

纤维水泥稳定建筑垃圾路用性能研究

齐善忠, 付春梅

(黄河水利职业技术学院, 河南 开封 475004)

摘要:为了研究建筑垃圾在道路基层中的应用,通过大量室内试验,对水泥改性后的建筑垃圾力学性能进行研究,分析水泥稳定建筑垃圾添加聚丙烯纤维后的力学性能和收缩性能的变化规律。试验结果表明:水泥稳定建筑垃圾中掺加一定量的聚丙烯纤维,无侧限抗压强度和劈裂强度均大幅度提高,抗收缩能力显著提升,满足路用性能要求,而且聚丙烯纤维掺量存在最佳值。

关键词:建筑垃圾;路基材料;水泥稳定;聚丙烯纤维;室内试验

中图分类号: U414

文献标志码: A

21世纪以来,中国大力推进城市化进程,大量建造房屋和城镇改造,每年产生千万吨甚至上亿吨的建筑垃圾(另有称为建筑渣土),数量如此庞大的建筑垃圾,存放处理成了很大的困难。据有关部门保守估计至2017年中国国内总共产生15.93亿t左右的建筑垃圾,而2018年,建筑垃圾达17.04亿t左右,1年增长1亿多t,速度惊人。到2020年,中国建筑垃圾总量突破30亿t^[1]。

河南省开封市历史悠久,属于旅游城市,城市改造刻不容缓,由于老城区改造工程量巨大,产生大量建筑垃圾,大量土地被建筑垃圾侵占,周围环境条件恶化,并且容易造成大范围水土、空气污染,同时也严重影响市容。该文基于目前现状进行建筑垃圾作为路基填筑材料的相关研究,为以后建筑垃圾回收再利用开辟广阔市场。

1 国内外研究现状

相对于国外发达国家,中国国内对于建筑垃圾回收再利用的研究开始较晚,目前各个方面的应用技术研究成果不太成熟。由于前期资金投入消耗大,后期收益不明显,现有的研究结果大都是调研和室内小范围的试验研究,现场应用案例更少,大部分现场研究是尝试在一些小规模的道路路基中试应用,由于应用少,研究结果不完整^[2-4]。至今还没有出现可供参考使用的较系统的完整的建筑垃圾回收利用规范和标准。

该文主要研究加入水泥和聚丙烯纤维材料后,建筑垃圾的强度和抗收缩性能变化规律。现阶段,对于纤维用于建筑垃圾增强的相关研究很少,该文仅进行室内试验研究及试验结果分析,研究结果希望能对以后的建筑垃圾相关研究提供一定借鉴。

2 室内试验研究

为了研究水泥、聚丙烯纤维对建筑垃圾强度的影响,首先参考相关规范^[5-6],对建筑垃圾进行基本性能和碾压压碎试验,根据试验结果,再进行建筑垃圾的室内改性试验,测试改性后建筑垃圾的力学性能和稳定性能,并根据试验结果判断建筑垃圾路用的可行性,为后续研究提供参考。该文室内试验试样均取自开封市老旧小区砖石、砖混结构拆迁产生的建筑垃圾。

2.1 筛分试验

建筑垃圾风干后选用方孔筛依照粒料筛分相关规范进行筛分,筛分结果如表1所示。

由表1可知:建筑垃圾约3.29%超过了路基材料颗粒粒径要求,其余96.71%都能满足道路路基填筑材料粒径要求。在道路路基材料采用分层填筑法施工时,超大颗粒可以利用人工剔除或进行破碎后再利用。

2.2 碾压压碎试验

建筑垃圾分层碾压施工过程中,粗粒成分被压碎,细粒成分增加,最大干密度和最佳含水量也相应变化。为了研究建筑垃圾碾压前后的最大干密度和最佳含水

量变化规律,进行了压碎值和压碎压实试验。建筑垃圾粗料的压碎值试验采用压碎值试验仪进行测试,建筑垃圾粗料压碎值试验结果见表2。

表1 建筑垃圾筛分试验结果			
筛孔尺寸/ mm	通过率/ %	筛孔尺寸/ mm	通过率/ %
150	96.71	19	53.82
75	89.2	16	49.23
63	83.65	13.2	47.16
53	75.97	9.5	39.68
37.5	70.66	4.75	33.17
31.5	67.43	2.36	25.56
26.5	62.74		

表2 建筑垃圾粗料压碎值试验结果			
试样烘干 质量/g	过 2.36 mm 筛质量/g	压碎值/ %	平均值/ %
3 000	864	28.8	
3 000	815	27.2	28.5
3 000	917	29.5	

