

复合载体夯扩桩在天津桃香园小区工程中的应用

王继忠 蔺忠彦 安亚伟
(北京波森特岩土工程有限公司 102218)

[提要] 介绍了天津桃香园小区复合载体夯扩桩的工程实例和该桩的承载特点及检测效果。实践证明,复合载体夯扩桩对提高桩基承载能力具有明显的经济效益和广泛的应用前景。

[关键词] 复合载体夯扩桩 复合载体 水平承载力 方案比较

Application of Ram-compaction Piles with Composite Bearing Base on Taoxiangyuan District in Tianjin /Wang Jizhong, Lin Zhongyan, An Yawei(Beijing Puissant Geotechnical Engineering Co., Ltd., Beijing 102218, China)

Abstract: The bearing property and test result of ram-compaction piles with composite bearing base are introduced based on the engineering application in Taoxiangyuan district in Tianjin. The fact proves that the piles can increase the vertical and horizontal bearing capacity and the engineering gains obvious economic performance and prospects.

Keywords: ram-compaction piles; composite bearing base; horizontal bearing capacity; scheme compare

一、引言

复合载体夯扩桩与其他桩型的最大区别在于大幅度提高承载力的主要途径不是通过桩身、桩端来实现的,而是通过加固桩端土体形成复合载体来实现的。该技术具有施工速度快、承载力高、施工质量好、造价低、保护环境等优点,具有较好的经济效益,是一种值得大力推广和应用的快速高效的新技术。迄今已完成建筑近 500 余万 m^2 ,据统计桃香园已建成的建筑物最大沉降量为 26.5mm,沉降差都远远小于规范要求,避免了因地基不均匀沉降引起的墙体开裂。这充分证明了该载体基础具有承载力高、沉降量小且变形均匀等特点。下面以桃香园小区为例简述其工艺与性能。

二、工程概况

天津万隆集团桃香园小区位于天津市北辰区京津公路东侧木材五场院内,包括住宅楼 48 栋,均为 7 层砖混结构。根据工程地质勘察资料,地下水位位于地面下 0.5m 以下。地基土层及其物理力学性质指标见表 1。由天津天怡建筑设计有限公司设计,桩径 410mm,桩长 8m,布桩间距 1.8m,以层④粉质粘土作为复合载体基础的持力层,地基承载力特征值为 110kPa,单桩承载力特征值 500kN,其桩身结构见图 1。

三、复合载体夯扩桩的承载力

1. 复合载体夯扩桩承载力的设计

根据地质资料,以层④粉质粘土作为复合载体基础的持力层,单桩长为 8.0m,基础埋深为 2.5m。载体底部地基土承载力经深度修正后的 $f_k = 195kPa$ 。三击贯入度为 15cm, $A_c = 1.8m^2$,单桩承载力 $R_c = 654kN > 500kN$,满足设计要求。

工程地质参数

表 1

土层	厚度 (m)	w (%)	γ (kN/m^3)	I_L	e	E_s (MPa)	f_k (kPa)
①人工填土	2.5	29.1	19.3	0.92	0.82	6.7	70
②粉质粘土	3.0	32.7	18.4	1.06	0.96	4.1	90
③淤泥质粉质粘土	2.7	38.9	18.0	1.24	1.11	3.6	90
④粉质粘土	4.7	31.3	19.0	1.18	0.87	6.9	110
⑤粉质粘土	1.0	25.9	19.9	0.63	0.71	5.9	130
⑥粉质粘土	—	26.9	19.7	0.68	0.82	5.3	135

