

复合载体夯扩桩质量影响因素分析

杨浩军 葛宝亮 赵忠锋

(北京波森特岩土工程有限公司 102218)

[提要] 复合载体夯扩桩技术近年来得到了很大的发展,在工业和民用建筑方面得到了广泛的应用。然而,设计和施工都可能影响桩身的承载性能。施工中,填料量的大小,三击贯入度的控制值,以及被加固土层的合理选择都关系到桩身质量的控制。施工过程中应该对各种情况进行严格监控,保证桩身质量。

[关键词] 复合载体夯扩桩 质量控制 分析

Analysis of the Factor Affecting the Quality of Ram-compaction Piles with Composite Bearing Base/Yang Haojun, Ge Baoliang, Zhao Zhongfeng (Beijing Puissant Geotechnical Engineering Co., Ltd., Beijing 102218, China)

Abstract: Ram-compaction pile with composite bearing base has been used widely in civil engineering of China. The carrying capacity is determined by design and construction. The volumn of filled materials, the three penetration degree and the porper selection of bearing layer have much relationship to the quality of piles. All factors in construction must be strickly supervised to ensure the quality of piles.

Keywords: ram-compaction pile; composite bearing base; quality control; analysis

一、前言

近几年来,复合载体夯扩桩技术在全国 20 多个省市的近 100 个城市得到推广和应用,并被列入建设部科技成果重点推广项目。据不完全统计,截止到 2005 年 4 月,运用该技术完成的项目上千项,工程产值超过 10 亿元,充分显示了其在岩土工程领域的技术优势。随着该技术越来越普遍的应用,广大工程技术和管理人员也倍加关注它的技术和质量问题。

复合载体夯扩桩是采用细长夯锤夯击成孔,将护筒沉到设计标高,用细长锤在筒底反复夯击填充料,达到一定的贯入度后,加入并夯击干硬性混凝土,最后再吊放钢筋笼并灌注混凝土成桩的一种新工艺。由于该工艺在夯扩填料时,对填料进行反复的动力冲击作用,使夯锤周围和底部的填料向外挤扩,将形成一个具有一定高度、一定直径和一定密实度的近似球状的复合载体,改善了夯扩体周围和底部土层的物理力学性能。在荷载作用下,夯扩体和挤密土体可以起到分层扩散应力作用,消除桩端的应力集中现象,将桩端的应力水平逐层降低到天然土体能够承受的程度,从而改善了土体的受力状态,提高了桩的承载能力。

因此,该工艺不同于传统意义桩基,应主要从以下方面进行控制。

一、复合载体的设计和施工

1. 复合载体设计

对于传统意义的桩基,主要从桩的侧摩阻力和桩端阻力来分析桩的承载性能,为达到要求的承载力,设

计时,通常选择好的持力层和适宜的桩长,端阻力为极限端阻力标准值乘以桩端面积。

复合载体夯扩桩主要考虑复合载体对桩端阻承载力的贡献,按照《复合载体夯扩桩设计规程》(JGJ135—2001, J121—2001)(以下简称《规程》)的规定,单桩竖向承载力特征值用下式计算:

$$R_a = u_p \sum q_{sia} l_i + q_{pa} A_e \quad (1)$$

式中: R_a 为单桩竖向承载力特征值, u_p 为桩身周长, q_{sia} 为桩侧第 i 层土的侧阻力特征值, l_i 为桩穿越第 i 层土的厚度, q_{pa} 为复合载体下地基土经深度修正后的地基持力层承载力特征值, A_e 为等效桩端计算面积。

需要特别注意的是,正是 q_{pa} 取值的特点和实际力的作用特点,决定了复合载体夯扩桩不是真正意义上的桩基,更接近或属于深层基础;而面积 A_e 须根据夯锤(重量为 3.5t, 落距 6m)三击贯入度值,按照《规程》表 4.2.2 进行取值。

已有试验表明,复合载体夯扩桩在加载过程中,桩侧摩阻占桩的全部承载力的比率是逐步下降的,属于典型的端承桩,一般不考虑桩侧壁摩阻力的大小,因此载体位置的选择至关重要。设计时,在满足软弱下卧层承载力和变形要求的前提下,应尽量选择上部土质较好、承载力较高的地层,可根据岩土工程勘察报告,初步选定适于载体施工的土层。工程桩施工前,选择具有代表性的工程勘探位置进行工艺性成桩试验,为了使试验结果更有代表性,还应在勘探孔位之间布置试验点,观察和统计夯锤三击贯入度值是否达到设计

要求,并根据统计结果和所加固土层的土性,反算出桩的预计承载力,并和实际压桩结果进行对比分析。

因此,在复合载体夯扩桩设计中,一定要选择适宜的夯扩体施工位置,选择合适的最后三击贯入度值,弄清楚每个参数的准确含义,避免同其他桩基计算参数混淆。在进行工艺性试验时,选择的试验位置要有代表性。

2. 复合载体的施工质量问题

传统意义的桩基在施工时,在保证混凝土质量的前提下,灌注桩主要通过控制桩长来保证桩的承载力,打入(压入)的预制桩,主要通过控制长度或最后贯入度(压力)或二者双控来保证桩承载力。而对于复合载体夯扩桩的质量控制来说,除了保证桩身混凝土质量外,夯填材料和夯锤最后三击贯入度控制更加重要。

