

粗粒式建筑垃圾路基材料工程特性与应用研究

袁 帅¹, 张 磊^{2*}, 高岳峰¹, 韦金城², 成永宁¹, 孙兆云²

¹中国铁建投资集团有限公司, 广东 珠海

²山东省交通科学研究院, 山东 济南

收稿日期: 2021年9月22日; 录用日期: 2021年10月7日; 发布日期: 2021年10月15日

摘 要

为了确定碾压层厚度和碾压次数对粗粒式建筑垃圾填筑路基压实特性的影响, 选用碾压层厚度为20 cm、30 cm和40 cm, 碾压次数为8遍, 每碾压一遍对其进行弯沉检测、压实度检测和颗粒级配分析, 得到以下结论: 碾压层厚度为20 cm、30 cm、40 cm的建筑垃圾路基分别在碾压4遍、5遍和7遍以后弯沉值达到稳定; 不同碾压厚度下, 最终压实度均大于96%, 满足工程要求; 碾压层厚度为20 cm时, 与施工前相比, 粗粒径占比明显下降, 细料料占比增加, 过度碾压将对建筑垃圾粗粒料造成破坏, 影响路基整体强度。

关键词

建筑垃圾, 碾压次数, 碾压层厚度, 弯沉值, 压实度, 路基填料

Study on Engineering Characteristics and Application of Coarse-Grained Construction Waste Subgrade Material

Shuai Yuan¹, Lei Zhang^{2*}, Yuefeng Gao¹, Jincheng Wei², Yongning Cheng¹, Zhaoyun Sun²

¹China Railway Construction Investment Group Company Limited, Zhuhai Guangdong

²Shandong Transportation Research Institute, Jinan Shandong

Received: Sep. 22nd, 2021; accepted: Oct. 7th, 2021; published: Oct. 15th, 2021

Abstract

In order to determine the influence of the thickness and times of rolling on the compaction characteristics of coarse-grained construction waste-filled subgrade, the thickness of rolling layer is

*通讯作者。

文章引用: 袁帅, 张磊, 高岳峰, 韦金城, 成永宁, 孙兆云. 粗粒式建筑垃圾路基材料工程特性与应用研究[J]. 材料科学, 2021, 11(10): 1076-1081. DOI: 10.12677/ms.2021.1110124

20 cm, 30 cm and 40 cm, and the rolling times is 8 times. The deflection detection, compactness detection and particle gradation analysis are carried out for each rolling time, and the following conclusions are obtained: The deflection value of construction waste subgrade with rolling layer thickness of 20 cm, 30 cm and 40 cm reaches stability after rolling for 4 times, 5 times and 7 times respectively; under different rolling thickness, the final compaction degree is greater than 96%, meeting the engineering requirements; when the thickness of the rolling layer is 20 cm, compared with that before construction, the proportion of coarse particle size decreases significantly and the proportion of fine aggregate increases. Excessive rolling will damage the coarse aggregate of construction waste and affect the overall strength of the subgrade.

Keywords

Construction Waste, Rolling Times, Thickness of Rolling Layer, Deflection Value, Degree of Compaction, Subgrade Filler

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

大量的建筑垃圾被随意堆放以及填埋地下，占用了大量的土地面积，严重破坏了城市的环境卫生，引起了生态环境的污染，恶化了人们居住和生活的环境，极大地制约了城市的健康发展。因此，解决建筑垃圾的堆放问题已是刻不容缓。建筑垃圾属于固体废弃物[1] [2] [3] [4] [5]，具有可再生利用的特点，如果能够实现建筑垃圾的资源化，不仅解决了建筑垃圾的堆放难题，还能产生可观的经济效益，使建筑垃圾实现可持续发展的良性循环。在我国实现建筑垃圾资源化是完全可行的，特别是在公路工程中的相关应用技术研究工作更应值得深入开展，从而推动实现我国建筑垃圾资源化，达到改善环境、提高社会和经济效益，实现绿色可循环发展的目的。

王琦等[6]从理论与技术方面对建筑垃圾在市政工程中的合理利用进行充分的研究，分析建筑废弃物的物理、力学特性，提出了硬壳层的理念；夏伟龙、田军等人[7]介绍了应用于高速公路路基中的建筑垃圾土的分类方法、材料选用、施工工艺及方法、检测指标等；常肖[8]通过对建筑垃圾土的物理特性、填埋段地基的处理方法及优化地基处理方法和路基沉降规律的研究提出了不同填埋路段采用的不同的地基处理方法，通过分析预测出高速公路路基的工后沉降，并将其与路基观测值进行对比分析，从而得出沉降规律。黄开正等人[9]研究了作为城市道路路基填料的建筑废弃物的 CBR 试验；张威[10]研究了作为路基的填料建筑废弃物的一些基本物理力学特性，结合现场施工分析了影响建筑垃圾填料压实性能的可能因素。

