

等能量、等贯入度控制挤密渣土桩在北京晋元庄立交桥地基处理中的应用

陈国立 李英平

葛宝亮

(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)

[提要] 结合北京五环路工程中晋元庄立交桥的地基处理,介绍了等能量、等贯入度控制挤密渣土桩的设计参数。对施工后的复合地基和桩间土的检测表明,桩的各项参数指标都满足设计要求。该技术与其他技术的对比表明,该技术在技术上和经济效益上都具有明显优势。

[关键词] 等能量 等贯入度 挤密渣土桩 复合地基 地基处理 承载力

Application of Gravel Piles Constructed by Equal Energy and Equal Penetration Method in the Ground Treatment of Fushi Road Overpass in Beijing Fifth Ring Road/Chen Guoli¹, Li Yingping¹, Ge Baoliang² (1 Beijing Highway Construction Management Co., Ltd., Beijing 100078, China; 2 Beijing Puissant Geotechnical Engineering Co., Ltd., Beijing 102218, China)

Abstract: The selection of design parameters and the construction procedure of the gravel pile controlled by the equal energy and equal penetration method in Fushi Road overpass of the Beijing fifth ring road engineering are introduced. The bearing capacity of the composite foundation and the soil are tested to meet the needs of the design. Compared with other schemes of the treatment for the composite foundation, the technology of the treatment is advance in technology and economy.

Keywords: equal energy; equal penetration; gravel pile; composite foundation; ground treatment; bearing capacity

一、工程概况

北京五环路工程中阜石路立交桥位于五环主路与阜石路的交汇处,该场地地貌位置属永定河冲洪积扇的上部,地形起伏较大,根据钻孔钻探结果,立交桥范围内的地基已被建筑垃圾、工业垃圾及生活垃圾回填,土层呈松散状,局部有空洞,回填厚度约为20~30m,其中杂填土承载力为110kPa,压缩模量为5.0MPa,该场地地基回填时间有长有短,回填厚度不一,分布范围广,组成成分复杂,堆积自重固结差,在水文条件发生变化时,又具有很强的湿陷性,沉降不均匀、变形量大、持续时间长,因此,不能直接作为道路路基及桥梁基础的地基使用,必须进行地基处理。

二、地基处理方案的确定

1. 设计要求

根据场地的工程地质条件,按照工程设计要求,所有回填部分的地基必须满足路基基础及桥梁基础的设计荷载要求:加固处理后,地基的压实度(重型击实试验标准)应达到90%以上;六线雨水方沟主路段复合地基的承载力 $\geq 250\text{kPa}$;阜石路加宽段复合地基的承载力 $\geq 200\text{kPa}$;复合地基的回弹模量值 $E_0 \geq 30\text{MPa}$ 。

2. 等能量、等贯入度控制挤密渣土桩复合地基方案确定

对于杂填土地基的处理,常用的方案为大开挖后回填级配石,本工程由于为一大坑回填建筑垃圾沉积而成,杂填土较厚,若采用常规的彻底清除再分层回填优质填料的工程处理方案在技术上是完全可行的,但是工程量巨大、工期长、工程费用高。采用水泥土搅拌桩复合地基或其他地基处理方案,这些方案挤土效应差,必须采用较长的桩长,由于填土厚度较大,没有合适的持力层,且整个回填坑标高不一致,回填土起伏较大,最浅处与最深处相差达10.0m,若采用这些工艺,对整个场区地基土变形的控制将非常困难,故这些方案都不合适,必须考虑采用其它先进的技术处理方案,既能满足设计要求,又能降低工程成本。

等能量、等贯入度控制挤密渣土桩能有效加固土体,提高土体承载力和变形模量,且由于采用等能量和等贯入度进行控制,避免了地基的不均匀沉降。根据该场地的实际情况,周围填土为粗颗粒土体,有机质含量低,通过夯击可以达到较高的挤密效果和强度,可以就地取材作为填料,大大节省成本,故该方案是切实可行的处理方案。

由于杂填土较深,若对整个深度范围内的杂填土进行处理,工程量大、成本高。在地面下15m以下深度的杂填土,在回填过程中,其上为回填土的预压作

用,经过长期的固结后,土体孔隙比降低,承载力达到有效提高,能满足路基传递的荷载;其上土体回填土厚度较浅,压力小,固结度低,故可只对该深度以上的土体进行处理,即处理深度为15m。

采用等能量、等贯入度控制挤密渣土桩处理地基,既提高了地基承载力,又改变了土的特性、降低了地基变形,并且该技术施工快捷、经济优势明显,经专家论证被确定为该工程路基地基处理的方案。

