

水泥稳定砖砟再生集料路用性能试验研究

李曙龙

(湖南省长益高速公路扩容工程建设开发有限公司, 湖南 长沙 410001)

摘要: 分别以 0、15%、30%、50% 砖砟再生集料取代天然集料, 分析不同取代率下水泥稳定砖砟再生集料的力学性能、干缩和温缩性能的变化。结果表明, 相对于天然集料, 砖砟再生集料表面及内部存在较多微孔隙, 可增大对水的吸附能力, 砖砟再生集料掺量较高时, 水稳基层混合料的含水率更大; 砖砟再生集料取代率为 30% 时, 水泥稳定砖砟再生集料的力学性能最好, 相对于普通水泥稳定碎石, 7 d 龄期水泥稳定砖砟再生集料的抗压强度提高 1.7%, 劈裂强度提高 11.4%, 抗压回弹模量提高 12.7%; 在一定取代率范围内, 随着砖砟再生集料取代率的提高, 水稳基层材料的干缩和温缩系数下降。

关键词: 公路; 水泥砖砟再生集料; 基层; 路用性能

中图分类号: U418.6

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2021)01-0091-04

新城建设和旧城改造中会产生大量建筑废弃物, 而中国目前建筑废弃物的总利用率不足 5%, 远低于欧、美等 90% 的综合利用水平。由于大部分建筑废弃物未经有效处理, 通常是随意堆放和填埋处理, 不仅侵占大量土地, 还会污染水体和大气, 严重破坏生态环境。这些建筑物废弃物主要由水泥砟和少量砖渣构成, 其本身具有良好的物理力学性质, 在经过破碎分拣后具有代替天然集料的潜力, 并在水泥砟及基层施工中得到应用。该文参照砖砟建筑废弃物在水泥砟及路面基层中的应用成果, 将砖砟建筑废弃物用于水稳基层中, 以降低公路建设对天然

集料的依赖程度, 同时促进砖砟建筑废弃物的有效回收利用。

1 原材料性能

所用天然集料为石灰岩。依据 JTG/T F20-2015《公路路面基层施工技术细则》对路用集料的要求, 结合 JTG/E 42-2005《公路工程集料试验规程》中的试验方法, 对天然集料和砖砟再生集料的表观密度、吸水率等性能进行检测, 结果见表 1~2。扫描电子显微镜 (SEM) 下天然集料与再生集料的微观结构见图 1。

表 1 粗集料检测结果

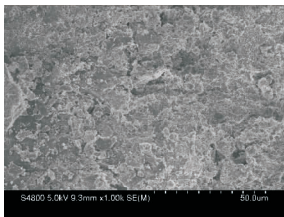
集料种类		表观密度/(g·cm ⁻³)	吸水率/%	针片状颗粒含量/%	压碎值/%
天然集料	19~26.5 mm	2.69	0.39	7.2	20.8
	9.5~19 mm	2.71	0.56	8.3	
	4.75~9.5 mm	2.73	0.58	8.9	
砖砟再生集料	19~26.5 mm	2.53	5.42	5.6	27.5
	9.5~19 mm	2.55	5.51	6.1	
	4.75~9.5 mm	2.54	5.68	6.3	

表 2 细集料检测结果

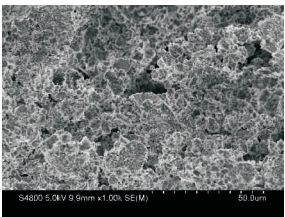
集料种类	表观密度/(g·cm ⁻³)	吸水率/%	液限/%	塑限/%	塑性指数
天然集料	2.68	4.5	22.3	16.1	6.2
再生集料	2.49	10.1	28.6	21.2	7.4

由表 1、表 2 可知: 相比于天然集料, 各粒径下砖砟再生粗集料的表观密度较小, 吸水率更大。这可能与砖砟再生集料性质有关, 砖砟再生集料的表

面及内部存在较多微孔隙, 其质量较轻, 同时大量微



(a) 天然集料



(b) 再生集料

图 1 集料的微观结构

孔隙的存在增大了对水的吸附能力,导致砖矸再生集料掺量较高时,水稳基层混合料的吸水率增大。

2 水泥稳定混合料试验设计

2.1 级配设计

考虑到骨架密实型结构具有较好的力学性能,水泥稳定再生集料基层采用 JTG D50—2006《公路沥青路面设计规范》推荐的水泥稳定级配碎石(C—B—3)级配范围的中值(见表3)。为保证均匀性,分别将天然集料和再生集料过 31.5、19.0、9.5、4.75、2.36、0.6、0.075 mm 筛备用。

