

石灰粉喷桩在南店村大桥淤泥质地基加固的应用^①李 宏^{1,2}, 陈南春^{1,2}

(1. 桂林南方监理公司, 广西 桂林 541004; 2. 桂林工学院有色金属材料及其加工技术教育部重点实验室, 广西 桂林 541004)

摘 要:根据某高速公路南店村大桥地基因淤泥质土含水量大于 30% 而承载力低的实际情况, 采用石灰粉喷桩, 加固处理南店村大桥桥台软基。根据开挖与动测结果, 满足桥台地基承载力不小于 150kPa 的要求。该方法具有设备简单、施工方便、经济效益好的特点。

关键词:桥基; 加固; 石灰粉喷桩; 淤泥质地基; 南店村

中图分类号: U443.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-5663(2005)03-0318-04

0 引言

目前国内处理软土地基的主要方法有清淤换填、袋装砂井、塑料排水板固结法、粉喷桩、钢渣桩及超载预压等, 其中粉喷桩处理软土地基的方法目前还处于一种半理论半经验阶段。因此, 大量地积累工程实践资料, 对于完善设计理论有极大的价值。本文主要根据某高速公路南店村大桥的软土特征, 按设计要求对南店村大桥桥台采用石灰粉喷桩的软基处理方法, 以及对该施工结果进行检测并分析施工效果, 对如何有效地采用石灰粉喷桩, 确保软基处理的效果有重要的工程意义。

1 工程地质概况

1.1 地形地貌

南店村大桥位于冲积平原区。在该平原上分布有南河、北河, 平原区基本上为河流一级阶地。平原微向南倾, 地形平坦广阔。该大桥地处南河南岸, 为河流一级阶地, 地形平坦。

1.2 区域地质构造

在第四纪早期和晚期, 东南沿海地区出现了两次相对区域下降运动。由于海进, 在平原区沉积了一套以海相为主的淤泥及淤泥质土的沉积层。该区地处新华夏系断裂构造体系, 地层岩性复杂, 岩浆活动频繁, 以新华夏系断裂构造的主干断裂及其配套构造为本区主要构造形迹。根据 2001 版 1/500 万《中国地震动参数区划图》, 高速公路沿线地段地震动峰值加速度为 0.1 g, 地震动反应谱特征周期为 0.40 s, 地震基本烈度为 VI 度。

2 软土的特征

根据《××高速公路地质勘察报告》在综合钻探、触探、十字板剪切及土工试验等方面的结果, 对软土物理力学性质指标分段进行数理分析, 得出该大桥区地基的软土具有以下特征: 高孔隙比; 天然含水量高; 液性指数大; 凝聚力和摩擦角小; 渗透系数和固结系数低; 稳定性差、承载力低; 触变性和蠕变性显著。大桥区为河流相第四系松散沉积层, 沉积层厚度大于 55m。

对该桥区 0[#]、1[#]、3[#]、4[#] 桥台不同部位及深度进行取样, 进行了天然含水量、天然密度、孔隙比、塑限、液限、塑性指数、有机质含量、标准贯入值、压缩系数、压缩模量等试验。

上述各项土工试验的结果如表 1。

3 软土地基的处理办法

软基处理的目的是保证路基有足够的稳定性, 其次是使处理后的路基产生尽可能小的沉降量或工后沉降量, 特别是不均匀沉降。

南店村大桥桥台要求的地基承载力不小于 150kPa。原地基承载力远远满足不了设计要求, 如用打塑料排水板超载预压法处理, 预压期要 6 个月, 不能满足工期要求。而采用粉喷桩加固法, 适合于天然含水量大于 30% 的淤泥质土、粘性土和粉性土等软土地基, 特别适合对桥头等构造物的沉降控制。综合各种处理方法及影响因素, 最终采用石灰粉喷桩对桥台及台前和台后进行软基处理。该桥处于冲积平原区, 桥基条件极差, 为第四系松散沉积层, 0[#]~1[#] 号桥台淤泥质土层厚度为

① 收稿日期: 2004-12-27 作者简介: 李 宏(1968-), 男, 四川南部县, 工程师, 主要从事市政工程施工监理。

40.34~47.55 m, 3[#]~4[#]号桥台淤泥质土层厚度为57.32~59.87 m。根据施工经验,在桥台处、粉喷桩距采用1.1m,处理长度不小于5倍桥台高度,采用14m,设置1/4~1/3长度的过渡段,并采用桩距逐渐增大的过渡方法。地基处理范围:横桥向为28m,顺路方向0[#]—

