

软土地基处理技术在公路工程中的应用研究

丁肖 江亚栋

湖北省路桥集团有限公司, 湖北 武汉 430050

[摘要]软土地基的高含水量、高压缩性、低强度等不良工程性质, 在公路工程建设中很容易造成路基失稳和过量沉降等问题。文中对软土地基的工程性质做了系统的论述, 对目前软土地基处理存在的技术选型错误、施工人员素质低、机械性能不稳定、理论同实际脱节等问题进行了详细的分析, 并重点研究了真空预压技术、排水固结技术、砂井堆载预压技术、强夯技术、置换技术及复合地基技术在公路工程中的应用。研究发现, 各种处理技术都有各自适用的条件以及局限性, 在实际工程当中要根据地质情况、工期需求和工程造价等各方面因素加以综合考虑, 才能达成软基处理的经济性和有效性。

[关键词]软土地基; 公路工程; 真空预压; 排水固结; 复合地基; 地基处理

DOI: 10.33142/sca.v9i8.20205

中图分类号: U416.1

文献标识码: A

Research on the Application of Soft Soil Foundation Treatment Technology in Highway Engineering

DING Xiao, JIANG Yadong

Hubei Road & Bridge Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430050, China

Abstract: The high moisture content, high compressibility, low strength and other adverse engineering properties of soft soil can easily cause problems such as roadbed instability and excessive settlement in highway engineering construction. The article systematically discusses the engineering properties of soft soil foundation, and provides a detailed analysis of the current problems in soft soil foundation treatment, such as incorrect technical selection, low quality of construction personnel, unstable mechanical properties, and a disconnect between theory and practice. The article focuses on the application of vacuum preloading technology, drainage consolidation technology, sand well pile preloading technology, dynamic compaction technology, replacement technology, and composite foundation technology in highway engineering. Research has found that various treatment techniques have their own applicable conditions and limitations. In practical engineering, it is necessary to comprehensively consider various factors such as geological conditions, construction period requirements, and project costs in order to achieve the economic and effective treatment of soft foundation.

Keywords: soft soil foundation; highway engineering; vacuum preloading; drainage consolidation; composite foundation; ground improvement

引言

伴随着我国公路建设规模的不断扩大,越来越多的工程不可避免地要穿越软土分布区。软土地基属于公路工程建设中常见的不良地质条件,其处理效果同路基稳定、行车安全及工程耐久性有着直接联系。软土地基是指含水量高、天然孔隙比大、压缩性高、渗透性小、抗剪强度低、固结系数小、蠕变性、触变性等工程性质的工程性质,造成地基承载力不能满足工程设计要求,因此需要对地基进行人工加固处理。若处理不当,就会直接造成路基失稳或者过量沉降,出现路基纵、横向断裂等病害。近些年来,

国内外对于软基处理方面的理论成果和实际操作经验都取得了诸多成果,并且构建起了排水固结、振密挤密、置换拌入等众多的技术体系。但是由于各种技术的加固机理、适用条件、工程造价存在较大差别,怎样根据具体的工程条件选择合适的处理方案,仍然是工程界一直关注的问题。本文在分析软土地基工程特性及处理现状的基础上,对各种处理技术的使用要点进行梳理,以供公路工程软基处理时参考。

1 软土地基的工程特性

软土是指天然含水量高、天然孔隙比大、压缩性高、

抗剪强度低的细粒土,包括淤泥、淤泥质土、冲填土和杂填土等,主要分布在沿海地区和湖泊周围。软土的天然含水量远远大于一般土体,孔隙比明显偏大,土体结构非常疏松。其抗剪强度一般较低,抵抗剪切破坏的能力很小,正常固结的软土强度随着深度的增加而增大。软土的压缩性中等到高,在外力作用下容易产生较大的压缩变形。渗透系数很小,孔隙水排出很慢,固结时间很长。软土具有明显的结构性,大多为絮状结构,在受到扰动之后强度明显下降,有时还会变成流动状态,灵敏度很高。另外软土的流变性较大,在持续荷载作用下会产生缓慢的剪切变形,主固结完成后还会出现较大的次固结沉降。因此软土地基承载力低、沉降量大、容易出现不均匀沉降,必须在路堤填筑前采取合理的地基处理措施来改善。

