

全夯式扩底灌注桩在高层建筑基础中的应用

付 波, 黄志广

(江西省建筑设计研究总院, 南昌 330046)

[摘要] 介绍了南昌地区某高层住宅基础采用全夯桩替代嵌岩桩的设计过程。与传统嵌岩桩相比,全夯桩具有施工工艺简单、施工速度快及工程造价低等优点。并对全夯桩进行了桩基检测及沉降观测,结果表明其桩身质量、桩基承载力及桩基沉降均满足规范要求,从而验证了全夯桩作为高层住宅基础的安全可靠性和经济合理性,拓宽了全夯桩在高层建筑基础中的应用范围。

[关键词] 全夯桩; 高层建筑; 基础应用

中图分类号: TU473.14 文献标识码: A 文章编号: 1002-848X(2013)01-0100-03

Application of all-course ram-compaction pile in the high-rise building foundation

Fu Bo, Huang Zhiguang

(Jiangxi Province Architectural Design & Research Institute, Nanchang 330046, China)

Abstract: The design of a high-rise residential foundation in Nanchang was introduced and all-course ram-compaction pile was used instead of rock-socketed pile. Compared with the traditional rock-socketed pile, all-course ram-compaction pile has some advantages such as simple construction process, fast construction speed and low construction cost. The results of pile testing and settlement observation can meet the requirements of specification in pile quality, pile bearing capacity and pile settlement. So the all-course ram-compaction pile used in the high-rise residential foundation is proved to be feasible in safe reliability and economy rationality. The all-course ram-compaction pile can be further applied in the high-rise building foundation.

Keywords: all-course ram-compaction pile; high-rise building; foundation application

0 引言

全夯式扩底灌注桩(简称全夯桩)是在普通扩底桩的基础上经改进扩桩设备和成桩工艺而形成的一种桩型。通过对桩端和桩身的反复夯实,避免了扩底桩在扩大头附近出现临空面和松动区导致桩侧阻力削弱的现象^[1],具有桩身混凝土较完整、承载力较高等诸多优点,在软弱地基中的多层和小高层建筑中广泛采用。但全夯桩能否在某种程度上替代在高层建筑基础中常用的嵌岩桩则缺乏静载试验资料和成功的工程实践。通过某高层住宅基础的工程设计实例,对两种桩型的应用进行了分析和对比。

1 全夯桩工法简介及适用条件

1.1 工艺特征

全夯桩的施工工艺是采用双管套和夯击成孔,沉管达到设计深度后抽出内管,在外管内灌注一定高度的混凝土,插入内管并不断锤击内管,使外管内混凝土夯挤出管外,形成圆柱形扩大头;然后抽出内管,灌注桩身混凝土,再插入内管并多次重锤低击,与此同时不断上拔外管,把混凝土从外管内夯挤出管外,产生二次挤土效应,最终形成桩身直径比外管直径稍大且混凝土密实的桩。

1.2 技术创新及技术特点

(1) 采用电动吊锤取代柴油锤,大大加强了夯

扩能力,以低锤密击取代锤头自动施压,全程夯扩,避免普通夯扩桩常发生的质量通病,从而保证桩体的完整性。

(2) 产生二次挤土效应,形成比外管直径稍大且混凝土夯击密实的桩体,显著提高桩体混凝土的质量,提高了基桩工作条件系数。

(3) 通过桩身混凝土的不断扩挤使其与桩周土咬合得更加紧密,桩身形成“玉米棒”或“糖葫芦”状,使桩侧摩阻力得到极大提高,大幅度提高了单桩承载力。

1.3 工程适用条件

全夯桩普遍适合于目前沉管灌注桩、普通夯扩桩、管桩、钻孔灌注桩等桩型适用的场地。由于全夯桩可以克服淤泥、流砂层对桩身混凝土造成的缩颈和断桩问题,故特别适合于上部为各类软弱岩土层、采用沉管灌注桩或普通夯扩桩易形成质量缺陷的场地。

