

地下水位变化对软土地基沉降的影响机制研究

张 金

蓝创工程设计有限公司 四川成都

【摘要】软土地基广泛分布于沿海及内陆湖泊周边等区域，其特殊的物理力学性质使得在工程建设中面临诸多挑战。地下水位作为影响软土地基稳定性与沉降变形的关键因素，其变化会引发一系列复杂的物理过程，进而改变地基土的应力状态与工程特性。通过理论分析、数值模拟以及实际案例验证相结合的方法，构建地下水位变化与软土地基沉降的定量关系模型，为工程实践中预测地基沉降、制定合理的地基处理与变形控制措施提供坚实的理论依据与技术支持。

【关键词】地下水位变化；软土地基；沉降影响机制；有效应力原理；孔隙水压力

【收稿日期】2025 年 6 月 11 日

【出刊日期】2025 年 7 月 10 日

【DOI】10.12208/j.jer.20250314

Research on the impact mechanism of groundwater level changes on soft soil foundation settlement

Jin Zhang

Lanchuang Engineering Design Co., Ltd., Chengdu, Sichuan

【Abstract】 Soft soil foundations are widely distributed in coastal and inland lake areas, where their unique physical and mechanical properties pose significant challenges in engineering construction. As a critical factor affecting the stability and settlement deformation of soft soil foundations, groundwater level changes trigger complex physical processes that alter the stress state and engineering characteristics of foundation soils. By integrating theoretical analysis, numerical simulation, and practical case studies, this study establishes a quantitative relationship model between groundwater level changes and soft soil foundation settlement. This provides solid theoretical and technical support for predicting foundation settlement and formulating reasonable foundation treatment and deformation control measures in engineering practice.

【Keywords】 Groundwater level changes; Soft soil foundation; Settlement impact mechanism; Effective stress principle; Pore water pressure

引言

在城市化进程中，大量工程建设项目在软土地基区域开展。软土地基具有高压缩性、低强度、高含水量等特性，极易发生沉降变形。地下水位受自然因素与人类活动双重影响频繁波动，显著加剧软土地基沉降问题，威胁工程安全。因此，深入探究地下水位变化对软土地基沉降的影响机制，对保障工程稳定与可持续发展至关重要。本研究聚焦此问题，旨在揭示二者内在联系，为工程实践提供有力指导。

1 软土地基特性及其沉降基础理论

软土地基作为工程建设中常见的特殊地质条件，其物质组成与微观结构决定了独特的工程性质。这类地基主要由细粒土构成，在滨海、湖沼等沉积环境中形成。软土的颗粒细小且呈絮凝状排列，颗粒间孔隙充满水分，导致土体孔隙比显著高于一般土类。这种结构特

性使得软土地基在外部荷载作用下，颗粒间的接触点极易发生位移与重新排列，从而产生显著的压缩变形。由于土颗粒间的联结力较弱，抗剪强度低，地基在承受竖向荷载时，不仅容易产生竖向沉降，还可能因局部土体失稳引发侧向变形。

从沉降机理角度分析，软土地基沉降的阶段特征显著。瞬时沉降发生在荷载施加瞬间，地基土在不排水条件下，因剪应力作用产生形状改变，此时土体体积保持不变。该阶段沉降主要受地基土的弹性性质控制，包括剪切模量与泊松比等参数，同时与荷载分布形式密切相关。主固结沉降是软土地基沉降的主要组成部分，其过程遵循有效应力原理。在荷载作用下，孔隙水压力逐渐消散，有效应力相应增加，土体颗粒在有效应力作用下发生压缩^[1]。这一阶段的沉降速率与土层厚度、渗透系数以及压缩系数等因素相关，通常可通过太沙

基一维固结理论进行定量分析。次固结沉降则是在主固结完成后,土体骨架在持续有效应力作用下,土颗粒间的蠕变与土中水的黏滞流动共同作用的结果。

软土地基沉降的复杂性还体现在多种因素的相互作用上。土体的结构性对沉降特性影响显著,原状软土的结构性使其在荷载作用下的变形特性与重塑土存在差异^[2]。地基土的初始应力状态、地下水位变化以及上部结构与地基的相互作用,都会改变地基土的应力路径与变形模式。地下水的渗流作用可能引起土体有效应力变化,进而影响地基沉降过程。因此,理解软土地基沉降的基础理论,需要综合考虑土体物理力学性质、应力状态演变以及外部环境因素的动态变化,为工程设计与沉降控制提供理论依据。

