

建筑垃圾回填道路基层材料关键技术研究

余 萌, 廖 鑫

(中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430000)

摘 要: 随着低碳可循环建造技术的提升, 建筑垃圾用于道路基层回填应用技术也日趋成熟。研究采用 0%~50% 不同再生骨料掺量制备再生水泥稳定碎石, 并对其最大干密度、最佳含水率、无侧限抗压强度、抗冻性能、抗冲刷性能进行研究。结果表明: 再生骨料的增加会使得稳定碎石材料的最大干密度、无侧限抗压强度、抗冻性能、抗冲刷性能下降, 其中, 抗冲刷性能受再生骨料掺量变化最为敏感。综合各主要性能变化规律, 研究建议建筑垃圾回填道路基层材料中再生骨料的掺量应控制在 30% 以内。

关键词: 建筑垃圾; 再生骨料; 基层材料; 无侧限抗压强度; 抗冻性能

中图分类号: U416.1

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)04-0030-04

0 引 言

经济全球化发展的同时带动了基础建设行业的快速发展, 大批建筑构造物在城市化进程中面临着改扩建问题, 随之会产生大量的建筑废弃物, 对其的科学绿色处理方式成为新的研究热点。早期的废旧建筑垃圾主要采用集中堆放和填埋的方式进行处理, 一方面造成了土地资源的浪费, 另一方面未能充分发挥建筑垃圾的功效益^[1-3]。近年来, 在国家绿色可持续发展理念的号召下, 很多工程项目采用建筑垃圾再加工处理的方式来提升建筑垃圾的利用率^[4]。薛雪^[5]针对西安周边建筑垃圾的回收及分类情况, 将其制备成各类道路用建筑材料应用于路基及基层结构中, 具有显著的经济效应。薛振华^[6]将建筑垃圾中分离的渣土材料进行再生水泥稳定底基层材料的研究, 并对其力学性能和耐久性能进行了验证。周文娟^[7]以建筑垃圾处理得到的再生骨料为基础, 进行再生无机结合料的力学和抗冻性能研究, 认为可满足道路基层结构应用效果。郭一枝^[8]采用碱激发材料对再生骨料进行基础材料强化研究, 并应用于实体道路建设工程中, 建造成本节约了近 40%。李岩凌^[9]研究了建筑垃圾再生骨料在海绵城市建设中的应用效果, 认为再生骨料的 PH 值是影响再生效果的关键因素。安振源^[10]采用砖石废旧集料进行标准化骨料再生, 并进行再生水泥稳定碎石基层材料的性能研究,

各项指标均满足施工要求。杨思韩^[11]结合温州市建筑垃圾回收及管理体系进行研究, 对不同质量标准的建筑垃圾进行分类处理和加工, 形成了建筑垃圾再生利用指导方案。现有研究表明: 建筑垃圾通过特殊再生加工工艺可得到再生骨料, 通过合理的施工配比可应用于道路基层材料中。本研究结合建筑垃圾回填道路基层材料关键技术进行研究, 旨在探究再生骨料对道路基层材料性能的影响变化规律, 为建筑垃圾回填路基应用提供理论技术支撑。

1 原材料与试验方案

1.1 再生骨料

根据建筑垃圾的来源不同, 再生骨料的技术性能也存在较大差异, 可具体分为砖骨料、混凝土骨料, 见图 1、图 2。砖骨料是建筑废弃材料中的废旧砖块破碎产生骨料, 混凝土骨料是成型的含有天然集料的水泥混凝土块经破碎产生的混凝土骨料。



图 1 砖骨料

收稿日期: 2020-08-31

作者简介: 余萌(1988—), 男, 本科, 工程师, 从事城市道路设计工作。



图 2 混凝土骨料

研究对上述两种再生骨料进行技术性能测试,试验结果见表 1。

表 1 再生骨料技术性能

骨料类型	表观相对密度 $/(g \cdot cm^{-3})$	吸水率 /%	压碎值 /%	针片状含量 /%
砖骨料	2.33	15.6	40.6	10.5
混凝土骨料	2.65	5.8	25.3	11.2

