

适用于固化渣土路基的智能压实技术应用研究

郑晓光,刘东亮,水亮亮,陈亚杰

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要: 固化工程渣土是不良土体资源化利用的有效手段。为保障固化渣土的压实质量控制效果,针对传统压实检测手段时效性差而固化渣土路基实时性需求高的问题,依托某主干道路,开展固化渣土路基的智能压实应用实践,建立路基动态变形模量 E_{vd} 与智能压实指标的相关关系。结果表明,智能压实指标 CMV 、 CCV 、 E_{vib} 相关系数高于 0.7,均适用于固化渣土路基的压实控制; E_{vib} 与路基动态变形模量 E_{vd} 的相关系数可达 0.844,为优选智能压实指标;试验段的压实程度与压实均匀性良好。

关键词: 固化渣土;路基;智能压实;应用

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)08-0221-04

0 引言

当前,工程渣土固化以后用作路基是不良土体利用的有效手段^[1-2]。许多研究者提出多种有效提高各类土体强度的固化方案。但固化渣土路基的实际应用效果不仅取决于固化方案,还受到现场压实质量控制的显著影响。渣土材料离散性大,固化渣土路基压实质量控制是保证固化渣土应用效果和提高路基稳定性的重要控制手段。对于固化渣土路基,传统压实检测手段存在一个最大的问题——时效性差,无法实时获得:当检测得到压实效果时,固化渣土已形成部分强度,无法补压或补压效果差,甚至补压可能造成最终强度的下降。

可以实时获取路基压实状态的压实技术就成为固化渣土路基应用的必要组件。近年来,国内外很多研究机构相继开发的路基智能压实检测系统就符合这个要求,且同时避免了传统检测指标的其他缺点^[3-4]。智能压实系统通过采集振动压路机的振动轮加速度信号,计算得到智能压实指标(ICMV),将该值作为路基压实质量的控制标准,可实时检测压实效果,提高路基压实质量的检测水平和效率^[5-6]。智能压实技术已应用于沥青材料、路基普通填土等领域^[7-11],但未应用于固化渣土路基。

收稿日期: 2024-03-18

基金项目: 上海市 2021 年度“科技创新行动计划”优秀学术/技术带头人计划项目(21XD1434200)

作者简介: 郑晓光(1978—),男,博士,教授级高级工程师,从事低碳道路、固废利用、海绵城市等研究工作。

本文依托某主干道路的固化渣土路基的智能压实技术应用,建立与传统压实检测指标的线性相关关系,优选与原位检测指标相关性高的智能压实指标,反算压实控制指标,实现固化渣土路基的实时压实质量控制与施工反馈,以提高渣土路基质量均匀性。

1 现场工程概况

以某主干道路为依托,设置智能压实试验段。试验段长约 70 m,宽约 20 m。路基类型为厂拌固化工程渣土路基,每层填筑厚度为 30 cm。

1.1 试验段工况

试验段采用 6% 固化剂掺量的固化工程渣土进行填筑。按照《公路土工试验规程》(JTG 3430—2020),对固化工程渣土的基本特性进行分析(见表 1)。试验具体包括界限含水率试验、筛分试验、击实试验和天然含水率测试。击实试验采用重型击实试验,击实曲线如图 1(a)所示,最大干密度为 1.71 g/cm³,最佳含水率为 18.5%。

表 1 工程渣土基本特性

$\gamma_{干,max}/(g \cdot cm^{-3})$	OMC/%	w_L	w_p	I_p	土体命名
1.71	18.5	18.9	29.7	10.8	含砂低液限粉土 MLS

