

软土地基处理技术在市政道路施工中的实践分析

朱建国

枣庄市市中区建筑业发展服务中心 山东 枣庄 277000

摘 要:软土地基是市政道路施工中常见的不良地质条件,其承载力低、压缩性高、含水量大,若处理不当将导致路基失稳、路面开裂及工后沉降等严重病害。本文结合市政道路工程实践,系统分析了软土地基的工程特性及其对道路结构的危害机理,重点探讨了换填垫层法、排水固结法、水泥搅拌桩法、CFG 桩法及强夯法等常用处理技术的工作原理、施工要点与适用条件。在此基础上,结合某市政道路工程实例,阐述了软土地基处理方案的比选思路与施工控制措施。研究表明,软土地基处理应坚持地质勘察先行、多方案技术经济比选、动态信息化施工的原则,方能有效控制工后沉降,保证道路工程质量与运营安全。

关键词:软土地基;市政道路;地基处理;工后沉降;复合地基

引言

随着我国城镇化进程的持续推进,市政道路建设规模不断扩大,建设区域逐渐向城市外围及地质条件复杂的区域延伸。在这些区域中,软土地基的分布较为广泛,给道路施工带来了诸多技术难题。软土通常具有天然含水率高、孔隙比大、压缩性强、抗剪强度低及灵敏度高等特点,在道路荷载与交通动荷载的长期作用下,极易产生较大的沉降变形甚至失稳破坏。据相关工程统计,软土地基路段的路面病害发生率明显高于一般路段,工后沉降超标已成为影响市政道路使用寿命的重要因素之一。市政道路与公路工程相比,具有管线密集、周边建筑物临近、施工场地受限、工期紧张等特点,这对软土地基处理技术提出了更高的要求。一方面,城市区域内施工场地狭窄,大型施工机械进出困难,堆载预压所需的大面积预压场地往往难以满足;另一方面,道路沿线往往密布各类地下管线与既有建筑物,地基处理施工产生的振动、挤土效应对周边环境的影响必须严格控制。因此,结合市政道路施工的实际条件,科学选择地基处理方案,严格控制施工质量,具有重要的工程实践意义。本文在分析软土地基工程特性与病害机理的基础上,对常用处理技术进行实践分析,并结合工程实例探讨方案比选与施工控制要点,以为类似工程提供参考。

1 软土地基的工程特性与病害机理

1.1 软土的工程特性

软土是指天然孔隙比大于或等于 1.0、天然含水率大

于液限、压缩系数较高的细粒土,主要包括淤泥、淤泥质土及部分冲填土。其工程特性主要表现为以下几个方面:一是含水量高,一般可达 40%~80%,部分区域甚至超过 100%,土体长期处于饱和状态;二是压缩性大,压缩系数通常在 0.5MPa^{-1} 以上,在荷载作用下会产生显著体积压缩;三是抗剪强度低,不排水抗剪强度一般低于 25kPa,地基承载力通常仅为 50~80kPa;四是渗透性差,渗透系数多在 $10^{-7}\sim 10^{-5}\text{cm/s}$ 量级,排水固结过程缓慢,固结时间往往长达数年;五是灵敏度高,结构一旦受到扰动,强度将大幅降低,部分软土的灵敏度可达 4~8,属于高灵敏性土。此外,软土还具有明显的流变特性与触变性。在长期荷载作用下,即使应力水平低于抗剪强度,软土也会产生缓慢的蠕变变形;而触变性则表现为土体受扰动后强度降低,但静置一段时间后强度又可部分恢复。这些特性使得软土地基的处理设计不能仅考虑短期强度与变形,还需充分考虑长期性能的演化。

1.2 软土地基对市政道路的危害机理

软土地基对市政道路的危害主要体现在沉降与稳定两个方面。在沉降方面,路基填筑后,软土层在附加应力作用下发生固结压缩,产生沉降变形。由于软土固结时间长,工后沉降往往持续数年甚至数十年,导致路面出现纵向裂缝、桥头跳车及排水不畅等病害。不均匀沉降还会引起路面平整度下降,影响行车舒适性与安全性。在稳定方面,当填筑荷载超过软土抗剪强度时,路基可能发生侧向挤出或整体滑动,严重时造成路基失稳破坏^[1]。特别是在雨季或地下水位上升时,软土强度进一步降低,失稳风险显著增大。此外,市政道路沿线往往敷设雨污水管、给水管及电缆等地下管线,软土沉

降的不均匀性还会导致管线错位、渗漏,进一步加剧道路病害。管线渗漏水浸泡路基,又反过来降低地基承载力,形成恶性循环。因此,软土地基处理不仅要满足路基自身的沉降与稳定要求,还应充分考虑对周边管线与建筑物的保护。

