

扩顶复合载体桩复合地基在北京北六环 桥头地基处理中的应用

吕志明 尹全

蔺忠彦

(北京首都公路发展有限责任公司 100078) (北京波森特岩土工程有限公司 102218)

[摘要] 通过复合载体夯扩桩在北京市六环路高填方地基处理工程中的应用实例,介绍了该技术的承载特点及检测效果。该扩顶复合载体复合地基处理结果与其他地基处理结果的对比表明,复合载体夯扩桩复合地基在路基工程中具有明显的经济效益和良好的应用前景。

[关键词] 复合载体夯扩桩 复合地基 扩顶 方案比较

Application of Ram-compaction Piles with Composite Bearing Base in the Sixth Ring Road Engineering in Beijing/ Lü Zhiming¹, Yin Quan¹, Lin Zhongyan² (1 Beijing Highway Construction Management Co., Ltd., Beijing 100078, China; 2 Beijing Puissant Geotechnical Engineering Co., Ltd., Beijing 102218, China)

Abstract: Through the application of ram-compaction piles with composite bearing base in the sixth ring road engineering in Beijing, the character of the technology and the testing effect are presented. Compared with other schemes of composite ground, the technology of ram-compaction piles with enlarging top is more economical and has broad application future.

Keywords: ram-compaction piles; composite bearing base; composite ground; enlarging the top area of pile; scheme comparing

扩顶复合载体复合地基是一种新型的复合地基处理方法,它采用素混凝土的复合载体夯扩桩代替 CFG 桩复合地基中的素混凝土桩,为充分发挥夯扩桩承载力高的特点,扩大桩顶面积,将上部荷载更多地传递到深层土体,减小了浅层地基土的受力,提高了复合地基承载力。该工艺施工快捷、经济效益明显,具有显著的社会效益,让人们更多的了解其原理与优越性,现结合北六环桥头地基处理工程对扩顶复合载体复合地基的进行介绍。

一、工程概况

北京市北六环路位于昌平区和门头沟区,是一条联系北京市郊区卫星城镇和疏导市际过境交通的高速公路。六环路路面宽度 26m,双向四车道,设计车速 100km/h。其中北六环(西沙屯-温泉段)位于昌平区和海淀区,根据相关地质资料,地面以下土层的物理力学指标见表 1。地下水位位于地面下 3.8m。

由于粘土含水量大、压缩模量小、承载力低,无法作为桥头路面地基,必须进行地基处理。桥头填方处理范围为桥头引道长 30m。处理分两部分,靠近桥台一侧以桥梁指标控制,长 10~15m;靠近路基一侧以道路指标控制,长 20~15m。处理指标如下:1)靠近桥台一侧地基处理容许工后沉降不大于 30mm;2)靠近路基一侧地基处理容许工后沉降不大于 50mm;3)地基

承载力控制根据填方高度的不同要求范围为 150~250kPa。

土层物理力学指标

表 1

土层	厚度 (m)	γ (kN/m ³)	w (%)	e	I_L	E_s (MPa)	f_k (kPa)
①耕土	1.1	-	-	-	-	-	-
②亚砂土	2.9	20.1	19.80	0.61	0.56	5.00	120
③亚粘土	8.5	20.1	23.39	0.66	0.55	6.16	160
③ ₁ 亚粘土	1.1	20.0	20.36	0.62	0.38	9.30	180
④亚砂土	1.4	-	-	-	-	-	230
⑤亚粘土	2.1	20.0	24.56	0.68	0.45	11.96	210

二、地基处理方案的选择

对于路基地基处理的方案,经常采用的是预压法,采用堆载对地基土进行预先施加压力,使土体中的水产生超孔隙水压力,孔隙水压力消散后,土体的承载力和压缩模量得到了提高。这种方法施工简单、经济节省,唯一的缺点是在软土地区,由于土体的渗透系数小,超孔隙水压力消散时间长,故承载力达到设计要求所需时间长。

北六环是首都重要的市政项目,工期要求短,采用预压法势必耽误工期,必须采用其他的地基处理方案来提高路基下土体的承载力和压缩模量,减少施工完毕后的沉降。常用的地基处理方案为深层搅拌桩复合

地基和 CFG 桩复合地基,这两种方案通过在土体中植入强度和刚度大的桩体,提高复合地基的承载力和压缩模量,但这两种方案成本都较高。扩顶复合载体复合地基充分利用了复合载体夯扩桩单桩承载力高的特点,同时又充分利用桩间土。由于施工桩长短,节省了造价。为充分发挥复合载体夯扩桩的承载力,通过桩顶一定深度扩径将上部更多荷载传递到桩体,再进一步扩散到桩端下部的土体,减少了地基的沉降,节省了工期,如图 1。经专家讨论,最后确定 14 个桥头采用扩顶复合载体复合地基,4 个桥头采用 CFG 桩复合地基,2 个桥头采用深层搅拌桩复合地基。为对比分析几种方案对地基沉降发展的影响,分别对这三种方案处理的桥头地基进行沉降观测。

