

浅表层不良土体工程地质治理技术研究

杨刚应

智方设计股份有限公司

DOI:10.32629/bd.v9i8.4617

[摘要] 浅表层不良土体大多埋藏在0~5m的浅层范围,这类土体普遍存在压缩性高、孔隙偏大、抗剪能力弱等不良物理性质;土体容易受到水文、温度以及外力干扰,进而出现变形、失稳等问题,它也是岩土工程施工里较为常见的地质隐患。本次研究归纳了各类浅层不良土体的地质特征,探析了土体产生失稳变形的内在机理;本文还划分研究置换、固结、物理加固以及生态防护这四类改良技术,分析各类技术的作用原理与适用条件,结合土体物理参数优化施工方式,总结现有技术存在的不足,并且给出合理的优化建议。该研究能够进一步完善浅层土体治理体系,提升土体整体稳定性,也可以为同类岩土改良工程提供可靠的技术参考。

[关键词] 浅表层土体;不良地质;土体改良;加固技术;岩土稳定性

中图分类号: TU472 **文献标识码:** A

Research on Engineering Geological Treatment Technologies for Shallow Unfavorable Soil

Gangying Yang

Zhifang Design Co., Ltd.

[Abstract] Shallow unfavorable soils are mostly buried within a shallow depth of 0–5 m and generally exhibit adverse physical properties such as high compressibility, relatively large porosity, and weak shear strength. These soils are susceptible to disturbances caused by hydrological conditions, temperature, and external forces, which may lead to deformation and instability, making them a common geological hazard in geotechnical engineering construction. This study summarizes the geological characteristics of various types of shallow unfavorable soils and analyzes the underlying mechanisms of soil deformation and instability. Four types of improvement technologies are examined: replacement, consolidation, physical reinforcement, and ecological protection. The working principles and applicable conditions of each technology are analyzed, construction methods are optimized based on the physical parameters of the soil, existing limitations of current technologies are summarized, and corresponding optimization recommendations are proposed. This study can further improve the treatment system for shallow soils, enhance overall soil stability, and provide reliable technical references for similar geotechnical soil improvement projects.

[Key words] shallow soil; unfavorable geological conditions; soil improvement; reinforcement technology; geotechnical stability

引言

对于岩土工程施工而言,浅表层土体能够直接承受上部结构带来的荷载,松散的土层结构,不均匀的土质条件,都会在很大程度上降低地基的整体稳定性;在我国大部分地区,浅层土体都分布着淤泥质土、膨胀土以及杂填土,这类土体含水率大多处在28%~55%,承载力还达不到90kPa,土体在干湿交替、地下水渗透的作用下,比较容易发生沉降、滑移等病害。目前常用的改良技术存在适用范围有限,改良均匀度较差等问题,很难适配复杂的地质环境;因此,本文结合土体微观构造与力学指标,梳理各

类治理工艺的技术要点,分析技术存在的弊端,以此探寻低扰动、高效率的改良手段,进一步优化土体综合力学性能。

1 浅表层不良土体基本概况

在岩土工程领域当中,浅表层不良土体通常被界定为地表之下0~5m的松散土层,这类土层的力学性能一般无法满足基础工程的建设要求;土体主要包含淤泥质土、膨胀土、素杂填土以及砂质粉土,不同土质的矿物构成、内部结构均存在较为明显的区别。淤泥质土大多具备1.5以上的孔隙比,它的天然压缩模量能够维持在2.5~4.0MPa之间,土体透水能力偏弱,固结成型

的速度也相对缓慢;膨胀土内部黏粒占比可以超过32%,土体富含蒙脱石矿物,土体体积在干湿循环作用下,能够产生12%~18%的胀缩变化;杂填土的内部排布杂乱无序,它的压实度通常不足0.82,内部孔隙连通程度较高,土质均匀性较差。

