

Analysis of the Control Effect of Differential Settlement between New and Old Roadbeds in Soft Soil Areas

Longna Li

Yunnan Design Institute Group Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650000, China

Abstract

In order to improve the construction quality of highway widening sections, this article summarizes the reasons for the difference in settlement between new and old roadbeds. Taking a national highway project in southern China as an example, Abaqus finite element software is used to establish a roadbed model and explore the trend of time-varying roadbed settlement. In addition, this article introduces methods such as slope reduction, stepped excavation, laying geogrids, strengthening drainage systems, foundation improvement, selecting suitable fill materials, and ensuring compaction within the specified range, in order to effectively control the problem of uneven settlement between existing and newly constructed roads. The main research results of this article lay a theoretical foundation for solving the problem of uneven settlement between new and old roads in highway widening projects.

Keywords

roadbed widening; non-uniform settlement; deformation law of roadbed; settlement control effect

软土地区新旧路基差异沉降控制效果分析

李泷娜

云南省设计院集团有限公司, 中国 · 云南 昆明 650000

摘 要

为了提高公路拓宽路段的施工质量, 论文归纳了新旧路基沉降差异的原因, 并以中国南方某国道工程为例, 采用Abaqus有限元软件建立路基模型, 探究时变路基沉降量的变化趋势。此外, 论文介绍了坡面削减、阶梯式挖掘、铺设土工格栅、强化排水系统、地基改良、选择合适的填料以及确保压实度在规范范围内等手段, 从而有效控制现有与新建设道路间非均匀沉降问题。论文主要研究成果为解决公路加宽项目新旧道路间沉降不均匀问题奠定了理论基础。

关键词

路基拓宽; 非均匀沉降; 路基变形规律; 沉降控制效果

1 引言

随着中国经济的持续增长, 初始的公路体系已无法有效应对日益增长的交通流量, 进而引发交通瓶颈, 提高运输成本, 并加剧交通事故的发生频率。提升道路流量承载力与服务质量, 已成为道路建设运营各方亟待解决的问题。新设道路面临的主要挑战包括占用土地规模大、土地征收与搬迁难及建设成本高昂等, 同时, 新建道路在直线与曲线布局方面需满足严格标准。因此, 改建和扩建原有道路可有效提升道路交通承载能力。扩展和改造道路的规划难度高, 施工技术复杂, 若未能妥善解决新旧路基间的非均匀下沉, 极易引发路面开裂和边坡垮塌等问题, 进而导致行车安全。因此, 探究新旧路基的非均匀沉降演变机制及其对应的调控策略, 具备显著的工程实践价值^[1]。

【作者简介】李泷娜(1994-), 女, 中国云南宣威人, 硕士, 工程师, 从事道桥设计研究。

2 新老路基非均匀沉降问题和机理

2.1 非均匀沉降引起的病害

根据工程项目经验, 新旧路基的非均匀沉降会导致两种主要的病害, 一是加宽路基的稳定性问题; 二是路面的损毁。对于拓宽路基失稳问题, 新旧路基交汇处往往较为易损, 特别是在软土地基、高填筑区域和坡度陡峭(坡度大于1:2.5)的地段, 容易造成路基整体垮塌。在公路的初始运营阶段, 边坡的滑动现象并不显著, 其外在表现通常是路面上出现较多的纵向贯穿裂隙。在强降雨情况下, 往往导致边坡外表面侵蚀滑落等灾害。此外, 地表水流可能会通过路面裂隙渗透到路基深处, 削弱路基填料稳定性, 从而引发路基全面破坏。水泥路面的常见问题包括脱空和积泥现象, 若不加以控制, 可能进一步导致路面板的破裂, 沥青路面的主要问题则是新旧路基接合处出现纵向裂缝^[2]。

2.2 非均匀沉降产生机理

在公路的改造与扩建工程中, 路基的沉降现象主要由

四类构成，即新旧路堤和新老地基的沉降，如图 1 所示；由于长期服役运营，原有路堤及其下方的地基部分基本完全固结，因而在填土的自重作用下，该区域不会出现显著的沉降现象。在道路边坡通过一侧或两侧进行拓宽后，新的填筑区域以及原有的边坡上会产生额外的应力分布。由于新地基尚未稳定，其变形性能显著高于旧地基，从而导致新旧地基之

间产生沉降差异。在横截面中，拼接拓宽路基时，填土高度、填充材料的性质以及路堤压实程度的差异，均能引发非均匀沉降现象。例如，在斜坡上，两边地势不同会导致填充的土体承受不同的压力，这种不均匀的压力会导致路堤压缩变形和地基固结进程出现明显波动，且厚度差距越大，沉降不一致性就越突出^[1]。新老路基非均匀沉降现象示意图见图 1。

