

复合载体夯扩桩在保定某科技大厦工程中的应用

朱保建

戚银生 赵忠锋

(保定广成建筑设计事务所 071051) (北京波森特岩土工程有限公司 102218)

[摘要] 复合载体夯扩桩是一项新技术,具有承载力高、施工简便、适用广泛的特点。介绍了该桩型在保定某科技大厦中的应用实例,证明了复合载体夯扩桩的适用性,可为类似工程的设计供参考,也为推广该项技术提供依据。

[关键词] 地基基础 夯扩桩 复合载体 变形 应力 承载力

Application of Ram-compaction Piles with Composite Bearing Base in a Technology Building in Baoding City
/Zhu Baojian¹, Qi Yinsheng², Zhao Zhongfeng² (1 Guangcheng Architecture Design Institute of Baoding, Baoding 071051, China; 2 Beijing Puissant Geotechnical Engineering Co., Ltd., Beijing 102218, China)

Abstract: The ram-compaction pile with composite bearing base is a new type of technology, which has the character of high bearing capacity and the construction method is simple. The successful application of the ram-compaction pile with composite bearing base in Baoding City is introduced, which testifies the suitability of the technology, supplies the reference of design and construction for the designer.

Keywords: foundation; ram-compaction pile; composite bearing base; settlement; stress; bearing capacity

复合载体夯扩桩为一种新型施工工艺,它采用细长锤夯击成孔,静压跟管护壁,将护壁筒放到设计标高后,分批向孔内投入填充料,再用细长锤反复夯实挤密,在桩端形成由密实填充料和干硬性混凝土组成的复合载体,然后放置钢筋笼,灌注混凝土成桩。由于其单桩承载力高、造价低,在国内得到了广泛的应用。下面介绍在保定的一实际工程中复合载体夯扩桩的设计与应用。

一、工程概况

保定市某民营科技大厦工程,建筑物平面呈船形,建筑面积约2万m²,独立基础,基础埋深2~4m,框架结构,其中A区外弧长112m,内弧长56m,宽15m,地上9层,地下1层;B区外弧长84m,内弧长50m,宽15m,4层;C区外弧长42m,内弧长32m,宽13m,地上2层,地下1层。基础为独立柱基,最大柱荷载为4000kN。采用复合载体夯扩桩,设计桩径为410mm,桩长9.0m,设计单桩承载力特征值为1000kN。

大厦占地为新征耕地,地形较为平坦,地貌单元属太行山山前洪冲积平原。除表层耕土层外,其下均为第四系全新统冲、洪积成因的土层及第四系上更新统冲、洪积成因的土层。地层较为均匀。根据岩土工程勘察报告,场地所揭露的深度范围内地层自上而下各层土的物理力学指标如表1所示。场地工程地质有以下特点:浅层承载力低、天然地基变形大、地下水位埋深浅,但在浅部土层下有较好的桩端持力层。

各层土的物理力学指标

表1

土层	层厚 (m)	γ (kN/m ³)	w (%)	e	I_L	f_{sk} (kPa)	E_s (MPa)
粉质粘土②	0.5~1.0	18.9	11.7	0.613	0.15	160	14.1
粉土③	1.9~2.6	19.8	15.6	0.578	0.12	140	10.8
粉质粘土④	0.7~1.8	19.9	24.6	0.753	0.48	100	5.0
粉质粘土⑤	1.4~2.5	19.5	22.9	0.711	0.24	160	6.0
粉土⑥	1.0~1.6	20.4	20.9	0.603	0.43	160	7.7
粉质粘土⑦	1.2~2.3	20.4	19.5	0.591	0.17	180	5.9
细砂⑧	0.4~7.1	—	—	—	—	200	15.0
粉质粘土⑨	2.4~2.8	20.1	22.2	0.654	0.33	210	14.1

