Application of Cement Mixing Pile in Treatment of High Liquid Limit Clay Roadbed

Xingjing Cai

Xiamen Branch of China Municipal Engineering Northwest Design and Research Institute Co., Ltd., Xiamen, Fujian, 361026, China

Abstract

High liquid limit clay has the characteristics of high natural water content, large void ratio and low strength. It is a highly compressible soil with low mechanical strength and poor engineering performance. As the subgrade bearing layer, the post construction settlement of the subgrade in its natural state is large, which can not meet the needs of road traffic operation. As a kind of cohesive strength pile in foundation treatment, cement mixing pile can not only transfer load through the pile, but also improve the mechanical properties of soil between piles, so as to form a composite foundation with pile-soil interaction, and effectively improve the bearing capacity and compression modulus of the foundation. This paper briefly summarizes the application of cement mixing pile in the treatment of high liquid limit cohesive soil foundation, and discuss the matters needing attention in design and construction, in order to provide some references for similar projects.

Keywords

cement mixing pile; high liquid limit clay; application

水泥搅拌桩在高液限黏土路基处理中的应用

蒸兴经

中国市政工程西北设计研究院有限公司厦门分公司,中国・福建厦门361026

摘 要

高液限黏土具有天然含水量高、孔隙比大、强度低的特性,属高压缩性土,力学强度低,工程性能差。在作为路基持力层时,由于其天然状态下路基的工后沉降较大,不能满足道路交通运营的需求。水泥搅拌桩作为地基处理的一种有粘结强度桩,不仅可以通过桩体传递荷载,还可以改善桩间土的力学性能,从而形成桩土共同作用的复合地基,有效地改善地基承载力和压缩模量。论文简要概述水泥搅拌桩对高液限黏土地基处理的应用,并探讨设计及施工的注意事项,以期为类似工程项目提供一些参考。

关键词

水泥搅拌桩; 高液限黏土; 应用

1 引言

高液限黏土是沿海地区一种常见的软土,由于其工程性能差,往往需要对其进行加固处理。水泥搅拌桩是软弱路基处理的一种简单有效的措施,能够有效提高地基承载力以及压缩模量,从而减少路基工后沉降。下面结合设计实例简单阐述水泥搅拌桩在高液限黏土中的设计及施工要点。

2 水泥搅拌桩地基加固机理

水泥搅拌桩是指软基处理的一种有效形式,是一种将水泥作为固化剂的主剂,利用搅拌桩机将水泥喷入土体并充分搅拌,使水泥与土发生一系列物理化学反应,使软土硬结

【作者简介】蔡兴经(1986-),男,中国福建三明人,本科,工程师,从事市政路桥设计研究。

而提高地基强度。水泥搅拌桩按主要使用的施工做法分为单 轴、双轴和三轴搅拌桩。

水泥搅拌桩施工工艺又分为干法和湿法。其中,干法施工是利用高压空气输送水泥粉体,在喷粉钻头处,使钻头切削的扰动土体与水泥粉体充分搅拌,从而形成加固体;湿法施工是将水泥浆液通过输送管注入钻头处,利用钻头搅拌与土体形成加固体。加固深度:湿法<20m,干法<15m。水泥土搅拌法用于处理泥炭土、有机质含量较高或pH值小于4的酸性土、塑性指数大于25的黏土或在腐蚀性环境中以及无工程经验的地区采用水泥土搅拌法时,必须通过现场和室内试验确定其适用性[1]。

3 工程概况及场地地质条件

3.1 项目概况

石靖路位于南靖最东部南靖高新技术产业园区,与

中国漳州市区毗邻,道路等级为城市主干道,设计行车速度 60km/h,道路路幅宽度 40m,机动车道设双向 6 车道。道路长度 3.668km,根据地质勘察报告,在 K3+320~ K3+623.490(含终点交叉口)该路段揭露高液限黏土层,厚度 6.8~9.5m,上覆低液限黏土,层厚为 0.5~4.0m,下卧层为低液限黏土局部夹含细粒土粗砂。由于高液限黏土(Q4al-pl)④承载力低,压缩模量大,不能直接作为路基的持力层,必须对其进行加固处理,通过对软土层厚度,承载力及变形参数的分析,设计拟采用"水泥搅拌桩"+砂砾(碎石)+土工格栅"予以处理。