从工程地质危害层面进行分析,这类土体普遍存在抗剪能力差、荷载敏感度高问题,土体在静态荷载的作用下,容易产生不均匀沉降的现象,在动态外力扰动时,也有可能发生土体液化、坡面坍塌等不良地质问题。浅层土体会直接受到大气降水、地表径流的影响,水文条件的波动能够改变土体孔隙水压力,进而削弱土颗粒之间的胶结作用。现阶段岩土工程对于该类土体的治理难点,主要是平衡施工扰动程度、土体固结速度以及长期使用稳定性,工作人员需要结合土质本身的特性,去选用适配的改良处理工艺^[1]。

2 浅表层不良土体主要类型及失稳机理

2.1 土体主要分类及物理特征

工作人员能够根据土体成因、颗粒成分以及力学性质,把浅层不良土体分为四种类型;河湖地带常常分布淤泥质软土,该土层厚度为1.2~3.5m,天然含水率处于42%~58%,塑性指数大于19,土质偏软还容易发生侧向变形;季风气候区多见膨胀黏性土,埋深在0.5~2.8m,膨胀率可达40%~65%,土体表层容易产生裂缝;人工杂填土堆积时间不足8年,孔隙率偏高,承载力并不稳定;松散砂粉土细颗粒偏多,黏结能力较弱,土体饱和以后,出现渗透破坏的概率也会明显增加。

2.2 内部结构失稳机理

土体发生失稳破坏,其主要原因一般来自土体内部的颗粒结构错乱;这类不良土体本身孔隙数量较多,颗粒之间大多为点状接触,内部胶结物质甚至不足5%,所以整体结构会比较松散。淤泥质土的矿物排布杂乱,受压孔隙闭合速度很慢,土体容易持续压缩;膨胀土遇水以后,矿物层间距会被拉大,原本紧实的土体结构就会被破坏;杂填土颗粒搭配不合理,在外力挤压时,颗粒容易错位滑动,从而引发不均匀沉降;土体内部细微裂缝也会不断发育连通,这会进一步降低土体的整体完整程度^[2]。

2.3 外部环境诱发机制

水文与气象条件,其实是浅层土体发生土质劣化的主要外部诱因;雨水可以渗透进土层内部,会增大土体含水率,削弱土颗粒之间的咬合力度,还会冲刷地表松土,从而形成坡面沟槽。地下水位年波动幅度若是超过1.0m,土层便会反复干湿交替,容易产生土体疲劳损伤;昼夜温差大于12℃时,表层土体变形差值可达3mm/m,会持续破坏土体结构;除此之外,地表振动能够传入浅层土体,打乱颗粒排布,扩大孔隙连通性,也就会降低土体自身的抗液化能力。

2.4 工程危害表现形式

浅表层不良土体所产生的工程危害,一般带有隐蔽性、缓慢发展的特点;在地基施工阶段,土体压缩会造成基底沉降差值大于8mm,也就容易出现基础倾斜的问题;边坡施工当中,浅层滑动面通常埋在0.5~2.0m位置,雨水会明显加快土体滑移速度,暴

雨天气下的滑移幅度能够扩大4~6倍;场地整理过程中,杂填土与砂粉土还容易产生局部塌陷,塌陷坑直径大致在0.3~1.5m。这类病害不会突然发生,只会慢慢累积,会持续损害工程基础,缩短构筑物的使用年限。