普通碎石的压碎值为12%~14%,显然建筑垃圾粗料压碎值是普通碎石的2倍以上,原因为建筑垃圾粗料含有较多的易碎砖块和灰浆块。碾压过程中建筑垃圾粗料中的易碎成分容易被压碎,从而增大建筑垃圾中细颗粒含量,有利于碾压密实。

测试建筑垃圾混合料的压实度与压力机施加吨位之间的关系时,将筛选好的建筑垃圾粗细混合材料称取4 kg,最大粒径不超过37.5 mm,制作试验试件,选择圆柱体试模,试模直径15 cm,高19 cm,为避免产生离析,将粗细材料拌匀后分层填充到试模里,在压力机上缓慢施压,对建筑垃圾进行压碎试验。试验结束后,重新测试压碎后的试样高度,对压碎后的试样进行筛分并称重,并计算各种指标。

图1为试验所得的压实度与压力机施压吨位的关系曲线。从图1可以看出:建筑垃圾混合料的压实度随着压力机施压吨位的增大而逐渐增大。

- 试验结果表明:
- (1) 在分层碾压时,建筑垃圾粗料被压碎,造成细料含量增加,这在碾压时有利于建筑垃圾更密实。
 - (2) 随碾压时压力的增大,建筑垃圾的细颗粒和粗颗粒比值逐渐增大。

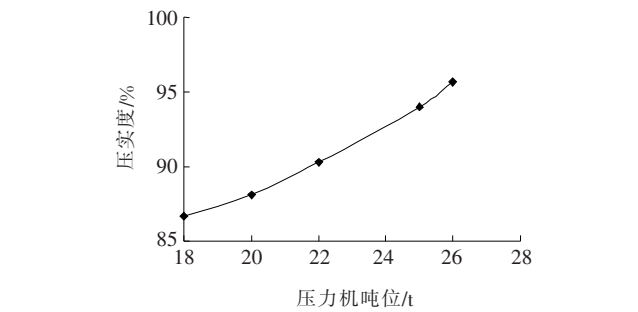


图1 压力机施压吨位与建筑垃圾压实度的变化规律

- (3) 建筑垃圾的压实度随碾压压力增大而增大。
- (4) 建筑垃圾分层碾压厚度为20~40 cm时,建议采用重型振动压力机(18 J)进行碾压,有利于粗料破碎和达到所需的压实度。
- (5) 碾压过程中建筑垃圾粗料成分减少,细料成分增加,随着颗粒料组分的变化,混合料的细料含量将会增大其最佳含水量。根据试验结论,工程项目现场施工时,需要适当增大最佳含水量。

2.3 改性试验

- 为了解建筑垃圾的路用功能,设计3组试验方案:
- (1) 水泥+碎石。
 - (2) 水泥+建筑垃圾。
 - (3) 聚丙烯纤维+水泥+建筑垃圾。

其中水泥+碎石方案,是为了比较建筑垃圾改性后的强度与水泥稳定碎石路用性能的差异。

2.3.1 试验材料性能

- (1) 水泥。选用普通硅酸盐水泥P.O32.5级,其基本性能满足相关规范要求。
- (2) 纤维。选用聚丙烯短纤维(纤维性能指标见表3),为了方便施工,聚丙烯纤维长度为50 mm,按照聚丙烯纤维质量占水泥和建筑垃圾混合料总质量的0、0.1‰、0.3‰、0.5‰、0.7‰、0.9‰掺入。

表3 聚丙烯纤维性能指标						
密度/ (g·cm ⁻³)	熔点/ ℃	热传 导性	抗酸 碱性	抗拉强 度/MPa	弹性模 量/MPa	热膨胀 系数
0.91	>165	低	强	>500	>3 500	小

从表3可知:聚丙烯纤维具有较小的密度、热膨胀系数,并具有较好的耐腐蚀性。

为保证纤维在混合材料中的均匀性和分散性,该文在正式试验前进行了试拌,最终试验时,掺入聚丙烯纤维材料的混合料采用了干拌法。搅拌工艺为:

建筑垃圾+水泥 $\xrightarrow{\text{干拌 } 60\sim 120\text{ s}}$ 加入聚丙烯纤维

干拌 10~30 s → 加入水 → 干拌 120~180 s → 出料。

(3) 碎石。碎石性能的好坏,直接影响水泥稳定碎石混合料的力学性能,尤其是对收缩性能影响较大。

表 4 碎石级配

级配类型	通过下列筛孔(方孔筛:mm)的质量百分率/%							
	31.5	26.5	19	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
试验采用级配	100	95.0	80.5	57.0	39.0	22.0	13.5	2.8
规范推荐级配范围	100	90~100	72~89	47~67	29~49	17~35	8~22	0~7
级配中值	100	95.0	80.5	57.0	39.0	26.0	15.0	3.5

