

软土路基道路与涵洞差异沉降控制研究

曹贤卿¹ 洪健² 朱性超³ 占诗峰¹ 张国军¹

1 莘春县齐丰交通发展投资集团有限公司, 湖北莘春, 435300;

2 中建三局一公司中南分公司, 湖北武汉, 430000;

3 武汉理工大学 交通与物流工程学院, 湖北武汉, 430063;

摘要: 软土地区的道路建设由于土壤的特殊性质, 往往面临着较为严重的沉降问题, 特别是在涵洞与路基的交界处, 沉降差异尤为突出。本文主要研究了软土路基与涵洞交接部位的差异沉降问题, 分析了导致这一现象的原因, 探讨了如何通过合理设计与施工技术来控制差异沉降, 提出一种反馈到达可靠持力层的静压锚杆桩协同加固法。

关键词: 软土路基; 涵洞; 差异沉降; 沉降控制; 道路设计

DOI: 10.69979/3029-2727.25.10.003

引言

在我国的大多数城市及地区, 软土区的道路建设一直是一个复杂且具有挑战性的问题。软土的特点是承载力差, 压缩性大, 因此在路基建设过程中, 软土的沉降问题常常成为设计和施工中的难点, 尤其是在涵洞与路基交界处的差异沉降问题更为突出。差异沉降是指在路基的不同部位, 尤其是在涵洞区域, 因土壤物理性质的差异或土壤压实不均而导致的沉降不一致。这种沉降差异不仅会影响道路的使用性能, 还可能对涵洞结构的稳定性构成威胁, 进而影响道路的使用寿命和行车安全。

随着交通网络的日益发展, 特别是涵洞在道路工程中的广泛应用, 如何有效控制差异沉降, 减少对路基和涵洞结构的损害, 已成为道路设计与施工中的重要课题。解决这一问题的关键在于对软土路基的处理与涵洞的设计优化, 尤其是在施工过程中, 如何避免土体的过度沉降, 保持涵洞的结构稳定性, 成为了研究的重点。本文将从软土路基的特性出发, 分析涵洞与路基的差异沉降问题, 探讨差异沉降的成因, 并提出相应的控制策略与措施。

1 软土路基与涵洞的差异沉降成因分析

软土路基的沉降问题, 尤其是涵洞区域的差异沉降, 通常由多个因素共同作用导致。首先, 软土的物理性质决定了其在长期荷载作用下的沉降特性。软土的高压缩性和低承载力使得路基下沉的速度和程度较大, 尤其是在路基承受不均匀荷载时, 沉降差异更为明显。在涵洞与路基交界处, 由于软土的压实程度和土壤水分含量的不同, 容易形成较大的沉降差异。其次, 涵洞的设计和施工方式也在差异沉降的形成中起到了重要作用。涵洞周围土体的扰动以及涵洞开挖过程中的土壤压实不均, 容易导致局部沉降。涵洞结构本身的重量和刚度相对较

小, 导致其对软土路基的沉降适应性差。最后, 排水不畅也是引发差异沉降的重要原因。软土区域通常存在较高的水位, 若排水系统设计不当, 积水可能导致土体的湿润, 进而引发地基的进一步沉降。

1.1 软土的物理性质与沉降特性

软土是一种天然含水量高、孔隙比大、压缩性高、强度低的饱和粘性土。其结构松散, 颗粒间空隙较大, 因此, 在承受外部荷载时, 软土容易发生显著的变形, 尤其是在建筑和基础设施建设中, 软土的沉降问题较为突出。软土的沉降特性通常包括初期沉降和长期沉降。初期沉降是土壤在荷载作用下的即时变形, 主要由于土壤颗粒间的压实引起, 往往发生较快。而长期沉降则是由软土的固结作用引起的, 这一过程通常较为缓慢, 但会持续发生, 特别是在长期荷载作用下, 固结作用将继续进行, 导致沉降逐渐加剧。软土的沉降速度和程度与其含水量、孔隙率、土壤颗粒的组成以及外部荷载密切相关。

软土的沉降特性在涵洞附近尤为明显。由于软土容易受水分的影响, 涵洞周围的沉降差异通常较大。特别是在未经过加固的软土路基上, 涵洞的开挖和土壤扰动会导致沉降速率加快, 从而容易形成差异沉降。软土路基的沉降差异可能导致周围的地表发生不均匀沉降, 进一步影响到涵洞及其附近道路结构的稳定性。为了减少这种沉降效应, 需要对软土进行加固处理, 增加土壤的密实度, 改善其承载能力。

1.2 涵洞设计与施工对差异沉降的影响

涵洞设计与施工是影响软土地区差异沉降的重要因素之一。涵洞的设计需要考虑其稳定性、承载力以及土壤的承载能力, 但在软土路基上施工时, 涵洞的开挖和施工过程可能会对土壤结构造成较大扰动。涵洞的开

挖通常会破坏土体的整体结构，改变局部土层的压实度，从而导致土体的不均匀沉降。在软土路基上，土体的压实度较低，土壤颗粒间的空隙较大，因此，土体的稳定性和承载力较弱。