3 主流工程地质治理技术及应用分析

3.1 土体置换换填技术

土体置换换填技术比较适合处理埋深不足2.0m,且土层厚度分布不均匀的不良土体;该技术主要是挖除场地内部的劣质土层,再更换为稳定性较好、颗粒搭配合理的硬质填料,以此重塑基底受力结构,从而提高地基承载能力。施工人员一般采用简单的施工流程,先对劣质土体进行开挖外运,清理干净基底表层的松土,再分层铺设碎石、粗砂以及改良素土等填充材料,单层铺设厚度会控制在20~35cm,并且配合压实设备逐层碾压加固。在挑选碎石填料时,工作人员需要把控粒径在5~31.5mm,含泥量不得超过3%,压实系数也需要保证不低于0.95。该处理方式对于杂填土、腐殖土的改良效果较好,处理后的地基承载力能够达到180kPa以上,沉降变形可以控制在5mm以内;不过施工开挖容易扰动原状土层,开挖深度超过1.5m时,边坡坍塌风险会有所增加,大面积施工还会提高施工成本。目前该技术大多从填料方面进行优化,工作人员会掺入工业废料改善填料结构,把孔隙率调节至22%~28%,以此降低施工消耗,适配中小型工程场地^[3]。

3.2 原位固结改良技术

原位固结改良技术不用对土体进行开挖搬运,它也是浅层软土较为常用的改良手段;工作人员一般依靠掺入固化材料、物理加压等手段,在原有土层位置改善土体成分以及内部结构,该技术大致可以划分成化学固化、动力固结两种施工方式。化学固化会选用水泥、生石灰等固化材料,材料掺加比例通常为4%~9%,材料和土体搅拌均匀以后,能够产生水化胶凝反应,还会生成胶结物质,以此填充土体内部空隙;土体经过30d养护,它的压缩模量就能够达到7.5MPa以上。对于含水量偏高的淤泥质土,施工人员还可以掺入2%~3%的絮凝材料,用来加快水土分离,进而缩短固结时长。动力固结包含低能量强夯、真空预压,强夯施工能量为600~1200kN·m,夯点间距维持在2.0~2.5m;真空预压需要布设排水板,板体间距1.0~1.5m,负压保持在85kPa以上,35d便可完成土体固结。这两类施工方式扰动范围偏小,表层沉降不超过4mm,适合处理0~4m的软土与粉质黏土,不过土体含水量会影响固化均匀程度,高黏性土质容易出现改良不彻底的区域。

3.3 土工材料加筋加固技术

工作人员一般会采用土工加筋技术加固浅层土体,该技术主要利用高分子合成土工材料,在土层内部铺设加筋结构,依靠材料自身的抗拉能力,去约束土体产生的侧向变形;它还可以优化应力传递方式,常常被用于边坡防护、浅层地基加固等工程。施工常用材料包含土工格栅、土工织物以及加筋纤维,其中双向塑料格栅抗拉强度能够达到25kN/m以上,网孔尺寸为30~50mm,

埋设深度一般控制在30~80cm, 格栅搭接长度不能少于20cm; 改性植物纤维的掺加量多为1.2%~1.8%, 均匀混掺在填土当中, 能够依靠纤维交织结构, 去提高土体本身的韧性。该技术的加固原理包含摩擦咬合、应力分散, 土工材料可以和土颗粒产生摩擦作用, 限制颗粒滑动, 还能分散集中应力; 经过加筋处理以后, 边坡土体抗剪强度可提升35%~52%, 地基不均匀沉降能够控制在3mm以内。该施工方式扰动小、操作简便, 比较适合改良膨胀土、砂质土; 不过这类材料耐高温老化性能较差, 长期暴露容易出现性能衰减, 一般需要覆土进行保护^[4]。

3.4 注浆封堵改良技术

注浆封堵改良技术依托压力注浆设备, 将流动性浆液注入浅层土体孔隙与裂隙内部, 浆液固结后填充空隙、胶结松散颗粒, 形成致密稳定的复合土层, 多用于裂隙发育膨胀土、孔隙连通性强的杂填土治理。浅层注浆采用低压渗透注浆工艺, 注浆压力维持在0.25~0.45MPa, 避免高压扰动表层土体, 注浆孔间距1.2~1.8m, 孔径40~60mm, 浆液扩散半径控制在1.0~1.5m。常规浆液选用水泥-粉煤灰复合浆液, 水灰比调控为0.8~1.1, 添加0.5%缓凝剂延长浆液流动时长, 保障孔隙填充完整性。

