

软土地基上高速公路路基沉降控制技术探讨

唐立放 蒋晓尘

浙江交工国际工程有限公司 浙江 杭州 311300

摘要: 随着高速公路建设的快速发展,在软土地基上修建高速公路的情况日益增多。软土地基具有高压缩性、低强度和透水性差等特点,容易导致路基产生过大的沉降和不均匀沉降,严重影响高速公路的使用性能和安全性。本文深入探讨了软土地基上高速公路路基沉降控制技术,分析了软土地基的特性及其对路基沉降的影响,阐述了常用的沉降控制技术原理、适用条件及优缺点,并结合实际工程案例说明这些技术的应用效果,旨在为软土地基上高速公路路基沉降控制提供理论依据和实践指导。

关键词: 软土地基; 高速公路; 路基沉降; 控制技术

1 软土地基特性及其对路基沉降的影响

1.1 软土地基的基本特性

软土地基主要由淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土等构成,这些土质具有一系列独特的物理力学特性。从含水量角度来看,软土地基的含水量极高,通常远超液限。这是因为软土中的颗粒细小,比表面积大,对水分具有很强的吸附能力。例如,某些沿海地区的软土含水量可高达80%-120%,这使得土体处于近乎饱和的状态。高含水量不仅导致土体自重较大,还使得土体颗粒间的结合力减弱,土体呈现出一种松软、流动的状态。孔隙比是衡量土体孔隙体积与固体颗粒体积之比的重要指标,软土地基的孔隙比通常大于1。较大的孔隙比意味着土体中存在大量的孔隙空间,这些孔隙为孔隙水的储存和流动提供了通道。同时,也使得土体的压缩性显著增加,在荷载作用下,孔隙容易被压缩,从而导致土体发生较大的变形。软土地基的压缩性高是其显著特点之一。其压缩系数一般大于 0.5MPa^{-1} ,在荷载作用下,土体体积会迅速减小。这种高压缩性使得软土地基在承受路基荷载时,容易产生较大的沉降。而且,软土地基的压缩过程并非瞬间完成,而是随着荷载的持续作用逐渐发展,沉降会持续较长时间。抗剪强度是土体抵抗剪切破坏的能力,软土地基的抗剪强度极低。其内摩擦角通常小于 5° ,黏聚力也相对较小。这使得软土地基在受到剪切力作用时,很容易发生剪切破坏,从而影响路基的稳定性。例如,在路基边坡处,由于软土地基抗剪强度低,在车辆荷载和自重作用下,边坡可能发生滑移,导致路基失稳。透水性差也是软土地基的一个重要特性。其渗透系数一般小于 10^{-6}cm/s ,这意味着孔隙水在土体中的流动非常缓慢。在路基荷载作用下,孔隙水难以迅速排出,导致土体的固结过程缓慢,沉降持续时间长。而且,低透水性还使

得土体中的孔隙水压力难以消散,进一步影响了土体的强度和稳定性^[1]。

1.2 软土地基的沉降过程

在路基施工初期,当软土地基突然受到荷载作用时,土体中的孔隙水来不及排出,会产生瞬时沉降。此时,土体结构尚未发生明显破坏,沉降主要是由于土体的弹性变形引起。这种瞬时沉降的幅度相对较小,但它是软土地基沉降过程的开始。例如,在高速公路路基填筑初期,由于填土的突然加载,软土地基会立即产生一定程度的下沉,但下沉量在短时间内相对稳定。随着荷载的持续作用,孔隙水逐渐排出,土体发生固结,产生固结沉降。固结沉降是软土地基沉降的主要组成部分,其发展过程较为缓慢,可能持续数年甚至数十年。在固结过程中,土体中的孔隙水压力逐渐消散,有效应力增加,土体颗粒重新排列,体积逐渐减小。固结沉降的速度和幅度受到多种因素的影响,如土体的渗透性、荷载大小和加载速率等。对于渗透性较差的软土地基,固结沉降的速度会更慢,沉降持续时间也会更长。此外,在固结过程中,土体的结构会逐渐调整,还会产生次固结沉降。次固结沉降主要是由于土颗粒骨架的蠕变引起,虽然其沉降量相对较小,但在一些对沉降要求严格的高速公路工程中也不容忽视。次固结沉降通常在固结沉降基本完成后才开始发生,并且会持续较长时间。例如,在一些软土地基上的高速公路运营多年后,仍然可能会出现由于次固结沉降引起的路面微小下沉。

1.3 软土地基不均匀沉降的影响

软土地基的不均匀沉降是影响高速公路路基稳定性的重要因素。由于软土地基的物理力学性质在空间上存在差异,以及路基荷载分布不均匀等原因,会导致路基不同部位产生不同程度的沉降,从而形成不均匀沉降。

