

文章编号:1674-2869(2012)05-0051-05

以再生建筑混凝土为骨料制备透水砖

薛俊¹, 刘军², 季明旭¹, 邹志鹏¹, 石和彬¹, 曹宏^{1,2*}

(1. 武汉工程大学材料学院, 湖北 武汉 430074;

2. 重庆暄洁环保产业(集团)股份有限公司, 重庆 400039)

摘要:随着城市化进程加快,道路和建筑物拆除产生了大量废旧混凝土,既带来环境污染,又造成资源浪费,将其开发再利用具有明显的环境效益和经济效益. 本文将废旧混凝土进行破碎、分级处理成为再生建筑混凝土,并以其为骨料来制备透水砖,研究了级配、骨灰比、水灰比、砂率和养护时间对透水砖性能的影响. 结果表明,当骨灰比为5.0,水灰比为0.3,砂率为15%,终养时间为72 h时,所制备的透水砖满足JC/945-2005《透水砖》标准要求.

关键词:再生建筑混凝土;透水砖;骨灰比;水灰比;养护时间

中图分类号:TU 522.106.1

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2012.05.013

0 引言

随着城市化进程加快,现代城镇到处都为混凝土所覆盖,人行道、停车场也都铺设了普通混凝土或天然石材板块. 这些板块的共同特点是不透水、吸热,不透水阻断了自然降水与土层的联系,影响植被生长,在雨天又可能造成地表积水影响行走与安全. 而吸热则加剧了城市的“热岛效应”. 因此,越来越多的地方开始采用透水混凝土制备的板块——透水砖,铺设人行道^[1-5]. 国家也制订了透水砖的技术标准^[6]. 道路和建筑物拆除会产生大量废旧混凝土,目前的处置方式基本上都是运到垃圾填埋场堆埋. 我国正处于高速发展的大建设期,每年产生的废旧混凝土数以亿计,侵占了大量的土地资源,对环境造成了严重影响. 国外在上世纪八十年代就已开始将废旧混凝土破碎、分级后作为再生骨料使用^[7],更是从结构、性能、添加比例等方面进行了较广泛研究^[8-11],其中也有用于制备混凝土砖块的报道^[12],国内近年也有不少学术论文^[13-15]. 利用再生混凝土作为骨料制备透水砖方面,已有一些文献报道. 比如,严捍东用粒径5.0~31.5 mm连续级配的再生骨料制备了透水砖,其指标达到了人行道铺设要求^[16];欧小燕等对比了天然页岩骨料和再生骨料制备的彩色透水砖的性能,认为后者的强度基本没有下降,也既是再生骨料可以替代天然页岩^[17]. 笔者用

1.18~9.5 mm粒径的再生集料制备了透水砖,研究了级配、骨灰比、水灰比、砂率和养护时间对其性能的影响.

1 实验

1.1 原料

笔者所用主要原料列于表1,其中的骨料来自某拆迁工地,为建筑物废旧混凝土剔除钢筋、破碎、筛分后所得. 实验中仅使用了粒径介于1.18~9.5 mm之间的部分,并将其筛分成为3部分:细粒(1.18~2.36 mm)、中粒(2.36~4.75 mm)和粗粒(4.75~9.5 mm),将三者按一定质量比掺和就构成了不同级配. 所用再生混凝土骨料的物理性能列于表2. 表中还列出了同粒级天然石灰岩骨料的物理性质,可以看到再生混凝土的力学性能明显劣于新骨料.

表1 试验用原料与试剂

Table 1 Raw materials and reagents

品名	规格	来源
水泥	P·O 32.5	华新水泥厂
骨料	再生建筑废混凝土块	来源于武汉某拆迁工地
河沙	中砂、细度模数2.65	市购沙筛分
减水剂	高效聚羧酸盐减水剂	武汉浩源混凝土外加剂有限公司
水	自来水	

收稿日期:2012-01-03

作者简介:薛俊(1976-),女,湖北宜都人,副教授,博士研究生. 研究方向:环境材料.

