

废弃陶瓷再生混凝土及界面研究

毋雪梅¹, 李 愿², 管宗甫¹

(1. 郑州大学 材料科学与工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 中钢集团耐火材料有限公司, 河南 洛阳 471039)

摘 要: 将废弃陶瓷破碎筛分制成再生骨料以不同比例(50%、80%、100%)代替相应天然骨料配制混凝土. 在对废弃陶瓷再生骨料混凝土和天然骨料混凝土的力学性能进行对比研究的基础上, 进一步对再生骨料与水泥石的粘结性能进行了对比研究. 研究表明: 混凝土中虽然随着再生骨料代替量的增加, 力学性能有所下降但下降幅度大都没超过15%, 且表现出较好的界面粘结性能, 因此, 废弃陶瓷再生骨料完全可以代替天然骨料用于混凝土的配制.

关键词: 再生骨料; 再生混凝土; 界面区; 显微硬度; 粘结强度

中图分类号: TU528.062

文献标识码: A

0 引言

因混凝土材料对资源(尤其是天然骨料)的大量消耗而对环境造成的负面影响已引起了人们的重视. 人们在寻求新的骨料资源方面取得了一定的成效, 例如用海砂作骨料、废弃混凝土再生骨料、利用尾矿制作骨料、人造骨料等, 但新的骨料资源仍需广泛开发^[1-3].

笔者在前期研究了废弃陶瓷再生砂应用于砂浆、混凝土的配制^[4], 在此基础上进一步研究将废弃陶瓷再生粗骨料代替天然碎石配制混凝土. 鉴于工程实际中很难将废弃陶制品和瓷制品分离, 所以本次试验是将陶质和瓷质制品按重量计各占50%的比例混合后破碎、筛分成再生砂以及5~10 mm再生粗骨料配制混凝土, 并与相应传统天然骨料配制混凝土的力学性能以及水泥石与粗骨料的界面粘结性能等进行对比研究.

1 试验用原材料

水泥: 郑州长城水泥股份有限公司生产的P.O 32.5水泥, 理化指标均符合国家标准要求. 其中3 d抗折强度、抗压强度分别为3.5 MPa和14.2 MPa; 28 d抗折强度、抗压强度分别为7.3 MPa和37.8 MPa.

天然骨料: 天然细骨料系河砂, 细度模数

2.78. 天然粗骨料为连续粒级5~31.5 mm和5~10 mm的碎石.

再生骨料: 再生细骨料及5~10 mm再生粗骨料. 再生骨料是用诸如便池、洗手池、内外墙砖、地板砖等陶瓷制品中的废品、破碎品经清洗、晾干、破碎、筛分而得. 其中废弃陶质和瓷质制品按重量计各占50%.

2 试验方法

2.1 再生骨料性能测试

按国家标准 GB/T 14684-2001《建筑沙》和 GB/T 14685-2001《建筑用卵石碎石》内的检测方法对制备的再生骨料测定颗粒级配、细度模数、吸水率、密度、针片状颗粒含量、压碎值指标等, 并与测定的天然骨料的相应指标比较.

2.2 再生骨料配制混凝土与性能测试

按C30设计混凝土强度等级, 在实验室成型了9种不同配比的混凝土. 分别测定混凝土的坍落度、立方体抗压强度、抗折强度. 各种混凝土的配合比中骨料的种类和掺配比例各不相同, 具体配比情况见表1.

2.3 再生骨料与水泥石界面粘结性能研究

2.3.1 界面粘结强度测定

依次将地板砖、墙砖、卫生洁具、碎石通过切割、磨制等工艺制成40 mm×40 mm×10 mm的

收稿日期: 2009-09-30; 修订日期: 2009-12-14

基金资助: 国家科技支撑计划项目(2006BAF02A24)

作者简介: 毋雪梅(1969-), 女, 河南郑州人, 郑州大学讲师, 硕士, 研究方向为新型水泥、混凝土材料, E-mail: wuxue-mei@zzu.edu.cn.

