

建筑垃圾在路基回填材料中的使用性能研究

李行, 吴超凡, 万暑, 张继森

(湖南云中再生科技股份有限公司, 湖南 长沙 410007)

摘要: 针对建筑垃圾细集料应用于路基回填材料的路用性能进行了研究。研究所用集料包括混凝土块和砖混结构再生集料两类。试验结果表明:当压实度满足规范要求时,两类建筑垃圾细集料的 CBR 值(加州承载比)均能达到各级公路路基材料的强度要求。利用混凝土块细集料进行了路基试验段铺筑,质量检测结果表明:路基压实度及回弹模量均满足规范及设计要求。

关键词: 建筑垃圾; 路基回填材料; 压实度; 承载比; 回弹模量

伴随着工业化和城市化进程的加快,中国已成为全球产生建筑垃圾最多的国家。据统计,近几年中国每年产生的建筑垃圾为 15.5 亿~24 亿 t,占城市垃圾总量的 30%~40%,产量惊人。目前,中国建筑垃圾的处理面临突出问题,基本停留在落后简单的填埋式处理,给社会环境造成严重影响。根据以往经验,每万吨建筑垃圾填埋约占用土地 1 亩(1 亩=666.6 m²),1 亿 t 建筑垃圾将占地 1 万亩,浪费大量土地资源的同时也对周边的生态环境造成严重破坏。因此,如何实现建筑垃圾减量化、资源化和无害化已成为政府部门和专家学者们亟待解决的问题。

建筑垃圾属于城市垃圾中危害程度较小的部分,进行合理利用后不会造成二次污染。所有建筑垃圾中,渣土、砖瓦、混凝土块等无机材料占 90%以上的比例,具有稳定的物理及化学性质;另外,建筑垃圾具有来源集中性、产生阶段性、分选难度小等特点,因而目前中国大部分研究都是考虑将其作为建筑材料进行再利用,如制备砌块、应用于道路材料等。

由于城市建筑垃圾的特点,经破碎和筛分后得到的骨料中,细料占据了绝大部分的比例(约占 70%),但是在目前的道路水稳层的级配配比中,细料的用量却不到 50%,还有超过 20%的细料得不到充分利用。为消纳这部分过剩的建筑垃圾细集料(0~4.75 mm),对其应用于路基回填材料中的使用性能进行研究具有重要意义。

路基回填材料的主要路用性能是强度,通过承载

比(CBR 值)来表征。基于此,该文主要针对建筑垃圾路基回填细集料的强度性能进行研究。

1 试验原材料

试验原材料主要为建筑垃圾细集料,取自湖南长沙某建筑垃圾破碎厂,包括混凝土块和砖混结构再生集料两类。为保证试验样品的代表性,试验开始前进行所需集料样品总量计算,并一次性备足样品。

试验前利用 9.5 mm 标准方孔筛筛除超粒径颗粒,试验过程通过四分法确保试验样品的代表性。原材料的筛分试验结果如表 1 所示。

表 1 再生细集料回填材料筛分试验结果

材料类型	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%				
	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
混凝土块细集料	100	76.8	50.7	23.8	4.9
砖混结构细集料	100	82.4	60.0	31.8	7.7

试验用水为普通生活用水。

2 建筑垃圾细集料试验结果与分析

2.1 建筑垃圾细集料试验结果

路基包括路床和路堤,其填筑主要要求保证填料碾压压实且承载比(CBR)达到一定标准,对级配要求不高。

收稿日期:2018-05-16

基金项目:长沙市科技计划项目(编号:kq1703046)

作者简介:李行,男,硕士,工程师,E-mail:250243724@qq.com

对两类建筑垃圾细集料进行原材料试验,主要包括 密度试验、液塑限测定等,试验结果如表 2 所示。

表 2 原材料试验结果

项目		最大粒径/ mm	表观密度/ (g · cm ⁻³)	不均匀 系数	液限/ %	塑性指数
混凝土块细集料		<9.5	2.523	15.8	29.1	7.9
砖混结构细集料		<9.5	2.500	20.5	28.4	8.1
规范要求	路床	<100	—	—	—	—
	路堤	<150	—	—	<50	<26

注:液塑限试验所用样品为再生细集料中粒径小于 0.5 mm 的部分。

由表 2 可知:

(1) 与砖混结构细集料相比,混凝土块细集料的表观密度较大。

(2) 两类建筑垃圾细集料的粒径、液限、塑性指数等指标均满足 JTG D30—2004《公路路基设计规范》要求。

2.2 建筑垃圾细集料击实试验结果

对两类回填细集料进行重型击实试验,得到其最佳含水量及最大干密度如表 3 所示。

由表 3 可知:混凝土块细集料的最佳含水率小于

表 3 回填材料击实试验结果

材料类别	最佳含水 率/%	最大干密度/ (g · cm ⁻³)
混凝土块细集料回填材料	13.4	1.881
砖混结构细集料回填材料	16.8	1.742

砖混结构细集料,而最大干密度大于砖混结构细集料。

2.3 建筑垃圾细集料承载比(CBR)试验结果

根据 JTG D30—2004《公路路基设计规范》,各等级公路路床和路堤的压实度及强度要求如表 4 所示。

表 4 路床和路堤填料压实度及强度要求

项目 分类	路面以下 深度/m	填料最小强度(CBR)/%			压实度/%		
		高速公路及 一级公路	二级 公路	三、四 级公路	高速公路及 一级公路	二级 公路	三、四 级公路
路床	0~0.3	8	6	5	≥96	≥95	≥94
	0.3~0.8	5	4	3	≥96	≥95	≥94
路堤	0.8~1.5	4	3	3	≥94	≥94	≥93
	>1.5	3	2	2	≥93	≥92	≥90

承载比试验包括膨胀量及贯入试验,试验结果如表 5、6 所示。

表 5 膨胀量试验结果

材料类别	不同压实度(%)下的膨胀量/mm		
	100	96	92
混凝土块细集料	0	0.01	0.03
砖混结构细集料	0.01	0.04	0.06

表 6 CBR 值试验结果

材料类别	不同压实度(%)下的 CBR 值/%		
	100	96	92
混凝土块细集料	363.8	240.0	170.0
砖混结构细集料	265.2	211.4	111.7

由表 5、6 可知:

(1) 两类细集料的膨胀量均很小,满足路基施工技术要求。

(2) 与砖混结构细集料相比,混凝土块细集料的膨胀量较小,且两类细集料的膨胀量均随压实度的减小而增大。

(3) 压实度满足规范要求时,两类细集料的 CBR 值均满足各级公路路基填料的强度要求,且混凝土块细集料的 CBR 值显著大于砖混结构细集料。

(4) 回填材料的 CBR 值随着压实度的增加而显著增大,这是由于材料的密实度增加,抵抗压缩变形的能力也增强,说明施工过程的压实质量对路基回填材料的强度及稳定性有很大影响,属于施工质量的主控项目。

3 工程实例

项目工程实例为长沙县青园路,路基试验段 96 区所用原材料为长沙某建筑垃圾处置基地的混凝土块细集料。路基设计宽度 27 m,设计压实厚度 30 mm,设计回弹模量值 45 MPa。该再生集料的筛分试验结果如表 7 所示,相关技术指标试验结果如表 8 所示。

表 7 混凝土块再生细集料筛分试验结果

筛孔/mm	通过率/%	筛孔/mm	通过率/%
9.5	100	0.6	29.4
4.75	96.9	0.075	3.0
2.36	61.7		

由表 8 可知:原材料各项技术指标均满足规范要求。原材料通过加水厂拌并运输至现场进行碾压成型,终压后进行压实度检测,结果如表 9 所示。

由表 9 可知:现场压实质量符合规范及设计要求。碾压完成后第 2 d 进行回弹模量检测,检测数据如表 10 所示。

表 8 混凝土块再生细集料相关技术指标试验结果

表观密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	不均匀 系数	液限/ %	塑性 指数
2.534	15.2	28.3	9.7

表 9 长沙县青园路部分桩号压实度检测结果

桩号	设计压实度/%	实测压实度/%
K0+200	96.0	96.7
K0+250	96.0	96.3
K0+300	96.0	96.6
K0+350	96.0	96.4

通过计算,得出该混凝土块细集料填筑的路基回弹模量值为 87 MPa,大于回弹模量设计值(45 MPa),检测结果为合格。

4 结论

(1) 混凝土块及砖混结构细集料的粒径、液限、塑性指数等指标均能满足路基回填材料的规范要求。

表 10 承载板测定路基回弹模量检测结果

加压顺序	承载板压力/MPa	百分表读数/(0.01 mm)				总变形/ (0.01 mm)	回弹变形/ (0.01 mm)	E_i / MPa	回弹模量 平均值/ MPa
		表 1		表 2					
		加载后	卸载后	加载后	卸载后				
预压	0.05	—	—	—	—	—	—	—	
1	0.02	13	10	14	12	27	5	83	
2	0.04	19	12	16	12	35	11	75	
3	0.06	26	15	19	13	45	17	73	
4	0.08	30	18	28	15	58	25	66	
5	0.10	33	20	33	19	66	27	77	
6	0.14	43	26	47	26	90	38	76	
7	0.18	54	32	56	34	110	44	85	87
8	0.22	65	42	69	44	134	48	95	
9	0.26	78	50	78	50	156	56	96	
10	0.30	91	58	91	58	182	66	94	
11	0.34	103	66	102	64	205	75	94	
12	0.38	113	74	113	73	226	79	99	
13	0.42	123	82	124	82	247	83	100	
14	0.46	133	89	134	91	267	87	100	

