

降雨作用下路基边坡渗流特性及稳定性分析

霍士远

北京特希达交通勘察设计院有限公司, 北京 100000

[摘要]降雨作用下, 渗透性能对路基边坡稳定性的影响不容忽视, 雨势深入土壤深层区, 引发土壤孔隙水压的波动现象。研究降雨期间渗流活动对边坡稳定性的相互作用, 本项研究揭示了渗流变化对边坡稳定性的关键作用, 借助数值模拟及实验数据, 这些关键指标——雨势的强度、持续时间以及土壤的性质, 都对边坡的稳定性具有决定性影响, 这些因素对边坡规划及安全评价具有决定性影响。

[关键词]降雨作用; 路基边坡; 渗流特性; 稳定性分析; 数值模拟

DOI: 10.33142/sca.v8i5.16438

中图分类号: X705

文献标识码: A

Seepage Characteristics and Stability Analysis of Roadbed Slopes under Rainfall

HUO Shiyuan

Beijing Texida Transportation Facilities Consultants Co., Ltd., Beijing, 100000, China

Abstract: Under the action of rainfall, the influence of permeability on the stability of roadbed slopes cannot be ignored. The rainfall penetrates deep into the soil, causing fluctuations in soil pore water pressure. Studying the interaction between seepage activity during rainfall and slope stability, this study reveals the key role of seepage changes in slope stability. With the help of numerical simulations and experimental data, these key indicators — the intensity and duration of rainfall, as well as soil properties, which have a decisive impact on slope stability. These factors have a decisive impact on slope planning and safety evaluation.

Keywords: rainfall effect; roadbed slopes; seepage characteristics; stability analysis; numerical simulation

引言

在结构工程这一技术领域, 路基边坡稳定性分析始终是研究中的核心议题, 面对雨水等自然界的挑战时刻, 降水引发的渗透过程极大地影响了土壤的物理与力学特性, 这一变化直接影响了边坡的稳定性能。频繁发生的极端气候现象使得降雨对边坡的破坏作用愈发受到广泛关注, 探讨降雨对土壤渗透特性的作用及其可能引发的边坡稳定性变化, 该举措为边坡工程设计充实了理论根基, 也为工程安全监管提供了决策的科学辅助资源, 对这些核心点进行细致的解析, 对山体滑坡等自然灾害的突发进行迅速预测与预防。

1 降雨作用下路基边坡渗流特性分析

随着气候变暖趋势愈发明显, 降雨对路基边坡稳定性的影响日益明显化, 考察降雨对土壤渗透率的影响, 对增强边坡工程设计及加固措施的实施效果具有积极影响。

1.1 降雨对路基边坡渗流特性的影响

路基边坡渗流现象的触发点, 非降雨莫属, 水分渗透至土壤的各个构造, 土壤孔隙水压力上升显现, 应力参数有所变动, 进而影响边坡的稳定性, 雨势猛烈程度、连续时长与土壤渗透能力, 共同影响了水流渗透的路径与流速, 短暂暴雨下地表土壤易迅速饱和, 细雨连绵可促进水分深入土壤深层, 在雨季活动进行阶段, 水流速度及方向频繁出现波动现象, 这种变动对边坡的稳定性产生了多层面后果。

1.2 土体性质对渗流过程的影响

土壤的力学性质, 涉及孔隙比、渗透系数及剪切力等关键因素, 显著影响雨水的渗透与流动状态, 土壤层的高渗透性促进了水分的快速渗透作用, 增强土壤水分储存能力, 土壤的稳定性可能面临下降的隐患。土壤种类繁多纷繁复杂, 如黏土、沙土等土壤种类, 其与雨水的相互作用表现出多种形态, 黏土的渗透能力一般不强, 持续不断的雨势侵袭下, 其结构变得脆弱无力, 在渗流作用的影响下, 土体的剪切性能与内摩擦角可能调整, 进而对边坡的稳定性产生了重大后果^[1]。

