

软弱场地地基加固与桩基协同施工技术

徐胜

中电建振冲建设工程股份有限公司

DOI:10.32629/btr.v8i12.5151

[摘要] 软弱场地土体具有压缩性高、承载力低、流变特性好的工程特点,采用单一地基或桩基施工技术存在承载力不足、沉降失控和工期长等弊端。为解决软土基础施工中遇到的难题,依托于地基加固与桩基协同施工,分析其应力重分布、变形协调、承载提升以及桩土耦合四大方面共同作用机理。围绕项目实际情况,通过勘察研究、设计和分析,实现场地一体化设计、动态监测反馈、复杂工况下工艺优化等4大核心关键技术建立较完善的软土协同施工工艺体系。经过工程应用验证,桩土协同施工可以改善软土地基受力与变形特性、避免负摩阻力的危害、提高基础整体承载能力、减少施工工期和造价,适用于各种复杂软弱场地施工,是软土地基基础工程施工可靠的参考技术。

[关键词] 软弱场地; 地基加固; 桩基施工; 协同技术

中图分类号: TU473.1 **文献标识码:** A

Construction Technology for Synergistic Ground Improvement and Pile Foundation Construction in Soft Ground

Sheng Xu

PowerChina Zhenchong Construction Engineering Co., Ltd.

[Abstract] Soft ground is characterized by high compressibility, low bearing capacity, and pronounced rheological properties. The use of a single ground improvement or pile foundation construction technology may result in insufficient bearing capacity, uncontrolled settlement, and prolonged construction periods. To address the challenges encountered in soft soil foundation construction, this paper focuses on the synergistic application of ground improvement and pile foundation construction and analyzes their interaction mechanisms from four aspects: stress redistribution, deformation compatibility, bearing capacity enhancement, and pile-soil coupling. Based on actual project conditions, comprehensive site investigation, design, and analysis are conducted to establish an integrated site design, dynamic monitoring and feedback mechanism, and process optimization under complex working conditions, thereby developing a relatively complete collaborative construction technology system for soft soil foundations. Engineering applications demonstrate that pile-soil collaborative construction can improve the stress and deformation characteristics of soft soil foundations, mitigate the adverse effects of negative skin friction, enhance the overall bearing capacity of foundations, and reduce construction time and costs. It is applicable to construction projects involving various complex soft ground conditions and provides a reliable technical reference for soft soil foundation engineering.

[Key words] soft ground; ground improvement; pile foundation construction; collaborative technology

引言

在各类土建工程建设中,软弱地基普遍存在着土质疏松、稳定性差、易流变变形等问题,影响着基础施工和后期结构安全。随着建筑工程规模的扩大,荷载标准的提升,传统的采用单一桩基施工或者独立地基处理方式,不仅容易出现基础沉降超标、承载能力低下等病害问题,还存在资源浪费、无法满足场地的需求,适应性差等严峻实际问题。为有效解决软弱场地施工难点,行业

逐渐开始推广采用地基加固与桩基协同施工技术。

1 软弱场地地基加固与桩基协同的重要性

软弱场地天然存在着低承载力、高压缩性、触变性等工程缺陷,单一的地基处理技术无法兼顾安全、经济和效率要求,而地基加固与桩基协同技术是解决上述痛点最为重要的途径。从工程安全角度出发,工程长期稳定需采用换填法进行施工,但仅适用于浅层软弱土场景中,不足以深入软土应对;预压法作用于