2 工程概况及地质条件

某高层住宅位于南昌象湖小区内,地上 25 层,总高 75.45m,地下 1 层,层高 4.8m,总建筑面积

作者简介:付波,一级注册结构工程师,高级工程师,Email: fubowelcome@163.com。

10 659m²。采用钢筋混凝土剪力墙结构体系,荷载总重为 216 094kN(标准值)。

工程场地地貌类型属赣江冲积平原地貌,在所揭露的 27.5m 范围内地基土属第四系全新统冲积层,主要由素填土、淤泥、黏土、砂土及泥质粉砂岩层组成,根据地基土的特征、成因年代及物理力学性质的差异可划分为 7 个主要层次。本场地震基本烈度为 6 度,属 II 类场地。根据地勘报告的结论与建议,工程拟采用嵌岩桩基础,以层⑦中风化泥质粉砂岩层为持力层,并嵌入该层不小于 2.5 倍桩径。地层与桩型剖面见图 1。

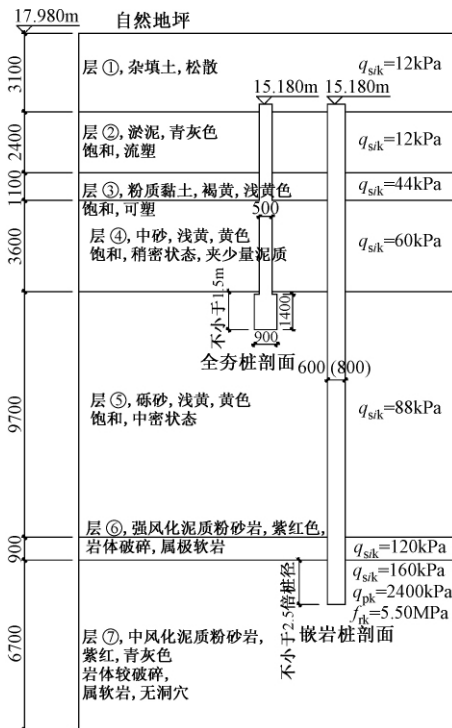


图 1 地层情况及桩型剖面

3 桩型及持力层的选择

3.1 嵌岩桩基础

根据《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008),按下式计算岩石单轴饱和抗压强度确定单桩竖向极限承载力标准值:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{rk} = u \sum q_{sik} l_i + \zeta_s f_{rk} A_p \quad (1)$$

根据式(1)算出,φ600 的嵌岩桩单桩竖向极限承载力标准值为 4 466kN,其对应的单桩竖向承载力特征值为 2 233kN; φ800 的嵌岩桩单桩竖向极限承载力标准值为 6 830kN,其对应的单桩竖向承载力特征值为 3 415kN。

按照下式计算以桩身强度控制的竖向承载力设计值:

$$N \leq \psi_c f_c A_p \quad (2)$$

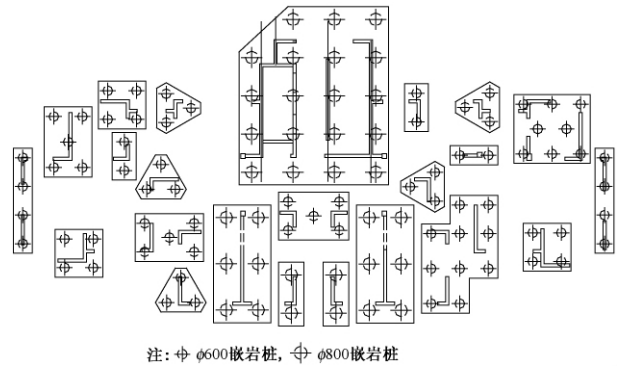


图 2 嵌岩桩布桩图

其中基桩成桩工艺系数 ψ_c 取 0.7。

根据式(2),当桩混凝土为 C30 时,φ600 的嵌岩桩桩身承载力设计值为 2 829kN,其对应的单桩竖向承载力特征值为 2 263kN; φ800 的嵌岩桩桩身承载力设计值为 5 029kN,其对应的单桩竖向承载力特征值为 4 023kN。

嵌岩桩作为南昌地区高层建筑常用的一种桩型,由于桩径大、单桩承载力高而静载试桩困难,根据以往工程经验,承载力多以桩身强度控制,故本工程 φ600 的嵌岩桩单桩承载力特征值定为 2 250kN,φ800 的嵌岩桩单桩承载力特征值定为 4 000kN,其桩型剖面见图 1,布桩见图 2。