1.3 数值模拟与实际案例分析

为揭示降雨对路基边坡渗流特性的作用规律, 广泛研究者普遍采用数值模拟手段, 实施边坡渗流模型, 实现了对多种降水状况下渗流变化的模拟, 进而对土体稳定性进行系统分析, 实证分析与案例剖析揭示了, 边坡规划能够显著降低滑坡等自然灾害的频发, 对排水系统进行升级或配置防护装置, 有效减少渗流对土壤结构的破坏作用, 显著增强边坡稳定性。

2 降水强度与持续时间对边坡稳定性的影响

降雨的强度及其连续性表现, 这两个要点对边坡的稳定性起到决定性作用, 在多种降水情境下, 渗流可能引起的边坡灾害之一为滑塌, 对作用机理的详实理解对边坡的规划与安全防护影响巨大。

2.1 降水强度对边坡稳定性的影响

降水强度与土壤水分渗透速度紧密绑定,暴雨往往迅速在短暂时刻向地面大量注入水流,地表土壤迅速充满水分,土壤的抗滑性能因饱和状态而大幅下降,尤其是在渗透性较差的土壤区,水分难以迅速从土壤中逸出,土壤的黏聚力有所衰减,极大地提高了滑坡的风险等级。

2.2 降水持续时间对边坡稳定性的影响

就降水强度这一维度,降水持续期间对边坡稳定性作用复杂程度突出,持续的雨势导致水分渐渐下沉至土壤底层,土壤的水分含量正在稳步增长,尤其是在渗透性不高的土壤层,渗透速率可能变得极为迟钝。长期湿润的累积作用逐步削弱土壤的固定性,可能引起边坡稳定性下降。土壤渗透性占据核心位置,位于渗透性强的土壤区,雨滴可能迅速下渗至土壤深层,边坡不易出现不稳定迹象;雨势持续未停歇,持续的降水可能对边坡稳定性构成挑战,在低渗透性土壤层之中,连续的降雨可能引起地表水滞留,或造成边坡稳定性降低。

2.3 降水强度与持续时间的联合效应

降水强度及时长交替出现,双重作用对边坡的稳定性产生了繁复的后果,在现行的实际情境里,强降雨现象与短时集中降水相伴而生,提升了边坡的稳定性风险。研究指出连续的强降雨与持久降水相叠加,常使渗流效应变得更加猛烈,导致边坡在降雨期间逐步累积不稳定因素,生态滑坡的潜在威胁可能显现^[2],对边坡稳定性进行精确预判与评价是必要的,对降水强度与持续时间对边坡稳定性的交互影响进行深入分析是必要的。

3 土体性质对渗流过程和边坡稳定性的作用

土体的物理性质对渗流现象及边坡的稳定性起着关键作用,土壤性质的多样性对水分渗透及边坡的稳定性有显著左右力,这一考量在工程设计中占据核心地位。

3.1 土体渗透性对渗流过程的影响

土壤渗透性质对降水的渗透速度及流动路径有紧密关联,易渗透土壤以沙质土壤特性为证,迅速将水分导入深层土壤,减少土壤表层饱和度,能降低短时强降雨对边坡稳定性的冲击力度,土壤的水分滞留能力突出,黏土土壤水流速度较慢,土壤水分的聚集速度不迅速,土壤有可能逐步接近饱和极限,边坡稳定性面临的风险指数上升,长期作用下水分渗透表现突出,持续的积水现象会使土壤孔隙中的水压不断上升,土壤的有效应力开始下降,其剪切力明显降低,对经历降雨的边坡稳定性进行精确的评估,掌握土体渗透性极为关键。

3.2 探讨土壤颗粒结构与成分对斜坡稳定性的作用方式

土壤密度及剪切强度与颗粒结构特性紧密相关联,土粒粗大、排列松散的土壤往往具有较佳的渗透能力,抗滑稳定性不强,而那些颗粒细腻、结构紧密的土壤(例如

黏土),其剪切力明显较高,渗透性欠佳,积水问题屡见不鲜,这无疑让滑坡的易发指数增加。土体的构造属性对渗流活动起到关键性作用,土层在垂直方向上的分布特性可能导致其在不同深度表现出差异化的渗透能力,水分在层级间经历滞留及扩散过程,边坡滑移的风险指数随之上升,详尽研究土壤颗粒的组成、孔隙比及结构性质,我们得以预测不同土层在降雨影响下的渗透性能,从而提高了边坡稳定性评价的可靠性^[3]。

