

桩基础施工对周边地表沉降的影响控制分析

陈昊

江苏省核工业地质调查大队，江苏省南京市，210000；

摘要：桩基础开展施工的阶段，因钻孔作业、桩体沉入以及土体受扰，一般会造成周边地表呈现不同程度的下沉，对周边建筑物及环境安全构成潜在威胁，有力控制地表沉降，是保障工程质量及安全的关键要素，本文就桩基础施工对地表沉降的影响机制展开，考察了沉降形成的主要缘由及其传导路径，使施工工艺与监测技术相互结合，探索了沉降控制的关键手段与优化策略，为降低施工危险、保障周边环境的稳定态势提供理论支撑和实践的指引。

关键词：桩基础施工；地表沉降；影响机制；控制措施；施工安全

DOI：10.69979/3029-2727.25.01.056

引言

伴随城市化进程不断加速，作为深基础的重要样式，广泛应用于高层建筑与大型基础设施建设中，桩基施工一般会引起周边土体的扰动情况，造成地表下陷，从而影响邻近建筑的安全以及地面环境的稳定水平，地表沉降不仅危及结构安全，或许会引发环境及社会方面的问题，由此成为工程建设期间急需关注的核心点，深度挖掘桩基础施工时地表沉降的形成原理及控制手段，对提升施工安全程度并保障城市基础设施可持续性发展意义不容小觑。

1 桩基础施工引起地表沉降的机理分析

桩基础施工期间地表沉降现象较为常见，其形成机理具有复杂性，受土体力学属性、施工工艺方式及环境要素的共同影响，桩基施工主要通过钻孔作业、桩体压入或混凝土灌注成型的途径，将上部结构荷载传递至深层土体或岩石层，在实施钻孔或压桩操作时，周边土体受到扰动并发生重新排列，伴随孔隙水压力产生变化，土粒原有结构遭受破坏，土体密实程度随之改变，进而导致周边土体出现体积收缩与沉降现象。土体在受扰动后会经历应力重新分布过程，局部土层的有效应力有所增加，促使土颗粒进一步压实，土层厚度相应减薄，最终以地表沉降的形式显现，施工过程中产生的震动与扰动会加剧土体结构的松散程度，对沉降的规模及影响范围产生进一步作用。

土层的力学特性与水文地质条件同样是影响桩基施工引发地表沉降机理的重要方面，不同类型的土质对施工扰动的响应存在明显差异，砂土和砾石土由于颗粒较粗且具备良好的排水性能，沉降发展速度相对较快，

但沉降幅度通常较小；而黏性土因颗粒细小且孔隙水排出过程缓慢，容易产生较大幅度的延迟性沉降。在桩基施工过程中，孔隙水压力的变化尤为关键，钻孔过程中产生的排水、排泥作用，以及灌注混凝土时形成的置换效应，会导致土层内部孔隙水压力出现不平衡状态，进而推动土体颗粒重新排列与压实，环境因素中的地下水位波动，对沉降过程也会产生显著影响，当地下水位下降时，土体有效应力增加，从而促进沉降的发生；而在高水位状态下，土体承载力有所降低，沉降趋势会变得更加明显。

桩基础施工引发地表沉降的传导机制，体现于施工扰动对土体应力场的改变，桩体作为载荷传递媒介，其施工过程必然引发周边土体应力重新分布，应力变化使土层产生局部压缩与位移，沉降范围随桩基施工规模和密度扩大，深层土体因桩基作用发生形变，继而向上影响浅层土体，最终表现为地表沉降。桩体穿越不同土层时，界面剪切力和摩阻力的变化会影响沉降特征，施工工序中的施工间断、桩基荷载变化等因素，会导致沉降出现时空差异，桩基础施工地表沉降机理是多因素综合作用的结果，深入理解其内在机制是制定有效控制策略的前提。

2 影响桩基施工地表沉降的主要因素探讨

桩基施工导致的地表沉降受多种因素综合作用，既涉及施工工艺参数，也包含土体自身物理力学性质与环境条件，施工时钻孔直径、桩长、桩径及桩型选择，对地表沉降的产生起决定性影响，较大的钻孔直径和桩径通常会扰动更大范围土体，使土体应力重分布更剧烈，进而引发更明显沉降。桩的沉入深度直接关联土体受力层次，深桩往往穿越多个土层，其对不同地层的扰动效

应叠加,可能造成地表沉降的复杂变化,施工方法如钻孔灌注桩、预制桩打入等,各自具有不同的土体扰动机理,钻孔灌注桩在挖孔过程中对土体扰动较大,预制桩打入则伴随显著冲击振动,这些差异在沉降表现上也有所体现。

