

# 复合载体夯扩桩在回龙观小区 C07 区 1# 楼工程中的应用

胡瑞深

刘志云

(北京天鸿集团公司 100009) (临沂市建设安全工程质量监督管理处 276001)

**[摘要]** 通过复合载体夯扩桩在回龙观小区工程中的应用,介绍复合载体夯扩桩的工作机理、设计和施工,并对低应变反射检测结果进行分析。通过复合载体夯扩桩与其他地基处理方案的对比分析表明,复合载体夯扩桩具有明显的经济效益。

**[关键词]** 复合载体夯扩桩 载荷实验 承载力 低应变检测

**Application of Ram-compaction Piles with Composite Bearing Base in the Engineering of No. 1 Building in Huilongguan District/Hu Ruishen<sup>1</sup>, Liu Zhiyun<sup>2</sup>** (1 Beijing Tianhong Group Corporation, Beijing 100009, China; 2 Linyi Construction Engineering Safety Quality Supervising Station, Linyi 276001, China)

**Abstract:** Based on the application of the ram-compaction piles with composite bearing base in Huilongguan district, the bearing mechanism, design and construction of the pile are introduced and the testing result of the pile is compared with that of the traditional pile. Compared with the other ground treatment, the scheme of ram-compaction piles with composite bearing base is economical.

**Keywords:** ram-compaction piles with composite bearing base; loading test; bearing capacity; low strain dynamic testing

## 一、工程地质

北京回龙观文化住宅小区 C07 区位于八达岭高速公路东侧三合村,整个小区为 6 栋 6~8 层的住宅楼,其中 1# 楼为砖混结构,采用复合载体夯扩桩基础,设计桩径为 400mm,桩长为 7.3m,设计单桩承载力为 500kN。建筑场地的地貌属温榆河冲积扇的中上部,地形平坦。整个场地为一般第四沉积土层,主要由粘质粉土、粘质粉土、砂质粉土和粉细砂构成,各土层物理力学指标如表 1 所示,地下水位于地面下 3.8m。

土的物理力学指标 表 1

土层	厚度 (m)	含水量 (%)	重度 (kN/m <sup>3</sup> )	孔隙比 $e$	液性指数 $I_L$	压缩模量 $E_s$ (MPa)	$q_{ka}$ (kPa)
①杂填土	0.7~0.9	—	—	—	—	—	—
②粘质粉土	0.8~0.9	21.3	20.0	0.63	0.30	7.61	150
② <sub>1</sub> 粉质粘土	0.4~1.4	25.1	19.8	0.72	0.54	5.43	130
② <sub>2</sub> 粉质粘土	0.8~1.9	26.5	19.6	0.76	0.73	4.82	130
③ <sub>1</sub> 粘质粉土	0.6~2.0	23.7	20.0	0.65	0.37	9.39	180
③ <sub>2</sub> 砂质粉土	0.4~1.4	22.9	20.2	0.64	0.30	12.38	190
④ <sub>1</sub> 粘质粉土	2.1~2.7	21.9	20.5	0.60	0.47	10.57	190
④ <sub>2</sub> 粉质粘土	2.3~2.5	24.9	19.9	0.69	0.52	8.66	180

## 二、地基处理方案的选择

在北京地区,对于多层住宅楼,由于上部结构荷载不大,地基多采用天然地基或复合地基,这种方案与桩基础相比,造价经济,施工速度快捷,曾经是一种广泛

两种不同地基处理方案的对比 表 2

方案	桩径 (mm)	桩长 (m)	造价(万元)			汇总
			桩体材料	承台梁或条形基础	土方开挖	
水泥土桩复合地基	400	12.0	39	34	9.5	82.5
复合载体夯扩桩	400	7.3	36	14.5	4.5	55.0

采用的方案。但由于复合载体夯扩桩具有桩短、承载力高等特点,且采用复合载体夯扩桩后的基础由条形基础变为了承台梁,大大减少了基础混凝土用量、避免了基坑开挖,节省了造价,因而是一种更经济的地基处理方法。最初该地基基础方案为水泥土桩复合地基,条形基础,基础宽度 2.0m,复合地基承载力为 180kPa。后修改设计,采用复合载体夯扩桩方案,两种地基基础方案对比如表 2 所示。

