

公路桥梁施工中软土地基施工技术分析

梁仁淦

江西省交通工程集团有限公司

DOI:10.32629/ems.v8i5.20150

[摘要] 公路桥梁施工中,软土地基因含水量高、压缩性强、承载力低及抗剪性能弱,往往成为影响工程质量与结构稳定的重要因素。若处理措施选择不当,不仅会引发较大的沉降变形,还会对后续路基、桥台及桥墩施工造成持续影响。本文围绕公路桥梁施工中软土地基的工程特点,结合路基处理、桥梁基础加固及边坡稳定等施工内容,对换填、排水固结、注浆加固、深层搅拌等常见技术的应用进行分析,并总结施工实施中的控制要点,以期为类似工程提供参考。

[关键词] 公路桥梁;软土地基;施工技术

随着公路桥梁工程逐步向沿海、河网及低洼地区延伸,软土地基条件日益常见,施工难度也随之增加。与一般地基相比,软土结构更松散,受荷后更易出现沉降、侧移及局部失稳等问题,对工程安全耐久性影响较大。施工单位在实际施工中必须结合软土分布范围、厚度变化及受力特点,合理选择处理技术,并加强施工过程控制,才能有效改善地基性能。基于此,有必要对公路桥梁施工中软土地基施工技术展开系统分析,明确其应用重点。

一、软土地基的特点及力学特性

软土地基通常由淤泥质土、饱和黏性土或含有机质较高的土层组成,在公路桥梁施工中表现出一系列明显特征^[1]。其一,含水量普遍较高,土体孔隙中充满自由水,使整体结构呈现松散状态,受外界荷载作用时容易发生变形;其二,压缩性较强,在持续荷载作用下会产生较大且持续时间较长的沉降,而且沉降往往具有滞后性,不仅影响施工阶段的稳定性,也会对后期结构使用产生影响;其三,渗透性较差,由于细粒土占比较大,孔隙通道不畅,水分排出缓慢,导致固结过程周期较长;其四,抗剪强度较低,土体内部结构结合力弱,在荷载或扰动作用下容易发生剪切破坏,进而引发不均匀沉降或局部失稳。

从力学特性来看,软土地基在受力过程中表现出明显的非线性变形特征。其抗压强度较低,难以直接承受较大的结构荷载,必须依赖加固措施提升承载能力;在变形方面,软

土具有显著的压缩变形、侧向流动特性,在外力作用下不仅产生竖向沉降,还会出现水平位移,对结构稳定性构成威胁^[2];在固结性能方面,软土依赖孔隙水逐步排出实现强度增长,这一过程受渗透条件限制,发展缓慢且不均匀。此外,其剪切强度随含水量、应力状态变化较为敏感,具有一定的结构触变性,一旦受到扰动,强度会迅速降低。综合来看,软土地基在工程中属于典型的不良地基类型,其复杂的物理力学性质决定了施工过程中必须采取针对性处理措施,以确保结构长期稳定。

二、公路桥梁施工中常见的软土地基施工技术

1、排水固结处理技术

在公路桥梁施工过程中,软土地基通常优先采用排水固结处理方式,以加快地基强度形成并减少后期沉降影响。施工人员首先按照施工组织要求在软土层中布设塑料排水板或砂井,形成竖向排水通道,并在地表铺设一定厚度的砂垫层或砂砾垫层,以保证水分顺利汇集并排出^[3]。在排水系统完成后,施工单位根据施工进度安排进行预压处理,常见方式为堆载预压或真空预压。堆载预压通过分层填筑土方逐步增加荷载,使软土在自重和附加应力作用下产生压缩变形;而真空预压则通过密封膜覆盖地表,并利用真空泵持续抽气形成负压环境,加速孔隙水外排。在实际施工中,真空预压因设备布置灵活、施工周期相对可控,逐渐成为常用手段。施工单位在操作过程中需重点控制排水板插设深度、间距及垫

层施工质量, 确保排水路径连续畅通。同时对预压加载过程进行分阶段控制, 避免因加载过快引发地基失稳。整个施工过程中还需配合沉降观测, 动态掌握地基变形情况, 以便合理安排后续施工工序, 确保桥梁基础施工条件满足要求。