*通信联系人:曹宏,男,教授,博士. 研究方向:新型炭材料与胶凝材料.

表 2 再生骨料与天然骨料的物理性能

Table 2 Physical properties of regeneration aggregate and natural aggregate

样品	含水率/%	吸水率/%	堆积密度/(kg/m ³)			压碎值/%
			自然堆积密度	捣实堆积密度	振实堆积密度	
建筑垃圾	1.3	4.46	1 330	1 564	1 618	22.3
天然石料	0.2	2.43	1 373	1 584	1 694	18.7

1.2 试验设计

透水砖的主要性能指标包括:强度、透水性和保水性.当原料确定后,影响这些性质的主要因素包括:骨料级配、骨灰比、砂率、水灰比和养护制度等,而且影响因素之间又存在交互作用.为探讨它们对透水砖性能指标的影响,设计试验方案如表 3

所示.整个试验分为四组:第 I 组旨在探讨骨灰比 - 骨料级配的影响;第 II 组旨在探讨水灰比 - 骨料级配的影响,且第 I 组以中粒骨料为主,第 II 组以粗粒骨料为主;第 III 组探讨砂率的影响;第 IV 组探讨蒸养时间的影响.在表 3 所有的配方中均加入了水泥用量 0.8% 的减水剂.

表 3 试验方案设计

Table 3 Test design

组别	编号	水灰比	骨灰比	骨料级配 w/%			砂率 w/%	蒸养时间/h
				粗粒	中粒	细粒		
I	A1 - A3		3.5					
	B1 - B3	0.3	4.0	5,15,25	65	30,20,10	15	72
	C1 - C3		4.5					
II	D4, E4			50	30	20		
	D5, E5	0.3, 0.4	5.0	60	25	15	15	72
	D6, E6			70	20	10		
III	F1 (D6) - F3	0.3	5.0	70	20	10	15,13,10	72
IV	G1 (D6) - G3	0.3	5.0	70	20	10	15	72,24,48

1.3 实验步骤

透水砖制备和检测步骤如下:①称量.按表 3 设计的配比称量原料;②拌和.将称量好的再生骨料、河沙和水泥在搅拌机中拌和均匀,加入水和减水剂继续拌和 2 min;③成型.将拌好的混合料放入钢模中振压成型(成型压力 4MP);④养护.脱模后,先将砖放入标准养护箱中在 20 ℃,90% 相对湿度预养 24 h;再转移到蒸养箱中 90 ℃ 蒸养设计的时间,自然冷却就得到了所需透水砖.⑤性能测试.按照 JC/T 945 - 2005《透水砖》所载方法测试所制备透水砖的抗压强度、抗折强度、保水性和透水系数,所有指标均取 6 块样品测试结果的平均值,并计算其标准偏差.透水系数的测试温度为室温.

2 结果与讨论

2.1 骨灰比与集料级配的影响

图 1a 是第 I 组试验的强度测试结果,图中数据为 6 个样品测试数据的均值,并标出了标准偏差.从图 1 可以看出,强度随着骨灰比的增大而降低,但不具有线性关系,骨灰比为 3.5 时,平均抗

压强度 $\sigma = 24.3$ MPa,抗折强度 $\tau = 6.5$ MPa;骨灰比为 4.0 时, $\sigma = 16.5$ MPa, $\tau = 5.8$ MPa;骨灰比为 4.5 时, $\sigma = 16.0$ MPa, $\tau = 5.7$ MPa.这是因为骨灰比增大,水泥相对含量降低,导致混凝土强度跟着降低.在相同骨灰比的条件下,骨料粒径对比对透水砖的强度也有影响,随着粗粒骨料含量增加,混凝土的抗压强度增大,但是抗折强度变化不大,这与混凝土的内部结构有一定关系,在骨料粒径增大的时候,粗粒骨料相互嵌布在一起构成镶嵌结构,混凝土的压应力主要集中在这些大粒径骨料上,这样就相应的提高了混凝土结构的抗压能力,但在遇到剪应力的时候,混凝土的受力方向很均匀,难以更好的保护混凝土内部结构,所以抗折强度变化不大.此外,从图 1a 的标准偏差可以看出,数据的离散性较低,说明样品均匀,数据可信度高.