各钻孔均见地下水,初见水位深度为5.0~5.8m,稳定水位为4.20~4.60m,为上层滞水,水位较浅,地下水水质对钢筋混凝土无腐蚀作用。

二、基础方案比较

保定地区地基处理习惯采用干作业钻孔灌注桩,而本场地下水位较深,无法实现该施工方案。长螺旋钻孔压灌混凝土工艺可解决塌孔和孔底虚土问题,在技术上是可行的方案,可选用桩径400mm,桩长11.0m,桩端进入细砂层,但该工艺成本高。根据地基层土特点,6.0~7.0m范围内为承载力低的土层,其下为承载力高的粉质粘土,该土层稳定、承载力高、压缩性低,采用复合载体夯扩桩可充分利用粉质粘土,填料夯击形成复合载体,将上部结构荷载传递到该土层,既可提高单桩承载力,又可降低建筑物的变形。故该场地地质条件非常适合采用复合载体夯扩。

采用复合载体夯扩桩具有以下优点:1)通过细长锤对桩端填料,反复填充夯实,使桩端下一一定范围内土

体得到挤密加固,形成了复合载体,上部荷载穿过软弱层,直接作用在等效基础(复合载体)上,并传递到承载力高的持力层进行扩散;2)复合载体夯扩桩单桩承载力高,在同条件下复合载体夯扩桩比同桩径与桩长的灌注桩承载力高3~5倍,能明显降低成本;3)由于施工中采用护筒跟进成孔,即使在地下水位较高的地区也能施工,避免开挖与降水。经分析,工程最终确定采用复合载体夯扩桩基础。

三、复合载体夯扩桩的设计

1. 持力层和桩长的确定

根据拟建工程的地质勘察资料,选取层③细砂作为复合载体夯扩桩持力层,即等效基础的底面位于细砂层的顶面。根据上部结构荷载初步确定桩间距为1.8m。

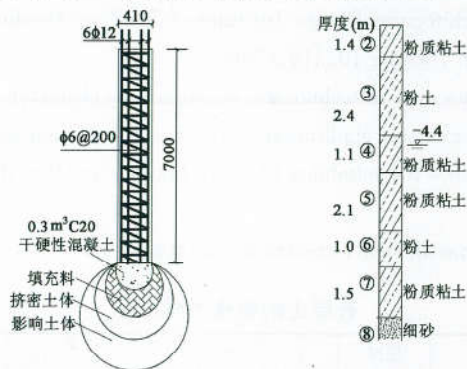


图1 桩身剖面及土层柱状图

选取一具有代表性的钻孔进行计算,该孔细砂埋深为-11.0m,独立柱基埋深-2.0m,复合载体夯扩桩的桩长为11.0-2.0=9.0m,有效桩长为7.0m。桩身剖面如图1所示。

2. 单桩承载力计算

夯扩桩载体端地基土为细砂,根据《建筑地基基础设计规范》对其承载力的修正,取 $\eta_d = 3.0$, $\gamma_m = 13.8\text{kN/m}^3$,则:

$$f_a = f_{ak} + \eta_d \gamma_m (d - 0.5) = 634.7\text{kPa}$$

设计桩径为410mm,桩长9.0m,有效桩长为7.0m,混

凝土强度等级为C20。桩端落在细砂层上,设计参数及桩与土层的对应关系如图1所示。三击贯入度不大于10cm,根据《复合载体夯扩桩设计规程》, $A_e = 1.9\text{m}^2$,单桩承载力:

$$R_a = A_e q_{pa} = 1\ 206\text{kN} > 1\ 000\text{kN}$$

满足设计要求。经验算,桩身混凝土强度也满足设计要求。

3. 配筋

由于复合载体夯扩桩为端承桩,故采用构造通长配筋。主筋采用6Φ12的纵向钢筋,箍筋采用Φ6@200,在桩顶1.5m内进行加倍。

4. 承台验算

根据上部结构荷载、单桩承载力及柱传到基础的荷载确定出不同的承台,分别对承台进行抗冲切和抗弯验算,均满足规范设计要求。基础桩位布置见图2所示。

分别对钻孔灌注桩与复合载体夯扩桩两种方案进行经济对比,其比较结果见表2。由表可见,复合载体夯扩桩单桩承载力特征值是钻孔桩的3倍,工期提前5d,桩及承台总造价节省36%,在经济和工期上都有一定的优势。

两种桩基础方案的比较 表2

桩基方案	桩径(mm)	桩长(m)	单桩承载力特征值(kN)	桩数(根)	桩造价(万元)	承台造价(万元)	工期(d)
钻孔灌注桩	400	11	350	1 089	92	85	18
复合载体夯扩桩	410	7	1 100	383	61	52	13