表3 水泥稳定再生集料的级配

级配	各筛孔(mm)的通过率/%						
类型	31.5	19.0	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
级配范围	100	68~86	38~58	22~32	16~28	8~15	0~3
合成级配	100	77	48	27	22	115	15

2.2 击实试验结果分析

依据 JTG E51—2009《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》中重型击实试验方法开展击实试验,再生集料掺量分别为 0、15%、30%、50%,水泥剂量分别为 3%、4%、5%。试验结果见图2。

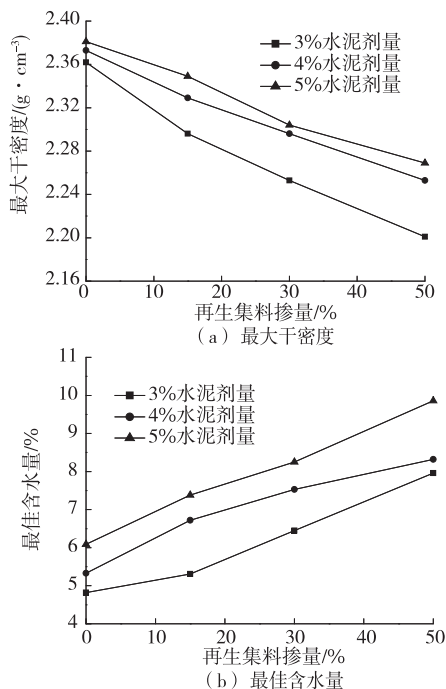


图2 水泥稳定砖矸再生集料击实试验结果

由图2可知:随着砖矸再生集料掺量的增加,水泥稳定砖矸再生集料的最大干密度下降,最佳含水

量上升。水泥剂量为 4% 时,随着再生集料取代率由零增加到 50%,混合料的最大干密度由 2.373 g/cm^3 降低到 2.253 g/cm^3 ,最佳含水率由 5.33% 增大到 8.32%,表明砖矸再生集料掺量的增加会对混合料的击实性能产生影响。

3 水泥稳定混合料力学性能分析

3.1 试验方案

依据 JTG D50—2006 和 JTG E51—2008 中要求及试验方法,开展 3%、4%、5% 水泥剂量下水泥稳定混合料 7 d 无侧限抗压强度试验,4% 水泥剂量下 7、28、90 d 无侧限抗压强度、劈裂强度和抗压回弹模量试验及 90 d 干缩、温缩性能试验,分析不同砖矸再生掺量对水泥稳定混合料性能的影响。

3.2 无侧限抗压强度

不同水泥剂量下,不同取代率水泥稳定砖矸再生集料在 7、28、90 d 龄期时的抗压强度试验结果见图3、图4。

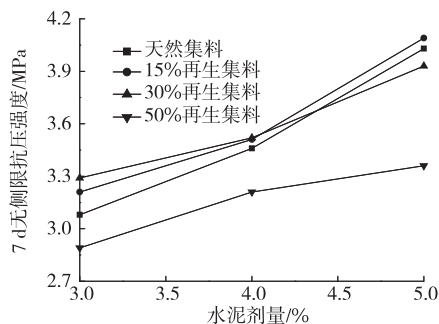


图3 水泥稳定砖矸再生集料的 7 d 无侧限抗压强度

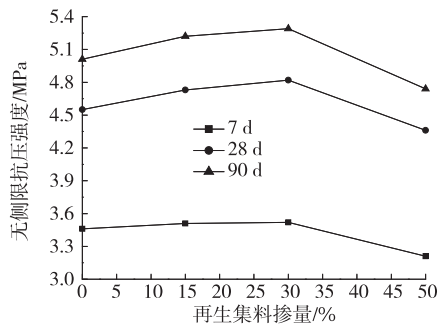


图4 4%水泥剂量下水泥稳定砖矸再生集料的无侧限抗压强度

由图3可知:不同取代率下,水泥稳定砖矸再生集料的 7 d 无侧限抗压强度随着水泥剂量的增加而增大,但当砖矸再生集料取代率超过 15% 时,混合料强度增加速度下降。究其原因,可能是水泥剂量较低时,随着砖矸再生集料掺量的提高,附着在砖矸

