

Analysis and Evaluation of Factors on Compaction Effect of Granite Residual Soil

Weisheng Liu¹, Liyang Guo², Qiubao Hu¹, Shuoguo Cai³

¹Jiangxi Provincial Expressway Investment Group Co, Ltd., Nanchang Jiangxi

²Beijing Urban Transportation Infrastructure Engineering Technology Research Center, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing

³Beijing Texida Transportation Facilities Consultants Co. Ltd., Beijing

Email: 924415705@qq.com

Received: Aug. 18th, 2017; accepted: Sep. 1st, 2017; published: Sep. 7th, 2017

Abstract

Granite residual soil is widely distributed, but it has large variability and high liquid limit, and it disintegrated after unloading, softened with water, causing that its compaction characteristic is difficult to control. This paper based on the study of the basic properties of soils, combining the problems of compaction and testing methods of the actual project, analyzing the factors that affect the compaction effect. Three kinds of the test road which include sand-based residual soil subgrade, improved soil subgrade and soil-filled roadbed were selected to carry on on-site vibration compaction test. Through the vibration signal test and in-situ compaction quality test, the results of the analysis were compared with the traditional method of the compaction quality by testing compactness. The results show that the amplitude method (AA) and harmonic ratio method (CMV, CCV) can be used as an effective method for continuous testing of compaction quality.

Keywords

Roadbed, Granite Residual, Soil Compaction Effect, Water Content, New Compaction Evaluation Method

花岗岩残积土压实效果影响因素评价与分析

刘伟胜¹, 郭利杨², 胡秋宝¹, 蔡硕果³

¹江西省高速公路投资集团有限责任公司, 江西 南昌

²北京建筑大学, 世界城市顺畅交通协同创新中心, 北京

³北京特希达交通勘察设计院有限公司, 北京

Email: 924415705@qq.com

摘要

花岗岩残积土分布广泛，但变异性大、卸荷崩解、遇水软化和高液限，压实特性不易控制。本文从研究土体基本性质出发，结合工程中压实及检测方法存在的问题，分析影响压实效果的因素。选取砂类残积土路基、改良土路基和土石混填路基三段试验路进行现场振动压实试验，通过振动信号测试和原位压实质量测试，将处理分析的结果与通过测定压实度反应压实质量的传统方法进行对比。研究表明，幅值法(AA)和谐波比值法(CMV, CCV)可以作为压实质量连续检测的有效方法。

关键词

路基，花岗岩残积土，压实效果，含水量，新型压实评价方法

Copyright © 2017 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

1. 引言

花岗岩在我国分布广泛，约占国土面积的9%，占江西省总面积的近20%。

花岗岩残积土就是花岗岩经物理风化和化学风化后残留在原地的碎屑物，是一种结构性很强的特殊土，具有不均匀、各向变异、卸荷崩解、遇水软化和高液限等特性，在南方多雨地区表现尤为突出。

国内许多学者主要对花岗岩残积土的最佳含水量和最大干密度进行研究，邓天天[1]通过分析花岗岩残积土的化学成分并进行改良土的击实试验研究，得出花岗岩残积土的最优含水量为12.4%，最大干密度为1.859 g/cm³。陈杰[2]等研究发现花岗岩残积土具有一定的膨胀潜势，按照常规压实控制标准制备的土样浸水后干密度和承载力显著降低，并提出一种水稳定性更好的压实控制新方法制备土样。绝大多数相关文献资料表明，花岗岩残积土具有较大的干密度，较高的抗剪强度，较小的渗透性，并且分布广泛[3]，因此，常常被作为填筑土料，但由于花岗岩残积土的压实特性不明确而引发的工程问题屡屡发生。

随着江西省公路建设逐步向山区推进，越来越多的工程项目将涉及花岗岩残积土。譬如，在建的安远至定南高速公路，沿线花岗岩残积土分布广、厚度大，气候环境潮湿、多雨，必将面临花岗岩残积土路基及其工程建设和运营维护中的多项技术难题。

