



水泥土桩在广州堤防工程软基处理中的应用

邝灼荣

(广州市水利水电勘测设计研究院)

摘 要 通过对广州地区堤围工程水泥搅拌桩和水泥旋喷桩应用实例的对比分析,提出设计、施工中应注意的问题。

关键词 水泥土搅拌桩 水泥旋喷桩 软基处理 容许承载力

广州地区堤防工程大多建在软土区,区内地层多为河相冲积平原软土亚类或海相冲积平原软土亚类,地层从上至下按成因分为填土层、冲积层、残积层、基岩。在堤防工程软基处理中,水泥土加固体竖向承担上部荷载,水泥土的强度是影响处理效果最主要的因素。水泥土的强度和水泥的龄期、细度等级、水泥掺和比、天然土的含水量、外加剂掺量等有关。

1 水泥土搅拌桩复合地基

水泥土搅拌桩按照喷射加固的材料状态一般可分为浆液喷射深层搅拌法(简称湿法)和粉体喷射深层搅拌法(简称干法),两者的成桩机理和处理效果相同,根据土体的含水量决定采用何种施工工艺。

根据《建筑地基处理技术规范》(以下简称规范),单桩承载力可根据桩身材料强度确定或根据桩侧摩擦力和桩端阻力计算,取二者中的较小者为桩的承载力。若按照后者计算,桩的承载力有时偏不安全。当设计桩长超过有效桩长时,应该按照有效桩长计算。对端阻力应折减或不计。

根据规范,搅拌桩压缩模量应根据桩的长短取值。笔者认为,还应该根据天然土的性状取值,对不易搅拌的土层应取低值。

搅拌桩施工时常见问题和解决办法:

(1) 桩体搅拌不均匀:控制灰浆搅拌和搅拌机喷浆提升的速度和次数。

(2) 喷浆中断:根据具体情况解决注浆设备或通道、或水泥浆稠度不合适等问题。

(3) 成桩后余浆太多:调整水灰比和泵送压力。

(4) 抱钻、冒浆:可先注水搅拌。

(5) 搅拌钻头 and 水泥土同步旋转:调整水灰比或搅拌叶片夹角。

(6) 桩顶强度低:桩顶多复搅或提高施工桩顶标高。

(7) 搅拌桩下沉困难:电机电流高时,适当提高电压,若为地层原因或地下障碍,可据实际情况处理。若电流不高,可适当增加搅拌头重量或加压。广州某河涌堤防工程,场区属于三角洲河流堆积地貌,拟采用水泥搅拌桩进行地基处理。该区域地层自上而下为①杂填土,厚度0.9~5.1m。②淤泥和淤泥质土,灰黄、浅灰色,有机质含量较少,饱和,含水量达40%~97%;标贯击数 $N=1-3$ 击,平均 $N=1.8$ 击;流塑,塑性指数 $I_p=9-18$,平均为11.8;液性指数 $I_L=1.73-5.41$,平均为2.93;③中细砂、粗砂,浅灰-深灰色,饱和,松散,承载力特征值为100kPa。④淤泥夹砂层,深灰色,饱和,流塑,含砂,承载力特征值为80kPa。⑤淤泥质土、淤泥,浅灰色,饱和,流塑,局部夹微量粉细砂。⑥粉质粘土层,含水量平均为24.4%,承载力特征值170kPa。⑦砾砂层、粘性土、粉土层。⑧全风化岩层,可塑~硬塑,承载力特征值为220kPa,⑨微风化灰岩,浅灰色,岩质坚硬。

设计要求复合地基承载力标准值为110kPa。根据单桩承载力计算的水泥土搅拌桩设计桩径为 $\phi 550\text{mm}$,正方形布置,桩距为900mm 900mm,设计桩长进入③层。设计单桩承载力标准值为90kN,90天无侧限抗压强度为1.2MPa,成桩后7天轻型动力触探(N_{10})检查击数不少于35击。

根据土层不同确定各层施工参数。上层腐殖质淤泥采用四喷六搅,水泥掺入比控制为22%,下部含砂地层,采用两喷四搅,水泥掺入比控制为15%。水灰比为0.5。注浆泵出口压力为0.6MPa,输浆速度应保持在 $6\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$;搅拌头提升、下沉速度为 $0.5\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$,在桩顶、桩底处应停止升降,以保证有足

够的喷浆时间。桩底喷浆时间不小于 30s, 桩顶喷浆时间不小于 10s。

现场检测, 复合地基承载力满足设计要求。根据抽芯结果, 根据水泥土抗压强度计算, 单桩承载力为 140kN, 也超过设计要求。轻型触探共检测大部分高于 30 击, 对低于 35 击的局部区段做短木桩补强等措施处理。