通过两种不同方案的对比发现,采用复合载体夯扩桩,桩体本身节省造价不多,有时甚至略高于传统复合地基的桩体造价,但由于复合载体夯扩桩技术将条形基础变为了承台梁,大大节省了混凝土的用量,且开挖土方量也大大减少,故总成本大大降低。

## 三、复合载体夯扩桩的设计

### 1. 单桩承载力的计算

由于复合载体夯扩桩的桩身只起一个传力杆作用,只需将上部荷载传递给复合载体即可,根据经验,多层建筑荷载不大,选用  $\phi 400$  即可满足桩身强度要

求。根据拟建工程地质勘察报告,层④为粉质粘土,该土层含水量低、压缩模量和承载力都比较高,非常适合作为复合载体的持力层,故选取该土层作为复合载体夯扩桩持力层。根据基础标高,确定设计复合载体夯扩桩有效桩长为7.3m,单桩设计承载力为500kN。

桩端持力层地基承载力为180kPa,复合载体夯扩桩桩长范围内地基土的加权平均重度为 $15.2\text{kN}/\text{m}^3$ ,经深度修正后的桩端持力层土体承载力 $f = 180 + 1.6 \times 15.2 \times (7.3 + 2.0 - 0.5) = 394\text{kPa}$ 。初步确定三击贯入度为15cm,根据规程, $A_c$ 取值为 $2.20\text{m}^2$ ,复合载体夯扩桩承载力标准值为: $R_s = q_{ms} A_c = 866\text{kN} > 500\text{kN}$ ,满足设计要求。

设计桩身混凝土强度等级为C20,混凝土抗压强度为 $9.6\text{N}/\text{mm}^2$ ,对桩身混凝土强度进行验算: $0.7f_c A_p = 844\text{kN}$ ,大于500kN,桩身混凝土强度满足设计要求。

## 2. 配筋

根据复合载体夯扩桩设计规程,复合载体夯扩桩配筋采用 $6 \Phi 12$ 通长配置,螺旋箍筋 $\Phi 6 @ 200$ ,在桩身顶部1.5m范围内箍筋加密,箍筋为 $\Phi 10 @ 100$ ;加劲箍筋 $\Phi 12 @ 1500$ ,混凝土保护层厚40mm。

## 3. 沉降验算

由于复合载体夯扩桩通过桩身把上部荷载传递到载体再进行扩散,传递上部荷载的混凝土桩身和复合载体变形较小,可以忽略不计,故复合载体夯扩桩的变形即为载体下土体的变形。由于施工完毕后桩身底部载体连成一体,复合载体可以等效为一条形基础,复合载体夯扩桩变形计算即为等效条形基础的沉降计算。其沉降为:

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

$$p_0 = \frac{F + G - \gamma d_b A}{L_0 (B_0 + 2\Delta R)}$$

式中: $p_0$ 为等效载体基础下长期效应组合下的附加应力(kPa); $\Delta R$ 为等效计算距离(m),根据地质情况而定,一般为0.6~1.0m,工程中取0.8m。