2 地下水位变化对软土地基应力状态的影响

地下水位变化是影响软土地基应力状态的关键因素,其作用机制涉及孔隙水压力与有效应力的动态平衡。当地下水位下降时,地基土中孔隙水压力随之降低,打破原有的应力平衡状态。根据有效应力原理,在总应力保持不变的条件下,孔隙水压力减小会导致有效应力相应增大。这种应力状态的改变直接作用于土颗粒骨架,使得颗粒间接触压力增加,土体颗粒发生重新排列与压缩变形。地下水位下降引起的土体饱和度变化,会改变土体的渗透特性。非饱和土的渗流规律与饱和土存在差异,孔隙水的排出路径与速度发生变化,进而影响孔隙水压力的消散与有效应力增长的时间历程。

地下水位上升对软土地基应力状态的影响呈现相反趋势,但其危害同样不容忽视。水位上升使地基土中孔隙水压力增大,有效应力降低,导致土体颗粒间的有效联结力减弱。对于灵敏度较高的软土,孔隙水压力的增加可能破坏土体原有的结构性,使土体强度显著降低,地基承载力下降^[3]。在这种情况下,即使地基承受的荷载未发生变化,也可能因土体强度不足而产生过大的沉降变形。地下水位上升还会引起地基土物理性质的改变。土体含水量增加导致重度增大,自重应力相应增加,进一步加剧地基的沉降趋势。

地下水位变化对软土地基应力状态的影响具有时空特性。在空间上,地下水位变化引起的孔隙水压力与有效应力变化并非均匀分布,受地基土的渗透性、厚度以及边界条件等因素影响,不同区域的应力响应存在差异。在时间维度上,地下水位变化的速率与持续时间决定了地基土应力调整的过程^[4]。快速的水位下降可能导致地基土中产生超静孔隙水压力,引发土体的瞬时变形;而缓慢的水位上升过程中,土体有时间进行应力

调整,但其长期效应可能导致地基土强度的持续降低。

3 地下水位变化引发软土地基沉降的计算方法与模型

计算地下水位变化引发的软土地基沉降,是工程设计与风险评估的重要环节。基于太沙基一维固结理论的分层总和法及其改进方法,是传统计算方法的代表。分层总和法将地基土沿深度方向划分为若干土层,分别计算各土层在附加应力作用下的压缩量,通过叠加各层压缩量得到地基总沉的降量。在考虑地下水位变化时,需根据水位升降情况调整土层的孔隙水压力与有效应力,进而修正土层的压缩模量等参数。该方法假定地基土为均质、各向同性体,且土体压缩变形符合线性弹性理论,虽然计算过程较为简便,但在处理复杂地质条件时存在局限性。

数值模拟方法在软土地基沉降计算中展现出显著优势,能够处理复杂边界条件与非线性问题。有限元法与有限差分法是常用的数值计算手段,通过建立数学模型模拟地基土的力学行为与地下水位变化过程。在有限元模型中,可精确描述地基土的空间分布特性、边界条件以及土体的本构的关系。采用三维有限元模型能够考虑地基土在水平与垂直方向上的非均匀性,模拟地下水位变化的空间分布差异,更准确地预测地基沉降的分布形态^[5]。数值模拟还可以灵活设置不同工况,分析地下水位变化幅度、速率以及地基处理措施对沉降的影响。通过参数敏感性分析,可确定影响沉降的关键因素,为工程设计提供优化依据。

在实际工程应用中,计算方法的选择需综合考虑工程需求与地质条件。对于简单的地基处理工程,分层总和法及其改进方法能够满足设计精度要求,且计算效率较高^[6]。而对于大型复杂工程,如深基坑开挖、地铁隧道建设等,数值模拟方法更适合处理复杂边界条件与非线性问题。计算模型的准确性依赖于土体参数的合理选取。现场试验与室内试验相结合,获取可靠的土体物理力学参数,是提高计算结果可靠性的关键。

