

Discussion on the Method of Using the Multi-Trace Transient Surface Wave to Evaluate the Filling Quality of Road and Bridge Transition Section

Wendong Tang¹, Xu Wang², Jian Zhu²

¹Architectural Research and Design Institute of Anhui Province, Hefei Anhui

²Geotechnical Engineering Center, Shandong University, Jinan Shandong

Email: mingji1991@126.com

Received: Oct. 21st, 2016; accepted: Nov. 8th, 2016; published: Nov. 11th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Compaction degree is always used as the evaluation index in the quality evaluation of the filling quality of railway or highway subgrade. But this index is not suitable for the roadbed which is made of graded crushed stone. Based on the theoretical derivation, the relationship between the porosity, the coefficient of the subgrade and the surface wave velocity is deducted in this paper. And thus a function that describes the relationship between the wave velocity, the porosity and the coefficient of the subgrade was proposed by combining the least square method with the measured data of surface wave velocity. And through the contrast between the indoor and outdoor calibration curve, a method for analysis of the quality of roadbed which is made of graded crushed stone in road and bridge transition section is put forward.

Keywords

Subgrade, Filling Quality, Compaction Degree, Porosity, Subgrade Coefficient, Surface Wave Velocity

多道瞬态面波评价路桥过渡段填筑质量方法探讨

唐文栋¹, 王旭², 朱建²

¹安徽省建筑科学研究设计院, 安徽 合肥

²山东大学岩土工程中心, 山东 济南

Email: mingji1991@126.com

收稿日期: 2016年10月21日; 录用日期: 2016年11月8日; 发布日期: 2016年11月11日

摘要

铁路或公路路基填筑质量评定多引用压实度作为评判指标, 但该指标对于填料为级配碎石的路基不适用。本文基于理论推导获得孔隙率和地基系数与面波波速之间的关系式, 进而结合采用最小二乘法拟合的现场面波波速探测数据, 建立了波速与孔隙率、地基系数之间的关系, 并通过与室内外实验得出的二者的标定曲线对比, 提出了一种对级配碎石填料路桥过渡段进行填筑质量评估分析的方法。

关键词

路基, 填筑质量, 压实度, 孔隙率, 地基系数, 面波波速

1. 引言

在公路或铁路桥梁的建设中, 刚性桥台和柔性路堤一般采用刚度不同的材料分别进行填筑, 此部位我们称之为路桥过渡段。在路桥过渡段中竖向刚度上的突变会导致铁路列车经过时发生不规则的振动, 公路车辆则容易引起“桥头跳车”现象[1]。除了造成乘客的不舒适感, 严重可能造成车辆的损坏, 甚至事故。因此, 在过渡段修建过程中应最大限度地减少路桥间的沉降差, 即减小刚性桥台和柔性路堤的塑性变形差, 实现平稳过渡。为保证达到上述目标, 我们一般在地基条件、软基处理方法、填料选择、压实标准、质量检测等方面采取措施, 其中, 质量检测因其作为反映最终处理效果的最直接的评判标准[2]显得尤为重要。目前, 控制路基填筑质量的检测指标主要有: 孔隙率 n 、压实度 K 、地基系数 K_{30} 、动态变形模量 E_{vd} 和静态二次变形模量 E_{v2} 等。其中, 压实度是在工程中最经常采用的监测指标, 测定压实度的常规检测方法有挖坑灌砂法[3]、核子密度仪法[4]、环刀法、静力贯入法[5]等, 在填筑厚度较薄, 集料粒径小的路基现场的压实质量检测中, 压实度具有较好的适用性[6], 但对于强度指标要求比较严格的工程如高速铁路工程, 仅以压实度和孔隙率来评判填土的压实质量显然是不足以满足实际要求的, 因此许多国家地区采用以强度或变形等指标作为衡量标准, 即所谓的“抗力检测法”, 其参数为地基系数 K_{30} 、动态变形模量 E_{vd} 和静态二次变形模量 E_{v2} 等。该方法主要在路基填筑时开展, 需要对每一层填料分别进行试验, 试验步骤较为繁琐, 且由于是点-点检测, 检测数据多具有孤立性, 无法反映路基本体的整体性填筑效果。而波动测试技术具有测距大、成本低、操作简单[7]等特点。随着工艺的日趋成熟, 波动测试技术被越来越多的应用到岩土工程领域, 其中比较常用的是地震面波法, 该方法以面波速度值 V_R 、频散曲线和速度等值线等为参数对路基本体、基床等进行整体评价[8], 该方法不存在传统检测方法中各检测点相互孤立、不连续的问题, 因此在评测路基填筑的均匀性、基底的换填处理质量、碾压压实度等方面具有较大优势, 从而能够更为准确的界定不达标区域的范围, 达到精确判断路基填筑质量的目的。此外, 多道瞬态面波在数据采集上也具有传统检测方法所不具备的优势, 其所采用的以排列的形式采集数据的方法能够简便、快速的收集到更为丰富、全面的数据, 呈现结果也更加直观, 为路基填筑质量评价提供了有效的技术支撑。本文结合实际工程中的级配碎石填料路桥过渡段, 利用测试获得的数据和