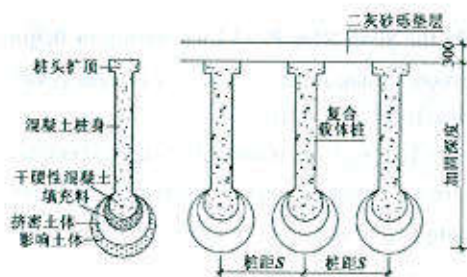


图 1 复合载体夯扩桩剖面示意图

三、扩顶复合载体复合地基的设计

现对北沙河桥头地基处理中扩顶复合载体复合地基的设计进行介绍。该工程位于桥头与路基连接的区域,处理长度约 30m,宽度与路基相同,要求处理后复合地基承载力不小于 210kPa,每一处理段沉降要求为靠近桥台一侧地基处理容许工后沉降不大于 30mm;靠近路基一侧地基处理容许工后沉降不大于 50mm。

1. 单桩承载力的计算

对于复合载体夯扩桩设计首先必须确定桩长,即载体基础的位置,经过初步估算和分析,确定桩长为 6.0m。

地基土经深度修正后承载力为施工时三击贯入度为 25mm,载体位于层③,其承载力特征值为 160kPa,经深度修正后承载力为 $q_{ps} = 160 + 1.6 \times 18.5 \times (6 - 0.5) = 322.8\text{kPa}$,可得 $R_s = 516\text{kN}$,取 400kN。

2. 复合地基承载力计算

设计桩身混凝土强度等级为 C15,桩径 $\phi 400$,桩顶扩径为 $\phi 600$,桩间距为 $1.8\text{m} \times 1.8\text{m}$,复合地基置换率为:

$$m = 3.14 \times 0.3^2 / (1.8 \times 1.8) = 0.0873$$

$$f_{sp,k} = mf_{pk} + (1 - m)f_{sk} = 233\text{kPa} > 210\text{kPa}$$

满足设计要求。

由于桩身没有钢筋,对桩顶混凝土必须进行抗冲击验算,经验算扩径长度为 500mm 时,可以满足抗冲击

切要求。

3. 沉降计算

软土地基的沉降包括主固结沉降、次固结沉降和瞬时沉降,精确计算是一个比较复杂的问题,如考虑软土变形随时间变化的特性,须考虑粘土的渗透系数,但实际勘察报告中未提供该参数,若采用经验系数进行计算,结果有可能产生较大误差。为方便计算,建筑物沉降采用下式计算:

$$s = \psi_s \sum_{i=1}^n \frac{p_0}{E_{si}} (z_i \bar{\alpha}_i - z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1})$$

根据软土地区路基施工经验,路面铺油之间一般固结度为 70%,故采用建筑地基基础设计规范中计算的变形乘 0.7 的系数作为铺油施工前的沉降,另 30% 沉降为工后沉降。

以北沙河 1# 桥高填方处理进行计算,根据地质资料,采用分层总和法计算,总沉降为 48.9mm,施工期间沉降为 34.23mm,工后沉降为 14.67mm,小于 30mm,满足设计要求。

四、扩顶复合地基的施工

扩顶复合载体复合地基的施工与复合载体夯扩桩施工相同,采用液压步履式夯扩桩机进行复合载体夯扩桩,在桩身施工完毕后,对桩顶 0.5m 范围进行扩径。

路基处理设计方案为满堂布桩,在施工过程中考虑到对相邻桩的影响问题;施工时先从内往外进行施工。由于被加固土层多为接近饱和状态的粘性土,打桩过程中容易出现地面隆起,影响处理效果,在施工中对填料量进行了控制,每根桩的填料不大于 1m^3 ,在填料受到限制的情况下,通过调整桩长来满足设计要求的贯入量,以保证单桩承载力。

五、扩顶复合载体复合地基的检测和沉降观测

复合载体夯扩桩施工结束后,对每个桥头及涵洞的复合地基承载力分别进行了静载荷试验,对桩身进行了低应变检测。经对静载试验数据进行分析,所有试点都满足设计要求, $Q-s$ 曲线呈缓变型,在 2 倍设计荷载下最大变形为 32.5mm,最小为 24.6mm,沉降比 CFG 桩和水泥搅拌桩小。对北六环桥头扩顶复合载体夯扩桩进行低应变完整性检测,采用反射波法,所有桩身完整性都满足设计要求,其中 I 类桩占 95.3%,II 类桩占 4.7%,无 III、IV 类桩。图 2 为三种复合地基静载荷 $Q-s$ 曲线对比。

