行搅拌桩布置, 桩间距为 s 。

$$m = 0.196 / s^2 = 0.376$$

则 $s = 0.722$ m。

取 $s = 0.7$ m, 则 $m = 0.196 / (0.7 \times 0.7) = 0.4$ 。

按桩间距 $s = 0.7$ m 正方形布置搅拌桩, 桩数 1140 根。

(4) 桩身强度 $f_{cu,k}$ (公式 11.2.4-2)

$$\begin{aligned} R_a &= \eta f_{cu(90d)} A_p \\ f_{cu(90d)} &= 100 / (0.33 \times 0.196) = 1.55 \text{ MPa} \\ \text{则 } f_{cu(28d)} &= 0.7 \times 1.55 = 1.09 \text{ MPa, 取 } f_{cu(28d)} = \end{aligned}$$

1.1 MPa。

(5) 固化剂及掺入比

通过配合比试验, 当使用普通 32.5 MPa 水泥、水泥掺入比采用 15%、水灰比采用 0.75 时, 标准养护条件下的水泥土强度 $f_{cu(28d)} = 3.1$ MPa。根据施工经验, 水泥土现场强度折减系数取 0.5, 则水泥土现场强度 $f_{cu(28d)} = 0.5 \times 3.1 = 1.55$ MPa > 1.1 MPa, 能满足设计要求。

(6) 下卧层强度验算

由于不存在软弱下卧层, 下卧层强度验算省略。

3.2 水泥土搅拌桩设计方案

(1) 处理后复合地基承载力特征值达到 220 kPa。

(2) 桩径 500 mm, 桩长 5 m (进入第④层土层 1 m), 总桩数 1140 根。

(3) 采用普通 32.5 MPa 水泥, 水灰比 0.75, 水泥掺入比为 15%, 要求水泥土桩身强度 ≥ 1.1 MPa (28 d)。

(4) 每桩上下来回搅拌喷浆 4 次 (四搅四喷), 提升速度控制在 1.0 m/min 之内。

(5) 水泥土搅拌桩复合地基之上设置 500 mm 厚的中粗砂褥垫层。

4 水泥土搅拌桩的施工与检测

4.1 施工工艺

4.1.1 工艺流程

平整清理场地 → 测放轴线、测定桩位 → 桩机就位、配置水泥浆 → 第一次喷浆搅拌下沉至设计桩端标高处 → 第一次喷浆提升搅拌至地面 → 第二次喷浆下沉搅拌至设计桩端标高处 → 第二次喷浆提升搅拌至地面 → 结束一根桩的施工、移机至下一根桩位。

4.1.2 工艺要求

(1) 平整清理场地: 将场地上部多余土方开挖外运 (预留 0.5 m), 清除场地内的较大石块、旧基础等障碍物, 清理生活垃圾, 施工场地要求平整。

(2) 测放轴线及桩位: 本工程置换率较高, 桩间距小, 要求现场轴线及桩位测放要准确, 要求桩位测放误差 ≥ 20 mm。

(3) 桩机就位: 开钻前, 一定要对准桩位标志下钻, 对中误差 < 50 mm。调整桩机, 桩机的主动钻杆要保证垂直, 要求垂直度误差 $< 1.5\%$ 。

(4) 配置水泥浆: 水灰比为 0.75, 凡配置好的水泥浆超过 2 h 未使用的, 应全部废弃, 不得重新使用。

(5) 搅拌成桩: 必须按方案要求的下沉和提升速度进行施工成桩, 每次上升或下沉速度必须均匀。

4.2 施工质量控制

4.2.1 施工准备

(1) 清理施工现场的地下、地面、空中的障碍物, 以利于安全施工。

(2) 依据设计图纸, 做好现场平面布置, 安排好打桩施工流水。

(3) 复核基础轴线, 测量放线定出每个桩位并钉上竹签作标记, 偏差 < 20 mm。

(4) 考虑到桩长要进入较硬土层 1 m, 在桩机上增加一台卷扬机以便施加反压。

(5) 只有经检验合格的水泥才能进场使用。

4.2.2 搅拌成桩

(1) 注意起吊设备的平整度和导向架对地面的垂直度, 要求桩机左右两条轨道的高差 ≥ 10 cm, 以保证桩的垂直偏差不超过桩长的 1.5%。

(2) 注意保证桩位准确, 偏差 ≥ 50 mm。

(3) 水泥掺入量的控制: 水泥掺入比为 15%, 经过计算每根桩的水泥用量为 300 kg (每延米桩长的水泥用量为 60 kg), 结合下沉和提升速度调整好送浆泵的送浆速率, 保证搅拌桩的水泥掺入比达到设计要求。

