

复合载体夯扩桩在威海地区的应用

张 鉴¹⁾ 李建宏²⁾ 姚智慧³⁾

[摘要] 通过对复合载体夯扩桩在威海华东数控工业园厂房及综合楼基础中的施工及检测的介绍,探讨了影响单桩承载力的地层、填料量、填料成分等相关因素。

[关键词] 复合载体 三击贯入度 挤密效应 下卧层

Application of Ram-compaction Piles with Composite Bearing Base in Weihai Area/Zhang Jian¹, Li Jianhong², Yao Zhihui³ (1 Construction Engineering Quality Control Department in Weihai Torch Hi-tech Industries Department Zone, Weihai 264209, China; 2 Architecture Company of Design and Investigation in Huancui District of Weihai, Weihai 264200, China; 3 Project Department of Beijing Puissant Geotechnical Engineering Co., Ltd., in Weihai Area, Weihai 264209, China)

Abstract: Through the introduction of the construction and test of ram-compaction piles with composite bearing base used in Huadong Digital Control Industrialized Company engineering, the factors affecting the bearing capacity of the piles such as layer, volume of filled material, composition of the filled material are analyzed.

Keywords: ram composite piles; three drive penetration; effect of the ram; underlying stratum

威海地区地层表面为一层承载力极低的淤泥或淤泥质土,其下 4.0~5.0m 为细砂或中砂层,该地层承载力较高,是很好的加固土层和复合载体的持力层,非常适合于复合载体夯扩桩的施工,复合载体夯扩桩工艺自在威海推广以来,因其显著的经济效益受到社会的广泛关注,为业主节约了大量成本,现结合威海华东数控有限公司工业园工程对该工艺在威海地区的设计和施工进行介绍。

一、工程概况

威海华东数控有限公司工业园厂房为多跨并列排架结构,一层平面呈矩形,长约 186m,宽约 120m。综合楼 5 层,平面呈倒 U 形;综合楼为框架结构,长约 57m,宽约 44m。采用复合载体夯扩桩基础,设计桩径为 400mm,桩长为 4.0m,设计单桩承载力为 700kN。该场地位于威海高科技区,场地基本平坦,场区 3.0m 以内由块石回填而成,厂房部分在桩点处进行开挖换填,土层自上而下主要包括:填土、淤泥、淤泥质细砂和细砂,各层的主要力学指标见表 1。地下水位位于地面下 1.5m 左右。

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素填土	3.0	-	19.1	-	-	-	70
②淤泥质粉质粘土	1.8	35	17.0	1.0	0.90	2.0	80
③中砂	1.5	23	19.0	-	0.65	3.0	120
③ ₁ 中砂	3.3	16	19.5	-	0.45	15.0	220
④细砂含粘性土	1.3	28	19.1	0.8	0.70	10.0	150
⑤细砂	未揭穿	-	19.4	-	-	20.0	260

二、方案的选择

该场区 4.8m 范围内为素填土和淤泥质粘土,这两层土由于是新近回填的未完全固结的土,承载力较低,不能作为基础持力层或复合地基的桩间土,故勘察设计单位一共提出两个设计方案:开挖换填和复合载体夯扩桩。采用开挖换填处理质量容易保证,但由于该厂房均有 30~50kN 的行吊,对基础沉降要求较高,而换填处理的现场施工可控制性较差,且厂房呈条形,换填范围为沿厂房方向,该厂房柱间距为 7.6m,开挖换填工作量大、成本高。另外场区 4.8m 范围内须换填的土既有素填土,也有淤泥质土,这些土不能回填,必须外运,也增加了工程的成本。采用复合载体夯扩桩把上部荷载直接传递到承载力高的层③中砂,避免了大开挖。层③地层稳定,且承载力高,经填料夯击处理后复合载体夯扩桩可达很高的承载力,与大开挖回填相比可节省 27.3% 的成本,且施工周期比换填处理缩短了近 1 周。