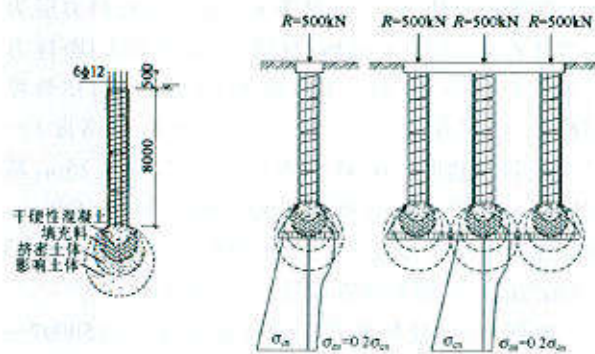


图 1 桩身结构图

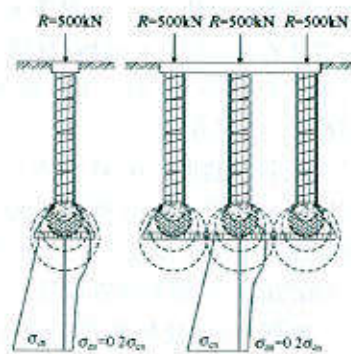


图 2 群桩沉降计算模式

2. 复合载体夯扩桩的检测

在桃香园小区进行了 260 根单桩静载荷试验,5 根水平推力载荷试验,同时还做了 2 100 根低应变完整性检测,检测结果 80% 为一类桩,20% 为二类桩,没有出现三类桩,证明桩身质量良好。部分试验桩的 $Q-s$ 曲线见图 3。按照曲线形状和相对应的沉降量综合分析,试验桩在承担 800kN 竖向荷载时,均未出现极限特征,呈缓变的抛物线型。这是因为复合载体夯扩桩

不会出现刺入破坏现象,主要表现为桩端下土层的压缩变形,压密区的土体既有较高的承载力,又有较小的压缩变形。试桩卸载后残余变形只有总变形量的20%,说明该桩在承担800kN荷载时桩端土体还处于压密阶段。因此在房屋长期使用荷载作用下,桩端土体不仅不会破坏,而且会因不断固结压密而提高其承载力,所以应用复合载体夯扩桩是足够安全的。

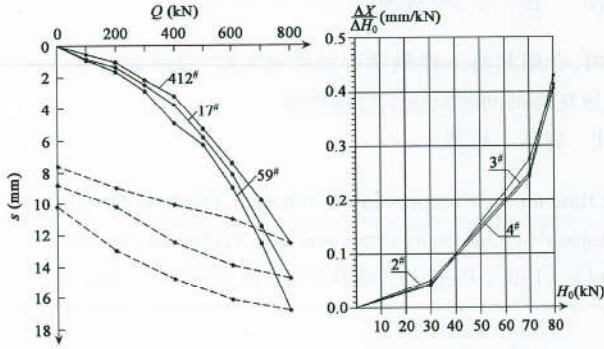


图3 试桩 Q-s 曲线

图4 试桩水平力-位移梯度曲线

复合载体夯扩桩的部分水平承载力-位移梯度曲线见图4,由检测结果可知在软弱地质条件下水平承载力极限值可达70~80kN,临界荷载为30~40kN,可满足设计要求。

四、桃香园砖混住宅沉降量

桃香园砖混住宅楼采用墙下条形承台梁桩基础,沉降计算模式近似桩端条形基础,按分层总和法计算。

1. 计算公式

$$s = \psi_s p_0 \sum \frac{z_i \alpha_i - z_{i-1} \alpha_{i-1}}{E_{si}}$$

式中: p_0 为对应荷载准永久组合压缩层顶部的平均附加应力(kPa); E_{si} 为沉降计算范围内第 i 层土的压缩模量(kPa); ψ_s 为沉降计算经验系数,根据地区沉降观测资料及经验确定; z_i, z_{i-1} 分别为复合载体底面至第 $i, i-1$ 层土底面的距离(m); α_i, α_{i-1} 分别为 $i, i-1$ 层土底面深度范围内平均附加应力系数,可按《建筑地基基础设计规范》(GB50007)规定采用。

2. 沉降计算

沉降计算工程地质参数见表1,群桩沉降计算模式见图2。沉降计算结果见表2,其中 ψ_s 取0.7,基底附加应力 $p_0 = 155\text{kPa}$,近似按条形基础计算。计算最终沉降结果为30.79mm,计算深度为16m。