为了研究粗粒式建筑垃圾填筑路基中的压实特性和优化施工工艺，本文将结合具体工程实例，通过弯沉检测等试验手段，研究填筑层厚度和碾压次数对路基工程质量的影响，并探究其规律，进一步验证建筑垃圾可以作为路基填土材料的可行性，并为今后的工程研究提供技术依据。

2. 粗粒式建筑垃圾路基材料基本性质

建筑垃圾路基材料的成分决定了其工程性质，所以建筑垃圾的筛选至关重要。一般情况下建筑垃圾主要由砖块、混凝土块组成。采用破碎装备将建筑垃圾破碎至粒径小于 50 mm 的颗粒，我们将其称为粗粒式建筑垃圾。下面将试验所选建筑垃圾放入颚式破碎机内破碎，并分析其物理性质。

2.1. 颗粒级配分析

将破碎后的建筑垃圾材料烘干后，按照《公路土工试验规程》(JTG 3430-2020)中的试验方法进行筛分试验，得到以下结果，见图 1。

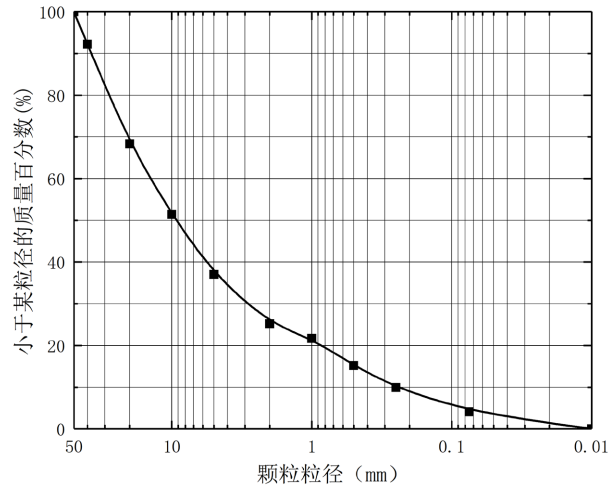


Figure 1. Particle size distribution curve
图 1. 颗粒级配曲线

通过颗粒级配曲线可以看出，该建筑垃圾材料最大粒径小于 50 mm，粒径小于 10 mm 的质量占比为 51.4%，粒径大于 5 mm 的粗粒料的质量占比为 63%，说明该建筑垃圾材料属于粗粒料。不均匀系数 $C_u = 58.2$ ，曲率系数 $C_c = 2.1$ ，当 $C_u > 5$ ，且 $1 < C_c < 3$ 时，可以判断其级配良好。

2.2. 击实特性

根据《公路土工试验规程》(JTG 3430-2020)中试验进行重型击实试验，选用不同含水率的粗粒式建筑垃圾材料进行重型击实试验，建筑垃圾材料达到密实状态，绘制击实曲线，最终得到建筑垃圾材料的最大干密度和最佳含水率。击实曲线数据如图 2 所示。

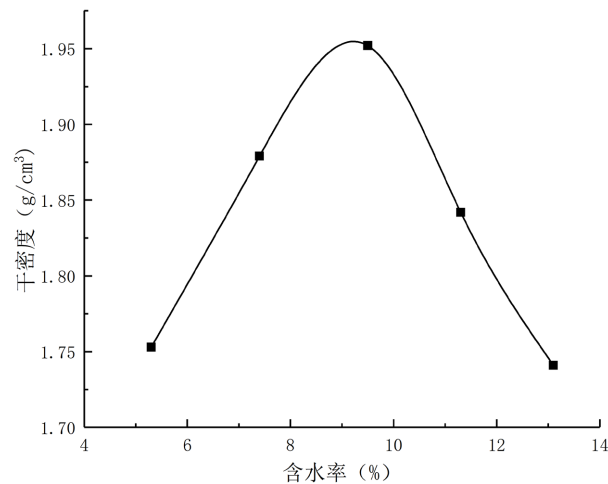


Figure 2. Compaction test curve
图 2. 击实曲线

从击实曲线中我们可以看出粗粒式建筑垃圾材料的最大干密度为 1.952 g/cm^3 ，最佳含水率为 9.3%。

3. 粗粒式建筑垃圾路基材料现场检测和数据分析

为了确定碾压层厚度和碾压次数对粗粒式建筑垃圾填筑路基压实特性的影响，决定依托山东某高速公路铺筑试验段。粗粒式建筑垃圾材料颗粒粒径较大，宜采用振动压实的方法，振动压实的方法可以运用激振力使颗粒在内部发生相对位移，再通过碾压作用是建筑垃圾材料内部达到相对密实状态。所以在压实设备上选用振动压路机，试验段振动压路机激振力为 395 kN，振动频率为 32 Hz，静线荷载为 490 N/cm。