1[#]号桥台为12.8m(即中心桩前后各为6.4 m), 3[#]~4[#]号桥台为12.8m(即中心桩前后各为6.4 m)。粉喷桩的平面布置为四边形,边长为1.1m(即桩中心距离),桩直径为0.5 m,桩长度为14 m,采用生石灰,复合地基承载力不小于150kPa。

表1 南店村大桥桥台不同部位及深度的各项土工试验结果

Table 1 Engineering test results at the different places and depth of the abutment in Nandiancun bridge

点位	深度 (m)	天然含水 量 $w(\%)$	天然密度 $\rho(g/cm^3)$	孔隙比 $e(\%)$	塑限 $w_p(\%)$	液限 $w_l(\%)$	塑性 指数	有机质含 量 $(\%)$	标准贯入值 N63.5	压缩系数 (MPa^{-1})	压缩模量 (MPa)
0 [#] 台1	4	37.3	1.446	1.583	20.3	30.6	10.3	3.46	<1	0.66	3.14
0 [#] 台2	2	39.7	1.357	1.799	20.5	30.9	10.4	4.07	<1	0.68	3.22
1 [#] 台1	1	38.4	1.451	1.688	20.4	30.8	10.4	4.21	<1	0.72	3.20
1 [#] 台2	9	39.9	1.422	1.701	20.6	31.1	10.5	4.19	<1	0.71	3.68
3 [#] 台1	2	48.5	1.186	2.404	26.7	45.1	18.4	5.69	<1	0.77	3.50
3 [#] 台2	13	50.4	1.118	2.606	32.2	59.8	27.6	6.40	<1	0.84	3.38
4 [#] 台1	4	51.4	1.120	2.762	32.4	58.4	26.0	6.63	<1	0.87	3.44
4 [#] 台1	1	59.4	1.018	2.591	29.2	46.5	17.3	5.55	<1	0.76	3.58

3.1 石灰粉喷桩的设计

石灰粉喷桩的设计主要由单桩设计、复合地基设计和工艺性设计三部分组成。

3.1.1 单桩设计

单桩承载力根据下列公式计算,两者取小值。

$$[P] = \eta \times P_f \times A_p \text{——桩身抗压强度 (1-1)}$$

$$[P] = U_p \times \sum f_i \times L_i + \alpha \times A_p \times q_p \text{——桩与桩周土} \\ \text{磨擦力+桩尖土支承力 (1-2)}$$

式中:

$[P]$ ——单桩允许承载力, (kN);

P_f ——桩身强度, (kPa);

η ——桩身强度折减系数,可取0.3~0.4;

A_p ——桩的面积, (m²);

U_p ——桩的周长, (m);

f_i ——桩周围第*i*层土的容许磨擦力,淤泥可取5~8kPa,粘性土可取12~15kPa

L_i ——桩周围第*i*层土的厚度, (m);

α ——桩尖天然土承载力折减系数,可取0.4~0.6;

q_p ——桩尖天然土承载力, (kPa);

单桩设计应使得土对桩的承载力与桩身强度所确定的承载力相近,并宜使后者略大于前者。

3.1.2 复合地基设计

复合地基承载力计算公式如下:

$$\sigma_{SP} = \sigma_s \times \sigma_p + (1 - \alpha_s) \times \sigma_s \times \beta \quad (1-3)$$

式中:

σ_{SP} ——复合地基允许承载力, (kPa);

σ_s ——桩尖土天然地基允许承载力, (kPa);

σ_p ——桩身允许承载力, $\sigma_p = \eta \times P_f$, 符号意义同式(1-1), (kPa);

β ——桩尖土承载力折减系数;

α_s ——石灰桩换桩率, $\alpha_s = n \times A_p / A$, 其中

n ——桩根数;

A ——加固总面积。

3.2 工艺性设计

进灰量所控制的石灰土的搅拌效果,直接影响着地基加固效果,所以必须进行工艺性设计。工艺性设计主要是根据土质条件来合理地设计钻机、喷粉机和空压机的操作参数。

3.2.1 石灰土的搅拌效果计算

用土体中任一点经钻头搅拌的次数 M 来控制石灰土的搅拌效果。

$$M = (h \times \sum Z \div V) \times N \quad (1-4)$$

式中:

h ——钻头叶片垂直投影高度;

$\sum Z$ ——钻头叶片总数;

N ——搅拌轴总数;