2 常用软土地基处理技术及实践分析

2.1 换填垫层法

换填垫层法是将路基范围内的软弱土层部分或全部挖除,换填以强度较高、压缩性较低的砂石、碎石或灰土等材料,并分层压实形成垫层。该方法施工工艺简单、质量易于控制,适用于软土层厚度较薄(一般小于3m)且分布范围有限的区段。在市政道路路施工中,换填法常用于管线沟槽回填及局部软弱夹层处理。实践表明,换填垫层不仅能提高地基承载力,还可加速下卧软土层的排水固结。垫层材料应级配良好,压实度应满足设计要求,通常不低于93%。但该方法土方开挖量大,弃土运输与处置成本较高,在软土厚度较大时经济性较差,且开挖过程中需做好基坑排水与支护,防止边坡失稳。

2.2 排水固结法

排水固结法通过在地基中设置竖向排水体(如塑料排水板、砂井),缩短排水路径,结合堆载预压或真空预压,加速软土固结沉降。该方法适用于软土层深厚、含水量高且工期允许预压的区段。塑料排水板法因施工效率高、对地基扰动小,在市政道路中应用较为广泛。施工中需严格控制排水板的打设深度、间距与垂直度,确保排水通道畅通。真空预压法无需堆载材料,适合场地受限的城市区域,但需保证密封膜完整及真空度稳定^[2]。排水固结法的核心在于预压荷载与预压时间的合理确定,应通过沉降观测与孔压监测进行动态调整。当工期紧张时,可采用真空联合堆载预压,以缩短预压时间。需要注意的是,排水固结法对周边环境可能产生一定影响,预压荷载的施加速率应控制在软土稳定性允许的范围内。

2.3 水泥搅拌桩法

水泥搅拌桩法利用深层搅拌机械将水泥浆与地基土强制拌和,形成具有整体性、水稳性和一定强度的水泥土桩体,与桩间土共同构成复合地基。该方法适用于淤泥、淤泥质土及含水量较高的黏性土地基,处理深度一般可达10~15m。在市政道路路施工中,水泥搅拌桩常用于桥头引道、箱涵基础及高填方路段的软基处理,对控制工后沉降与桥头跳车效果显著。施工中应重点控

制水泥掺入比、水灰比、搅拌次数与提升速度,并按规定进行取芯检测与复合地基载荷试验。需要注意的是,当软土中有机质含量较高时,水泥土的固化效果会明显降低,应通过配合比试验确定适宜的外掺剂。此外,搅拌桩施工产生的挤土效应较小,对周边环境的影响相对可控,适合城市密集区域施工。

2.4 CFG 桩法

CFG桩(水泥粉煤灰碎石桩)是由水泥、粉煤灰、碎石及砂等材料加水拌和后,通过成桩机械制成的具有一定强度的桩体。CFG桩与桩间土、褥垫层共同形成复合地基,具有承载力提高幅度大、沉降变形小、施工速度快等优点,适用于处理承载力要求较高的重要路段。在市政道路中,CFG桩常用于道路与桥梁衔接段、地下通道及大型箱涵的基础处理。施工方法包括振动沉管成桩与长螺旋钻孔成桩,后者因噪声低、无泥浆污染,更适用于城市环境。施工中应严格控制拔管速度与混凝土灌注量,防止出现断桩、缩颈等质量缺陷^[3]。褥垫层的设置是CFG桩复合地基的关键环节,其厚度与材料应合理选择,以调节桩土应力比,充分发挥桩间土的承载作用。

2.5 强夯法及强夯置换法

强夯法利用起重设备将重锤提升至一定高度后自由落下,对地基施加冲击能,从而提高土体密度与承载力。该方法适用于处理碎石土、砂土及低饱和度的粉土与黏性土。对于高饱和度的软黏土,直接强夯易产生“橡皮土”现象,此时可采用强夯置换法,即边夯击边填碎石,形成碎石墩与周围土体共同受力的复合地基。强夯法施工设备简单、成本较低,但振动与噪声较大,在城区施工时需考虑对周边建筑物与地下管线的影响,必要时应设置隔振沟。强夯施工前应进行试夯,确定夯击能、夯击遍数与间隔时间等参数,施工中应控制夯坑深度与夯后地面沉降,确保处理效果均匀。

3 工程实例分析

3.1 工程概况

某市政道路工程位于城市新区,道路全长约2.4km,规划红线宽度40m,双向六车道。场地地质勘察表明,表层为厚约1.0~1.5m的素填土,其下为淤泥质粉质黏土,厚度在4.5~9.0m之间,天然含水率平均为52%,孔隙比约1.35,十字板抗剪强度为18~24kPa,下卧层为粉砂与黏土互层。地下水位埋深约1.2m。道路沿线需穿越一处箱涵及两座桥梁引道,对沉降控制要求较高。根据勘察报告,该场地软土具有

