公路施工中软土地基处理技术应用与效果分析

邱建鹏

浙江交工高等级公路养护有限公司 浙江 丽水 323300

摘 要:本文聚焦于公路施工中软土地基处理技术,阐述了软土地基的特性与危害,分析了常见软土地基处理技术的原理、适用范围及优缺点,包括换填法、排水固结法、强夯法、水泥搅拌桩法等。通过实际工程案例,详细探讨了不同处理技术在具体项目中的应用情况,并对处理效果进行了评估。研究表明,合理选择和应用软土地基处理技术,可有效提高公路地基的稳定性、承载能力和抗沉降能力,保障公路工程的质量和安全。同时,对未来软土地基处理技术的发展趋势进行了展望,旨在为公路施工中软土地基处理提供理论支持和实践参考。

关键词: 公路施工; 软土地基处理技术; 应用效果; 工程质量

1 引言

公路作为国家基础设施的重要组成部分,对于促进 经济发展、加强区域交流和改善民生具有至关重要的作 用。在公路施工过程中,常常会遇到软土地基的问题。 软土地基具有含水量高、压缩性大、抗剪强度低等特 性,若不进行妥善处理,会导致公路在使用过程中出现 沉降、开裂、不均匀沉降等病害,严重影响公路的正常 使用和行车安全,缩短公路的使用寿命,增加后期的维 护成本。因此,合理应用软土地基处理技术,提高软土 地基的工程性能,是确保公路工程质量的关键环节。

2 软土地基的特性与危害

2.1 软土地基的特性

软土一般指天然含水量高、孔隙比大、压缩性高、 抗剪强度低的细粒土,包括淤泥等,其天然含水量通常 在50%-70%之间(有的高达200%以上),呈软塑或流塑 状态、强度极低;孔隙比一般在1.0-2.0之间,土体疏松、 压缩性高;渗透系数小,一般在10-6-10-8cm/s之间,水分 排出困难、固结缓慢;不排水抗剪强度通常小于20kPa, 灵敏度高、易受扰动而强度降低;且在长期荷载下会产 生蠕变变形,受振动或扰动时土体结构破坏、强度迅速 降低,扰动停止后强度又逐渐恢复。

2.2 软土地基对公路工程的危害

软土地基对公路工程危害显著:因其高压缩性,在 公路荷载下会产生包括瞬时、固结和次固结沉降在内的 较大沉降,不均匀沉降会使路面出现波浪、坑槽等病害, 影响行车舒适性与安全性;其抗剪强度低,公路边坡、桥 台等部位易发生滑坡、坍塌等稳定性事故,威胁公路结构 安全;且低渗透性使地基水分难排出,地下水升降可能引 起地基土软化,进一步降低地基强度和稳定性。

3 常见软土地基处理技术分析

3.1 换填法

换填法是将基础底面下一定范围内的软弱土层挖除,然后换填强度较高、压缩性较低且性能稳定的材料,如砂石、碎石、灰土等,并分层压实,形成双层地基,以提高地基的承载能力,减少沉降。适用于浅层软土地基处理,一般处理深度不超过3m。常用于处理淤泥质土、素填土、杂填土等软弱地基^[1]。优点是施工工艺简单,易于操作,质量容易控制;处理效果明显,可有效提高地基承载能力,减少沉降;工期较短,成本相对较低。缺点是仅适用于浅层软土处理,对于深层软土处理不经济;换填材料的来源和运输可能会受到一定限制;在换填过程中,如果处理不当,可能会对周围环境造成一定影响。

3.2 排水固结法

排水固结法是通过在软土地基中设置竖向排水体(如砂井、塑料排水板等)和水平排水垫层,然后对地基进行加载预压,使地基中的孔隙水逐渐排出,土体发生固结变形,从而提高地基的强度和稳定性,减少工后沉降。适用于处理饱和软黏土地基,特别是对于厚度较大的软土层,排水固结法效果显著。常用于公路、机场、码头等工程的地基处理。优点是可有效降低软土地基的含水量,提高地基的强度和承载能力;减少工后沉降,提高公路的使用寿命;施工设备简单,成本相对较低。缺点是固结过程需要较长时间,工期较长;在预压过程中,需要大量的堆载材料,可能会占用较大的场地空间;对于渗透性极低的软土,排水效果可能不理想。

3.3 强夯法

强夯法是利用重锤从高处自由落下,对地基土进行 强力夯实,使土体产生强烈的振动和冲击,降低土的压 缩性,提高其强度和承载能力。强夯过程中,土体中的孔隙水压力急剧升高,随后逐渐消散,土体发生固结变形。适用于处理碎石土、砂土、低饱和度的粉土与黏性土、湿陷性黄土、素填土和杂填土等地基。对于高饱和度的粉土与黏性土,强夯法处理效果可能不太理想,需要结合其他方法进行处理。优点是加固效果显著,可有效提高地基的承载能力,减少沉降;施工设备简单,施工速度快,工期短;适用范围较广,对于不同类型的软土地基都有一定的处理效果。缺点是施工时会产生较大的振动和噪音,对周围环境有一定影响;在强夯过程中,可能会对地下管线和周边建筑物造成破坏;对于深层软土,强夯法的加固深度有限。

