

粉煤灰振冲复合地基首次在大连市的应用

常聚友

(铁道第二勘察设计院,成都 610031)

【摘要】 粉煤灰振冲复合地基,具有施工简单,成本低,地基承载力能明显提高的优点。

【关键词】 粉煤灰;振冲复合地基;承载力

【中国分类号】 TU 472

The First Application of Vibrated Flyash Composite Foundation in Dalian

【Abstract】 The vibrated composite foundation is used in flyash stratum by a new technology. Its feasibility and economy are proved in practice.

【Key words】 flyash; vibrated composite foundation; bearing capacity.

0 引言

大连市快速轨道三号工程车辆段拟建的八区办公楼位于大连市华能电厂原粉煤灰池中,而粉煤灰强度低、厚度大,在此地层上修建办公楼必须进行地基处理。经论证处理此地基的最佳方案为振冲复合地基。而振冲复合地基必须采用相应的新技术,新工艺才能实施。

1 地质概况及方案设计

该区地形平坦,高程 4.5~5.8 m,地表为原粉煤灰池,粉煤灰层厚 6.0~8.5 m,地下水位埋深 4.0 m,水位以上粉煤灰呈可塑状。水位以下粉煤灰呈软塑状。由地勘揭露,粉煤灰承载力 $f_{k1} = 50$ kPa,粉煤灰的下伏地层为稍密卵石层,承载力 $f_{k2} = 400$ kPa,八区办公楼为五层楼,基础设为条形基础,其主要条形基础下设计的复合地基承载力 $f_{spk1} \geq 200$ kPa,非主要条形基础下设计的复合地基承载力 $f_{spk2} \geq 150$ kPa,并要求振冲的碎石桩径 $D \geq 1.2$ m 以及振冲深度应穿过粉煤灰层与下伏

卵石层连接,碎石料采用人工石料场硬质石灰岩碎石,粒径 3~15 cm,最大不超过 15 cm,并铺设 0.3 m 厚的碎石垫层。

据地质条件及设计要求,振冲桩的布置呈等边三角形,其中在主要条形基础下布 5 排桩,桩距 $d_1 = 1.8$ m,置换率 $m_1 = 0.403 0$,在非主要条形基础下满布桩,桩距 $d_2 = 2.3$ m,置换率 $m_2 = 0.246 9$ 。其振冲面积为 $8 967.5$ m²,振冲总桩数为 2 355 根。

2 振冲复合地基的实施

2.1 振冲设备的选取及采取的新技术、新工艺

首先选取 BJ-75kw 大功率振冲器和 T1-120 推土机堆振冲用碎石料铺盖,以及工序各环节严格按 ISO9002 要求和工作程序开展工作。采用新技术、新工艺为:

①双泵双管分级输送,集中排污的施工措施。

②顶面施工采用顶压褥垫法。

③采用复振法(尤其在地下水水位下)。

④桩底部采用成孔预振法。

⑤振冲填料采用强迫填料法。

2.2 施工实施

①清理场地、接通电源、水源。

②施工机具就位,起吊振冲器对准桩位。

③造孔,开动高压水泵冲水,启动动力箱,待振冲器运行正常以后,使振冲器处于垂直状态再徐徐贯入土中至孔底,其中,造孔速度宜大于 2 m/min ,偏差应小于 150 mm ,待造孔深度超过设计深度 $0.5 \sim 1.0 \text{ m}$ 时终孔。

④清孔,振冲器在孔底停留 1 min ,靠水压将孔内稠泥浆排出,将振冲器提出孔口,再较慢的从原孔贯入,使桩孔畅通,为有利填料加密可将振冲器提升 $2 \sim 3$ 次。

⑤振冲,当清孔后投入碎石料 $1 \sim 1.5 \text{ m}^3$,粒径为 $70 \sim 150 \text{ mm}$ 的碎石压底,并用振冲器复振至设计标高后上提 30 cm ,当达到预定电流强度和留振时间后,即可依次向上分段加密和复振,其中,加密电流 80 A ,留振时间 10 s ,加密复振长度 $30 \sim 50 \text{ cm}$,造孔水压 $0.4 \sim 0.6 \text{ MPa}$,加密复振水压 $0.1 \sim 0.3 \text{ MPa}$ 。