对于软土地区路基的处理,除了要满足承载力要求外,很重要的一点就是对变形的控制,尤其在桥头部分,由于桥基础一般采用桩基础,深度大一般可达到基岩,基础变形小,而桥头复合地基处理深度有限,地基变形大,若沉降差过大,将在桥头与路面的结合处出现不均匀沉降,产生跳车现象。为了解桥头填方处理完

毕后基础的沉降,分别对各桥头进行沉降观测。将观测点安装在复合地基褥垫层底面,将沉降观测点安装于复合地基褥垫层的底部,在路中心布置。沉降观测点由钢筋混凝土底板、金属测杆和保护套管组成。保护套管尺寸以能

套着测杆为宜,随着填土的增高,测杆和套管也相应接高,每节长度为50cm,采用了方板加竖向钢管的形式,方板尺寸为1m×1m×3cm,测杆采用φ4cm的钢管。

通过对桥头填土期间和填土完毕后的沉降观测数据进行统计分析,沉降随时间呈现双曲线型变化,在复合地基施工完毕后100d沉降趋于稳定。通过与CFG桩复合地基和水泥土搅拌桩复合地基的沉降观测数据对比分析,由于桩顶的面积扩大,将上部荷载传到深层土体,降低了地基的变形,图3为北沙河1#桥桥头沉降随时间的曲线,施工完90d后,累计沉降为26.74mm,沉降变化率为0.08mm/d。

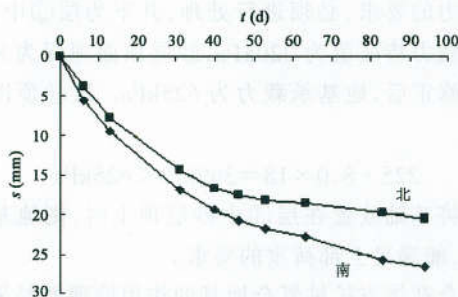


图3 沉降s随时间t变化的曲线

地基沉降随时间变化的曲线接近于双曲线型,通常可以用下式对地基最终沉降进行推算:

$$s_t = \frac{t}{\alpha + t} s$$

式中: s_t 为地基在时间t的沉降(mm),s为地基在荷载作用下的最终沉降(mm)。

根据测量数据采用双曲线可以推算出地基最终沉降为40.7mm,可见实际沉降与理论基本相符。

六、经济对比

由于复合载体夯扩桩单桩承载力高,桩长短,复合地基间距为1.8~2.0m,CFG桩复合地基间距为1.7~1.8m,减少了总桩数,节省了造价,表2为北沙河1#桥桥头高填方地基处理采用不同方案的经济对比。

通过北沙河1#桥桥头地基处理分析,采用扩顶复合载体复合地基比CFG桩复合地基和水泥土搅拌桩

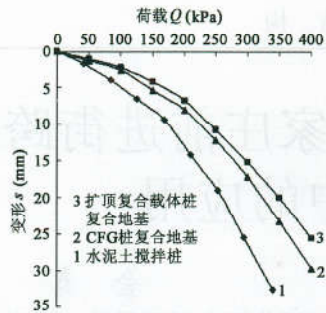


图2 部分静载荷试验Q-s曲线

不同处理方案的经济对比

表2

方案	桩径 (mm)	桩长 (m)	间距 (m)	总桩数 (根)	造价 (万元)
水泥土搅拌桩	500	13.0	1.6	643	44.6
CFG桩复合地基	400	10.0	1.7	574	41.7
扩顶复合载体复合地基	400	6.0	1.8	507	31.5

节约造价20%以上。

七、结论

复合载体夯扩桩不仅可以作为桩基础用于建筑工程的基础中,还可以作为复合地基用于公路工程的路基处理中;由于采用了扩顶工艺,扩顶复合地基在软弱路基的地基处理中,具有较好的处理效果和较低的造价,而且保护了环境。该技术在公路路基工程中有较为广阔的应用前景。

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. 公路软土地基路堤设计与施工技术规范(JGJ017-96). 人民交通出版社,1997.

(上接第69页)

3. 复合地基回弹模量的计算

复合地基回弹模量按照下式进行计算:

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

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。

五、结语

针对回填时间短、回填厚度大、组成成分复杂、堆积自重固结差的杂填土地基,采用等能量等贯入度夯扩挤密渣土(碎石)桩进行加固处理,是一种很有效的地基处理技术。它可以根据处理要求,对不同深度的土体进行加固,将不均匀地基调整为均匀地基,在提高地基土承载力的同时,还解决了地基的不均匀沉降问题,有效地消除地基土层的湿陷性、膨胀性和液化现象,是一项值得大力推广的施工工艺。

参考文献

1. 顾晓鲁等. 地基与基础. 中国建筑工业出版社,2003.
2. 江正容. 地基与基础施工手册. 中国建筑工业出版社,1997.
3. 建筑地基处理技术规范. 中国建筑工业出版社,2001.