再生粗集料化学强化试验研究

胡旭晗¹, 肖杰^{1*}, 杨和平¹, 吴超凡², 张继森²

(1.长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114; 2.湖南云中再生科技股份有限公司)

摘要: 建筑垃圾再生集料相比天然集料物理力学性能较差,为提高其性能,该文采用4种化学溶液对再生粗骨料进行物理性能强化,使用不同浓度溶液对集料处理不同时间,测试其吸水率及压碎值的变化。结果表明:4种溶液均可降低再生集料的吸水率和压碎值,但在不同浓度和不同处理时间下效果不同。有机硅树脂对再生粗骨料吸水率的降低效果最明显;水玻璃溶液对提高再生集料强度效果最好;盐酸处理效果次于水玻璃和有机硅树脂,但过高浓度或过长的处理时间反而降低了骨料性能;碱溶液强化效果最弱,不推荐使用。综合考虑强化效果,推荐了3种再生粗骨料强化方法。

关键词: 道路工程; 再生粗集料; 化学强化; 吸水率; 压碎值

伴随着中国建筑业迅速发展,每年都有大量的旧建筑、老旧路面面临拆除和重建,由此每年都会产生数以亿吨计的建筑垃圾。建筑垃圾随意丢弃不仅占地巨大、污染严重,同时也是对这种资源的巨大浪费。对建筑垃圾的回收利用成为近几年研究的焦点,目前最为广泛的利用方式为:对建筑垃圾进行破碎、筛分等一系列处理之后制作成再生骨料,部分或者全部替代天然骨料用以生产再生混凝土或水稳碎石材料。相较于天然骨料,再生骨料的各项性能有着明显的下降。再生骨料表面包裹着大量的水泥砂浆,同时在其使用及破碎、筛分的过程中,产生了大量的微裂缝,这些原因导致了再生骨料强度低、空隙率高、堆积密度小、吸水率大,其中强度低和吸水率过高严重限制了再生骨料

的应用范围,目前主要应用于低强度水泥混凝土的制备,其耐久性能、渗透性能、抗冻性能等性能也有明显的下降。

为提高再生集料的利用率,改善再生骨料的缺陷,应用于更高质量的混凝土,国内外学者都对再生骨料的性能强化进行了一系列的研究。目前再生骨料强化方法主要有物理强化和化学强化两种。物理强化的原理是利用机械设备对骨料进行处理,使再生骨料相互撞击、磨削以除去表面附着的水泥砂浆,同时磨去棱角,使粒形更好。物理强化方法有立式偏心研磨法、颗粒整形技术和加热研磨法等。然而,因物理强化方法工序复杂、耗能巨大,尚未推广使用。化学强化方法主要是使用溶液、聚合物等对再生骨料进行浸泡、淋洗等

(2) 压实度满足规范要求时,混凝土块及砖混结构细集料的膨胀量均满足路基施工技术要求,CBR值均满足各级公路路基填料的强度要求。

(3) 路基回填材料的压实度越大,CBR值越大,材料抵抗压缩变形的能力越强,稳定性越好,施工中确保压实度达到规范及设计要求是质量控制关键。

(4) 利用混凝土块细集料铺筑的路基试验段检测结果表明,当压实度达到规范及设计要求时,路基回弹模量值也能满足规范及设计要求,进一步说明将建筑

垃圾细集料应用于路基回填料是可行的。

参考文献:

- [1] 赵军,刘秋霞,林立清,等.大城市建筑垃圾产生特征演变及比较[J].中南大学学报:自然科学版,2013(3).
- [2] 魏秀萍,赖茂宇,张仁胜.建筑垃圾的管理与资源化[J].武汉工程大学学报,2013(3).
- [3] 王中明.建筑垃圾再生细集料砂浆砌体受力性能试验研究[D].郑州大学硕士学位论文,2011.
- [4] JTG D30-2004 公路路基设计规范[S].

收稿日期:2018-08-10

基金项目:湖南省科技支撑计划项目(编号:2015SK2063);长沙市科技计划项目(编号:kq1703046)

作者简介:胡旭晗,男,硕士研究生.E-mail:1299330165@qq.com

*通信作者:肖杰,男,博士,副教授.E-mail: xiaojie324@csust.edu.cn