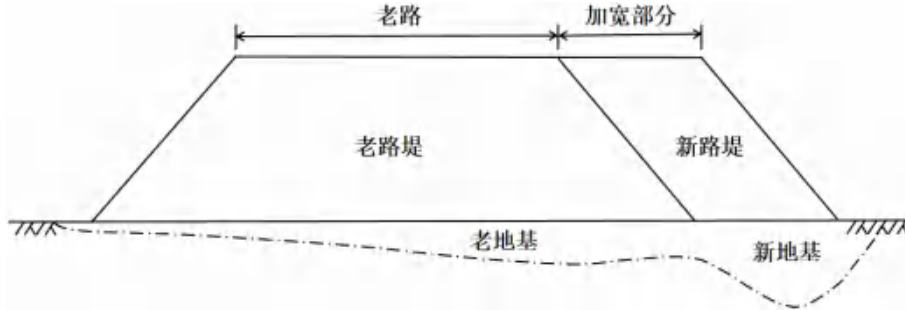


图 1 新老路基非均匀沉降现象示意图

3 新老路基非均匀沉降演化规律

为了探究新旧路基的沉降演化差异，使用 Abaqus 仿真软件构建计算模型，并结合道路拓宽工程后的多个观测点，对其沉降变化趋势进行深入分析。

3.1 工程概况

本研究对象中国南方某国道，属于双向四车道一级公路，总里程为 37.2km，起点与终点桩号分别为 K1+000 和 K38+200，设计速度为 120km/h，所依据的荷载规范为高等级公路标准，路基的宽度为 28m，所选的道路表面材料为面层厚度 70cm 的沥青。经过长时间的运营后，沥青表面出现各类裂痕、车辙和坑洞等病害，这些病害直接影响驾驶员的行车体验和行车安全。此外，随着车流量的持续增大，公路的运营效能呈现下滑态势，时常引发交通阻塞甚至交通安全事故。因此，计划对这条公路实施改造和扩建，采用双侧拓宽的方法，具体操作是在公路的左右两侧各自增加一条车道，从而实现从四车道升级到六车道，即所谓的“四改六”工程。所涉地域地形相对开阔，根据设计图纸勘查信息，地基材料自上而下依次为粉土、粉砂和粉质黏土，对应的有效重度分别为 18.1kN/m³、19.6kN/m³ 和 19.2kN/m³，黏聚力分别为 20kPa、23kPa 和 24kPa，内摩擦角分别为 17°、19° 和 22°，泊松比分别为 0.32、0.27 和 0.32。

3.2 计算模型建立

在进行新旧路基非均匀沉降的计算中，选取 K14+900 作为研究断面，路堤中心的填土高度设定为 6.5m，左右两侧边坡采用 1 : 1.5 的比例设计。为了实现快速准确评估，使用 Abaqus 仿真软件，将复杂的三维应力状态简化为二维应力状态。在建模过程中，路面设施等二期恒载和车辆活载被简化处理为厚度为 1.5 m 的土层模型，并假设施工过程不会干扰路基沉降。建立新老路基有限元模型的主要流程为：

①导入 CAD 工程设计图；②输入地基土体和路基填充料的力学参数；③模拟并设置基础的地应力环境；④设定作用于模型上的外部荷载；⑤确定模型中不受力影响的区域或边界；⑥将模型分解为适合 Abaqus 分析的离散单元；⑦通过仿真计算路基在所施加荷载下的沉降情况；⑧获取并记录计算过程中的关键数据和结果。此过程目的是通过 Abaqus 软件精确模拟路基响应，为解决工程实际问题提供科学依据^[4]。

对于原始地应力，原始应力状态对岩土力学行为具有决定性影响。在评估新建与既有路基的非均匀沉降问题时，确保原始应力状态的精确性至关重要。当前，确定初始应力状态有两大途径，采用弹性解析法，假定材料性质为纯弹性，采用弹塑性解析法，考虑材料的塑性行为。在求解时使用塑性理论框架。为了防止在计算周期内特定材料部位发生屈服现象，必须设定较高的黏聚力于抗拉强度值。在计算达到极限平衡状态之后，再将这些参数调整回正常的计算设定值。对于边缘约束，在三维空间中，分别探讨沿 x、y、z 轴的位移变化，同时，分别在结构的左右两侧设定限制 x 轴方向位移的约束条件，将路基顶部及边坡表面设定为不受外部作用力影响的自由边界状态。考虑到地下水位较深，本研究未将其纳入计算范围。对于网格生成，为了同时满足计算速度与计算精度的要求，使用 C3D8RP 立方体单元来划分路堤与地基土体。对于拓宽区域，则适当提高网格密度，设定为 0.8m，而在其余部分则保持网格大小为 2.5m。该模型共构建 2748 个单元和 3162 个节点。对于加载模拟，依据公路路基施工的技术标准，路基拓宽应遵循以下步骤，在原路基与新拓宽区域之间开挖出必要的台阶，随后按照分层填筑的原则，逐层填充并压实土料，确保路基的稳定性和整体性得到充分保障。为模拟此步骤，构建路堤部分模型时应采取分层方法，对所有单元进行“禁用”处理，随后依据施工时间

