

后压浆钻孔灌注桩施工技术

李友东¹, 杨生彬², 邵卫信³

(1. 河北建设勘察研究院有限公司, 河北 石家庄 050031; 2. 中国地质大学(北京)工程技术学院, 北京 100083; 3. 中冶地勘岩土工程总公司, 河北 三河 065201)

摘要:后压浆技术对于提高桩体的承载能力具有显著的作用,通过某桩基工程成功应用后压浆钻孔灌注桩的工程实例,介绍了后压浆钻孔灌注桩的施工工艺,总结了该技术的工艺流程及施工要点,同时说明后压浆技术对于改善桩侧及桩端阻力的适用性,对于类似工程具有一定的参考价值。

关键词:后压浆; 钻孔灌注桩; 桩承载力

中图分类号: TU473.1⁺4 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2008)04-0049-04

Construction Technology of Post-grouting Cast-in-place Pile/LI You-dong¹, YANG Sheng-bin², SHAO Wei-xin³ (1. Hebei Research Institute of Geotechnique Investigation and Survey, Shijiazhuang Hebei 050031, China; 2. School of Engineering & Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. China Metallurgy Geo-prospecting Soil & Rock Engineering Co., Sanhe Hebei 065201, China)

Abstract: Construction technology of post-grouting was introduced with its successful application in a pile foundation engineering case. The author summed up the process flow and the key points of construction and illustrated the applicability for improving resistance in bottom and lateral pile.

Key words: post-grouting; cast-in-place pile; ultimate bearing capacity of single pile

钻孔灌注桩施工法在桩基工程中占有举足轻重的地位,但通过长期的施工实践发现,传统的施工工法存在很多难以克服的技术难题,比如在成孔过程中孔壁残留的泥皮以及孔底难以清理干净的沉渣,很大程度上减弱了桩体的侧摩阻力和桩端阻力,成为桩基沉降量较大的主要诱导因素,不能最大限度地发挥桩基的承载性能^[1]。后压浆钻孔灌注桩即是针对传统工艺所存在的缺陷而发展起来的一种施工工艺,它是指钻孔成桩后,利用预埋在桩身的注浆管,通过地面压力系统,将以水泥为主剂的固化液(如纯水泥浆、加外加剂及掺合料的水泥浆、超细水泥浆、化学浆液等),经桩端注浆装置均匀地注入桩端地层。根据浆液性状、土层特性和注浆参数等不同,压力浆液对桩端土层、桩端沉渣及桩端附近的桩周土体起到渗透、填充、置换、劈裂、压密及固结等不同作用,通过改变土体的物理力学性能及桩土间边界条件,从而提高桩的承载力以及减少桩基的沉降量^[2]。

本文结合具体的工程实例,系统介绍了后压浆钻孔灌注桩的施工工艺流程及技术特点。

1 工程概述

1.1 工程地质概况

某工业区拟建工程场区地貌单元属山前洪积扇与黄河二级阶地的复合叠加部位,地形平坦开阔,地面高差变化不大,地基土主要为第四系全新统、上更新统黄河冲积和湖积以及山前冲积成因的粘性土和砂类土,岩性由黄褐色~灰色的粉土、粉质粘土和浅灰色~深灰色的细砂以及少量圆砾组成,岩相变化不大,地层相对稳定,场地地层参数及其物理力学性质指标见表1。

表1 土层物理力学性质指标

层号	土层名称	层厚/m	重度/(kN·m ⁻³)	粘聚力/kPa	内摩擦角/(°)	压缩模量/MPa
①	粉土	3.3	19.0	15.5	31.0	11.8
②	细砂	2.1	19.0	18.8	25.0	7.2
③	粉质粘土	1.3	19.3	19.8	18.6	4.6
④	细砂	10	20.0	19.3	30.1	30.4
⑤	细砂	10	20.0	22.4	32.8	25.8
⑥	粉质粘土	1.4	18.9	20.1	14.3	5.0
⑦	细砂	10	19.0	27.3	28.7	25.1
⑧	细砂	8.0	20.0	-	-	27.6
⑨	粉质粘土	6.0	19.0	-	-	8.2