⑥填料加密及复振

自孔内倾倒一部分填料,下沉振冲器将回填料送到孔底进行挤密,此时振冲器加密电流增大,当达到设计规定的加密电流和留振时间后,将振冲器上提并复振,随之将振冲器提出孔口强迫加料,再贯入孔内进行下一个加密段,每段加密长度应符合设计要求。以次重复上述步骤,再继续进行下一个加密段,直至整个桩振冲完毕,振冲完毕后,每根振冲桩用碎石料约 $13 \sim 17 \text{ m}^3$ 。

⑦用料选择

选用较大骨料粒径 $70 \sim 150 \text{ mm}$ 为主,辅以粒径为 $20 \sim 70 \text{ mm}$ 的骨料混用,采用较大粒径骨料既有利于对土体的挤密作用,又有利于桩体的透水性,而粒径较小的骨料对粉煤灰则易形成超量置换,可提高桩体和桩间土的密实度,有利提高复合地基的承载力。

⑧褥垫层的设置

振冲时推土机采用推振碎石料铺盖法,边施工边形成 0.3 m 厚的褥垫层,施工完毕后用 16 t 振动式压路机一轮压半轮工艺碾压六遍形成永久柔性人造褥垫层,以提高桩头和地基顶面桩间土的密实度。其施工流程图见图 1。

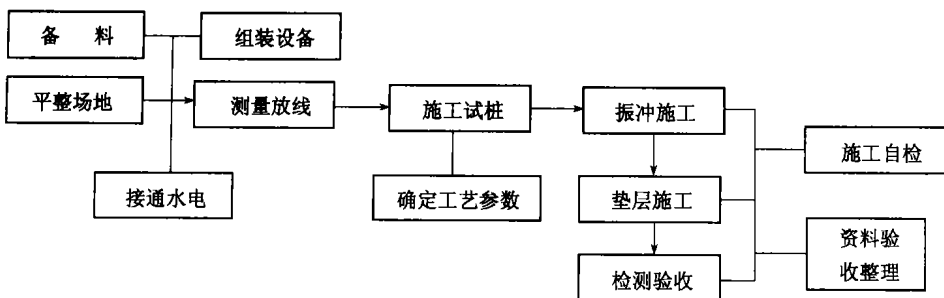
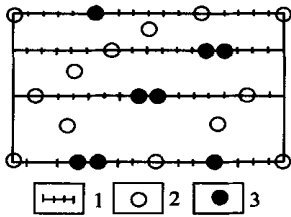


图 1 施工流程图

3 粉煤灰振冲复合地基的质量检测

首先在地基内挖一长 15 m 、宽 10 m 、深 1.5 m 的大坑,分别在坑内出露的振冲桩中量出桩的直径 $D=1.4 \sim 1.5 \text{ m}$,以及振冲施工时振冲器从桩底依次逐渐振冲及复振至桩顶,复振使桩径均匀增大,由此可确定振冲桩直径能达到

$D=1.2 \text{ m}$ 的设计要求,然后在施工结束两周后进行振冲复合地基的质量检测,检测采用 $N_{63.5}$ 动力触探及静载荷试验分别对振冲桩体、桩间土、复合地基进行。其中在桩距 $d_1=1.8 \text{ m}$ 范围内,做动探点 9 点,静载荷试验 8 点;在桩距 $d_2=2.3 \text{ m}$ 范围内做动探点 4 点(见图 2)。



1—主要条形基础 2—动探点 3—静载试验点
图2 主要条形基础及动探、静载点平面布置图

3.1 $N_{63.5}$ 动力触探的检测

① 桩间土的检测

桩间土的 $N_{63.5}$ 动力触探检测用 A 表示, 在 $m_1=0.4030$ 及 $m_2=0.2469$ 区域内分别各布 2 点的 $N_{63.5}$ 动力触探, 现以 $m_1=0.4030$ 区域检测点 8~13[#] 桩间土检测为例(见图 3)。

