

软土地基高层建筑钻孔灌注桩桩底后压浆技术的应用

徐 军

(宁波大学 建筑设计研究院, 浙江 宁波 315021)

摘要: 采用钻孔灌注桩桩底后压浆技术来解决普通钻孔灌注桩因沉渣造成桩端阻力偏小的难题。对某工程同场地内的钻孔灌注桩桩底后压浆技术与预应力混凝土管桩、普通钻孔灌注桩进行施工可行性、承载力等的对比试验。工程试验结果表明, 在同等工程地质条件下, 采用钻孔灌注桩桩底后压浆技术能大幅度提高单桩承载力, 减少沉降, 且造价比采用普通钻孔灌注桩的可节省10%以上, 具有良好的经济效益。

关键词: 钻孔灌注桩桩底后压浆技术; 承载力; 软土地基

中图分类号: TU473

文献标识码: A

文章编号: 1001-5132 (2011) 03-0067-04

后注浆桩又称后压浆桩, 为桩端压力注浆桩、桩侧压力注浆桩和桩端桩侧联合注浆桩的统称。桩端后注浆技术是注浆技术在桩基工程中的一个应用, 具有适应性广、施工方法灵活、注浆设备简单、技术经济效果显著及便于普及推广等优点。国内外的研究应用情况也证明该技术可以减少桩数或减小桩径和桩长, 并有效提高基桩承载力和可靠性, 工程量可相应减少40%~120%, 工期也会随之相应缩短, 从而节约造价30%以上, 有的甚至能节约66%^[1-6]。目前桩端后注浆技术没有统一的设计、施工规范可循, 桩端后注浆桩承载力的提高程度, 以及注浆的影响因素等问题还缺乏深入的理论研究和经验方面的认识^[1]。

针对宁波地区软土的特性, 笔者分析总结了后压浆技术在宁波地区的应用, 提出适合宁波软土地质条件的压浆工艺和压浆参数, 并对其经济性、可靠性、适用性等问题进行了对比研究, 为其推广应用提供可靠的技术保障。

1 工程概况

某高校行政会展中心大楼, 由12层主楼、3层裙楼和1层六级人防地下室组成。长约81.3 m, 宽54.9 m, 总高度为49.5 m, 建筑面积为14 285 m²。结构型式为高层框架剪力墙结构, 结构安全等级为

二级, 结构合理使用年限为50年。建筑抗震设防类别为丙类, 抗震设防烈度为7度, 抗震设计基本地震加速度值为0.10 g, 框架抗震等级为三级, 剪力墙抗震等级为二级。2004年7月完成设计, 2004年9月开工, 2005年7月主体结顶, 2006年6月落成并投入使用。

本场地土类型为软弱场地土, 场地类别为IV类, 场地埋深20 m内不存在引起液化的饱和粉土和砂土层。场地地下水对混凝土结构和钢筋混凝土结构均无腐蚀性。地基土厚度及物理力学指标详见表1。

由于考虑工期、经济性以及当地相对成熟的施工经验, 第1次设计时以第8层(中粗砂夹角砾)作为桩端持力层, 采用了长51.0 m、桩径 Φ 550 mm、单桩竖向承载力特征值为1 910 kN的预应力混凝土管桩, 桩总数为193根; 为不影响校园正常的教学环境, 决定采用静压法的沉桩方式。在前5枚桩施工过程中, 仅有2枚桩的桩长达到设计要求, 另外3枚桩在约36 m的土层处, 压桩力已接近极限。经分析《工程地质勘察报告》后, 发现该3枚桩的桩尖均位于5-2层土中, 此层土中夹有粉砂, 且实测标贯击数为34.0, 表明已处于密实状态, 这也是导致预应力混凝土管桩静压沉桩困难的直接原因。因此, 决定采取钻孔灌注桩桩底后压浆技术解决

