

再生细骨料对砂浆性能的影响

张建彪^{1*}, 杨永富², 王永成¹

¹山东省路桥集团有限公司, 山东 济南

²山东省交通科学研究院, 山东 济南

Email: *3044727919@qq.com

收稿日期: 2021年7月11日; 录用日期: 2021年7月25日; 发布日期: 2021年8月10日

摘要

考虑三种水灰比(0.28, 0.30, 0.32), 四种再生细骨料置换率(0、30%、60%、100%)和四种浸泡时间(0, 2 h, 10 h, 24 h), 试验研究了再生细骨料对砂浆流动性、抗弯性能和水化特征的影响。试验结果显示: 采用再生细骨料替代河砂会降低砂浆的流动性; 砂浆抗压强度随再生细骨料置换率增加而减小, 随水灰比的减小而小幅增加; 浸泡时间对抗压强度的影响不显著; 再生细骨料置换率和水灰比对砂浆抗折强度的影响可忽略。另外, 电子扫描图像试验结果显示再生细骨料的使用有利于促进砂浆中的水化反应。

关键词

再生细骨料, 再生砂浆, 强度, 置换率

Influence of Recycled Fine Aggregate on Mortar Properties

Jianbiao Zhang^{1*}, Yongfu Yang², Yongcheng Wang¹

¹Shandong Luqiao Group Co., Ltd., Jinan Shandong

²Shandong Academy of Communications Science, Jinan Shandong

Email: *3044727919@qq.com

Received: Jul. 11th, 2021; accepted: Jul. 25th, 2021; published: Aug. 10th, 2021

Abstract

Considering three water-cement ratios (0.28, 0.30, 0.32), four replacement ratios of recycled fine aggregate (0, 30%, 60%, 100%) and four soaking times (0, 2 h, 10 h, 24 h), the experiment studied

*通讯作者。

文章引用: 张建彪, 杨永富, 王永成. 再生细骨料对砂浆性能的影响[J]. 土木工程, 2021, 10(8): 714-720.

DOI: 10.12677/hjce.2021.108081

the effect of recycled fine aggregate on the fluidity, flexural performance and hydration characteristics of the mortar. The test results show that the use of recycled fine aggregate to replace river sand will reduce the fluidity of the mortar. The compressive strength of the mortar decreases with the increase of the replacement rate of recycled fine aggregate, and slightly increases with the decrease of water-cement ratio. The impact of soaking time on the compressive strength is not significant. The effect of the replacement rate of recycled fine aggregate and the water-cement ratio on the flexural strength of the mortar is negligible. In addition, the results of the electronic scanning image test show that the use of recycled fine aggregate is beneficial to promote the hydration reaction in the mortar.

Keywords

Recycled Fine Aggregate, Recycled Mortar, Strength, Replacement Ratio

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

工程建设过程中伴随产生大量的建筑垃圾。据测算,近几年我国城市建筑垃圾年产生量超过 20 亿吨,是生活垃圾产生量的 10 倍左右,约占城市固体废物总量的 30%~40%,建筑垃圾问题已成为制约城市发展的重要因素[1] [2]。然而,目前我国建筑垃圾总体资源化率尚不足 10%,与发达国家平均 80%以上的利用率相比,存在很大差距,亟待重点关注和发展。

再生混凝土骨料是提高建筑垃圾资源化利用率的有效途径,国内外学者对此开展了大量的研究[3] [4] [5] [6]。研究表明,再生骨料混凝土的强度受多个因素的影响,包括再生骨料置换率、再生骨料类型、含水率、水灰比等,使用不当可导致再生骨料混凝土强度降低 40% [7]。另外,与天然骨料相比,再生混凝土骨料通常具有更高的吸水性,这对混凝土的性能,特别是和易性有显著的影响[4] [6]。Poon 等[8]发现再生骨料越干燥,其制备的混凝土的坍落度越大和坍落度损失越快。

