

高架桥基础承台开挖引起的路面 差异沉降控制方法研究

邓超

(江西交通职业技术学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 高架桥基础承台施工时需开挖基坑,回填后新路基在车辆荷载作用下将产生较大的沉降,故造成新老路基上部路面的差异沉降。该文采用有限差分软件 FLAC^{3D} 分析研究不同的土工格栅层数、格栅模量、格栅位置、回填材料以及基坑开挖方式对减小路面差异沉降的效果。计算结果表明:格栅层数越多对减小差异沉降的效果越好,并且随着格栅层数的增加,格栅加筋效果减弱。增加格栅模量也可减小路面不均匀沉降,且格栅铺设的3个位置都有作用,其中铺设在面层与基层交界处效果最好。回填材料选择二灰土可以明显减小新老路基的差异沉降,故采用类似二灰土等坚硬的回填材料具有很好的效果。基坑开挖采用放坡开挖的方式,对减小沉降与差异沉降方面的效果优于台阶开挖。

关键词: 差异沉降; 土工格栅; 回填材料; 新老路基; 数值分析

1 引言

随着城市化进程的不断推进,交通运输量明显上升,城市道路建设力度不断加大。但是像公路扩建、高

架承台施工等带来的新老路基之间的差异沉降问题也需解决。由于新路基与老路基之间的刚度不同,使得新老路基路面在长期车辆荷载作用下产生明显的差异沉降,沉降过大则会使路面变形与开裂。因此,需要采取一些经济与有效的控制措施来减小新老路基间的差

(2) 针对同一工程实例,将该文方法与 BP 神经网络优化算法计算结果进行横向比较,该文自适应遗传算法支持向量机沉降预测的平均误差为 1.9%,较 BP 神经网络算法计算平均误差(24.6%)提高了 22.7%。

参考文献:

- [1] 李君. 软基上高速公路路基堆载预压的动态设计方法[J]. 中外公路,2014(6).
- [2] 苗胜军,李军才,王克忠. 高层建筑地基沉降量推算方法的探讨[J]. 建筑结构,2005(5).
- [3] 宰金珉,梅国雄. 全过程的沉降量预测方法研究[J]. 岩土力学,2000(4).
- [4] 肖治宇,陈昌富. 软土路基沉降预测 Richards 模型方法[J]. 公路交通科技,2008(11).
- [5] 张丽萍. 两种指数曲线法在公路地基沉降计算中的对比[J]. 西部探矿工程,2007(5).
- [6] 涂许杭,王志亮,梁振森,等. 修正的威布尔模型在沉降预

- 测中的应用研究[J]. 岩土力学,2005(4).
- [7] 刘射洪,袁聚云,赵昕. 地基沉降预测模型研究综述[J]. 工业建筑,2014(s1).
- [8] 李小刚,张庭会. GM(1,1)灰色预测模型在道路软基沉降预测中的应用[J]. 铁道科学与工程学报,2016(1).
- [9] 刘学. 高速公路路堤沉降简化灰色动态预测模型解析[J]. 中外公路,2018(4).
- [10] 陈舒阳,徐林荣,曹禄来. 基于动态神经网络法考虑区域沉降的高速铁路沉降预测[J]. 铁道学报,2015(5).
- [11] 周星勇,杨荣浩,王志胜,等. 一种改进遗传神经网络的建筑基坑沉降预测模型[J]. 测绘工程,2018(3).
- [12] 陈昌富,李欣,龚晓南,等. 基于支持向量机沉降代理模型复合地基优化设计方法[J]. 铁道科学与工程学报,2018(6).
- [13] 郭云开,朱禄宏,熊旭平,等. 灰色模型结合神经网络预测高速公路路基沉降[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版),2013(3).
- [14] 宗文亮,高正夏,卞志兵,等. 基于 AEPsO 改进支持向量机的堤基沉降预测[J]. 测绘工程,2016(5).