表1 地基土厚度及物理力学指标

土层	土层名称	层厚/m	$\omega/\%$	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	e	C/kPa	$\phi/(\text{°})$	E_s/MPa	f_{ak}/kPa	预制桩/kPa		钻孔灌注桩/kPa	
										q_{sa}	q_{pa}	q_{sa}	q_{pa}
1-2	粘土	0.80~1.50	28.5	19.7	0.788	32.4	19.4	5.62	70	15	-	13.5	-
2-1	淤泥质粉质粘土	12.00~16.00	37.7	18.3	1.067	12.5	18.8	3.72	50	6	-	5.4	-
2-2	淤泥质粘土	7.50~13.20	47.3	17.5	1.316	15.8	11.3	2.64	50	6	-	5.4	-
4	淤泥质粘土	1.60~4.10	41.1	18.2	1.133	13.0	16.3	3.65	80	10	-	9.0	-
5-1	粉土或粉质粘土	7.00~10.70	26.9	20.0	0.731	53.3	23.7	10.65	210	25	1 000	22.5	400
5-2	粉质粘土夹粘质粉土	3.60~8.60	26.2	19.8	0.725	18.5	24.7	8.02	180	30	1 100	27.0	440
6	粉质粘土	0.80~3.10	27.2	19.7	0.757	42.6	22.5	7.74	160	20	-	18.0	-
7-1	粘土	1.40~4.30	26.3	20.0	0.725	55.8	22.2	10.80	230	30	1 200	27.0	480
7-2	粉细砂夹粉质粘土	3.20~6.30	24.3	20.2	0.673	36.5	24.5	8.84	220	28	1 100	25.2	440
8	中粗砂夹角砾	7.40~9.50	-	-	-	-	-	15.00	240	45	1 500	40.5	600
9	粉质粘土	未钻穿	27.4	19.6	0.781	33.5	12.5	9.03	200	22	-	19.8	-

预应力混凝土管桩静压沉桩困难的问题。

2 钻孔灌注桩后压浆技术应用

2.1 技术原理

桩端压力注浆桩是指钻孔、冲孔和挖孔灌注桩在成桩后,通过预埋在桩身的注浆管,利用压力作用,经桩端的预留压力注浆装置(如预留压力注浆室,或预留承压包、注浆空腔、注浆通道,或预留特殊的注浆装置等)向桩端地层均匀地注入能固化的浆液(如纯水泥浆、水泥砂浆、加外加剂及掺合料的水泥浆、超细水泥浆、化学浆液等);视浆液性状、地层特性和注浆参数等不同条件,压力浆液对桩端土层、中风化与强风化基岩、桩端虚土及桩端附近的桩周土层起到渗透、填充、置换、劈裂、压密及固结或多种形式的组合作用,改变其物理化学力学性能及桩与岩、土间的边界条件,消除虚土隐患。在成桩后通过高压注浆压密并固结桩底沉渣,扩大桩头、桩端附近桩侧摩阻力提高,桩底部强度提高导致减少桩底变形,从而大幅度提高桩的竖向承载力、减小沉降。

2.2 后压浆设计

本工程仍以第8层(中粗砂夹角砾)作为桩端持力层,采用50.0m的桩长,C30泥浆护壁钻孔灌注

桩,桩底高压注浆。文献[2]提出桩端承载力计算公式为 $Q_{pk} = \pi(R+r)^2 q_{pa}$,笔者认为有效扩散半径 r 的取值除了该文献中“表1”之外,显然更应该考虑桩距的因素, q_{pa} 应取预制桩的桩端土承载力。这样,经计算并作适当折减后,确定桩径 $\Phi 600$ mm的单桩竖向承载力特征值为2800kN,桩径 $\Phi 700$ mm的单桩竖向承载力特征值为3500kN。根据荷载情况,以经济合理的原则,最终确定 $\Phi 600$ mm的桩为113根, $\Phi 700$ mm的桩为24根,包括先已施工完成的5枚预应力混凝土管桩,总桩数为142枚。

2.3 后压浆施工参数及流程

本工程在施工中,注浆管的清水开塞(压力一般为2MPa)在桩混凝土初凝时(即桩混凝土浇灌后约10~12h)进行,注浆一般在桩身混凝土浇灌完成后7~14d内进行;注浆用的水泥用量约为1.5~2.0t,水泥浆的水灰比取0.7~0.8;正常情况下注浆压力一般为1~3MPa,随着注浆量的增加,有时会呈上升趋势达到4~5MPa而平衡;注浆的稳定时间一般为3~5min。注浆管底部伸出钢筋笼底150mm,上端高出地面200mm;注浆管的接管节头采用套管螺纹连接,套管规格为内径 $\Phi 38$ mm \times 2.5mm,长度为150mm,注浆管在伸出钢筋笼底的部

分, 端口敲扁、封口, 管壁钻 11 个 $\Phi 8 \text{ mm}$ 孔(梅花形布置), 用自行车内胎将注浆出浆口封套并用铅丝捆扎固定. 桩底注浆管如图 1 所示.