2. 土体压实存在的问题

压实是提高路基性能和长期稳定的一种廉价而有效的手段，也是衡量路基质量的重要指标。目前多为对花岗岩残积土的最优含水量及最大干密度、路基回填及压实质量控制进行了初步探讨。同时针对花岗岩残积土或类似土石混填这类特殊填筑材料而言，智能压实和检测技术在实际工程应用很少，而且在选定压实控制指标上，目前国内外并没有一套适用的标准[4]。因此，针对花岗岩残积土及土石混填路基，其连续压实控制指标的适用性、压实质量快速检测与评定技术都有待研究。

3. 压实效果的影响因素

在压实过程中影响压实最主要的因素就是含水量，土本身的性质及压实方法。土体的含水量对其所

能达到的密实度起着非常重要的作用[5]。土的内摩阻力和粘结力是随密实度的增大而增大的,而粒间引力则随着密实度的增加而减小[6]。干密度和含水量的这种关系在图形上表现为单驼峰形的曲线。驼峰的顶点所对应的干密度为最大干密度,与之相对应的含水量为最优含水量。在击实试验中,当击实功一定时,土的最大干密度以及最优含水量还与土的性质有着非常密切的关系,土的粒径不同对土的压实性会有不同程度的影响。通常,土中粘粒和粉粒含量越多,土的液限越高、塑性指数越大,土体的最佳含水量也就越大[7]。

4. 压实效果的评价方法

本文采用安定高速工程中的标段为例,该工程中沿线花岗岩十分发育,花岗岩残积土和全风化层厚度较大。不同路段所处的风化层深度不同,沿线路基填料差异性较大,主要代表有砂类残积土、高液限残积土、土石混填。针对高液限残积土难压实的特点[8],一般需改良后再进行填筑,经室内试验研究,确定掺加4%水泥进行改良。

考虑到不同路段被碾材料的差异性,本文选取三个试验路段进行现场振动压实试验,分别为:试验段1(砂类残积土路基)、试验段2(改良土路基)和试验段3(土石混填路基),试验3路基填料为土石混填料,主要由石渣、花岗岩残积土混合而成。

针对选取的3条不同填料的路段均进行现场振动压实试验,试验测试内容主要包括振动轮加速度信号、原位路基压实质量检测(路基压实度或压实沉降差检测)。振动加速度信号获取方法:通过以加速度传感器、信号解调仪、计算机组成的量测系统来实现振动信号的自动化采集与存储(图1)[9]。

信号采集的准备工作主要包括加速度传感器的选型、信号采集仪的选择、采样频率的选择几方面的内容。试验测试结果主要包括两个部分:振动加速度信号、原位压实质量测试值(压实度或压实沉降)。

1) 信号预处理

振动信号预处理就是通过一定的数学方法,对测量到的信号进行处理,去除误差得到真实振动压实信号,然后才能进行信号分析。预处理工作主要包括预滤波、零均质、错点剔除以及消除趋势项等。

2) 信号时频域分析

由于动态信号的复杂性,原始信号中可能有干扰成分在内,如果不加以时频域处理,就可能造成分析结果的失真。此外,振动信号是特定物理量,如速度、加速度等关于时间的函数,可以直观的描述出振动过程,但是要对振动信号进行深入的分析,一般需要借助频域分析方法,从而把复杂的振动信号分解为有限个不同频率简谐振动的组合。这个把时域上的振动信号转变为频域上的振动信号的过程,称为时频域变换。

通过量测压实机械振动轮的加速度信号,往往无法直接反映路基填料的压实发展过程。这就需要采用合理的信号解析方法,对信号进行处理、变化和加工,把加速度信号变换成可以表征压实程度的参数,实质上就是加速度信号的特征值提取的过程。

为分析碾压参数(行车速度、碾压遍数、压实厚度、激振力状态)对压实过程的影响,在每种填料的试验路段选取料性基本均匀的5个测试条带(即5种工况)进行试验,每条测试条带长度为60m,宽度略大于压路机轮迹的宽度约3m。其中标1段残积土路基填料(未改良)以天然含水率($w = 22.4\%$)进行碾压,其余两条试验段填料的含水率控制在最佳含水率附近再进行摊铺碾压。振动碾压前先静压一遍,使路面基本平整,“一去一回”算作一遍(单程即两遍),压实过程中采集振动轮的加速度信号。每遍压实过后,利用灌砂法获取各检测点的压实度,若为土石混填路基,则采用水准仪测量各检测点的高程,获取压实后的表面沉降量。当原位测试的压实质量达到要求后,即停止碾压。