3.4 水泥搅拌桩法

水泥搅拌桩法是利用水泥作为固化剂,通过特制的深层搅拌机械,在地基深处将软土和水泥强制搅拌,使软土和水泥发生一系列物理化学反应,形成具有一定强度的水泥加固土桩体,与周围软土共同构成复合地基,从而提高地基的承载能力,减少沉降。适用于处理正常固结的淤泥与淤泥质土、粉土、饱和黄土、素填土、黏性土以及无流动地下水的饱和松散砂土等地基。常用于公路、铁路、市政等工程的地基处理[2]。优点是加固效果好,可有效提高地基的强度和稳定性;施工时对周围环境影响较小,无振动、无噪音、无污染;可根据地基土的性质和工程要求,调整水泥掺量,灵活控制桩体强度。缺点是施工工艺要求较高,需要专业的施工设备和技术人员;施工质量受水泥质量、搅拌均匀程度等因素影响较大;对于有机质含量较高的软土,水泥搅拌桩的处理效果可能会受到影响。

4 工程案例分析

4.1 工程概况

某公路工程全长15km,沿线地形较为平坦,但部分路段存在软土地基。其中,K5+200-K5+400段软土厚度为3-5m,主要为淤泥质土,天然含水量为45%-60%,孔隙比为1.2-1.8,压缩系数为0.8-1.5MPa⁻¹,不排水抗剪强度为10-15kPa。该路段原设计采用换填法进行处理,但由于换填材料运输困难,且处理深度较大,成本较高,后经方案比选,决定采用水泥搅拌桩法进行处理。

4.2 处理方案设计

桩径和桩长:根据地质勘察资料和设计要求,确定水泥搅拌桩桩径为0.5m,桩长根据软土厚度确定,一般为6-8m,确保桩端进入硬土层不小于0.5m。

桩间距:采用正方形布置,桩间距为1.2m,通过计算确定复合地基承载力满足设计要求。

水泥掺量:根据软土的性质和工程经验,确定水泥掺量为15%,即每立方米软土中掺入150kg水泥。

施工工艺:采用四搅四喷的施工工艺,即搅拌头下钻和提升过程中均进行两次搅拌和两次喷浆,确保水泥和软土充分搅拌均匀。

4.3 施工过程

场地平整:施工前对场地进行平整,清除杂物和障碍物,确保施工机械能够正常作业。

测量放样:根据设计图纸,准确放出桩位,并用木桩或钢筋进行标记。

桩机就位:将深层搅拌机移动至桩位,调整桩机的垂直度,确保搅拌轴垂直偏差不超过1%。

制备水泥浆:按照设计的水泥掺量和水灰比(一般为0.45-0.55),在水泥浆搅拌机中制备水泥浆,并将水泥浆倒入集料斗中。

搅拌下沉:启动搅拌机,使搅拌头旋转切土下沉,下沉速度控制在0.5-0.8m/min,同时开启灰浆泵,将水泥浆压入地基中。

搅拌提升: 当搅拌头下沉至设计深度后,原地搅拌 30s,然后边旋转边提升搅拌头,提升速度控制在0.5-0.7m/min,同时继续喷浆,确保桩体上部水泥含量满足要求。

重复搅拌:搅拌头提升至地面后,再次下沉和提升进行重复搅拌,进一步增强桩体的均匀性和强度。

移位:完成一根桩的施工后,移动桩机至下一桩位,重复上述施工过程。

4.4 处理效果检测

承载力检测:在水泥搅拌桩施工完成后28d,采用静载荷试验对单桩和复合地基承载力进行检测。检测结果表明,单桩承载力特征值达到120kN以上,复合地基承载力特征值达到150kPa以上,满足设计要求。

沉降观测:在公路施工期间和运营初期,对该路段进行沉降观测。观测数据显示,路面最大沉降量小于10cm,不均匀沉降较小,未出现明显的裂缝和变形,说明水泥搅拌桩处理效果良好,有效减少了软土地基的沉降。