工程中单桩承载力为500kN,最大桩间距为1.8m。故以1.8m间距的承台梁下复合载体夯扩桩进行计算,其附加应力 $p_0$ 为165kPa。

经计算 $s = 24.2\text{mm}$ ,满足规范要求。

施工中,干硬性混凝土夯填量为 $0.30\text{m}^3$ ;三击贯入度控制为15cm,填料体积以三击贯入度控制值进行

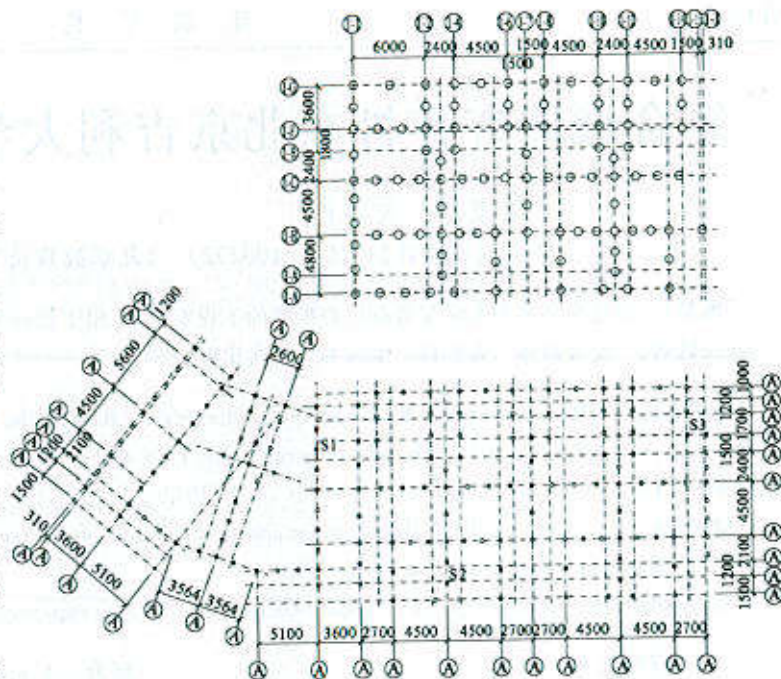


图1 基础桩位平面布置图

控制。总桩数为256根,施工桩位见图1。

## 四、复合载体夯扩桩的检测

根据施工图纸,采用直径375mm重锤夯击成孔,护筒跟进成孔,实际施工桩长以达到持力层为准,故实际桩长并不是固定值,约7.0~8.2m,三击贯入度控制在15cm以下。施工时控制好施工顺序,尤其控制好临近桩的施工时间,并对场地内地基土进行高程测量,防止施工不当引起临近桩的载体与桩身的脱离和土体的隆起,工程桩施工工期为12d,比施工水泥土桩复合地基的工期20d节省了8d。

工程桩施工完毕后,随机抽取工程桩进行静载荷试验,抽测比例为1%,试验方法参见《桩基设计技术规范》,采用慢速维持荷载法进行试验。通过静载荷试验分析,各

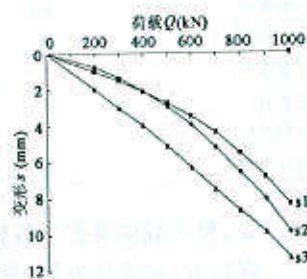


图2 静载荷试验 $Q-s$ 曲线

曲线呈缓变型,在2倍设计荷载下最大变形为11.36mm,远小于多层砖混结构要求的变形,且卸载后回弹率都在35%以上,可见复合载体夯扩桩承载力还有很大的储备,图2为三根试验桩的 $Q-s$ 曲线。

为检测桩身施工质量和桩身完整性,对20%的工程桩进行检测,通过采集信号进行分析,桩底反射信号清晰,呈反向反射,与传统桩基础的低应变桩底反射信

(下转第47页)