软弱土时的固结周期达数月甚至数年, 很难控制长期的工后沉降; 而采用单一桩基进行施工可将荷载传递到较深的持力层当中, 因为软弱土固结产生负摩阻力, 导致桩基工后沉降, 甚至造成上部结构开裂、基础渐次破坏。而通过“加固土层+桩体”共同承载的复合地基, 相比于天然地基更能提升承载力1~4倍, 沉降量也只有30mm以内, 同时避免了负摩阻力带来的不利影响, 符合高速公路、高层建筑等高敏感的工程变形要求。从工程施工的经济性和工期角度出发, 采用单一桩基需增加桩长、桩数才能抵消软弱土所引起的不良影响, 造价大幅提升; 而协同技术采用前置加固方式对浅层土体强度进行提升, 可减小桩基入土深度, 节省桩身刚度要求, 一方混凝土的承载力可达同吨位其他桩型2~3倍, 造价则仅是传统桩基的1/3~1/2^[1]。同时加固、成桩工序也可交叉进行, 相较单一预压法缩短工期30%以上, 极大地节约了项目整体的时间成本。从技术适配性和场景应用来看, 协同技术在不同的地质与实际情况下能灵活适用: 对于浅表软弱层, 则可采用“短桩加固+长桩承载”两种方式实现长短桩组合, 即通过短桩加固消除软弱层沉降不均匀的风险又能够通过长桩控制软弱层深处的沉降; 对于荷载差异大的“大底板基础”(如高层主体与裙房共用基础), 通过改变褥垫层参数实现变刚度调平等, 解决单一技术无法克服的差异沉降问题, 是软弱场地建设中兼顾安全、经济、效率必选之技术。

2 地基加固与桩基协同作用机理

2.1 应力分布规律

地基加固和桩基相互协同可优化软土地基荷载传递路径, 改变软弱场地基础整体应力分布形态, 有效消除软弱桩基受力不均、应力集中的缺点。(1) 软弱土体孔隙大、强度低、整体性差, 对应力的传导与消散能力弱, 受力后极易产生局部应力堆积问题。(2) 常规桩基单独施工时, 上部竖向荷载多由桩体承担, 而桩周软土参与承载比例十分微小, 造成软土地基的应力分布极为不均匀。(3) 通过地基加固技术将桩间及桩周土体进行改良, 使得土体刚度、强度大幅提高, 具备稳定协同传力条件。(4) 加固土体与桩基密切结合形成复合基础结构, 疏导桩体集中应力, 增大应力扩散半径, 显著减小桩顶以及桩端应力峰值; (5) 桩土共同承担荷载, 起到弱化桩体局部应力集中现象的作用, 避免软土发生塑性变形, 使软土地基受力更加均匀连续, 全面提升软弱场地基础受力稳定性与承载可靠性。

2.2 变形协调机制

软弱场地采用地基加固、桩基施工方式, 消除桩土变形差异, 实现复合基础整体同步变形, 控制地基不均匀沉降。(1) 天然软土压缩性高, 固结后变形量大, 受力后易产生持续沉降和侧向流变变形, 土体的变形特性极差; (2) 在传统单独桩基中, 桩基刚度大、变形量小, 而软弱土体变形量大, 桩土变形模量差异悬殊, 极易出现桩土脱空相对位移问题; (3) 通过地基加固可改良桩周、桩间软土的物理力学性能, 提升土体整体刚度与抗变形能力, 减少桩土变形差值; (4) 加固土体与桩基紧密固结成为一个整体, 约束土体自由流变和局部塑性变形, 统一基础整体变形节奏; (5)

通过协同体系, 实现桩与土体同时沉降、同时变形, 消除差异沉降缺陷, 保障基础变形均匀可控, 有效增强了软土地基基础整体整体性及服役稳定性。

2.3 承载力能提升原理

地基加固与桩基协同体系可改变软土地基单一承载模式, 发挥桩体和改良土体的双重功能作用, 全面提升软弱场地基础整体承载力和安全储备。没有处理完成的软弱土体承载能力极低, 无法为桩基提供可靠的侧向支撑、竖向辅助承载力等支持, 导致基础整体承载储备不足; 传统纯桩基施工只通过桩体自身负荷上部荷载, 桩间软土几乎空置, 没有足够的土体承载力^[2]。利用专业化地基加固技术对桩周土体进行改良, 提高了土体密实度、抗剪强度和稳定性, 让原本质量低下的软弱土层具有可靠的承载力; 加固后土体和桩体形成桩土复合承载结构, 所受荷载由刚性桩体和改良柔性土体共同分担, 扩大基础的整体承载面积和受力范围。协同承载突破仅依赖单个桩基的承载限制, 最大程度发挥桩体材料较高强度以及加固土体整体性的特点, 减少基础被压破坏风险, 显著提高软土地基的极限承载力和长期服役能力。

