

路基压实度不足对路基路面结构性能影响试验研究

孙青峰¹, 黄雄立², 郭昕³, 龙健³, 宋文²

(1.娄底市公路物资储备和应急管理中心, 湖南 娄底 417000; 2.湖南理大交通科技发展有限公司, 湖南 长沙 410001;

3.长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要:路基压实度不足会导致路基发生不均匀沉降,最终引发结构性病害,影响道路的使用性能。文中通过在某公路上设置压实度不足测试区域进行试验,得到测试区域与正常区域的基层顶面及路基顶面的动土压力、路面结构底层的动应变并进行对比分析。结果表明,欠压实区域基层顶面、路基顶面的动土压力偏大,面层底面动应变偏大,路基压实度下降对路基路面结构性能的影响较大;路基顶面的动土压力与车辆的轴重成线性正相关关系,车辆荷载作用位置路基顶面承受的动土压力最大,沿两侧逐渐衰减。

关键词:公路;路基;压实度不足;动压力;结构性能

中图分类号:U418.5

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2019)01-0096-04

路基压实度直接影响路面结构层的质量及路面建成后的使用性能,对此许多专家学者作了大量研究:刘东海利用路基压实效果监测装置分析了路基压实监测值与路基弹性模量的相关性,并建立了两者间的回归模型;李筠借助有限元软件模拟路基不同压实状态下的沉降规律,发现路基压实度越低,不均匀沉降越剧烈;单凌志通过比较不同工况下路基欠压实区与正常压实区之间的差异沉降,发现压实不均匀的高填方路基沉降与欠压实区宽度及其路基土性质有关;孔震宁发现红黏土含水率一定时,路基压实度每降低 2%,路基回弹模量降低 3~7 MPa。但针对路面结构性能评价的分析较少。为有效分析路基压实度不足对路面结构性能的影响,该文在某公路路基施工中预先设置压实度低于标准的欠压实区域,通过与正常区域进行对照,分析路基压实度不足对路基和路面结构力学性能的影响。

1 研究方案

1.1 测试区域设置

为研究路基压实度不足对路基路面力学性能的影响,在某公路路基施工时设置一个压实度偏低的测试区域(见图 1)。

1.2 测试区域设计方案

当路基填筑接近 94 区时,开挖一个区域并铺设防水土工布后将土回填,回填区域内压实度设定为

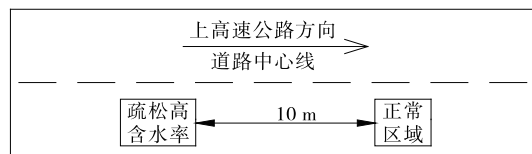


图 1 压实度不足区域平面布置示意图

80%,填土完成后再根据设计图进行 94 区及路面各结构层施工;在路基顶面及路面结构的对应位置埋设土压力盒、钢筋应变计等测试元件,通过土压力盒测试路基顶面、基层顶面的动土压力,通过钢筋应变计测定路面结构底层的动应变,为分析路基欠压实对路面力学性能的影响提供依据和样本。

病灶区域尺寸为 1 m×1 m×1 m,开挖后垫衬防水土工布后将土回填,采用小型气夯,分层回填路基土厚度为 20 cm,分 5 层回填。欠压实区域施工流程为基层及精加工层清除→开挖→路基土回填→压实度控制→基层及精加工层铺设→基层及精加工层清除。测试区域布置见图 2。

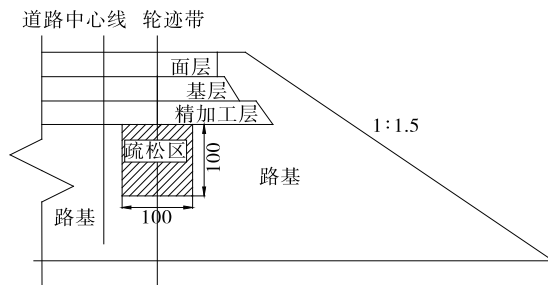


图 2 测试区域布置示意图(单位:cm)

