

软土地基处理技术在岩土工程建设中的应用

陈贺新¹ 胡立强²

1. 建研地基基础工程有限责任公司; 2. 中国建筑科学研究院

摘要: 软土地基在现代工程领域得到了广泛应用, 尤其是在道路工程当中软土地基发挥了非常关键的功能和作用。在相关的岩土工程建设当中, 如果地基处理不当, 将直接影响到路基本身的基础承载力, 以及道路建成后的运营质量。对此需要充分认识到软土地基处理技术在岩土工程中的应用方法, 从软土本身的工程特性和各种处理技术入手, 取得预期的经济效益与社会效益。

关键词: 软土地基处理技术; 岩土工程建设; 应用
【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.05.020

引言

岩土工程涉及地基与基础问题, 而在目前的建设领域当中遇到软弱软土路基本身是比较正常的情况。软弱地基的特点在于土质地间隙较大且含水率较高, 因此在施工阶段要进行非常妥善的处理, 否则会直接导致路基稳定性受到严重破坏, 进而产生路面裂缝等严重缺陷。对此相关施工单位应该重视软土地基处理技术的应用要求, 确保路基的整体稳定性和后期工程的使用效益。

一、软土地基的工程性质

(一) 软土的特性

从土壤的物质成分来看, 土壤包括固体矿物颗粒、溶解物质、水和气体, 而软土指的是天然孔隙比大于或等于1, 且天然含水量大于细颗粒土的液限值的土壤类型, 一般情况下多见于泥炭土或粉土。土壤自然水较高且成灾率低, 具有非常高的压缩性, 每一层都具有不同的物理机能和力学机能。这些土壤具有极高的矿物含量, 但由于软土当中本身含有较多的水, 使土壤相对柔软, 土体受到搅动时, 本身的强度和流动状态会因此下降^[1]。

从其物理特性来看, 软土的天然含水率大部分超过40%, 液限值也低于40%~60%之间, 自然含水量随着液限值的增加而增加, 含水率和孔隙率是决定软土压缩性和抗碱性能的主要影响因素, 荷载初始阶段软土本身渗透性较弱, 具有较高的孔隙压力, 对于地基强度的影响非常明显。按照《软土地区工程地质勘察规范》以及《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》等相关技术要求, 我们需要在软土的应用过程当中, 充分考虑到软土的天然水分含量与天然孔隙比。其中软土的天然水分含量是土体的核心物理指标, 能够体现出土体的自然性质与饱和度等结构参数信息, 而孔隙比则用于测量土壤的比重和土壤的自然密度等。我国软土地基分布区域较

广, 在长江中下游河滩沉积地区和西南湖底沉积地区, 有大量的软土地基存在。

(二) 工程特征

工程特征包括软土成因和软土性质两个方面, 其中软土的成因大多是在有机质和缓慢水流的作用下产生, 绝大多数产生于较早时期。不过整体来看, 软土相对而言是比较年轻的沉积物, 以软土为主与泥炭或其他土层共同组成地基。而从软土的性质角度分析, 软土的含水量较高, 且孔隙比较大, 导致软土的透气性一般比较差^[2]。原因在于土壤中的有机物含量较高时, 土壤之中产生的气泡会降低渗流通道本身的渗透性。在荷载作用下, 地基土的强度增长速度同样缓慢, 这非常不利于地基基础工程特性的改进, 也让软土层的渗透性能有着明显的特异性, 水平渗透系数往往大于垂直渗透系数。此外该土壤的抗碱强度较低, 原因在于抗碱强度和固结排水度参数之间存在密切联系, 当土壤不排水情况下, 内摩擦角几乎接近于0。荷载作用之下, 软质土层强度发生改变, 固结速度越快, 软质土层强度越强, 所以加速固结速率可以成为提升土壤强度的其中一项技术措施。