三、复合载体夯扩桩的设计

1. 单桩承载力的确定

根据地质资料,该工程地面下 4.8m 处为一密实的中砂层,该中砂层包括两个亚层,上部 1.5m 范围内孔隙比稍大、压缩性高,承载力为 120kPa,下部砂层承

1) 威海火炬高新技术产业开发园区建设工程质量监督站,264209; 2) 威海环翠区建筑勘察设计院,264200; 3) 北京波森特岩土工程有限公司威海项目部,264209。

承载力为 220kPa, 压缩模量为 15.0MPa, 初步选定下部砂层作为复合载体的持力层, 设计桩径为 400mm, 复合载体夯扩桩有效桩长为 4.0m, 载体底面距离回填完自然地面 6.0m。

根据《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2002) 对载体端土体进行深度修正, $f_a = f_{ak} + \eta_d \gamma_m (d - 0.5) = 450\text{kPa}$ 。

结合上部实际荷载情况, 确定三击贯入度为 10mm, 填砖量为 400 块, 根据《复合载体夯扩桩设计规程》(JGJ/T135—2001), 估算出单桩承载力特征值为 $R_a = q_{pa} A_c = 765\text{kN}$, 大于 700kN, 满足设计要求。

2. 桩身设计与承载力验算

根据规范按构造进行配筋, 复合载体夯扩桩主筋采用 $6\phi 12$, 箍筋采用 $\phi 6@200$, 桩顶 1.5m 以内采用 $\phi 6@100$ 进行加强。

根据规范, 桩身混凝土强度必须满足 $Q \leq 0.7f_c A_p$, 设计桩身混凝土强度等级为 C25, f_c 为 11.9MPa, $0.7f_c A_p = 0.7 \times 11.9 \times 0.1256 \times 10^6 = 2198\text{kN} > 700\text{kN}$, 满足设计要求。

3. 软弱下卧层的验算

由于中砂层下有 1.3m 左右的含粘性土的细砂层, 该层土压缩性高, 压缩模量为 10.0MPa, 承载力 150kPa, 必须对该软弱层进行承载力验算。根据规范《建筑桩基技术规范》(JGJ94—94) 按下式进行计算。

$$\sigma_z + \gamma_z z \leq q_{wk} / \gamma_q$$

由于该工程设计桩径为 400mm, 桩间距为 1.8m, 大于 6 倍桩直径, 软弱层顶面附加应力 σ_z 按如下公式进行计算

$$\sigma_z = \frac{\gamma_0 (F + G) - 2(A_0 + B_0) \sum q_{sik} l_i}{(A_0 + 2\Delta R + 2tg\theta)(B_0 + 2\Delta R + 2tg\theta)}$$

扩散角选取: $E_{S1}/E_{S2} = 1.5$, 取 $\theta = 6^\circ$, ΔR 取 2.0m。经计算 $\sigma_z = 130.4\text{kPa}$, γ_q 取 1.65, $q_{wk}/\gamma_q = 281.0\text{kPa}$ 。可得: $\sigma_z + \gamma_z z = 217.4\text{kPa} < 281.0\text{kPa}$, 软弱下卧层满足设计要求。

4. 沉降验算

由于工程为工业建筑, 每栋厂房都有吊车, 对建筑沉降要求高, 根据规范《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2002) 对承台进行沉降验算, 也满足设计要求。