四、复合载体夯扩桩的施工

1. 合理安排打桩顺序

该工程为框架结构,每个桩承台下分布4~6根桩不等,由于桩间距较小,地下水位较浅,相邻桩施工时相互影响、扰动,因此合理安排打桩顺序显得尤为重要。邻桩影响不得超过两次,打桩时需作试验,相邻桩的竖向位移差不得大于20mm。

在工程施工过程中,由于第一根桩的混凝土尚未终凝,受相邻的第二根桩的持续打桩震动影响,第一根桩头混凝土出现一定的离析现象,加之地下水位较高

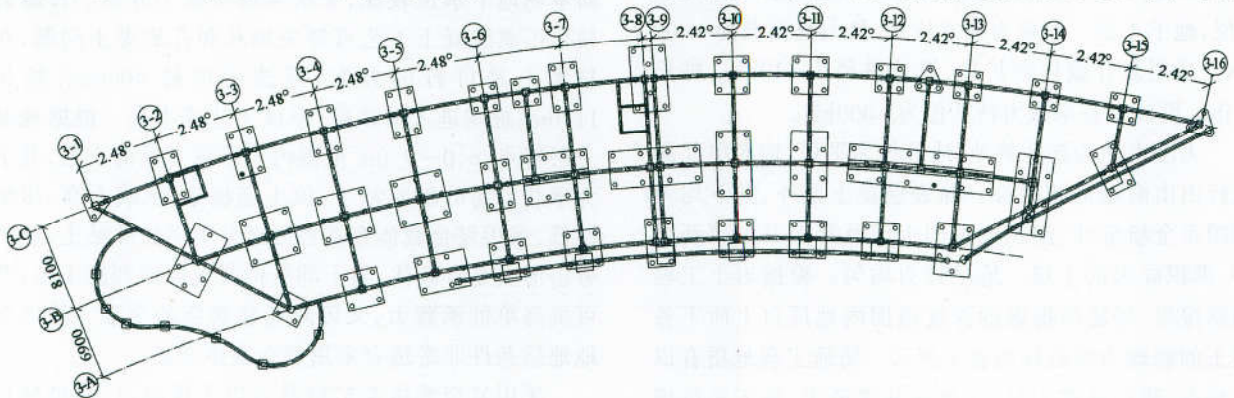


图2 基础桩位布置图

及桩锤的挤压作用,使尚未终凝的桩顶形成小量的泉涌现象。考虑到当时气温条件下混凝土的初凝与终凝时间,合理调整了打桩顺序,尽量避免在相邻桩混凝土终凝前持续震动,且避免对已终凝桩体的影响,并采取在成桩上覆盖一定量的土层,即增加了竖向压力,又对桩体形成保温养护层。

2. 控制桩位

用经纬仪和钢尺按建筑物轴线定位桩孔,孔位偏差控制在 100mm 以内。

3. 严格控制桩垂直度

桩机定位后用细长锤成孔,由于护筒直径与桩径匹配,桩径一般不宜出现偏差,但因为场地平整等原因,桩机的打桩架可能不垂直于地面,造成护筒不垂直,导致桩孔不垂直,所以在成孔前与成孔过程中,要严格控制打桩架的垂直度,确保桩孔垂直度在允许偏差 1% 之内。

4. 严格控制三击贯入度

打击护筒使其沉放至设计标高后(工程桩端持力层为细砂层顶),细长锤锤击出护筒约 0.5m,连续三击的贯入度要严格控制在 10mm 以内,并且夯击后地面隆起不得大于 50mm。

5. 控制夯扩体的投料量

桩孔成型后,分批填入砖、碎石与干硬性混凝土,反复夯实挤密。投料量根据每根桩所处的地质条件异同而变化,投入不宜小于 0.25m^3 ,且不宜大于 1.8m^3 ,如投入量大于 1.8m^3 时,应调整桩长或改变施工参数,结合试桩的实际情况由设计人员定出投料量。