2.3.2 3 组试验材料强度比较

研究利用水泥进行建筑垃圾混合料改性时,室内试验的试块尺寸采用直径和高均等于 100 mm 的中型尺寸的试模制作。将水泥或水泥+纤维作为外加剂加入混合料,为了试验方便,试验时粗粒料的直径控制为 9.5~16 mm,并且粒料级配保持不变,进行无侧限抗压强度和劈裂强度试验。

为了对比水泥稳定碎石、水泥稳定建筑垃圾和纤维水泥稳定建筑垃圾的力学性能,试做了 3 组试验,水泥掺量都是 5%,纤维掺量采用 0.5‰,测试 3 种混合材料的强度,结果见表 5。

表 5 无侧限抗压强度和劈裂强度试验结果

材料类型	无侧限抗压强度/MPa		劈裂强度/MPa
	7 d	28 d	28 d
5%水泥稳定碎石	2.97	4.43	0.53
5%水泥稳定建筑垃圾	2.12	3.65	0.31
5%水泥+0.5‰纤维稳定建筑垃圾	2.65	4.38	0.58

由表 5 可以看出:水泥稳定建筑垃圾和纤维水泥稳定建筑垃圾无侧限抗压强度和劈裂强度都满足道路路基材料强度要求。由于建筑垃圾中碎砖块的含量较大,只加水泥改性后,水泥稳定建筑垃圾的强度要比常用的水泥稳定碎石强度低得多,由于建筑垃圾在较大压力下粗粒组分易碎,在载重量较大的高等级公路中使用,可能会造成公路运营后沉降量较大,影响正常使用。在建筑垃圾改性时,采用纤维加水泥进行改性,结果表明:纤维的加入可以大幅度提高水泥稳定碎石建筑垃圾的强度,7 d 无侧限抗压强度提高了 0.53 MPa,28 d 无侧限抗压强度提高了 0.73 MPa,而 28 d 的劈裂强度提高了 0.27 MPa,纤维的加入使建筑垃圾的强

在对比试验中选用的碎石是石灰岩碎石,碎石的级配见表 4,碎石的压碎值为 21.5%,符合基层集料压碎值不得大于 30%的要求。

度变化非常明显。另外,从试验结果还可以看出,水泥稳定建筑垃圾掺加聚丙烯纤维后 28 d 的劈裂强度比水泥稳定碎石还要高 0.05 MPa。可见,加入一定量的聚丙烯纤维可以提高水泥稳定建筑垃圾的强度,改善其力学性能。这是因为聚丙烯纤维具有较高的强度,直径小质量轻,拌和均匀后,在水泥稳定建筑垃圾中聚丙烯纤维材料呈网状交织分布,水泥水化后产生的胶凝材料将相邻的纤维材料黏结成一个立体的大网,将建筑垃圾的粗细材料包裹起来,形成一个坚硬的固体,由于纤维的拉结作用使水泥稳定建筑垃圾的整体性更好、强度更高。

可见,水泥稳定建筑垃圾用纤维改性后不仅可以在低等级公路中推广应用,还可以满足高等级公路要求。如果加入少量的聚丙烯纤维材料,可以用纤维水泥稳定建筑垃圾代替水泥稳定碎石填筑道路,不仅可以消耗大量建筑垃圾,减少建筑垃圾的危害,而且还减少了石料的开采,保护了环境,社会效益和经济效益都十分显著,值得进一步研究。

2.3.3 纤维水泥稳定建筑垃圾强度试验

水泥掺量取 5%,聚丙烯纤维按掺量 0、0.1‰、0.3‰、0.5‰、0.7‰、0.9‰ 掺入,将水泥、聚丙烯纤维和建筑垃圾粗细混合料搅拌均匀,再按最佳含水量加入自来水拌和,拌和后制作试验试件,在标准养护箱内养护 7、28 d,测试其无侧限抗压强度和劈裂强度,结果见表 6。

由表 6 可知:

(1) 聚丙烯纤维对水泥稳定建筑垃圾 7、28 d 的无侧限抗压强度都有一定的贡献。水泥稳定建筑垃圾随着聚丙烯纤维掺量的加入,无侧限抗压强度有所提高,而且掺量越大,强度增大的幅度也越大,直到掺量达到 0.7‰左右时,达到了最大值,强度与纤维掺量关系曲线出现了拐点,开始出现下降趋势。说明纤维不