收稿日期:2019-10-14(修改稿)

基金项目:江西省交通运输科技项目(编号:2018H0005)

作者简介:邓超,男,硕士,副教授. E-mail: tonghutu@qq.com

异沉降。

近年来,众多学者对差异沉降的产生做了许多研究,并提出了一系列的解决办法。邱伟等采用聚苯乙烯泡沫(EPS)置换路堤填土以减小基底附加应力,以此解决软土路基的不均匀沉降问题;唐朝生等运用FLAC^{3D}软件对高速公路新老路基拼接中产生的差异沉降进行了数值模拟分析,并且对路基的变形发展及应力集中和分布情况做了研究;吴跃东等根据高速公路拼宽路段的沉降监测数据,分析认为复合地基能够控制差异沉降;刘荫成运用 Abaqus 有限元软件建模并分析了在交通荷载作用下的近桥台处产生的差异沉降。

同时土工格栅作为一种有效的加筋材料,在公路领域被广泛运用以减小路面沉降。胡卫国等通过室内试验对土工格栅的加筋作用做了机理分析,并通过数值模拟得出加筋路堤中最优的加筋位置与格栅长度;刘凯等研究建议级配碎石基层沥青路面中级配碎石的模量与厚度,并且从路面结构抗开裂性能与疲劳寿命方面考虑确定最佳格栅铺设位置;杨广庆等为了减小高速公路路基扩建后新老路基之间的差异沉降,提出了一种道路路基加宽锚固加筋新技术,为路基加宽提供了一种新的控制沉降的方法;汪益敏等通过自行设计与制造的模型试验系统进行试验,发现铺设土工格栅能够减小软土地基拓宽路堤的沉降;观祖保等通过试验与有限元分析发现挡块式土工格栅能够解决普通土工格栅锚固长度不足的问题,对解决新老路基结合处的沉降问题具有重大参考意义;冷景岩等通过数值模拟和现场试验的方法研究了路基结构的沉降特性,认为加筋路基适用于公路软土地基;唐咸远等通过有限元软件,分析了玻纤格栅在路面改建工程中新旧路面搭接处的作用,为相关工程提供合理建议。

该文背景工程为上海市济阳路快速化改建工程,济阳路是上海市中心城区“一横三环十十字九射”快速路系统的组成部分之一。工程采用“高架快速路+地面道路”的断面布置形式,主线北接卢浦大桥引桥,跨越川杨河接中环线立交,向南跨越外环线立交后接浦星公路芦恒路节点改善工程。工程采用水泥搅拌桩、带托盘的 TC 管桩和高压旋喷桩进行地基处理,且考虑回填材料使用二灰土、EPS 和气泡混凝土。改建工程新建高架 4.55 km,主线均为高架桥梁,其中高架桥基础承台施工时需要开挖基坑并回填,由此会产生新老路基路面的差异沉降问题,拟铺设土工格栅来控制路面沉降。该文通过有限差分软件 FLAC^{3D} 对该改建

工程进行建模分析,研究土工格栅层数、模量、位置、回填材料以及开挖方式对路面差异沉降的影响,探究控制差异沉降的最优措施,以期对工程有所裨益。

2 计算模型建立与荷载形式的选择

为了研究在车辆荷载作用下高架桥下基础承台施工开挖基坑后回填对路面产生的差异沉降,建立三维模型进行模拟分析。由于道路是对称的,为了提高计算效率,故取一半的承台与一侧的道路进行建模,模型如图 1 所示。道路的路面结构层分别采用 0.3 m 沥青混凝土面层,基层为 0.4 m 水泥碎石基层,垫层采用 0.3 m 的级配碎石。承台高度取 2 m,承台宽度 4 m,土层厚度分别为:老路基 5 m,粉质黏土 1.5 m,淤泥质粉质黏土 3.5 m,淤泥质黏土 7 m。模型中间部分为道路,道路设置为三车道,行车道宽度 11.5 m,且车道右侧设置为人行道。开挖基坑底部长 1 m,在承台埋入后进行回填。模型设置的 x 方向长度为 22.5 m, y 方向长度取承台长度的一半为 3.5 m,模型的数值参数见图 2。

