

复合载体夯扩桩在湿陷性黄土地区的应用

杨光华¹⁾ 王峰²⁾ 王会江³⁾

[摘要] 针对几种湿陷性黄土地基处理方案,阐明采用复合载体夯扩桩能够获得良好的综合效益。实际复合载体夯扩桩的设计,单桩竖向极限承载力浸水静载荷试验分析和工程桩基的完整性检测表明,采用复合载体夯扩桩处理湿陷性地基在技术上是可行的,桩基施工质量能够得到很好的控制,以保证桩基的安全可靠。

[关键词] 湿陷性黄土 地基处理 加固土层 单桩浸水静载荷试验 复合载体夯扩桩 检测

Application of Ram-compaction Piles with Composite Bearing Base Foundation in the Area of Collapsible Loess/ Yang Guanghua¹, Wang Feng², Wang Huijiang³ (1 Gold Construction Installation Engineering in the Central of China, Sanmenxia 472000, China; 2 Beijing Puissant Geotechnical Engineering Co., Ltd., Beijing 102218, China; 3 Datang Sanmenxia Power Generation Co., Ltd., Sanmenxia 472000, China)

Abstract: By comparing the cost of several kinds of ground treatment schemes in the area of collapsible loess, the paper expounds that the ram-compaction piles with composite bearing base is the most economical. Through the design of the ram-compaction piles with composite bearing base in an engineering, the vertical loading test of the pile and the injected water test, it shows that the technology is feasible to eliminate the collapsibility of the loess, and it can meet the need of the capacity bearing. By the low strain dynamic test of piles, the construction quality can be got.

Keywords: collapsible loess; ground treatment; reinforcement layer; vertical loading injected water test of pile; ram-compaction piles; composite bearing base; test

一、前言

对于湿陷性黄土地区通常采用的地基处理方案为灰土挤密桩,通过对桩周围的土体进行挤密加固,以消除地基土的湿陷性,提高土体承载力;或采用桩基将上部荷载穿过湿陷性黄土直接传递到非湿陷的土层。复合载体夯扩桩作为一种新型施工工艺,由于对桩端下35m的土体进行填料夯击形成复合载体,改变了原状土的材性和物理力学指标,消除了土体的湿陷性,与普通钢筋混凝土桩相比,大大缩短了桩长,具有明显的经济效益。现以三门峡市一实际工程为例,对该技术在黄土地区的设计、施工进行分析。

二、工程地质概述

三门峡市一住宅小区位于湿陷性黄土地基场地上,建筑面积2.6万m²。住宅楼均为地上6层,地下1层,砖混结构。场地内地形较为平整,但略有北高南低的趋势,地面高程约为394.7~396.3m。自然地坪下各土层及各层其物理力学指标如表1所示。

该场区内湿陷性黄土分布较深,厚度17.5m,局部已达到18.5m。拟建工程场地的总湿陷量为55.8~87.4cm,计算自重湿陷量为19.4~31.2cm,该场地确定为Ⅲ级自重湿陷性场地。

三、不同地基处理方案的对比

根据工程的地质资料和上部结构荷载,可以采用

土的物理力学指标

表1

土层	厚度 (m)	含水量 (%)	干重度 (g/cm ³)	孔隙比 (e)	液限 (W _L)	塑限 (W _p)	压缩模量 (MPa)	承载力特征值 (kPa)
①填土	0.8~3.5	—	—	—	—	—	—	90
②黄土类粉质粘土	0.0~1.5	13.9	1.51	0.80	27.2	16.8	13	150
③黄土类粉土	5.5~7.7	19.5	1.44	1.08	25.6	16.4	6	140
④黄土类粉土	2.2~4.0	22.9	1.40	1.04	26.3	16.4	14	150
⑤黄土类粉质粘土	1.4~2.5	23.1	1.45	1.12	25.1	16.1	13	160
⑥黄土类粉土	<6.7	24.0	1.48	1.10	24.8	15.8	19	170