2 动土压力测试

2.1 测试元件布置

针对测试目的和测试区域特点,在测试区域中划定的疏松高含水率病害区和正常路基区的路基顶面及基层顶面埋设土压力盒(见图 3、图 4)。

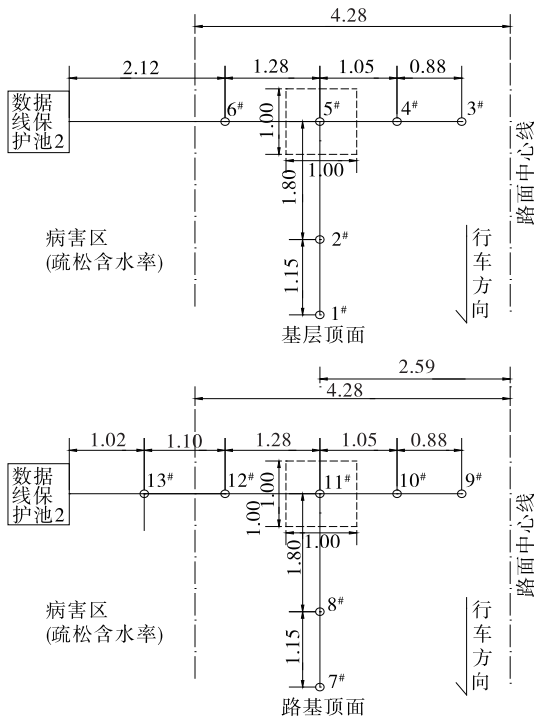


图 3 欠压实区域土压力盒布置示意图(单位:m)

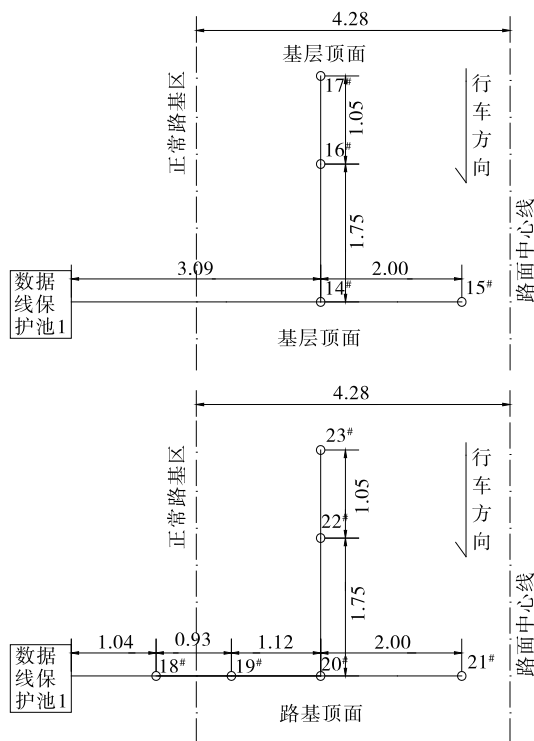


图 4 正常区域土压力盒布置示意图(单位:m)

2.2 现场试验方案

试验车辆为二轴六轮货车(其轴重情况见表 1),前后轴距为 4 m。分别在空车、满载、超载状态下以 20 km/h 的速度来回通过测试区域 3 次,采集动土压力数据。

表 1 试验车轴重

状态	前轴重/kN	后轴重/kN	整车重/kN
空车	23.0	38.00	63.0
满载	35.6	100.17	135.8
超载	38.7	178.90	218.5

2.3 测试结果与分析

2.3.1 压实度不足区域

对压实度不足区域进行数据采集,剔除因元件损坏而未能采集到的点位,得到超载情况下前后轮基层顶和路基面上的动土压力(见表 2)。

表 2 超载作用下欠压实区域路面和基层顶动土压力测试结果

位置	压力盒 编号	前轮动土压力/kPa			后轮动土压力/kPa		
		最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
基层 顶面	1	0.16	8.13	3.09	2.32	17.53	8.50
	2	0.04	3.69	0.72	0.34	7.46	3.27
	3	0.06	2.72	0.39	0.48	10.10	2.07
	4	0.05	0.95	0.24	0.16	5.83	1.80
	5	0.05	0.48	0.14	0.11	3.85	0.50
路基 顶面	7	0.07	7.61	1.03	1.89	21.02	9.89
	9	0.18	7.58	1.48	0.41	9.63	7.55
	12	0.05	0.22	0.11	0.2	1.63	0.59

