

Soft Foundation Reinforcement Technology in Municipal Construction Engineering

Guowei Li

China Communications Construction (Qingdao) Urban Construction Co., Ltd., Qingdao, Shandong, 266300, China

Abstract

This article analyzes a municipal project by examining the current conditions of soft soil foundations. Taking the PHC precast pipe pile construction technique as the research focus, it details the implementation plan for soft foundation reinforcement, covering various processes such as construction preparation, measurement and positioning, pile machine alignment and insertion, static pile pressing, and pile splicing welding. The corresponding quality and safety assurance measures are also elaborated. Based on post-construction quality assessments of the case project, it is evident that the adopted technical measures effectively improve soil physical properties, serving as a critical factor in ensuring the smooth progress of municipal construction projects. These findings offer valuable reference for similar projects.

Keywords

municipal construction engineering; soft foundation reinforcement; phc prefabricated pipe piles; static pressure pile sinking

市政建筑工程施工中的软基加固技术

李国伟

中交(青岛)城市建设有限公司, 中国·山东 青岛 266300

摘要

文章将结合某市政项目工程展开分析,在介绍工程软土地基现状后,以PHC预制管桩施工工艺为研究对象,从施工准备、测量定位、桩机对正插桩、静压沉桩、接桩焊接等多个工艺入手,详细说明了软基加固技术的实施方案,并阐述了相应的工程质量与安全保证措施。根据案例项目软基加固施工后的质量评估结果可知,该项目所采取的相关技术措施可有效改善土层物理性质,成为保障市政建筑工程施工顺利进行的关键,对类似项目有一定的借鉴价值。

关键词

市政建筑工程;软基加固;PHC预制管桩;静压沉桩

1 引言

市政建筑工程被认为是基础设施建设的重要组成部分,其建设规模与技术要求持续提升,导致项目施工中出现质量问题的概率持续提升,尤其在软土分布广泛区域,软基的承载力低、压缩性高,对建筑工程的长期稳定性产生不良影响,因此软基加固已经成为部分市政工程项目中延长使用年限的核心环节,不容忽视。

2 案例概况

某市政建筑改扩建项目的合同工期为261日历天,其中2#教学楼建筑面积:8982.99m²,占地面积:1073.73m²,建筑高度:20.15m,层数:地上5层;层高:一至五层均为3.9米;结构形式:框架结构,建筑物的使用年限50年,抗震设防烈度为7度0.15g;建筑类别:多层公共建筑(教育建

筑);使用功能:地上五层均为教学用房、办公室及附属用房。耐火等级:地上二级。

根据施工前的现场调研结果,拟建场地内岩土层自上而下分为杂填土、粉质黏土、石灰岩。本工程场地属于抗震一般地段,以3层粉质黏土作为地基持力层,地基承载力特征值 f_{ak} 可采用200kPa,基础应保证埋深且落至持力土层。水文地勘本工程地下水对基础无影响,可不考虑水的腐蚀性;但应防止雨季地表水汇集形成上层滞水对基础施工的影响。据场地土质资料分析,该土对混凝土及混凝土中钢筋具有微腐蚀性。

3 软基加固技术方案分析

3.1 施工技术方案的选择

预应力高强混凝土管桩(PHC管桩)被广泛应用在软土、填土、一般性黏土、粉土的地基处理中,案例项目中设定预应力管桩桩位纵向间距与横向间距均为1.4-2.0m,管桩总数为456根,混凝土强度等级为C80,桩芯用C35无收缩混

【作者简介】李国伟(1988-),男,中国山东潍坊人,本科,工程师,从事建筑工程研究。

凝土浇筑，其桩身直径为400mm，壁厚95mm，桩身嵌入桩帽50mm，桩长15m以穿透软弱土层达到强度相对较高的土层为标准。

3.2 施工准备工作

案例项目为保证软基加固施工技术满意，积极落实项目准备工作，其中机械设备准备方案如表1所示。

表1 施工机械准备方案

机械名称	设备型号	单位	性能参数	配置数量
GPS	-	台	-	1
汽车吊	25T	台	-	1
液压静压桩机	ZYJ800B	台	功率165kW	1
水准仪	DS3	台	-	1

所有原材料均应提供材质证明与出厂合格证，在做好进场检验前及时取样复试，严禁使用不合格的原材料。

在技术准备中，项目部组织施工人员认真研读施工相关图纸、施工技术规范以及相关的技术文件，确保能掌握现场施工得出技术细节，并通过技术交底与三级安全教育等方式使项目施工人员掌握现场操作方式与工艺要点，避免施工人员因为不理解工艺内容而影响后续施工^[1]。

最后在场地准备前也应查明场地内有无影响压桩的管线与障碍物，并认真检查打桩设备各部分的性能，以保证设备正常运转施工。

3.3 测量定位与施工顺序设定

(1) 施工放样中应按照设计图并以轴线为基准对样桩做逐根复核后，经现场测试对比且复核无误后即可施工。同时测量人员也应校对桩位、垂直度等关键数据，在未见异常后即可开展施工。