2 软土地基处理方面存在的问题

2.1 处理技术选择不当

软土地基处理技术种类繁多,不同的技术加固机理、适应的地层条件和处理效果大相径庭。但是在实际工程当中,有些设计人员对于各种技术的适用范围缺少系统的认识,常常凭经验或者惯例来进行选择,没有把具体的工程地质勘察资料当作技术经济比选的主要依据。由于前期地质勘察不仔细,未选对合适的处理方法,或者处理之后没有按要求做地基处理效果检测,就会引起地基沉降,影响工程质量。在深层软土分布区采用浅层置换法,或者在高灵敏度软土区使用强夯法,都会造成处理效果达不到要求或者工程失灵。技术选择不当不但会造成工程造价浪费,还会引起工后沉降超限、路基失稳等严重问题,对公路工程使用品质和安全性能造成很大影响。

2.2 施工人员技术水平待提高

软土地基处理属于隐蔽工程范围,施工质量很大程度上受现场作业人员技术水平、操作规范影响。目前部分公路工程项目施工人员对软基处理工艺认识不深,对主要施工参数控制不严^[1]。堆载预压中加载速率的控制直接影响到地基的稳定性,如果加载过快就会造成地基剪切破坏。水泥搅拌桩的水灰比、搅拌次数、提升速度等参数的偏差都会影响到成桩质量。施工人员技术水平参差不齐,是造成软基处理效果不佳的主要因素。

2.3 机械性能不稳定及使用不当

软基处理施工高度依靠插板机、夯锤设备、深层搅拌桩机等专用机械设备。机械设备性能稳定、操作规范,处理质量才能得到保证。在实践中存在设备老化、维护保养不到位的现象,造成排水板插打深度不够、夯击能量达不到要求、搅拌头磨损后没有及时更换等。另外,机械选型

和工况条件不匹配的情况也时有发生,在地质条件复杂的地区使用不合适的设备型号,都会对处理效果的均匀性、可靠性造成影响。

2.4 理论与实际相脱离

软土地基处理的理论研究在固结理论、沉降计算、强度增长模型等各方面已经取得了较大的进步,但是理论成果向工程实践的转化还存在着脱节的现象。一方面部分设计参数取值过分依赖规范推荐值,没有根据现场原位测试和室内土工试验数据做出动态调整;另一方面施工过程中监测数据不能及时反馈到设计、施工决策当中,造成“设计-施工-监测”闭环管理的缺失。与工程实践相比,理论研究滞后,为了弄清楚机理、提高设计和施工水平,有必要做进一步深入的研究^[2]。理论同实际脱离,造成处理方案不能够做到“因材施教”,从而降低了软基处理技术的精细度。

3 软土地基处理技术在公路工程中的应用

3.1 真空预压技术

真空预压技术是利用在软土地基表面铺设密封膜,并施加负压,使土体中的孔隙水在压力差的作用下排出,达到土体固结的目的。真空联合堆载预压法已经被广泛地应用到高等级公路软土地基的处理中,与传统的堆载预压法相比,该方法可以有效地降低工后沉降、节约工期、保证路基的稳定性。其加固机理就是降低边界水头来提高土体有效应力,属于排水固结法的一种。真空联合堆载预压技术的关键是抽真空和堆载加压的协同。近些年来,新式真空预压法在传统的真空预压基础上,对密封系统加以改良,又增设了真空固结管路,并且装上了自动负压调节装置,从而达成更加均匀和高效的负压传递效果。该技术适合于饱和软黏土和淤泥质土地基,处理深度一般在20m左右,特别适合工期紧、缺少堆载材料的工程场地。由于采用真空预压法加固软土地基时不会出现稳定性问题,工期短、效果好,近年来得到广泛应用。实际施工时要严格控制密封膜的气密性、排水板的埋设深度和真空度。