V ——钻头提升高度。

3.2.2 石灰粉单位时间喷出量计算

$$q = \pi/4 \times D^2 \times r_d \times A \times V \quad (1-5)$$

式中:

D ——钻头直径;

r_d ——软土干容重;

A ——桩身面积;

V ——钻头提升速度。

3.3 石灰粉喷桩的施工

本工程施工机械选用型号 SJP-18 型喷粉桩机施工,成桩直径为0.5m,最大桩长度为14m。

3.3.1 施工流程图(见图1)

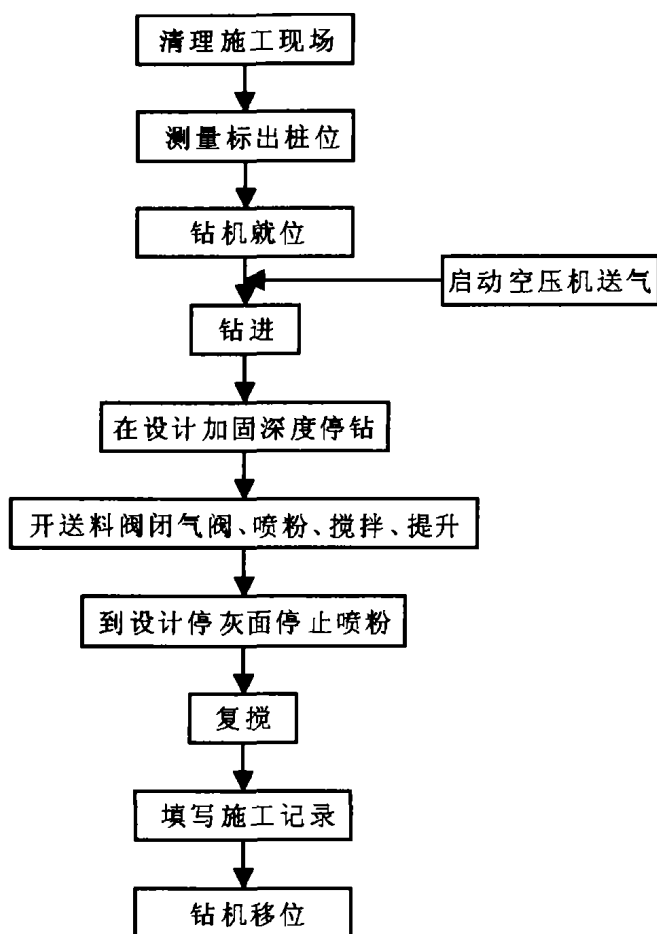


图1 石灰粉喷桩施工流程图

Fig.1 Constructing flow chart of lime jet mixing pile

3.3.2 试桩及施工参数的确定

3.3.2.1 试桩

为了熟练掌握石灰粉喷桩施工工艺,确保施工质量,施工前在加固软基范围外按“施工流程”先进行成桩工艺试验(试桩)。确定石灰粉喷桩的喷粉量等各种施工参数及搅拌均匀程度,掌握各地层钻进和提升的困难程度,以确定合适的技术措施。

3.3.2.2 施工参数的确定

试桩后分别在7d和28d时挖开桩间土,对成桩情况、搅拌均匀程度进行检查,并在桩顶下0.5m、1.0m、1.5m处截取整段桩体进行无侧限抗压强度试验,确定工艺参数如下:

喷粉数量——0.5kg/m

钻进速度——0.5~0.8m/min

提升速度——0.5~0.8m/min

搅拌速度——30~50转/min

气体流量——20L/s

空气压力——0.2~0.4MPa

3.3.3 施工注意事项

(1)施工前清除施工现场地表土并予以平整,然后回填粘性土(高出设计停灰面0.5m)并碾压平整,以确保桩头施工质量。

(2)根据设计图进行桩位放样,桩位平面位置 $<50\text{cm}$,桩径为50cm,桩距为1.1m,正四边形布置。

(3)为了保证粉喷桩垂直度,应将钻机平台调平,以使钻杆导向架与地面保持垂直,使垂直偏差 $<1.5\%$,施工中钻机定位时,在导向架纵横方向上固定垂球检查。

(4)施工时严格控制喷粉时间和停粉时间,每根桩开钻后要连续作业,不得中断喷粉,以确保粉喷桩的连续性,严禁在尚未喷粉的情况下进行钻杆提升作业。

(5)施工中发现喷粉量不足,要对整桩复喷复搅,复喷粉量仍应不少于设计喷粉量。

如遇停电、机械故障等原因而喷粉中断时,要及时记录中断深度,在12h内采取补喷处理措施,补喷重叠段长度应大于100cm,超过12h应采取补桩措施。

(6)随施工进度应随时复核桩位,以防由于人为、机械震动因素造成桩位发生偏移。

4 桥台基加固效果的检测

地基加固施工的效果必须进行各项质量检查和测量试验,以确认其是否满足设计要求。检测结果如下:

(1)石灰柱外观检查。加固工程结束后20天,经开挖观测,石灰土柱外观整齐,柱表面呈螺旋状,灰土搅拌均匀,纵向无裂纹。

(2)开挖时,石灰土柱坚硬,用铲挖除较困难,须用丁字镐刨除。

(3)钻头直径为500mm,挖出的石灰土柱直径在软土层为600~700mm,对周围的土体起了明显的压实作用。

(4)在工地开挖不同龄期的粉喷桩,对桩体进行动测试验,试验数据如表2。

(5)现场做了5组单桩复合地基静载荷试验,试验结果如表3。

5 结论

(1)石灰粉喷桩软基处理南店村大桥桥台后,桥台地基承载力大于150kPa,满足设计要求;

(2)南店村大桥完工后,沉降观测小于10cm,满足设计要求;

(3)石灰粉喷桩处理淤泥质粘土地基的效果是明显的,用石灰粉喷桩处理后的地基,渗透性增大,石灰粉喷桩有助于排水固结,经处理后复合地基降低了软土含水量,增大了粘聚力,复合地基的强度得到了提高。

表 2 南店村大桥桥台地基石灰粉喷桩体动测试验
Table 2 Dynamic test of lime jet mixing pile in the
foundation of Nandiancun bridge

施工情况			检测评定			备 注
桩号	桩长(m)	桩径(mm)	桩波速(m/s)	推算承载力(kPa)	完整性分类	
6	13.4	500	1989	150	I	I类表示桩身完好,达到设计桩长,波速正常
20	13.5	500	2135	160	I	
28	13.6	500	2311	160	I	
40	13.6	500	2122	160	I	
65	13.8	500	2119	160	I	
78	13.7	500	2120	160	I	
82	13.8	500	1950	150	I	

表 3 南店村大桥单桩复合地基静载荷试验
Table 3 static loading test for the composite
foundation of single pile of Nandiancun bridge

桩号	桩径(m)	桩长(m)	龄期(d)	复合土承载力(kPa)	复合土平均承载力(kPa)
14	0.5	13.4	151	149.6	153.3
26	0.5	13.5	152	157.2	
45	0.5	13.3	153	150.3	
59	0.5	13.9	155	153.4	
77	0.5	13.3	160	155.9	

(4)石灰粉喷桩加固软土地基法施工方便,地基加固见效快,安全可靠。它对施工场地的要求不高,并且受时间和气候的影响较小。因此,它的施工工期短,经济效益明显,也适宜用于公路的挡土结构、桥涵、通道的软土地基中。

参考文献:

- [1] 林宗元. 岩土工程治理手册[M]. 沈阳:辽宁科学出版社,1993: 188—204.
- [2] 薛殿基. 粉喷桩的设计与施工[M]. 郑州:河南科学技术出版社, 1997:1—5.
- [3] 杨顺安,张红艺,韦宏皓等. 粉喷桩复合地基承载力设计方法的探讨[J]. 岩土工程出版社,1998,(2):24—28.

APPLICATION OF DEEP LIME JET MIXING PILE IN CONSOLIDATING THE PLIABLE SOIL FOUNDATION OF NANDIANCUN LONG SPAN BRIDGE

LI Hong^{1,2}, CHEN Nan-chun^{1,2}

(1. Guilin South Inspection Company, Guilin Guangxi 541004;

2. Guilin Institute of Technology, Guilin Guangxi 541004)

Abstract: Lime jet mixing piles were constructed to consolidate the soft foundation of the abutment of Nandiancun bridge, considering its lower weight bearing capacity because of the silt with more than 30% water content. The digging and dynamic testing results show that the requirement to the abutment that its bearing capacity should over 150kPa is satisfied. The method is characterized with simple equipment, convenient operation and good economic result. Table 1 various civil engineering test results at different parts and depth of the foundation of Nandiancun bridge

Key Words: Road soft foundation, Soft soil feature, The lime jet mixing pile, Design, Building, Examination