(2) 在沉桩至地面后，安排专人校核轴线平面偏位，避免现场施工中出现较大位置误差。

(3) 结合案例工程项目的实际情况可以发现，由于本工程属于二期工程与2#一期工程连通，在施工管桩工程时，由紧邻一期连廊开始自北向南依次施工，主楼自东向西施工。

3.4 桩机对正插桩工艺

现场插桩施工中，案例项目要求管桩桩身两侧缝位置应固定在相邻夹具的孔隙位置，且在施工中应注意当桩端距离桩机的距离控制在5m以内，之后即可将钢丝绳固定在桩端约0.3L(L表示桩长)的位置起吊，在确定桩机垂直插入夹箱后即可分别扶正对点并纠正，为后期试压奠定基础^[2]。

在桩入土前应在桩身上画出长度标记单位(以米“m”为单位)并沿桩身从下至上标记桩身的长度后，确保在后续施工作业中能随时校核入土深度。

3.5 静压沉桩施工方案

案例项目中规定在PHC管桩的静压沉桩工艺中，规定构件的最大压桩力应≥设计单桩的竖向极限承载力标准值，并通过外场试验结果确定最终结果，并且为保证静压作业质量，案例项目对静力压桩施工工艺做出严格规定，即为消除潜在质量风险，要求抱压力不应大于桩身允许侧向压力的1.1

倍，且桩下压时的垂直度偏差应≤0.5%。

静压沉桩作业环节中应随时校核结构垂直度情况，当测量结果证实垂直度偏差超过1%时应确定原因，避免误差扩大而影响施工质量；当桩尖进入较硬土层后，在偏差度校正中严禁通过移动机架模式纠偏。在插桩作业中应使桩头对准地面标志物再将两台经纬仪交叉成90°后，将其固定在能观察桩全长的位置。现场观察桩身位置与角度信息中，案例信息中规定用经纬仪测量桩垂直度变化，指挥桩机持续调整装置位置，并将垂直度安装误差控制在0.5%以内，确定桩身垂直度满足标准后即可通过压桩机作业，使桩身能垂直沉入土体中。

桩身吊装作业中，严禁压桩机行走或调整，而当桩尖插入地面约0.5m时应注意调整桩的垂直度变化；确认位置与垂直度满意后，即可持续压桩，本环节施工作业中应随时观察桩身垂直度变化情况，此时压桩速度应控制在1m/min以内。

每一次压桩作业中避免中断做到连续压桩到底，避免无故停歇。同时为消除压桩环节的潜在质量缺陷，若发现质量问题应及时分析原因，避免引发潜在质量风险。

3.6 接桩焊接作业

根据案例项目现场施工经验，在接桩焊接作业中应重点关注以下几方面技术要求。

(1) 焊接法接桩作业中，要求相邻桩头的错开距离应达到1m。

(2) 对于PHC管桩需要接长的情况，规定将入土桩段的桩头应高出地表1.0m左右，并保证接桩后上下节基本顺直；针对接驳等容易出现质量缺陷的位置，要求相邻两个端面之间应保持紧密接触，且相邻错位偏差也应控制在5mm以内^[3]。桩体对接作业中应用铁刷子将管桩表面清理干净，直至表面露出金属光泽，为后续焊接作业提供必要支持。

焊接开始后，案例项目中规定采用手工焊接作业，并安排两名以上施工人员同时施焊。焊接中为消除潜在质量隐患，可考虑在桩的四周位置做对称焊接，在确定上下桩节固定满意后即可拆除导向装置后再分层焊接作业。案例项目出于对施工进度与质量的考虑后，决定每次焊接作业的层数应≥2层，其中在第一层焊接结束后应将连接位置的焊渣清理干净后，再焊接第二层，并注意保证焊缝连续且饱满。

焊接结束后抽检施工质量，要求同一工程中抽样检测接头数量应达到3个以上。焊接结束后待桩头自然冷却后才能继续沉桩，案例项目中的沉桩总冷却时间应达到8min以上。

3.7 送桩作业

为保证工程施工效果满意，案例项目提出了完整的送桩种植标准，主要内容如下。

(1) 根据现场试验桩内容确定最终压力标准，且实测结果证实压力满足预期标准。

(2) 终压阶段应根据地质条件与桩长等关键数据确定复压次数，结合案例项目的基本情况可以认为，针对入土深度大于8m的桩，其复压次数应控制在3次左右。

(3) 稳压桩力应大于等于终压力，且稳定压桩的时长

应维持在 10s 以上。

3.8 填充桩头作业

3.8.1 基本施工方案

案例项目在本环节作业中使用钢模板，在模板内侧涂抹一层脱模剂后即可拼装，要求模板之间的拼接缝隙宽度 $\leq 2\text{mm}$ 、轴线的位置偏差应小于 5mm 等，且模板顶部高出设计桩顶 $50\text{--}100\text{mm}$ ，预留振捣和排气空间。钢筋安装作业中，要求桩芯内纵向钢筋深入上部结构深度应大于等于 $35d$ （ d 为钢筋直径）；底部安装作业中用钢筋支架固定，且该结构的支架间距应小于等于 500mm ，钢筋保护层的总厚度通常大于 40mm 。