二、岩土工程中软土地基处理技术的具体应用

(一) 土工合成技术

土工合成技术指的是利用土工合成材料, 将人工合成的分子聚合物作为原材料制作成为不同类型的产品, 放在需要接受处理的工程体内部发挥岩土工程优质材料性能, 强化土壤和其他结构的质量。从土工合成材料本身的功能来看, 其过滤作用能够让土壤内的水分顺利流出, 并且使土地不随着水分流失, 保障土壤完整性, 同时还可以减少排水管堵塞可能性。其排水性能也能加速内部土体水分排出, 避免不同材料混合, 维持材料本身的结构完整程度, 例如常见的土工布和土工织膜就是具有隔离功能的土工合成材料^[3]。一个是土工合成材料透水性较低, 因此可以起到防渗和包容的效果, 在实际工程当中, 其低渗透性可以避免很多流体渗漏且流出, 便于地下水的流动, 减少土壤流失情况。

假设我们将合成材料放置到土壤内部与软土进行结合之后, 就可以形成复合土体, 这些复合土体的抗拉剪切性能稳定, 上部和下部的土壤等效变形之后, 土侧压力开始增加, 土体结构完整性得到保障, 所以土体抗剪强度也得到提升。在目前的技术手段之下, 可以基于改良土相互的作用原理来进行技术判定。其中摩擦与加固是加筋土体的主要性质, 相关实验当中也已经证实了, 加筋机里在工程中的应用价值, 在某些加筋土挡土

墙工程环节当中,可以显著提升稳定性保障土体性能。此外,准粘聚力原理在总工合成材料当中也得到了充分体现土地受到垂直应力作用时会产生轴向力限制土体的侧向变形,等同于在土体内部施加了侧向应力,提升土体强度,其低压强度和抗检强度都能达到一个新的层次^[4]。可以看出土工合成材料具有显著的过滤性能、排水优势、分离技术特性和防渗加固保护功能,加强土壤岩石等不同结构的技术稳定性,在当前岩土工程建设工程领域扮演着非常重要的角色。

(二) 水泥搅拌桩技术应用

水泥搅拌桩技术应用最早出现于20世纪50年代,而在中国该技术广泛应用于20世纪80年代之后,并且已经成为一种常用的软土地基处理方法。钻孔经过处理后与周围的软土进行结合,成为强度更大的复合土体软,土体的载荷能力和路基沉降量都可以得到综合控制。当然在某些实际工程应用当中,水泥搅拌桩并非完全适用,例如土地pH值小于4,或土体含水量在70%以上时,水泥搅拌桩技术可能会存在比较明显的缺陷加固效果受到影响,此外如果地基当中含有氯化物等矿物黏性土,或是含有碎石和卵石时,使用搅拌桩法会导致施工困难。

(三) 静力排水固结技术

静力排水固结法在实际的工程应用环节比较复杂,原因在于该技术本身包含排水部分和增压部分两个系统建立排水系统可以改变原有的地基排水环境,保障排水功能同时增加土体含水加速排,而增压系统则是在负载作用下,通过提升土的固结压力,来让缝隙之间的水能够快速排出。以软土地基为例,软土地基在上部有载荷的情况之下,土体内的水分排出之后,可以改变原有的土体孔隙比,让土体孔隙比缩小后,土体固结,所以土体应力在这一过程当中得到增强,地基抗剪强度也随之提升^[5]。

从角度来看,要想让静力排水固结法发挥良好的功能,需要在水平排水垫层铺设和竖向排水体设置方面保持较高的技术水平,并且输水的畅通程度应该让整个工程具有足够的搭接强度,在排水系统完成之后再逐层填筑路基,然后施加固结压力,并观察路基的稳定性和沉降是否满足技术标准,当路基沉降不超过规定阈值时,表示路面施工可以继续。

静力排水固结技术使得原有的沉降问题和稳定性问题得到了不同程度的解决,原因在于预压期之内,地基可以尽可能达到最大的下沉阈值和路基允许沉降值,避免岩土工程在正式使用之后再出现下沉或不均匀下沉现象。此外,软土地基自身的强度得到改进之后,路基原有的载荷能力和稳定性能同样得到提高。