垃圾的抗干缩性能效果显著。

不同观测时间的温缩系数试验结果见图 3。

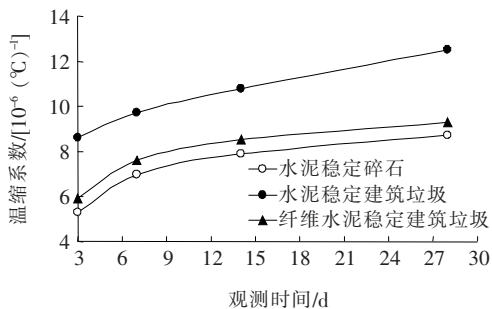


图 3 温缩系数与时间的关系

由图 3 可以看出:

(1) 水泥稳定碎石、水泥稳定建筑垃圾和纤维水泥稳定建筑垃圾材料的早期温缩系数变化幅度都非常大,增幅明显,14 d 后逐渐趋于稳定,14 d 时的温缩量占总温缩量的 90% 左右。这和水泥的水化程度有着直接的关系,养护初期水泥水化不充分,产生的胶凝材料少,随着时间的延长,胶凝材料越来越多,混合材料对温度升降变化敏感,温缩系数逐渐增大。

(2) 聚丙烯纤维的加入使水泥稳定建筑垃圾的温缩系数显著减小,而且随着时间的延长,降低幅度有增大的趋势。这是因为聚丙烯纤维的热膨胀系数非常小,对温度变化不是很敏感,另外聚丙烯纤维的加入又起到了补强作用,造成水泥稳定建筑垃圾的温缩系数减小。加聚丙烯纤维后的水泥稳定建筑垃圾与水泥稳定碎石的温缩系数非常接近,可以满足路用性能要求。可见,聚丙烯纤维可以减少水泥稳定建筑垃圾大幅降温造成的变形开裂。

通过收缩性能试验可以发现:水泥稳定建筑垃圾材料加入聚丙烯纤维后,材料的干缩系数和温缩系数相对于没加纤维时大幅度降低。通常情况下,材料的抗收缩能力与材料的劈裂强度有着很大的关系,一般劈裂强度越大的材料,抵抗收缩能力也越强,收缩系数越小;反之越大。强度试验表明:聚丙烯纤维可以显著提高水泥稳定建筑垃圾的劈裂强度,故掺聚丙烯纤维可以提高水泥稳定建筑垃圾的抗收缩性能,可以减少

道路水泥稳定建筑垃圾基层施工和使用过程中的裂缝出现。

3 结论

(1) 水泥稳定建筑垃圾掺加聚丙烯纤维后,无侧限抗压强度和劈裂强度都得到大幅度提高,当纤维掺量约为 0.7‰ 时,强度达到最大值。纤维材料的添加扩大了水泥稳定建筑垃圾的路用范围。

(2) 水泥稳定建筑垃圾掺加聚丙烯纤维后,总干缩系数和温缩系数减小明显,聚丙烯纤维材料可以很好地起到提高水泥稳定建筑垃圾抗收缩的性能。纤维材料的添加可以减少水泥稳定建筑垃圾基层的开裂,延长道路的使用寿命和减少后期维护费用。

(3) 该文在研究过程中只采集了少量的数据,对聚丙烯纤维对水泥稳定建筑垃圾力学性能和抗收缩能力的影响规律研究还不够充分。在今后的研究中可进一步探讨聚丙烯纤维的掺入对水泥稳定建筑垃圾抗疲劳性能的影响规律。

参考文献:

- [1] 中国砂石协会. 我国建筑垃圾资源化可创造出万亿价值 [OL]. <http://www.zgss.org.cn/zixun/zhuti/8585.html>. 2019. 08. 08.
- [2] 马庆伟,房士伟,郭平. 适用于公路垫层的建筑垃圾级配组成研究[J]. 中外公路,2016,36(4):269-272.
- [3] 刘克非,李泉. 建筑垃圾再生骨料用于道路基层的力学与干缩性能试验研究[J]. 中外公路,2016,36(5):235-237.
- [4] 李行,吴超凡,万暑,等. 建筑垃圾在路基回填材料中的使用性能研究[J]. 中外公路,2019,39(1):253-256.
- [5] 交通部公路科学研究院. 公路工程无机结合料稳定材料试验规程:JTG E51—2009[S]. 北京:人民交通出版社,2009.
- [6] 交通部公路科学研究院. 公路工程集料试验规程:JTG E42—2005[S]. 北京:人民交通出版社,2005.
- [7] 齐善忠,付春梅,曲肇伟. 建筑渣土作为道路填筑材料的改性试验研究[J]. 中外公路,2015,35(2):262-267.