1.2 工程要求

收稿日期:2007-08-21

作者简介:李友东(1978-),男(汉族),江苏滨海人,河北建设勘察研究院有限公司岩土工程公司副经理,岩土工程专业,从事岩土工程设计与施工管理工作,河北省石家庄市建华南大街58号,hbjklyd@sina.com。

由于上部土层主要为承载力较低的粉质粘土和承载力较低、厚度大且具严重液化性的细砂层,不能作为主要建(构)筑物天然地基,拟采用后压浆钻孔灌注桩基础型式。

1.3 桩体设计参数

1.3.1 桩端持力层及桩长的确定

考虑各土层的力学性质及状态,并结合工程桩的施工桩长,以⑤层细砂层作为桩端持力层,根据试桩成果确定桩长为 23 m,桩长范围内土层分布情况见表 2。

表 2 土层分布情况

地层	层厚/m	层底标高/m
①	3.3	1111.0
②	2.1	1108.9
③	1.3	1107.6
④	10	1097.6
⑤	10	1087.6

1.3.2 桩体主要设计参数

桩径 800 mm,桩身混凝土强度等级为 C30,设计单桩竖向承载力为 2500 kN,其他主要设计参数见表 3。

表 3 试桩及锚桩主要设计参数表

桩距 /m	桩径 /mm	桩长 /m	桩身配筋		
			主筋	螺旋箍筋	加劲筋
2	800	23	13 Φ 16	Φ 8@100	Φ 16@1500

注:螺旋箍筋距桩顶 3.0 m 范围内间距为 100 mm,3.0~7.0 m 范围内为 150 mm,其余范围内间距为 250 mm。

2 后压浆钻孔灌注桩施工技术

2.1 施工设备

本工程桩孔采用意大利土力公司(SOLL MEC)生产的 R-416 型旋挖钻机成孔。

2.2 施工工艺及质量控制

后压浆钻孔灌注桩施工工艺流程见图 1。

2.2.1 旋挖成孔

钻机对位以实际桩位引出的四角桩来控制。成孔前先埋设护筒,其直径比桩径大 20 cm,高度 3.0 m,埋设偏差 ≥ 2 cm,并保证护筒垂直。护筒就位后,周围填土、捣实,避免漏浆。钻进过程中泥浆面不得低于护筒底面,提钻后护筒内泥浆液面应高出护筒底面至少 1 m^[3]。由于孔径较小且以砂层为主,钻进时每次进尺控制在 50~80 cm。另外,下放和提升钻头时速度要平稳,以免强烈撞击造成孔壁坍塌。成孔达到设计深度后要用捞砂钻头清除孔底沉渣,沉渣厚度控制在 100 mm 以内。

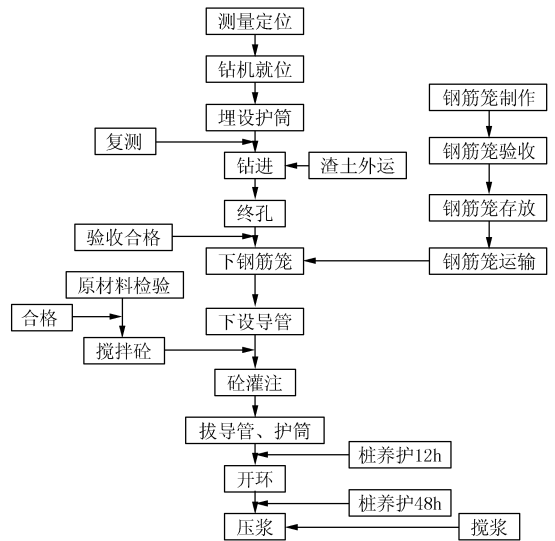


图 1 施工工艺流程图

2.2.2 泥浆制备

旋挖钻进过程采用泥浆护壁。根据场地地层条件,本工程质量控制的重点在于对孔底沉渣的控制,而沉渣控制的关键环节在于对成孔所用泥浆质量的控制。泥浆主要采用优质膨润土、纯碱、纤维素加清水搅拌而成,其参数确定遵循以下原则:

(1) 在钻进过程中能满足整个成孔过程的护壁要求;

(2) 成孔后,在等待混凝土浇注时间内,孔底沉渣厚度不超过规范和设计技术要求(≤ 100 mm)。

根据上述原则,结合本工程地层特点,配置泥浆的材料比例为膨润土 60~70 kg/m³、纯碱 2 kg/m³、纤维素 0.1~0.25 kg/m³;施工用泥浆参数为密度 1.06 kg/L,粘度 18 s,含砂率 $< 2\%$ 。

上述参数尚需结合具体情况进行调整,对使用过的泥浆须经过旋流除砂器除砂重新调制后才能再投入使用。

2.2.3 钢筋笼制作

钢筋笼制作前,首先应进行原材料复验并进行焊接试验,合格后及时清除钢筋表面污垢和锈蚀,并将主筋调直。

钢筋笼制作时,主筋接头应按 50% 错开,接头间距不小于 800 mm。主筋采用双面搭接焊,Ⅱ级钢焊接采用 E50 焊条,Ⅰ级钢焊接采用 E43 焊条。为防止钢筋笼在运输、吊装过程中发生变形,钢筋笼分两节制作,并采用两点和三点起吊。钢筋笼安放允许偏差为横向 ≤ 20 mm,纵向 ≤ 50 mm。

钢筋笼制作允许偏差见表 4。

2.2.4 水下浇注混凝土

表 4 钢筋笼制作允许偏差表

钢筋笼长度/mm	钢筋笼直径/mm	主筋间距/mm	箍筋间距/mm
±50	±10	±10	±20

采用商品混凝土,水下混凝土浇注采用导管法。本工程采用的导管内径为 250 mm,导管下设长度根据实际孔深确定,下设完成后导管下端距孔底 30 ~ 50 cm。如果沉渣厚度超标,应进行二次清孔,待各项指标满足要求后方可进行浇注。

初灌量是水下混凝土灌注的关键指标,初灌后导管埋深 < 1.0 m^[4],本工程单桩初灌量 < 1.6 m³,初灌时使用球胆作为隔水塞。

在灌注过程中,及时测量混凝土面上升高度,准确计算导管埋置深度,从而确定导管拆卸长度。本工程要求最小埋管深度 < 2.0 m,最大埋管深度 > 7.5 m。

灌注前作好组织协调工作,保证混凝土连续灌注,每根桩力争在 2 h 内完成并作好灌注记录。为确保桩顶混凝土质量,在桩顶设计标高基础上超灌一定量混凝土,本工程超灌高度控制在 50 cm。混凝土在灌注过程中各桩均连续灌注,未出现异常现象。

2.3 后压浆施工关键技术

对于后压浆钻孔灌注桩,后压浆施工是其最关键的工序,在施工中主要包括以下关键环节:

2.3.1 压浆管布置

本工程为桩底、桩侧压浆,根据地层条件和施工经验,布置二道压浆管,桩侧、桩底各一根,分二段注浆。压浆管的布置见图 2。

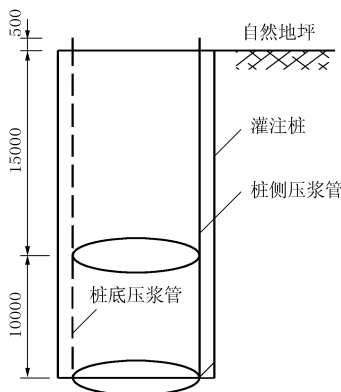


图 2 压浆管布置示意图

2.3.2 浆液配比

压浆浆液采用材料包括:强度等级为 32.5 MPa 的普通硅酸盐水泥、高效减水剂和膨胀剂。浆液水灰比为 0.65。

2.3.3 压浆量控制

灌注完成 12 h 后进行“开环”,48 h 后按自下而上的顺序逐管依次及时进行压浆。

压浆量为后压浆施工的主要控制指标,本工程单桩压浆量为 1.5 m³。压浆终止条件以压浆量控制为主,压力控制为辅。压力一般不超过 1.5 MPa。

根据施工记录,本文列出 10 根桩的详细施工参数,见表 5。

表 5 部分桩施工参数表

序号	孔深 /m	灌注砼方量/m ³		充盈系数	后压浆量 /m ³	稳定压力 /MPa
		理论	实际			
1	25.3	11.56	14	1.21	1.7	1.0 ~ 1.2
2	25.0	11.56	15	1.29	1.7	1.1 ~ 1.2
3	25.1	11.56	14	1.21	1.7	1.0 ~ 1.2
4	28.1	13.56	16	1.18	1.7	1.0 ~ 1.2
5	28.0	13.56	16	1.18	1.7	1.0 ~ 1.2
6	28.0	13.56	16	1.18	1.7	1.0 ~ 1.2
7	28.0	13.56	16	1.18	1.7	1.0 ~ 1.2
8	28.0	13.56	15	1.11	1.7	1.0 ~ 1.2
9	27.9	13.56	16	1.18	1.7	1.0 ~ 1.2
10	28.1	13.56	16	1.18	1.7	1.0 ~ 1.2

3 工程应用效果

施工结束后,根据相关规范要求进行了单桩竖向静载荷试验和高应变动力试验,其中单桩竖向静载荷试验主要确定天然状态下单桩的竖向极限承载力,而高应变动力试验是为了确定在动荷下单桩的极限承载力并检验桩身结构的完整性^[5]。

3.1 单桩竖向静载荷试验

采用锚桩反力梁法,整个试验系统由反力装置系统、加载系统、荷载控制及测量系统组成。试验采用慢速维持荷载法。限于篇幅,本文仅给出一根试桩的试验结果,其他试桩的试验结果均满足设计要求。试桩的 Q-s 曲线及 s-lgt 曲线分别见图 3、图 4。

3.2 高应变动力试验

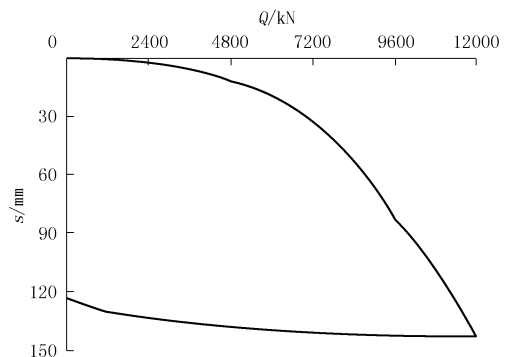


图 3 试桩的 Q-s 曲线

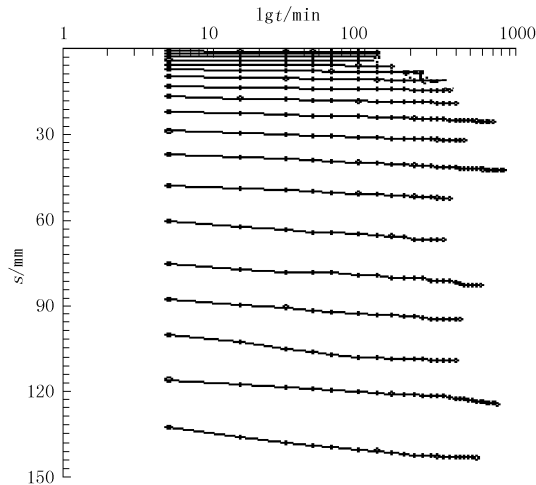


图 4 试桩的 $s-lgt$ 曲线

注:从上到下依次是 1200、1800、2400、3000、3600、4200、4800、5400、6000、6600、7200、7800、8400、9000、9600、10200、10800、11400、12000 kN。