2.4 桩土相互作用效应

地基加固能够有效调整桩和土之间的界面接触状态以及力学耦合关系, 改善软弱场地下桩土相互作用关系, 让桩体与土体形成一种彼此约束、共同发挥作用的良性受力结构。天然软土质量松软流动性强, 桩土之间的界面接触疏松散乱, 摩擦阻力很小, 在桩基受力过程中容易出现桩土脱离等不良情况。常规桩基施工后的桩周土体稳定性差, 由于外荷载的持续作用, 容易发生剪切滑移, 大幅度降低了桩侧约束效果和界面传力能力。经过地基加固处理可压实并固化桩周松散土体, 优化桩土界面贴合程度, 创造密实且连续的接触受力界面。固化土体对桩身存在长期积极地侧向约束作用, 有利于遏制桩基的竖向沉降及水平偏移; 借助桩体刚性支撑抑制土体的流变滑移^[3]。双方约束耦合有效激活桩土界面力学性能, 增强了桩侧摩阻力以及整体协同工作能力, 从根本上破除软土地基桩土作用低效、不稳定的弊端, 保障基础长期受力稳定。

3 软弱场地地基加固与桩基协同施工关键技术

3.1 场地勘察与数据精准分析技术

精细化场地勘察、数据分析是软弱场地协同施工方案编制前的必备要求, 为桩基布设和地基加固参数设计提供科学、准确的数据支撑。(1) 软弱场地土层错综复杂且岩土参数分散性大, 采用常规勘察手段难以对局部软土厚度与力学缺陷进行精准反映, 容易导致施工方案出现偏差。(2) 采取原位测试或室内土工试验等手段可详尽掌握场地土体含水率、压缩特征、抗剪强度等相关岩土指标, 摸清场地土层分层分布规律。(3) 针对性检查场地地下水埋深、渗透特征及径流规律, 避免富水软土施工带来的加固失效和桩基塌孔等问题。(4) 通过对场地大量数据整理和对比分析, 有利于了解场地薄弱土层区域和施工敏感部位, 明确协同施工重点和难点区域。(5) 运用准确精细化勘察数据预匹配

施工参数实现加固工艺和桩基施工方案的有效匹配,从源头保障协同施工体系合理、安全、科学。

3.2 加固与桩基一体化设计技术

加固和桩基一体化设计技术的提出,是通过场地整个岩土条件进行分项设计,以工程荷载标准为依据,使得桩体结构与所选用的加固土体更加适配,从设计层面保证桩基与施工土体互相协同运作的方法^[4]。传统工程中,往往采取先布桩、后补加固的拆分形式,很容易造成加固范围与桩基受力区域不匹配、桩土刚度梯度不匹配,难以发挥复合地基的承载优势。而一体化设计则可根据前期精准勘察获得的土层参数,合理规划桩基桩径、桩长、布桩间距等核心参数,并且将地基加固深度、加固范围和固化材料配比做好衔接处理,让加固改良区域能够覆盖到桩周和桩间最主要的两种地基受力土层。这样就能较好地考虑到桩基刚性结构与改良软土的力学性质差异,弱化了原有桩基受力不均、变形脱节问题,通过参数联动优化实现桩体承载和土体补强之间的双向兼顾,从整体上达到软土基础整体刚度、承载稳定性、结构整体性全面提高的目的,为今后协同标准化施工打下坚实基础。