从理论上讲,振动加速度信号在空振的情况下呈正弦周期信号,随着碾压遍数增加,实测的振动加



Figure 1. Measurement system for vibration signals

图 1. 振动信号的量测系统

速度信号出现畸变, 压实程度越大畸变越明显, 说明振动加速度和压实程度是密切相关的。根据此信号特点, 常采取 2 种方法来建立压实程度与振动信号的关系, 一种是直接法, 即通过直接分析压实过程中信号本身特征(频率、幅值、周期、波形等)的变化来判定压实程度; 另一种则为间接法, 即通过对压实过程中的激振信号进行频谱分析所得到的特征值来判定压实程度。在此基础上, 本文采用最具代表性的幅值法和谐波比值法作为压实质量连续检测方法。其中, 幅值法取连续一段数据点的平均加速度幅值 AA (Average Acceleration Amplitude) 作为连续压实指标, 如将每 1 s (采样频率为 1000 Hz, 即 1000 个数据点) 测得的加速度幅值平均值作为对应区域的 AA 值; 谐波比法采用常用的 CMV 值和 CCV 值作为连续压实指标。

根据现场试验方案进行了振动信号测试和原位压实质量测试, 经处理、统计后, 获得成果数据, 分析各试验路段的连续压实指标及压实质量变化规律。

(1) 传统压实指标变化规律

不同的路基填料所使用的原位路基压实质量检测方法不同, 故选用的传统压实质量表征指标也有区别, 试验段 1 和试验段 2 的试验段采用压实度反映压实质量, 试验段 3 土石混填料试验段采用压实沉降差反映压实质量。(图 2~图 4)

获取每遍各点位压实度的平均值, 其随碾压遍数的变化情况如上图所示。由图可知: 随着压实遍数的增加, 路基压实度不断增长, 增长速率先快后慢, 最后趋于稳定; 在天然含水率下, 试验段 1 残积土路基试验段碾压至第 10 遍时, 压实度仍在 85% 附近, 未达到规定压实要求, 为保证施工质量, 需降低含水率再进行施工。

试验段 3 中测得测试点位的累计沉降量随碾压遍数的变化情况, 获取每遍的累计沉降率平均值, 其随碾压遍数的变化情况如图所示。可以看出: 随着碾压遍数的增加, 累计沉降量开始快速增加, 至碾压第四遍略有减小, 后又随着压实遍数增加而缓慢增加至稳定状态。故可将试验段 3 的土石混填料由松散到密实的整个压实过程分为三个阶段: 第一阶段, 快速增长阶段, 路基压实沉降量随碾压遍数的增加增长较快; 第二阶段, 突变阶段, 路基沉降量增加较小甚至略有反弹隆起现象; 第三阶段, 平稳增长阶段, 继续碾压则沉降量随着压实遍数的增加仍继续增长, 但增长速率逐渐变缓, 当与前一遍的沉降差在 2 mm 以内, 表明达到压实要求。

与 1、2 试验段的土质类路基相比, 该土石混填路基的压实过程区别主要体现在第二阶段。类似 1、2 试验路的一般土路基的累计沉降量随着压实遍数的增加逐渐增加至平稳状态, 不会出现上述的第二阶段。这种差别是由土石混合填料自身特性所引起的, 试验段土石混合填料的石方比含量较高, 超过 50%, 填料具有粒径大、透水性强、孔隙率大等特点[10]。其压实特征表现为: 初始摊铺后填料较为松散, 在压实功的作用下, 摊铺时的初应力平衡状态被打破, 克服颗粒间摩擦力, 相互移动, 不断挤密; 随着碾压

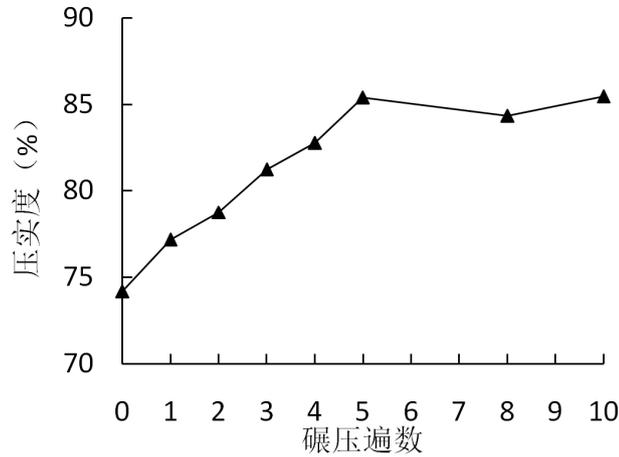


Figure 2. The relationship between the average compaction degree of test section 1 (residual soil) and the number of rolling times