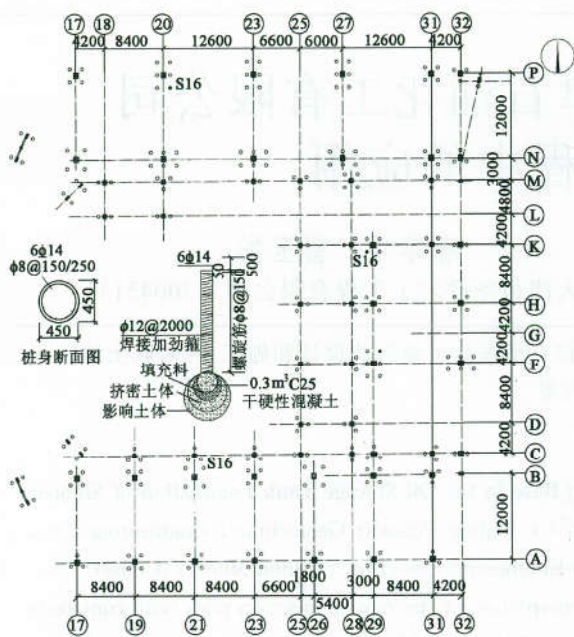


图1 6#楼平面布桩图

可取  $\psi_s = 0.7$ 。

基础中心点沉降最大。经计算,基础中心点沉降量为 29.66mm,远小于规范允许的沉降 200mm。

### 三、复合载体夯扩桩施工及检测情况

在吉利大学工程中施工所用机具为液压力步履式夯扩桩机。复合载体夯扩桩完成施工任务 2 700 余根。桩基施工结束后,分别采用静载荷试验和低应变对桩基质量进行了检测。检测结果为静载荷试验全部达到设计要求的承载力;桩身质量检测结果为一类桩 90%,二类桩 10%,没有出现三类桩,证明桩身质量好。图 3 为 6#楼 3 根试桩的静载荷  $Q-s$  曲线。

### 四、方案比较

吉利大学的 10 栋楼基础采用复合载体夯扩桩方案,比采用常规灌注桩节约基础造价约 110 万元,节省造价近 30%。

在工期方面,由于复合载体夯扩桩比普通桩工程量小,而且施工速度快,大大缩短了工期。吉利大学的 10 栋复合载体夯扩桩的施工共消耗工期 2 个月,与普通桩相比,缩短了约 10d 工期。

由于该桩采用先进的施工工艺,在较软的土层中采用钢套管护壁成孔,很好地保证了桩基施工质量,没有出现断桩、缩颈等质量问题,使桩基施工合格率达到 100%。

施工现场为干作业,无须降水挖土等工序,也无泥浆排放,施工现场文明环保。同时又消耗了大量建筑垃圾,变废为宝,可谓一举两得。

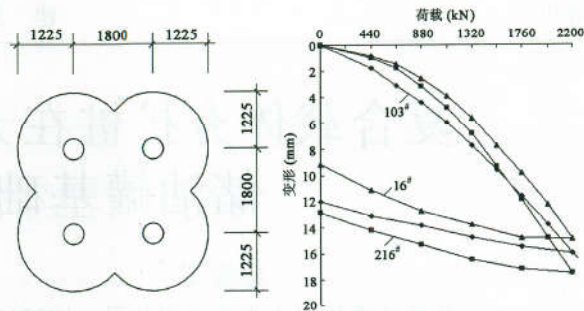


图2 四桩承台计算示意图

图3 静载荷曲线

## 五、结论

(1)复合载体夯扩桩作为一种新型桩基,是一种比较经济、有效、可靠的处理地基的施工方法。

(2)复合载体夯扩桩可大幅度提高地基的承载力。

(3)复合载体夯扩桩的施工方法利于保护环境、节省造价,具有显著的经济效益和社会效益。

(4)复合载体夯扩桩的施工不受地下水的影响,具有施工速度快、成桩质量好的特点。

### 参 考 文 献

1. 复合载体夯扩桩研究报告(内部资料).北京波森特岩土工程有限公司,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. 桩基工程手册.中国建筑工业出版社,1996.

(上接第 45 页)

号正好相反;这是因为桩底填入了干硬性混凝土进行夯击,使桩底混凝土呈扩大趋势,故低应变反射呈反向反射,桩身质量完好,全部为 I 类桩,满足设计要求。

### 五、结语

(1)复合载体夯扩桩具有承载力高,施工高效、质量易保障等特点。

(2)复合载体夯扩桩施工时由于填入了干硬性混凝土,并在端部进行夯击,故在一般情况下,低应变反射信号呈反向反射。

(3)与其他地基处理方案相比,采用夯扩桩复合地基能有效降低成本,尤其对于多、高层民用建筑,其优势更加明显,具有大规模推广的价值。

### 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. 杨启安等.复合载体夯扩桩的设计与计算.建筑结构,2005(增).
3. 回龙观小区 C07 地质勘察报告.中兵勘察设计研究院,1999.
4. 建筑地基基础设计规范(GB50007—2002).中国建筑工业出版社,2002.