3.3 探讨土壤力学性质与孔隙水压力对边坡稳定性的影响规律

土体的剪切强度对滑动阻力的形成有直接影响性,持续遭受水流渗透作用,土壤孔隙的水压逐渐攀升,土体有效应力减弱显著,其剪切承载能力显著下降,若孔隙水压力越过了既定标准,土壤的滑动阻力迅速降低,边坡滑动风险因此显著增大。在高水饱和度情境下,土体的剪切强度在饱和度高时可能显著下降,不同土体在饱和度变化中强度表现差异显著,砂土在水分饱和时强度下降幅度较小,黏土对水分的敏感表现突出,强度降低较为明显,深入剖析土体强度特性及其湿度条件下的演变机制,对渗流影响边坡稳定的预测分析,对实施更佳防护措施具有极其重大的意义。

4 数值模拟在路基边坡渗流与稳定性分析中的应用

数值仿真方法,一种高效率的探索工具,在研究降雨对路基边坡渗流及稳定性影响中扮演着核心角色,优化了边坡稳定性评估与优化策略的科学支撑体系。

4.1 数值模拟在渗流分析中的应用

数值模拟技术正成为研究降雨对路基边坡渗流效应的关键性分析手段,开展三维边坡水流模型研究,整合土壤属性与降雨效应,可精确重现不同降雨强度及时长对水分渗透过程,这项技术揭示了降雨对土壤渗透动态的展示画面,可预测各土层水分的积聚情况及水流走向。此技术对水分在渗流中对土壤孔隙压力的影响进行了精确的解读,详尽的数值资料有助于边坡稳定性分析^[4]。

4.2 探讨数值模拟在边坡稳定性评价中的核心价值

数值模拟技术不仅能够深入剖析渗流动态,也能精确预判降雨对边坡稳定性波动的程度,雨水的降落改变了土壤的渗透性质,对边坡稳定性造成干扰,执行数值模拟方法,对边坡的形状、土壤力学特性和渗透率等关键数据实行合并,构建力学分析体系,对边坡在各类降水情境下的安全指标进行详尽分析。执行多样化降雨强度及持续时间的模拟分析,我们可直接对边坡在多变降水情境下的稳定性进行深入分析,进而为防灾减灾决策提供科学依据的支撑框架,进而为设计方案的优化提供助力。

4.3 数值模拟的优化与未来应用前景

计算技术的进步不断促进边坡渗流与稳定性分析中

数值模拟的持续优化与应用深化,现有的数值模型对降雨、渗流与边坡稳定性丧失的复杂现象进行了更为详尽的模拟,执行多物理场耦合技术方法,对土壤的渗透、力学特性与稳定性进行了全面研究。随着对土壤特性数据的深入挖掘和计算技术的不断进步,数值模拟的精确与效率将大幅提升至新水平,数值模拟技术有望与数据预测手段相结合,极大地增强了边坡稳定性预测的精确度和快速响应速度,智能化途径促进了边坡设计与灾害预警的智能化升级。

5 提高边坡稳定性的设计与防护措施研究

道路、铁路等工程的安全与边坡稳定状况紧密绑定,精巧部署与周到的安全措施,极大地稳固了边坡的构造性能,大幅减少因自然条件如降雨对工程安全的潜在风险。

5.1 增强土体抗剪强度的设计措施

边坡稳定性的核心组成部分,土壤抗剪能力的加强是基础要求,土体的剪切强度对边坡在承受外部载荷及水分渗透影响下的稳定性具有决定性作用,执行加固方案,对斜坡土壤运用钢筋、钢丝网和锚杆加固技术,土壤的抗拉及抗剪强度显著提升。执行科学的边坡坡度设计方案,显著降低土体滑动阻力矩的量值,显著增强了边坡的稳定效果,针对黏性土层,实施石灰与硅酸盐固化剂的加固作业程序,土体的黏聚力与剪切强度明显进步,确保土壤的适宜湿度并防止过度干燥,这一条件对于稳固性的增强极为关键,落实强化土壤剪切承载力的设计项目,大幅削减因自然因素如降水引起的土壤滑坡隐患。