根据 JC/T 945 - 2005 要求,透水砖的透水系数 $\geq 1.0 \times 10^{-2}$ cm/s,保水性 ≥ 0.6 g/cm².从第 I 组试验的保水性和透水率测试结果(图 1b)可以看到,除 A1 保水性没有达标之外,所有样品的透水系数指标和保水性指标均达到了要求.随着骨

灰比增大,所制备透水砖的保水性与透水系数显著增大,以保水性为例,骨灰比为 3.5、4.0 和 4.5 时,其值依次为: 0.5 g/cm^2 , 0.9 g/cm^2 和 1.0 g/cm^2 ;在骨灰比相同时,随着粗粒骨料增多二者也呈增大趋势.这是因为在砂率和水灰比固定时,随着骨灰比增大,水泥量相对减少,在裹覆骨

料后填充到骨料空隙中的水泥浆减少,透水砖内部空隙增多,保水性和透水性提高.当骨灰比也一定时,随着粗粒骨料增加细粒骨料减少,构成透水砖骨架的粗粒增多,填充其间的细粒减少,空隙增多因而保水性和透水系数也增大.

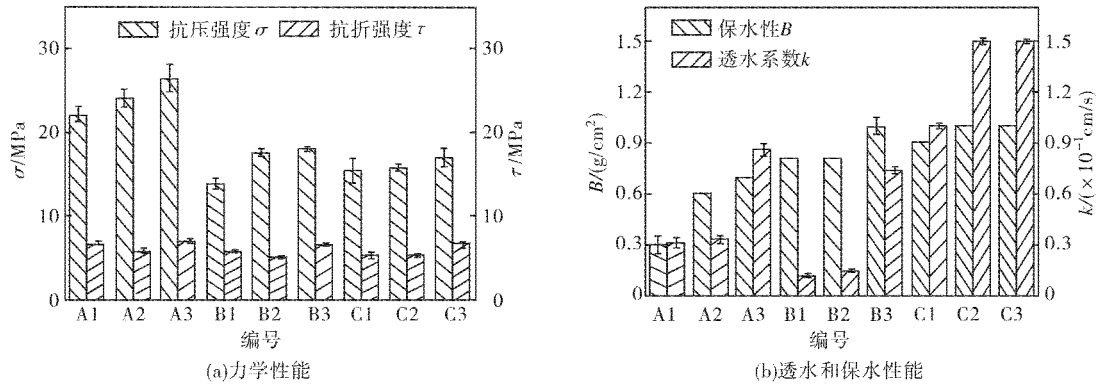


图1 骨灰比、骨料级配对透水砖物理性能的影响

Fig. 1 Influence of aggregate cement ratio and aggregate grading on physical properties

2.2 水灰比与集料级配的影响

第二组试验以粗粒骨料为主,且考虑了水灰比的影响.从其强度测试结果看(图 2a),尽管骨灰比提高到了 5.0,但粗骨料为主的透水砖其强度并未下降,D 组的平均抗压强度 24.0 MPa、抗折强度 6.5 MPa,E 组平均抗压强度 26.2 MPa、抗折强度 5.7 MPa. 其中强度最高的 D6 配比,其 $\sigma = 28.1 \text{ MPa}$ 、 $\tau = 7.2 \text{ MPa}$;其保水性 $B = 0.8 \text{ g/cm}^2$ 、透水系数 $k = 13.8 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$,也远超过了标准要求,因此 D6 为所设计配比中的最佳值.在透水砖这样的多孔体系中,骨料的镶嵌结构是其强度的重要来源,胶凝材料所起的作用只是把骨料的连接点粘合起来.再者,随着骨料粒度增大,表面积减少,裹覆骨料需要的水泥浆也相应减少.因此,