3.2 排水固结技术

排水固结法是处理饱和软粘土地基的有效方法之一,它的基本原理就是软土地基在附加荷载的作用下逐渐排出孔隙水,使孔隙比减小,产生固结变形。排水固结法是由排水系统和加压系统两大部分组成的。排水系统主要是改变地基原有的排水边界条件,增加孔隙水排出的通道,缩短排水距离;加压系统是通过施加荷载使土中孔隙水产生压差而渗流固结。排水固结法适合淤泥、淤泥质土、冲

填土等饱和粘性土地基,不适用于泥炭土。公路工程中该方法常用于高填方路堤和桥头路段的软基处理,工艺成熟、工程造价低,但是预压周期长,后期仍然存在一定程度的工后沉降^[3]。排水固结法主要加快软土的排水速度,促进固结沉降,常用方法有堆载预压(用塑料排水板或砂井)来增加孔隙水压力,从而加快地基的固结过程。施工过程中要严格控制加载速率,做好沉降观测和孔隙水压力监测工作。

3.3 砂井堆载预压技术

砂井堆载预压技术是排水固结法的一种,软土地基上打设砂井形成竖向排水通道,施加堆载预压荷载,使土体排水固结速度加快。对海滩深层淤泥软基处理采用袋装砂井加堆载预压的方式,其主要原理是在软基区域内布设钻孔,打入袋装砂井,使淤泥层内水通过袋装砂井排出,预压荷载将下层软基挤密,使地基提前稳定。袋装砂井堆载预压法主要是增加土层的排水途径,从而大大加快地基的固结。砂井间距、直径和深度属于影响固结速率的主要参数,设计时要依照土层厚度、固结系数和工期要求来加以确定。该技术适合于渗透性差、深厚软黏土地基,处理深度可达 30m 左右,在公路软基处理中应用较多。公路设计的主要要求是路基工后沉降不能过大,保证使用期间路面纵向平整,对不能满足沉降要求的软基路段必须进行地基加固处理。施工时要注意砂井的连续性、砂垫层的厚度和堆载的分级控制。

3.4 强夯技术

强夯法是用起重设备把重型夯锤提升到一定高度后自由落下,利用夯击产生的巨大冲击能反复作用于地基土体,使土体产生瞬时高压、排水固结和结构重组的处理方法。强夯原理就是用重物夯击对软土施加很大的外力,减小土的孔隙比,排出孔隙水,降低含水量;软土在排水固结后结构得到改善,承载力提高,承受外界荷载时土的沉降量小,从而提高路基的稳定性。强夯法有加固效果好、适用土类广、设备简单、施工方便、施工周期短、节省劳动力、施工文明、施工费用低等优点。强夯法加固后地基的承载力可提高 2~5 倍,加固深度可达 10m 以上。强夯法主要用来解决夯击过程中不能达到试夯时确定的最少夯击遍数和总下沉量的问题,夯击不密实、强夯后实际加固深度局部或大部分达不到要求的影响深度^[4]。高饱和和软黏土单纯使用强夯法效果不好,一般需要配合降水或者置

换措施,并且采用“轻夯多遍”的工艺来控制加固效果。软土具有高压缩性、流变性,不能用单纯的强夯法,但“轻夯多遍”强夯法可以在施工期内使沉降量达到预估最终沉降的 90%以上。在公路工程中,强夯法被普遍用作路基填筑前浅层软基处理以及旧路拓宽工程。