由表 2 可知:压实度不足部位在超载作用下前轮产生的动土压力在基层顶面不超过 8.13 kPa、路基顶面不超过 7.61 kPa,后轮产生的动土压力在基层顶面不超过 17.53 kPa、路基顶面不超过 21.02 kPa,后轮产生的动压力普遍为前轮的 2 倍及以上,说明轴重与动土压力正相关,这也是车辆超载严重路段路面结构过早破坏的原因。

2.3.2 正常区域

对正常区域进行动土压力数据采集,剔除因元件损坏而未能采集到的点位,得到超载情况下前后轮基层顶和路基面上的动土压力(见表 3)。

由表 3 可知:正常区域在超载作用下前轮产生

表3 超载作用下正常区域路基面和
基层顶动土压力测试结果

位置	压力盒 编号	前轮动土压力/kPa			后轮动土压力/kPa		
		最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
基层 顶面	14	0.05	0.31	0.12	0.10	2.06	0.45
	16	0.02	0.58	0.27	0.40	2.39	1.12
	17	0.19	1.34	0.72	1.20	3.46	2.20
路基 顶面	19	0.06	0.46	0.23	0.33	1.89	0.90
	20	0.27	1.43	0.64	1.71	6.08	3.53
	21	0.33	1.09	0.69	3.88	6.61	5.32
	22	0.10	0.62	0.36	0.82	2.22	1.65
	23	0.10	0.46	0.26	0.61	2.80	1.73

的动土压力在基层顶面不超过 1.34 kPa、路基顶面不超过 1.43 kPa,后轮产生的动土压力在基层顶面不超过 3.46 kPa、路基顶面不超过 6.61 kPa,后轮产生的动压力普遍为前轮的 3 倍及以上。同时,正常区域因路基压实度高,同等荷载下产生的动土压力小于压实度不足区域(约为 1/3),荷载对路基的冲击影响小。调查发现现场压实度不足区域周围水泥面板板底脱空现象比正常区域严重,且伴随唧泥病害,这是由于在车辆荷载和水作用下压实度不足区域比正常区域产生了更大沉降。

2.3.2.1 车辆荷载作用位置与动土压力的关系

对正常区域进行数据采集,根据同一横断面上 3 个土压力盒在超载状态下的测试结果,探究相同速度下汽车荷载在路基顶面不同位置产生的动应力情况,得到路基面上的动土压力(见图 5、图 6),分析车辆荷载作用位置与动土压力的关系。