3.3 施工过程动态监测与反馈技术

动态监测与实时反馈技术是把控软土协同施工质量、规避施工扰动风险的关键,能够全方位可控,精细化地管理整个施工过程。(1)软弱土体受到各种施工扰动影响很大,尤其是在成桩或加固作业中容易产生土体移位、应力突变和不均匀沉降等问题,对施工数据进行静态分析无法适应现场的真实情况。(2)通过在施工区域内布置全面、有效的监测点位,能够及时掌握地基沉降、桩身应力、土体侧移等重要施工信息,掌握现场真实的受力和变形状况;(3)利用智能化数据分析系统实时将相关数据进行比较分析研判,能够快速发现潜在的应力超标、沉降异常等施工隐患。(4)开展实时性监测与快速反馈机制,将监测结果及时反馈给施工管理端,为工艺参数的调整提供准确的数据支撑;(5)监测、分析、反馈、调控闭环管控,合理有效地防止和消除软土施工病害,确保加固与桩基的协同施工顺畅有序,切实改善基础施工质量和安全系数。

3.4 复杂工况下的协同施工工艺优化技术

一般情况下,复杂软弱场地土层分布不均、地下水丰富、土体流变显著等工况具有特殊性。常规的标准化协同施工方式容易出现土体扰动过度、加固效果差、成桩质量差等问题,难以满足高标准基础施工要求,需要结合场地实际进行工艺优化和技术调整。该项技术针对深厚软土、填土层交错、富水渗漏等不

同复杂环境的局限性,摒弃固化的施工步骤,采用分区差异化施工理念,根据土层厚度、土体强度及水文条件划分施工单元,搭配错峰作业、局部预加固等手段降低施工交叉扰动带来的负面影响^[5]。通过改善注浆压力、加固深度、成桩速率等关键施工参数,适应不同区域软土的力学特点,解决传统工艺施工中经常发生的加固不密实、桩身偏移、桩周土体坍塌等病害;结合现场工况调整施工顺序,重点处理软弱夹层、透水层薄弱区域,采用抗渗固化材料提升复杂地层的加固稳定性,避免因地下水冲刷、土体流变而造成施工质量隐患,全方位提升桩基与地基加固协同施工的场地适应性、施工稳定性和工程质量,满足复杂软弱场地基础工程建设标准。

4 结语

随着岩土工程建设标准的不断提高和科技手段的日新月异,地基加固与桩基协同施工技术将全方位升级、优化发展。可以结合数字化仿真,智能传感监测和绿色加固材料等各种技术进行深度融合,借助于数字化模拟实现场地受力与变形规律的精确推演,借助智能监测设备实现对施工过程的动态管控,通过持续改善施工参数和协同施工工序,满足深厚软土、复杂水文、交错土层施工等特殊需求,解决复杂软弱场地施工难题。整体上实现了软土地基施工方式向更加细致精密化、智能化、绿色化转型,使得工程质量大幅提高和环保效益显著增强,在各类软土基建项目中具有极大的应用前景,也具有广泛的推广价值。

参考文献

- [1]张明义,王玲.软土地基加固中高压旋喷桩施工技术优化研究[J].大众科学,2026,47(3):163-165.
- [2]高利平.CFG桩复合地基在湿陷性黄土地区施工中的应用研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2026(4):017-020.
- [3]陈美香.CFG桩加固松软膨胀土体地基关键施工技术研究[J].河北水利电力学院学报,2023,33(1):39-43+49.
- [4]郭震.桩基工程钻孔灌注桩后注浆法地基加固施工技术分析[J].石油石化物资采购,2023(6):187-189.
- [5]郁小峰.地基基础与桩基基础土建施工技术要点分析[J].建筑与装饰,2023(23):169-171.

作者简介:

徐胜(1991--),男,汉族,四川人,本科,助理工程师,研究方向:建筑工程地基处理。