表层的部分未水化或水化不完全的水泥颗粒在与集料表面的水膜接触后水化效果更好,生成的水化胶凝物质增多,从而使混合料的强度提高;而砖矸再生集料掺量过高时,砖矸再生集料表面分布的水泥颗粒含量减少,水化反应变差,影响集料颗粒间的黏结,导致混合料的整体强度增加缓慢。

由图4可知:4%水泥剂量时,水泥稳定砖矸再生集料的7、28、90 d抗压强度均随着砖矸再生集料掺量的增加呈先增大后减小的趋势。砖矸再生集料取代率为30%时,水泥稳定砖矸再生集料的抗压强度最大,其7、28、90 d无侧限抗压强度分别为3.52, 4.82, 5.29 MPa,分别比同龄期普通水泥碎石的强度提高1.7%, 5.9%, 5.5%。

3.3 劈裂强度

4%水泥剂量下,水泥稳定砖矸再生集料7、28、90 d龄期劈裂强度见图5。

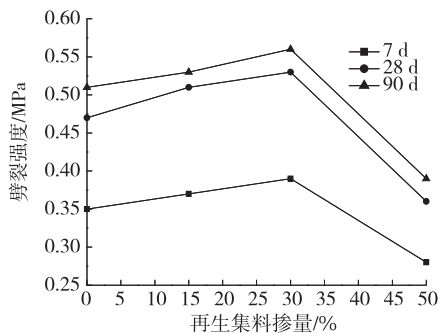


图5 水泥稳定砖矸再生集料的劈裂强度

由图5可知:砖矸再生集料取代率低于30%时,混合料的劈裂强度随着再生集料取代率的提高而增大,30%取代率下水泥稳定砖矸再生集料相对于普通水泥稳定碎石的劈裂强度,7 d龄期时提高11.4%, 28 d龄期时提高8.5%, 90 d龄期时提高9.8%;取代率超过30%时,劈裂强度下降明显。究其原因,砖矸再生集料掺量一定时,混合料水化反应生成的水化产物嵌入砖矸再生集料和天然集料之间,使两种集料之间的黏结性更好,彼此相互摩擦嵌挤,因而强度较高;而取代率过高时,由于混合料中天然集料含量显著减少,无法形成更稳定的骨架,导致劈裂强度下降明显。

3.4 抗压回弹模量

7、28、90 d龄期时水泥稳定砖矸再生集料的抗压回弹模量见图6。

由图6可知:混合料的抗压回弹模量与抗压强度、劈裂强度具有相似的表现,都随着再生集料取代

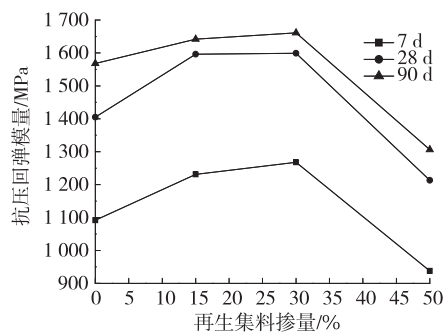


图6 水泥稳定砖矸再生集料的抗压回弹模量

率的增加出现先上升后下降的趋势。砖矸再生集料取代率为15%、30%、50%时,与普通水泥稳定碎石抗压回弹模量相比,7 d龄期时分别提高12.7%、16.1%、-14.2%, 28 d龄期时分别提高13.5%、13.8%、-13.7%, 90 d龄期时分别提高4.7%、5.9%、-16.8%。

3.5 干缩性能

不同取代率下水泥稳定砖矸再生集料的90 d干缩试验结果见图7。

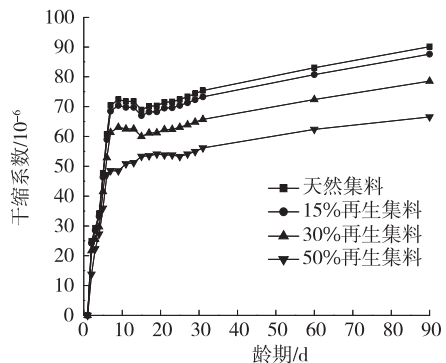


图7 水泥稳定砖矸再生集料的干缩系数

由图7可知:砖矸再生集料取代率由零增加到50%时,水泥稳定砖矸再生集料的干缩系数从 90.12×10^{-6} 逐渐减小到 66.55×10^{-6} ,表明砖矸再生集料取代率的增加能降低水泥稳定砖矸再生集料的干缩系数。可能是因为随着再生集料掺量的增加,混合料整体空隙比例增大,吸水率显著提高,而混合料内部的水分有助于自身的养生,从而使混合料干缩系数变小。

