

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.07.016

# 建筑垃圾在城市道路修筑中的再生利用

## ——以温岭市某城市支路为例

朱庆浩<sup>1</sup>, 吴运立<sup>1</sup>, 候尧<sup>2</sup>

(上海市建工设计研究总院有限公司, 上海市 200235)

**摘要:** 近几十年来,全球建筑垃圾的产量显著增加,建筑垃圾再生利用已成为一个全球关注的世界性问题。以温岭市某城市支路为基础,进行了一系列的室内试验,来评估回收建筑垃圾中的骨料用于城市道路路基应用的可行性。结果表明,建筑垃圾经过简单处理后具有高强度和显著稳定性的特点,并进一步说明将这些材料用于城市道路路基是可行的。对合理有效地推广建筑垃圾再生集料在道路路基中的应用具有一定的参考价值。

**关键词:** 建筑垃圾;再生利用;可持续发展;城市道路路基

中图分类号: U414

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)07-0070-04

### 0 引言

随着建筑业快速发展和城市化步伐的加快,城市地区大量的旧建筑被拆除,造成了极其大量的建筑垃圾。中国的建筑垃圾已占到每年城市固体垃圾总量的30%~40%。具体来说,拆除1 m<sup>2</sup>的建筑会产生0.5~1.0 m<sup>2</sup>的建筑垃圾,每1万 m<sup>2</sup>建筑工程会产生500~600 t的建筑垃圾<sup>[1]</sup>。建筑垃圾主要由金属、混凝土、砂浆、砖块、木材和塑料组成。从理论上讲,与其他类型的城市垃圾相比,建筑垃圾具有较高的回收利用潜力和经济价值,其中80%可重复利用<sup>[2-3]</sup>。然而,迄今为止,中国大部分建筑垃圾都是通过简单填埋或倾倒的方式进行处理,这对该地区的生态安全和可持续发展造成了潜在的风险<sup>[4-5]</sup>。

在过去的几十年里,世界上许多国家都对建筑垃圾的回收和再利用进行了仔细地研究,主要反映了其在道路路面应用中的基本性能,并提出了如何成功地将这些材料用于路面的技术。例如, Ekanayake等<sup>[6]</sup>报告关于水泥混凝土路面说,在美国,有20多个州在公路建设中使用建筑垃圾再生集料。Sobhan等<sup>[7]</sup>研究了主要由建筑废料、少量硅酸盐水泥和粉煤灰组成的稳定纤维增强路面基层材料的弯曲疲劳行为,研究发现,该复合材料作为基材具有良好的性能。Park<sup>[8]</sup>观察到不同粒径、不同级配和不同再生骨料混合料的压实程度对路面基层的粘结强度和回弹模量有显著影响。Chi等<sup>[9]</sup>通过调整建筑垃圾再生集料的含水率和颗粒级配,进行了一系列抗剪强度和UCS试验,发现这些材料应用于混凝土路面基层及底基层是可行的。Ayan等<sup>[10]</sup>指出,回收的建筑垃圾作为底基层材料的最佳含水量高于天然集料。Xuan等<sup>[11]</sup>对建筑垃圾再生集料掺配定量水泥的无侧限抗压强度、静态弹性模量和间接抗拉强度进行了评估,得出该材料作为道路路面基层具有良好的力学性能。

以往的研究大多采用室内试验来分析建筑垃圾再生集料的物理力学特性,并证明了该集料作为道路路面基层或底基层的可行性。然而,本研究基于温岭市某城市支路工程,进行了大量的室内试验,来评估建筑垃圾再生集料作为城市道路路基材料的工程特性和广泛应用。

同再生骨料混合料的压实程度对路面基层的粘结强度和回弹模量有显著影响。Chi等<sup>[9]</sup>通过调整建筑垃圾再生集料的含水率和颗粒级配,进行了一系列抗剪强度和UCS试验,发现这些材料应用于混凝土路面基层及底基层是可行的。Ayan等<sup>[10]</sup>指出,回收的建筑垃圾作为底基层材料的最佳含水量高于天然集料。Xuan等<sup>[11]</sup>对建筑垃圾再生集料掺配定量水泥的无侧限抗压强度、静态弹性模量和间接抗拉强度进行了评估,得出该材料作为道路路面基层具有良好的力学性能。

### 1 工程概况

上林路配套支路工程,位于温岭市城西街道,设计西起上林路,东至环山路,如图1所示。道路等级为城市支路,设计道路全长274.77 m,道路宽度为7 m,设计速度20 km/h,路面结构设计使用年限为10 a。道路两侧规划为居住用地,沿线主要为居民商户,交通出行需求量较大,项目建成后将承担起区域内部交通的集散及出入任务,承担部分交通流量,补充干路网络的不足。