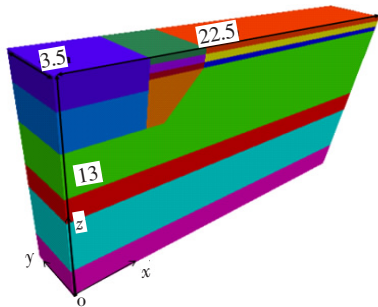


图 1 三维模型图(单位:m)

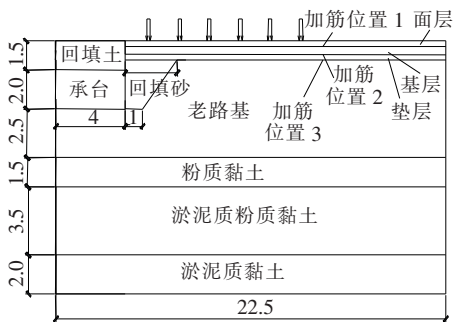


图 2 模型剖面图(单位:m)

在计算过程中需要设置一些沉降监测点。为了分析新老路基路面的差异沉降,以道路左侧坐标为 $x=0$,在行车路面设置一些沉降监测点,且监测点 y 坐标都为 1.75 m,即取模型 y 向中心点进行监测,记录在车辆荷

载作用下路面的竖向位移以及产生的差异沉降。

计算过程中软件定义的边界条件如下:

- (1) 在 $x=0$ 和 $x=22.5\text{ m}$ 平面上沿 x 轴方向水平固定。
- (2) 在 $y=0$ 和 $y=3.5\text{ m}$ 平面上沿 y 轴方向水平固定。
- (3) 在 $z=0$ 平面上沿 z 轴方向垂直固定。

车辆荷载以双轮组单轴 100 kN 为标准轴载,轮胎对路面的压强为 0.7 MPa,汽车左右两轮的中心间距为 1.8 m,轮胎的宽度为 0.2 m。鉴于快速路车流量大,车辆荷载作用频率高的特点,为了简化计算,车辆荷载采用宽度 0.2 m,长度 3.5 m 的条形荷载来模拟,条形荷载的压强为 0.7 MPa。由于行车道为三车道,故模拟有 3 列汽车同时在车道中心行驶的情况,施加 6 组条形荷载作为车辆荷载进行计算。由于研究内容为新老路基间的差异沉降,故只考虑行车道上的车辆荷载,对于车道右侧的人群荷载不作考虑。

3 模型参数选取

FLAC^{3D} 软件中建模需要选择相应的本构模型,各个土层及基坑填砂均采用摩尔-库仑塑性模型,承台和路面结构层都采用弹性模型。在本构模型选取后再分别进行模型参数的赋予。模型的土层参数以及模型基本材料参数见表1、2。土工格栅采用FLAC^{3D}自

表 1 土体参数

土层	弹性模量/MPa	泊松比	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)
回填砂	30.00	0.30	6.0	32.0
路基	35.00	0.35	25.0	30.0
粉质黏土	8.60	0.35	22.2	9.8
淤泥质粉质黏土	2.90	0.40	11.3	15.0
淤泥质黏土	2.18	0.40	12.6	8.9
回填土	19.0	0.25	10.0	26.0

表 2 模型基本材料参数

项目	厚度/m	密度/(kg·m ⁻³)	弹性模量/MPa	泊松比
面层	0.30	2 500	3 500	0.250
基层	0.40	2 300	1 500	0.250
垫层	0.30	2 100	500	0.350
承台	2.00	2 548	33 500	0.167