3.2 全夯桩基础

采用桩身直径为 500mm、扩底直径为 900mm 的全夯桩,根据江西省级工法标准《全夯式扩底灌注桩技术规程》,当按土的物理指标与承载力参数之间的经验关系确定单桩竖向极限承载力标准值时,按下式计算:

$$R_a = \beta (q_{pa} A_p + U_p \sum q_{sia} L_i) \quad (3)$$

其中全夯桩夯实扩挤综合提高系数 β 取 1.4。

根据式(3),单桩竖向极限承载力标准值 R_a 为 2 440kN,其对应的单桩竖向承载力特征值为 1 220kN。根据以往工程经验,该值偏低,故采用非工程桩静载试桩来确定 R_a 值,试桩结果见表 1,试桩 $Q-s$ 曲线及 $s-lgQ$ 曲线见图 3。

试桩静载结果

表 1

桩号	桩径/mm	扩底直径/mm	桩长/m	最大沉降量/mm	极限承载力/kN	最大回弹量/mm
1#	500	900	8.9	15.04	3 520	4.10
2#	500	900	8.9	13.34	3 520	3.30

从表 1 和图 3 可以看出,两根试桩在加载到 3 520kN 时,桩顶总沉降量均小于 40mm, $Q-s$ 曲线呈缓变形, $s-lgQ$ 曲线尾部未出现陡降直线段,单桩竖向极限承载力均达到 3 520kN,故其单桩竖向承载

力特征值为 1 760kN。

以桩身强度控制的竖向承载力设计值按照下式计算：

$$Q \leq \psi_c f_c A_p \quad (4)$$

其中基桩成桩工艺系数 ψ_c 取 0.8。

根据式(4),当桩混凝土等级为 C30 时,φ500 的全夯桩桩身承载力设计值为 2 246kN,其对应的单桩竖向承载力特征值为 1 797kN。根据试桩结果,φ500 的全夯桩单桩承载力特征值定为 1 760 kN,桩型剖面见图 1,布桩见图 4。

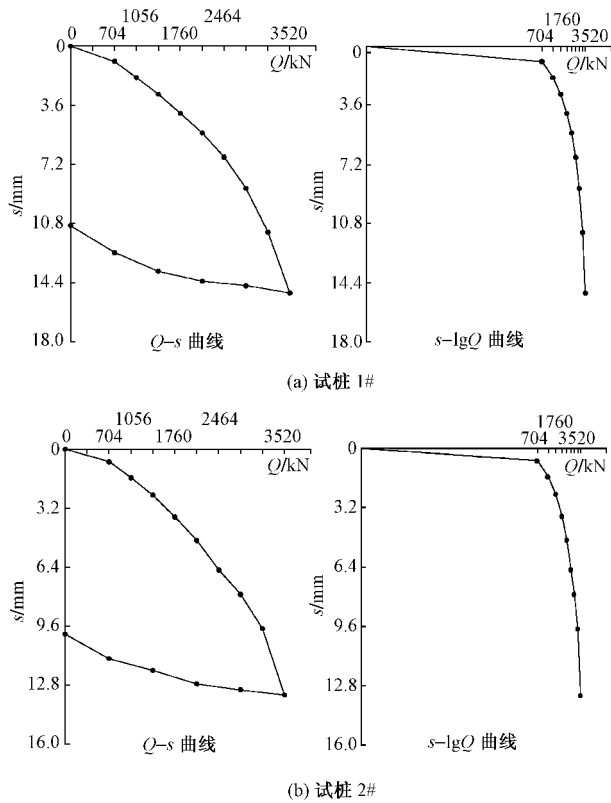


图 3 试桩 Q-s 曲线及 s-lgQ 曲线

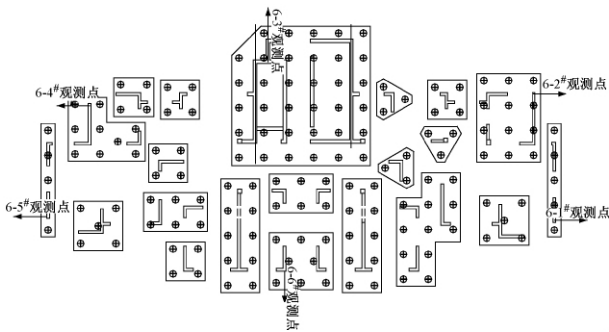


图 4 全夯桩布桩图

4 两种桩型经济性比较

两种桩型的造价对比见表 2。分析表 2 可知,采用全夯桩比采用嵌岩桩节省基础总造价约 30%,且嵌岩桩长度大,入岩较困难,施工周期较长,采用

全夯桩则可大幅度节省施工时间,经比较分析,决定采用全夯桩作为该高层住宅的基础形式。

两种桩型造价对比/万元 表 2

桩型	桩基造价	承台造价	基础总造价
嵌岩桩	101.0	52.1	153.1
全夯桩	48.2	55.6	103.8

5 桩基检测及沉降观测

5.1 桩基检测

(1) 低应变检测:所有的工程桩均做低应变检测,所检测的 157 根桩中桩身质量完好的桩为 153 根,占总桩数的 97.45%;桩身质量有轻微缺陷的桩为 4 根,占检测总桩数的 2.55%。