本研究调查的建筑垃圾来自于温岭市岙底胡村

收稿日期: 2022-10-12

作者简介: 朱庆浩(1979—),男,本科,工程师,从事道路交通设计工作。



图 1 城中村改造拆迁现场

改造拆迁场地,该村房子大多建于上世纪八九十年代,多为砖混结构,经测算建筑垃圾量约为 18 万 m<sup>3</sup>,建筑垃圾产量约在 36 万 t,如图 2 所示。根据施工图的设计要求,将垃圾处理区道路设计为填筑高度为 1~2 m 的路基结构。为了减少对环境的污染,降低工程造价,该工程充分利用建筑废弃物作为路基填料。

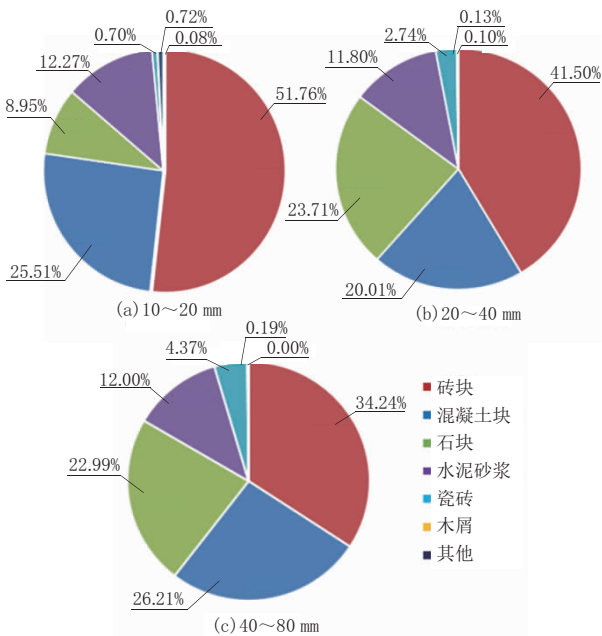


图 2 各粒径物质组成

## 2 试验检测

### 2.1 建筑垃圾再生集料物质组成

为了解建筑垃圾再生集料物质组成,进行分拣试验,由于 0~10 mm 各组成成分颗粒粒径比较小,很难分析其组成成分,现只对 10~20 mm、20~40 mm、40~80 mm 粒径进行分拣试验以确定其物质组成,分拣结果如图 2 所示。

由图 2 可知,各档粒径再生材料组成基本是由砖块、混凝土块、石块、水泥砂浆、瓷砖、木屑等组成,砖块、混凝土块、石块、砂浆是最主要的组成部分,在各档料中这四种组分含量总和都超 95%,其中砖块

含量最高;随着粒径的增大,砖块的含量逐渐降低,并且粒径小的档其物质组成稍加复杂,含有少许碎玻璃、碎塑料等杂物,但是含量并不高,在组分处理时当做“其他”处理,随着粒径的增大,杂物含量减少,大粒径档基本没有类似杂物。

### 2.2 集料掺配方案及物理力学特性

根据初步设计确定三种掺配方案 A、B、C,并考虑工程的实际应用,基于最大密实度理论的 N 法求得掺配比例,具体方案如下。

方案 A:0~10 mm、10~20 mm 进行掺配,掺配比例为 3 : 1;

方案 B:0~10 mm、10~20 mm、20~40 mm 进行掺配,掺配比例为 11 : 4 : 5;