带的 Geogrid 单元进行模拟,采用弹塑性本构模型,具体参数见表 3。

表 3 土工格栅材料参数

弹性模量/MPa	密度/(kg·m ⁻³)	泊松比	厚度/mm
20 000	2 000	0.33	8

4 结果分析

4.1 土工格栅层数对路面差异沉降的影响

土工格栅有较好的延展性、张力和柔韧性,铺设在路面结构层中可以与路面结构层成为一个整体,使所受的车辆荷载更好地分散,提高路面整体承载能力,减小路面的不均匀沉降。由于承台施工需要开挖基坑并回填,所以将格栅铺设在路面结构层中,若铺设在老路基中则将增加铺设时的施工难度,并且铺设成本也将加大。该文模拟分析时最多采用 3 层格栅,其中第 1 层铺设在面层与基层的交界处,第 2 层铺设在基层与垫层交界处,第 3 层铺设在垫层与老路基交界处。在行车道下整体铺设土工格栅,探究土工格栅对减小差异沉降的作用。分析时定义开挖基坑上部路面沉降最大处与行车道老路基上部路面中心点处($x=7.25\text{ m}$)的沉降差值作为差异沉降来分析,以此评估格栅的效果(图 3)。

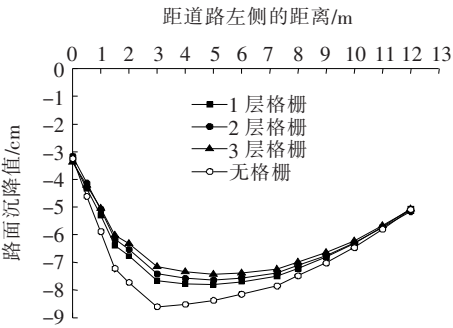


图 3 格栅层数对差异沉降的影响

由图 3 可知:随着格栅铺设层数的增加,行车路面沉降值普遍减小,且差异沉降也逐步减小。无格栅时两者差异沉降为 0.75 cm,而铺设 1、2、3 层格栅时差异沉降分别为 0.30、0.25 和 0.19 cm。由此可见,通过增加铺设格栅的层数可以明显减小路面沉降和不均匀沉降,并且随着格栅层数的增加,格栅加筋效果减弱。此外,不铺设格栅情况下的新老路基结合处($x=3\text{ m}$)的路面沉降值最大,但是通过铺设多层土工格栅,可以提高新老路基的整体稳定性,使车辆荷载能够

分摊到更多土体上,明显减小新老路基的差异沉降。

4.2 格栅铺设位置对路面差异沉降的影响

工程中格栅的铺设位置也会对格栅的效果产生影响,故在不同位置铺设单层格栅进行对比分析,模拟铺设格栅的位置分别在面层与基层交界处(位置 1)、基层与垫层交界处(位置 2)、垫层和路基交界处(位置 3)(图 4)。

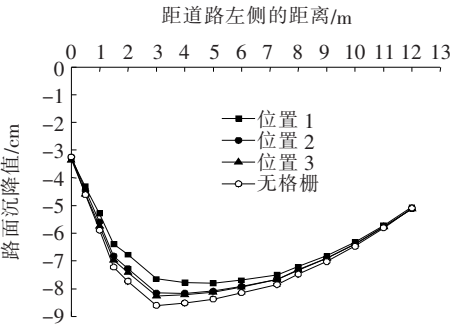


图 4 格栅位置对差异沉降的影响

由图 4 可知:在 3 个位置铺设的格栅均能起到降低路面沉降的作用,但效果有限。在不同位置铺设格栅后的路面差异沉降值分别为 0.30、0.50 和 0.60 cm,都小于不铺设格栅时的 0.75 cm。其次,在位置 1 铺设的单层格栅效果最优,而其他两处位置铺设的格栅均有效,且效果相差不大。故实际工程中若只铺设单层格栅,建议铺设在面层与基层的交界处,倘若条件允许,建议铺设多层格栅。

4.3 格栅弹性模量对路面差异沉降的影响

弹性模量是工程材料的一个重要参数指标,土工格栅的弹性模量不同,导致其力学性能也不同。通过对几种不同弹性模量的格栅进行模拟分析,得出能降低新老路基差异沉降的最优弹性模量值,为工程选用格栅提供一定的参考意义。图 5 分别采用弹性模量为 10、15、20 和 25 GPa 的土工格栅进行模拟分析,并且在考虑格栅模量的影响时控制格栅的铺设层数相同,都为 3 层格栅。