2、复合地基处理技术

在软土地基承载能力不足且压缩变形较大的情况下, 施工单位往往采用复合地基处理方式, 通过引入桩体结构改善整体受力条件。以 CFG 桩为代表的复合地基施工在公路桥梁工程中应用较为普遍^[4]。现场施工时, 施工人员利用专用成桩设备将掺有水泥的粉煤灰碎石混合料压入地基, 形成直径约 400~500 mm 的桩体, 桩长一般可达 20 m 以上。施工过程中, 桩体通常按照正方形或三角形进行布置, 间距控制在 1.5~2.5 m 范围内, 通过桩体承担主要荷载, 同时桩间土在挤密和排水作用下得到进一步加固。施工单位在实施过程中需严格控制成桩垂直度及桩体连续性, 确保每根桩体能够有效发挥承载作用。在桩体施工完成后, 还需进行桩顶处理、垫层铺设, 使桩土之间形成良好的协同受力状态。与其他加固方法相比, 该技术施工速度较快, 材料来源相对稳定, 适用于大面积软基处理。施工单位还需在施工过程中加强质量检测, 通过取样、检测桩体强度等方式及时掌握施工效果, 并根据现场情况对施工参数进行适当调整, 从而保证复合地基的整体稳定性。

3、高压喷射注浆技术

在部分软土地基区域, 尤其是局部加固或存在复杂地层条件时, 施工单位通常采用高压喷射注浆技术进行处理。该技术通过高压设备将水泥浆液经钻杆输送至地下, 并以高速喷射方式对原状土进行切割和搅拌, 使浆液与土体充分混合, 形成强度较高的固结体。施工过程中, 根据设备配置不同, 可采用单管、双管或三管喷射方式, 其中单管工艺以浆液直接切割土体为主, 双管通过加入空气提高喷射能量, 而三管则在浆液、空气和水流共同作用下增强扰动效果。施工单位在操作时需重点控制喷射压力、提升速度及旋转速度, 以保证固结体直径满足要求。同时, 应根据不同土层条件选择合

适的喷射工艺, 避免出现加固范围不足或材料浪费等问题。

该技术具有施工灵活、适应性强的特点, 尤其适用于桥梁局部基础加固、不规则地基处理^[5]。施工过程中还需对注浆量和成桩效果进行实时记录, 并结合现场检测手段对加固体质量进行评估, 确保处理效果符合工程要求。

4、深层水泥搅拌桩技术

在厚层软土或高含水量地基条件下, 通常采用深层水泥搅拌桩技术进行整体加固处理。该技术通过专用搅拌设备将水泥等固化材料输送至地下, 与原状软土进行强制拌合, 使土体在原位发生固化反应, 从而形成具有一定强度的桩状结构。施工过程中可采用单轴或多轴搅拌方式, 其中多轴搅拌通过多根搅拌轴的协同作用, 使土体与固化材料混合更加均匀。现场施工时, 水泥掺量一般控制在 15%~25%, 碎石掺量为 10%~35%, 搅拌桩直径通常为 0.5~1.0 m, 桩长可达 30 m 以上。施工单位在操作过程中需重点控制搅拌深度、提升速度及喷浆量, 确保桩体成型质量。同时, 应保证施工连续性, 避免因停机或操作不当造成桩体不均匀或断桩现象。该技术施工效率较高, 对周边环境影响较小, 适合大面积推广应用。在施工完成后, 还需通过现场检测手段对桩体强度、完整性进行检查, 以确保加固后的地基满足桥梁结构施工的稳定要求。

三、公路桥梁施工中软土地基施工技术措施

1、路基区域软土地基处理中的应用

在公路桥梁施工中, 路基段通常分布范围广且软土厚度变化明显, 施工单位在实际作业中往往需要根据现场情况灵活组合多种处理手段, 以保证路基整体稳定。对于浅层软土区域, 施工人员通常先进行开挖处理, 将软弱土层清除后回填砂砾或碎石等材料, 并按照分层填筑的方式进行施工, 每层厚度一般控制在 30~50cm 范围内, 通过压路机反复碾压, 使压实度达到 95% 以上, 从而有效提高地基承载能力。对于软土层较厚的路段, 则多采用排水固结方式进行处理, 施工人员在地表铺设砂垫层, 并布设塑料排水板或砂井, 形成完善的排水通道, 使软土中的孔隙水能够沿竖向路径排出。在