方案 C:0~10 mm、10~20 mm、20~40 mm、40~80 mm 进行掺配,掺配比例为 8 : 3 : 4 : 5。

#### 2.2.1 筛分试验

对 A、B、C 三种方案进行筛分试验,各方案的级配曲线如图 3 各图所示。

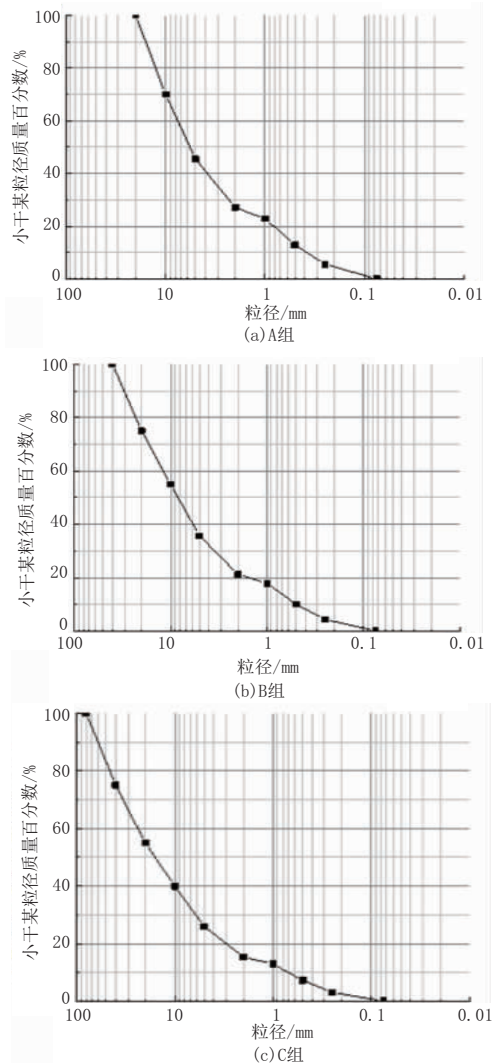


图 3 各方案级配曲线

各方案的不均匀系数及曲率系数见表1。

表1 各方案的不均匀系数及曲率系数

	不均匀系数 $C_u$	曲率系数 $C_c$
方案A	20.3	1.74
方案B	24	1.82
方案C	33.3	2.27

由表1可知,三种配比方案  $C_u$  均大于5,  $C_c$  均在1~3之间,表明三种掺配方案集料级配良好。

### 2.2.2 击实试验

上述比重试验确定了建筑垃圾再生集料类似砂性土,不适用于常规击实试验。因此,该次试验采用表面振动压实仪法确定其最佳含水率和最大干密度。得到三种掺配方案的振动击实试验结果如图4所示。

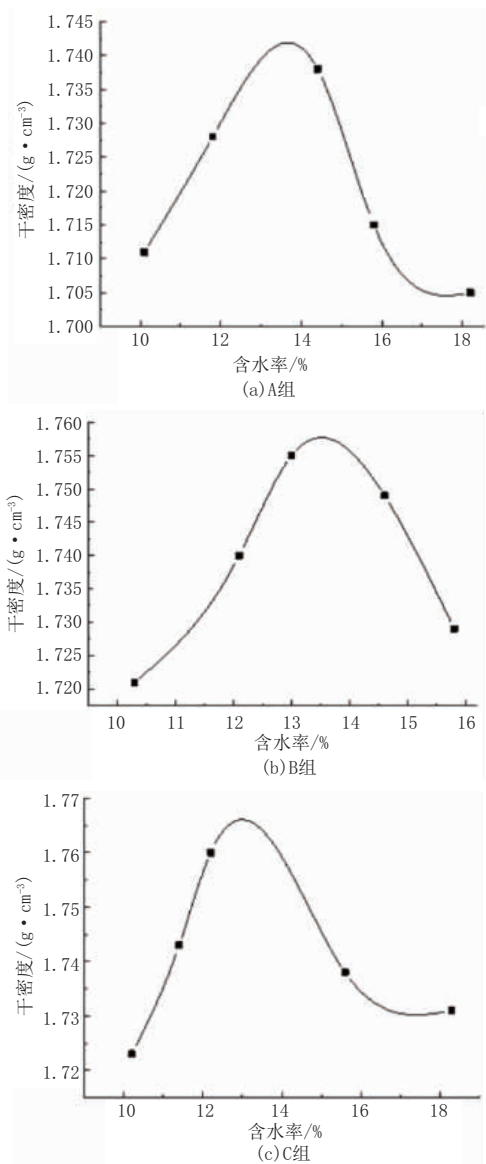


图4 各方案振动击实结果

由A、B、C三组建筑垃圾再生集料的含水率与干密度关系曲线可知,不同掺配比例的最大干密度与

其对应的最佳含水率整理见表2。

表2 各方案最大干密度对应的最佳含水率

组成类型	最大干密度 $\rho$ ( $g \cdot cm^{-3}$ )	最佳含水率 /%
A组	1.742	13.9
B组	1.756	13.5
C组	1.766	13.0

### 2.2.3 CBR 试验

对三种掺配方案进行CBR试验,试验结果为:A组级配CBR值的平均值为53.2%,B组级配CBR值的平均值为60.7%,C组级配CBR值的平均值为61.1%。对比表2规范对路基承载比要求,三种级配的承载比CBR值远远高于各等级城市道路路床填料最大承载比(8%)要求,用作路基填料时材料的强度符合要求。