为了确定粗粒式建筑垃圾填筑路基的最佳碾压层厚度和碾压次数，在试验段选择三段各 100 m，分别设定碾压层厚度为 20 cm、30 cm 和 40 cm。碾压次数为 1~8 遍，每碾压一遍对其进行弯沉检测、压实度检测和颗粒级配分析，对比分析相关数据。振动压路机行驶速度控制在 2 km/h 左右，错轮宽度控制在 50 cm，振动压路机来回一次为碾压一遍。

3.1. 弯沉数据分析

通过图 3 的弯沉数据可以发现，随着碾压层厚度增加，其最终弯沉值越小分别为 252.88 (0.01 mm)、232.56 (0.01 mm)、212.54 (0.01 mm)。

碾压层厚度为 20cm 时，当碾压次数达到 4 次时，弯沉值达到稳定状态；碾压层厚度为 30 cm 时，当碾压次数达到 5 次时，弯沉值达到稳定状态；碾压层厚度为 40 cm 时，当碾压次数达到 7 次时，弯沉值达到稳定状态。当碾压层厚度为 30 cm 和 40 cm 的时候，随着碾压次数的增加，弯沉数据不断减小，并最终趋于稳定，而碾压层厚度为 20 cm 的时候，随着碾压次数的增加，弯沉值先不断减小，在碾压次数达到 6 次以后，弯沉值有增加的趋势。说明碾压层厚度为 20 cm 时，过度碾压使建筑垃圾中的粗粒料破碎，导致已经形成稳定结构的密实骨架破坏，路基的整体强度降低。

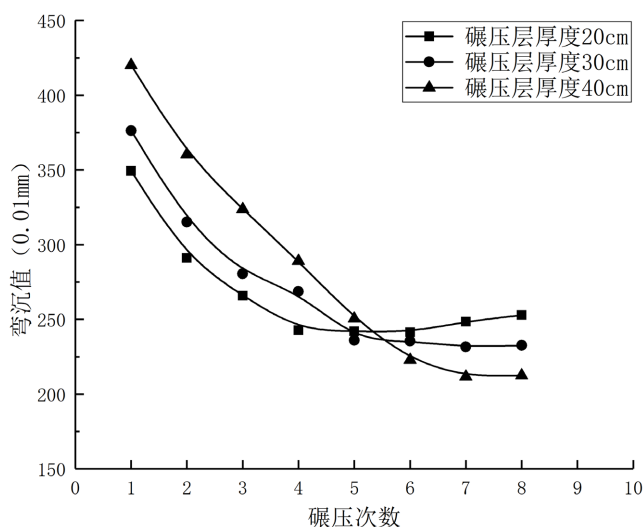


Figure 3. Comparison of deflection value under different rolling times
图 3. 不同碾压次数下的弯沉值对比

3.2. 压实度分析

现场采用灌砂法进行压实度的检测，通过图 4 中的数据可知，随着碾压次数的增加，不同碾压层厚度下的压实度也不断增加，并趋于稳定，最终压实度都大于 96%，满足工程要求。压实度的变化趋势随

随着碾压次数的增加，越来越不明显，尤其是碾压层厚度为 20 cm 时，在碾压 4 次以后、碾压层厚度为 30 cm 时，在碾压 5 次以后、碾压层厚度为 40 cm 时，在碾压 7 次以后。这也印证了弯沉值的变化规律，说明振动压路机在碾压足够次数后，压实功对建筑垃圾的压实效果已经不是很明显，建筑垃圾内部已经形成稳定的骨架结构，如过度碾压，将破坏建筑垃圾中的粗粒料，影响路基整体强度和稳定性。为了证实这一点，将对碾压后的建筑垃圾材料的颗粒级配进行分析。