两类再生骨料性能对比分析表明,砖骨料的表观密度较小,其材质更为疏松多孔,空隙率较大,吸水率较多,砖块材料是黏土经高温煅烧形成的,其强度较天然集料低。混凝土骨料是天然集料经水泥混凝土包裹形成的碎石材料,强度等级较好。总体来说,混凝土骨料的性能要远高于砖骨料,本研究采用混凝土骨料为原材料进行道路基层的回填铺筑,对其技术性能进行研究。

1.2 水泥

研究采用河南产 42.5 普通硅酸盐水泥,其技术性能见表 2。

表 2 水泥技术性能

测试指标	初凝时间 /min	终凝时间 /min	28 d 抗压 强度 /MPa	28 d 抗折 强度 /MPa
试验结果	162	255	36.8	8.5

1.3 试验方案

研究将废旧建筑再生骨料应用于道路基层结构水泥稳定碎石材料中,为促进再生骨料水泥稳定碎石材料的抗开裂性能,研究选用骨架密实型碎石级配,其目标级配见图 3。

试验采用的基础水泥剂量为 4.5%,再生水泥稳定碎石材料的成型方式采用重型击实,其中再生骨料的掺量为 0%~50%不等,研究重点考察稳定碎石最大干密度、最佳含水率、无侧限抗压强度、抗冻性

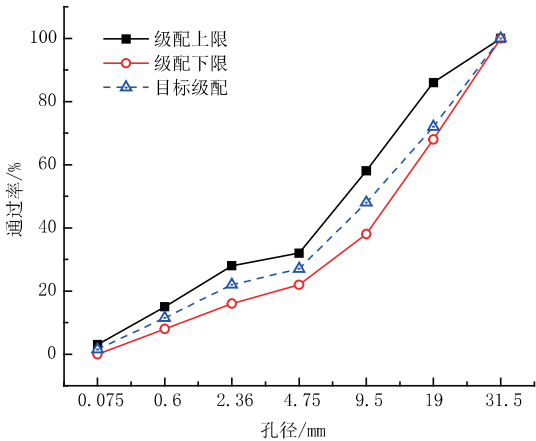


图 3 稳定碎石级配曲线

能、抗冲刷性能随再生骨料掺量的变化规律。

2 再生水泥稳定碎石性能研究

2.1 最大干密度和最佳含水率

水泥稳定碎石是一种半刚性基层材料,要求其具备较好的黏聚性和抗裂特性。为确保实际的路段施工基层材料性能可以达到室内预期研究效果,研究会对 4.5%水泥剂量下稳定碎石的最大干密度和最佳含水率进行测定,试验结果见图 4、图 5。