尽管骨灰比提高了,但强度并未下降,反而有所上升.从抗压强度看,水灰比高的 E 组平均值高于 D 组,但其抗折强度又比 D 组低,据此可以认为所设计的两个水灰比对其强度没有显著影响.但从图 2b 可以看到,水灰比对透水砖的保水性和透水性有一定影响,水灰比增大保水性和透水系数的平均值减小,D 组: $\bar{B} = 0.7 \text{ g/cm}^2$, $\bar{k} = 6.0 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$;E 组: $\bar{B} = 0.5 \text{ g/cm}^2$, $\bar{k} = 4.6 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$.因此,综合评判水灰比以 0.3 更为合适.此外,对比图 1 和图 2,可以看到它们具有相同的变化趋势,即在其它条件一致时随着粗粒骨料增多,抗压强度增大、抗折强度影响不显著、保水性和透水系数也增大.

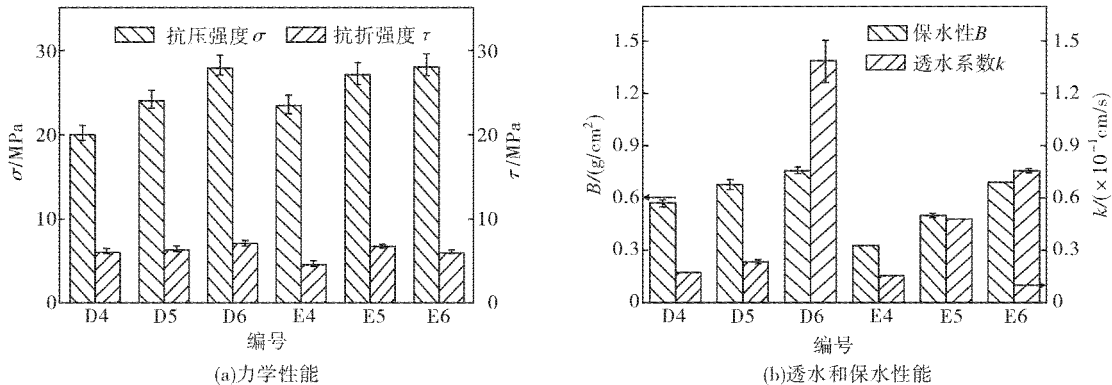


图2 水灰比、骨料级配对透水砖物理性能的影响

Fig. 2 Influence of water cement ratio and aggregate grading on physical properties

2.3 砂率的影响

所使用的中砂粒径比细粒骨料小得多,具有较大比表面积,在拌合物中填充在骨料孔隙中.因

而砂率的改变会使骨料的总比表面积和有效空隙率有显著变化,继而对拌合物的和易性有影响.砂率大,骨料表面的水泥浆厚度变小,水泥浆的润滑

作用减弱,使拌合物的流动性变差.砂率小,不能保证骨料表面覆盖足够砂浆层,从而容易发生离析致使砖块的后期强度变弱,因此必须保持合适的砂率.从图 3 可以看到,随着砂率降低(从 F1 的

15%→F2 的 13%→F3 的 10%),透水砖的强度随之减小,抗压强度的减小尤为明显;同时透水砖的保水性和透水系数也相应减小.因此,所设计配比中最佳砂率为 15%.