当前关于再生骨料混凝土的研究多集中于使用再生粗骨料代替传统骨料。关于再生细骨料对混凝土性能影响的研究相对较少[4]。有研究发现使用再生细骨料替代天然砂会对混凝土性能产生负面影响,如降低强度、增加收缩性、降低施工和易性[9]。同时,也有研究表明再生细骨料能够用于制备性能可靠的混凝土,如 Hu 等[10]采用再生细骨料替代部分细骨料,制备了强度及干缩性能优异的自密实混凝土。

针对上述问题,本文通过试验研究了再生细骨料置换率和饱和度对砂浆流动性、抗压强度、抗弯强度和内部相对湿度等性能或指标的影响水平和规律。

2. 实验方案

2.1. 原材料

采用 28 天抗压强度 42.5 MPa 普通硅酸盐水泥(产地:济南),其主要化学成分见表 1;减水剂采用巴斯夫中国有限公司生成的 RHEOPLUS 326 型号;水采用自来水。

本研究采用两种细骨料:本地河砂和废旧混凝土粉碎后再生的细骨料,其基本性质及分级见表 2 和表 3。为了降低级配的影响,对回收的细骨料进行筛分和拌和以得到与河砂相同的级配。

Table 1. Concrete composites**表 1.** 水泥化学成分

成分	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	SO ₃	Na ₂ O ₂
含量(%)	75.4	21.9	1.3	1.3	2.7	2.0	0.07

Table 2. Fine aggregate properties**表 2.** 细骨料性能

细骨料	吸水率(%)	表观密度(g/cm ³)	细度模量
河砂	1.1	2.7	3.0
RFA	7.0	2.6	

Table 3. Particle distribution of fine aggregate**表 3.** 细骨料级配

骨料粒径(mm)	河砂(%)	再生骨料(%)
>4.75	0	0
2.36	10	10
1.18	26	26
0.6	32	32
0.3	18	18
0.15	14	14
0.075	0	0

2.2. 实验设计

试验中采用了两种砂(河砂和再生细骨料), 三种水灰比(0.28、0.30 和 0.32), 四种置换率(0、30%、60%和 100%), 四种浸泡时间(0、2、10、24 h), 合计制备并测试了 18 组再生砂浆试样。

2.3. 测试方法

细骨料吸水性测试: 称重后将干燥的试样放入装满水至刻度线的容量瓶中, 分别在 0.25、0.5、2、10 和 24 h 后加水, 使水位保持在刻度处。根据加水量计算吸水量。

解吸特性测试: 首先将骨料浸泡在水中 24 h; 然后将饱和但表面无水状态(saturated surface dry condition)下的骨料放入不同相对湿度的密封容器中; 分别在 12、24、36、48、60、72、108、144 h 称重; 用不同的溶液(如 K₂SO₄ 溶液)保持容器内的相对湿度不变。

采用日产 SU-70 电子扫描显微镜(SEM)研究其微观结构。再生砂浆的流动性、抗压强度和抗弯强度试验依据中国标准试验方法进行。

3. 结果和讨论

3.1. 细骨料的吸水和解吸特性

图 1 为吸水率随时间的变化规律。可见所测试的两种细骨料(河砂和再生细骨料)在前 3~5 h 快速吸水, 之后总吸水量趋于稳定, 表明细骨料吸水已达到饱和状态。在浸泡时间相同时, 河砂和再生细集料的吸水率各约为 1% 和 7%, 表明再生细骨料含有高的开口孔隙率。

