

级配碎石柔性基层路用性能指标试验研究

于保阳^{1,2}, 高超¹, 齐琳³

(1.沈阳建筑大学 交通工程学院, 辽宁 沈阳 110168;2.大连海事大学 交通运输装备与海洋工程学院, 辽宁 大连 116026;
3.沈阳城市建设学院, 辽宁 沈阳 110168)

摘要:为研究级配碎石材料的路用性能,对连续型级配碎石进行动静回弹模量试验,通过试验路进行现场回弹模量测试并反推计算,同时进行室内及现场 CBR 试验。结果表明,随着作用在级配碎石材料上荷载的变化,模量呈现出较好的非线性特征,其随着荷载的增大而增大;级配碎石混合料的室内和现场回弹模量及 CBR 试验值均符合规范要求。

关键词:公路;级配碎石;柔性基层;路用性能

中图分类号:U416.2

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2018)01-0087-03

级配碎石材料具有价格低廉、施工便利等优点,在道路修建中充当着重要角色。用级配碎石铺筑的基层具有较大空隙结构,表现出很好的隔温、排水性能,还可防止反射裂缝的形成。不同气候区、不同交通等级的道路在保证排水良好的前提下,均可使用级配碎石材料修筑基层。

1 级配碎石材料的组成

级配碎石柔性基层不使用结合料粘结时,碎石颗粒本身的强度和颗粒之间的嵌挤力是基层强度形成的关键。为达到结构层较高的路用性能,需选用高质量的碎石材料,设计合理的级配,采用细致的施工工艺,保证碎石集料嵌挤均匀。

以辽宁抚顺一条级配碎石柔性基层试验路为例,其集料采用石灰岩,级配类型为连续型级配。在

室内对碎石材料进行基本物理性能试验,试验结果见表 1,均满足要求。合成级配见表 2。

表 1 级配碎石的物理性质指标

粒径/ mm	针片状 含量/%	含泥 量/%	砂当 量/%	吸水 率/%	压碎 值/%	塑性 指数
26.50	13.3	0.567	—	—	—	3.6
19.00	14.5	0.526	—	—	—	
16.00	9.1	0.423	—	—	—	
13.20	8.4	0.200	—	—	—	
9.50	10.6	0.300	—	—	19.65	
4.75	13.3	0.300	—	—	—	
3~5	—	—	138.50	—	—	
0~3	—	—	130.89	1.92	—	

表 2 连续型合成级配

级配类型	通过以下筛孔(mm)的质量百分率/%												
	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
合成级配	99.5	97.8	85	77.1	68.9	56.9	42.8	29.5	18.8	13	8.9	6.7	3.4
级配范围	100.0	95~100	78~92	65~85	57~80	45~70	30~55	20~43	13~32	9~24	6~18	3~12	0~7

级配碎石的最佳含水量和最大干密度通过击实试验得到,试验结果见表 3。根据试验结果,其最佳含水量为 4.32%,最大干密度为 2.48 g/cm³。

2 路用性能试验分析

2.1 室内回弹模量试验分析

级配碎石是一种不含结合料的松散颗粒类材料,不能像半刚性基层材料那样直接采用顶面法进

表 3 击实试验结果

试件 编号	干密度/ (g·cm ⁻³)	平均含 水量/%	试件 编号	干密度/ (g·cm ⁻³)	平均含 水量/%
1	2.44	3.97	4	2.46	4.46
2	2.46	4.37	5	2.43	4.89
3	2.48	4.53	6	2.45	3.97

行无侧限压缩试验测试抗压回弹模量,可采用文献[5]推荐的有侧限顶面法,利用空间弹性体理论修正

试筒侧限给试验结果带来的误差。试验采用 7 个试件,试验结果见表 4 和图 1。

表 4 室内回弹模量试验结果

试件编号	$\Delta l / (0.01 \text{ mm})$	$\Delta p / \text{MPa}$	E / MPa
1	19.5	0.67	361.03
2	19.0	0.68	366.85
3	18.8	0.67	394.13
4	22.3	0.68	314.53
5	21.8	0.69	342.28
6	22.8	0.68	317.36
7	21.1	0.71	366.34