四、复合载体夯扩桩的施工与检测

在施工前, 在场地中选取有代表性的地方分别在 15 个桩位中进行了工

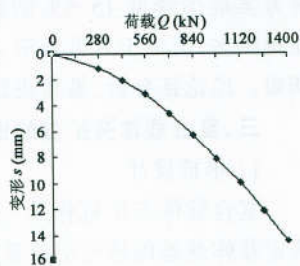


图 1 试桩的 Q-s 曲线

艺成孔试验, 孔底标高位于中砂层③。通过成孔试验可见整个场区地质条件均匀, 没有太大的差异, 成孔也比较顺利。为准确了解单桩实际承载力与计算值的差距, 分别对部分孔灌注混凝土, 并对一根试桩进行单桩承载力检测。施工完毕的复合载体夯扩桩桩径为 400mm, 桩长 3.0~4.0m, 施工时填料量为 300~400 块, 夯扩载体底部位于层③以下 1.5m。试桩承载力都满足设计要求, 图 1 为试桩荷载试验 Q-s 曲线。

整个工程共施工复合载体夯扩桩 653 根, 对部分桩基础进行大应变和小应变检测单桩承载力和桩身完整性。桩底反射明显, 桩身完整性满足设计要求。图 2 为 234# 桩的低应变曲线。

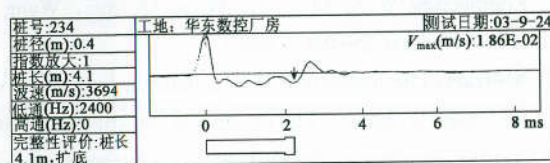


图 2 234# 复合载体夯扩桩的低应变曲线

五、施工控制

复合载体夯扩桩作为一种深层处理地基, 其核心便是密实理论, 其挤密效应对复合载体夯扩桩承载力影响较大, 根据笔者实践经验, 对威海地区复合载体夯扩桩设计施工中影响承载力的因素进行分析。

1. 加固土体的选择

复合载体夯扩桩的主要原理是进行土的挤密, 而土体的挤密效果好坏与土层的分布有直接关系, 其挤密效果好坏的次序为: 卵石最佳、其次为砂土和粉土, 再次为粘土, 所以设计时应优先采用卵石和砂土作为持力层。当选择粘土作为持力层时, 若地区地下水位高, 土体含水量大, 施工中应注意填料的控制和夯击能量的使用, 过大的夯击能量容易造成土体挤密效果不好而影响单桩承载力, 威海地区地层在 5.0~9.0m 为中砂层, 是一挤密效果较好的土层, 故在威海地区设计复合载体夯扩桩时可以选择该层土作为载体持力层。

2. 填料量

通常认为, 填料量多挤密效果好, 但工程中发现对于同一土层, 填料量过多会在载体中形成裂缝, 威海地区地下水较低, 土中裂缝会导致地下水渗出, 测量三击时由于地下水的阻力致使测量数据偏低, 但这并非真实的三击。土体也没有达到设计的挤密效果, 且地下水进入护筒后, 会造成桩身混凝土离析或桩身与桩端载体结合不好等而影响单桩承载力。由此可见, 不同的土层对应着不同的填料量, 而合适的填料量既能达到设计要求, 又能节省时间和材料, 所以在施工前应进行钻孔和夯击试验以选择合适的填料量。 (下转第 72 页)

理前后采用重Ⅱ动力触探测量的击数。

2. 复合地基静载荷试验

根据规范,对各段分别随机抽样,进行载荷试验,所有试验曲线都呈缓变型,在2倍设计荷载下最大变形为49.5mm,图2为6线雨水方沟主路段试验点的载荷曲线,施工参数见表3。

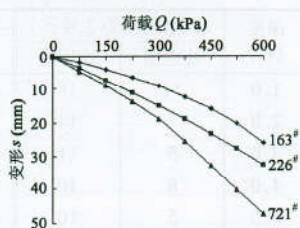


图2 部分复合地基平板静载荷试验 Q-s 曲线

表3 试桩施工参数

试点号	桩径 (mm)	桩长 (m)	碎石填料 (m ³)	一击贯入度 (cm)
163#	600	7.0	2.15	15
226#	600	10.0	3.11	14
721#	600	9.0	2.80	13.5

