

复合载体夯扩桩在山东师范大学 综合教学楼工程中的应用

王希建 陈鹤 韩克胜

杨东升 毕昆 郭华宗

(济南市建筑设计研究院有限责任公司 250001) (山东师范大学 济南 250014)

【摘要】 复合载体夯扩桩与传统灌注桩相比,具有承载力高、沉降变形小、施工速度快、造价低等优点。结合山东师范大学综合教学楼的基础设计,通过多方案比较,阐述了复合载体夯扩桩处理软弱地基的优越性,并介绍了设计、施工和检测中的一些问题。

【关键词】 复合载体夯扩桩 基础形式 设计施工 检测

Application of Ram-compaction Piles with Composite Bearing Base on the Education Building of Shandong Normal University/Wang Xijian¹, Chen He¹, Han Kesheng¹, Yang Dongsheng², Bi Kun², Guo Huazong² (1 Jinan Architecture Design & Research Institute Co., Ltd., Jinan 250001, China; 2 Shandong Normal University, Jinan 250014, China)

Abstract: Compared with the traditional piles, the ram-compaction pile with composite bearing base has advantage of high bearing capacity, little settlement, high efficiency and low cost. According to the foundation design of the comprehensive teaching building of Shandong normal university, the advantage of the construction technology in the treatment of soft soil area is analyzed, and the problems in the construction and test are introduced.

Keywords: ram-compaction piles with composite bearing base; foundation; design and construction; test

一、工程概况

山东师范大学北院综合教学楼位于山东省济南市,总建筑面积约 2.3 万 m²,框架结构,地上七层,建筑物总高度 28.8m。该工程位于天桥区小清河北路北侧,建筑场地为Ⅲ类,属小清河冲积平原地貌单元,勘探深度 20m,深度范围自上而下分为 8 层,各土层物理力学指标见表 1。基础采用复合载体夯扩桩,桩径为 φ400,桩长 9.5m,设计单桩承载力为 1 100kN。

根据地质报告,地下水深度约在自然地面以下 1.2m,基槽不宜开挖较深,即使降水后,层③以上土体在一定时间内仍具有流塑性,因此基槽开挖较深时,须做护坡处理。

二、基础形式的选择

1. 天然基础

以层④粘土层做持力层,采用筏板基础。该方案优点:施工工艺简单,工期较短。缺点有:1)因柱网尺寸较大,一般为 7.7~10.8m,大的有 13.8~16.8m,筏板的梁及板尺寸都较大,钢筋及混凝土用量很大,不经济;2)地基变形较大。建筑物长 107.4m,上部未设伸缩缝,由于上部荷载及基底以下土层的差异,很容易产生不均匀沉降,引起上部结构裂缝;3)基槽深度约 6.9m,因地下水位较高,且上部土层均为类似淤泥的流塑性土层,降水及护坡费用较大。

2. 钻孔灌注桩

土的物理力学指标

表 1

土层	厚度 (m)	f_{sk} (kPa)	$q_{s,i}$ (kPa)	$q_{p,i}$ (kPa)
①杂填土	0.8	—	—	—
②粉质粘土	2.2	110	45	800
③粘土	3.9	90	40	650
④粘土	1.3	130	50	800
⑤粉质粘土	3.8	120	45	750
⑥粘土	2.3	190	57	2 300
⑦粘土	4.3	180	52	2 000
⑧粘土	未揭露	240	65	2 800

钻孔灌注桩是建筑地基中常用的方案,该方案安全可靠,能有效控制建筑物沉降,但成本高。

3. 复合载体夯扩桩

复合载体夯扩桩是 1998 年国家建设部重点推广项目,已有设计规程(JGJ/T135—2001)。该技术在北京、河北、天津等地区已有大量工程实例,与传统灌注桩相比,具有桩身短、桩径细而承载力高,施工噪音小,方便可行,速度快,造价低,质量可靠,且施工中毋需降水等优点。

通过对多种桩基方案分析比较,采用复合载体夯扩桩与采用其他传统桩型的经济对比见表 2。

显然,复合载体夯扩桩无论从材料用量及检测费用上都较传统灌注桩经济得多,尤其是复合载体夯扩桩较短的特点,使施工简单快捷,质量有保证。最后选

用复合载体夯扩桩方案。

不同施工工艺的对比 表 2

桩型	设计承载力 (kN/m ²)	桩径 (mm)	桩长 (m)	造价 (万元)
复合载体夯扩桩	1 100	400	9.5	198
细直径钻孔灌注桩	1 100	400	24.5	224
大直径钻孔灌注桩	1 100	800	10.5	214