夯填材料量决定了复合载体直径和高度的大小。按照设计规程,在夯击后地面隆起不超过 50mm 和相邻桩的竖向位移不超过 20mm 的情况下,三击贯入度控制的投料量不宜小于 0.5m^3 ,而且不宜大于 1.8m^3 ,因为前者会造成复合载体直径过小,或厚度太薄,不能有效地传递和分担荷载,而后者往往会对相邻的桩产生较大的影响。

夯锤最后三击贯入度,对桩端等效计算面积取值具有决定性作用,也是复合载体施工质量控制的灵魂。夯锤的夯击作用,使桩端下近 2~4m 范围内的土体受到冲击而被加固,最后三击的贯入度达不到要求,夯扩体直径和密实度不能被保证,土体也不可能被有效挤密加固,这可能是如下几个原因造成的。

(1)夯扩填充料周围及以下的土体没有被充分地挤密实。在夯击过程中,随着夯锤的冲击作用,周围和下部土体被不断挤密。因为,夯击过程其实就是对土体的结构进行破坏并重组的过程,在夯击冲击能量作用下,土体中的气体被压缩,土体颗粒重新进行排列,孔隙比降低,压缩模量增大。最后三击的贯入度达不到设计值,可能造成桩的沉降很大,承载力达不到设计要求。不同孔隙比和压缩模量的土体,在相同的荷载作用下,其承载力性状和沉降是不同的,因此为了保证和提高桩的承载力,减少桩的沉降,在施工作业时,应尽可能对土体进行挤密,以减小土体的孔隙比,增加土体的压缩模量。

(2)夯扩填充料部分没有被很好地夯实,造成填充料成相对松散状态,以至承载力达不到设计要求和产生过大的沉降。夯实填料一般为碎砖、碎混凝土、碎石、卵石等,在被投入护筒后,颗粒之间主要成松散接触状态。通过夯锤的冲击作用,一方面对较大的填充料进行破碎,另一方面,对破碎后的填料进行重新排列

组合,形成近似圆形的具有一定抗冲击性能和一定模量的实体,如果最后三击的贯入度达不到要求,填料没有被有效击实,造成复合体的孔隙比较大,压缩模量较小,影响桩的承载力和沉降。

(3)选择的被加固土层不合理或地质情况异常,造成最后三击贯入度始终无法达到设计要求的情况。通常情况下,被加固土层主要选择可塑~硬塑状态的粘性土以及粉土、碎石或碎石土,如果被加固土层为流塑状态的粘土或其它土质较差的土层,夯扩过程中,侧壁和底部的土对填充料几乎没有限制作用,填料随着夯击作用不断被挤向孔底和侧壁,甚至直接传递到地表,造成地面的隆起,或对已经施工完毕的桩产生水平推力,造成桩断裂。

三、桩身质量控制

传统意义的灌注桩在侧阻力和端阻力充分发挥并超过其极限荷载的情况下发生破坏。而复合载体夯扩桩,应力主要通过桩身传递到复合载体,桩身起到一个应力传递的作用,相当于一个应力传递杆,故对桩身质量要求很高。在荷载传递过程中,如果桩身混凝土出现离析、孔洞、缩径等问题时,很有可能形成局部应力集中现象而造成桩坏。实际施工中,应注意以下几个方面的问题:1)施工开始前,一定要对所使用的材料进行检验,特别是水泥的检验;2)严格按照配合比试验报告进行混凝土的拌制,各种材料的计量要准确,不超过规范规定的误差范围;3)雨季施工时,注意根据砂、石含水量的变化调整用水量;4)灌注混凝土时,确保混凝土充盈系数不小于 1.0,对于软弱的淤泥或淤泥质土层,还应适当加大;5)为了保证桩顶混凝土凿除浮浆后强度能达到设计要求,灌注时应超过设计桩顶标高 30~50cm;6)注意保持混凝土连续浇注,并采取合适方法,对混凝土进行振捣。

四、桩端和复合载体结合质量控制

桩端与复合载体顶面的结合质量问题,是施工质量控制的重要环节,也是容易造成质量问题的重要因素之一,因为不良接触对桩的沉降有很大的影响。在荷载作用初期,在某级荷载 $Q-s$ 曲线上可能出现沉降的突变。这是因为,夯实干硬性混凝土后,由于重锤的夯击作用,复合载体顶面混凝土中发生离析或由于部分骨料被击碎而成散体状。此时浇注桩身混凝土,骨料与复合载体连接处不密实,在荷载作用下,产生应力集中现象,造成突然的破坏沉降。施工时,可按照如下方法和程序进行控制:1)在复合载体夯扩施工结束后,浇灌 0.3m^3 和桩身混凝土标号相同的干硬性混凝土,夯实干硬性混凝土;2)浇灌 $0.1\sim 0.15\text{m}^3$ 高标号水泥砂浆,强度一般不低于 M15;3)在尽量短的时间

(下转第 34 页)

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

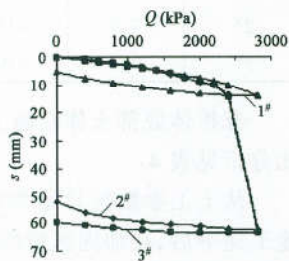
工程质量检查的要求,做好复合载体应检查的项目和桩身有关材料施工资料的收集和整理,严格按照有关施工规范进行施工。

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 $Q_{u1} = 2\,500\text{kN}$; $Q_{u2} =$

图 2 静载荷试验 $Q-s$ 曲线

2 500kN; $Q_{u3} = 2\,800\text{kN}$,试桩承载力都大于 1 250kN,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.