4 应对地下水位变化影响的软土地基沉降控制措施

控制地下水位变化对软土地基沉降的影响,需从地基处理、水位调控与结构设计多方面协同施策。在地基处理技术中,排水固结法是针对软土地基特性的有效手段。通过设置砂井或塑料排水板等竖向排水体,结合堆载预压或真空预压,可加速地基土中孔隙水的排出,缩短主固结沉降时间。堆载预压通过施加临时荷载,增加地基土的有效应力,促使孔隙水排出;真空预压则

利用大气压力作为预压荷载,在不增加土体自重的情况下实现土体固结。这两种方法均能使地基土在施工期内完成大部分沉降,减少工后沉降量。深层搅拌法与高压喷射注浆法通过向地基土中注入固化剂,形成加固体与桩体,改善土体的物理力学性质,提高地基的承载力与抗变形能力,增强地基对地下水位变化的适应性。

地下水位的监测与调控是预防沉降风险的重要环节。建立完善的地下水位监测系统,通过布置水位监测井与传感器,实时获取地下水位动态变化数据。监测数据的分析处理能够及时发现水位异常波动趋势,为工程决策提供依据。当预测到地下水位下降可能引发地基沉降时,可采取回灌地下水措施,通过向含水层注水维持水位稳定,避免因有效应力过度增加导致地基沉降过大^[7]。相反,在地下水位上升可能对工程造成威胁的区域,需优化排水系统设计,确保地下水能够及时排出。合理规划排水管网布局,设置排水泵站与截水沟,有效控制地下水位上升幅度。

工程设计阶段的优化是应对地基沉降问题的前瞻性措施。在基础形式选择上,根据地质条件与上部结构荷载特性,合理确定基础类型与埋深。对于软土地基,可采用桩基础将荷载传递至深层稳定土层,减少地基土的压缩变形;或采用筏板基础与箱形基础,增强基础的整体性与刚度,提高结构对地基不均匀沉降的适应能力。在上部结构设计中,通过设置沉降缝、后浇带等构造措施,释放地基不均匀沉降产生的附加应力,避免结构开裂破坏^[8]。优化结构布置,减少荷载分布的不均匀性,降低地基的差异沉降。在设计阶段充分考虑地下水位变化的长期影响,预留沉降变形余量,为工程的安全稳定运行提供保障。通过地基处理、水位调控与结构设计的综合应用,能够有效降低地下水位变化对软土地基沉降的影响,确保工程建设的安全与耐久性。

5 结语

本研究全面剖析了地下水位变化对软土地基沉降的影响机制,明确了软土地基特性与沉降理论基础,揭

示了水位变化对地基应力状态的改变,阐述了沉降计算方法与模型,并提出了有效的沉降控制措施。未来,需进一步深入研究复杂地质条件下地下水位与软土地基的相互作用,完善考虑多因素耦合的沉降计算模型,研发更高效、环保的地基处理新技术,以更好地应对工程建设中软土地基沉降问题,推动工程建设行业可持续发展。

参考文献

- [1] 张志浩,王永强.地下水位变化对建筑沉降的影响探讨[J].水利技术监督,2025,(08):225-227+284.
- [2] 李亚东,江路,尹轶.地下水位变化下重载铁路结构处理措施研究[J].山西建筑,2025,51(12):152-155.
- [3] 李秀丽.邢台市近 5 年地下水位变化规律及其影响因素分析[J].地下水,2025,47(03):72-74
- [4] 喇乾坤.张家口市地下水位变化规律与影响因素研究[J].地下水,2025,47(03):75-76+123.
- [5] 殷桥,王梦薇.地下水位变化对隧道开挖稳定性的影响分析[J].交通世界,2025,(15):133-135.
- [6] 夏煜轩,钟丽燕,刘嫣,等.地下水位变化对鄂西南亚高山泥炭藓湿地物种多样性和生物量的影响[J].湖北林业科技,2025,54(02):16-22+28.
- [7] 王明君,彭勇,徐博,等.变化环境下洮儿河下游地下水位变化趋势[J/OL].南水北调与水利科技(中英文),1-14[2025-07-15]
- [8] 周仁强,刘沛,崔建勋,等.拉萨林周县地下水位变化特征及其影响因素分析[J].地下水,2025,47(02):61-64.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