1.2 压实机械参数

试验段采用同一台压路机进行振动碾压,压路机相关参数见表 2。工作质量为 20 t,压实时振动频率为

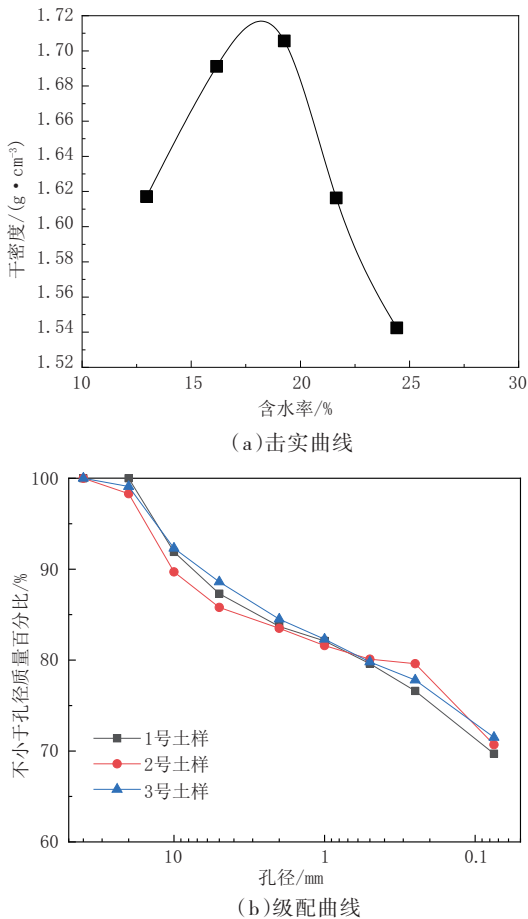


图1 固化工程渣土的基本特性

33 Hz, 激振力为 210 kN, 碾压行驶速度约 3 km/h。

表2 压实机械参数

项目	参数值	项目	参数值
压实宽度/mm	2 130	激振力/kN	210
长/mm	6 450	振幅/mm	1.3
宽/mm	2 340	振动频率/Hz	33
高/mm	3 150	工作质量/kg	20 000
额定功率/kW	132		

1.3 智能压实设备

智能压实设备由定位系统、显示系统和采集系统三部分组成,如图2所示。采集系统为固定于振动轮的加速度传感器,可实时采集振动轮垂直方向的加速度信号。定位系统为GPS,可实时采集压路机的位置和速度信息,精度达厘米级。显示系统为工业平板及其内置的智能压实软件和算法,可实时显示当前不同位置的压实状况。

1.4 智能压实试验方案

根据现场实际情况,选取试验段长 70 m 的路段进行智能压实试验。试验段智能压实试验的步骤为:(1)启动压路机对试验段静压两遍,振动压实 4 遍。



图2 固化渣土路基智能压实设备示意图

(2)划分 3 个条带,条带以 8 m 间隔划分测点,每个条带 8 个点,测点通过喷漆定位,测点位置如图3所示。(3)开启智能压实设备,沿 3 个条带进行压实。经过测点时,记录时间点。(4)对所有测点进行原位测试,原位测试采用便携式落锤弯沉仪测定动态模量 E_{vd} 。(5)对所有智能压实指标与现场原位测试指标建立相关关系,计算相关系数,比选得到优选智能压实指标。

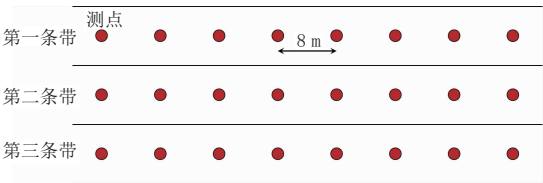


图3 智能压实试验点位布设示意图



图4 现场采用 PFWD 测量动态模量 E_{vd}

智能压实设备采集的智能压实指标包括 CMV、CCV、 E_{vib} 。其中,CMV 和 CCV 为经验类的频域智能压实指标, E_{vib} 为力学类智能压实指标。计算公式如下所示^[12-14]。

$$CMV = C \frac{A_1}{A_0} \quad (1)$$

$$CCV = \left[\frac{A(0.5\Omega) + A(1.5\Omega) + A(2.5\Omega) + A(3\Omega)}{A(2.5\Omega) + A(3\Omega)} \right] \times 100 \quad (2)$$