在涵洞施工过程中，若周围土体未得到足够的加固或加固措施不当，土壤可能发生不均匀沉降。这种沉降差异将直接影响到涵洞及其周围的道路结构，可能导致裂缝、变形或路面不平整等问题，严重时甚至可能影响整个路基的稳定性。在软土地区，涵洞的支撑系统设计尤为重要。支撑系统必须与路基的沉降动态相协调，以确保涵洞结构的稳定性。这要求在设计阶段充分考虑土壤的沉降特性，以及施工过程中可能产生的土体扰动，采用合适的加固技术和支撑结构，减少沉降对路基和涵洞结构的影响。

例如，可以通过加固土壤、采用静压桩、注浆加固等技术手段，提高土壤的承载力，增强其稳定性，避免涵洞及周围土体发生过大的沉降。此外，涵洞的支撑系统可以设计成可调节的结构，以适应不同的沉降需求，从而有效减轻沉降差异对路基和涵洞结构的影响。

1.3 排水问题对差异沉降的加剧作用

在软土地区，地下水位较高是常见的现象，而排水系统的不当设计往往会加剧地基的沉降问题。软土的水分含量较高，排水不畅的情况下，水分容易积聚在土体中，导致土体湿润并增加其可压缩性。随着时间的推移，积聚的水分将促使软土发生更为显著的固结和沉降。涵洞周围的排水系统如果未能有效疏导地下水，可能导致土壤中水分的积聚，进一步加剧沉降现象。

排水系统在涵洞周围的设计应特别重视水位调控和水流疏导。合理的排水设计不仅有助于减少水分对土壤的影响，还可以提高土体的稳定性和承载能力。通过在涵洞周围设置有效的排水管道、渗透性良好的土壤层或使用地下排水设施，能够有效减少水分积聚，减缓软土的固结过程。排水系统的设计应根据地下水位、土壤类型和涵洞周围的土壤条件进行调整，以确保排水效果的最大化。

在实践中，为了有效控制差异沉降，可以采用多种排水技术，如设置排水管、利用渗透性材料进行土壤改良、采取截水措施等。通过这些措施，能够有效减少地下水对土壤的影响，减轻沉降现象，确保涵洞及其周围路基的稳定性和长期使用。

2 差异沉降的控制策略

针对软土路基和涵洞交界处的差异沉降问题，可以采取多种技术手段和施工策略进行有效控制。

2.1 软土路基加固技术

软土路基加固是控制差异沉降的基础。常用的软土路基加固方法包括换土法、深层搅拌法、高压喷射注浆法及静压锚杆桩协同加固法等。

(1) 换土法：将软土部分或全部替换为承载力较高、压缩性较小的坚实材料，如砂砾石、碎石等。这种方法能直接置换软弱土层，显著提高地基承载力并减小沉降。然而，换土法的工程量较大，施工成本较高，且在换土过程中可能会对周围环境造成一定的影响。

(2) 深层搅拌法：通过特制的机械装置，将固化材料（如水泥、石灰等）与软土进行强制搅拌，使软土与固化材料充分混合，形成具有较高强度和稳定性的加固土体。这种方法施工速度快，对周围环境影响小，适用于各种软土路基的加固。在 347 国道黄冈市巴河至蕲州公路第 4 合同段工程中，就采用了深层搅拌法对路基进行加固，有效提高了路基的承载力，减少了差异沉降的发生。

(3) 高压喷射注浆法：利用高压喷射流，将加固材料（如水泥浆、化学浆液等）注入软土层中，与软土混合形成固结体，增强软土的承载力和稳定性。这种方法适用于较深或较大范围的软土加固，能够有效地改善软土的物理性质，减少沉降。

(4) 静压锚杆桩法，锚杆静压桩是指利用锚固于原有基础中的锚杆提供的反力实施压桩，压入桩一般为小截面桩，主要用于基础的加固处理。其优点是所用机具简单，易于操作，施工不影响工期，可在狭小的空间内作业，传荷过程和受力性能明确，施工简便，质量可靠。

2.2 设计施工优化与静压锚杆桩协同加固法的提出

涵洞的设计与施工优化对于控制差异沉降至关重要。在设计阶段，应充分考虑涵洞的柔性设计，使其能够适应周围土体的沉降变化，避免因结构刚性过大而导致结构变形或破坏。例如，可以采用弹性较好的材料或设计合理的结构形式，使涵洞在一定范围内能够发生变形而不影响其正常使用。

涵洞的支撑系统也需要根据土体的特性和工程需求进行精心设计。合理的支撑系统可以有效地分散荷载，减少对土体的扰动，提高涵洞的稳定性。在施工过程中，要合理控制开挖速度和范围，采用分阶段、渐进式的开挖方式，避免一次性开挖过大导致土体失稳。同时，要及时进行支撑安装和土体回填，确保土体的稳定性。

软土路基道路与涵洞的沉降是一个持续的过程，施工后期，大多数情况下要对涵洞周围的土体进行进一步的加固处理。可以采用深层搅拌、高压喷射注浆结合静压锚杆桩协同处置-静压锚杆桩协同加固法。在道路软