顺序逐步激活各层单元^[5]。

3.3 非均匀沉降计算结果

以路基的轴心位置为参考点，按照固定间隔布置观测点，提取各个观测点的下沉量信息，如图 2 所示。

路基顶部沉降变化分布整体呈勺子状，在距离道路中心

线不超过 16 m 的范围内，路基顶部的下沉趋势持续增大，一旦距离道路中心线超出 16m，路基顶部的下沉则呈现递减趋势。在新老路基交汇处中心点下方，观测到的最大非均匀沉降值为 6.74cm。可知，在拼接拓宽路段时，中心点位置的额外应力达到最大，且额外应力和到中心点的距离呈负相关关系。

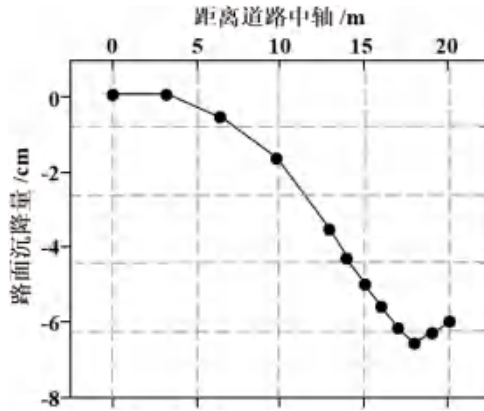


图 2 不同位置处新老路基沉降变化量规律

4 新老路基非均匀沉降控制方法

论文的沉降控制评价准则为新旧路基最大非均匀沉降差异不超过 5cm。为了实现此目的，应从以下三个关键点出发，即新旧路基接合区域的处理、地基的有效加固和确保选择合适的路基填缝材料并达到压实度标准。

4.1 新老路基衔接区域处置方法

对于边坡裁剪方案，在进行公路拓宽工程前，应彻底清除原有路基边坡上的杂草、腐殖质和未充分压实的松散土体等障碍物。边坡的削减深度应合理设定，避免过量或不足，以 40~60cm 为宜。

对于阶梯式挖掘方案，新旧路基对接时，常采用挖掘阶梯的方式来增大两部分的接触区域，从而提升对接路基的整体稳定性。挖掘的阶梯有三种类型，即标准阶梯、内斜阶梯和外斜阶梯。标准阶梯挖掘相对简单，一旦确定了台阶的高度与宽度，即可实施挖掘（台阶宽度不小于 1.5m，台阶高度在 0.8~1.5m 范围内）。最常见的内斜阶梯则在标准阶梯的基础上发展而来，通过设置 3%~5% 的内部斜坡来增加新旧路基的接触面，从而提升其协调和稳定性。相比之下，外斜阶梯设计通过向路基中线形成特定程度的倾斜，从而增强土体的填充与挤压密实过程，然而这种布局会导致土工格栅的锚固长度增加，从而提升项目的整体成本。基于上述分析，推荐在新旧路基接合区域首选内斜阶梯的方法。

不合理的台阶开挖方式可能导致坍塌现象，进而影响路基的稳定性。在处理新旧路基接合区域时，特别是在进行阶梯式挖掘时，必须重点考虑两项关键要素，针对含水率偏高的原始路面基础，在实施边坡减缓工程后，不可立即进行后续的挖掘操作。应当采取措施使边坡充分干燥，可以通过自然晾晒，或是采用灰土等材料进行表面处理，以确保边坡

的稳定性。在削除旧路基边坡时，推荐遵循自上而下的操作顺序。这种方法有助于逐步稳定边坡结构，减少一次性大规模削坡可能带来的不稳定因素，从而提高施工的安全性和效率。对于坡度显著的待整合斜坡，建议实施阶梯式施工方法，并保证每个施工段的削减角度相较于前一段更加缓和，以确保施工期内路基边坡的平稳性。