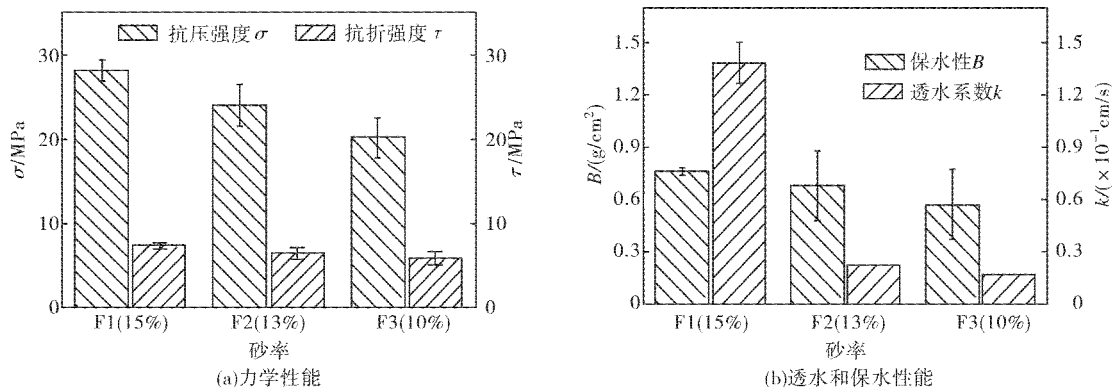


图 3 砂率对透水砖物理性能的影响

Fig. 3 Influence of sand ratio on physical properties

2.4 养护时间的影响

影响透水砖性能的养护参数包括:湿度、温度、时间、压力等.水化作用的产生必须有水的参与,水是水化作用发生的基本条件,没有水的参与,水化就无法进行.因此,一定的湿度环境是满足透水砖水化条件的基础,本文所有试件均在湿度 $\geq 90\%$ 的条件下养护.温度是影响水化作用强度的最主要因素.在一定范围内,温度越高,水化越快,水化进行得越充分,水化产物也越多.温度与湿度相辅相成,较高温度可加强水分对活性固体颗粒的渗透,常温与高温相比,其水化作用要弱得多,而且也慢得多.为了比较,我们也在自然条件下进行了 28 天养护,其强度与 3 天(72 h) 90 °C 养护结果相当,因此本文所有试件在标养之后均采用 90 °C 蒸养.图 4 显示了 90 °C 蒸养时间对透水砖强度的影响,随着养护时间延长,强度明显增大.

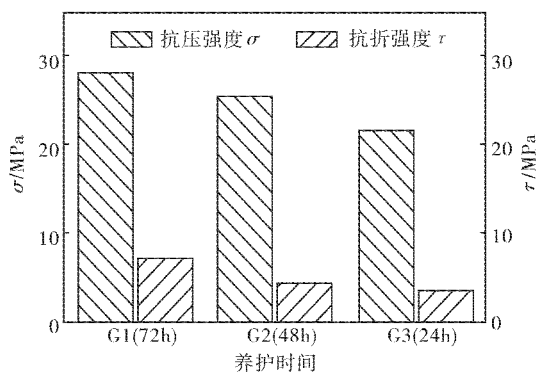


图 4 蒸养时间对透水砖强度的影响

Fig. 4 Influence of curing time on strength

本文所获得的最高抗压强度配比为 D6,其抗压强度 28.1 MPa、抗折强度 7.2 MPa.通常情况

下,抗压强度在 20.0 MPa 以上仅能满足人行道的铺设要求,抗压强度在 30.0 MPa 以上才能满足轻型车辆行走的要求.与之相比较,本文所制备透水砖抗压强度不足,但抗折强度远远高于要求.从前述分析可知,骨料嵌布结构是透水砖抗压强度的主要来源.因此,骨料的力学性质应该是其抗压强度的重要影响因素.为了验证抗压强度不高源自再生骨料的压碎值较低,我们按照 D6 配比用表 2 中的天然骨料做了平行试验.用天然石灰石骨料制备的透水砖,其性能指标如下: $\sigma = 38.2 \text{ MPa}$, $\tau = 7.6 \text{ MPa}$, $B = 0.7 \text{ g/cm}^2$, $k = 12.8 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$,除了抗压强度显著提高,其它指标都与用再生骨料制备的透水砖相当.由此说明,用再生骨料制备透水砖必须挑选那些压碎值高、力学性能好的废旧混凝土作为骨料,这样才能获得满意的抗压强度.