桩身质量检测:采用钻芯取样法对桩身质量进行检测,检测结果显示桩身完整,水泥与软土搅拌均匀,桩身强度满足设计要求。

5 软土地基处理技术效果综合评价

5.1 承载能力提升效果

不同的软土地基处理技术都能在一定程度上提高地 基的承载能力。换填法通过置换软弱土层,用高强度材 料形成新的地基,能快速提高地基承载力,但处理深度有限。排水固结法通过排水固结使土体强度增长,承载能力逐步提高,不过需要较长时间。强夯法凭借强大的冲击力使土体密实,可显著提高地基承载力,尤其对碎石土、砂土等效果明显^[3]。水泥搅拌桩法形成的水泥加固土桩体与周围软土构成复合地基,能有效提高地基承载能力,且可根据工程需求调整桩体强度。在实际工程中,应根据软土性质、工程要求等因素合理选择处理技术,以达到最佳承载能力提升效果。

5.2 沉降控制效果

沉降控制是软土地基处理的关键目标之一。换填法可减少浅层软土的沉降,但对深层软土沉降控制作用不大。排水固结法能有效降低工后沉降,通过预压使土体提前完成大部分固结沉降,但固结时间较长。强夯法可减少地基的总沉降量,特别是对非饱和土的沉降控制效果较好。水泥搅拌桩法通过形成复合地基,提高地基整体刚度,减少不均匀沉降,对控制路面平整度和使用寿命具有重要意义。综合来看,多种处理技术联合使用往往能取得更好的沉降控制效果。

5.3 施工经济性和可行性

施工经济性和可行性是选择软土地基处理技术的重要考虑因素。换填法施工工艺简单,成本相对较低,但当处理深度较大或换填材料运输困难时,成本会大幅增加。排水固结法施工设备简单,成本较低,但工期较长,需要考虑时间成本。强夯法施工速度快,设备简单,但施工时振动和噪音较大,对周围环境有一定影响,且对于深层软土处理效果有限。水泥搅拌桩法加固效果好,但施工工艺要求较高,需要专业设备和技术人员,成本相对较高。在实际工程中,应综合考虑工程预算、工期要求、环境条件等因素,选择经济可行的处理技术。

6 软土地基处理技术的发展趋势

6.1 新型处理技术的研发

随着科技的不断进步,新型软土地基处理技术将不断涌现。例如,真空预压联合堆载预压技术、真空-电动硅化联合加固技术等,这些新技术结合了多种处理方法的优点,能够更有效地提高软土地基的性能^[4]。此外,生物加固技术作为一种绿色环保的处理方法,也逐渐受到关注,通过利用微生物的代谢活动来改善软土的工程性质,具有广阔的发展前景。

6.2 智能化施工技术的应用

智能化施工技术将逐渐应用于软土地基处理领域。 利用传感器、物联网、大数据等技术,实现对施工过程 的实时监测和精确控制。例如,在水泥搅拌桩施工中, 通过安装传感器实时监测搅拌头的转速、下沉速度、水 泥浆流量等参数,确保施工质量符合设计要求。同时, 利用大数据分析技术对施工数据进行处理和分析,为施 工方案的优化提供依据。

6.3 绿色环保处理技术的发展

在环保要求日益严格的背景下,绿色环保的软土地基处理技术将成为未来发展的重点。减少处理过程中对环境的污染,降低能源消耗,提高材料的循环利用率是绿色环保处理技术的主要目标。例如,采用可降解的固化剂代替传统的水泥,减少二氧化碳排放;利用工业废渣作为换填材料或加固材料,实现资源的再利用。

结语

软土地基处理是公路施工中的关键环节,直接关系 到公路工程的质量和安全。本文分析了软土地基的特性 与危害,介绍了常见的软土地基处理技术,包括换填 法、排水固结法、强夯法和水泥搅拌桩法等,并对它们 的原理、适用范围和优缺点进行了详细阐述。通过实际 工程案例,证明了合理选择和应用软土地基处理技术可 以有效提高地基的承载能力,减少沉降,保障公路的正 常使用。同时,对软土地基处理技术的效果进行了综合 评价,指出不同处理技术在承载能力提升、沉降控制和 施工经济性等方面各有优劣。最后,对软土地基处理技术 的发展趋势进行了展望,强调了新型处理技术研发 看能化施工技术和绿色环保处理技术的重要性。在今后 的公路施工中,应根据具体的工程条件和要求,科学合 理地选择软土地基处理技术,并不断创新和改进,以提 高公路工程的质量和效益。

参考文献

[1]陈鹏宇.公路施工中软土地基处理技术分析及应用 [C]//重庆市矿山学会(ChongqingMiningSociety).2021年 重庆市矿山学会年会优秀论文集.重庆千牛建设工程有限 公司,2021:190-192.

[2]黄健.公路施工中软土地基处理技术分析及应用[J]. 科技风,2021,(05):113-114.

[3]张德明.公路施工中软土地基处理技术分析及应用解析[J].城市建筑,2020,17(24):151-153.

[4]宋哲.公路施工中的软土地基处理与加固技术探讨 [J].汽车周刊.2025.(03):238-240.