式中: A_1 为加速度一次谐波分量的幅值; A_0 为加速度基频的幅值; C 为比例系数,一般取值为 300; $A(i\Omega)$ 为 $i(i=0.5, 1.5, 2.5, 3)$ 倍基频下对应的加速度幅值。

$$b = \sqrt{\frac{16}{\pi} \cdot \frac{R(1-v^2)}{E_{vib}} \cdot \frac{F_s}{L}} \quad (3)$$

$$E_{vib} = \frac{1-v^2}{z_d} \cdot \frac{F_s}{L} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \left(1.8864 + \ln \frac{L}{b} \right) \quad (4)$$

式中: b 为振动轮与土体的接触宽度; R 为振动轮半径; L 为振动轮的长度; z_d 为土体的竖向位移。

2 智能压实试验结果与讨论

2.1 相关关系建立

根据现场试验,采集相关智能压实指标与原位检测指标,根据智能压实设备通过测点的时间进行匹配,采用最小二乘法计算进行回归,计算相关系数与线性相关关系,得到3种智能压实指标与路基动态模量 E_{vd} 的相关性。相关性分析结果如图5所示。

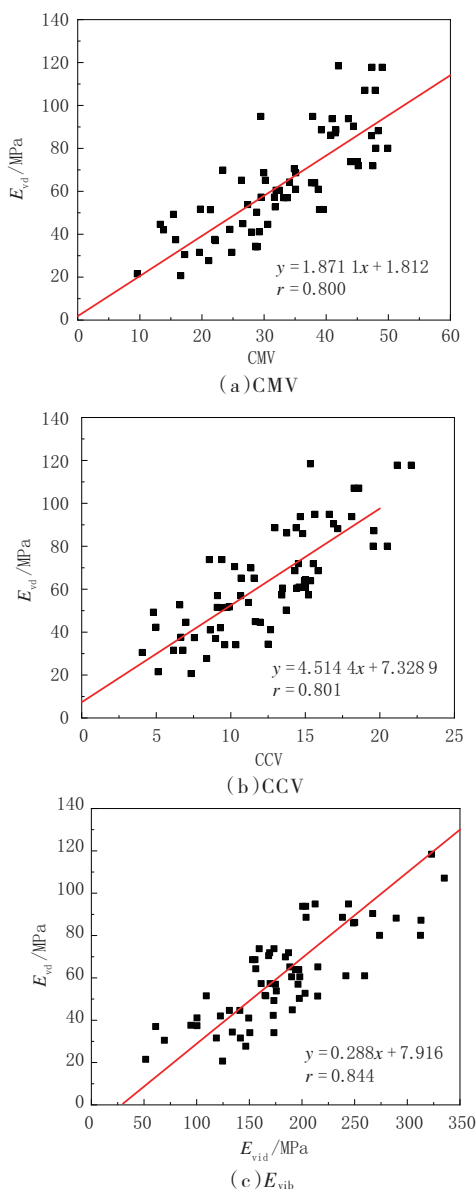


图5 智能压实指标与动态变形模量 E_{vd} 的相关关系(单位:MPa)

由图5可知,各项智能压实指标与动态变形模量 E_{vd} 的线性相关性均较好,相关系数均高于《公路路基填筑工程连续压实控制系统技术条件》^[15]规定

的量测设备输出的振动压实值与常规检验指标之间的相关系数($r \geq 0.7$),均适合用于固化渣土路基的压实质量控制。

在两类智能压实指标中,力学类指标 E_{vib} 表现出了更好的拟合效果,效果最佳。 E_{vib} 与 E_{vd} 的相关系数最高,达到0.844。将 E_{vib} 作为优选智能压实指标,更适用于固化渣土路基的智能压实实施,可得更好的智能压实控制效果。

2.2 智能压实质量评价

固化渣土路基试验段的智能压实质量评价包括压实程度评价与压实均匀性评价。

压实程度评价通常以不合格区域面积占总碾压区域的百分比作为评价指标,即压实程度的通过率,一般要求控制通过率为90%^[15]。根据《公路路基设计规范》,以路基填料动模量 E_{vd} 控制选取 E_{vib} 的目标值,反算出 E_{vib} 的目标值为183.47 MPa。固化渣土路基压实程度的通过率为92.94%,高于规范要求。压实过程中,智能压实设备可根据实时压实质量监测数据,对欠压实区域进行补压。