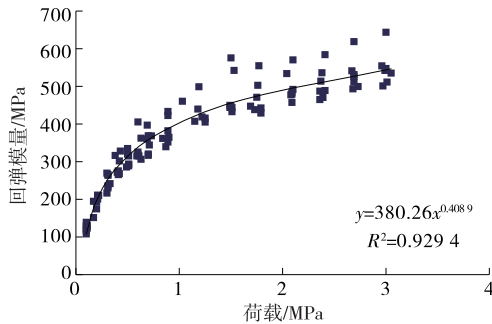


图 1 室内回弹模量试验结果

根据试验结果,试验路所用级配碎石的回弹模量均值为 351.79 MPa。图 1 表明:随着作用在级配碎石材料上荷载的变化,模量呈现出较好的非线性特征,其随着荷载的增大而增大。根据 JTG D50—2006《公路沥青路面设计规范》,基层用级配碎石的模量为 300~450 MPa,试验路采用的级配碎石的模量在推荐范围内,符合要求。

2.2 现场回弹模量试验分析

按照 JTG E60—2008《公路路基路面现场测试规程》,采用现场承载板法测定级配碎石基层路面结构的回弹模量。现场压实的级配碎石含水量和压实度检测结果见表 5。

表 5 现场压实的级配碎石含水量和压实度检测结果

试验路 桩号	含水 量/%	压实 度/%	试验路 桩号	含水 量/%	压实 度/%
K8+150	4.55	99.16	K8+000	4.65	98.19
K8+120	4.57	99.13	K7+970	4.67	98.07
K8+090	4.62	98.38	K7+940	4.54	99.21
K8+060	4.59	99.29	K7+910	4.55	98.19
K8+030	4.54	99.70			

现场实测模量是铺筑后路表综合模量,要得到

级配碎石层的模量,需对实测数据进行反推计算。利用现场承载板法检测结果反推的模量见表 6。

表 6 级配碎石现场回弹模量反推结果

试验路 桩号	回弹模量/MPa		试验路 桩号	回弹模量/MPa	
	右侧	左侧		右侧	左侧
K8+150	290.74	405.63	K8+000	354.86	313.22
K8+120	446.31	326.30	K7+970	286.35	336.94
K8+090	405.63	515.25	K7+940	274.55	251.29
K8+060	347.54	249.92	K7+910	436.03	531.53
K8+030	307.49	393.64			

根据试验结果,得试验路级配碎石的回弹模量均值为 358.47 MPa。JTG D50—2006《沥青路面设计规范》中规定碎石基层的回弹模量为 200~500 MPa,试验路级配碎石模量在该范围内,符合要求。

2.3 级配碎石动回弹模量试验分析

采用 MTS810 材料试验机,试验荷载频率取 10 Hz,荷载作用时间取 0.1 s,荷载间歇时间取 0.9 s,模拟道路承受的交通荷载。试筒内径 260 mm,筒壁厚 20 mm,筒高 180 mm;垫块直径 259 mm,高 40 mm;压头直径 50 mm(见图 2)。该尺寸下压头传递的力只在试件内部传递而不作用于筒壁,防止试筒围压影响试验结果,以最大程度模拟实际路面结构应力传递情况,保证试验结果的可信度。

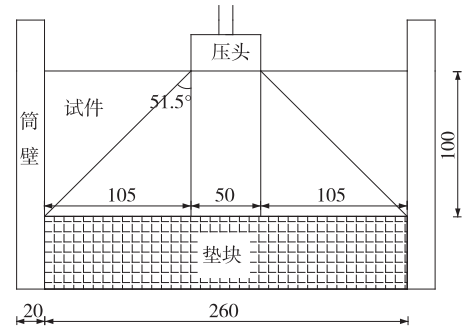


图 2 试筒尺寸示意图(单位:mm)

采用现场承载板法计算公式对回弹模量结果进行计算,记录前 100 次中最后 10 次回弹变形的平均值作为回弹变形值。级配碎石动回弹模量试验结果见表 7。

根据试验结果,计算得出试验路级配碎石的动回弹模量均值为 114.8 MPa。需指出的是,在试验过程中,试筒内碎石材料的随机分布对试验结果影响较大,与压头接触的碎石的粒径大小导致试验结果出现差异。在级配碎石动回弹模量研究中,中国