3.2 地质条件

根据道路沿线地质调查及钻探揭露,沿线岩土体结构 属中等复杂。现自上而下分述如下:

高液限黏土①(Ql)、填筑土(Qml)②、低液限黏土(Q4al-pl)③、高液限黏土(Q4al-pl)④、含细粒土粗砂(Q4al-pl)⑤、含砂低液限黏土(残积)(Qel)⑥,其中高液限黏土(Q4al-pl)④厚度为6.80~9.50m。呈深灰色,饱和,流塑,主要由粉、粘粒组成,含有机质,有腐嗅味,切面光滑,韧性较高,干强度一般。该层具天然含水量高、孔隙比大、强度低的特性,属高压缩性土,力学强度低,工程性能差。

拟建道路场地地下水稳定水位埋深为 $0.0\sim1.60$ m (标高 $9.94\sim12.32$ m),地下水中 pH 值为 $6.79\sim6.83$ 。相关参数如表 1 所示。

4 设计参数确定

4.1 施工工艺选择

通过对地质报告相关参数分析可以知道高液限黏土含水量较大,塑性指数 Ip=23.9 已经基本接近 25,黏粒含量较大,pH值为 6.79~6.83 大于 4。初步判断可以采用水泥土搅拌桩对其进行加固,但从以往的施工经验可以发现高含水率

黏土、多为饱和的淤泥或淤泥质黏土,往往成软塑至流塑状, 其渗透系数较小,水泥浆液很难渗透到土体中,施工过程中 容易出现冒浆,导致搅拌体内水泥浆液不足。水泥或水泥浆 液与土体的拌和均匀性主要由搅拌头对土体的切削程度和 搅拌次数控制。塑性指数越高,其黏粒含量越大,粘性也越 大,在施工过程中搅拌头容易粘钻头,导致水泥浆液无法与 土体搅拌均匀,桩体易形成局部水泥浆集中和夹杂泥块现 象,造成桩体不连续,影响桩身质量。干法施工时由于加入 土体的是干粉,加入的水泥干粉能有效的吸收土体的水份, 增加土体间的摩擦,使得复搅时土体和水泥更容易于搅拌均 匀。同时,由于加入的干粉会从桩周土吸收水份,桩周土含 水量降低,承载力会有一定的提高。但是,由于干粉施工的 机械无法保证对水泥粉输送的流量稳定性,干粉成桩也会出 现水泥集中和断桩等缺陷,从而影响路基处理整体效果。

在施工工艺选择时,通过向当地施工班组了解当地以往水泥搅拌桩施工工艺采用的情况的反馈,湿法在更多的工地上得到应用,干法较少被采用。同时,了解了湿法在施工过程中冒浆的情况以及成桩的质量,为后期设计提供了经验依据。综合考虑后,本项目水泥搅拌桩施工工艺采用湿法。

4.2 面积置换率确定

水泥搅拌桩初步设计时先根据道路路基处理后的承载力需求对面积置换率进行初选,本项目道路路基填方高度较小,结合市政管线对地基承载力的要求,路基处理后承载力不应小于100kPa。水泥搅拌桩桩径采用0.5m,桩长按进入持力层1.0m控制,通过确定单桩承载力反算来确定面积置换率m。

水泥搅拌桩单桩容许承载力 Ra: 由侧摩阻力提供的承载力 Ra 计算:

Ra=up $\sum_{i=1}^{n}$ qsilpi+ α pqpAp=3.14 × 0.5 × (5 × 9+1 × 18) + 0.5 × 220 × 0.196=120.47kN

					表] :	石土层	设计查	蚁建议 恒	.表				
岩土名称	代号	天然含 水量	重度	干密度	液限	塑限	压缩 模量	天然快剪		地基承载力	桩侧阻	基底摩	渗透系数
								粘聚力	内摩擦角	基本容许值	力容许值	擦系数	多边示奴
		W	γ	ρ_d	W_1	W_p	Es ₁₋₂	Ck	φk	$[f_{ao}]$	q_{sia}	μ	K
		%	kN/m³	g/cm ³	%	%	MPa	kPa	۰	kPa	kPa		cm/s
高液限粘土	1	53.6	16.1	1.05	47.7	23.8	2.3	13	1.4	40	4		9×10^{-7}
填筑土	2	30	17.8					18	14	80	12		1×10^{-4}
低液限粘土	3	28.6	18.5	1.44	38.7	23.3	5.0	31.4	19.6	180	16	0.24	6×10^{-6}
高液限粘土	4	52.8	16.0	1.05	47.6	23.7	2.1	12.3	1.4	45	5		6×10^{-7}
含砂低液限粘土 (残积)	5	25.4	18.8	1.50	35	22.6	5.6	27.5	23	220	18	0.28	7 × 10 ⁻⁵