由图 5、图 6 可知:车辆 6 次行驶过程中,无论是前轮还是后轮,在车辆荷载作用位置路基顶面承

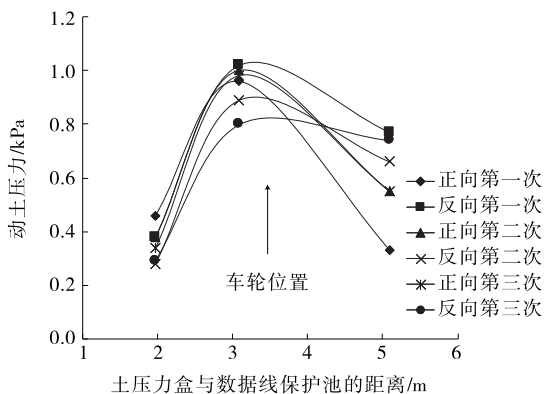


图5 超载状态下通过正常路基时前轮产生的动土压力

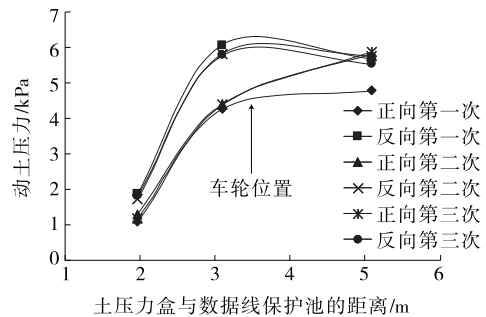


图6 超载状态下通过正常路基时后轮产生的动土压力

受的动土压力最大,沿两侧逐渐衰减,动土压力最大值约为最小值的 3 倍。调查发现现场水泥砼路面裂缝类病害大多位于轮迹带附近,这是由车辆荷载重复作用下路基沉陷所引起。

2.3.2.2 轴重与动土压力的关系

对正常区域进行数据采集,以 20# 土压力盒为例进行 5 次平行试验,探究相同速度下轴载不同时汽车荷载在路基顶面产生的动应力情况,得到路基面上后轮产生的动土压力(见图 7),分析轴重与动土压力的关系。

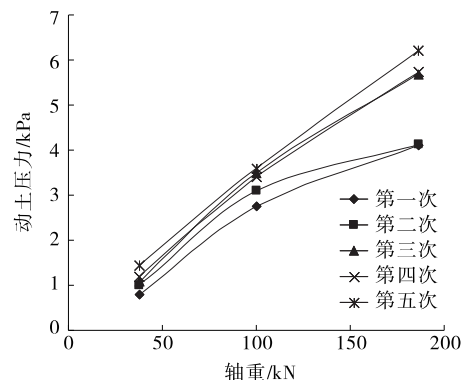


图7 不同轴重作用下后轮产生的动土压力

由图 7 可知:路基所受的动土压力与轴重相关,随轴重的增加而增加,二者近似成线性关系。

2.4 对比分析

欠压实区域 1#、2#、5#、7#、9#、10# 土压力盒与正常区域 17#、16#、14#、23#、21#、19# 一一对应。基层顶面的动土压力,1#与 17# 差值最大,其中前轮最大值相差 6.79 kPa,欠压实区域土压力最大值约为正常区域的 6 倍;后轮最大值相差 14.07 kPa,约为 5 倍。路基顶面的动土压力,7#与 23# 差值最大,其中前轮最大值相差 7.15 kPa,欠压实区域土压力最大值约为正常区域的 16 倍;后轮最大值相差 18.22 kPa,约为 7 倍。超载作用下基层顶面及路基顶面动土压力最大值与正常压实路基的测试结果

均有 5 倍及以上差距,路基压实度下降对路基顶面和基层顶面土压力的影响明显。

3 面层应力测试

3.1 测试元件布置

为分析车辆动荷载作用下面层拉应力、拉应变与荷载的关系,在路基压实度不足区域和正常区域的砼路面结构底层埋设钢筋应变计(见图 8)。

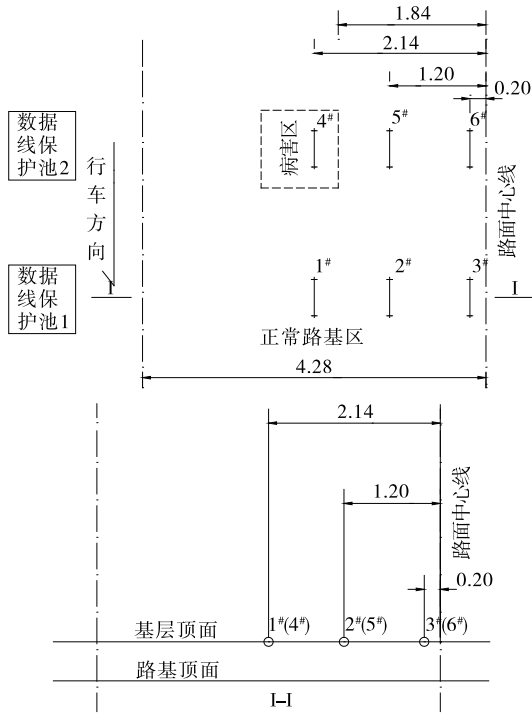


图 8 砼路面底面钢筋应变计布置示意图(单位:m)