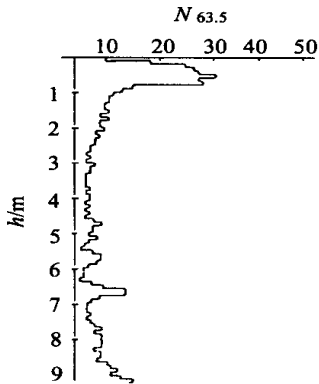


图3 8~13[#] A 动探曲线图

由图 3 可见, 在检测深度 1~8.7 m 内, $N_{63.5}=4$ 击, 其桩间土承载力 $f_{sk}=170$ kPa。检测深度 8.7~9.4 m, 为原地层中密卵石层, $N_{63.5}=10$ 击, $f_{k2}=400$ kPa。粉煤灰地层内原 $f_{k1}=50$ kPa, 经地基振冲处理后, 其桩间土 $f_{sk}=170$ kPa, 承载力提高 3.4 倍(详见表 1)。

表 1 八区桩间土 $N_{63.5}$ 动探成果数据统计

编号	层位定名	深度/m	$N_{63.5}$	承载力标准值 f_{sk}/kPa	备注
8~13 [#] A	桩间土	1~8.7	4	170	$m_1=0.4030$
8~2 [#] A	桩间土	1~6.0	4.36	186	$m_1=0.4030$
8~5 [#] A	桩间土	1~8.0	2.56	126	$m_2=0.2469$
8~10 [#] A	桩间土	1~5.9	1	79	$m_2=0.2469$

由表 1 可见, 在 $m_1=0.4030$ 区域, 取桩间土 f_{sk} 平均值为 m_1 区的标准值 $f_{sk1}=178$ kPa; 在 $m_2=0.2469$ 区域取两桩间土 f_{sk} 平均值为 m_2 区的标准值 $f_{sk2}=102$ kPa。由此说明, 置换率越大, 桩间土挤密程度越好, 承载力 f_{sk1} 越大, 反之 f_{sk2} 越小。

② 桩体的检测

桩体的 $N_{63.5}$ 动力触探检测用 B 表示。

在 $m_1=0.4030$ 及 $m_2=0.2469$ 区域共布 9 点的 $N_{63.5}$ 动力触探, 现以检测点 8~1[#] B 桩体检测为例(见图 4)。

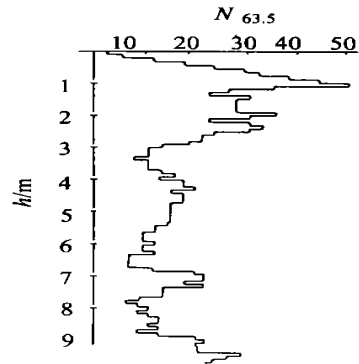


图4 8~1[#] B 动力触探曲线

由图 4 可见, 振冲桩在检测深度 0.1~6.6 m 内, $N_{63.5}=14$ 击, $f_{pk}=540$ kPa。检测深度 6.6~9.3 m 为原地层稍密卵石层, $N_{63.5}=10$ 击, $f_{k2}=400$ kPa。由此可见, 粉煤灰地层由原 $f_{k1}=50$ kPa, 经地基振冲处理后, 其桩体 $f_{pk}=540$ kPa, 承载力提高 10.8 倍, 详见表 2。

表 2 八区桩体 $N_{63.5}$ 动探成果数据统计

编号	层位定名	深度/m	$N_{63.5}$	承载力标准值 f_{sk}/kPa	备注
8~1 [#] B	碎石桩体	0.1~6.6	14	540	$m_1=0.4030$
8~4 [#] B	碎石桩体	0.1~9.1	8	320	$m_1=0.4030$
8~6 [#] B	碎石桩体	0.1~8.3	7	280	$m_1=0.4030$
8~7 [#] B	碎石桩体	0.1~8.6	9	360	$m_1=0.4030$
8~8 [#] B	碎石桩体	0.1~5.3	9	360	$m_1=0.4030$
8~9 [#] B	碎石桩体	0.1~7.8	10	400	$m_1=0.4030$
8~12 [#] B	碎石桩体	0.1~8.3	9	360	$m_1=0.4030$

续表

编号	层位定名	深度/m	$N_{63.5}$	承载力标准值 f_{sk}/kPa	备注
8~3 [#] B	碎石桩体	0.1~8.0	7	280	$m_2=0.2469$
8~11 [#] B	碎石桩体	0.1~7.0	9	360	$m_2=0.2469$
标准值	碎石桩体		7.8	312	