三、渣土桩复合地基的设计

1. 复合地基承载力计算

以6线雨水方沟主路段为例进行设计计算。

根据施工设备确定渣土桩桩径为 $\phi 600\text{mm}$,桩长为8.0m,桩间距为1.6m,正三角形布置,置换率 $m = A_e/A = 0.127$,地基土承载力为110 kPa,冲击重锤采用质量为3.0t的锤,每次提升高度为6.0m,一击贯入度为15cm,根据设计经验当一击贯入度为15cm,渣土桩的承载力一般为800~1200kPa,故设计中渣土桩承载力特征值可取1100kPa, β 取1.2。

$$f_{sp,k} = 0.127 \times 1100 + 1.2 \times (1 - 0.127) \times 110 = 255\text{kPa} > 250\text{kPa}$$

分别对各段路基处理进行设计,各地段的设计参数如表1所示。

2. 变形设计计算

采用分层总和法分别对每一段的复合地基进行沉降计算,并根据沉降变形计算结果对渣土桩桩长进行调整,最终各段计算变形都满足设计要求。

设计参数表 表1

序号	地段	设计复合地基承载力标准值(kPa)	设计桩间距(m)	单桩最大处理面积(m ²)
1	6线雨水方沟主路段	250	1.6	2.22
2	6线雨水方沟A,B,C段	200	1.8	2.80
3	7线雨水方沟	250	1.3	1.46
4	主路	200	1.8	3.24
5	老山桥3#挡土墙	200	1.3	1.46
6	阜石路加宽段A,D	200	1.8,0.9正三角形布桩	3.24,0.81

注:有效桩长2.0~10m,桩径 $\phi 600\text{mm}$ 。

四、复合地基的检测

为了解等能量、等贯入度控制挤密渣土桩处理后复合地基的处理效果,分别对复合地基承载力和桩间土进行检测和原位试验分析。

1. 重II动力触探试验

整个场地各处理地段处理完毕后,分别采用重II动力触探试验对施工完后的桩间土进行检测,结果表明,桩间土的锤击数都有一定提高,约提高23.5%~31.6%,各段锤击数统计如表2所示,都满足设计要求。

处理前后重II动力触探试验锤击数对比 表2

深度(m)	北侧锤击数(2号孔)		深度(m)	南侧锤击数(5号孔)	
	处理前	处理后		处理前	处理后
1.0	14	18	1.0	10	11
2.0	7	14	2.0	10	15
3.0	5	11	3.0	2	10
4.0	6	10	4.0	5	8
5.0	5	10	5.0	7	9
6.0	9	12	6.0	3	9
7.0	7	11	7.0	6	9
8.0	10	13	8.0	2	8
9.0	13	15	9.0	7	10
10.0	11	17	10.0	8	16
11.0	8	14	11.0	3	12
12.0	10	13	12.0	5	15
13.0	12	20	13.0	7	13
14.0	10	17	14.0	9	16
15.0	11	14	15.0	8	13
16.0	8	14	16.0	12	14
17.0	10	16	17.0	15	17
18.0	12	14	18.0	11	16
19.0	10	14	19.0	18	25
20.0	11	16	20.0	16	24

填土厚度 30.00m 填土厚度 29.30m

试验结果表明,等能量、等贯入度控制挤密渣土桩处理的影响深度达20.0m;处理后的重II动力触探试验锤击数 $N_{63.5}$ 明显提高,并且均匀。在北侧,处理前锤击数 $N_{63.5} = 5 \sim 14$ 击,平均9.45击,处理后锤击数 $N_{63.5} = 10 \sim 20$ 击,多数在10~17击之间,平均14.2击,提高了50.3%;处理前变异系数 $\mu = 0.41$,处理后变异系数 $\mu = 0.33$;在南侧,处理前锤击数 $N_{63.5} = 2 \sim 18$ 击,平均8.2击,处理后锤击数 $N_{63.5} = 8 \sim 25$ 击,多数在8~16击之间,平均13.4击,提高了63.4%;处理前变异系数 $\mu = 0.64$,处理后变异系数 $\mu = 0.22$ 。图1为南北区处

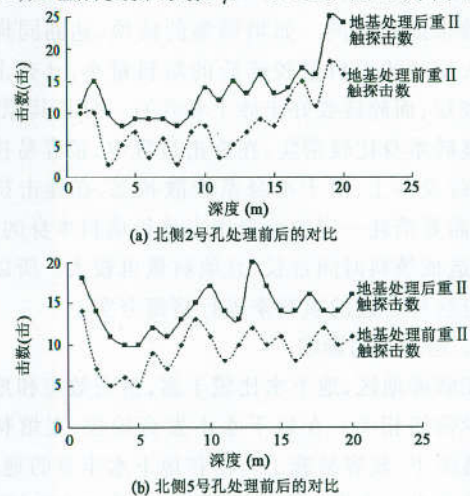


图1 南、北侧试验区处理前后重II动力触探测量的击数的比较

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。

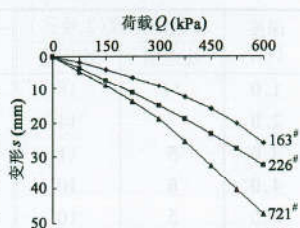


图2 部分复合地基平板静载荷试验 Q-s 曲线

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.