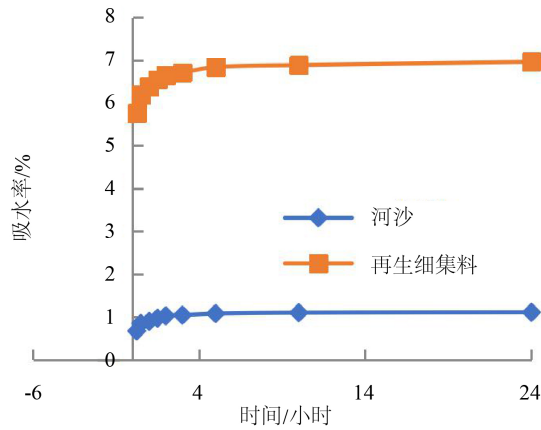


Figure 1. Absorption property of fine aggregate
图 1. 细骨料的吸水性能

如图 2 所示, 当环境相对湿度(RH)较低时, 再生细骨料中吸收的水会释放出来。水分释放速率随相对湿度的减小而增加。140 h 以后, 相对湿度为 97.6%、85.1%、75.5%和 59.1%情况下的水分释放量分别为 1.3%、3.3%、3.8%和 4.3%。因此, 再生细骨料适合作为内养护材料, 达到降低混凝土早期收缩的效果。

与天然河沙相比, 再生细骨料具有较高的棱角性和较大的表面粗糙度。因此采用再生细骨料替代天然石通常会导致砂浆在水灰比不变的情况下流动度降低。图 3 显示, 当再生细骨料置换率由 0%增加到 100%时, 再生砂浆的流动度由 141.5 mm 减小到 126 mm。细骨料再生率为 60%和 100%时, 砂浆的流动度基本相同。

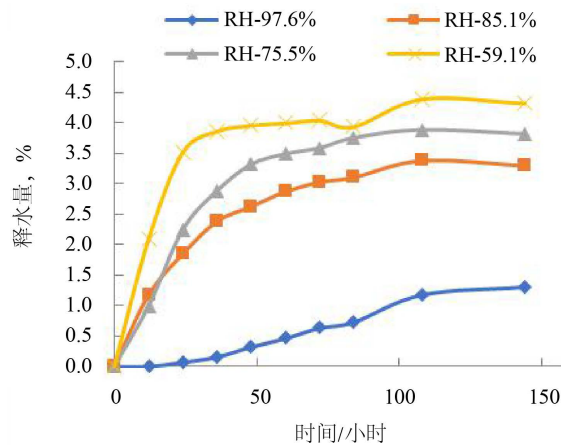


Figure 2. Absorption property of renewable fine aggregate
图 2. 再生骨料的吸水性能

3.2. 强度

图 4(a)显示再生砂浆的抗压强度随着再生骨料置换率的增加而降低, 28 天后再生砂浆试件的抗压强度基本保持不变, 当置换率为 100%时, 砂浆试件抗压强度损失约 20%。再生骨料强度低是导致上述现象的主要原因。从图 4(b)可以看出, 试件浸泡时间对强度发展也有影响。随着时间的增加, 28 天和 56 天后抗压强度随浸泡时间先增大后减小; 砂浆 7 天抗压强度随着浸泡时间逐渐降低, 这是因为砂浆试件水化

程度低内部含有更多连通性孔隙，水分更易渗入造成抗压强度降低。图 5 显示再生砂浆抗压强度随着水灰比的增加而降低，但不同水灰比的 28 天和 56 天强度基本相同。