(2) 静载检测:共选择了 3 根工程桩做静载检测,其中 11#桩和 112#桩为桩身质量完好的桩,23#桩为桩身质量有轻微缺陷的桩,检测结果见表 3。

工程桩静载结果 表 3

桩号	桩径/mm	扩底直径/mm	桩长/mm	试验最大沉降量/mm	试验极限承载力/kN
11#	500	900	8.9	14.24	3 520
23#	500	900	8.9	17.08	3 520
112#	500	900	8.9	13.34	3 520

从静载检测结果来看,桩基承载力达到了设计要求,桩基沉降量也在规范规定限值之内,确保了桩基的安全可靠。

5.2 沉降观测

共布置 6 个沉降观测点,设置部位见图 4。从层 3 楼面施工完毕开始观测,每隔 3~4 层观测 1 次,主体施工期间共观测 6 次,主体施工完毕后观测 1 次,共 7 次,2010 年 2 月 21 日第 1 次,2010 年 9 月 2 日第 6 次和 2010 年 10 月 21 日第 7 次观测结果汇总见表 4。

沉降观测结果 表 4

观测点	第 1 次		第 6 次		第 7 次		
	初次高程/m	本次高程/m	本次下沉/mm	累计下沉/mm	本次高程/m	本次下沉/mm	累计下沉/mm
6-1#	21.217 95	21.216 21	-0.13	-1.74	21.215 32	-0.48	-2.63
6-2#	21.202 43	21.200 63	-0.27	-1.80	21.199 70	-0.35	-2.73
6-3#	21.215 07	21.211 76	-0.51	-3.31	21.210 16	-0.81	-4.91
6-4#	21.204 31	21.199 41	-0.92	-4.90	21.197 56	-0.72	-6.75
6-5#	21.257 87	21.254 21	-1.02	-3.66	21.252 03	-0.89	-5.84
6-6#	21.224 91	21.220 51	-0.83	-4.40	21.218 63	-0.91	-6.28
施工进度	施工完 框架层 3	施工完框架层 19			结构封顶		

该楼已于 2010 年 10 月主体封顶,从沉降观测结果来看,房屋沉降量及倾斜值在规范规定的允许范围之内。

(下转第 99 页)

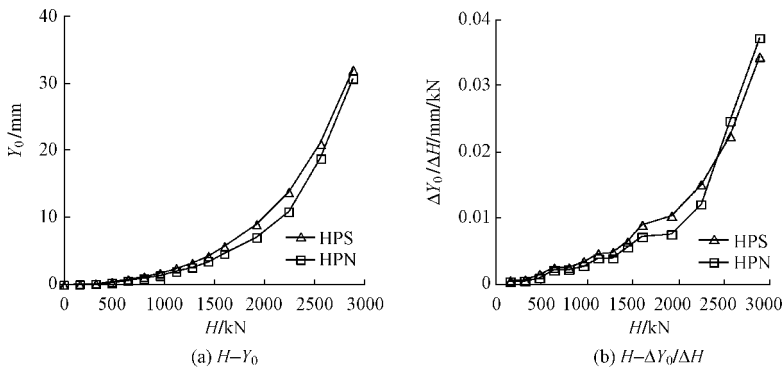


图 8 H 与 Y_0 、 $\Delta Y_0/\Delta H$ 关系曲线(工程二)

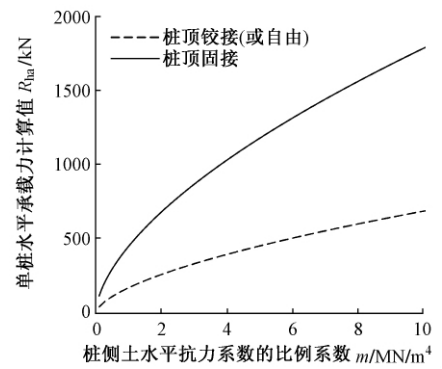


图 9 $m-R_{ha}$ 关系曲线图(工程二)