3 结 语

综上所述,得到结论如下:

- 再生骨料的级配是影响透水砖强度的重要因素,粗粒骨料相对含量增大强度增大.
- 在本文的试验范围内,配比的佳值分别为:骨灰比 5.0,水灰比 0.3,砂率 15%,最佳终养时间 72 h.此时,所制备透水砖可满足人行道的铺设要求.
- 要进一步提高所制备透水砖的强度需强化再生骨料的力学性质.

参考文献:

- [1] 孙金生.路要美观也要呼吸[N].中国建材报,

- 2000-12-21(1).
- [2] 杨煜莲. 奥赛斯透水保湿路面砖广为应用[J]. 砖瓦世界, 2006(1):52.
- [3] 靳洋. 透水透气环保型彩色混凝土路面砖[J]. 砖瓦世界, 2005(8):16-18.
- [4] 卢菁. “绿色奥运,绿色行动”系列报道之九透水砖:让路面环保起来[J]. 科技潮, 2007(11):30-31
- [5] 毛洪强,葛斌,陈修和. 合肥市透水砖路面研究与应用[J]. 工程与建设, 2008(3):329-331.
- [6] 刘幼红,尹坚,张江峰,等. JC/T945-2005 透水砖[S]. 北京:中国标准出版社, 2005.
- [7] Topçu I B. Physical and mechanical properties of concretes produced with waste concrete [J]. Cement and Concrete Research, 1997, 27(12):1817-1823.
- [8] Sagoe-Crentsil K K, Brown T, Taylor A H. Performance of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate [J]. Cement and Concrete Research, 2001, 31(5):707-712.
- [9] Amnon Katz. Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete [J]. Cement and Concrete Research, 2003, 33(5):703-711.
- [10] Tam Vivian W Y, Gao X F, Tam C M. Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach [J]. Cement and Concrete Research, 2005, 35(6):1195-1203.
- [11] Nik D Oikonomou. Recycled concrete aggregates [J]. Cement and Concrete Composites, 2005, 27(2):315-318.
- [12] Poon C S, Kou S C, Lam L. Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks [J]. Construction and Building Materials, 2002, 16(5):281-289.
- [13] 李惠强,杜婷,吴贤国. 建筑垃圾资源化循环再生骨料混凝土研究[J]. 华中科技大学学报, 2001(6):83-84.
- [14] 肖建庄,李佳彬,孙振平,等. 再生混凝土的抗压强度研究[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2004(12):1558-1561.
- [15] 王玲玲,陈彦文,潘文浩,等. 制备工艺对再生骨料混凝土抗压强度影响研究[J]. 混凝土, 2011(6):162-164.
- [16] 严捍东. 再生骨料混凝土配制透水路面砖[J]. 华侨大学学报:自然科学版, 2006(1):54-57.
- [17] 欧小燕,严捍东. 彩色再生骨料透水路面砖的研究[J]. 福建建材, 2008(1):12-13.

Preparation of water permeable brick using recycle building concrete as aggregate

XUE Jun¹, LIU Jun², JI Ming-xu¹, ZOU Zhi-peng¹, SHI He-bin¹, CAO Hong^{1,2}

(1. School of Materials Science and Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China;

2. Chongqing Sage Environmental Industries Co., Chongqing 400039, China)

Abstract: With the urbanization process accelerating, roads and buildings put-down will cause a great deal of waste concrete. That will not only pollute the environment, but also will bring about the waste of resources. So the exploitation and recycling of waste concrete has obvious environmental and economic benefits. In this paper recycled building concrete was from crushing and grading processing of waste concrete. Water permeable brick was prepared from recycled building concrete as aggregate. The influence of aggregate grading, aggregate cement ratio, water cement ratio, sand ratio and curing time on the properties of water permeable brick was studied. The results show that when aggregate cement ratio is 5.0, water cement ratio is 0.3, sand sand ratio is 15% and curing time is 72 h, the water permeable brick meets the requirement of Chinese standard JC/T 945-2005.

Key words: recycled building concrete; water permeable brick; aggregate cement ratio; water cement ratio; curing time

本文编辑:龚晓宁