

路基回弹模量检测方法对比研究

邱帅华

(长沙华南土木工程监理有限公司, 湖南 长沙 410017)

摘要: 选取碎石土路基和黄土路基, 研究贝克曼梁法、承载板法、落锤式弯沉仪(FWD)法和动态圆锥贯入仪法相互之间的转换关系, 并构建相应回归模型。研究发现, 不同检测方法测得的数据变化趋势相近, 具有良好的相关性; FWD 法能对路基质量作出准确评价。

关键词: 公路; 路基; 回弹模量; 贝克曼梁法; 承载板法; 落锤式弯沉仪(FWD)法; 动态圆锥贯入仪法

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)02-0062-03

路基作为路面结构的基础, 其稳定性与耐久性决定路面的使用质量。目前, 道路工程中用回弹模量表征路基的强度和变形能力, 它是指导路基路面厚度设计与施工质量控制的重要指标之一, 准确测试回弹模量对路基质量进行评价非常重要。孔震宁基于室内承载板法测定了红黏土路基回弹模量; 唐亭山等通过现场承载板试验建立了土基回弹模量与地基反应模量的回归模型; 刘梧桐基于便携式落锤弯沉仪(FWD)法检测了 3 种路基填料不同压实度的回弹模量, 并建立了回弹模量与压实度的回归关系; 邓子健等基于刚性承载板法建立了路基回弹模量理论模型并论证了其可行性; 邹文刚介绍了常用路基回弹模量检测方法; 段丹军等采用 FWD 检测路基动弹性模量并分析了其可行性; 栾建平对承载板法和贝克曼梁法测试红砂岩路基回弹模量进行了对比分析。以上成果多是基于传统方法研究路基回弹模量, 且现行规范对于不同路基土质、环境温度及施工工艺未给出明确要求。另外, 动态圆锥贯入仪法等新方法得到广泛应用, 其检测结果与路基实际承载力相符, 却未与传统方法建立转换关系以形成统一的指导意见。为此, 该文通过对比分析贝克曼梁法、承载板法、FWD 法、动态圆锥贯入仪法对碎石土路基和黄土路基的检测结果, 建立相应回归模型, 得出不同检测指标的转换关系, 为现场路基质量检测提供指导。

1 路基回弹模量检测方法

1.1 贝克曼梁法

贝克曼梁法因其应用范围广、操作简便, 是规范中设定的静态检测方法, 可较好地表征各类路基的

整体强度。它通过百分表两次读数之差反映检测点的竖向变形量, 即回弹弯沉大小, 根据回弹弯沉计算式得出回弹模量。但受车辆行驶速度、轮胎压力等因素影响, 其测值会产生误差。

1.2 承载板法

承载板法与贝克曼梁法相近, 检测点荷载卸除后用贝克曼梁测试该点的回弹变形量。现场测定路基回弹模量时, 一般采用刚性承载板, 逐级加载 0.04 MPa、卸载稳定 1 min 后读取观测值, 直至回弹变形量超过 1 mm 时停止加载。该测试方法较简单, 但检测效率较低, 存在人为误差。

1.3 FWD 法

FWD 法通过压力和位移传感器记录相关数据并计算动态回弹模量, 检测速度快, 且能实现无损检测。检测过程中, 考虑路基填料和环境温度等因素对检测结果的影响, 需对弯沉值进行修正。

1.4 动态圆锥贯入仪法

动态圆锥贯入仪法通过与加州承载比 CBR 和回弹模量建立联系, 对路基压实效果进行快速评价, 灌入路基单位深度所需的锤击次数越多, 则其压实效果越好。目前圆锥尖角度 60° 的动态圆锥贯入仪应用普遍, 该方法确定的指标有贯入度 PR、CBR 及回弹模量 E。

2 试验方案

2.1 试验材料

(1) 碎石土。碎石土是粒径大于 5 mm 的颗粒含量超过总质量 50% 的土石混合物, 相比于细粒土, 其强度较高、变形量小, 广泛应用于路基填筑中。但其粒径范围广, 性质差异大。试验土样取至某工