(四) 动力固结法

动力固结法又被称之为强夯法,指的让反复锤通过自由落体的高度夯实路基,降低路基强度和压缩性。最

初该方法只是在砂石地基上得到广泛应用,但近年来施工方式的调整和优化与排水设施技术的提升,使得软土地基领域也可以利用动力固结法来改善地基的使用效果^[6]。通过这种技术的支持和帮助,软基自身的抗剪强度不但能得到有效提升,其抗震性能和抗液化能力同样得到改善。但需要注意的是动力固结法对于黏性土的饱和度则不会产生显著影响,所以粉土地基在处理过程当中可能不适合采取该技术模式。

从其技术原理来看,软土地基的强夯作用本身是因为冲击波而让土体密度保持增加,并且强夯法在加固机理方面可能会导致土壤液化。夯锤在自由下落过程当中动能被转换为势能,动能不断增大之后,锤体和土壤逐渐摩擦产生热量,对此土壤会出现自由振动,大部分压缩波通过液相让孔隙水压力增加,土壤颗粒出现位错,但水平分量能够让土壤的密实度得到提高。尽管不同的软基技术方法都有着对应的使用范围和注意事项,但要想真正改良软土地及动力固结法的技术标准,就需要综合考虑土体本身的性质和土体含水率,除此之外还要建立完善的排水系统来让地基水位能够有效下降,必要时可以将其他技术方法和动力固结法混合应用。例如强夯、砂井配合可以加快软黏土的固结速度。整个施工阶段所使用的重力器械应维持良好的起重能力,每次循环当中下一循环的夯实位和前一循环要错开一定的范围,夯实真正完成之后,地基表面的浮土要进行整平处理,技术员对所有的数据做好记录之后展开质量检验,最底面的总下沉量需大于夯实总下沉量的90%。某些土体在施工之时可以考虑覆盖垫层,从而在能量的压实作用之下,使得软土地基垫层发生改变,提升路基承载能力,垫层厚度通常可控制在5~30毫米的范围之内^[7]。

(五) 碎石桩法

该技术通过能够产生横向振动的管状设备在软土地基内冲击成孔,并且在孔内填充不同的硬质材料,使得硬质材料与周围土底结合之后,形成更加坚固的复合地基,此时地基的载荷能力得到显著改进。该技术来源于原始的挤密砂镇冲技术,其工作原理是对部分软土进行性能调整,然后和未经调整的软土结合,形成更加完善的复合地基。该技术方案不会收到地下水位的严重干扰,在某些高等级公路的施工中得到了广泛应用。

在具体施工阶段应明确标出每一个桩位的信息,把偏差值控制在50厘米之内,每一个桩位都要有编号和信息对应要求。造孔阶段需控制好振冲器的入水流量和压力数值减少塌孔产生的可能性,不同的水压力要对应不同的土压力。如果钻孔深度达到设计标准时,则停止下沉开始进行清孔、填料,但需避免一次性填料过多。成桩阶段要将材料全部填充并挤入孔壁当中扩大孔径,振动器的电机电流值保持稳定时,可以用该参数判断桩体是否达到技术标准,如果未达到标准则继续填充材料

重复振动操作。对于碎石桩的质量控制要求而言，在施工中所使用的各类电力设施和技术手段要确保技术符合应用要求，该阶段施工完成之后要立即进行下一步施工工序，否则会因为间隔过长影响到软土地基的预计沉降时间。

（六）反压护道

该方法的核心在于在需要处理的路基两侧使用比较稳定且渗水性良好的砂性材料来填充护道，抵消岩土工程当中所产生的可流动性土质应力。该方法本身只需要简单的设备材料支持，且施工难度较低，虽然施工场地要求较大，但对于某些非农业区和土方量较大地区而言，在岩土工程当中采用此类方法的效果非常稳定^[8]。施工阶段要做好相应的试验，利用剪切法对软土和地基的强度指标进行提前检测，然后对试验结果进行分析之后确定填筑过程当中的排水要求和高度要求等。《公路土工试验规程》等技术参数当中也对地基的加固处理方法进行了说明，并且将除加固以外的部分进行了综合调整，从而在理论和实践层面寻求新的发展突破。