换填土垫层法、灰土挤密桩、人工挖孔灌注桩和复合载体夯扩桩方案。换填土垫层法需开挖基坑到基底3.0m以下,采用3:7灰土进行回填夯实,采用钢筋混凝土条形基础。由于回填处理宽度必须超过建筑物外墙基础外缘的宽度不应小于3m,故开挖回填的工作量大,工期也长。灰土挤密桩对建筑物基础下的土体进行挤密加固,可以提高地基土的承载力,同时消除地基土的湿陷性。由于采用灰土桩处理方案处理宽度不小于处理土层厚度的一半,且灰土桩间距小,桩数多,工期长,成本高。人工成孔灌注桩工艺本身不能消除湿陷性,设计时桩长大于湿陷深度,将上部结构荷载传

1)中原黄金建设安装工程公司,三门峡,472000;2)北京波森特岩土工程有限公司,102218;3)大唐三门峡发电有限责任公司,472000。

递到非湿陷性土层,故桩长长,成本也高。与上述工艺相比,复合载体夯扩桩具有施工工艺简单,施工质量易保证、成本低等显著特点。表2为37#楼采用不同地基处理方案的经济指标的对比。

通过技术方案和经济造价比较,复合载体夯扩桩施工工艺、质量易控制,施工造价优势明显,被确定为最终方案。

37#楼不同处理方案的经济性对比(元) 表2

方案	土方工程	灰土垫层 (灰土桩、 人工挖孔 桩、复合 载体桩)	钢筋混凝 土条基	钢筋笼 制作	合计
灰土垫层	74 269	243 096.8	152 932.0	—	470 297.8
灰土挤密桩	30 817	164 937.2	270 845.5	—	490 051.7
人工挖孔桩	—	256 381.6	189 977.1	74 170.6	520 529.3
复合载体夯扩桩	6 391	80 206.0	315 236.0	12 000.0	413 833.0

四、复合载体夯扩桩的设计

在湿陷性黄土地区地基处理的设计除了考虑地基承载力外,还有一个很重要的因素便是黄土的湿陷性。由于施工时的填料夯击,能消除该深度内黄土的湿陷性,故复合载体夯扩桩持力层位置的确定除了考虑普通地区持力层确定的因素外,还要考虑黄土湿陷深度。复合载体厚度约为3~5m,根据三门峡地区复合载体夯扩桩实践经验,施工完毕后载体顶部以下4.0m范围都能消除黄土的湿陷性。因此设计时除了满足等效基础承载力和变形要求外,复合载体夯扩桩载体顶部深度不得高于非湿陷性黄土顶以上4.0m,现以37#楼为例对湿陷性地区复合载体夯扩桩的设计进行介绍。

1. 单桩承载力的计算

根据拟建工程地质勘察报告,地基土的湿陷深度为地下17.5m,承台梁埋深为-1.5m,复合载体夯扩桩有效桩长为 $l = 17.5 - 1.5 - 4.0 = 11.5\text{m}$ 。初步确定桩长12.0m,桩径410mm,桩身混凝土强度等级为C25。

桩端持力层地基承载力为170kPa,经深度修正后 $f = 170 + 2.0 \times 18.0 \times (15.5 - 0.5) = 710\text{kPa}$ 。初步确定三击贯入度为10cm,根据规程查表 A_e 取值为 1.80m^2 ,复合载体夯扩桩单桩承载力标准值为:

$$R_a = q_{pa} A_e = 1\ 278\text{kN} > 1\ 000\text{kN}$$

满足设计要求。

对桩身混凝土强度进行验算:

$$0.7 f_c A_p = 2\ 310\text{kN} > 1\ 000\text{kN}$$

桩身混凝土强度满足设计要求。

2. 配筋

复合载体夯扩桩配筋采用7 Φ 12通长配置,螺旋

箍筋 Φ 6@100/200;加劲箍筋 Φ 12@1 500,混凝土保护层厚40mm。

最终设计选择层⑥黄土类粉土层作为复合载体夯扩桩桩端下被加固土层,进行复合载体夯扩桩设计:桩径410mm,桩长12.0m,三击贯入度控制值小于10cm;干硬性混凝土夯填量 0.35m^3 ;单桩竖向承载力设计值为1 000kN。