土工程中,涵洞结构的基础处理常采用深层搅拌法等工艺。然而,当处理效果不理想,结构出现不均匀沉降时,为确保涵洞结构的稳定,可采用静压锚杆桩进行协同加固。静压锚杆桩是一种相对刚度较大的桩体,能够穿透软弱土层,达到可信息反馈的持力层,从而有效提高地基承载力,控制沉降,确保涵洞结构的稳定性和安全性。减少后期沉降。

以蕲春盖板涵加固工程为例,该工程采用静压锚杆桩阻止涵洞继续沉降,适当抬高沉降底板并消除错台。

桩端持力层为第3层强风化层,预制钢筋混凝土方桩选用国标04G361, JZHb-250。

静压锚杆桩施工时,螺栓采用植筋植入,有机结构胶植入,深度15d,位置以桩为中心四角埋设(需桩施工单位确认)。

桩头与基础底板的连接待桩植入完成后采用C35微膨胀早强混凝土封头。

这些措施有效地控制了涵洞的沉降,提高了结构的稳定性。

2.3 排水系统设计

排水系统设计在控制差异沉降中起着至关重要的作用。由于软土地区地下水位高,排水系统需要充分考虑这一特殊性,通过合理的地下水排水方案,防止水分积聚在路基和涵洞结构附近。

可以设置排水管道,将地下水引导至远离路基和涵洞的区域。排水管道的布置应根据地形和地下水水流方向进行合理设计,确保排水畅通。同时,可以采用渗透性良好的土壤层作为过滤层,防止土壤颗粒随水流进入排水管道,造成堵塞。此外,还可以使用地下排水设施,如盲沟、渗井等,增加排水能力。

3 差异沉降控制的应用实例分析

以347国道黄冈市巴河至蕲州公路第4合同段为例,该工程在涵洞区域存在软土路基差异沉降问题。

为了有效控制差异沉降,工程团队采取了以下措施:

3.1 软土路基加固

工程团队对软土路基进行了详细的勘察和分析,确定了采用深层搅拌法对路基进行加固的方案。深层搅拌法通过机械搅拌将水泥等固化材料与软土充分混合,形成了具有较高强度和稳定性的加固土体。施工过程中,严格按照设计要求进行操作,确保了加固效果。

3.2 涵洞设计与施工优化

在涵洞设计过程中,充分考虑了软土的特性和沉降影响因素,采用了柔性设计理念,并优化了支撑系统。施工过程中,合理控制了开挖速度和范围,及时进行了

支撑安装和土体回填。施工后期,对涵洞周围的土体进行了进一步的加固处理,增强了土壤的稳定性。

3.3 排水系统设计

工程团队对涵洞周围的排水系统进行了优化,设置了排水管道和渗井,确保了地下水的及时排出。排水管道的布置合理,渗井的设置有效增加了排水能力,避免了土体湿润引起的沉降问题。

3.4 监测与反馈

在施工过程中和施工后,工程团队对涵洞结构和路基的沉降情况进行了长时间的监测。监测数据显示,涵洞结构和路基的稳定性得到了有效保证,差异沉降明显减少,达到了预期的效果。这充分证明了通过软土路基加固、涵洞设计与施工优化以及排水系统合理设计等综合措施,可以有效控制软土路基与涵洞交接部位的差异沉降。

4 结语

软土路基和涵洞区域的差异沉降问题是交通基础设施建设中的常见难题。通过对软土路基的加固、涵洞设计施工优化、多技术协同以及排水系统的合理设计,可以有效控制差异沉降,确保道路和涵洞的稳定性和安全性。随着技术的不断进步,差异沉降的控制策略和措施也将不断完善,为未来的道路建设提供更加可靠的保障。未来,应进一步加强对软土地区道路建设的研究,探索更多创新的加固技术和设计方案,以应对复杂土质条件下的沉降问题。

参考文献

- [1] 李朝蓉. 深厚软土地基路段差异沉降特性研究[D]. 华南理工大学, 2023. DOI: 10.27151/d.cnki.ghnlu.2023.005793.
- [2] 颜钰婷. 高速公路软土地基处理过渡段差异沉降特性及计算方法研究[D]. 华南理工大学, 2021. DOI: 10.27151/d.cnki.ghnlu.2021.001753.
- [3] 谢延江. 循环荷载作用下软土地基中埋地管道动力响应研究[D]. 贵州大学, 2021. DOI: 10.27047/d.cnki.ggudu.2021.002647.
- [4] 邱星. 软土地基拓宽加筋路堤稳定性分析[D]. 西南交通大学, 2021. DOI: 10.27414/d.cnki.gxnju.2021.01833.
- [5] 朱懿恺. 顾及流变参数的软土地基公路SBAS-InSAR建模与形变估计[D]. 长沙理工大学, 2021. DOI: 10.26985/d.cnki.gcsjc.2021.000065.
- [6] 王禹迟. 软土地基上重力式防波堤动力稳定性及长期变形特性研究[D]. 天津大学, 2017.