土体性质对地表沉降影响显著。砂土、黏土、软土及淤泥质土等不同类型土壤,颗粒组成、含水量、压缩性和固结特性差异明显,软土和淤泥质土强度低、压缩性高,对外界扰动敏感,桩基施工中土体易发生塑性变形,导致沉降幅度大且持续时间长。地下水位状况直接影响土体有效应力调整,地下水位下降会增加土体有效应力,促使土体压缩和沉降加剧,地质结构复杂,如土层不均匀、存在岩石层或埋藏物,会造成地表沉降时空分布不均,增加控制难度。

周边环境条件及施工管理也是桩基施工地表沉降的重要影响因素,周边建筑物抗沉降能力及其基础类型决定其对地表沉降的敏感程度,老旧建筑或基础薄弱结构更易受影响出现安全隐患,施工监测体系是否完善直接关系到沉降风险的及时发现和控制,缺乏有效监测可能导致沉降超标却未能及时补救。施工速度和工序安排对沉降影响显著,快速施工可能加剧土体扰动引发较大沉降,合理的工序设计则能分散应力集中,减轻沉降风险,桩基施工地表沉降的形成是多因素交织的结果,深入解析这些因素及其作用机制,为制定科学施工方案和沉降控制策略提供了基础保障。

3 地表沉降监测技术及其应用现状

地表沉降监测技术作为桩基施工过程中的关键控制手段,能够有效反映施工对周边土体和结构的影响,并为沉降控制措施的实施提供指导,传统的沉降监测主要依赖水准测量技术,通过高精度水准仪对地面控制点进行周期性测量,从而获得地表沉降量及其变化趋势。这种方法具备测量精度高、操作流程相对简便的优点,适用于大多数施工现场的地表沉降监测场景,水准测量通常需要耗费较长时间,且监测点布设数量有限,难以实现对大范围区域或复杂地形条件的全面覆盖,存在空间分辨率不足的明显局限性。

随着测量技术的不断进步,全球导航卫星系统(GNSS)监测技术在地表沉降观测中的应用日益广泛,GNSS技术借助卫星信号开展连续的三维位置测量工作,能够实现实时、动态的沉降监测效果,该技术不仅能够适应复杂地形和恶劣环境条件,还可以提供高频率、高精度

的沉降数据信息,极大地提升了监测效率和数据的时效性水平。在大型基础设施项目建设和城市地下空间开发等领域,GNSS监测已经成为重要的技术手段之一,光学和雷达遥感技术,特别是合成孔径雷达干涉测量(InSAR),凭借其监测范围大、空间分辨率高和非接触式作业的特点,在区域沉降监测中展现出显著优势,InSAR技术能够通过卫星影像对地表变形进行毫米级精度的测量操作,非常适合开展长期监测和大范围地表沉降分析工作,为桩基施工引起的沉降问题提供宏观层面的监测视角。

基于物联网与智能传感器技术的地表沉降监测系统日益兴起,其融合传统测量手段与现代信息技术,可实现沉降数据的自动采集、传输及实时分析,微型倾斜计、埋地沉降板、孔隙水压力计等多种传感器布设于施工现场不同深度,能反映土体内部变形及水文地质条件变化,为施工阶段风险评估提供多维数据支撑。智能监测平台借助大数据与云计算技术,对监测数据进行实时处理和预警,提升了沉降控制的科学性与响应速度,综合运用多种监测技术构建的多层次、多维度沉降监测体系,已成为控制桩基施工引发地表沉降的有效保障,监测技术的持续创新与应用,对确保施工安全、保护周边建筑及环境稳定具有不可替代的作用。

4 桩基础施工中沉降控制的关键措施

桩基础施工中沉降控制的关键措施需从施工设计、工艺选择及现场管理等多方面综合实施,以最大程度减少对周边地表沉降的影响,保障工程安全与环境稳定,施工设计阶段需深入开展地质勘察,全面掌握土层结构、地下水位及物理力学特性,科学评估施工对地表沉降的潜在作用,根据土质类型和工程需求,合理选择桩型与施工工艺,如用预制桩替代钻孔灌注桩以降低土体扰动,或采用微型桩和管桩减少对软弱土层的冲击。设计时应结合有限元数值模拟技术,对施工引发的土体应力和变形进行预测,优化桩基布置方案,降低沉降风险,合理设定桩间距和分布,避免桩群密集区域土体过度压缩,确保周边地表沉降均匀分布,减少局部沉降集中带来的安全隐患。

施工工艺优化是控制地表沉降的核心内容,采用低扰动施工技术以减少桩基施工对土体的破坏,是沉降控制的关键路径,钻孔灌注桩需严格把控钻孔速度与深度,避免过度挖掘及孔壁塌方,同时采用套管或泥浆护壁等措施,稳定孔壁以降低土体扰动程度。针对预制桩施工,