3.5 置换技术

置换技术是处理浅层软土地基最直接的方法,它的主要做法就是将基础底面以下一定深度范围内软弱土层挖除,然后用质地坚硬、强度高、性能好的材料分层回填压实。换填垫层法适用于处理各种浅层软弱地基和不均匀地基,采用垫层法置换软弱土层可取得较好的效果。回填材料可以采用中粗砂、碎石、灰土等,换填垫层根据换填材料不同可分为碎石垫层、砂垫层、灰土垫层、粉煤灰垫层等。设计要求合适、施工质量保证的情况下,地基承载力特征值可以达到 150~180kPa。置换技术的作用有提高地基持力层的承载力、减小地基沉降量、改善不均匀沉降、加快地基排水固结等。施工时分层填筑,每层压实厚度为 25cm,机械碾压时按“先静压、后振动碾压”、“先轻、后重”、“先慢、后快”、“先两侧、后中间”的顺序进行施工。该技术适合于浅层软土厚度不大于 3 米的公路路段,施工简单、质量容易保证,但是软土厚度较大时挖填方量大、造价高,经济性差。

3.6 复合地基技术

复合地基技术是在软土地基上设置增强体,使增强体和桩间土一起承受荷载,提高地基承载力,控制沉降的一种地基处理技术。复合地基法是用振冲挤密或拌入法施工的由桩土共同作用的水泥搅拌桩、碎石桩、石灰桩、CFG 桩和低强度混凝土桩的统称,是一种由桩体承受大部分荷载、桩间土承受部分荷载,可快速施工,并可得到较高承载力和较小残余变形的软基处理方法。常用的有水泥搅拌桩(湿喷或干喷)、旋喷桩、CFG 桩、碎石桩等。水泥搅拌桩施工方便、污染小,适合于中等深度软土;碎石桩具有置换和挤密作用,常用于有排水要求的场合。CFG 桩承载力高、变形小,多用于高等级公路。复合地基技术被广泛用于公路工程中的桥头跳车防治、高填方路堤加固以及特殊路段地基加固等。实际工程中经常使用组合工艺,以达到技术可行、经济合理、工期合理的三者平衡。科学选择处理技术,是保证软土地区高等级公路安全耐久运行的重要环节,如表 1 所示。

表 1 常用复合地基技术对比

技术类型	加固机理	适用土质	处理深度	主要优点	主要局限
水泥搅拌桩	桩体增强	含水量高的黏性软土	中等深度	施工便捷、污染小、振动小	桩身质量受施工参数影响大
CFG 桩	桩体增强	各类软弱土	中深度	承载力高、变形小	工程造价相对较高
碎石桩	置换+挤密	松散饱和砂土、部分软黏土	中深度	兼具排水作用	桩体密实度控制难度较大

4 结语

软土地基处理是公路工程中不能回避的技术问题。本文从软土地基工程特性入手,对目前处理实践中出现的技术选型错误、人员素质不高、机械性能差、理论与实践相脱离等问题进行了分析,并对真空预压、排水固结、砂井堆载预压、强夯、置换、复合地基这六种处理技术在公路工程中的应用要点做了系统的整理。各类技术各有各的适用地质条件和工况场合,工程实际中要根据详细的勘察资料,综合考虑加固效果、施工工期和工程造价等诸多方面来开展科学的选择。施工过程中还要重视质量控制和动态监测,使设计参数同工程实际保持一致。伴随着智能化监测手段以及绿色低碳技术的发展,软土地基处理技术会向着更加精细、高效、可持续的方向前进,给公路工程的高

质量建设赋予更强的支撑。

[参考文献]

- [1]田均举.软土地基处理技术在公路工程中的应用[J].工程建设与设计,2025(16):186-188.
- [2]张旖旎.公路工程中软土地基处理技术应用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2023(17):117-119.
- [3]焦壮.关于软土地基处理技术在公路工程施工中的应用[J].黑龙江交通科技,2020,43(10):46-47.
- [4]王向配.软土地基处理技术在公路工程施工中的应用[J].建材与装饰,2020(1):245-246.

作者简介:丁肖(1996—),女,汉族,湖北武汉人,路桥中级工程师,硕士研究生,工程管理专业。