软土地基在形成过程中,受到地质构造、沉积环境等多种因素的影响,其物理力学性质在水平方向和垂直方向上都可能存在差异。例如,某些地区可能存在软土层厚度不均、土质成分不同等情况。同时,路基荷载的分布也不可能是完全均匀的,车辆荷载的大小和作用位置会随着时间和交通流量的变化而变化,路基自重也会因填土高度和材料的不同而有所差异。这些因素共同作用,使得路基不同部位产生的沉降量不同,形成不均匀沉降。不均匀沉降会使路面产生附加应力。当路面受到不均匀沉降的影响时,其内部会产生应力集中现象。当附加应力超过路面的承载能力时,就会引发路面开裂、错台等病害。路面开裂不仅会影响行车的舒适性和安全性,还会使雨水等渗入路基,进一步加剧路基的破坏。错台则会导致车辆行驶时产生颠簸,甚至可能引发交通事故。此外,不均匀沉降还可能影响高速公路沿线附属设施的正常使用,如护栏变形、排水系统堵塞等,严重影响高速公路的使用寿命和运营质量。

2 常用路基沉降控制技术原理及适用条件

2.1 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,加速地基土中孔隙水的排出,使地基土提前完成固结沉降,从而提高地基的强度和稳定性。其原理基于土体在荷载作用下,孔隙水压力逐渐消散,有效应力增加,土体发生固结压缩的规律。排水固结法适用于处理饱和软黏土地基,尤其适用于厚度较大、渗透性较差的软土地基。对于一些工期要求不紧、允许地基有一定程度预压沉降的工程,排水固结法是一种经济有效的沉降控制技术^[2]。例如,在沿海地区的一些高速公路建设中,由于软土层较厚,采用排水固结法可以在不增加过多工程造价的情况下,有效控制路基沉降。在实际应用中,需要根据软土地基的具体情况,合理设计竖向排水体和水平排水垫层的尺寸、间距和布置方式,以确保排水效果。同时,预压荷载的大小和加载速率也需要根据地基的承载能力和沉降特性进行精确控制,以避免因加载过快导致地基失稳。

2.2 复合地基法

复合地基法是通过在地基中设置增强体(如碎石桩、水泥搅拌桩、CFG桩等),使增强体与周围土体共同承担荷载,形成复合地基,从而提高地基的承载能力和减小沉降。增强体的作用主要是改善地基土的物理力学性质,增加地基的刚度和强度,减少地基的压缩变形。复合地基法适用于多种软土地基情况,对于承载力要求较高、沉降控制较严格的工程具有较好的适用性。

例如,在高速公路的桥头路段,由于桥台与路基之间存在刚度差异,容易产生较大的差异沉降,采用复合地基法可以有效减小桥头跳车现象。不同类型的增强体适用于不同的地质条件和工程要求。碎石桩适用于处理松散砂土、粉土和可塑黏性土等地基,它通过振冲或沉管等方式将碎石挤入土中,形成密实的桩体,提高地基的承载力和抗液化能力。水泥搅拌桩适用于处理正常固结的淤泥与淤泥质土、粉土、饱和黄土等地基,它利用水泥作为固化剂,通过特制的深层搅拌机械,在地基深处就地软土和固化剂强制搅拌,使软土硬结成具有整体性、水稳定性和一定强度的优质地基。CFG桩则具有较高的强度和刚度,适用于处理承载力要求较高的软土地基。

2.3 轻质填料法

轻质填料法是采用密度较小的填料(如粉煤灰、泡沫混凝土等)填筑路基,以减小路基自重,从而降低地基附加应力,减少路基沉降。轻质填料具有重量轻、强度较高、压缩性低等优点,能够有效改善路基的受力状态。轻质填料法适用于软土地基承载力较低、对沉降控制要求较高且填料来源方便的工程。例如,在一些软土地区的高速公路拓宽工程中,采用轻质填料可以减少新填路基对原有地基的附加荷载,避免因新增荷载引起过大的沉降和不均匀沉降。同时,轻质填料的使用还可以减轻路基对桥涵等构造物的压力,提高构造物的安全性。在实际应用中,需要根据工程要求和填料特性,合理确定轻质填料的配合比和施工工艺,以确保填料的质量和性能。同时,还需要注意轻质填料的保护,避免在施工过程中受到破坏。

3 不同沉降控制技术的优缺点分析

3.1 排水固结法

优点:施工工艺相对简单,材料来源广泛,成本较低。通过预压处理,可以有效提高地基的强度和稳定性,减小后期沉降。排水固结法是一种较为成熟的沉降控制技术,在实际工程中得到了广泛应用。

缺点:需要较长的预压时间,对于工期要求紧迫的工程不太适用。在预压过程中,地基会产生一定的沉降,可能会影响施工进度和周边环境。而且,排水固结法对地基的加固效果受到土体渗透性、排水条件等因素的影响较大,对于渗透性极差的软土地基,其加固效果可能不太理想。此外,预压荷载的施加需要精确控制,否则可能会导致地基失稳或产生过大的不均匀沉降。