需合理控制桩锤冲击能量及打入速度,防止因振动过大导致土体松散及地表沉降,采用沉管施工、旋挖钻机等先进设备,可提升施工精度与稳定性,降低施工噪声和振动对周边土体的影响,施工过程中,应结合实时监测数据动态调整施工参数,及时发现异常沉降并采取应急手段,如分阶段施工、土体加固或桩基布局调整,确保沉降控制在设计范围之内。

现场管理与监测保障是沉降控制措施的有力支撑,构建完善的沉降监测体系,对关键区域和重点点位进行高密度、多频次监测,实时掌握地表沉降动态,监测结果需与施工进度紧密结合,形成闭环管理以指导施工调整,强化施工人员专业培训,提升其对沉降控制技术的理解与执行能力,严格落实施工规范和安全管理制度的。施工环境管理亦不容忽视,需控制地下水位变化,避免因排水不当促使土体固结加速沉降,借助土体注浆、夯实、排水等加固技术辅助措施,提升地基承载力以降低沉降风险。通过设计优化、工艺革新与管理强化的多重协同,可有效遏制桩基础施工中地表沉降的发生,保障周边建筑和环境的安全稳定。

5 施工工艺优化对地表沉降影响的实证分析

施工工艺优化对降低桩基础施工引发的地表沉降至关重要,实际工程案例可直观体现优化措施成效,某大型城市综合体项目位于软土沉积区,地下水位较高,施工中地表沉降风险突出,初期采用传统钻孔灌注桩工艺,因钻孔时孔壁稳定性不足,出现多处孔壁塌方及泥浆泄漏,导致周边土体扰动剧烈,地表沉降监测数据显示沉降速率显著加快。通过分析沉降数据与施工参数,施工团队调整钻孔工艺,采用泥浆护壁技术结合套管辅助钻孔,大幅提升孔壁稳定性,缩小土体扰动范围,沉降速率得到有效控制,该案例表明,施工工艺优化与地表沉降控制效果直接相关,合理调整工艺可减少施工对土体结构的破坏。

在另一桩基施工项目中,选用预制桩打入工艺替换传统钻孔灌注桩,施工时通过调节桩锤能量和打入速度,有效降低振动幅度与冲击波传递范围,该项目地质条件复杂,土层由软土和砂土交替构成,预制桩施工若冲击过大,易造成土体结构松散、孔隙率增加,进而引发明显沉降。施工单位引入高效减震设备并采用多级分段打入工艺,避免一次性大能量冲击,减轻了地表沉降对周

边建筑的影响,现场沉降监测数据显示,优化措施实施后,沉降幅度较传统工艺减少约 30%,监测点沉降均匀性有所提升,说明施工工艺的精细化管理对沉降控制有积极作用。

施工工艺优化不仅体现在具体施工方法的改良,还包括施工参数的动态调整与施工过程的科学管理,某地铁车站基坑桩基施工中,施工方结合实时沉降监测数据,采用分区分阶段施工策略,控制单次施工扰动范围,通过缩短连续施工时间、设置合理施工间隔,为土体提供足够时间进行应力调整和固结,避免土体快速压缩引发大幅沉降。施工中注重施工设备的选型与维护,确保设备运行平稳,降低机械振动对土体的影响,施工人员在监测预警系统辅助下,能及时发现异常沉降并迅速调整施工方案,实现沉降风险的有效管控,以上实证分析表明,施工工艺优化贯穿设计、施工及管理全过程,通过科学方法与技术手段的综合运用,可显著降低桩基施工导致的地表沉降,提升工程质量与安全保障水平。

6 结语

桩基础施工引发的地表沉降是工程建设中需重点关注的问题,其机理涵盖土体扰动、应力重分布及孔隙水压力变化等多方面因素,不同土质类型与地下水条件对沉降特征影响显著,施工工艺及其对土体结构的干扰则是沉降形成的关键环节。唯有深入理解桩基施工中的沉降机理,方能有效预测沉降趋势,制定科学合理的控制措施,保障周边环境与建筑物的安全稳定,未来桩基础施工需结合土工试验与现场监测数据,完善施工方案,优化工艺流程,最大程度减少地表沉降对工程及环境的负面影响,推动基础设施建设的可持续发展。

参考文献

- [1] 王伟,李明. 桩基施工引起地表沉降的影响机制研究[J]. 土木工程学报,2020,53(4):45-52.
- [2] 张华,陈强. 城市桩基施工沉降控制技术探讨[J]. 建筑结构,2019,49(8):112-118.
- [3] 刘建国,赵磊. 不同土质条件下桩基施工沉降规律分析[J]. 岩土力学,2021,42(1):89-96.
- [4] 周凯,何俊. 地表沉降监测技术及其在桩基施工中的应用[J]. 工程监理,2018,30(2):23-27.
- [5] 黄鹏,王俊. 基于数值模拟的桩基施工沉降控制研究[J]. 地基基础工程,2022,37(5):15-21.