2 高压旋喷桩复合地基

高压喷射注浆法分旋喷、定喷、摆喷 3 种, 旋喷法是我国应用比较多的一种。施工常见问题:

(1) 桩径不足: 喷射压力不够或提升速度过快, 施工中应根据地层确定提升速度。

(2) 断桩: 注浆管道不通或喷嘴阻塞, 或搭接高度不够。当注浆管道不通或喷嘴阻塞时, 注浆压力会突然变化, 应及时处理。

(3) 孔口大量冒浆。应检查注浆管道或调整喷嘴尺寸。

(4) 桩顶强度不够或凹陷。应当调整注浆工艺或进行二次注浆。

(5) 桩径不均匀: 根据地层调整工艺。

广州某堤岸工程, 拟采用高压旋喷桩复合地基。本区域地层自上而下为①人工填土, 层厚 3.50 ~ 6.00m, 土黄色, 稍湿, 松散。②₁ 淤泥、淤泥质土, 层厚 1.60 ~ 7.10m, 灰黑色, 深灰色, 富含有机质, 饱和, 含水量 42.6% ~ 90.2%; 标贯击数 N 为 0.8 ~ 0.9 击, 平均 $N=0.9$ 击; 流塑 - 软塑, 液性指数 $I_L=1.01 \sim 2.04$, 平均为 1.54。②₂ 粉质粘土、粘土, 层厚 2.10 ~ 7.10m, 褐黄色, 褐红色, 标贯击数 N 为 5.1 ~ 13.3 击, 平均 $N=10$ 击, 湿, 软塑, 液性指数 $I_L=0 \sim 0.66$, 平均为 0.31。②₃ 淤泥、淤泥质粘土, 层厚 0.80 ~ 12.30m, 灰黑 - 深灰色, 饱和, 流塑 - 软塑, 局部夹薄层粉细砂或朽木, 标贯击数 N 为 0.7 ~ 3 击, 平均 $N=0.4$ 击; 含水量 47.5% ~ 69.3%, 平均 57.4%; 液性指数 $I_L=1.02 \sim 1.82$, 平均为 1.37。②₄ 中细砂, 层厚 0.70 ~ 3.30m, 深灰色, 饱和, 松散 - 稍密, 含淤泥质, 标贯击数 N 为 5.5 ~ 11.2 击, 平均 $N=8.4$ 击。②₅ 粉质粘土, 层厚 0.90 ~ 1.90m, 花斑状, 很湿, 软塑。③粉质粘土, 层厚 0.90 ~ 1.60m, 杂色, 湿, 可塑 - 硬塑。④₁ 强风化泥岩, 层厚 0.60 ~ 2.50m, 深灰色, 呈半土半岩状。④₂ 中风化泥岩, 层厚 0.40 ~ 3.80m, 深灰色, 岩质较硬。④₃ 微风化泥岩, 层厚 0.75 ~ 2.35m, 深灰色, 裂隙发育, 岩质坚硬。

地下水水质分析结果: $\text{pH}=7.00$, $\text{HCO}_3^- = 77.85 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{Cl}^- = 48.91 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{SO}_4^{2-} = 65.81 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{Ca}^{2+} = 38.48 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 侵蚀 $\text{CO}_2 = 10.32 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 游离 $\text{CO}_2 = 11.77 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

试验时初步设计桩径 1100mm, 桩长 11m, 水泥掺入比为 $600 \text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$, 桩身水泥土设计强度为大于 2MPa。

采用双管法施工, 施工工艺如下: 高压水的压力大于 20MPa, 水灰比 1.0。注浆时搭接 30cm, 采用 32.5 普通硅酸盐水泥。桩顶 2m 进行二次注浆。施工时控制孔口冒浆量不大于总量的 15%。

在载荷试验前, 对旋喷桩钻芯检测, 发现桩身连续性差, 局部松散, 按深度取水泥土芯样做无侧限抗压强度, 大部分不能满足设计要求, 因而改用其他方法另行加固地基。检测结果见表 1。

表 1 旋喷桩钻芯抗压强度检测结果

试样编号	取样标高/m	无侧限抗压强度/MPa
3 [#] -1	-4.40 ~ -4.90	0.7
3 [#] -2	-8.80 ~ -9.30	0.4
3 [#] -3	-10.30 ~ -10.90	0.3
5 [#] -1	-4.90 ~ -5.40	0.4
5 [#] -2	-6.90 ~ -7.50	0.6
5 [#] -3	-14.40 ~ -14.90	0.4
28 [#] -1	-3.90 ~ -4.40	2.0
28 [#] -2	-7.90 ~ -8.40	0.7
28 [#] -3	-11.40 ~ -11.90	0.4
38 [#] -1	-3.40 ~ -3.90	4.4
38 [#] -2	-6.40 ~ -6.90	2.1
46 [#] -1	-4.40 ~ -4.90	0.6
46 [#] -2	-6.80 ~ -7.30	5.1
46 [#] -3	-9.50 ~ -10.00	0.5
49 [#] -1	-6.90 ~ -7.50	0.4
49 [#] -2	-9.10 ~ -9.60	0.5