(4) 如遇停电、停水或其它原因造成断浆, 则必须重新搅拌, 搅拌桩搭接长度 ≥ 500 mm。

(5) 在钻塔上悬挂吊锤, 用以监测搅拌桩的垂直度。

(6) 钻塔上做好标尺标记, 以方便桩长的监测计量。结合地质报告, 根据搅拌桩机电流及下沉速度的变化进行综合判断, 以确保搅拌桩桩长进入第④层土层 1 m。

4.3 质量检测

在施工过程中及施工完成后, 采用了数种检测检验方法, 分述如下。

4.3.1 现场开挖

在施工的前期, 按 0.5% 的比例选择数根搅拌桩进行开挖检查, 开挖深度达到淤泥土层 (深 3 m 左右), 对桩身进行直观的观测, 发现水泥土搅拌均匀、胶结致密、桩体成型较好、桩体强度较高。

4.3.2 轻便触探试验

共计完成 15 组轻便触探试验, 3 d 龄期内的触探击数 (N_{10}) 为 20 ~ 40 击/30 cm, 依据有关文献^[4], 确定桩身强度为 300 ~ 500 kPa。

4.3.3 水泥土强度试验

4.3.3.1 制作试块

在施工过程中, 每天取搅拌而成的原位水泥土浆液制作一组 70.0 mm \times 70.7 mm \times 70.7 mm 的试块, 进行水泥土强度试验。共计制作 30 组试块, 试验结果表明, 28 d 的水泥土抗压强度在 1.10 ~ 3.6 MPa 范围之间, 满足设计要求。

4.3.3.2 钻心取样

由监理单位随机抽取 1% 的水泥土搅拌桩, 利用手持工程钻机, 在桩顶处进行钻心取样, 共计钻取 12 组 $\varnothing 110$ mm 的心样, 送到试验室切割成试块进行抗压试验, 得到桩身的实际抗压强度, 28 d 的水泥土强度在 1.10 ~ 3.6 MPa 范围之间, 满足设计要求。

4.3.4 复合地基载荷试验

按照“地质条件最差、施工质量有怀疑、承载受力最大”的选点原则及有关规范的规定^[1,4], 由设计、监理、勘察等单位综合确定试验点位置, 并由柳州市建设工程质量检测中心完成了 3 点“双桩复合”载荷试验, 结果 (表 1) 表明, 处理后复合地基承载力满足设计要求。

表 1 水泥土搅拌桩载荷试验结果 /kPa

试验点	1 号	2 号	3 号	平均值	特征值
承载力特征值	223	273	269	255	220

4.3.5 沉降观测

按照规范的规定^[5], 在楼房施工过程中和使用过程中进行沉降观测。施工至 ± 0.00 时设置沉降观测点, 以后每增加一层荷载观测一次。楼房竣工后, 按规范规定的条件进行观测, 直至沉降达到稳定。沉降观测结果表明, 无论是最终沉降量还是沉降差均满足规范的规定, 结果见表 2。

表 2 沉降观测结果 /cm

观测点	1 号	2 号	3 号	4 号	极差	平均值
观测结果	0.80	0.20	0.60	0.40	0.60	0.50

4.4 地基处理效果评价

从检验结果看, 无论是现场开挖、轻便触探试验结果、还是水泥土强度试验结果, 均满足设计要求。从复合地基载荷试验结果可以看出, 复合地基承载力有了显著提高, 达到设计要求。从沉降观测结果来看, 最终沉降量、沉降差均满足有关规范的规定, 地基加固效果显著。

截至目前, 楼房已经使用数年, 水泥土搅拌桩复

(下转第 54 页)

3.10 加强技术培训、深化体制改革

当前,工地上施工的桩机多数是属个体或由几个人合伙购置的,其施工人员多为农民工、临时工,基本上没有通过专门的安全、技术培训,也无长期从事之计。考虑到岩土工程量的不断扩大和技术要求的不断提高,建议今后除在有关中专、技校适当增加工程钻探专业,以加速培养技工、机班长和施工管理人员外,各大型施工单位每年应分期分批对其施工人员、特别是机班长进行技术培训,以不断提高他们的操作技术水平;同时,应改革现行某些管理体制,宜规定不同资质施工单位必须具备的职工人数,技术职称配比,并扩大招工比例,逐渐将技术熟练、素质好的临时工转为正式工,以稳定职工队伍。