表 7 级配碎石动回弹模量试验结果

编号	第 1 组试验结果		第 2 组试验结果		第 3 组试验结果		第 4 组试验结果		第 5 组试验结果	
	$\Delta l/\text{mm}$	$\Delta p/\text{MPa}$	$\Delta l/\text{mm}$	$\Delta p/\text{MPa}$	$\Delta l/\text{mm}$	$\Delta p/\text{MPa}$	$\Delta l/\text{mm}$	$\Delta p/\text{MPa}$	$\Delta l/\text{mm}$	$\Delta p/\text{MPa}$
1	0.221	0.695	0.181	0.481	0.239	0.981	0.229	0.802	0.221	0.704
2	0.219	0.685	0.179	0.480	0.241	0.976	0.222	0.798	0.230	0.712
3	0.220	0.681	0.181	0.480	0.242	0.989	0.222	0.818	0.217	0.702
4	0.221	0.674	0.177	0.471	0.242	0.996	0.222	0.815	0.227	0.702
5	0.221	0.696	0.175	0.462	0.230	0.992	0.220	0.812	0.216	0.695
6	0.222	0.700	0.181	0.479	0.237	0.972	0.219	0.814	0.219	0.691
7	0.222	0.695	0.174	0.480	0.234	0.981	0.220	0.808	0.218	0.703
8	0.219	0.683	0.180	0.482	0.233	1.007	0.214	0.802	0.218	0.714
9	0.217	0.687	0.179	0.482	0.240	0.992	0.215	0.810	0.220	0.708
10	0.223	0.677	0.183	0.464	0.239	0.995	0.217	0.807	0.221	0.702
E/MPa	106.8		92.1		141.2		125.3		108.6	

规范没有给出标准的试验方法,不同试件成型方法及成型条件得出的试验结果存在一定差异。因此,在试验方法方面有待进一步研究,找到一种统一、规范的试验方法,以得出有价值的数

2.4 级配碎石 CBR 试验

承载比 CBR 是评定基层材料承载能力的指标。按照 JTG D50—2006《沥青路面设计规范》,用级配碎石材料修筑基层,以重型击实标准设计时, CBR 值应不小于 100%。

2.4.1 室内试验方法

根据 JTG E40—2007《公路土工试验规程》,通过承载比试验测试室内 CBR 值,结果见表 8。计算得试验路级配碎石的室内 CBR 值为 100.85%,满足 JTG D50—2006 的要求。

表 8 室内 CBR 试验结果

贯入量/mm	单位压力/kPa	贯入量/mm	单位压力/kPa
0.0	0	2.6	5 364
0.2	524	2.8	5 818
0.4	1 031	3.0	6 120
0.6	1 507	3.2	6 489
0.8	2 058	3.4	6 831
1.0	2 484	3.6	7 462
1.2	2 982	3.8	8 093
1.4	3 320	4.0	8 702
1.6	3 742	4.2	9 307
1.8	3 916	4.4	9 524
2.0	4 222	4.6	9 600
2.2	4 360	4.8	10 218
2.4	4 440	5.0	10 589
2.5	4 911		

2.4.2 现场试验方法

按照 JTG E60—2008《公路路基路面现场测试规程》中的测试方法测试试验路所用级配碎石的 CBR 值,结果见表 9。现场试验得出的 CBR 值均大于 180%,符合规范要求。

表 9 K7+900—K8+200 段现场 CBR 值检测结果

试验路 桩号	CBR 值/%		试验路 桩号	CBR 值/%	
	右侧	左侧		右侧	左侧
K8+150	192.30	197.64	K8+000	212.37	196.23
K8+120	207.15	203.24	K7+970	186.74	190.13
K8+090	188.43	189.59	K7+940	192.50	184.26
K8+060	183.08	199.05	K7+910	190.13	204.08
K8+030	207.18	184.26			

3 结论

(1) 随着作用在级配碎石材料上荷载的变化,模量呈现出较好的非线性特征,其随荷载的增大而增大,试验路所用集料及级配构成的级配碎石混合料无论室内还是现场均能达到较高的回弹模量,其室内静回弹模量为 351.79 MPa,现场模量为 358.47 MPa,在规范要求的 340~450 MPa 范围内,满足规范要求,级配碎石材料修筑的沥青路面柔性基层具有较好的路用性能。

(2) 试验路所用级配碎石的室内试验和现场试验 CBR 值均大于 100%,且现场试验值高于室内试验值,满足 JTGD50—2006《沥青路面设计规范》的

(下转第 93 页)