浆液固化后会在土体内部形成网状胶结骨架, 将离散土颗粒黏结为整体, 处置后土体孔隙率可降至25%以下, 渗透系数减小两个数量级, 有效阻隔地表水入渗, 弱化干湿循环对土体的损伤。针对膨胀土浅表裂隙, 可采用改性有机浆液, 增强裂隙内壁黏结强度, 抑制裂隙扩张。该技术固化深度精准、改良效果持久, 缺点是浆液固化速率受环境温度影响显著, 气温低于8℃时, 浆液固结强度衰减20%以上, 低温工况需调整浆液配比优化固化性能。

3.5 生态协同防护治理技术

生态协同防护技术能够同时兼顾土体加固与生态修复两项需求, 也是一种低扰动的岩土施工方式, 工作人员常将其应用在市政边坡、平缓场地的浅层土体改良作业当中。该技术主要分为基材改良、植被固土两个施工部分, 工作人员会把腐殖土、秸秆纤维与改性黏土进行混合, 以此调配复合型改良土层, 改良层厚度一般为15~30cm, 土层有机质含量保持在8%~12%, 可以改善土体透气、保水的基础性能; 植被固土则会选用本土耐旱草本植物, 种植密度控制在18~25株/m², 植物根系能够扎入地下

30~50cm, 依靠根系缠绕、锚固的作用, 对表层土体形成约束效果。从力学改良层面来看, 植物根系可以把表层土体黏聚力提升12~20kPa, 还能将雨水冲刷侵蚀速率降低45%以上; 植物的蒸腾作用也可以调节土体含水量, 减缓膨胀土的形变问题。施工人员一般搭配拱骨架、网格护坡等轻型结构, 用来疏导坡面水流, 减少表层水土流失。该技术施工能耗较低, 且不会产生化学污染, 不过前期加固强度偏弱, 植被成型周期需要60~90d, 只适合荷载偏小的施工场地。综合五类治理技术来看, 不同工艺都有专属适用土质, 工作人员需要结合土层厚度、含水率等条件搭配使用, 以此提高土体改良的整体效果^[5]。

4 结束语

在本次研究当中, 本文整理了浅表层不良土体的土质类型以及内部结构特点, 同时分析了水文、外力影响下, 土体发生失稳的内在原因; 本文还对五类常用治理技术, 做了机理、施工参数以及适用范围的详细分析。不同改良技术的应用优势各不相同, 单一施工工艺, 一般很难应对复杂的浅层地质条件。在后续研究中, 研究人员可以着重开发复合型改良技术, 优化施工材料配比与施工参数, 兼顾改良效果、土体稳定性以及生态性, 从而不断完善浅层土体治理技术体系, 提升岩土工程的地质处理能力。

[参考文献]

- [1] 薛翊国, 渠敬凯, 彭建兵. 雅鲁藏布江下游主要不良地质条件与重大工程地质问题[J]. 现代地质, 2026, 40(1): 1-30.
- [2] 沈印喜. 泥浆参数调整防治地下连续墙不良地质塌孔研究——以上海市轨道交通19号线一二八纪念路站工程为例[J]. 建筑科技, 2026, 10(3): 130-133.
- [3] 吕远, 陈刚, 王慧芳. 复杂地质条件下桩基础施工技术难点及解决方案[J]. 中国地名, 2026(4): 0193-0195.
- [4] 白耀楠, 马震, 刘宏伟. 北京东部平原区工程地质结构分析及不良地质问题探讨[J]. 矿产勘查, 2025, 16(2): 389-402.
- [5] 李博. 北京市崩滑复合型地质灾害治理工程设计[J]. 山西建筑, 2025, 51(19): 81-86+92.

作者简介:

陈刚应(1986--), 男, 苗族, 湖北人, 本科, 中级工程师, 研究方向: 地质工程。