薄片状骨料待用.然后将机械搅拌制成的水灰比为 0.3 的水泥净浆浇注入 40 mm × 40 mm × 160 mm 的水泥试模中达约 1/2 高度处,把薄片状骨料插入试模中间,再在试模两侧浇注水泥净浆.机械振动成型时注意使骨料片竖直放置.刮平试模后于标准养护条件下养护 3 d 后拆模,继续标养至 28 d 测定抗折强度来表示骨料与水泥石界面粘结强度.每组数据采用 6 个平行试件,剔除超过平均值 ±15% 的测试值,以余下数据的平均值作为最后的测定值.

2.3.2 界面区显微硬度的测定及粘结性能的电镜观察

将合适的骨料装入自制 20 mm × 20 mm × 20 mm 试模的一侧,再在试模另一侧浇注经机械搅拌的水灰比为 0.3 的水泥净浆,经振动刮平后于标准条件下养护 1 d 拆模再继续标养 28 d.

将按上述方法制成的试块垂直于粘结面切割.将切割面手工磨平后再用抛光机抛光,在 MHV2000 型数显显微硬度仪下进行界面区显微

硬度测定.另外将切割面用抛光机抛光后先进行水洗,继而用酒精擦洗,然后镀 C 膜,在扫描电镜下进行界面区矿物成分的分析 and 粘结性能观察.

3 试验结果与分析

3.1 再生骨料与天然骨料的物理性能比较

废弃陶瓷再生骨料与天然骨料的物理性能测试结果见表 2.

废弃陶瓷再生砂以及再生粗骨料的性能指标都低于相应天然骨料,例如再生骨料的吸水率偏大、密度偏低,但总体指标相差并不十分悬殊,且再生骨料的指标都基本符合建筑用骨料国家标准中的性能要求.另由于废弃陶瓷再生骨料是由废弃卫生洁具和墙地板砖等薄片状陶瓷制品破碎筛分而得,所以再生粗骨料针片状颗粒较多,且颗粒表面粗糙,级配欠佳,表现出空隙率偏大.

3.2 再生骨料对混凝土强度影响

对不同种类骨料和掺配比例混凝土的力学性能测试结果见图 1.

表 1 C30 混凝土配合比
Tab.1 Mixture ratio of C30 concrete

配比 编号	水泥/ (kg · m ⁻³)	细骨料/(kg · m ⁻³)		粗骨料/(kg · m ⁻³)			水灰比	坍落度 /mm
		天然河砂	再生细骨料	5 ~ 31.5 mm 天然碎石	5 ~ 10 mm 天然碎石	5 ~ 10 mm 再生粗骨料		
1	413	593.0	0	1 204	0	0	0.46	40
2	413	296.5	296.5	1 204	0	0	0.46	35
3	413	118.6	474.4	1 204	0	0	0.46	25
4	413	0	593.0	1 204	0	0	0.46	25
5	448	608.0	0	0	1 129.0	0	0.48	35
6	448	608.0	0	0	564.5	564.5	0.48	30
7	448	608.0	0	0	225.8	903.2	0.48	15
8	448	608.0	0	0	0	1 129.0	0.48	15
9	448	0	608.0	0	0	1 129.0	0.48	20

表 2 骨料物理性能
Tab.2 Physical performances of aggregate

骨料品种	细度模数	吸水率 /%	表观密度 /(kg · m ⁻³)	堆积密度 /(kg · m ⁻³)	紧密密度 /(kg · m ⁻³)	空隙率 /%	针片状颗 粒含量/%	总压碎指 标值/%
天然河砂	2.78	3.03	2 521	1 534	1 805	39	—	—
再生砂	2.99	5.23	2 328	1 324	1 727	43	—	19.0
5 ~ 10 mm 天然碎石	—	0.91	2 705	1 596	1 675	41	5	—
5 ~ 10 mm 再生粗骨料	—	4.13	2 389	1 380	1 556	42	13	—