三、复合载体夯扩桩的设计

根据施工参数及试桩报告,取实际有效桩长 9.5m,桩顶标高为 -4.00m(自然地坪以下 2.5m),桩径 400mm,桩距 1 900mm,夯扩体的投料量不小于 0.5m³,三击贯入度不大于 9mm,选用层⑤粉质粘土为被加固土层,层⑥粘土层为持力层,根据《复合载体夯扩桩设计规程》(JGJ/T135—2001),计算单桩承载力特征值:

$$q_{pa} = 190 + 1.6 \times 9 \times (12 - 0.5) = 355 \text{ kN/m}^2$$

取 $A_e = 2.0 \text{ m}^2$, 则:

$$R_a = u_p \sum q_{sia} l_i + q_{pa} A_e = 1 230 \text{ kN} > 1 100 \text{ kN}$$

满足设计要求。

混凝土强度等级为 C30, $0.7 f_c A_p = 1 257 \text{ kN} > 1 100 \text{ kN}$, 桩身强度验算满足要求。

基础桩位平面如图 1 所示。

四、复合载体夯扩桩的设计及施工要求

(1) 桩距不宜小于 1.6~2.0m, 持力层为粉土、砂土时应取较小值,含水量较高的粘性土应取较大值。

(2) 桩端持力层应为可塑~硬塑状态的粘性土以及粉土、砂土、碎石土,为保证桩的承载力稳定性,桩入持力层不宜小于 1m。

(3) 夯扩体的投料量应以三击贯入度控制,在保证夯击后地面隆起不大于 50mm 及相邻桩的竖向位移不大于 20mm 前提下,投料量不宜小于 0.5m³,且不宜大于 1.8m³。当投料量大于 1.8m³,而三击贯入度达不到要求时应调整桩长或改变施工参数。

(4) 桩身混凝土强度等级不得低于 C20; 主筋混凝土保护层厚度不应小于 40mm; 钢筋笼宜通长配筋,配筋率可取 0.2%~0.65%,但主筋不得少于 6 Φ 12,可采用 Φ 6@300 的螺旋箍筋,桩顶 3~5 倍桩身直径范围内的箍筋应适当加密,当钢筋笼长度超过 4m 时应每隔 2m 设一道 Φ 12 焊接加劲箍筋。纵筋深入承台的锚固长度不得小于 35 倍主筋直径。

(5) 桩管灌注混凝土后振动拔管每次的拔管高度为 0.5~1.0m,反插深度

0.3~0.5m,拔管速度应适当控制在 0.5m/min 左右。

(6) 穿过淤泥夹层土时,应放慢拔管速度,并减少拔管深度和反插速度。

(7) 拔管时桩锤宜施压于管中混凝土顶面,且边施压边拔。

(8) 为控制桩身质量,桩身可以采用预制桩。

五、检测

首先应检查复合载体的填料成分、每次填料量、累计填料量、干硬性混凝土、三击贯入度及每击贯入度值;采用低应变动测法进行桩身质量检验,抽检桩数应为总桩数的 10%~20%,且不少于 10 根。

复合载体夯扩桩作为一种新的桩型与普通桩型具有不同的技术特点,对夯扩桩的质量检测,除桩身质量检测外,同时应根据反射波法实测波形曲线特征,重点分析和判别桩端与载体的结合状态。对复合载体夯扩桩实测波形曲线进行具体分析以了解桩端载体与桩身的结合情况。所有反射曲线中桩端反射明显,且桩身与载体结合较好,图 2 为 316# 复合载体夯扩桩低应变曲线。

通过图 2 可见,反射波法实测波形比较规则且清晰,桩底反射时间为 6.07ms,信号幅值比较大,呈现明显的扩径反应,其相位与初始信号相位相反。载体与地基土界面反射波时间为 6.68 ms,幅值同样比较明显,为高阻抗到低阻抗的变化,反映其相位与初始信号相位相同。经计算桩的波速 $V = 3 678 \text{ m/s}$,深度为 1.1m,规程中加固区土体的影响区域为 3.0~5.0m,计算深度取 2.0m,检测数据与规程相符。

采用静载荷试验检验竖向承载力,检验桩数应为总桩数的 1%,且不少于 3 根。

在进行复合载体夯扩桩静载试验时,应首先对其进行低应变反射波法检测,根据实测波形曲线分析和判断结果,选择有代表性的(即桩端与载体结合程度不同的桩)进行静载实验,这样才能反映出工程桩施工质量真实性,分别对 4#、44#、467# 桩进行了单桩竖向