图 2. 试验段 1 (残积土) 平均压实度随碾压遍数的关系

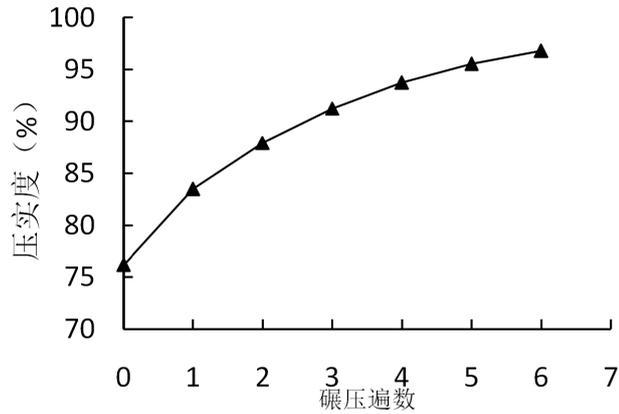


Figure 3. The relationship between the average compaction degree of test section 2 (modified soil) and the number of rolling times

图 3. 试验段 2 (改良土) 平均压实度随碾压遍数的关系

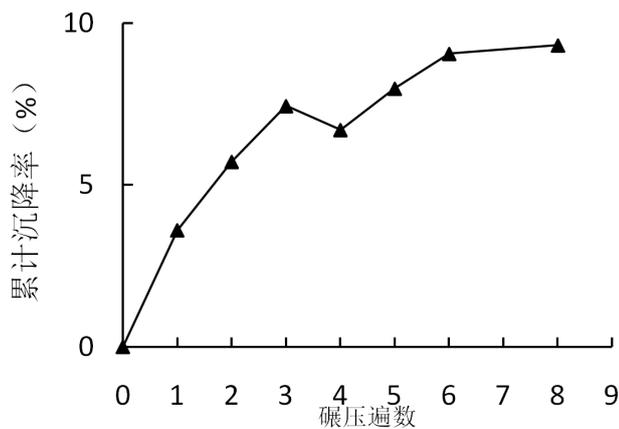


Figure 4. Test section 3 (earth-rock mixed) the cumulative settlement rate with the number of rolling times

图 4. 试验段 3 (土石混填) 平均累计沉降率随碾压遍数的关系

的进行, 粒径大的填石料易产生破碎现象, 粒径组成发生改变, 颗粒重新组成排列, 对路基的稳定性造成影响, 故出现了上述的第二阶段: 随着外力不断作用, 颗粒间进一步挤密与填充, 最终达到一个相对稳定的位置, 填筑体将趋于密实, 路基整体强度得到提高[11]。

(2) 连续压实指标变化规律

1) 加速度幅值 AA

获取各试验路段的 AA 平均值, 并将其随碾压遍数的变化情况绘于图 5~图 7。其中试验段 1、2 整体表现的规律基本一致: 随着振动碾压遍数的增加, 路基填料逐渐被压实, 同时 AA 值也随之增大, 碾压至一定遍数后, AA 值趋于稳定。试验段 3 呈现出来规律有所差别, 表现为: 土石混填料随着碾压的进行, 压实状态由松过渡到密实, AA 值初期显著增加, 碾压至第四遍时 AA 值略有下降, 后又随着碾压遍数增加缓慢增加至稳定状态。

2) 压实密度值 CMV

获取各试验路段的 CMV 平均值, 并将其随碾压遍数的变化情况绘于图 8~图 10。可以看出: 四条试验段的 CMV 值均随着碾压遍数的增加不断增加, 且开始时 CMV 增长较快, 随后增长逐渐变缓至几乎稳定。表明随着压实的进行, 压路机振动轮振动响应信号的畸变程度不断变大至稳定状态。