五、复合载体处理后黄土湿陷消除的试验

为准确了解该场区地质情况和复合载体夯扩桩载体对黄土湿陷性的消除,施工前进行了试桩成孔试验和桩端载体取样分析。

试验场地位于拟建工程场地内,三个复合载体夯扩桩呈“一”字型布置施工,桩间距2m。由于是为检验成孔效果和土的湿陷性消除效果,成孔深度为9.0m,试桩平面图见图1,施工参数见表3。

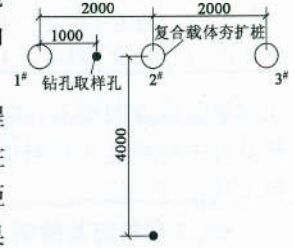


图1 试桩平面图

试桩施工参数 表3

桩号	桩长 (m)	桩径 (mm)	填料 (m^3)	三击贯入度 (cm)
1#	9.0	410	1.65	6
2#	9.0	410	1.62	6
3#	9.0	410	1.65	7

夯扩体底部土体在施工前后的土工试验成果的对比分析见表4。

从土工参数统计结果可以看出,复合载体夯扩桩施工完毕后,在加固区域的土体,经过填料和夯击以后地基土的结构和物理力学指标发生了明显变化,地基土的密度和干密度明显升高;孔隙比、压缩系数明显减小;压缩模量明显增大。从湿陷系数来看,夯扩体底部地基土的湿陷系数在1~2m范围内降低最大,已小于0.015;5m范围内影响最小。对湿陷的消除是从载体顶标高开始自上到下,湿陷消除效果逐渐降低,与理论复合载体的结构一致,通过试验统计分析在桩端下4m的有效深度内黄土的湿陷性消除。

六、复合载体夯扩桩施工

干硬性混凝土的夯填量为 0.35m^3 ,配合比与桩身混凝土配比相同,适当减少用水量便于操作。三击贯入度控制在10cm以内。

工程项目的桩基施工制定了详细的施工计划和质量管理计划,严格控制施工工艺和操作规程。重点控制夯扩体的三击贯入度、干硬性混凝土夯填量等重要施工参数,并按照《复合载体夯扩桩设计规程》中关于桩基

夯扩体底部土体的物理力学指标

表 4

土样类别	土样编号	取样深度 (m)	天然含水率 w (%)	天然密度 ρ (g/cm^3)	干密度 ρ_d (g/cm^3)	比重 G_s	孔隙比 e	饱和度 S_r (%)	液限 W_L (%)	塑限 W_P (%)	塑性指数 I_P	液性指数 I_L	压缩系数 $a_{0.5-1.0}$ (MPa^{-1})	压缩系数 $a_{1.0-2.0}$ (MPa^{-1})	压缩模量 E_s (MPa)	湿陷系数 ξ_s
原状土	1	9.0	13.5	1.58	1.39	2.70	0.940	38.8	26.0	16.7	9.3	<0	0.295	0.342	5.7	0.034
	2	10.0	18.9	1.74	1.46	2.71	0.856	59.8	27.3	17.5	9.8	0.14	0.148	0.245	7.6	0.019
	3	11.0	15.8	1.64	1.42	2.70	0.901	47.3	26.6	17.0	9.6	<0	0.232	0.217	8.8	0.024
	4	12.0	13.5	1.60	1.41	2.70	0.915	39.8	26.2	16.8	9.4	<0	0.284	0.253	7.6	0.029
	5	13.0	14.6	1.58	1.38	2.70	0.957	41.2	25.8	16.8	9.0	<0	0.325	0.363	5.4	0.023
施工后土样	1	9.0	13.9	1.80	1.58	2.70	0.709	52.9	25.9	16.4	9.5	<0	0.143	0.120	14.2	0.002
	2	10.0	19.1	1.79	1.50	2.71	0.807	64.2	27.3	17.5	9.8	0.16	0.147	0.118	15.3	0.005
	3	11.0	14.6	1.66	1.45	2.70	0.862	45.7	26.2	16.8	9.4	<0	0.143	0.114	16.4	0.013
	4	12.0	16.2	1.67	1.11	2.70	0.875	50.0	25.9	17.0	8.9	<0	0.127	0.201	9.3	0.023
	5	13.0	14.0	1.62	1.42	2.70	0.901	41.9	25.9	16.9	9.0	<0	0.111	0.283	6.7	0.018