对于土工格栅的铺设策略，土工格栅被视作衔接新建与既有路基层面的关键材料，用于缓解并均衡两部分可能存在的非一致沉降现象，通过将聚丙烯等板式材料加工并穿孔而形成，其穿孔被设计为 20~120mm 不等的方形或圆形，具备低延展性和高强度等特点的土工格栅能紧密贴合现有的地基，构成一个协同的复合结构，将土工格栅植入土体可约束其变形，从而提升土体抗剪切能力。

对于提高排水能力方案，根据公路排水设计标准，为应对潮湿多降雨的环境，应在路基内部构建排水设施，以高效排除进入路面内部结构层的雨水。建议在拓宽工程竣工后，在现有路面的侧沿增设一条碎石暗渠，来汇集渗透到旧路面的雨水，并借助横向排水管道将积水引出路基。此外，还需在新铺设的路面上增设排水垫层，排水垫层应兼具透水与反滤作用，可选用改进型材料，如碎石、砂砾来实现此目的。

4.2 地基处理方法

对于常用地基改善措施，在拓宽路基之前，需先清除地表的植被与土体，深度应达 25~35cm，随后铺设新土并充分压实。为确保路基底部压实度合格，常使用冲击式压路器械实施冲击夯实，其作业区域应延伸至坡脚外 4m 处。若拓宽道路邻近区域有对冲击碾压振动反应较为敏感的管线或结构物时，应采取高速液夯夯实施工，同时在施工区域内挖掘减震沟来降低振动影响。

对于易损土层的管理,面对淤泥、淤泥质土、泥炭或泥炭质土这类软弱地基时,必须采取适当措施进行改良与加固。在进行软土地基处理时,应全面考虑软土层的深度、路堤的填充高度、新旧路基间的非均匀沉降和施工方法与工期等因素。同时,需对不同的改进策略进行技术效益和经济成本的综合评估,以确定最优解决方案。针对软土层浅于3.5m的区域,通常采取换填策略,即移除原生地基中的弱质土体,置换质地坚硬、抗水性强的物料,并逐层压实。针对深厚的软土层路基,可采用水泥搅拌桩等施工方法,从而与原有的地基形成复合结构体系。在工期紧迫的软土地基施工区域,可以采取多元化整治策略联合治理。

4.3 路基填料的选取和压实度要求

在修建新路基时,选用的填充材料应尽可能与其相邻或相接的既有路基填充材料在受力性质上保持一致性。以论文实例国道公路为例,每个路基土层的挤压压实度应严格遵照公路路基施工技术规范执行,上路床的压实度需不低于96%,下路床和上、下路堤均包含轻、中等、重、特重和极重交通,但其压实度分别需不低于96%、94%和93%。对于填筑高度较大的路基,基于标准压实度的考量,可实施额外的分层压实步骤,额外压实处理后,期望的压实度应较现行规范有所提升,具体幅度建议为2%~3%。

5 结论

结合中国南方某国道实际工程案例,论文探讨了新旧路基非均匀沉降的病害机理、演变模式及其控制策略,归纳

出如下结论:

新旧路基间的非均匀沉降往往导致路基不稳定和路面的损坏,该现象主要是由新旧路基的固结过程存在差异、填筑物的高度不一、填充材料的性质不同以及路堤压实度的不均衡所造成的。

在结合区域,新旧填筑体的非一致沉降的最大值通常位于拼接填筑体的中轴位置,和中轴的距离越远,填筑体的下沉量越小。在新旧路基的连接部分,应挖掘内斜的阶梯状坑槽,并铺设土工格栅,同时进行排水设施建设。对于软土区域的路基建设,应依据具体项目条件,选取合适的加固手段,如换填法、水泥搅拌桩技术或管桩应用等。此外,确保路基填筑材料的质量达标,并严格控制压实度标准,是保证路基稳定性和耐久性的关键步骤。

参考文献

- [1] 陈正.软土地区新旧路基沉降差异工程验证[J].大众标准化,2024(14):73-75.
- [2] 李成昌.高速公路路基差异性沉降的控制方法及数值分析[J].建筑机械,2024(2):94-97.
- [3] 师志斌,张二杰.公路扩建新旧路基合理衔接及沉降控制技术研究[J].科技创新与生产力,2023,44(7):81-83.
- [4] 王应球.高速公路新旧路基差异沉降控制技术研究[J].西部交通科技,2023(3):20-23.
- [5] 谢波,张永奇,赵海斌,等.山区高速公路路基拓宽差异沉降控制[J].路基工程,2024(3):213-221.