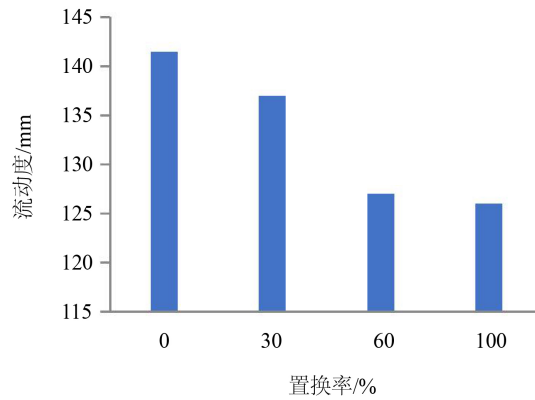


Figure 3. Influence of replacement ratio on the fluidity
图 3. 置换率对流动度的影响

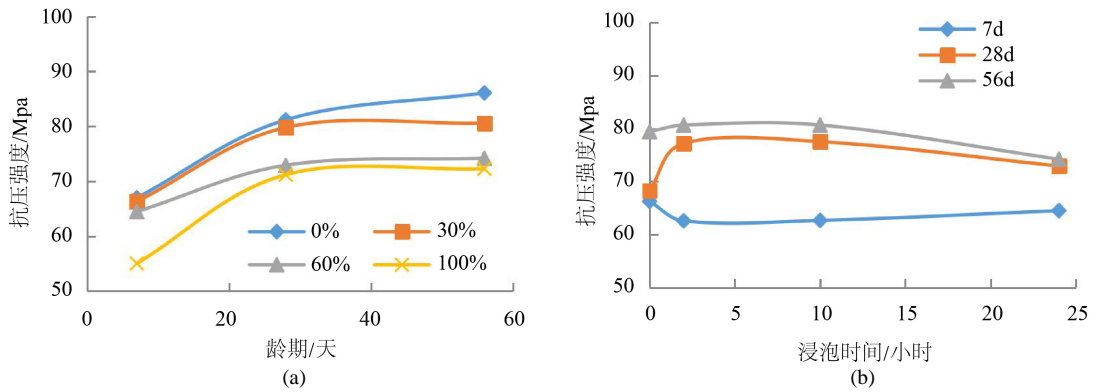


Figure 4. Flexural tensile strength of renewable mortar
图 4. 再生砂浆抗折强度

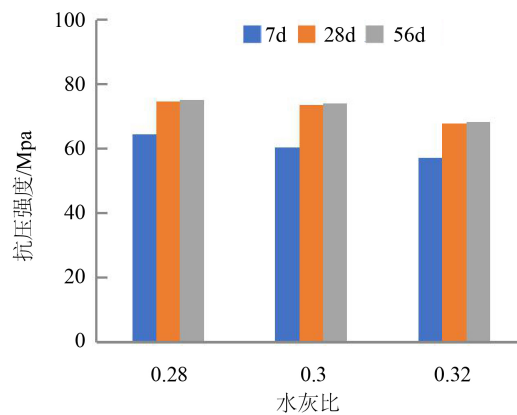


Figure 5. Influence of water-to-cement ratio on the compressive strength of renewable mortar
图 5. 水灰比对再生砂浆抗压强度的影响

再生细骨料对再生砂浆抗折强度的影响与抗压强度不同。相同龄期时，不同再生细骨料用量的试样

的抗折强度相近(图 6(a))。再生细骨料置换率为 30% 试件的 56 d 抗折强度最高, 为 14.8 Mpa。这是因为再生骨料虽然强度较低, 但其表面粗糙和比表面积大, 易使骨料与水泥基体之间产生较大的粘合力, 从而提高其抗折强度。随着浸泡时间的增加, 抗折强度先快速增加后基本保持不变(图 6(b))。图 7 显示, 不同水灰比条件下所有试件的抗折强度基本相同, 差异小于 1 MPa。