明显的结构性,灵敏度为5~6,施工扰动后强度衰减明显,需在施工中加入保护。

3.2 处理方案比选

根据地质条件与工程要求,设计单位提出了三个处理方案。方案一为塑料排水板加堆载预压,适用于一般路基段,造价较低但工期较长;方案二为水泥搅拌桩复合地基,适用于桥头引道及箱涵段,沉降控制效果好;方案三为CFG桩复合地基,承载力高但造价相对较高。经技术经济综合比选,最终确定:一般路基段采用塑料排水板结合等载预压,桥头引道及箱涵段采用水泥搅拌桩,局部深厚软土区段采用CFG桩。该组合方案在满足沉降控制要求的同时,兼顾了工程造价与施工工期。方案比选过程中,重点考虑了各路段的地质差异、沉降控制标准及施工条件,体现了因地制宜、分段处理的原则。

3.3 施工控制与效果分析

施工过程中,对塑料排水板段设置了沉降板与孔隙水压力计,实行动态监测。预压期设为6个月,根据监测数据,预压结束时地基固结度达到85%以上,工后沉降预测值小于30cm,满足规范要求。水泥搅拌桩段桩径为0.5m,桩间距1.2m,正方形布置,水泥掺入比15%,桩长穿透淤泥层进入下卧粉砂层0.5m。成桩28天后取芯检测,桩身无侧限抗压强度平均为1.6MPa,复合地基承载力特征值达到180kPa。CFG桩段桩径0.4m,桩间距1.5m,桩长12m,复合地基承载力特征值达到260kPa。道路建成通车后两年的沉降观测表明,桥头引道最大工后沉降为18mm,一般路段为45mm,均未超过设计允许值,路面未出现明显裂缝与跳车现象。工程实践表明,组合处理方案有效控制了软土地基的工后沉降,取得了良好的技术经济效果。

4 软土地基处理施工中的关键控制要点

结合上述实践分析,市政道路软土地基处理施工应重点把握以下控制要点。第一,坚持地质勘察先行。软土分布具有显著的不均匀性,应通过加密勘探孔、原位测试与室内试验相结合的方式,准确查明软土层厚度、物理力学指标及分布规律,为方案设计提供可靠依据。

第二,注重方案比选与优化。应根据道路等级、沉降控制标准、工期要求及周边环境条件,进行多方案技术经济比选,必要时可采用组合处理方案^[4]。第三,强化施工过程控制。对于排水固结法,应控制排水板打设质量与预压荷载;对于桩体处理法,应控制材料配合比、成桩工艺与桩身质量;对于强夯法,应控制夯击能与夯击遍数。第四,实行动态信息化施工。通过沉降、侧向位移与孔隙水压力监测,及时调整施工节奏与预压时间,实现信息化管理。第五,重视排水与防渗。市政道路施工中应做好地表水与地下水的截排工作,防止积水浸泡地基,影响处理效果。第六,加强周边环境保护。施工中应控制振动、噪声与挤土效应,必要时设置监测点,确保既有建筑物与地下管线的安全。

结束语

软土地基处理是市政道路施工中的关键环节,直接关系到道路的工程质量与运营安全。本文通过理论分析与工程实践相结合的方式,对换填垫层法、排水固结法、水泥搅拌桩法、CFG桩法及强夯法等常用技术进行了系统分析,并结合工程实例探讨了方案比选与施工控制要点。研究表明,软土地基处理没有万能方案,必须根据地质条件、工程要求与施工环境,因地制宜地选择适宜的处理技术,并通过严格的施工控制与动态监测,确保处理效果达到设计要求。随着新材料、新工艺的不断发展,水泥土固化技术、泡沫混凝土轻质路堤及桩网复合地基等技术将在市政道路软基处理中发挥更大的作用,值得进一步研究与应用。同时,应加强软土地基处理效果的长期监测与评估,为后续工程积累经验数据,推动市政道路软基处理技术不断进步。

参考文献

- [1] 刘汉龙,赵明华.软土地基处理技术研究进展与展望[J].岩土工程学报,2021,43(增刊1):1-12.
- [2] 郑刚,龚晓南.复合地基理论及工程应用研究新进展[J].土木工程学报,2022,55(3):1-15.
- [3] 王建华,陈锦剑.市政道路软土地基处理方案比选与沉降控制[J].城市道桥与防洪,2023(4):45-49.
- [4] 张明义,李伟.水泥搅拌桩在市政道路软基处理中的应用与检测[J].施工技术,2022,51(8):88-92.