在钢筋工程安装结束后即可浇筑混凝土材料，案例项目在混凝土工程中采用分层浇筑工艺，其中每层混凝土材料的浇筑厚度保持在 $250\text{--}300\text{mm}$ 以内；在浇筑混凝土材料的同时用插入式振捣器加工，要求振捣器插入深度为 100mm ，保持每个点位至少振捣 30s ，直至混凝土材料无气泡、泛浆等质量问题即可。最后案例项目为避免混凝土工程施工中出现初凝的情况，要求浇筑环节密切控制浇筑速度，且单根桩芯浇筑时间应 $\leq 40\text{min}$ 。

混凝土浇筑施工后即可排气并找平，即安装专人用刮杆刮平表面，在混凝土材料初凝前做二次压光，保证桩顶平整无明显质量问题。

3.8.2 填充桩头的养护与质量控制

在填充桩头混凝土材料浇筑结束后，应在 12h 内覆盖保湿膜或土工布，经洒水养护后保持表面湿润，且整个养护时间应达到 14d 以上；针对现场施工作业中出现的温度突然降低等问题，可采取覆盖保温被或加热养护措施，确保护养期间混凝土表面温度不低于 5°C 。

施工质量控制环节，案例项目中规定应在浇筑完成 7d 后进行混凝土强度回弹检测，回弹值不低于设计强度的 75% ； 28d 后强度检测需达到设计强度 100% 以上。桩顶平整度用 2m 靠尺检测，偏差 $\leq 3\text{mm}$ ；桩芯混凝土密实度采用超声波检测，无空洞、裂缝等缺陷。

3.9 制作施工记录

压桩或送桩时应按有关标准详细记载每根桩的桩号、操作时间、入土深度、桩的平面位移和倾斜、压桩压力、焊接隐蔽记录等原始记录。

4 施工质量与安全保障措施

在案例市政建筑工程施工中，为保证 PHC 预制管桩桩头的施工质量，案例项目提出了详细的施工质量与安全保障方案。

4.1 施工质量保障措施

为保障 PHC 预制管桩桩头施工质量，在项目施工的全寿命周期中积极建立全面质量保障体系，要求预制管桩施工时除了满足《预应力混凝土管桩》及《建筑桩基技术规范》（JGJ94-2008）等规范要求外，还应满足设计、建设单位及监理相应要求及规定。同时围绕现场施工要求，质量保障中

还需要针对不同工艺节点设置质量控制措施，例如预制管桩混凝土强度达到 70% 后才允许起吊，达到 100% 后才允许运输。在桩体起吊作业中，应通过科学设置吊点的方式保证安全平稳，例如起吊时先将桩体调离地面 $10\text{--}20\text{cm}$ ，停留 30s 检查吊具受力、桩体平衡情况，无异常后缓慢匀速起升，起升速度 $\leq 0.5\text{m/s}$ ，严禁急升急降。姿态控制也是起吊作业的关键点，案例项目在姿态控制中规定将桩体的垂直度偏差控制在 0.5% 以内；同时合理使用溜绳，且溜绳长度 \geq 桩长的 1.2 倍。

4.2 施工安全管理措施

在案例项目施工安全管理中，积极落实安全生产责任制与“一岗双责”的安全管理模式，将软基加固技术的安全管理责任落实到项目经理与生产工人个人，在严格执行“纵向到底”安全管理模式基础上，避免任意环节的安全管理责任出现遗漏。

同时根据国家与当地的相关安全生产政策与技术标准、本合同段的基本情况等构建安全管理小组，该小组以项目经理为组长，其他领导成员为副组长，承担着制定安全生产管理制度、定期开展安全教育责任。

5 施工质量评价

为综合评估上述软基加固技术的可行性，案例项目积极通过桩基检测对预制管桩的性能展开评估，其中低应变法规定试桩数量应达到总桩数的 10% 左右（最少为 5 根），测试结果显示，所有预制桩的桩身基本完整，且时域信号特征监测结果显示在 $2L$ （桩身实际有效长度）/c（桩身混凝土波速）时刻前无缺陷反射波，有桩底反射波。

静荷载试验结果显示，单桩竖向承载力特征值为 400kN 。试桩数量为 2 根，验桩具体位置经质监部门、设计单位、建设单位、监理共同研究后确定。

6 结论

软基加固被认为是市政建筑工程质量保障的核心环节，对基础设施稳定性有直接影响，案例项目所提出的 PHC 预制管桩技术高度适配发展情况，具有技术可行性。未来随着城镇化的发展，软基加固技术将会持续朝着高效经济、智能化等方向发展，使该技术在城市基础设施建设中发挥更大作用，值得关注。

参考文献

- [1] 廖青龙,连奇.市政工程施工中的软基加固技术分析[J].运输经理世界,2024,(32):22-24.
- [2] 田庆彪.讨论市政工程施工中的软基加固技术[J].中华建设,2024,(01):160-162.
- [3] 赵义好.市政工程施工中的软基加固技术分析[J].居舍,2022,(06):79-81.