3.6 温缩性能

不同取代率下水泥稳定砖矸再生集料的温缩试验结果见表4。

由表4可知:在30~40℃条件下,砖矸再生集料取代率由零增加到50%时,混合料的温缩系数由 $8.82 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 下降到 $6.36 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。表明一定取

表 4 水泥稳定砖砟再生集料的温缩系数

温度/℃	不同再生集料掺量(%)下水泥稳定砖砟 再生集料的温缩系数/($10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)			
	0	15	30	50
40~30	8.82	8.24	7.03	6.36
30~20	8.52	7.84	6.68	5.82
20~10	7.65	7.16	6.12	5.44
10~0	7.17	6.60	5.66	4.90
0~-10	7.73	7.22	6.32	5.54

代率下,增加砖砟再生集料的取代率能明显降低水泥稳定砖砟再生集料的温缩系数。

4 结论

(1) 相较于天然集料,砖砟再生集料具有吸水率大、强度低、密度小、表面孔隙及微裂缝较多、压碎值大等特点。

(2) 随着砖砟再生集料取代率的增大,混合料最大干密度降低,最佳含水率显著增大。

(3) 随着水泥剂量的增加,水泥稳定砖砟再生集料的力学性能提高,其中砖砟再生集料取代率为30%时,混合料的力学强度最大,相对于普通水泥稳定碎石,7 d 龄期时水泥稳定砖砟再生集料的抗压强度提高 1.7%,劈裂强度提高 11.4%,抗压回弹模量提高 12.7%。早期力学强度的提高说明水泥稳定砖砟再生集料的整体路用性能较好。

(4) 在一定取代率范围内,混合料的干缩和温

缩性能随着砖砟再生集料取代率的增加而下降,说明砖砟再生集料的掺入可改善水稳基层的体积收缩性能,使水稳基层的路用性能更稳定、耐久性更好。

参考文献:

- [1] 徐平,张敏霞.我国建筑垃圾再生资源化分析[J].能源环境保护,2009,23(1):24-26.
- [2] 董璇.建筑垃圾再生利用的环境性能分析[D].青岛:山东科技大学,2011.
- [3] 高启聚,丛林,郭忠印.废弃水泥混凝土路面基层中的再生利用[J].公路交通科技,2008,25(2):20-23.
- [4] 杨俊,黎新春,陈峻松,等.废旧混凝土用作水泥稳定基层的实验研究[J].环境工程学报,2014,8(5):2097-2103.
- [5] 胡力群,沙爱民.水泥稳定废粘土砖再生集料基层材料性能试验[J].中国公路学报,2012,25(3):73-79+86.
- [6] XUAND X, MOLENAAR A A A, HOUBEN L J M. Evaluation of cement treatment of reclaimed construction and demolition waste as road bases[J].Journal of Cleaner Production,2015,100(1):77-83.
- [7] KOU Shicong, POON Chisun, ETXEBERRIA Miren. Influence of recycled aggregates on long term mechanical properties and pore size distribution of concrete[J]. Cement and Concrete Composites,2011,33(2):286-291.

收稿日期:2020-04-05

《中外公路》2021 年征订通知

《中外公路》(原《国外公路》)创刊于 1980 年,双月刊,由长沙理工大学主管、主办。邮局公开发行至全国公路、市政、铁路、水利、建筑等系统和相关行业,发行量大,影响面广。属全国中文核心期刊、RCCSE 中国核心学术期刊、首届(2006 年)中国高校特色科技期刊、中国高校技术类优秀期刊、中国科技核心期刊(中国科技论文统计源期刊,由中国科学技术信息研究所组织评选)、湖南省十佳科技期刊、“桥梁工程与隧道工程”栏目荣获首届(2008 年)湖南省优秀栏目、2009 年获全国高校科技期刊优秀编辑质量奖、中国期刊全文数据库及中国核心期刊(遴选)数据库全文收录期刊、中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊、多次被评为交通部、湖南省优秀期刊。

2021 年《中外公路》为大 16 开,页码 256 页以上,每册定价 15.00 元,全年 6 期共 90.00 元。

邮发代号:42-63。读者也可通过邮局或银行汇款至杂志社直接订阅。

地址:长沙理工大学云塘校区 58 号信箱 邮编:410114

收款单位:《中外公路》编辑部

户名:长沙理工大学 帐号:18-051401040000158

开户行:长沙市农行高云支行

电话:0731-85258033(带传真) 联系人:白雪 E-mail: zhongwaigonglu@vip.163.com