3. 回弹模量计算

复合地基回弹模量按照下列公式进行计算:

$$E_0 = \frac{\pi pd}{4s} (1 - \mu^2)$$

式中: E_0 为回弹模量(MPa); d 为承压板直径(m); s 为承压板的沉降量(mm); p 为承压板压力(kPa); μ 为地基土泊松比。

经过计算,当压力为200kPa时,经处理后的地基土回弹模量为69.92MPa,地基设计要求压缩模量为30MPa,故处理后地基的回弹模量满足设计要求。

(上接第57页)

3. 填料成分

施工中发现,同样的填料量,选用不同的材料,其挤密效果截然不同。如填稍整的砖块,达到同样的三击贯入度时的填料量较碎砖的填料量小,且夯击用时也比较短;而碎砖要好于砂土和碎石。分析其原因,主要是整砖本身比较密实,在夯击过程中,很容易挤密土体,碎砖及砂土,由于本身系松散状态,在锤击挤密过程中,需要消耗一定的能量用来进行填料本身的挤密,因此,造成填料时间过长,且填料量也较大。所以在施工中应选择合适的填料来进行挤密夯实。

4. 地下水的影响

在威海地区,地下水比较丰富,挤密效应和地下水的多少密切相关。在地下水不发育地段,在填料量适当的情况下,较容易施工。而在地下水丰富的地段,有时虽然夯击三击贯入度已达要求,但施工办法不得当,地下水仍存在于护筒之中,需要较长时间继续填料阻水,以致造成干硬性混凝土打入困难,且施工时间过

4. 沉降观测

为准确了解等能量、等贯入度控制挤密渣土桩复合地基处理后的效果,北京首都公路发展有限责任公司对完毕后的工程进行了沉降观测,根据规范进行测量,将基准点安装在路基影响以外的区域,观测点安装在复合地基褥垫层的底部,定期进行观测。通过观测数据分析,整个地基变形正常,且3个月后逐渐趋于稳定,路面施工完毕后的最大沉降为20.3mm,能满足路基沉降要求。

五、结语

(1)等能量、等贯入度控制挤密渣土桩复合地基能有效提高桩间土的承载力和变形模量;其影响深度将大大超过桩身长度。

(2)等能量、等贯入度控制挤密渣土桩施工简单方便、成本低,非常适合于市政工程中的路基的地基处理工程,将为国家节约大量的建设成本。

(3)对于处理回填土地区的地基处理,由于下部一定深度范围内土体已经固结,故采用等能量、等贯入度控制挤密渣土桩复合地基处理时不必对全部填土范围内填土进行处理,具体处理深度应根据上部荷载和地基土沉积时间和沉积状态而定。

参 考 文 献

1. 建筑地基处理技术规范. 中国建筑工业出版社,2001.
2. 江正荣. 地基与基础施工手册. 中国建筑工业出版社,2001.
3. 北京城乡勘察设计院. 北京五环路阜石路立交桥勘察报告,2000.
4. 孙玉文等. 等能量等变形挤密碎石(渣土)桩复合地基的介绍. 建筑结构,2005,35(增刊).

长,同时容易造成对相邻桩的挤密影响。因此,在地下水发育地段,可以对施工工艺适当进行改进,在护筒内设止水栓,能有效控制地下水的渗入,但该工艺的使用要适当,否则容易造成测得的三击贯入度失真。

六、结语

通过华东数控工地复合载体夯扩桩的设计、施工与检测,可以看出复合载体夯扩桩作为一种深层扩展基础,设计施工的关键为深层土体密实度的控制,即等效基础面积的控制。设计时合理选择复合载体的持力土层,施工时严格对填料和三击贯入度进行控制,复合载体夯扩桩将是一种经济节省、高效快捷、质量易保证的技术,是一项值得推广的新技术。

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. 建筑地基基础设计规范(GB50007—2002). 中国建筑工业出版社,2002.
3. 建筑桩基技术规范(JGJ94—94). 中国建筑工业出版社,1995.