三、软土地基处理技术的应用注意事项

（一）确定每一种软土地基处理技术的适用范围

除去本文提到的软土地基处理技术之外，还有其他类型的地基处理方法，但由于某些处理技术并非完全普及，仍然处于摸索与研究阶段，在工程领域当中并没有得到广泛应用，对此在后续的工程阶段应确定每一种软土地基处理技术的适用范围，从多个角度来进行技术改进。例如饱和软黏土地基一般不采取压实加固方法，而地基深度较深时，采用换填法的性能也比较有限。诸如此类的技术要求都是综合考虑了每种处理技术的制约因素，从而做出最正确的选择。除去本次研究提到的方法之外，还包括砂垫层法、表层排水法、稳固剂处理法、抛石挤淤法等常见的技术方案，这些技术方案有着对应的工程适用范围。例如表层处理法适用于某些软质土层较浅且含水量较大的土层区域，稳固剂处理法则适用于某些含水量不高的软土地基和施工场地平整度要求较高的区域，抛石挤淤法则适用于流动性较大的淤泥质土体。

（二）做好施工管理规划

由于我国施工单位的施工水平和管理水平参差不齐，对于施工质量的影响比较明显，即便所采取的技术方法保持一致，经过处理以后的工程结果也可能产生明显差异。对此需要在工程器械使用、系统理论指导和质量检测方法上做好综合调控。其中在器械使用方面，重型强夯机等大型机械设备与地基强度之间存在密切关联，所以夯击力度和夯机时间等取决于机械本身的质量和机械使用方法^[9]。而从实践角度分析，地基处理理论完全滞后于实践工作，所以需要注重理论研究和实践应

用的结合，做好质量检测，完善质量检验方法与质量检测手段。例如在目前的软土地基处理技术当中，基于地基技术本身的适用范围、施工现场条件因素、工程工期要求和施工成本消耗等影响因素，会展开不同类型的施工处理方法选择。

四、结语

由于软土地基的天然基础相对薄弱，其工程特性很难满足原有的工程设计标准与变形要求，受到外力作用可能产生稳定性降低和塌陷等现象。对此工程人员需要综合利用软土地基处理技术，基于未来的岩土工程建设质量要求对软土地基的强度和稳定性作出改进，确保地基的载荷能力、土体形变控制要求等参数。这样一来也能助力于我国的工程建设领域，让软土地基处理方案的选择更加多元化，从经济角度和社会角度发挥良好的保障效益。

参考文献

- [1] 诸葛爱军, 刘天韵, 陈智军. 真空预压法加固吹填土地基的仿真分析方法[J]. 中国港湾建设, 2020, 40(3): 29-32.
 - [2] 陈富强, 杨光华, 孙树楷, 等. 某堤防加高对既有城市公路桥梁桩基影响的案例分析[J]. 工程建设与设计, 2019(13): 71-76.
 - [3] 韩佳, 贾元淘. 软土地基处理技术在实际工程中的应用与研究[J]. 中国房地产业, 2019, (19): 175.
 - [4] 刘佳明, 苏运基, 张中行, 等. 关于复杂地质条件下岩土工程勘察技术的探讨[J]. 四川水泥, 2020, (2): 343.
 - [5] 莫建军. 岩土工程勘察中地基处理方法研究[J]. 中国高新技术企业(中旬刊), 2016, (12): 143-144.
 - [6] 汪杨成, 施建勇, 杨洋. HDPE土工膜与无纺土工织物界面的变正应力持续剪切试验研究[J]. 河南科学, 2019, 37(2): 219-224.
 - [7] 王铭铭. 岩土工程中软土地基处理技术的应用研究[J]. 建筑工程技术与设计, 2018, (15): 672.
 - [8] 石峥. 真空预压法加固吹填土地基的工程实践[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2015, 5(34): 614-615.
 - [9] 张岩兵. 建筑工程施工中软土地基处理的方法探讨[J]. 建筑工程技术与设计, 2017, (33): 710-710.
- 作者简介:
陈贺新(1994-), 男(汉族), 河北唐山人, 硕士研究生, 助理工程师, 主要研究领域为岩土工程。
胡立强(1972-), 男(汉族), 山西怀仁人, 硕士研究生, 高级工程师, 主要研究领域为岩土工程。