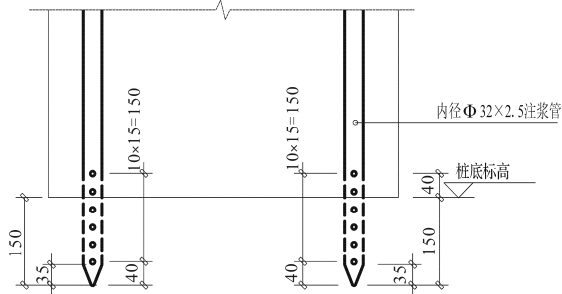


图 1 桩底注浆管示意(单位: mm)

后压浆技术的工艺流程为: 注浆管制作 按普通钻孔灌注桩工艺钻孔、成孔、清孔 注浆管与孔内钢筋笼同步安装 桩身混凝土浇灌 注浆设备安装 清水开塞 注浆 注浆稳定 注浆设备拆除、清洗.

3 桩基检测结果及经济性比较

3.1 桩基监测结果分析

桩基施工完成后, 分别对桩基进行了低应变、高应变和静载试验.

(1) 低应变检测: 数量为 5 枚预应力混凝土管桩, 47 枚 $\Phi 600 \text{ mm}$ 钻孔灌注桩, 20 枚 $\Phi 700 \text{ mm}$ 钻孔灌注桩, 共 72 枚桩. 检测结果为 I 类桩 14 枚, II 类桩 57 枚, III 类桩 1 枚.

(2) 高应变检测: 数量为 2 枚未到达设计标高的预应力混凝土管桩和 2 枚 $\Phi 600$ 钻孔灌注桩. 检测结果均符合设计要求.

(3) 静载试验: 设计确定试桩的混凝土强度等级为 C40, 且桩顶 18.0 m 范围内的配筋调整为纵筋 18 $\Phi 16 \text{ mm}$ 、箍筋 $\Phi 6@150 \text{ mm}$ (螺旋箍)、顶部 600 mm 范围内设置桩帽, 配筋为 $\Phi 12@150 \text{ mm}$ (纵横). 注浆掺 5% 的早强剂. 数量为 3 枚 $\Phi 600 \text{ mm}$ 钻孔灌注桩(桩号 19[#]、54[#]、125[#]均注浆), 2 枚 $\Phi 700 \text{ mm}$ 钻孔灌注桩(桩号 27[#]注浆, 106[#]预留注浆管暂未注浆、作为对比试验), 共 5 枚桩, 详见表 2, 检测结果的 $Q-s$ 曲线如图 2~图 4 所示.

从图 2~图 4 可以看出:

(1) 54[#]桩实测最大试验荷载为其竖向承载力特征值 2.4 倍时, 其沉降量也仅为 26.10 mm, 且未出现极限荷载特征点.

(2) 27[#](注浆)、106[#](预留注浆管暂未注浆)作为同为 $\Phi 700 \text{ mm}$ 钻孔灌注桩的对比试验, 分别施加了 9 级和 10 级荷载, 实测最大试验荷载均为 7 000 kN, 对应的桩顶总沉降量为 11.02 mm 和 41.29 mm, 注浆效果非常明显、单桩竖向承载力得到了明显提高. 106[#]桩 $Q-s$ 曲线已出现极限荷载特征点, 尽管该桩暂未注浆, 但由于受相邻 2.70 m 的 1 枚已注浆桩穿浆的影响, 其单桩竖向承载力比预期的偏高.

(3) 钻孔灌注桩后压浆技术对控制桩基沉降、

表 2 静载试桩概况表

桩号	桩径 Φ/mm	注浆情况	单桩竖向承载力特征值/kN	最大试验荷载/kN	加载级数	最大试验荷载时的桩顶总沉降量/mm	测试结果
19 [#]	600	已注浆	2 800	5 600	9 级	9.83	达到设计要求
54 [#]	600	已注浆	2 800	6 720	11 级	26.10	大于设计要求
125 [#]	600	已注浆	2 800	5 600	9 级	18.55	达到设计要求
27 [#]	700	已注浆	3 500	7 000	9 级	11.02	达到设计要求
106 [#]	700	暂未注浆	3 500	7 000	10 级	41.29	6 400 kN