工程质量检查的要求,做好复合载体应检查的项目和桩身有关材料施工资料的收集和整理,严格按照有关施工规范进行施工。

七、工程桩桩基检测

1. 单桩竖向极限承载力的浸水静载荷试验

浸水之前,在试桩周围以桩为圆心开挖一直径为4m的试坑,并在试桩外围钻探3个直径120mm的钻孔,在孔内填入细砂,整个试验坑内填入100mm的中砂。仪器安装完毕后,向坑内注入水,开始试验,试验方法与普通静载荷试验一致。

通过对三根试桩进行浸水载荷试验,根据单桩极限承载力的判定方法及试验成果记录可以看出:1#、2#试桩进入极限工作状态,3#桩在最大荷载作用下呈塑性变形状态,该桩已接近入极限工作状态。从而判定各桩竖向极限承载力 $Q_{ul1} = 2500kN$; $Q_{ul2} =$

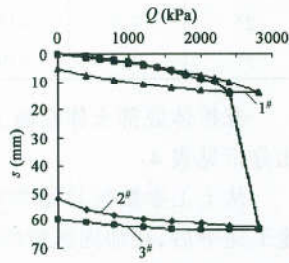


图 2 静载荷试验 Q-s 曲线

2500kN; $Q_{ul3} = 2800kN$,试桩承载力都大于1250kN,试验载荷曲线见图2。

2. 低应变完整性检测

工程37#楼布桩122根,对全部工程桩进行了桩身完整性检测。检测成果表明:一类桩73根,占总桩数的59.8%;二类桩43根,占总桩数35.2%;三类桩6根,占总桩数的5%,满足设计规范要求。

八、结语

(1)通过实际工程,采用价值工程原理分析,在湿陷性地区采用复合载体夯扩桩能够取得良好的经济效益和社会效益。

(2)通过浸水静载荷试验检测单桩竖向极限承载力,证明用复合载体夯扩桩消除载体顶部以下4m内黄土的湿陷性在技术上是可行的。

参 考 文 献

1. 曾国熙. 桩基工程手册. 中国建筑工业出版社,1995.
2. 复合载体夯扩桩设计规程. 中国建筑工业出版社,2001.
3. 湿陷性黄土地区建筑规范. 中国建筑工业出版社,2000.

(上接第23页)

内吊装安放钢筋笼;4)灌注桩身混凝土。

五、施工顺序对成桩质量的控制

和其它类型的挤土桩一样,复合载体夯扩桩也存在着挤土效应问题,并且不仅仅局限于桩身对侧壁土体的挤压效应,在进行填料夯扩施工形成复合载体的过程中,对周围土体的挤压效果更明显。为了避免已打桩不被新打桩所影响,可采取以上方法进行施工。

(1)一般采取横移退打的方式自中间向两端对称进行或自一侧向单一方向进行。

(2)当一侧毗邻建筑物时,应从毗邻建筑物一方方向另一方向施打。

(3)如果在同一场地设计采用不同桩长,施工时,

应当先施工桩长较短的桩,然后再施工桩长较长的桩。

(4)采用隔排或隔桩跳打法,在实施跳打过程中,应注意避免在桩机移动时对已打桩的顶部破坏作用,并注意跳打间隔时间大于混凝土的终凝时间。

(5)对于挤土效应很大的土层,可采用与螺旋钻取土引孔工艺相结合的施工方法。

因此,施工时必须根据具体的土质情况和桩的设计疏密程度,选择合理施工顺序,避免引起断桩或浮桩等质量事故发生。

参 考 文 献

1. 复合载体夯扩桩研究报告(内部)报告. 北京波森岩土工程有限公司,1997.
2. 建筑桩基技术规范(JGJ94-94). 中国建筑工业出版社,1995.