程路基填筑现场,含石量为70%,级配组成见表1。通过筛分试验计算得其不均匀系数为15.7,曲率系数为1.64,土样级配良好,属于不均匀土,适用于路基填筑。

(2)黄土。黄土取自某高速公路路段,其技术指标见表2。

表1 碎石土筛分试验结果

筛孔尺寸/mm	通过率/%	筛孔尺寸/mm	通过率/%
60	100.0	10	51.6
40	83.2	5	31.4
25	74.8	<5	—
16	58.7		

表2 黄土的技术指标

取土深度/m	密度/(g·cm ⁻³)	含水率/%	液限/%	塑限/%	塑性指数	粘聚力/kPa	内摩擦角/(°)
0.3	1.49	7.2	23.76	15.22	8.54	42.3	25.8
0.8	1.52	7.9	22.47	14.68	7.79	27.6	25.1

2.2 试验方法

(1)碎石土路基。选取代表性测点,分别采用贝克曼梁法、承载板法和FWD法检测现场碎石土路基回弹模量,对比分析各方法的检测结果,建立相应回归模型。

(2)黄土路基。选取代表性测点,分别采用承载板法、FWD法和动态圆锥贯入仪法对现场黄土路基回弹模量进行检测,对各方法的检测结果进行差异分析,建立相应回归模型。

3 试验结果分析

3.1 碎石土路基回弹模量

3.1.1 现场检测结果

采用贝克曼梁法、承载板法和FWD法检测现场碎石土路基回弹模量,结果见表3、图1。

表3 碎石土路基回弹模量检测结果

检测方法	回弹模量/MPa			方差
	最小值	最大值	平均值	
承载板法 E_0	146.2	201.3	176.1	16.1
FWD法 E_1	106.8	174.0	138.3	18.4
贝克曼梁法 E_p	126.2	192.2	161.8	17.2

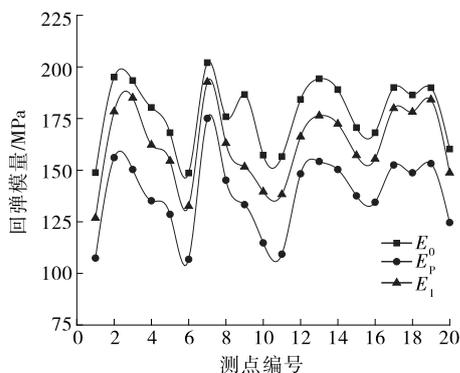


图1 不同检测方法下碎石土路基回弹模量

由表3和图1可知:1)承载板法测得的碎石土路基回弹模量最大,数据离散性较小;贝克曼梁法次之。2)3种方法检测结果的变化趋势相近,具有良好的相关性。

3.1.2 相关性分析

分别采用线性、对数和指数回归模型对检测点的 E_1 和 E_p 进行相关性分析,结果见表4。由表4可知:1)碎石土路基用对数回归模型反映 E_1 和 E_p 之间的关系最好,相关系数为0.7966;线性回归模型次之。2)3种回归模型的相关系数均超过0.65,说明3种检测方法的检测结果具有较好的转换关系,其中FWD法和和贝克曼梁法检测结果的相关性最大。

表4 碎石土路基 E_1 和 E_p 的相关性

回归模型	回归方程	相关系数
线性模型	$Y=0.6041X+91.258$	0.7284
对数模型	$Y=90.12\ln X-267.47$	0.7966
指数模型	$Y=107.49e^{0.0031X}$	0.6823

分别采用线性、对数和指数回归模型对贝克曼梁法测得的弯沉 L 与 E_0 和 E_p 进行模拟,分析结果见表5。

表5 碎石土路基弯沉 L 与回弹模量 E 的相关性

回归模型	模量 E	回归方程	相关系数
线性模型	E_0	$Y=1.8724X+283.89$	0.8546
	E_p	$Y=-2.2658X+264.22$	0.9385
对数模型	E_0	$Y=110.43\ln X+622.73$	0.8721
	E_p	$Y=103.12\ln X+514.24$	0.8704
指数模型	E_0	$Y=329.46e^{-0.009X}$	0.8534
	E_p	$Y=338.416e^{-0.014X}$	0.8874