3) 连续压实值 CCV

获取各试验路段的 CCV 平均值, 并将其随碾压遍数的变化情况绘于图 11~图 13。从中看出: 随着振

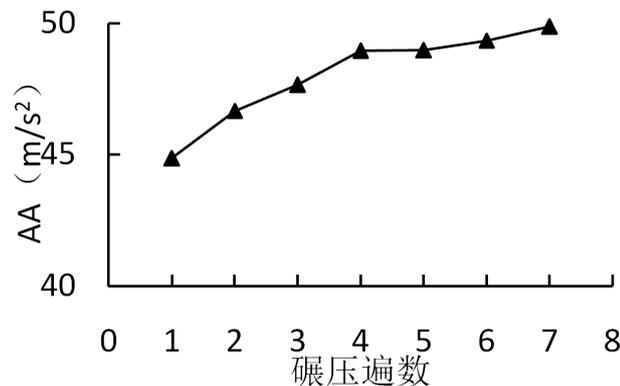


Figure 5. Test section 1 (residual soil) average AA value with the rolling times the number of changes

图 5. 试验段 1 (残积土) 平均 AA 值随碾压遍数的变化规律

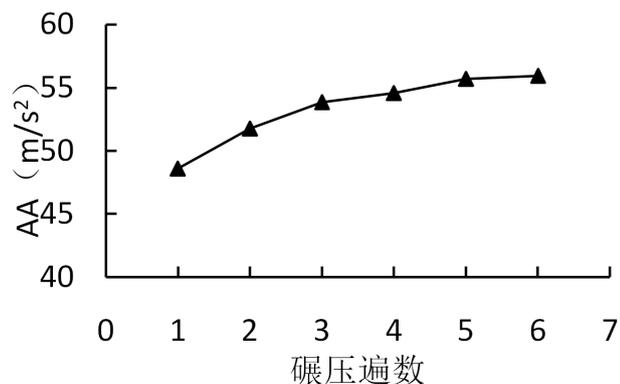


Figure 6. Test section 2 (modified soil) average AA value with the rolling times the number of changes

图 6. 试验段 2 (改良土) 平均 AA 值随碾压遍数的变化规律

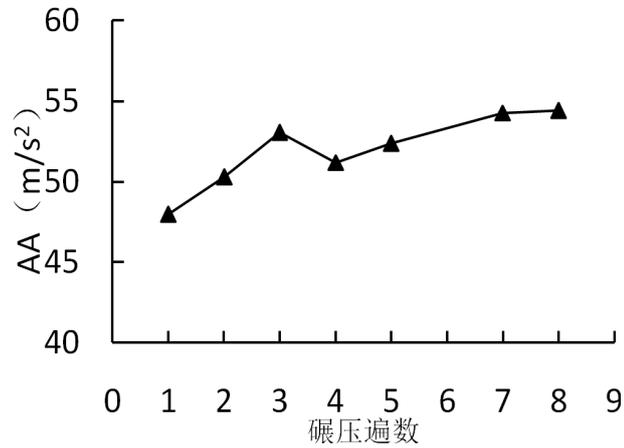


Figure 7. Test section 3 (soil and stone mixed) average AA value with the rolling times the number of changes

图 7. 试验段 3 (土石混填) 平均 AA 值随碾压遍数的变化规律

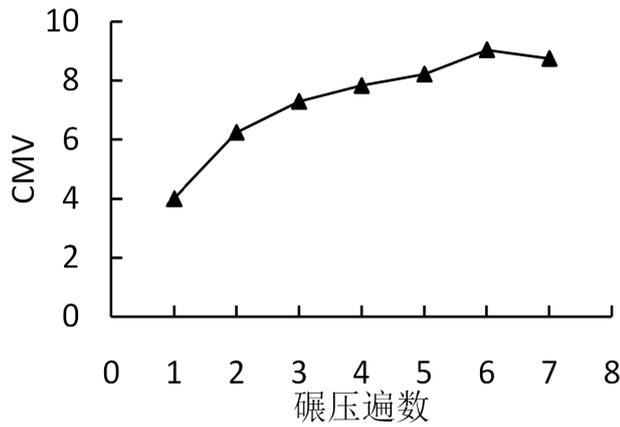


Figure 8. The average CMV value with the rolling times the number of changes in the test section 1 (residual soil)