表 1 岩土层设计参数建议值表

式中, up——桩的周长(m);

qsi——桩周第 i 层土的侧阻力特征值(kPa);

lpi——桩长范围内第 i 层土的厚度(m);

αp——桩端阻力发挥系数,取 0.5;

qp——桩端端阻力特征值(kPa),对于水泥搅拌桩、旋喷桩应取未修正的桩端地基土 承载力特征值;

ap——桩截面面积(m²)。

由桩身强度所提供的承载力 Ra 计算:

Ra= η fcuAp=0.25 × 2100 × 0.196=102.9kN

式中, η——桩身强度折减系数,干法可取 0.20~0.25, 湿法取 0.25;

> fcu——与桩身水泥土配合比相同的室内水泥土 试块,在标准养护条件下 90d 龄期无侧 限抗压强度(kPa):根据室内水泥土实 验结果,水泥含量 15%时 90d 龄期的无 侧限抗压强度为 2100kPa;

Ra——单桩承载力, kPa;

Ap——桩截面面积, m²。

单桩承载力取上述两者计算较小值,即取 Ra=102.9kN。

4.3 面积置换率

m=(fspk- β × fsk)/(Ra/Ap- β × fsk)= (100-0.4 × 50) / (102.9/0.196-0.4 × 50)=0.157

式中,fspk——复合地基承载力特征值,kPa,本次主 干路取 100kPa;

β ——桩间土承载力发挥系数,流塑状取 0.4;

fsk——桩间天然土承载力特征值, kPa, 取原状 土承载力 50kPa;

Ra——单桩承载力, kPa, 取较小值;

Ap——桩截面面积, m^2 。

4.4 桩间距确定

 $s = \frac{d}{1.05\sqrt{m}} = \frac{0.5}{1.05\sqrt{0.1578}} = 1.199m$,取桩间距 S = 1.20m。

5设计方案

根据前面计算结果设计采用水泥搅拌桩设计参数如下: 桩径 0.5m, 桩间距 1.2m, 正三角形布置, 桩长 8~10m, 水泥掺入量 15%, 设计单桩承载力 102.9kN, 本段路基处理面积 17076.6m², 共设置 13700 根桩, 总桩长 118168m。为保证桩土共同承担上部荷载, 在桩顶设置 0.3m 碎石褥垫层, 垫层内设置 1 层土工格栅 [2]。

6 施工质量控制

6.1 水泥搅拌桩施工工艺

工艺流程为:钻机就位、调整钻机一钻机预搅下沉至设计深度(不喷浆)一打开高压注浆泵(预喷持续30s)一

提钻并喷水泥浆(提升速度为 0.6m/min 左右)一上升至工作基准面以下 30~50cm (持搅 30s) 一复搅并下沉一提钻并喷水泥浆(提升速度为 0.6m/min 左右)一成桩结束一施工下一根桩。

6.2 施工质量控制

①测量放线布桩时要重点对控制性轴线,路基边线及最外侧一排桩的桩位进行复查,在桩位控制时测量放样后应钉小桩,然后钻白灰点,满足要求后方可开钻。选择合理的位置开挖配制水泥浆用的制浆池,并用水泥砂浆抹面进行防水处理,并做好周边排水设施。

②桩长、桩径的控制:桩长的控制主要在钻机搭架上做出明显的标记,在设计桩长深度位置、没进钻的钻顶的位置标上明显标记并写上数字,其它刻度用较小的标记,本项目而言桩顶标高和桩长较为统一,现场施工桩长较容易控制;桩径控制要求不小于设计直径,一般搅拌钻头固定后桩径变化不大,但由于搅拌头长期与土层摩擦,容易出现磨损或折断,要经常检查钻头,发现磨损超限时及时焊补。