3.2 现场试验方案

试验车辆为二轴六轮货车(其轴重情况见表 1),前后轴距为 4 m。在超载状态下以 20 km/h 的

速度来回通过 3 次进行测试。

3.3 测试结果与分析

对正常区域及压实度不足区域进行数据采集,剔除因元件损坏而未能采集到的点位,得到超载情况下砼路面面层底面产生的动应变(见表 4)。

由表 4 可知:1) 不同位置处面层底面所受应力状态不同,2# 钢筋应力计的测试结果为正值,表明该处砼面层底面受拉;3#、4#、6# 的测试结果为负值,表明该处砼面层底面受压。2) 正常区域在超载作用下前轮产生的动应变不超过 38 $\mu\epsilon$,后轮产生的动应变不超过 130.1 $\mu\epsilon$;欠压实区域前轮产生的动应变不超过 106.3 $\mu\epsilon$,后轮产生的动应变不超过 268.38 $\mu\epsilon$ 。后轮产生的动应变普遍为前轮动应变的 2 倍及以上,说明压实度不足导致路基承载能力下降,会对路面板的结构性能产生不良影响。调查发现现场压实度不足区域周围裂缝比正常区域多,这是由欠压实区域的应变大于正常区域导致不均匀沉降所引起。3) 欠压实区域 6# 钢筋应力计与正常区域 3# 对应。前轮正常区域 3# 动应变最大值为 38 $\mu\epsilon$,欠压实区域 6# 动应变最大值为 106.3 $\mu\epsilon$,相差 68.3 $\mu\epsilon$,欠压实区域的动应变最大值约为正常区域的 3 倍;后轮 3# 动应变最大值为 130.1 $\mu\epsilon$,6# 动应变最大值为 268.38 $\mu\epsilon$,相差 254.38 $\mu\epsilon$,欠压实区域的动应变最大值约为正常区域的 2 倍。超载作用下欠压实区域的动应变最大值与正常压实路基相差较大,说明路基压实度下降对砼路面面层底面的动应变影响较大。调查发现现场压实度不足区域水泥面板板底脱空现象比正常区域严重,且伴随唧泥病害,这是由在车辆荷载与水作用下压实度不足区域比正常区域产生较大沉降所致。

表 4 超载作用下正常区域及压实度不足区域砼路面面层底面的动应变

位置	应变计 编号	前轮的动应变/ $\mu\epsilon$			后轮的动应变/ $\mu\epsilon$		
		最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
正常区域	2	1.00	19.60	6.00	4.20	83.80	30.40
	3	-6.90	-38.00	-19.70	-14.00	-130.10	-87.30
欠压实区域	4	-50.09	-0.52	-5.45	-83.72	-6.08	-20.32
	6	-106.30	-1.40	-22.22	-268.38	-24.53	-107.97

4 结论

(1) 后轮产生的动土压力普遍大于前轮产生的动土压力,路基顶面的动土压力与车辆轴重成线性

正相关关系。

(2) 车辆荷载作用位置路基顶面承受的动土压力最大,沿两侧呈逐渐衰减趋势,导致裂缝类病害大
(下转第 107 页)