图 8. 试验段 1 (残积土) 平均 CMV 值随碾压遍数的变化规律

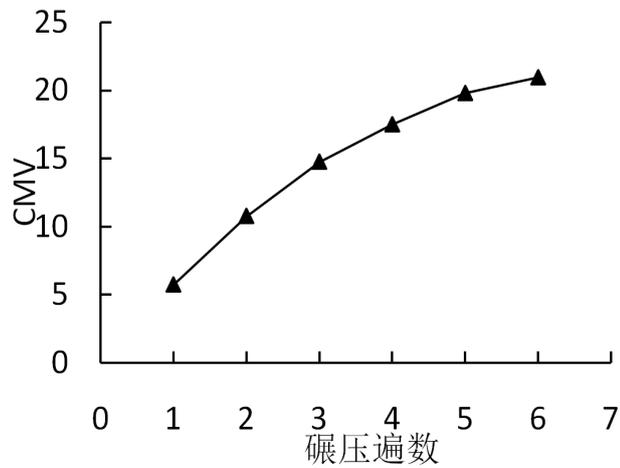


Figure 9. The average CMV value with the rolling times the number of changes in the test section 2 (improved soil)

图 9. 试验段 2 (改良土) 平均 CMV 值随碾压遍数的变化规律

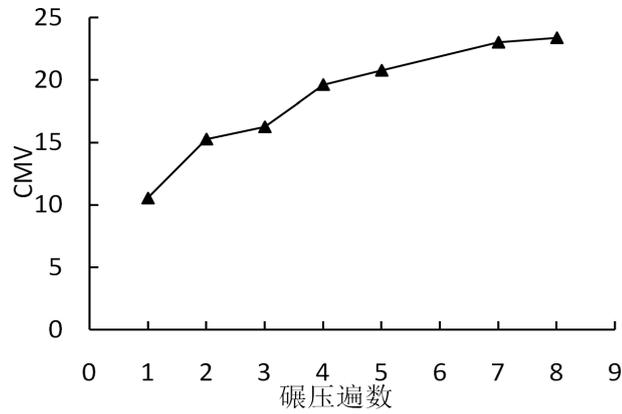


Figure 10. The average CMV value with the rolling times the number of changes in the test section 3 (soil mixed with)
图 10. 试验段 3 (土石混填)平均 CMV 值随碾压遍数的变化规律

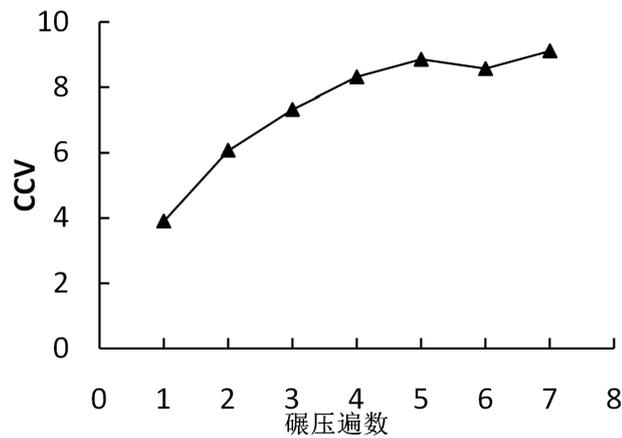


Figure 11. The average CCV value with the rolling times the number of changes in the test section 1 (residual soil)
图 11. 试验段 1 (残积土)平均 CCV 值随碾压遍数的变化规律

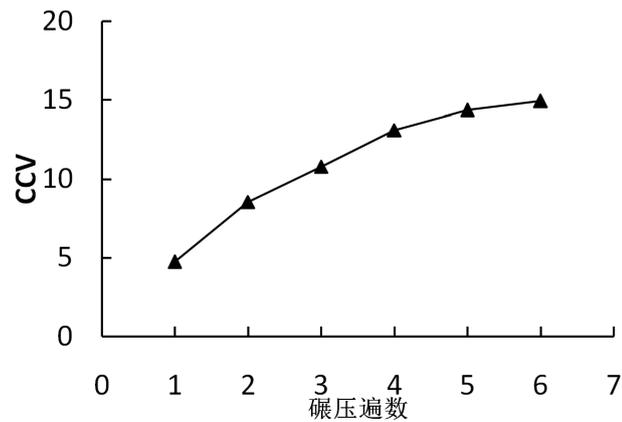


Figure 12. The average CCV value varies with the rolling times. Test section 2 (modified soil)
图 12. 试验段 2 (改良土)平均 CCV 值随碾压遍数的变化规律