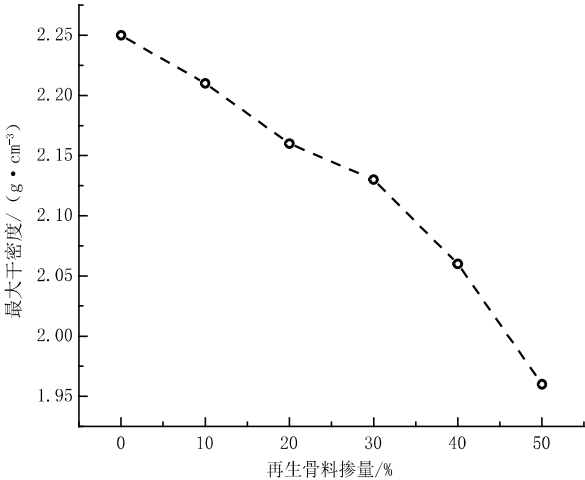


图 4 稳定碎石最大干密度

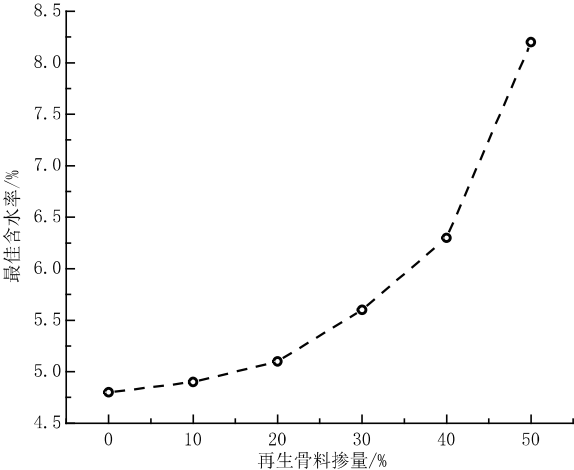


图 5 稳定碎石最佳含水率

如图4、图5所示,采用重型击实成型方式制备再生水泥稳定碎石时,最大干密度和最佳含水率随着再生骨料的增加分别呈先下降和上升的趋势。其中,当再生骨料掺量达到30%以上时,稳定碎石的最大干密度急剧下降,最大含水率急剧增大。其主要原因是再生骨料的孔隙率较大,材料呈疏松多孔状态,其强度和坚硬程度较弱。当再生骨料的掺量达到一定程度时,在重型击实作用下,再生骨料易产生开裂损伤。因此,为确保再生水泥稳定碎石基层材料的路用性能,需合理调控碎石材料的最大干密度和最佳含水率。

2.2 无侧限抗压强度

为进一步研究再生水泥稳定碎石材料的力学性能,试验对4.5%水泥剂量下水泥稳定碎石试件进行7d无侧限抗压强度试验,试验结果见图6。

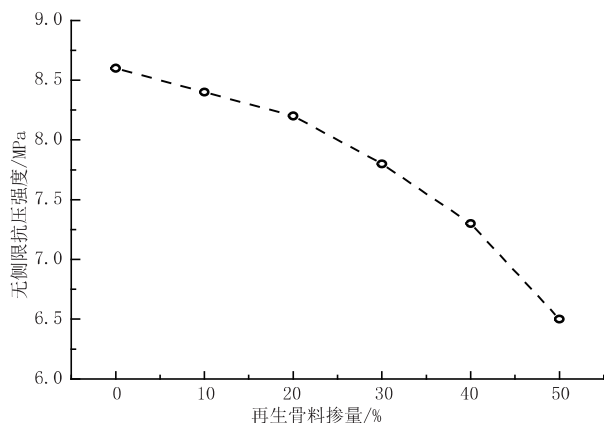


图6 稳定碎石无侧限抗压强度

如图6所示,对5种不同再生骨料掺量下的稳定碎石进行无侧限抗压强度试验结果的汇总,并与未掺再生骨料的普通稳定碎石进行对比。研究表明10%~50%掺量下5种稳定碎石的抗压强度相较于普通稳定碎石分别下降了2.33%、4.65%、9.30%、15.12%和24.42%,说明再生骨料掺量的提升对稳定碎石性能的劣化影响还是较为显著的。当再生骨料掺量大于40%时,稳定碎石的抗压强度已低于7.3 MPa。再生骨料的增加会使得混合料中空隙率增大,重型击实作用下碎石材料更易破碎,材料的整体黏聚性和密实性降低。若需要进一步提升碎石材料的整体性和结构强度,可采用再生骨料强化和增加水泥剂量的方式进行改良,但随之会增加生产成本。在实际的再生骨料稳定碎石基层路段施工中要控制好骨料的料原质量,确保材料的结构强度达到设计要求。