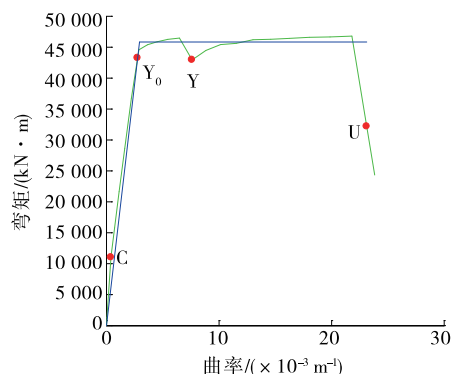


图12 4#墩V腿左的弯矩—曲率曲线

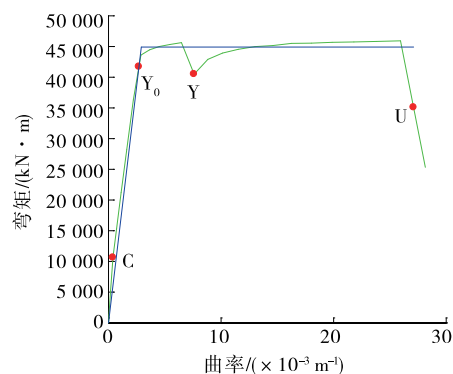


图13 4#墩V腿右的弯矩—曲率曲线

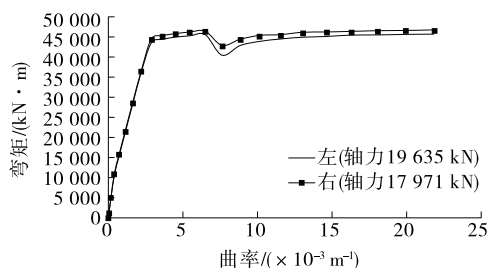


图14 4#墩V腿轴力—弯矩—曲率曲线

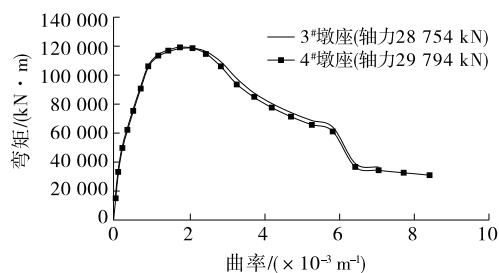


图15 3#、4#墩墩座轴力—弯矩—曲率曲线

曲率随轴力增大而减少。

参考文献:

- [1] 范立础,卓卫东.桥梁延性抗震设计[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [2] 臧博,朱东生,冯长友,等.圆钢管混凝土桥墩弯矩—曲率关系分析[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2011,30(1).
- [3] 王冲,胡文哲.圆柱形RC桥墩的弯矩—曲率曲线的研究[J].黑龙江交通科技,2015(8).
- [4] 丁发兴,张鹏,余志武,等.圆钢管混凝土截面轴力—弯矩—曲率关系实用计算方法[J].哈尔滨工业大学学报,2009,41(12).
- [5] 徐军.超高墩大跨度连续刚构桥地震响应研究[D].重庆:重庆交通大学,2012.
- [6] 长安大学桥梁工程系.MIDAS抗震帮助[R].西安:长安大学,2015.
- [7] 叶爱君,管仲国.桥梁抗震[M].北京:人民交通出版社,2011.

收稿日期:2018-05-25

(上接第99页)

都位于轮迹带处。

(3) 与正常区域相比,欠压实区域基层顶面、路基顶面动土压力偏大,最大值约为正常区域的5倍及以上;面层底面动应变偏大,最大值约为正常区域的2倍及以上。路基压实度下降对路基路面结构性能的影响较大,导致欠压实区域周围产生板底脱空及唧泥等病害。

参考文献:

- [1] 刘东海,巩树涛,魏宏云.基于实时监测的高等级公路路基压实质量快速评估[J].土木工程学报,2014,47(11).

- [2] 李筠.路基压实度对路面沉降规律的影响有限元分析[J].交通科技,2016(3).
- [3] 单凌志.高路堤欠压实区沉降特性有限元模拟分析[J].路基工程,2012(4).
- [4] 孔震宁.压实度及含水率对路基回弹模量影响规律研究[J].公路与汽运,2015(6).
- [5] 范佳.路基劣化对路面力学性能影响试验研究[J].公路工程,2017,42(3).
- [6] 李振存.在役高速公路路基性能评价及快速检测技术[D].长沙:长沙理工大学,2014.
- [7] 李又云,谢永利,刘保健.路基压实黄土动力特性的试验研究[J].岩石力学与工程学报,2009,28(5).

收稿日期:2018-09-05