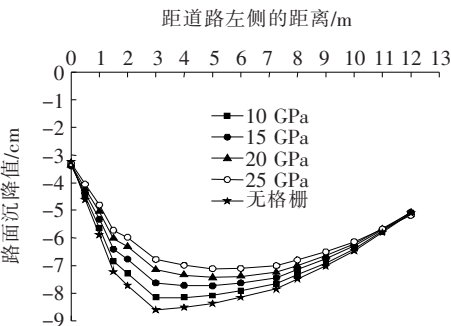


图 5 弹性模量对差异沉降的影响

由图 5 可知:随着格栅模量的增加,行车路面的沉降普遍减小,且新老路基之间的差异沉降也明显减小。当土工格栅的模量逐步增加时,新老路基结合处的沉降由最大变为与周围沉降相当,使得路面的不均匀沉降减小。当格栅模量从 10、15、20 GPa 增加到 25 GPa 时,差异沉降分别为 0.49、0.29、0.19 和 0.11 cm,相对于不铺设格栅时的 0.75 cm 都有不同程度的减少。此外,格栅模量越大,路面的整体性越好,对承担车辆荷载后产生的沉降与沉降不均匀性也有极大改善,故推荐选用弹性模量较大的土工格栅。

4.4 基坑回填材料对路面差异沉降的影响

二灰土是利用废料粉煤灰、石灰与土料混合作为地基回填土的一种新型材料,具有强度高、稳定性好、施工方便、经济效果好等特点。近几年逐渐应用在公路领域,并且取得了良好的效果。实际工程中常采用回填砂作为回填材料进行回填,但无法大幅度减少差异沉降,故模拟采取二灰土这一新型材料进行回填。二灰土的材料参数参考文献[14],取值如表 4 所示,得到回填材料对路面差异沉降的影响如图 6 所示。

表 4 二灰土材料参数

弹性模量/MPa	密度/(kg·m ⁻³)	泊松比
750	1 900	0.20

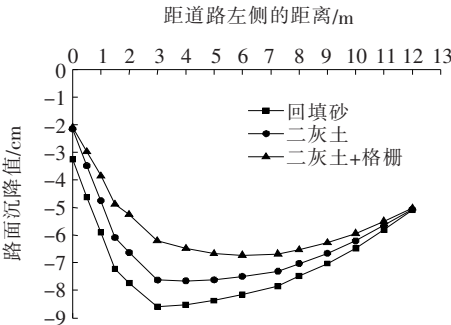


图 6 回填材料对差异沉降的影响

由图 6 可知:将二灰土作为新的回填材料可以大幅度减小新老路基的差异沉降,差异沉降由 0.75 cm 减小为 0.35 cm。此外,在铺设 3 层土工格栅的基础上,同时使用二灰土回填,探究控制差异沉降的最优方式。两种方法结合时的最大沉降为 6.72 cm,而铺设 3 层二灰土时最大沉降为 7.43 cm,故两种方式结合能最大程度地减小路面沉降,且在减小差异沉降方面也有一定优势。因此,在工程中可采用铺设格栅与二灰土回填的方式来最大限度地减小路面沉降与新老路基的差异沉降。

4.5 开挖方式对路面差异沉降的影响

在高架桥承台施工时需要开挖一个小型的基坑作为承台施工的作业面,而基坑的开挖方式一般有放坡开挖和台阶开挖两种。当采用放坡开挖时,土方放坡系数为 1.25,而采用台阶开挖时,采用 5 阶台阶进行开挖,每阶台阶高 0.5 m,具体开挖示意图如图 7 所示。运用软件分别建模分析两种开挖方式对路面沉降的影响,且回填材料都使用回填砂,不铺设格栅,单纯对比开挖方式的影响,探究最佳的开挖方式,所得计算结果见图 8。

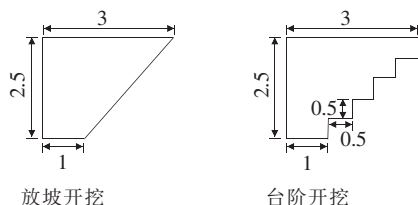


图 7 开挖方式示意图(单位:m)