为进一步研究再生骨料稳定碎石的性能变化规律,采用5.0%、5.5%和6%水泥剂量制备稳定碎石,

测试其无侧限抗压强度,并与4.5%水泥剂量下碎石材料的抗压强度进行对比分析,见图7。

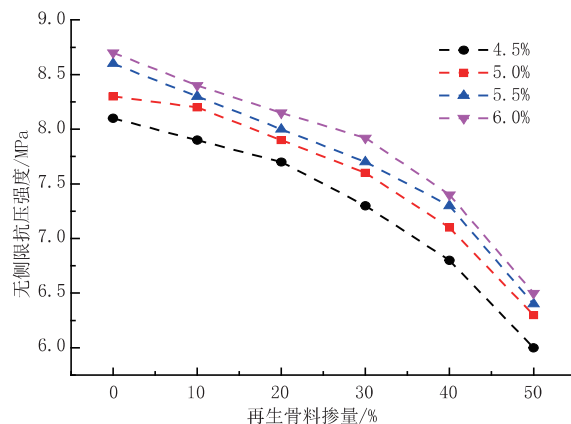


图7 不同水泥剂量下碎石材料无侧限抗压强度

研究表明水泥剂量的增加可以在一定程度上增强碎石材料的抗压强度,但当水泥剂量达到一定程度时,水泥掺量的继续增加对稳定碎石材料强度的提升幅度有限。水泥与再生骨料表层附着的砂浆产生二次水化反应,进一步增强碎石材料整体的强度。但再生骨料本身的强度较低,水泥对其的强度增强作用也存在局限性。因此,考虑到再生水泥稳定碎石材料抗压强度的提升,建议采用5.0%~5.5%范围的水泥使用剂量。

2.3 抗冻性能

基层稳定碎石材料在服役过程中会面临冻融损伤,因此,再生水泥稳定碎石材料的抗冻性能就显得格外重要。研究采用4.5%水泥剂量下水泥稳定碎石材料进行冻融循环试验,采用冻融损伤系数来表征不同冻融循环次数下碎石材料的抗压强度与初始抗压强度的比值,研究结果见图8。

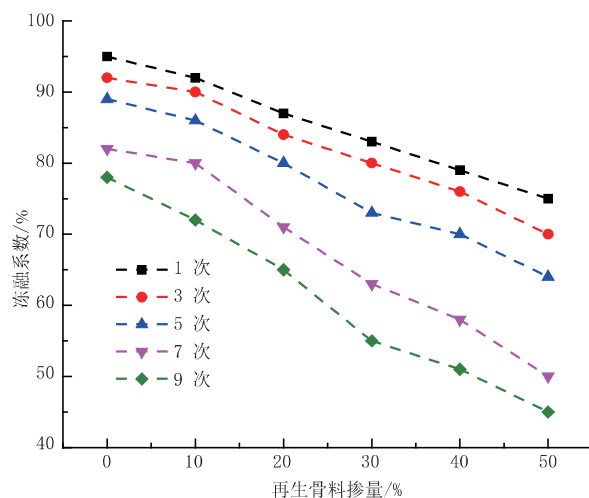


图8 稳定碎石冻融系数

如图8所示,对不同冻融循环下稳定碎石的冻融系数进行汇总分析,随着冻融次数的增加,稳定碎

石的冻融系数逐渐减小,说明碎石材料的结果强度逐渐降低。其中,不掺再生骨料的普通稳定碎石材料,其冻融1次和9次时,冻融系数分别为95%和78%,下降了约17%;而40%和50%再生骨料掺量时,其冻融系数分别降低了28%和30%。稳定碎石的抗冻性能和材料的密实性和结构强度有关,而再生骨料与天然集料按合理配比进行骨架结构的嵌挤,可以实现内部材料的性能耐久。考虑到稳定碎石的长期抗冻性能稳定,建议建筑垃圾回填路基材料时再生骨料的掺量不宜超过30%。

