

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。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^{-8} cm/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 工程案例分折

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 and 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性。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、智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.