由表 2 可见, 桩体承载力标准值 $f_{pk} = 312 \text{ kPa}$ 。

③ 动力触探复合地基承载力的计算

置换率 $m_1 = 0.4030$ 区域, 在检测深度 0.1~8.0 m 范围内, 其复合地基承载力标准值

$$f_{spk} = mf_{pk} + (1-m)f_{sk}$$

$$f_{spk} = 0.4030 \times 312 + (1-0.4030) \times 178 = 232 \text{ kPa}$$

满足设计 $f_{spk} \geq 200 \text{ kPa}$ 的要求。

置换率 $m_2 = 0.2469$ 区域, 在检测深度 0.1~8.0 m 范围内, 其复合地基承载力标准值, $f_{spk} = mf_{pk} + (1-m)f_{sk}$

$$f_{spk} = 0.2469 \times 312 + (1-0.2469) \times 102 = 154 \text{ kPa}$$

满足设计 $f_{spk} \geq 150 \text{ kPa}$ 的要求。

3.2 静载荷试验检测

静载荷试验检测采用慢速维持荷载法, 在 $m_1 = 0.4030$ 区域, 均匀共布八个静载点, 其中桩间土 3 点, 桩体 3 点, 复合地基 2 点。

桩间土采用承压板直径 $b = 0.8 \text{ m}$ 或 0.56 m 的园板, 用 T 表示; 桩体采用承压板直径 $b = 1.2 \text{ m}$ 的园板, 用 Z 表示; 复合地基采用承压板直径 $b = 1.89 \text{ m}$ 的园板, 用 F 表示; 承压板均置于挖去褥垫层出露的桩间土及桩体上面进行静载荷试验。

① 桩间土的静载荷试验

取 8~4[#] T 的 $p-s$ 曲线进行分析, 见图 4。

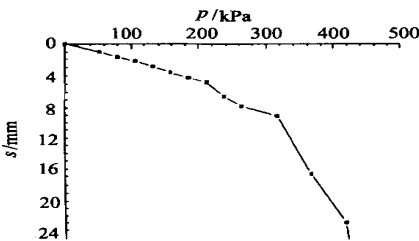


图 4 8~4[#] T 试验点 $p-s$ 曲线图

由图 4 可见, 极限荷载值为 422 kPa, 取其二分之一为基本值 211 kPa, 列入表 3。同理其余 2 点 8~1[#] T 、8~3[#] T 的 $p-s$ 曲线没有明显的比例界限, 取其沉降量 s 与压板直径 b 之比, $s/b = 0.01$ 对应荷载作为该点的承载力基本值, 即均大于 200 kPa, 也列入表 3。

表 3 静载桩间土承载力基本值汇总表

编号	桩间土承载力基本值 f_{sk}/kPa	主要影响深度*/m	压板直径/m
8~4 [#] T	211	1.1	0.56
8~1 [#] T	>200	1.6	0.8
8~3 [#] T	>200	1.6	0.8

注: * 主要影响深度这里指当表层土附加压力传递到一定深度时, 压力扩散为表层土压力的 10% 时所对应的深度

由表 3 可见, 取其 $f_{sk} = 200 \text{ kPa}$ 为 $m_1 = 0.4030$ 区域桩间土承载力标准值。

② 桩体的静载荷试验

取 8~1[#] Z 的 $p-s$ 曲线进行分析, 见图 5。

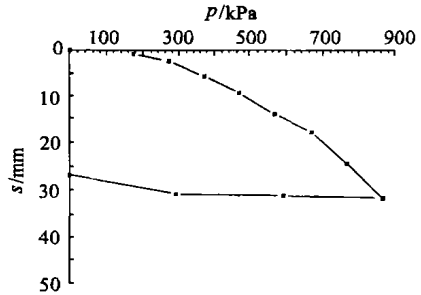


图 5 8~1[#] Z 试验点 $p-s$ 曲线图

由图 5 可见, 其 $p-s$ 曲线无明显比例界限, 取其相对变形 $s/b = 0.015$ 对应荷载确定其承载力基本值为 670 kPa, 列入表 6。同理 8~3[#] Z 、8~4[#] Z 的基本值分别为 494 kPa、565 kPa, 见表 4。