填筑路堤过程中,通过分层填土逐步施加荷载,使软土在自重作用下完成固结。施工单位需要合理控制填筑速度,避免加载过快引发地基失稳,并通过沉降观测实时掌握固结进展,以便动态调整施工节奏。此外,对于表层含水量较高的区域,还可铺设0.5~1m厚的砂垫层以降低地下水位,提高施工机械通行条件,从而保证施工顺利推进。

2、桥梁基础软土地基处理中的应用

桥台与桥墩基础直接承受上部结构荷载,其施工质量对桥梁整体稳定性具有决定性影响,因此施工单位在该部位通常采用加固效果更直接、承载能力更高的处理方式^[6]。在实际施工中,高压喷射注浆和桩基处理技术应用较为普遍。施工人员利用高压设备将水泥浆液通过钻杆注入软土层,在30~40 MPa的压力作用下,对土体进行切割、搅拌和置换,形成直径约1.2~1.5m的固结体,其强度可达到15~20 MPa,从而显著提高地基的承载能力及抗变形能力。对于软土层较厚的桥墩基础,施工单位通常采用大直径桩体,将上部荷载传递至深层稳定土层或岩层,在必要情况下通过桩端注浆形成直径2~3m的扩大加固体,使桩端承载力提升30%~50%。当软土层厚度超过30m时,施工难度显著增加,此时可采用大直径水泥搅拌桩进行处理,其直径一般为1.5~2.0m,单桩承载力可达到5000~8000 kN,在满足承载需求的同时还能有效控制工程成本。但要注意,施工单位需严格控制注浆压力、成桩深度及施工节奏,并通过现场检测手段对桩体质量进行验证,确保加固效果稳定可靠,从而避免桥梁基础发生不均匀沉降问题。

3、路堤及边坡区域加固中的应用

在路堤填筑及边坡区域,软土地基不仅承受竖向荷载,还需抵抗侧向变形,因此施工单位通常采用复合加固方式提高整体稳定性。常见做法是在路堤两侧布置深层搅拌桩,桩径约为600 mm,桩长一般控制在10~15 m范围内,并按三角形布置,桩间距为1.5~2.0m,通过桩体与周围土体共同

作用形成稳定结构。在搅拌过程中,施工人员通常采用水泥—粉煤灰—碎石混合材料,其中水泥用量约为280~320 kg/m³,形成的桩体28 d强度可达到2.5~3.5 MPa,从而显著提升地基抗剪能力。同时,在桩顶铺设土工格栅等加筋材料,其抗拉强度一般为100~150 kN/m,可以有效分散荷载并减少填土产生的侧向位移。在边坡处理方面,施工单位可采用土钉支护配合喷射混凝土的方式进行加固,土钉长度一般为6~8 m,间距为1.2~1.5 m,通过形成整体受力体系控制边坡变形。施工过程中需要重点关注桩体连续性和加筋材料铺设质量,并结合现场监测数据对变形情况进行动态调整。

结语

公路桥梁施工中的软土地基处理是贯穿基础施工全过程的重要技术环节。无论是路基段的排水固结与换填处理,还是桥梁基础部位的注浆加固、深层搅拌和复合地基施工,其目的都在于提高地基承载力、减小工后沉降并增强整体稳定性。施工单位只有立足现场条件,合理匹配技术方法,严格控制关键工序,才能真正发挥软土地基处理技术的作用,为公路桥梁工程长期运行安全提供可靠保障。

[参考文献]

- [1]刘苗苗. 软土地基处理技术在高等级公路路基施工中的应用[J]. 汽车周刊, 2026, (03): 217-218+221.
- [2]商文祥. 道路桥梁施工中软土地基处理技术的应用[J]. 汽车周刊, 2026, (01): 124-126.
- [3]赵玉玺. 道路与桥梁施工中软土地基施工技术应用实践研究[J]. 科技资讯, 2025, 23 (19): 164-166.
- [4]邓勇军. 公路桥梁施工中软土地基施工技术处理探究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (17): 105-107.
- [5]朱业. 地基注浆技术在公路桥梁基础施工中的应用研究[J]. 汽车周刊, 2025, (05): 89-90.
- [6]罗德福. 公路桥梁施工中软土地基施工技术的应用[J]. 工程建设与设计, 2025, (07): 235-237.