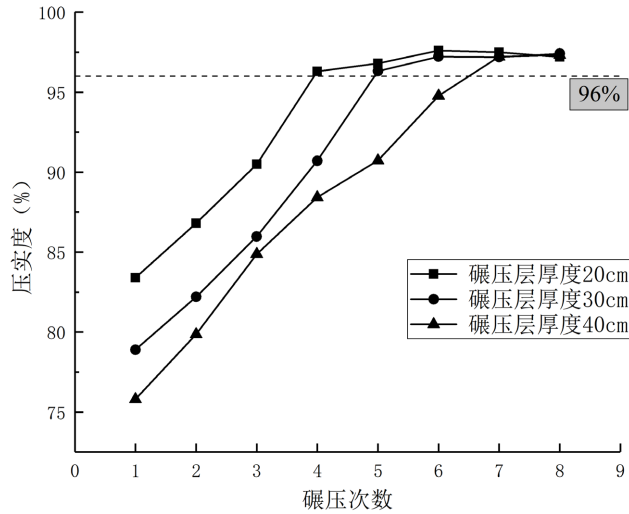


Figure 4. Comparison of compactness under different rolling times

图 4. 不同碾压次数下的压实度对比

3.3. 颗粒级配分析

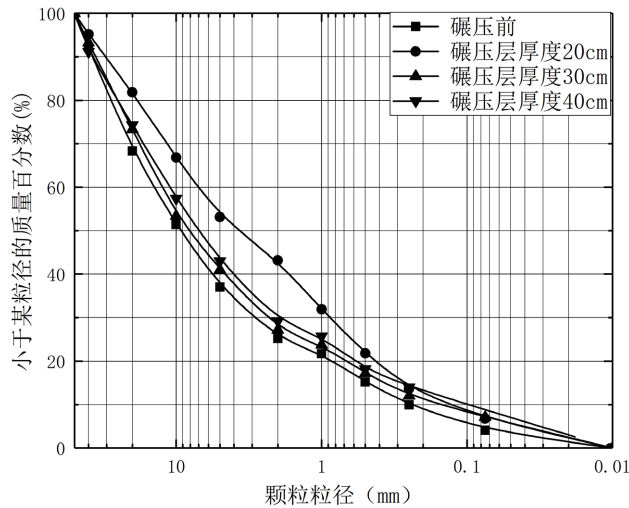


Figure 5. Comparison of particle gradation under different rolling layer thickness after construction

图 5. 施工完成后不同碾压层厚度下颗粒级配对比

施工完成后，对压实完成的建筑垃圾材料取样，并进行筛分试验。由图 5 可知，碾压层厚度为 30 cm 和 40 cm 时，颗粒级配曲线与碾压施工前差别不大，说明在碾压 8 遍时，并没有对建筑垃圾骨料造成明

显破坏, 而碾压层厚度为 20 cm 时, 粒径小于 10 mm 的质量占比为 66.85%, 粒径大于 5 mm 的粗粒料的质量占比为 53.1%, 与施工前相比, 粗粒径占比明显下降, 细粒料占比增加。说明碾压 8 遍时, 振动压路机已经对建筑垃圾骨料中的粗粒料造成了破坏, 结合弯沉和压实度数据, 可以得出碾压层厚度为 20 cm 时, 碾压遍数不宜超过 4 遍。

4. 结论

通过研究碾压层厚度和碾压次数对粗粒式建筑垃圾填筑路基压实特性的影响, 得出以下结论:

1) 碾压层厚度为 20 cm、30 cm、40 cm 的建筑垃圾路基在碾压 8 遍, 其最终弯沉值分别为 252.88 (0.01 mm)、232.56 (0.01 mm)和 212.54 (0.01 mm);

2) 碾压层厚度为 20 cm、30 cm、40 cm 的建筑垃圾路基分别在碾压 4 遍、5 遍和 7 遍以后弯沉值达到稳定;

3) 碾压遍数不宜过多, 过度碾压使建筑垃圾中的粗粒料破碎, 导致已经形成稳定结构的密实骨架破坏, 路基的整体强度降低;

4) 不同碾压厚度下, 最终压实度均大于 96%, 满足工程要求;

而碾压层厚度为 20 cm 时, 与施工前相比, 粗粒径占比明显下降, 细粒料占比增加, 证实建筑垃圾中的粗粒料被破坏。

参考文献

- [1] 陈蕊珊. 建筑垃圾填筑高速公路路基施工工艺研究[J]. 交通世界, 2019(5): 12-13+15.
- [2] 樊兴华, 唐娴. 建筑垃圾填筑高速公路路基施工技术[J]. 工业建筑, 2014(4): 111-114.
- [3] 王天航. 建筑垃圾在道路工程中的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 河北: 河北工业大学, 2015.
- [4] 李少康. 建筑垃圾在公路路基中的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2014.
- [5] 马永锋. 建筑垃圾在陕西省高速公路建设中的应用[J]. 内蒙古公路与运输, 2020(3): 9-11+41.
- [6] 王琦. 建筑垃圾再生利用及其在公路工程中的应用研究[J]. 门窗, 2014(5): 448-449.
- [7] 夏伟龙, 田军, 张博. 建筑垃圾在高速公路路基中的应用研究[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2012, 8(5): 70-72.
- [8] 常肖. 建筑垃圾填筑路基段沉降规律预测与分析[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2017.
- [9] 黄开正, 肖宏. 建筑再生材料用作路基填料的 CBR 试验研究[J]. 建设科技, 2012(9): 70-71.
- [10] 张威. 建筑垃圾路用再生填料的加工与施工工艺研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2014.