经观测,桃香园小区沉降量最大的是5#楼,沉降累计最大值为27mm,平均沉降20.5mm,与计算基本一致,最大沉降差为9mm,总的沉降量很小,充分满足规范要求。5#楼的沉降观测点的位置见图5,最终沉降观测 s-T 曲线见图6。

沉降计算结果

表2

Δz	z/b	α_i	E_s	Δs (mm)	$\sum \Delta s$ (mm)	z_i
0.00	0.0	0.250 0	6.90			0.00
1.00	0.5	0.247 1	6.90	3.89	3.89	1.00
1.00	1.0	0.235 3	6.90	3.51	7.40	2.00
1.00	1.5	0.218 7	5.90	3.41	10.81	3.00
1.00	2.0	0.201 8	5.30	3.09	13.90	4.00
1.00	2.5	0.186 4	5.30	2.55	16.46	5.00
1.00	3.0	0.173 3	5.30	2.21	18.67	6.00
1.00	3.5	0.161 7	5.30	1.89	20.55	7.00
1.00	4.0	0.151 6	5.30	1.66	22.21	8.00
1.00	4.5	0.142 7	5.30	1.46	23.67	9.00
1.00	5.0	0.134 8	5.30	1.30	24.98	10.00
1.00	5.5	0.127 9	5.30	1.21	26.18	11.00
1.00	6.0	0.121 6	5.30	1.07	27.25	12.00
1.00	6.5	0.116 0	5.30	1.00	28.25	13.00
1.00	7.0	0.110 9	5.30	0.91	29.16	14.00
1.00	7.5	0.107 1	5.30	1.10	30.27	15.00
1.00	8.0	0.102 0	5.30	0.52	30.79	16.00

注: Δz 为分层厚度, z 为计算深度, b 基础宽度, α_i 附加应力系数, Δs 为每一层的沉降。

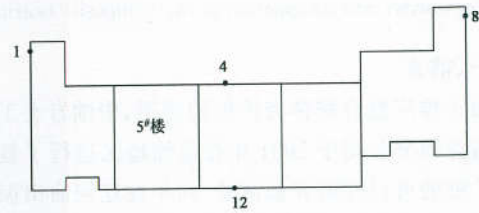


图5 5#楼观测点位置示意

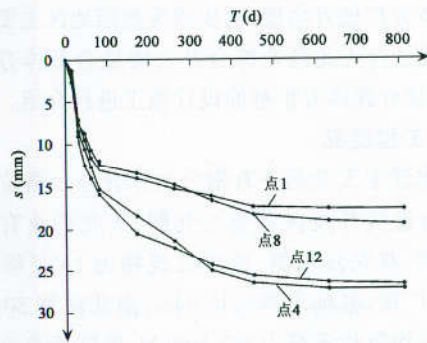


图6 5#楼观测点 s-T 曲线

五、方案比较

建筑采用深层搅拌复合地基和筏板基础的单位面积造价约为110元/ m^2 ,而采用复合载体夯扩桩和承台梁基础的造价约为80元/ m^2 ,节省造价近30%。如采用沉管灌注桩,相同承载力需桩长18m,造价比复合载体夯扩桩高出40%。桃香园小区共28.4万 m^2 建筑,共节省造价800余万元,并且节省工期三分之一。施工现场干作业,无须降水挖土等工序,又消纳大量建筑

(下转第43页)

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

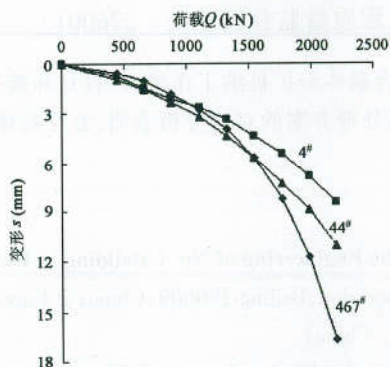


图 3 试验桩的载荷试验 Q-s 曲线

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.