试验成果见表 6。从表中数据可以看出,桩侧及桩端阻力发挥比较均衡,充分说明后压浆技术对于改善桩体受力的适用性。

4 结语

该工程成功应用后压浆技术,克服了钻孔灌注

(上接第 46 页)

应力波衰减较慢,曲线平滑,对深部缺陷识别较好,对浅部缺陷也有反应。我们一般先用尼龙锤普测,再用铁锤对不正常的曲线进行复测。如图 6、9 所示曲线,采用尼龙锤作为激震器,对浅部缺陷往往采集不到好的曲线,也就不好进行判断,容易误判或漏判。检测人员除了必须掌握反射波法的理论知识,熟悉仪器操作及信号采集技术,如采用不同的激震材料,改变采样间隔,变换激震点和传感器安装位置

(上接第 48 页)

4 结论及建议

(1) 无论复合地基承载力高与低,只要桩端持力层仍是软土,深搅桩就是悬浮桩,地基压缩变形就大。

(2) 深搅桩处理只是对软土地基的部分加固,复合地基根本上还是软土地基。地基基础设计时应以变形控制为主,承载力作为验算指标,满足变形和承载力双控要求。

(3) 工程设计时应根据当地同类场地土,同类型建筑的长期观测沉降结果,参照变形计算值确定

表 6 高应变试验成果汇总表

桩号	单桩极限承载力/kN	所占比例/%		模拟静载沉降量/mm			
		侧摩阻力	端阻力	桩侧	桩端		
Z1	8026.5	4717.2	3309.3	58.8	41.2	20.8	17.0
Z2	5732.8	3164.5	2568.3	55.2	44.8	18.2	12.5
Z3	7501.6	4523.5	2978.1	60.3	39.7	20.1	16.4

桩传统施工工艺的弊端,最大限度地发挥了桩体的承载性能,通过试桩的试验结果说明后压浆技术可以有效提高桩体的侧摩阻力和桩端阻力,从而有效地控制桩基沉降量。该技术施工重点是压浆量及压浆压力的合理确定,今后可以继续相关的试验研究,并结合更多的工程实践,使得该技术得以推广应用。

参考文献:

- [1] 编委会. 桩基工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.
- [2] 龙琼, 张刚. 钻孔灌注桩桩端压力注浆施工技术简介[J]. 重庆交通学院学报, 2006, 25(4): 49-52.
- [3] 周代表. 软土地基超长桩工程性状分析[J]. 岩土力学, 2004, 25(增): 87-90.
- [4] JGJ 94-94, 建筑桩基技术规范[S].
- [5] 罗骥先. 桩基工程检测手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.

等,还要对反射波法适用性要有充分认识,了解影响反射波法检测准确性的各种因素,掌握正确的分析方法,不断积累工程检测经验,提高检测水平,才能为建设工程提供准确可靠的检测结果。

参考文献:

- [1] 罗骥先. 桩基工程检测手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [2] JGJ/T 135-2001, 复合载体夯扩桩设计规程[S].
- [3] JGJ 106-2003, 建筑基桩检测技术规范[S].

最终变形量,即采用工程类比法设计。预留足够沉降,保证建筑物正常功能的使用。

(4) 载荷试验承载力不宜直接作为设计依据,可用于判别地基土的相对强度。沉降计算公式不确定因素较多,计算值与实际值相差较大。各地区应通过大量的实践,结合多种试验手段建立起地区性、单元性的软土地基及各类复合地基的承载力和变形沉降经验值,作为工程设计的可靠依据。

参考文献:

- [1] JGJ 79-2002, J220-2002. 建筑地基处理技术规范[S].
- [2] GB 50007-2002, 建筑地基基础设计规范[S].