2.4 抗冲刷性能

研究对再生稳定碎石材料制备而成标准柱型试件进行冲刷试验,分别记录不同雨水冲刷时间下试件的质量损失,试验结果见图9。

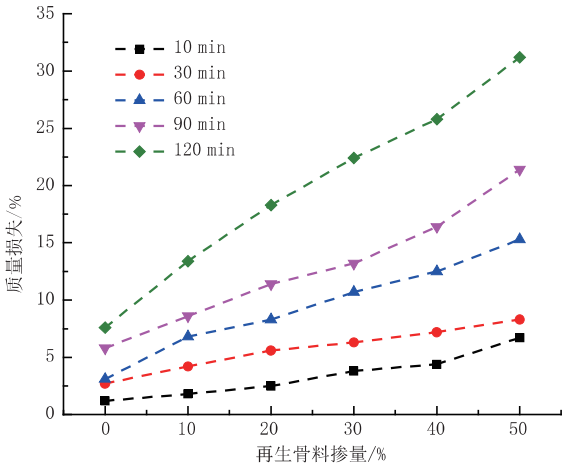


图9 不同冲刷时长下碎石材料质量损失

如图9所示,随着冲刷时长的增加,稳定碎石材料的质量损失逐渐增加。10~120 min 不同雨水冲刷时,50%再生骨料掺量下碎石材料的质量损失分别从6.7%~31.2%不等。其中,当雨水冲刷时长达到60 min 时,稳定碎石材料的质量损失随再生骨料掺量的增加逐渐变大。当雨水冲刷时间达到90 min 以上时,再生骨料掺量达到20%以上时,碎石材料的质量损失均达到10%以上。再生骨料材料松散多孔,内部空隙率较大,再生骨料掺量的增加会提升碎石材料雨水冲刷质量损失的风险。从抗冲刷性能和质量损失角度而言,再生骨料的掺量不易大于40%。

2.5 性能综合对比分析

研究对4.5%水泥剂量下的稳定碎石的无侧限抗压强度、抗冻性能(5次冻融循环)和抗冲刷性能(60 min 冲刷时长)进行综合分析,建立无量纲化评价矩阵,将性能最大值赋值为1,将最小值赋值为0,其他相关参数根据差分法进行取值,相关性能随再

生骨料掺量的变化规律见图10。

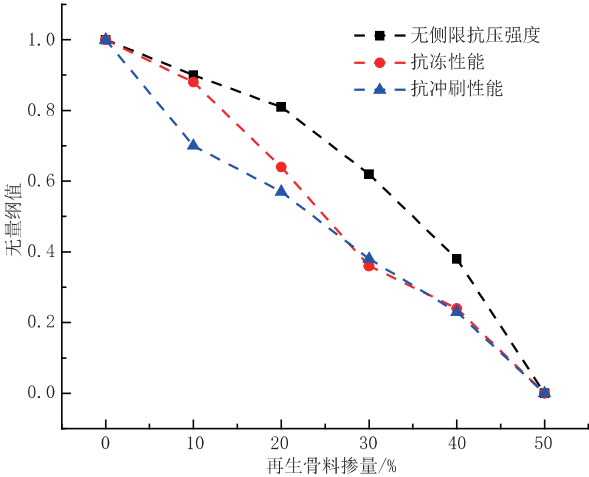


图10 稳定碎石路用性能无量纲值

如图10所示,对稳定碎石的无侧限抗压强度、抗冻性能和抗冲刷性能进行无量纲分析,研究表明抗冲刷性能受稳定碎石中再生骨料的掺量变化最为明显,而抗冻性能次之。而无侧限抗压强度的下降先呈缓慢下降,后迅速下降的趋势,综合各相关性能的具体变化规律,建议将建筑垃圾用于路基回填筑路时,骨料掺量不宜超过30%。

3 结 语

本文以建筑回收垃圾材料为基础进行再生骨料回填路基筑路进行技术研究,主要得到以下结论:

- (1)混凝土再生骨料相较于砖骨料而言,密度高、含水率和压碎值小,更适用于再生水泥稳定碎石基层材料;
- (2)再生骨料的掺量逐渐增加,4.5%水泥剂量下再生水泥稳定碎石材料的最大干密度逐渐下降,最佳含水率逐渐增大,其抗压强度、抗冻性能和抗冲刷性能均不断下降;
- (3)水泥剂量的增加可在一定程度上改良和提升稳定碎石抗压强度,考虑到成本和性能双重保障,建议再生水泥稳定碎石的水泥剂量不宜超过5.5%;
- (4)相较于抗压强度和抗冻性能,抗冲刷强度随再生骨料掺量的变化更为敏感;综合再生水泥稳定碎石性能的变化趋势,建议再生骨料的掺量应控制在30%以内。

参考文献:

[1] 张张伟.道路用砖混类建筑垃圾再生材料试验研究[D].北京:北京建筑大学,2020.
[2] 薛振华,齐红军,樊兴华.建筑垃圾分离渣土路用性能研究[J].环境科学与管理,2020,45(7):83-87.