4 结语

(1)在岩溶地区进行冲(钻)孔灌注桩施工时常易出现各种孔内、质量等事故,因此施工前要有充分的思想准备,不断提高操作人员的技术水平和责任心,掌握常见事故的防治措施;施工中要作到仔细观测,精心操作,发现问题,及时处理。

(2)鉴于岩溶地区地质条件的复杂性和岩土工程本身的不确定性,桩基施工前应充分作好前期勘察,做到有的放矢;并根据场地岩土性状和桩基受力分析精心设计,严格监理,热情服务。作到既安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、保护环境,又尽

可能地减少施工难度,确保施工工期;

(3)加强岩土工程方面的科学研究工作,并将其科研成果尽快转变为生产力;大力加强人才培养和技术培训,造就一批既有理论基础、又有较丰富实践经验的国家注册岩土工程师,尽快实现岩土工程领域与国际接轨,全面实行注册岩土工程师责任制。

参考文献:

- [1] JGJ 94 - 2008, 建筑桩基技术规范[S].
- [2] GB 50007 - 2002, 建筑地基基础设计规范[S].
- [3] GB 50021 - 2001, 岩土工程勘察规范[S].
- [4] 顾宝和,毛尚之,李镜培. 岩土工程设计安全度[M]. 北京:中国计划出版社,2009.
- [5] 雷健,何刚,邓才广. 岩溶地区桩基施工主要事故通病及质量隐患防治对策[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(1): 53 - 56.
- [6] 杨宗仁,史学伟. 沪—蓉高速铁路跨越汉江特大桥桩孔施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(2):47 - 50.
- [7] 周湘,周安全. 关于(建筑桩基技术规范)(JGJ 94 - 94)中某些条款的商榷及修订建议[A]. 桩基工程技术进展[C]. 北京:知识产权出版社,2005. 19 - 23.
- [8] 编写组. 岩土工程施工方法[M]. 辽宁沈阳:辽宁科学技术出版社,1990. 371 - 391.
- [9] 瞿兵. 武汉地区岩溶地层钻孔灌注桩成孔技术研究与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(11):36 - 38.
- [10] 熊绍所,成润军. 岩溶地区钻(冲)孔灌注桩施工的难点及其技术对策[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(8):73 - 75,79.
- [11] 陆祖安,龙立民. 岩溶地层大口径钻孔的防斜治斜实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2002,(1):30 - 31.

(上接第47页)

合地基没有发生任何影响楼房使用安全的事故。实际结果证明,本工程所采用的水泥土搅拌桩地基处理方案及处理结果是合理可靠的。

5 结语

通过上述工程实例的工程实践,说明水泥土搅拌桩应用于高层建筑的地基处理在技术上是可行的,施工过程具有很大的便利性。

经过总结,笔者认为在高层建筑使用水泥土搅拌桩进行地基处理时,应高度重视以下几点问题:

(1)针对地基处理的需要进行地质勘察,尽可能详细地了解场地的工程地质条件,这是进行地基处理方案设计的基础;

(2)在充分利用类似工程施工经验的基础上进行设计计算,利用水泥土配合比试验结果,结合实际经验确定设计方案的相关设计参数,使理论设计与

实际施工完美结合,这是保证地基处理达到预期效果的前提条件;

(3)严格控制施工质量,确保桩长和水泥土桩身强度达到设计要求,这是决定地基处理效果的关键性问题;

(4)载荷试验是判定处理后地基承载力的最可靠的检测方法,沉降观测是检验地基处理效果的最终方法,对高层建筑地基处理,应采取这2种方法做最终的检测和判定。

参考文献:

- [1] JGJ 79 - 2002, 建筑地基处理技术规范[S].
- [2] 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. 260 - 265.
- [3] 龚晓南. 地基处理手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2000. 472 - 473.
- [4] GB 50202 - 2002, 建筑地基基础工程施工质量验收规范[S].
- [5] JGJ 50007 - 2002, 建筑地基基础设计规范[S].