③水泥剂量的控制:为确保桩体水泥每米掺入量以及水泥浆用量达到设计要求,每台机械均应配备电脑记录仪,同时现场应用比重计控制水泥浆水灰比。在施工中正常情况相邻两根桩的水泥用量总体相差不大,如果出现较大的水泥用量差距,应及时检查分析原因。

④黏土抱搅拌头:对于高液限黏土,搅拌机沉入前,桩位处要注水,使搅拌头表面湿润。地表为软黏土时,还可掺加适量砂子,改变土中粘度,防止土抱搅拌头。

⑤喷浆时间的控制:每根桩开钻后应连续作业,不得中断喷浆,随机对电脑记录仪进行检查。严禁在尚未喷浆的情况下进行钻杆提升作业。

⑥冒浆处理:由于在输浆过程中土体持浆能力的影响出现冒浆,使实际输浆量小于设计量,这时应采用"输水搅拌—输浆拌和—搅拌"工艺,并将搅拌转速提高到50r/min,钻进速度降到1m/min,可使拌和均匀,减小冒浆。

⑦水泥搅拌桩桩头复搅的控制:从扩大头丁型水泥搅拌桩的工作原理可以知道,桩顶部分的成桩质量对复合地基的各项指标有更直接的意义,当钻机反循环提钻并喷浆升至工作基准面以下 30~50cm 时,持喷 30s 水泥浆,目的是保证桩的上部密实度和强度,有利于荷载的分散及传递。

⑧成桩的检验:制桩完成后,须达到要求的龄期后方可进行开挖,清理桩头时不得使用重锤或重型机械,宜用小锤、短钎等轻便工具操作以免损伤桩头。群桩桩顶应平齐,间距应均匀:桩体无缩颈和回陷现象。搅拌桩在成桩 3d 内用轻便触探测器钻取加固土样观察搅拌均匀程度,检验数量为总桩数的 1%;搅拌桩成桩 7d 后,采用浅部开挖桩头目测检查搅拌的均匀性,量测成桩直径,检查数量不少于总桩数的 5%。

⑨复合地基检验: 采用复合地基载荷试验和单桩载荷

试验,宜在成桩 28d 后进行,检验数量不少于总桩数的 1%,当经载荷试验检验后对桩身质量有怀疑时,或对变形有严格要求的工程,可根据需要在水泥搅拌桩成桩 28d 后,用双管单动取样器钻孔取芯的方法检查其完整性、桩土搅拌均匀程度及桩的施工长度。钻芯时不应在桩中心,应偏外侧些。取出的芯样搅拌应均匀,凝体无松散,其颜色应深浅一致,不应存在水泥浆聚集。每根桩取出的芯样由监理工程师现场指定相对均匀部位,送试验室做 28d 龄期的无侧限抗压强度试验,取出桩芯后留下的空洞应用同等强度的水泥砂浆回灌密实。

7项目运营情况

项目在 2016 年竣工验收,经过 5 年多的交通运营,目前软基处理路段路面情况良好,未发现明显的不均匀沉降,截至目前总的沉降量在 10cm 以内,基本没有对道路交通运输造成影响。水泥搅拌桩对处理高液限黏土软土具有良好效果 [3]。

8 结语

论文结合水泥搅拌桩对于高液限黏土地基加固处理的设计应用,简单阐述了各个参数的选取及设计过程,并对施工质量控制提出了措施。由于高液限黏土其普遍含水量较大,黏粒含量液较大,在采用水泥搅拌桩对其进行地基加固时,首先要考虑的是成桩的施工工艺,一般情况下干法和湿法都能对软土进行加固,实际运用中应根据其含水量以及塑性指数等指标具体并结合当地的施工经验选取施工工艺。在采用湿法工艺时,实际施工中对水泥浆的水灰比、搅拌头转速,钻机提升速度、总的浆液用量控制,对成桩质量的好坏至关重要。

参考文献

- [1] 赵永昌,王靖.浅谈水泥土搅拌桩干法与湿法加固效果差异比较分析[J].技术探讨,2014,6(16):50-51.
- [2] JGJ 79-2012 建筑地基处理技术规范[S].
- [3] 叶书麟.地基处理工程实例应用手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1997.