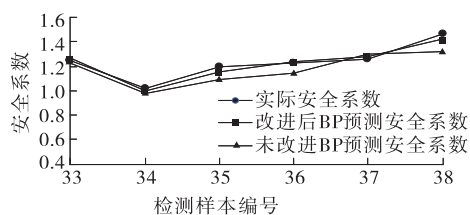


图2 边坡安全系数对比

由图2可知:未改进的BP神经网络误差大,改进后的BP神经网络预测安全系数更接近实际值,准确率更高,说明引入动量项和自适应学习率可提高预测模型的准确度。

将该改进模型预测方法用于安化某高速公路右侧挖方边坡稳定性预测,通过分析该边坡的实际土体参数,得出安全系数为1.1203,状态为破坏。预测结果与边坡的实际情况相吻合,说明该模型用于预测边坡稳定性可行,对实际工程具有借鉴价值。边坡预测稳定性系数小于边坡安全系数1.2,建议对该边坡采用抗滑桩或抗滑挡墙进行治理,防止边坡破坏危及道路施工和运营安全。

3 结论

(1) 边坡工程稳定性预测分析中,采用引入动量项和自适应学习率的改进BP神经网络的收敛速度明显加快,可节省时间,且其预测误差更小,准确度更高。

(2) 改进预测模型用于边坡稳定性预测可行,可为工程设计和施工提供参考,便于对边坡及时进行处理。

(3) 安化某高速公路边坡的预测稳定系数为1.12,小于边坡安全系数1.2,建议采用抗滑桩或抗滑挡墙及时对边坡进行治理。

参考文献:

- [1] 栾婷婷,谢振华,张雪冬.露天矿山高陡边坡稳定性分析及滑坡预警技术[J].中国安全生产科学技术,2013,9(4).
- [2] 王晓东,陈守龙.路基边坡稳定性有限元数值分析[J].安徽建筑,2011,18(1).
- [3] 郭钟群,余金勇,彭道强,等.基于BP神经网络的边坡稳定性分析[J].铜业工程,2013(6).
- [4] 陈建宏,郑荣凯,陈浩.基于PCA和BP神经网络边坡稳定性分析[J].中国安全生产科学技术,2014,10(5).
- [5] 程伟华,乔登攀,张磊,等.BP神经网络在露天矿边坡稳定性分析中的应用[J].矿冶,2012,21(2).
- [6] 王小川,史峰,郁磊,等.MATLAB神经网络43个案例分析[M].北京:北京航空航天大学出版社,2011.
- [7] 张月琴,刘翔,孙先洋.一种改进的BP神经网络算法与应用[J].计算机技术与发展,2012,22(8).
- [8] 刘莉,刘强,刘大鹏.引入动量项的变步长BP神经网络预测算法[J].探测与控制学报,2015,37(5).
- [9] 张华节,李瑾.学习速率连续变化的BP神经网络算法[J].四川兵工学报,2011,32(4).
- [10] 付义祥,刘世凯,刘大鹏.RBF神经网络在边坡岩体稳定性中的预测研究[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2003,27(2).
- [11] JTG E40—2007,公路土工试验规程[S].

收稿日期:2017—05—16

(上接第89页)

相关要求。

参考文献:

- [1] 何敏.级配碎石基层沥青路面受力特性研究[D].西安:长安大学,2009.
- [2] 李君.高等级公路柔性基层级配碎石的研究[D].大连:大连理工大学,2004.
- [3] C P Valkering, F D R Stapel, J Li jzenga. The shell pavement design method on a personal computer[A]. Proceedings of 7th International Conference on Asphalt Pavement[C].1992.
- [4] 王修山.级配碎石沥青路面材料与结构特性研究[D].西安:长安大学,2010.
- [5] 钟梦武,吴善周.级配碎石回弹模量试验方法研究[J].公路,2007(6).
- [6] JTG D50—2006,公路沥青路面设计规范[S].
- [7] JTG E60—2008,公路路基路面现场测试规程[S].
- [8] 柳音.级配碎石柔性基层性能试验研究[D].重庆:重庆交通大学,2008.
- [9] JTG E40—2007,公路土工试验规程[S].
- [10] 陈艳琼.级配碎石柔性基层路用性能控制[J].福建建材,2012(11).
- [11] 郝丕琳.辽宁省普通公路沥青路面级配碎石基层的路用性能研究[D].沈阳:沈阳建筑大学,2011.
- [12] 周卫峰,李彦伟,张秀丽,等.基于振动成型的级配碎石路用性能及设计标准[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2009,28(3).

收稿日期:2017—05—29