5.2 排水系统设计与防护措施

雨水是边坡不稳定的关键诱因来源,实施有效的排水策略和坚固的防护措施,明显减轻水分对土壤渗透及孔隙水压力的负面影响,排水系统的构建要求准确定位排水孔、合理布线排水管道及设置边坡后侧排水层,努力减少土壤水分的积累,加强土壤基础稳固性。实施高效渗透排水层技术方案,加快雨水的移除过程,有效避免土壤水分的长期积聚,是增强边坡稳定性的高效策略,对边坡抵挡降水有着决定性的作用。

5.3 土体改良与边坡植被恢复

土壤优化与边坡植被的种植是稳固边坡的核心与长久之道,实施外加剂(诸如石灰、粉煤灰)对土壤的调整,土壤密度和稳定性显著提升,在黏土和软土层区域特别明显,该效果显著提高,明显加强土壤的承压及抗剪能力,提升边坡的承重水平,显著减少滑坡事故的隐患概率。边坡植被恢复的执行方法,扮演一种生态保护角色,通过植物根系的固定特性,明显降低水分渗透和土壤侵蚀现象,

显著增强了边坡的稳定状态,筛选根系深入耐旱的植物种类,在经历连绵干旱之后,有效减少土壤滑移及塌陷的风险隐患,植被覆盖对边坡的稳定性有显著的加固作用,显著促进了周边环境的优化与生态价值的提升。

5.4 综合防护体系的构建

全力追求边坡稳定性的全面优化成效,单纯的设计与防护手段往往不足以应对工程实践中所面临的复杂挑战,实施综合防护措施,融合排水、土壤改良、墙体强化、植被修复等多元技术,构成边坡稳定的核心措施。在多雨区域强化坡面固定性、优化土壤特性并执行高效排水措施,有效减少水分在土壤中的停留时间,执行防护和绿化方案,体现双效防护成果,此系统在应对地质与气候多样性挑战上具有明显的长处,以更灵活的方式处理极端气候问题,稳定工程安全防护措施^[5],依赖高科技监测手段,包括对边坡变形和地下水位进行监测,对边坡稳定性实施持续监督,这无疑是边坡稳定性的核心步骤之一。

6 结语

探讨降雨对路基边坡稳定性影响的渗透现象与防护措施,研究表明边坡稳定性的维护依赖于合理的规划与有效的防护,土壤属性、雨量强度及其时长等因素对渗透过程及边坡的稳定性起到关键性作用,运用数值模拟技术、提升排水设施效能、优化土壤特性与植被恢复的多样化防护手段,显著降低风险风险性,维护施工安全措施的执行标准,确保边坡设计未来走向的核心参考与实际操作指南。

[参考文献]

- [1]路彦青. 降雨条件下公路路基渗流特性及边坡稳定性分析[J]. 科技风, 2013(16): 144.
 - [2]杨世豪, 苏立君, 张崇磊, 等. 强降雨作用下昔格达边坡渗流特性及稳定性分析[J]. 土木与环境工程学报(中英文), 2020, 42(4): 19-27.
 - [3]王超, 温树杰, 宋亮亮. 降雨因素对红砂岩风化土路基边坡稳定性的影响分析[J]. 建筑技术, 2020, 51(9): 1067-1071.
 - [4]张培锦, 李海明, 汪磊, 等. 降雨和河流水位上升作用下沿河路基边坡稳定性研究[J]. 公路交通技术, 2023, 39(2): 14-20.
 - [5]王钰轲, 薛玉洁, 宋迎宾, 等. 强降雨致洪因素下渗流对高速公路路基稳定性的影响[J]. 河南科学, 2024, 42(1): 137-146.
- 作者简介: 霍士远, 北京特希达交通勘察设计院有限公司。