C45, 钢筋强度等级 HRB335, $\rho_g = 1.092\%$, $h = 40.0\text{m}$ 。因为 $\rho_g > 0.65\%$, 采用式(2)进行单桩水平承载力特征值计算, 并按桩顶固接、铰接(或自由)分别计算桩顶(身)最大弯矩系数 ν_M 和桩顶水平位移系数 ν_x , m 取值范围为 $0 \sim 10\text{MN/m}^4$, 混凝土保护层厚度为 70mm 。计算结果见图 9 和表 5。

根据图 9 桩顶下 $h_m = 2(d+1) = 5.0\text{m}$ 范围内为填土、生活垃圾组成的杂填土, 根据桩基规范表 5.7.5: 松散、稍密填土 m 取值范围 $6 \sim 14\text{MN/m}^4$ 。由表 5 可知, 此工程 m 取值 1.8MN/m^4 较为合适, 更趋近于淤泥质土的取值(淤泥质土 m 取值范围 $2.5 \sim 6\text{MN/m}^4$)。这正与本工程杂填土含有腐殖土和生活垃圾、土层力学性质较差相吻合。

同时亦可见, 桩顶固接情况下的单桩水平承载力特征值计算公式相对偏于不安全, m 取值时需适当保守, 宜按偏下限或下限合理取值。

4 结论

(1) 桩顶固接且桩身配筋率大于 0.65% 的情况比其他三种组合情况下的单桩水平承载力特征值计算值均要大, 为其他三种组合情况下计算值的 3 倍左右, 可见桩顶固接、桩身配筋率大于 0.65% 对于桩基水平承载力较为有利。

(2) m 、 d 、 ρ_g 、 h 及混凝土强度等级等计算参数的取值大小对桩基水平承载力的计算结果均有直接影响, 其中 m 值对计算结果影响很大, 取值尤需慎重。

(3) 桩顶铰接(或自由)情况下, 桩基规范采用的单桩水平承载力特征值计算公式相对适中, 计算时应综合考虑 h_m 范围内土层性状及其厚度, m 值宜按中值合理取值; 桩顶固接情况下, 该计算公式相对偏于不安全, m 值宜按偏下限或下限合理取值。

(4) 本文分析结果对预制桩、钢桩等桩型的桩基水平承载力计算亦有借鉴意义。

(上接第 21 页)

直相交的次梁在端部加腋。

7 结语

本工程为复杂高层建筑结构, 通过合理的结构布置和详细的计算分析, 并采用基于性能的设计方法进行分析论证, 使结构具有必要的抗震能力。同时, 针对本工程的特殊性, 对大跨度钢连廊结构、超长地下室结构、钢筋混凝土悬挑结构进行了详细分析, 根据分析结果采取了有效的设计措施, 并在大跨度连廊中采用 TMD 减振措施保证其舒适度。可为类似的工程提供参考。

参 考 文 献

[1] 熊向阳, 戚震华. 侧向荷载分布方式对静力弹塑性分析结果的影响[J]. 建筑科学, 2001(5): 8-13.
 [2] 杨溥. 基于位移的结构地震反应分析方法研究[D]. 重庆: 重庆建筑大学, 1999.
 [3] JGJ 3—2010 高层建筑混凝土结构技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.

(上接第 102 页)

6 结论

(1) 全夯桩承载力较高, 桩身质量良好, 不仅可以在多层和小高层建筑中广泛应用, 也可以在 20 层以上的高层建筑中使用。

(2) 与嵌岩桩相比, 全夯桩基础造价低, 可节约基础总造价 30% 左右, 并可以大幅度缩短施工周期。本工程用全夯桩替代嵌岩桩, 取得了较好的经济效益。

(3) 在南昌地区土层中广泛分布有较厚的粗砂、砾砂层, 可作为全夯桩理想的稳定持力层。随着城市建设的发展, 南昌出现了许多 20 层以上的高层住宅, 能否在这些高层建筑基础中较大范围地使用全夯桩以达到节约基础造价、缩短工期、减少资源消耗的目的, 还有待于更多的工程实践的验证。

参 考 文 献

[1] 席宁中, 刘金砺, 张春生. 扩底桩的侧阻松弛削弱效应[J]. 土木工程学报, 2007, 40(S1): 179-183.