现场情况分析发现, ②层土中有机质含量高, 阻碍了水泥水化反应, 影响了水泥土强度的增长, 是本次试桩不成功的主要因素。

3 对比分析

水泥搅拌桩和旋喷桩在设计方法上一样, 但是在设计参数的选择上不同, 主要体现在:

(1) 复合地基桩间土承载力折减系数。旋喷桩在软弱地基土施工时, 可以为 0。而水泥搅拌桩根据桩端土性决定折减系数, 当设计桩长大于有效桩长时, 以有效桩长周围的土性决定。

(2) 单桩承载力的端阻力取值。旋喷桩取端阻力时没有桩端折减系数, 水泥搅拌桩取 0.4 ~ 0.5。



明,覆盖层厚的区域地震波频率低,虽然震动速度较低,但是地表建筑物对低频爆破地震波反映强烈。尽管爆破震动速度在控制范围内,但在覆盖层厚的区域仍有多栋砖混结构楼房出现裂缝,钢混结构楼房都无破坏;

(3) 地表的沉降变形与洞内初期支护结构的稳定有直接的联系,地下水的渗漏会加速加大地表沉降。所以施工中,必须控制地下水的渗漏量,加强支护,抑制地表沉降。

(4) 施工过程中,要加强施工管理,施工和监理要密切配合,按相关标准进行施工和监理,确保各种

施工工艺到位,保证工程质量,最终实现设计意图。

实践证明,环行导坑法和增强预支护相结合,不仅能保证施工安全,而且能有效维持围岩的稳定,并能将围岩变形控制在允许范围之内。

参 考 文 献

- [1] 夏才初,潘国荣. 土木工程监测技术. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [2] 王文龙. 钻眼爆破. 北京: 煤炭工业出版社, 1984.

第一作者通讯地址: 北京市西三环北路 5 号 邮编: 100089

(上接第 50 页)

水泥土桩同刚性桩的区别为: 水泥土桩的端阻力是由桩截面积乘以桩端土层的承载力特征值, 而不是端阻力的特征值。

(3) 在桩身压缩范围内的变形计算。水泥搅拌桩一般采用复合模量法进行计算, 旋喷桩受施工因素影响大, 根据经验值计算。

水泥土桩因其施工工艺和自身的优势受到了广泛的欢迎, 但是在设计施工时, 仍然需要注意:

(1) 处理土层中土的有机质含量, 当有机质含量相对较高时应慎重考虑。

(2) 处理土层地下水的状况。在地下水位以下一般不采用夯实水泥土桩。在土层孔隙比大, 地下水流动性比较大的区域, 采用水泥土桩也不适合。

(3) 在设计水泥土桩时, 在设计前尽量的收集资料, 对地层情况、地下水的物理化学性质 (pH 值、对水泥的腐蚀性等)、有机质含量等分析, 确定水泥土桩的适用性。

(4) 水泥土的强度是水泥土桩复合地基的关键因素, 根据水泥土强度确定单桩承载力得到面积置换率, 是设计的流程。而面积置换率是影响施工工作量和工程造价的主要因素。合理的选用水泥土强度是设计的关键。目前, 有许多方法提高水泥土强度, 如加劲水泥土等都是比较好的方法。

(5) 在施工前对拟处理土的室内配比试验, 对

设计水泥土的强度进行验证。

(6) 施工时注意保证桩体的均匀性, 保证将上部荷载向下传递。

4 结语

(1) 软土地区对地基承载力和变形要求不高的建筑物, 水泥土桩处理地基是一种经济有效的方法。

(2) 尽量避免在有机质含量大的地层中采用水泥土桩处理地基。

参 考 文 献

- [1] 李彦利. CFG 桩复合地基承载特性探讨. 电力勘测, 2001, (4): 5~7, 16.
- [2] 徐正元, 蔡晶. 粉喷搅拌桩在某工程中的应用. 电力勘测, 2002, (2): 29~31.
- [3] 中国建筑科学研究院. 建筑地基处理技术规范 (JGJ 79-2002). 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [4] 《地基处理手册》编委会. 地基处理手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
- [5] 龚晓南. 复合地基理论及工程应用. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [6] 中华人民共和国建设部. 建筑地基基础设计规范 (GB50007-2002). 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.

第一作者通讯地址: 广州市天河区瘦狗岭路 555 号 邮编: 510640