### 2.3.4 回弹模量试验

使用调配好的三种级配材料,分别按照其振动击实试验所得的最佳含水率下进行回弹模量试验。根据试验结果绘制  $p-l$  曲线如图5所示。

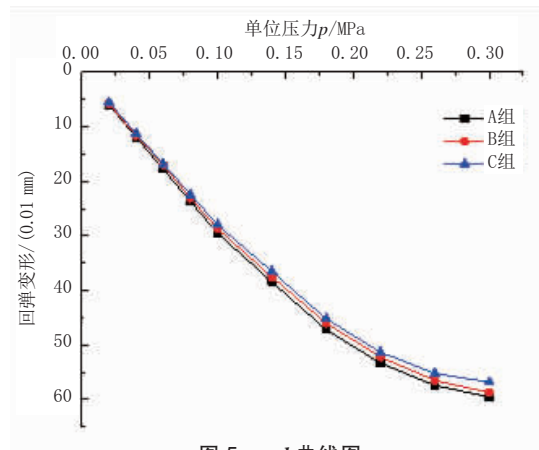


图5  $p-l$  曲线图

在《城市道路路基设计规范》(CJJ 194—2013)中,路床顶面设计回弹模量值,对于快速路和主干路不应小于30 MPa;对于次干路和支路不应小于20 MPa。由图9可得,三种掺配集料的  $p-l$  曲线趋势基本相同,A、B、C组试样的回弹模量经计算分别为56.0 MPa、57.2 MPa、58.7 MPa。三种级配均可达到城市道路路床顶面回弹模量的要求。

## 3 结论

(1)0~10 mm 档木屑含量约为1%;10~20 mm、20~40 mm、40~80 mm 中砖块是各档中含量最高的组分,随着粒径的增大,砖块的含量逐渐降低,10~20 mm 档砖块含量高达51.76%,40~80 mm 砖块含量降至34.24%,但仍然是含量最高的组分。

(2)0~10 mm 档曲率系数  $C_c$  略小于规范规定要求,表现为级配不良。该档土粒比重约为 2.65,试验无法测出其液塑限。

(3)常规击实试验无法确定其最佳含水率和最大干密度,需要采用表面振动击实试验确定。

(4)根据级配原理,最后得到的掺配比例为方案 A:0~10 mm、10~20 mm 配比为 3:1;方案 B:0~10 mm、10~20 mm、20~40 mm 配比为 11:4:5;方案 C:0~10 mm、10~20 mm、20~40 mm、40~80 mm 配比为 8:3:4:5。

(5)掺配后各方案集料 CBR 值及回弹模量值均满足相应规范要求,因此可作为路基填料。

参考文献:

[1] YUAN H. , SHEN L.. Trend of the research on construction and demolition waste management[J]. Waste management, 2011,31(4):670-679.

[2] ERLANDSSON M., LEVIN P. . Environmental assessment of re-building and possible performance improvements effect on a national scale[J]. Building and environment, 2005,40(11):1459-1471.

[3] DUAN H., WANG J., HUANG Q. . Encouraging the environmentally sound management of C&D waste in china: an integrative review and research agenda [J]. Renewable and sustainable energy reviews,2015 (43): 611-620.

[4] QIU J. L.,WANG X. L.,HE S. Y.,et al.The catastrophic landslide in Maoxian County, Sichuan, SW China on June 24, 2017[J].Natural Hazards, 2017(89):1485-1493.

[5] LAI J. X., QIU J. L., FAN H. B. , et al. Freeze-proof method and test verification of a cold region tunnel employing electric heat tracing[J]. Tunnelling and underground space technology, 2016(60):56-65.

[6] EKANAYAKE L. L.,OFORI G.. Building waste assessment score: design-based tool[J]. Building and environment, 2004, 39(7): 851-861.

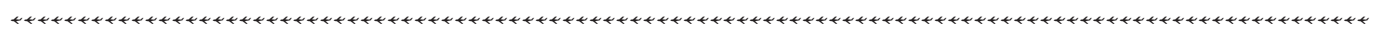
[7] SOBHAN K., KRIZEK R. J.. Fatigue behavior of fiberreinforced recycled aggregate base course [J]. Journal of materials in civil engineering, 1999,11(2):124-130.

[8] PARK T..Application of construction and building debris as base and subbase materials in rigid pavement[J]. Journal of transportation engineering, 2003,129(5):558-563.

[9] CHI S. P. ,CHAN D.. Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base. Construction and building materials, 2006,20(8):578-585.

[10] AYAN V. Ayan,LIMBACHIYA M. C. ,OMER J. R., et al.Compaction assessment of recycled aggregates for use in unbound sub-base application [J]. Journal of civil engineering and management, 2014,20(2):169-174.

[11] XUAN D. X., MOLENAAR Molenaar, HOUBEN L. J. M.. Evaluation of cement treatment of reclaimed construction and demolition waste as road bases[J]. Journal of cleaner production, 2015(100):77-83.



# 《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:[cdq@smedi.com](mailto:cdq@smedi.com)