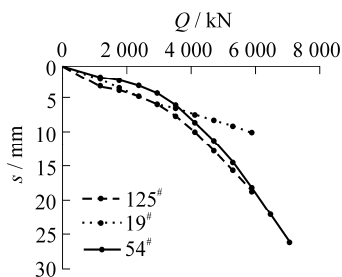


图 2 $\Phi 600 \text{ mm}$ 钻孔灌注桩(注浆) $Q-s$ 曲线

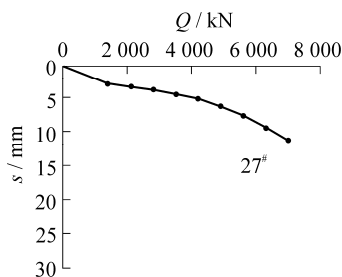


图 3 $\Phi 700 \text{ mm}$ 钻孔灌注桩(注浆) $Q-s$ 曲线

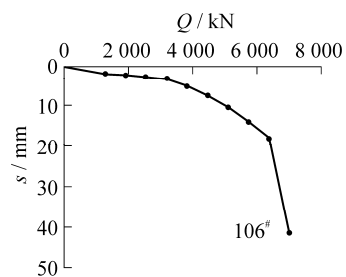


图 4 $\Phi 700 \text{ mm}$ 钻孔灌注桩(未注浆) $Q-s$ 曲线

提高承载力效果明显。

3.2 3种桩型的经济、技术性分析

通过对预应力混凝土管桩、钻孔灌注桩桩底后压浆和普通钻孔灌注桩三种桩型经济指标的比较分析,基础部分的造价比例为1.0:1.60:1.77。虽然,预应力混凝土管桩具有造价低、工期短等显著的优点,但试桩结果表明本工程无法应用;通过对同直径、同桩长的普通钻孔灌注桩和采用桩底后压浆技术的钻孔灌注桩的计算,发现单桩竖向承载力前者仅为后者的55%左右,桩的混凝土抗压特性不能得到充分发挥,桩的数量前者比后者增加了约35%,承台更需加大,而且工期相应延长,因此本工程也未采用。

4 结论

(1) 桩基类型选择时,应充分考虑施工可能性。对预制桩、静压的沉桩方式应考虑大配重的桩架在施工时对周边建、构筑物的影响,土层中如存在处于密实状态、且厚度较厚的粉土,将有可能使施工无法进行;锤击的沉桩方式除应考虑周边环境是否允许外,还应考虑土层中是否存在端阻力较大且厚度较厚的砂土层,施工时如桩锤选择不合适,往往无法穿越该层土,最后导致施工无法继续。

(2) 钻孔灌注桩桩底后压浆技术不但克服了普通钻孔灌注桩因沉渣的原因而使端阻力大幅折

减的缺点,而且还使桩头扩大,从而使单桩竖向承载力大幅提高,对于桩端持力层为粗粒土时,增幅为50%~260%,对于桩端持力层为细粒土时,增幅为14%~138%^[1]。随之带来了减少桩数、减小承台、节约造价、缩短工期等经济、社会效益。

(3) 钻孔灌注桩桩底后压浆技术在施工过程中各责任主体应明确责任、各负其责,互相督促。

(4) 在国家和行业部门未制定设计规范、标准前,设计时宜通过试桩确定单桩竖向承载力。

参考文献:

- [1] 沈保汉. 后注浆技术经济效益[J]. 工业建筑, 2001, 12: 70-72.
- [2] 季秀卿, 赵政. 后压浆提高桩承载力的机理分析及设计计算[J]. 山西建筑, 2004, 30(10):28-29.
- [3] 刘观发. 桩底后压浆技术在工程中的应用[J]. 水运工程, 2004(3):37-39.
- [4] 董俊顺. 桩底后压浆工艺提高基桩承载力的实践[J]. 安徽建筑, 2006(1):65-66.
- [5] 张忠苗, 张乾青. 后注浆抗压桩受力性状的试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(3):475-482.
- [6] 康景文, 孟贵林, 李圣. 昔格达泥岩中后压浆冲孔灌注桩承载力研究[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(增 2): 123-126.
- [7] JGJ94-2008. 建筑桩基技术规范[S].

Application of the Bored Pile Post-grouting Technology in High-rise Buildings on Soft Soil Ground

XU Jun

(Architectural Design and Research Institute, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: By addressing the problems with carrying out static pressure pile-driving for prestressed concrete pipe in some construction sites, this article describes the application of bored pile post-grouting technology. In the proposed design, the construction and the field test of the bored pile post-grouting, quality evaluation results of the pile foundation and bearing capacity eigenvalues are obtained. The results show that under the equal conditions, for prestressed concrete pipe and bored cast-in-place pile, the use of the bored pile grouting techniques can greatly improve bearing capacity, reduce settlement, and save cost up to 10%, promising good economic returns.

Key words: soft soil ground; bored pile; post-grouting technology; bearing capacity

(责任编辑 章践立)