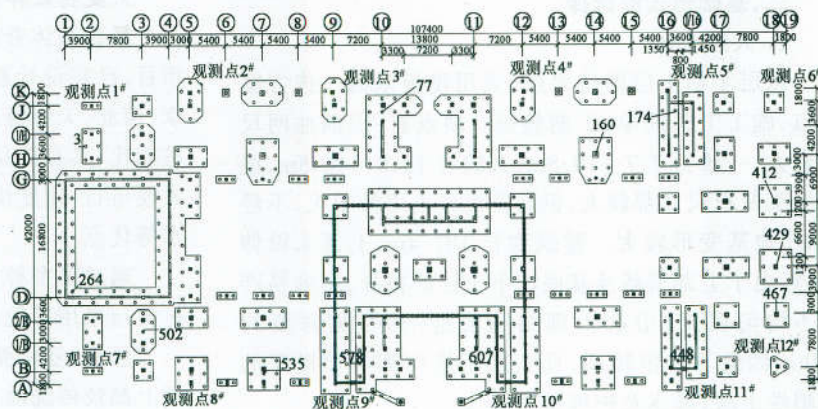


图 1 基础桩位平面图

静载实验,并绘制 Q-s 曲线见图 3。



图 2 316# 桩低应变完整性检测曲线

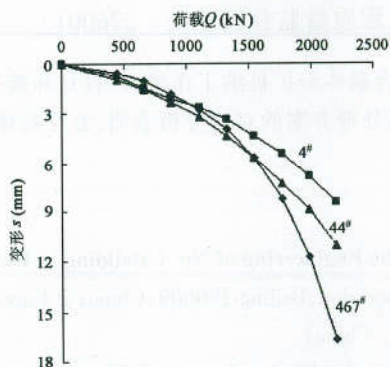


图 3 试验桩的载荷试验 Q-s 曲线

对于图 2 中的 316# 桩,设计单桩极限承载力为 2 200 kN。当试验加载量达到 2 200kN 时,对应的总沉降量为 6.42mm,承载力标准值为 1 100kN 时,对应的沉降量为 1.59mm。绘制的 Q-s 曲线为缓变型,在总加载量为设计单桩极限承载力即 2 200kN 时,并未出现极限状态。从低应变反射波法检测的波形来看,桩底反射表现的扩径反映明显,幅值也比较大,说明载体夯击密实,与桩端结合紧密,桩的极限承载力可判断为大于 2 200kN。经分析,其它桩的极限承载力都大于 2 200 kN。

(上接第 15 页)

(2) 桩身材料与桩间土之间刚度比直接影响着扩顶的效果,桩间土压缩模量越低,扩顶的效果越明显。

(3) 扩顶效果还与单桩的承载力有一定关系,扩顶传递到单桩的荷载不能超过单桩的承载力,否则适得其反。

随着对扩顶复合地基的进一步研究和推广应用,该工艺必将为社会带来更显著的社会效益。

参 考 文 献

1. 阎明礼,张东刚.CFG 桩复合地基技术及工程实践.中国建筑工业出版社,2001.
2. 建筑地基基础设计规范.中国建筑工业出版社,2001.
3. 龚晓南.复合地基的理论及工程运用.中国建筑工业出版社,2002.
4. 张爱军.复合地基三维数值分析.科学出版社,2004.
5. 董必昌,郑俊杰.CFG 桩复合地基沉降计算方法的研究,岩石力学与工程学报.2002.

六、沉降观测

为了解建筑物沉降的发展情况,对该工程作了沉降观测,沉降观测点布置详见图 1。竣工一年后的最终沉降量见表 3。由表 3 可见,工程沉降较均匀。由此可见复合载体夯扩桩能使弱地基的建筑物沉降得到有效的控制。

各观测点的沉降(mm)

表 3

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均
沉降	7.09	6.34	12.21	11.20	7.74	6.59	7.06	8.92	9.59	9.50	8.44	6.39	8.01

根据规范,该类建筑采用复合载体夯扩桩不必进行沉降验算,规范对民用建筑沉降要求为 200mm,根据沉降资料,采用复合载体夯扩桩后,基础沉降明显低于其他地基处理方法的沉降。可见复合载体夯扩桩对控制建筑物变形和倾斜具有明显效果。

七、结论

通过工程中复合载体夯扩桩的设计与应用,证明了复合载体夯扩桩在软弱地基处理中具有明显的优越性,而且施工中可消纳大量的旧砖及混凝土碎块等建筑废料,具有良好的社会生态效益。随着对该技术的进一步了解,该项新技术必将有更广阔的应用前景。

参 考 文 献

1. 复合载体夯扩桩设计规程(JGJ/T135—2001).中国建筑工业出版社,2001.
2. 曾国熙等.地基处理手册.中国建筑工业出版社,2000.
3. 建筑地基基础设计规范(GB50007—2002).中国建筑工业出版社,2002.
4. 混凝土结构设计规范(GB50010—2002).中国建筑工业出版社,2002.

(上接第 29 页)

垃圾,利于保护环境。具有显著的经济效益和社会效益。

六、结论

(1) 复合载体夯扩桩是一种新型、经济、有效、可靠的处理软弱地基的方法。

(2) 该桩具有较高竖向和水平承载力。

(3) 该桩具有施工速度快、成桩质量好、造价低、沉降量小且均匀、利于保护环境等优点,比常规地基处理方法节省造价 20%~30% 左右,具有显著的经济效益和社会效益。

参 考 文 献

1. 复合载体夯扩桩研究报告(内部资料).1997.
2. 复合载体夯扩桩设计规程(JGJ/T135—2001).中国建筑工业出版社,2001.
3. 建筑桩基技术规范(JGJ94—94).中国建筑工业出版社.1994.
4. 桩基工程技术.中国建筑工业出版社,1996.