表 4 静载桩体承载力基本值汇总表

编号	桩体承载力基本值/kPa	主要影响深度/m	压板直径/m
8~1 [#] Z	670	2.5	1.2
8~3 [#] Z	494	2.5	1.2
8~4 [#] Z	565	2.5	1.2

由表 4 可见, 三点桩体承载力基本值平均值为 576 kPa, 其极差与平均值之比为

30.5%, >30%, 不能以平均值作为标准值。从安全出发, 只能取较小值为其标准值, 则取 $f_{pk} = 500 \text{ kPa}$ 为 $m_1 = 0.403$ 区域内桩体承载力标准值。

③静载桩间土与桩体计算复合地基承载力标准值

$$f_{spk} = mf_{pk} + (1-m)f_{sk}$$

$$f_{spk} = 0.403 \times 500 + (1-0.403) \times 200 = 320, \text{ kPa}$$

满足设计 $f_{spk} \geq 200 \text{ kPa}$ 的要求。

④复合地基的静载荷试验。

取 $8 \sim 2F$ 的 $p-s$ 曲线进行分析(见图 6)。

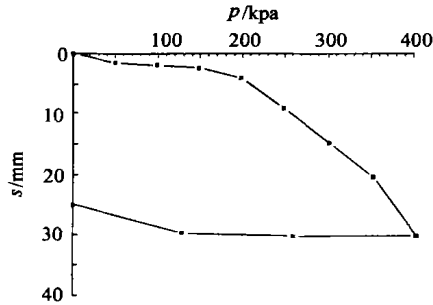


图 6 $8 \sim 2^{\#} F$ 试验点 $p-s$ 曲线图

图 6 中 $p-s$ 曲线无明显比例界限, 取其相对变形 $s/b = 0.015$ 对应荷载确定其承载力基本值为 380 kPa (见表 5), $8 \sim 5^{\#} F$ 的承载力基本值为 362 kPa (见表 5)。

表 5 静载复合地基承载力基本值汇总表

编号	复合地基承载力基本值/kPa	主要影响深度/m	压板直径/m
$8 \sim 2^{\#} F$	380	4.0	1.89
$8 \sim 5^{\#} F$	362	4.0	1.89

由表 5 可见, 该样本数量不足 3 个, 但其复合地基承载力基本值相差不大, 可取其平均值为该区复合地基承载力标准值 $f_{spk} = 371 \text{ kPa}$, 满足设计 $f_{spk} \geq 200 \text{ kPa}$ 的要求。

3.3 复合地基承载力标准值的综合分析

由 $N_{63.5}$ 动探桩间土、桩体计算得出的复合地基承载力标准值在检测深度 $0.1 \sim 8 \text{ m}$ 内, $f_{spk} = 232 \text{ kPa}$; 由静载桩间土、桩体计算得出的复合地基承载力标准值在主要影响深度 $0 \sim 2.5 \text{ m}$ 内, $f_{spk} = 320 \text{ kPa}$; 由静载直接得出的复合地基承载力标准值在主要影响深度 $0 \sim 4.0 \text{ m}$ 内 $f_{spk} = 371 \text{ kPa}$; 可见静载试验主要反应地基浅部的综合承载力, 动力触探主要反应地基浅部至深部内的承载力, 同时说明此振冲地基浅部 $0 \sim 4.0 \text{ m}$ (水位以上) 振冲效果比深部 $4 \sim 8 \text{ m}$ (水位以下) 要好, 但均满足设计 $f_{spk} \geq 200 \text{ kPa}$ ($m_1 = 0.403$ 区域) 和 $f_{spk} \geq 150 \text{ kPa}$ ($m_2 = 0.2469$ 区域) 的要求。

4 结论

采用新技术、新工艺对粉煤灰振冲复合地基处理, 由原来地基承载力 $f_{k1} = 50 \text{ kPa}$, 提高到 $f_{spk} > 200 \text{ kPa}$ ($m_1 = 0.403$) 和 $f_{spk} > 150 \text{ kPa}$ ($m_2 = 0.2469$), 满足了设计要求, 使粉煤灰振冲复合地基首次在大连市应用成功, 并且其成本较低。

收稿日期: 2002-07-22