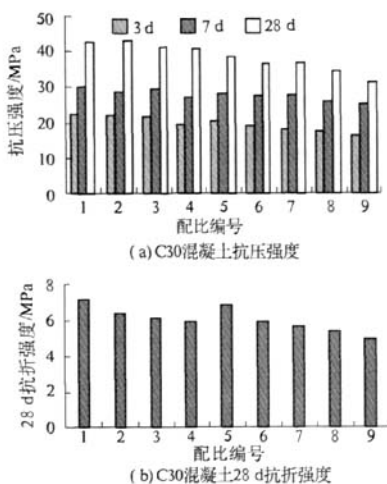


图1 C30 混凝土强度

Fig.1 The strength of C30 concrete

本次试验中废弃陶瓷再生砂及再生粗骨料代替相应天然骨料的比例仅做了0%、50%、80%、100%,所以替代比例对混凝土的力学性能的影响规律无法定量。但随着替代比例的增加,无论是早期的3 d、7 d还是后期的28 d强度都表现出一定下降趋势,只是下降值大都没超过15%。试验结果还显示:再生粗骨料对混凝土强度的降低程度大于再生砂的影响,比如当再生砂的替代比例不超过50%时,抗压强度几乎没有降低;而两种再生骨料对抗折强度的降低影响程度都大于抗压强度的,例如当再生砂完全代替天然砂时,28 d抗折强度由7.1 MPa降低为5.8 MPa,而同时28 d抗压强度仅由42.5 MPa降到40.8 MPa,当再生粗骨料完全代替天然碎石时,28 d抗折强度由6.8 MPa降低为5.3 MPa,而同时28 d抗压强度仅由38.4 MPa降到34.1 MPa。

上述这些规律是由于陶瓷材料本身脆性较大,且再生粗骨料系薄片状陶瓷材料破碎而成,骨料中针片状颗粒较多。

3.3 再生骨料-水泥石界面性能

3.3.1 骨料-水泥石界面粘结强度

不同种类骨料-水泥石界面粘结强度测定结果见表3。表3表明:由于废弃陶瓷骨料有光滑釉面存在,所以其与水泥石的粘结强度远低于碎石-水泥石界面粘结强度。但只是略低于卵石-水泥石界面的粘结强度。但是,所有种类骨料与水泥石的粘结强度都远远低于水泥石的抗折强度,这说明了废弃陶瓷骨料-水泥石界面粘结区仍是混凝土中的薄弱区。

表3 骨料-水泥石界面粘结强度

Tab.3 Bonding strength of interface between aggregate and paste MPa

骨料种类	地板砖	卫生洁具	墙砖	碎石	卵石	无骨料
粘结强度	1.33	1.14	1.59	4.0	2.0	7.2

3.3.2 骨料-水泥石界面区显微硬度及形貌结构

不同种类骨料-水泥石界面区显微硬度测定结果见图2,界面区形貌 SEM 电镜照片见图3。

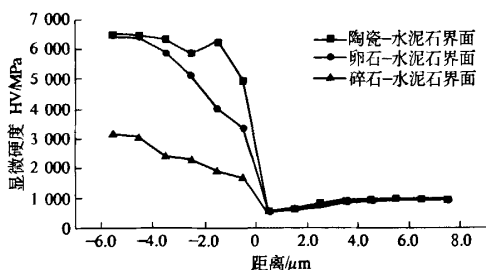


图2 骨料-水泥石界面区显微硬度

Fig.2 The Microhardness of interfacial zone between aggregate and cement

图2中同样显示,陶瓷-水泥石界面区是再生混凝土中的薄弱区。3种骨料与水泥石界面水泥石侧的显微硬度差别并不大,由550 MPa左右递增至950 MPa左右。但陶瓷-水泥石界面靠近界面处水泥石侧的显微硬度略高于普通混凝土,这可能是由于陶瓷骨料吸水率大的缘故。从图2可以看出,碎石的硬度远远低于陶瓷和卵石的硬度,而陶瓷的硬度甚至还高于卵石的硬度。

从SEM图中可看出:碎石骨料本身致密、表面光滑、少孔,在与水泥石界面处可见大量的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 富集并形成明显的定向排列。但在其他两种界面上并无明显此种现象,但可见边缘有化学反应的迹象,过渡层上有水化硅酸钙凝胶生成。在陶瓷-水泥石界面处, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 晶体不容易形成定向生长的原因是因为陶瓷骨料表面比较粗糙且高吸水特性使得骨料周围的水灰比变小,不容易形成水膜层,因而保证了骨料与基体之间的有效粘结,这也从微观上解释了为什么废弃陶瓷再生砂配制的再生混凝土的抗压强度下降幅度较小的原因。