3.2 复合地基法

优点:能够显著提高地基的承载能力,有效减小路基沉降和不均匀沉降。增强体可以根据工程需要进行设

设计和施工,具有较好的适应性和灵活性。不同类型的增强体可以针对不同的地质条件和工程要求进行选择,能够满足各种复杂工程的需求。复合地基法在提高地基性能的同时,还可以减少对周边环境的影响。

缺点:施工工艺相对复杂,对施工设备和施工技术要求较高,施工质量控制难度较大。而且,复合地基法的工程造价相对较高,尤其是在采用一些新型增强体材料时,成本会增加较多。此外,增强体与周围土体之间的相互作用机制较为复杂,目前对其研究还不够深入,在实际工程中可能会出现一些意想不到的问题^[3]。

3.3 轻质填料法

优点:能够明显减轻路基自重,降低地基附加应力,从而有效控制路基沉降。轻质填料还具有良好的隔热、隔音性能,对改善路基的使用性能有一定帮助。此外,轻质填料的使用可以减少对土方资源的开采,具有一定的环保效益。轻质填料法在处理软土地基承载力较低的工程中具有独特的优势。

缺点:轻质填料的强度相对较低,在施工过程中需要采取一定的保护措施,避免填料受到破坏。而且,轻质填料的价格相对较高,会增加工程造价。同时,轻质填料的耐久性也需要进一步研究和验证,以确保其在长期使用过程中的性能稳定。此外,轻质填料的施工工艺要求较高,需要严格控制填料的压实度和均匀性。

4 实际工程案例

以某沿海地区高速公路工程为例,该路段软土层厚度较大,平均厚度达15-20m,软土具有高含水量、高压缩性、低强度等特点。为有效控制路基沉降,采用了排水固结法与复合地基法相结合的综合处理方案。

4.1 排水固结法应用

在路基填筑前,首先在软土地基中设置了塑料排水板作为竖向排水体,并铺设了砂垫层作为水平排水层。塑料排水板的间距和深度根据软土层的厚度和性质进行了精心设计,以确保孔隙水能够顺利排出。然后进行了堆载预压处理,堆载荷载根据地基的承载能力和沉降要求进行了精确计算。在堆载预压过程中,通过埋设沉降观测点,对地基的沉降进行了实时监测。监测结果表明,在堆载初期,地基沉降速度较快,随着时间的推移,沉降速度逐渐减小。经过一段时间的预压,地基强

度得到了显著提高,沉降趋于稳定。

4.2 复合地基法应用

对于一些对沉降要求更为严格的桥头路段,在排水固结处理的基础上,采用了水泥搅拌桩进行加固,形成复合地基。水泥搅拌桩的施工严格按照设计要求进行,包括桩径、桩长、水泥掺入比等参数都进行了精确控制。在施工过程中,采用了先进的施工设备和监测手段,确保了桩体的质量和强度。通过对桥头路段的沉降监测结果表明,采用复合地基法后,桥头路段的沉降得到了有效控制,差异沉降明显减小,有效避免了桥头跳车现象的发生。

4.3 综合处理效果

该工程通过综合运用排水固结法和复合地基法,成功控制了软土地基上高速公路路基的沉降,保证了高速公路的正常使用。工程实践表明,根据不同的地质条件和工程要求,合理选择和组合沉降控制技术,能够取得良好的沉降控制效果。同时,在工程实施过程中,还需要加强施工管理和质量控制,确保各项技术措施的有效实施。此外,对路基沉降进行长期监测也是非常重要的,以便及时发现和处理可能出现的问题。

结束语

在实际工程中,应根据软土地基的具体情况、工程要求、工期限制和造价等因素,综合考虑各种沉降控制技术的特点,合理选择和组合沉降控制方案。同时,要加强施工过程中的质量控制和监测工作,确保沉降控制技术的有效实施。通过科学合理的沉降控制技术,可以有效减小软土地基上高速公路路基的沉降和不均匀沉降,提高高速公路的使用性能和安全性,为我国高速公路事业的可持续发展提供有力保障。未来,还需要进一步加强软土地基沉降控制技术的研究和创新,不断提高沉降控制技术水平,以适应日益复杂的工程建设需求。

参考文献

- [1]赵新益,李时亮,汪莹鹤.铁路软土地基路基沉降控制技术[J].铁道工程学报,2015,32(05):18-22.
- [2]罗明胜.铁路软土地基沉降控制技术[J].城市建设理论研究(电子版),2017(04):211-212.
- [3]孙红林.高速铁路软土路基地基处理与沉降控制探究[J].铁道建筑技术,2017(05):1-10.