由表5可知:1)碎石土路基弯沉 L 与 E_0 和 E_p 的相关性良好,相关系数均大于0.85。其中 L 与 E_0

的对数回归模型的相关性最好,线性模型次之; L 与 E_p 的线性回归模型的相关性最好,指数模型次之。

2) 采用相同回归模型模拟, L 与 E_p 之间的相关性高于 L 与 E_0 的相关性,说明FWD法测量精度高于承载板法。

3.2 黄土路基回弹模量

根据文献[7],采用FWD测定的路基回弹模量与落锤下落高度有关,回弹模量随下落高度增加呈线性趋势减少。结合现场路基土质和测量条件,落锤下落高度采用70 cm。

3.2.1 现场检测结果

采用承载板法和FWD法检测现场黄土路基的静、动回弹模量,结果见图2。由图2可知:1) FWD法和承载板法测得的黄土路基回弹模量变化趋势相近,说明两者具有良好的相关性,可相互转换,线性拟合关系见图3。2) FWD法测得的回弹模量大于承载板法。

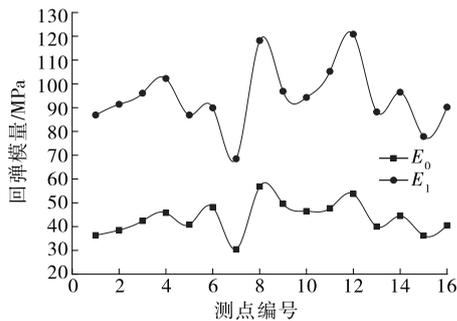


图2 不同检测方法下黄土路基回弹模量

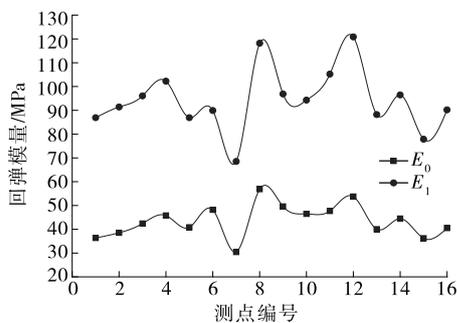


图3 不同检测方法下黄土路基回弹模量变化关系

由图3可知:FWD法与承载板法确定的黄土路基回弹模量之间具有良好的线性关系,相关系数为0.827 1。

3.2.2 FWD法与动态圆锥贯入仪法相关性分析

黄土路基贯入深度取0.3 m。FWD法测定的黄土路基弯沉值与动态圆锥贯入仪法确定的贯入度之间的相关性分析结果见表6。

表6 黄土路基弯沉值与贯入度的相关性

回归模型	回归方程	相关系数
线性模型	$Y=0.026\ 8X+2.342\ 2$	0.874 7
抛物线模型	$Y=3.376\ 9X^2-28.14X+209.43$	0.887 1

由表6可知:黄土路基弯沉值与贯入度的相关性良好,线性和抛物线回归模型的相关系数相近,可同时采用这两种回归方程表征两者之间的转换关系。这也说明贯入度可作为检测路基施工质量的控制指标。

4 结论

该文采用贝克曼梁法、承载板法、FWD法及动态圆锥贯入仪法分别对碎石土、黄土路基质量进行检测,得到以下结论:

(1) 对于碎石土路基,贝克曼梁法、承载板法和FWD法测得的回弹模量变化趋势相近,具有良好的相关性,其中FWD法测得的回弹模量和贝克曼梁法测得的回弹模量之间建立的对数模型的相关性最好,相关系数为0.796 6。

(2) 对于黄土路基,承载板法和FWD法测得的回弹模量具有良好的转换关系;FWD法测定的弯沉值与动态圆锥贯入仪法确定的贯入度之间的关系可通过线性或抛物线回归模型表示。

(3) FWD法可准确评价路基质量。

参考文献:

- [1] 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).
- [2] 唐亭山,张海泉.软粘土路基上土基回弹模量与地基反应模量关系研究[J].公路交通科技:应用技术版,2016(8).
- [3] 刘梧桐.压实度对路基回弹模量的影响分析[J].交通标准化,2009(增刊1).
- [4] 邓子健,齐峰.路基回弹模量的快速检测方法[J].山东交通学院学报,2006,14(2).
- [5] 邹文刚.公路路基回弹模量试验检测技术分析[J].黑龙江交通科技,2015(3).
- [6] 段丹军,查旭东,张起森.应用便携式落锤弯沉仪测定路基回弹模量[J].交通运输工程学报,2004,4(4).
- [7] 栾建平.红砂岩路基回弹模量现场对比试验研究[J].中外公路,2008,28(6).
- [8] 王智明.不同测试方法下碎石土、黄土路基模量对比研究[D].西安:长安大学,2017.