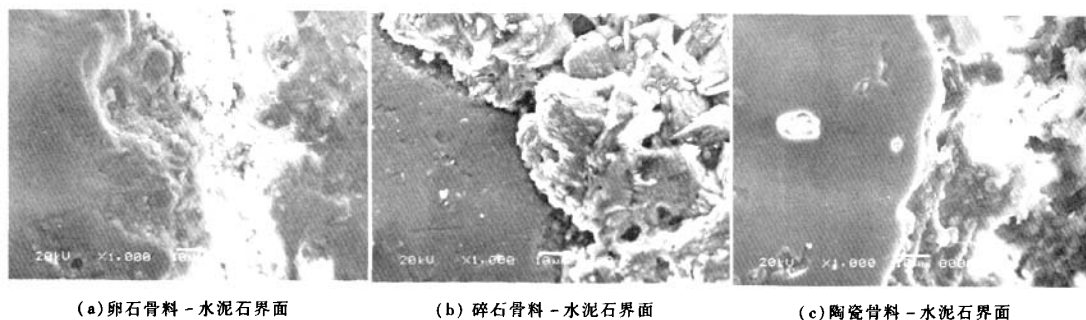


图3 各种骨料-水泥石界面的 SEM
Fig.3 SEM of interface between aggregate and cement

4 结论

(1)废弃陶瓷再生砂和再生粗骨料的性能与相应天然骨料差别不大,都只是吸水性偏大,密度略低。另再生粗骨料破碎后棱角较多,表面粗糙,其中针片状颗粒含量较高。

(2)随着再生骨料代替天然骨料的增加,混凝土的强度有所降低;再生粗骨料对混凝土强度的降低程度大于再生砂的影响;而两种再生骨料对抗折强度的降低影响程度都大于抗压强度的。但总体降低幅度不超过15%,所以不仅废弃陶瓷再生砂还有再生粗骨料代替相应天然骨料用于混凝土的配制都是可行的。

(3)陶瓷骨料表现出高硬度及高吸水性,所以其与水泥石界面的粘结性能更类似于卵石-水泥石界面。显微硬度和SEM照片都显示出陶瓷骨

料-水泥石界面有较好的粘结性能。

参考文献:

- [1] 孙跃东,周德源.我国再生混凝土的研究现状和需要解决的问题[J].混凝土,2006,(4):25-28.
- [2] 陆盛武,曾志兴.以废弃陶瓷为骨料生产再生混凝土可行性探讨[J].山西建筑,2008,(12):1-2.
- [3] DE BRITO. Mechanical behaviour of non-structural concrete made with recycled ceramic aggregates[J]. J Cement and Concrete Composites, 2005, 27: 429-433.
- [4] 毋雪梅,李勇,杨久俊,等.废弃陶瓷再生砂配制砂浆、混凝土的研究[J].混凝土,2008,(9):50-52.
- [5] 连丽,印海春,廖卫东,等.混凝土界面区的显微硬度研究[J].国外建材科技,2005,26(2):25-31.
- [6] 董华,钱春香.砂岩、大理岩-浆体界面区结构特征[J].硅酸盐学报,2008(3):192-196.

Research on Recycled Ceramic Concrete and Interfacial Zone

WU Xue-mei¹, LI Yuan², GUAN Zong-fu¹

(1. School of Material Science and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Sinosteel Refractory Com. Ltd, Luoyang 471039, China)

Abstract: This paper is focused on preparing concrete by crushing the ceramic wastes to make the recycled aggregate to substitute for the natural aggregate in different ratios(50%、80%、100%). The comparison of the mechanical performances between recycled ceramic concrete and normal concrete is conducted, as well as the interfacial zone between recycled aggregate and masonry mortar. Results show that the mechanical performances of recycled ceramic concrete decrease no more than 15% in comparison with that of natural concrete though the performances exhibit monotonically decreasing as the recycled ceramic aggregate ratio increases, and the bonding performance of interfacial zone is better. Therefore, the recycled ceramic aggregate can fully substitute for the natural aggregate to prepare concrete.

Key words: recycled aggregate; recycled concrete; interfacial zone; microhardness; bonding strength