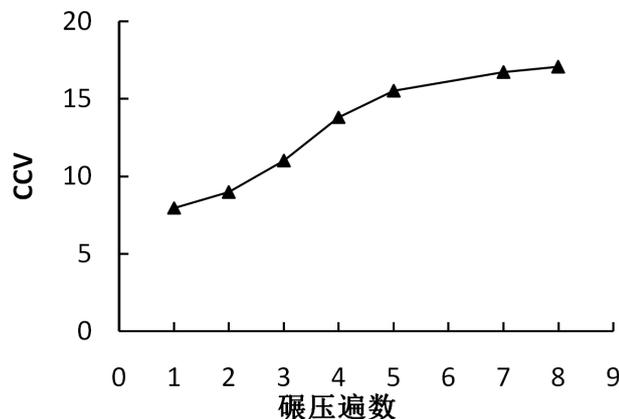


Figure 13. The average CCV value with the rolling times the number of changes in the test section 3 (soil mixed with)

图 13. 试验段 3 (土石混填) 平均 CCV 值随碾压遍数的变化规律

动碾压遍数的增加, 三条试验段的 CCV 整体均呈增加趋势, 表明振动信号中产生的二次及以上的谐波成分越来越多, 碾压至一定遍数后, CCV 值趋于稳定; 然而, 不同试验段 CCV 值在各阶段增长速率有所不同, 试验段 3 的 CCV 值增长最快不在碾压初期, 而是在碾压中期, 说明土石混填路基的碾压振动信号在碾压中期产生了大量的畸变。

5. 结论

经过本文的分析与研究可以得到以下结论:

- 1) 花岗岩残积土变异性大、卸荷崩解、遇水软化和高液限, 压实特性不易控制。其残积土填方路基和土石混填路基未得到充分压实是其产生过量沉降和局部失稳的重要原因。
- 2) 土体的压实效果受含水量、土体性质、压实机械等的影响。
- 3) 降低行车速度、增加碾压遍数、减小压实厚度、低频高振有利于增大连续压实指标值, 提高压实效果。
- 4) 研究表明, 可以采用最具代表性的幅值法(AA)和谐波比值法(CMV, CCV)作为压实质量连续检测方法。

参考文献 (References)

- [1] 邓天天. 花岗岩全风化物及其改良土的击实试验分析[J]. 铁道建筑, 2009(4): 122-125.
- [2] 陈杰, 刘正楠, 张锐. 花岗岩残积土路基压实控制方法研究[J]. 交通科学与工程, 2016, 32(1): 1-6.
- [3] 孙成伟. 花岗岩残积土工程特性及地铁深基坑设计技术研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 中国地质大学, 2014.
- [4] 李凤琴, 孙泽炎. 振动压路机压实效果技术参数综述[J]. 建设机械技术与管理, 2015(5): 79-81.
- [5] 冯毅. 试论公路工程路基压实施工技术要点[J]. 中华民居(下旬刊), 2013(2): 300-301.
- [6] 肖晶晶. 花岗岩残积土的结构性及应力应变关系试验研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2012.
- [7] 陈忠清, 徐东阳, 高鑫, 谢湘平. 含水率对粉土冲击压实效果影响的试验研究[J]. 绍兴文理学院学报(自然科学), 2016, 36(1): 8-11.
- [8] 林威. 花岗岩残积土结构性与边坡稳定分析[D]: [硕士学位论文]. 福州: 福州大学, 2014.
- [9] 孙淑勤, 李雯, 张佩旭. 中、日公路土质路基压实控制方法比较[J]. 国外公路, 2001, 21(2): 37-39.
- [10] 曾朋. 花岗岩残积土的压实特性及崩解特性研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2012.
- [11] 王冠欣, 韩克法, 王红华. 分析路基冲击压实效果与土基松铺厚度的关系[J]. 山西建筑, 2011, 37(25): 136-137.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2326-3431，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

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

期刊邮箱：oitt@hanspub.org