理论推导获得的公式, 采用最小二乘法, 建立孔隙率 n 及地基系数 K_{30} 与波速 V_r 之间的对应关系, 并以获得的标定曲线为标准来衡量路基的压实质量, 对该工程级配碎石填料路桥过渡段进行填筑质量评估分析。

2. 瞬态面波法检测原理

一般来说, 岩土体的物理力学性质是与瑞雷波的传播速度和频散特性相关的, 我们可以根据岩土体的这一特性利用瑞雷波对岩土体进行划分、研究其工程性质, 这种物理勘探手法就是瞬态面波法[9], 也成为瑞雷面波法。瑞雷面波法作为一种岩土原位波动测试技术, 对路桥过渡段填筑评价主要是利用了瑞雷波的两个特性: 1) 其传播速度与各分层介质的强度和压实性相关; 2) 在不同介质中传播时瑞雷波具有频散特性。利用上述特性可以分析出路桥过渡段填筑分层情况以及各填层的地基系数、孔隙率等参数, 进而评价路桥过渡段的填筑效果。

瑞雷面波属于弹性波, 相对于纵波和横波而言, 在单次激振中, 约可达到全部能量的 67%, 约是纵波能量的 9.5 倍、横波能量的 2.5 倍。因此, 面波具有分辨率高、能量强、衰减速度慢等特点。理论上讲, 面波在单一均质介质中传播时, 不会发生频散, 但由于路桥过渡段填筑材料并非均匀, 面波在不均匀介质中传播时会发生频散, 对应的频散曲线会在相应分层深度处出现“之”形拐曲甚至离散, 从而可获取相应填层的分层界面及对应的面波波速[10]。

3. 评判标准及相应公式

路桥过渡段要求竖向刚度渐进变化, 填料多采用颗粒粒径较大的级配碎石, 因此采用压实度指标来评判该填料填筑质量则误差较大, 目前针对粗粒径碎石填筑质量评价主要采用地基系数 K_{30} 及孔隙率 n 这两个指标。

3.1. 孔隙率与面波波速之间关系

已知密度 ρ 与面波波速 V_r 之间关系:

$$\rho = aV_r^b \quad (1)$$

对于三相土体来说, 土体的孔隙率可表示为:

$$n = 1 - \frac{\rho}{\rho_s(1 + \omega)} \quad (2)$$

其中: n 表示孔隙率;

ρ 表示压实后一定含水量的土体密度;

ρ_s 表示级配碎石的颗粒密度;

ω 表示含水量。

由式(1)和式(2)得式(3):

$$(1 - n) = \frac{a}{\rho_s(1 + \omega)} V_r^b \quad (3)$$

式(3)表明, 孔隙率与土体的颗粒密度、含水量及相应的面波波速具有一定的相关性。

3.2. 地基系数 K_{30} 与面波波速之间的关系

假定经过碾压后的级配碎石面层处于弹性状态, 根据《铁路工程土工试验规程》(TB10102-2004)经验公式, 有:

当填料为级配碎石时,

$$K_{30} = 3.49E_{vd} + 14.4 \quad (4)$$

其中: K_{30} 表示地基系数;

E_{vd} 表示动变形模量, 基于弹性假设, 该变形模量与动弹性模量 E_d 相同。

根据统计资料表明, 横波与瑞雷波(面波)之间的关系为:

$$V_r = \frac{0.87 + 1.12\mu}{1 + \mu} V_s \quad (5)$$

其中: V_r 表示面波波速;

μ 表示级配碎石层的泊松比;

V_s 表示横波波速。

测量过程中采用瞬态面波, 因此有下式:

$$V_s = \sqrt{\frac{E_d}{2\rho(1 + \mu_d)}} \quad (6)$$

其中: V_s 表示横波波速;

E_d 表示动弹性模量, 也就是式(5)中的动变形模量;

ρ 表示级配碎石的密度;

μ_d 表示动泊松比, 与静泊松比 μ 很接近。

对于级配碎石面层来说, 由公式(1)、(4)、(5)和(6)可知:

$$\frac{6.98(1 + \mu)^2(1 + \mu_d)}{(0.87 + 1.12\mu)} aV_r^{b+2} = K_{30} - 14.4 \quad (7)$$

令: $a_1 = \frac{6.98(1 + \mu)^2(1 + \mu_d)}{(0.87 + 1.12\mu)}$; $b_1 = b + 2$; 则上式可变为:

$$a_1V_r^{b_1} = K_{30} - 14.4 \quad (8)$$

式(8)表明, 地基系数主要与动静波速比及面波波速相关。

4. 讨论

压实度是常用的评价路基填筑质量的指标, 但对于填料多为级配碎石的填筑路基, 压实度的测量难度和准度降低, 因此, 考虑采用地基系数和孔隙率两个易于准确测量的指标来评价该类型路基填筑质量。本文通过现场多道瞬态面波实验获得波速, 并推导获得了孔隙率、地基系数与面波波速之间的关系, 还利用最小二乘法拟合得到了孔隙率、地基系数与面波波速的标定曲线, 并以《铁路路基工程施工质量验收标准》为标准对该类型填料下路基填筑质量进行判断。

参考文献 (References)

- [1] 刘汉龙. 岩土工程技术创新方法与实践[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(1): 34-58.
- [2] 柴贺军, 陈谦应, 孔祥臣, 等. 土石混填路基修筑技术研究综述[J]. 岩土力学, 2004, 25(6): 1005-1010.
- [3] 邓小文, 蔡迎春, 郭成超. 灌砂法检测高速公路路基压实度的几点体会[J]. 路基工程, 2007(6): 142-143.
- [4] 王北水. MC-3 型核子仪在公路检测中的若干影响因素及对应措施[J]. 中南公路工程, 2002, 27(2): 90-92.
- [5] 刘丽萍, 折学森. 山区土石料压实标准及其应用[J]. 土木工程学报, 2006, 39(2): 122-125.

-
- [6] 韦刚, 赵明阶, 黄卫东, 吴国雄. 土石路堤模型试验及压实度的波动测试[J]. 重庆交通学院学报(自然科学版), 2004, 23(4): 49-53.
- [7] 周军平, 汪魁, 刘运来. 面波勘探方法在填方路基压实度质量检测中的应用[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2013, 32(1): 50-53.
- [8] 何智杰. 多道瞬态面波在路基填筑质量评价中的应用[J]. 铁道勘察, 2013, 39(3): 35-37.
- [9] 张敬沛, 黄腾, 李青松. 瞬态面波法在软基处理检测中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2006, 3(3): 192-196.
- [10] 陈洪杰. 面波技术在高铁临近既有铁路路基检测中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2012, 9(1): 17-20.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org