6. 控制钢筋笼的制作与安放

钢筋笼采用点焊制作而成,纵向钢筋连接采用双面焊,焊接要注意同心与焊条规格,同一截面上纵向钢筋接头不得超过总配筋量的 50%,箍筋间距和加劲筋的距离要严格按设计文件要求执行。钢筋笼安放时要对准孔位,注意就位后的固定。

7. 控制混凝土灌注质量

工程采用 C25 混凝土,开盘前,应严格控制混凝土坍落度,混凝土坍落度应根据地下水位、桩径等因素确定,一般为 100~120mm。混凝土的浇注量要依据理论计算值进行控制,如发现异常,要及时解决。混凝土浇注完成后,提出护筒,护筒提升过程中应严格控制速度,密切观察混凝土的沉降量,拔管速度过快易出现缩颈现象,严重者甚至断桩。护筒提出后,插入振捣棒进行振捣,注意插入深度,并“快插慢拔”。

五、复合载体夯扩桩基础的检验

复合载体夯扩桩的质量检测分为工程桩的桩身质量检测 and 单桩竖向承载力检测两部分。

1. 工程桩的桩身质量检测

该工程的桩身质量检测采用低应变动测法检验桩身的完整性,共抽检 80 根桩,占总桩数的 20% 多,检测结果显示,80 根桩中 I 类桩占 85%, II 类桩占 15%,未出现 III 类桩,基桩完整性满足设计和工程使用要求。

2. 单桩竖向承载力检测

单桩竖向承载力检测采用单桩静载试验方法。最大荷载按设计承载力的 2.0 倍取值,预估最大加载量为 2 220kN,实际加载 1 776~2 220kN,共取四根桩,加载设备采用液压千斤顶与锚杆钢梁平台堆重反力系统。由各桩的 $Q-s$ 曲线(图 3)所示,各桩位的曲线状态属于缓变形,曲线形态无陡降段出现,单桩承载力特征值 $\geq 1\ 100\text{kN}$,满足设计要求。

3. 沉降观测

由于该工程首层平面比较复杂(呈不规则的船型),高、低层(主楼 9 层、附楼 4 层)差别较大,中间没有设置沉降缝,因而基础的沉降量与均匀性必须严格控制在允许范围之内。

经过施工期间和施工完毕后对工程的沉降观测,到目前为止,主体工程已竣工一年,最大沉降为 24.5mm,各观测点平均沉降为 18.5mm,没有发生不均匀沉降现象,复合载体夯扩桩的质量和该桩能有效减少基础变形的特点得到了进一步的验证。

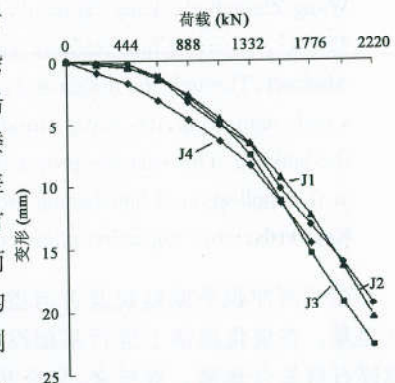


图 3 各试验桩的 $Q-s$ 曲线

经过施工期间和施工完毕后对工程的沉降观测,到目前为止,主体工程已竣工一年,最大沉降为 24.5mm,各观测点平均沉降为 18.5mm,没有发生不均匀沉降现象,复合载体夯扩桩的质量和该桩能有效减少基础变形的特点得到了进一步的验证。

六、结语

(1) 复合载体夯扩桩工法在保定地区应用是可行的,并且具有显著的经济效益。

(2) 复合载体夯扩桩 $Q-s$ 试验荷载曲线属缓变形,其承载力在保定地区为等桩径、等桩长钻孔灌注桩的三倍。

(3) 复合载体夯扩桩可利用建筑垃圾,且单桩承载力比其他桩承载力高,从而大大减少桩数、缩小了承台面积,从而具有良好的经济效益。

(4) 建议在保定地区对复合载体夯扩桩基础的建筑物进行沉降观测,为该技术的应用积累更多设计经验。

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. 建筑地基处理技术规范(JGJ79—2002). 中国建筑工业出版社,2002.
3. 桩基工程手册编写委员会. 桩基工程手册. 中国建筑工业出版社,1995.
4. 建筑地基基础设计规范(GB50007—2002). 中国建筑工业出版社,2002.