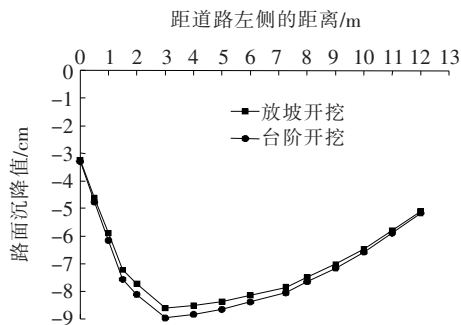


图 8 开挖方式对差异沉降的影响

由图 8 可知:不同的开挖方式对路面沉降产生一定的影响,且采用台阶开挖后回填的路面沉降大于放坡开挖。采用台阶开挖时新老路基结合处的最大沉降为 9.06 cm,而放坡开挖时为 8.86 cm。此外,放坡开挖时差异沉降为 0.75 cm,优于台阶开挖时的 0.91 cm,故在考虑基坑开挖方式时,推荐采用放坡开挖。

5 结论

(1) 新老路基结合处的沉降是路面沉降最大处,且土工格栅的层数和模量对新老路基差异沉降的影响较大。随着格栅铺设层数的增加,格栅作用效果增加,但格栅的加筋效果减弱。此外,格栅模量越大,新老路

基的差异沉降越小。

(2) 土工格栅的不同铺设位置都能起到减小新老路基差异沉降的效果,且在面层与基层交界处铺设格栅的效果最优。铺设单层格栅的作用有限,可以铺设多层格栅来增加格栅的效果。

(3) 二灰土作为一种新型的基坑回填材料,能够大幅度减小路面沉降,且对新老路基的差异沉降也有明显作用。采用二灰土回填与铺设格栅的方式结合使用,能够最大程度减小新老路基的差异沉降。

(4) 基坑的开挖采用放坡开挖能够局部减小路面的沉降,并且对差异沉降也有效果,但作用效果有限。

参考文献:

- [1] 孙立强,闫澍旺,徐余.软土路基“波浪型”不均匀沉降及其机制分析[J].岩土力学,2011(S1).
- [2] 邱伟,易善昌,龚维亮,等.基于 EPS 的海相深厚软基区路基不均匀沉降处治研究[J].中外公路,2018(4).
- [3] 唐朝生,刘义怀,施斌,等.新老路基拼接中差异沉降的数值模拟[J].中国公路学报,2007(2).
- [4] 吴跃东,张超,钟光强.高速公路软基拼宽段差异沉降控制研究[J].岩土工程学报,2013(S2).
- [5] 刘萌成,黄晓明,林云龙.交通荷载作用下近桥台处差异沉降与路面结构开裂研究[J].岩土力学,2006(12).
- [6] 胡卫国,何桥敏.土工格栅在填方路堤中的加筋作用试验研究[J].中外公路,2018(1).
- [7] 刘凯,张祥,王芳,等.级配碎石基层沥青路面复合土工格栅最佳层位研究[J].中外公路,2018(4).
- [8] 杨广庆,高民欢,陈君朝,等.高速公路改扩建路基加宽锚固加筋技术研究[J].岩土工程学报,2013(S2).
- [9] 汪益敏,闫岑,于恒,等.静载作用下土工格栅加筋拓宽路堤土中应力特征试验研究[J].岩土力学,2018(S1).
- [10] 观祖保,杨挺,吴巨贵,等.土工格栅处治老路拼接的加筋效应分析[J].中国公路学报,2017(6).
- [11] 冷景岩.土工格栅加筋路基结构沉降控制试验研究[J].铁道工程学报,2017(10).
- [12] 唐咸远,邹凯,唐瞻鹏.玻纤格栅对旧水泥路面拓宽拼接的力学影响分析及应用[J].中外公路,2018(6).
- [13] 张向东,曹启坤,潘宇.二灰改良土动力特性试验研究[J].岩土力学,2010(8).
- [14] 付军明,孔令伟,柯昌波,等.沥青稳定碎石排水基层沥青路面结构力学行为分析[J].公路工程,2014(5).