压实均匀性评价通常按智能压实指标不小于压实值的80%进行控制^[15]。以 E_{vd} 作为验收指标,由于其不具备连续性,检测的密度极低、检测深度小,偶然性大,对路基压实质量均匀性的检测是非常有限的。因此,以智能压实指标评价路基均匀性,是十分必要的。 E_{vib} 检测均值为192.45 MPa,0.8倍的检测均值即为153.96 MPa。所有填筑层上的所有检测点均大于0.8倍的智能压实指标均值,即通过率为100%。即以0.8倍的智能压实指标均值为控制线时,可认为该智能压实路段压实均匀性良好。

3 结论

本文依托某主干道路的固化渣土路基施工,进行了固化渣土路基的智能压实应用实践,建立了智能压实指标与传统压实检测指标的相关关系,并进行了压实质量评价,得到的结论如下。

(1)智能压实指标CMV、CCV、 E_{vib} 应用于固化渣土路基填筑时,与动态变形模量的相关系数均大于0.7,高于规范要求,适用于固化渣土路基的压实控制。

(2)适用于固化渣土路基的智能压实指标中, E_{vib} 与 E_{vd} 的相关性高于CMV和CCV,因此 E_{vib} 为固化渣土路基的优选智能压实指标,具有更好的压实控制效果。

(3)根据现场智能压实监测数据,以 E_{vd} 作为验收指标,采用 E_{vib} 为控制指标,试验段的压实程度通过率为 92.94%,压实均匀性通过率为 100%,压实程度与压实均匀性良好。

参考文献:

- [1] 金柯宇,徐奋强,李庆辉,等.土壤固化剂及其工程性能研究进展[J].城市道桥与防洪,2023(5): 218-222.
- [2] 景啸.建筑弃土在道路工程中资源化利用关键技术[J].城市道桥与防洪,2021(4): 34-38.
- [3] 李德花.浅析影响公路路基压实效果的因素[J].公路交通科技(应用技术版),2009,25(5): 100-102.
- [4] 吴梁.路基土压实度检测技术研究[D].重庆:重庆交通大学,2008.
- [5] 叶阳升,朱宏伟,尧俊凯,等.高速铁路路基振动压实理论与智能压实技术综述[J].中国铁道科学,2021,42(5): 1-11.
- [6] 冯永乾,江辉煌,吴龙梁,等.填筑工程连续压实控制技术研究进展[J].铁道标准设计,2020,64(7): 50-58.
- [7] 阮庆.土石混填路基智能压实技术探析[J].工程建设与设计,2023(22): 92-94.
- [8] 冯振刚,舒金星,曲建涛,等.沥青路面智能压实多元回归模型建立与验证[J].公路,2023,68(9): 66-71.
- [9] 谢兰夫,洪祥水.红砂岩质土路基智能化压实施工技术应用研究[J].科技创新与应用,2023,13(23): 189-192.
- [10] 张庆宇.土石混填路基智能压实质量控制方法及工程应用研究[D].济南:山东交通学院,2023.
- [11] 张荣华,王育杰,蔺伟,等.大厚度粗粒土路基智能压实质量控制标准研究[J].公路,2023,68(4): 1-9.
- [12] Thurner H, Forsblad L. Compaction Meter on Vibrating Rollers[C]. Washington: Transportation Research Board, 1978.
- [13] Thurner H, Forsblad L. The Compaction Meter—A Modern Method for the Surveillance And Control of Compaction [J]. Revue Generale Des Routes Et Des Aerodromes, 1979, 36(549):67-71.
- [14] Kröber W, Floss E, Wallrath W. Dynamic soil stiffness as quality criterion for soil compaction, Geotechnics for Roads, Rail Tracks and Earth Structures[J].2001.
- [15] JT/T 1127—2017,公路路基填筑工程连续压实控制系统技术条件[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com