掺加3%水泥进行拌和。拌和均匀后运至现场6h内进行摊铺碾压。若施工现场暂无填料需求,则直接将泥饼运至仓库进行临时堆放,备用。

2.5.2 路拌法施工工艺

制备泥饼堆放路边,掺入生石灰,闷料翻晒,待含水率降至27%,上土摊铺。对摊铺好的土用铧犁和旋耕机进行翻耕与破碎,人工挑除土层中的石块和其他杂物。含水率比最佳含水率高2%~4%时,掺加3%水泥进行拌和,其他流程同前。

2.6 实施效果

试验段就地固化段,28d龄期的比贯入阻力值主要分布于0.7~1.2 MPa范围内,力值较大且分布较集中,表明固化剂与淤泥混合较均匀,固化效果良好。各段制备出的固化土填料CBR值平均达14%,摊铺碾压后路基顶弯沉代表值190(1/100 mm),比传统塘渣更优。

2.7 跟踪观测

为验证其长期可靠性,对固化土试验段进行跟踪观测,包括沉降监测和耐久性检测。也就是说,在各工艺段分别钻孔,分别检测试件CBR值、无侧限

抗压强度、含水率、固结度、压实度、回弹模量等指标,检测频率为通车后0.5a、1a、2a和3a。试验段已通车1a,各项跟踪观测指标均符合要求。

3 结 论

根据固化体系理论分析、固化土路基标准确定、试验段实施和跟踪观测情况,软土地区就地加固软弱地基和淤泥质土(泥浆)固化后用于路基填料技术可行。固化土填料制备受天气条件影响大,且考虑扬尘控制,在大规模应用固化土技术时,推荐采用厂拌工艺进行固化土填料制备。

参考文献:

- [1] 周海龙,申向东.土壤固化剂的应用研究现状与展望[J].材料导报,2014,28(9):134-138.
- [2] 温学钧,郑晓光,孔忠良.上海世博会园区生态道路建设与工程示范[J].筑路机械与施工机械化,2011,28(8):30-35,9.
- [3] 刘辰阳.GGBS+MgO固化软土的力学特性、耐久性能与机理研究[D].南京:东南大学,2013.
- [4] 凌建明,等.水泥-石灰土水稳性的实验研究[J].同济大学学报(自然科学版),2001(6):733-737.

~~~~~  
(上接第33页)

- [3] 吴小英,姚政.建筑垃圾作为路基填料的合规性分析与质量控制[J].工程技术研究,2020,5(13):16-17.
- [4] 高志兴.建筑垃圾路基填筑技术[J].城市道桥与防洪,2020(1):30-33.
- [5] 薛雪.建筑垃圾作为道路材料的再生加工技术研究[D].陕西西安:长安大学,2014.
- [6] 薛振华,齐红军,樊兴华.建筑垃圾分离渣土路用性能研究[J].环境科学与管理,2020,45(7):83-87.
- [7] 周文娟,张志伟,徐玉波.建筑垃圾再生骨料无机混合料的力学及抗

- 冻性能[J].材料导报,2020,34(S1):234-236.
- [8] 郭一枝,万暑,吴超凡.碱激发废旧混凝土道路基层材料在马桥河路改建工程中的应用[J].中外公路,2019,39(5):266-271.
- [9] 李岩凌,李烁,周少剑,等.建筑垃圾再生骨料在海绵城市建设中的应用研究[J].新型建筑材料,2019,46(10):170-173.
- [10] 安振源.基于建筑垃圾再生集料的水泥稳定基层试验研究[J].城市道桥与防洪,2018(6):266-268.
- [11] 杨思韩,黄伟明.温州市建筑固体废弃物再生资源的应用探讨[J].城市道桥与防洪,2019(11):156-159.