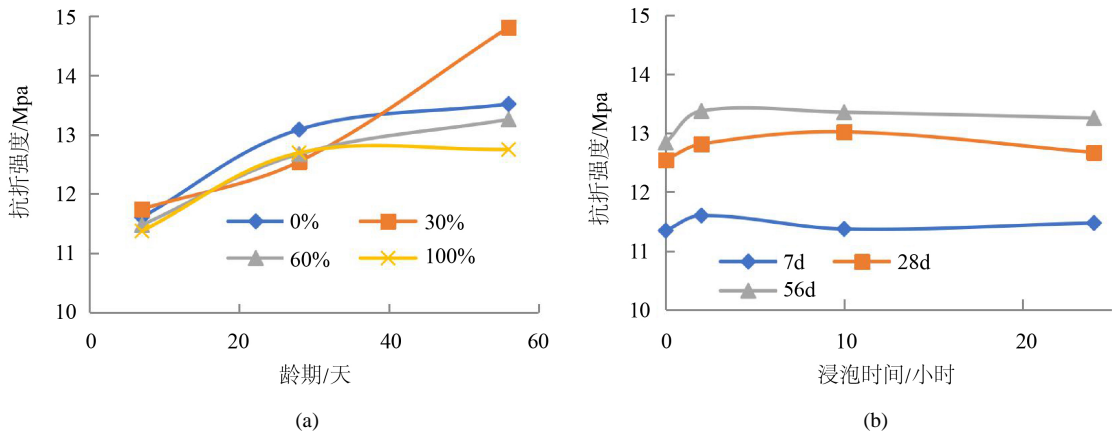


Figure 6. Influence of renewable fine aggregate on the flexural tensile strength
图 6. 再生细骨料对抗折强度的影响

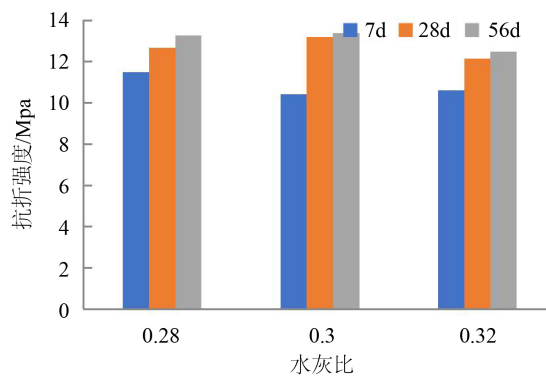


Figure 7. Influence of water-to-cement ratio on the flexural tensile strength.
图 7. 水灰比对再生砂浆抗折强度的影响

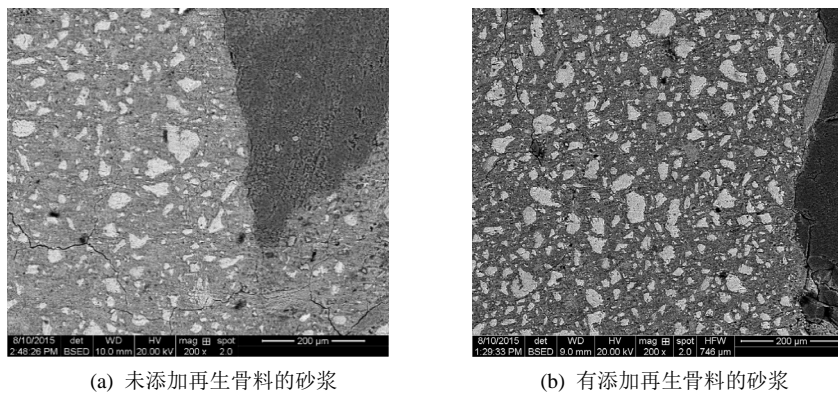


Figure 8. Microstructure image of mortar
图 8. 砂浆微观结构图像

3.3. 水化反应

图 8 展示了添加和不添加再生骨料时再生砂浆的微观结构。微观图像中可看出, 添加再生骨料的试样未水化的水泥颗粒较少, 结构较为致密, 即水化程度相对较高, 这可能与再生细骨料的释水特性密切相关。

4. 结论

本文通过 18 组室内试验研究了不同再生细骨料置换率对水泥砂浆物理、力学性能的影响。研究表明, 再生细骨料较河砂具有更高的吸水率, 且随着置换率的增加砂浆的流动性逐渐降低; 砂浆抗压强度受再生细骨料置换率影响较大, 随置换率增加而减小, 但抗折强度受再生细骨料置换率影响较小; 砂浆微观结构图中表示添加再生细骨料的砂浆水泥水化程度更高, 从而使得砂浆结构更加致密。

参考文献

- [1] 肖绪文, 冯大阔, 田伟. 我国建筑垃圾回收利用现状及建议[J]. 施工技术, 2015, 44(10): 6-8.
- [2] 时乐. 我国建筑垃圾现状分析及其资源化利用进程发展[J]. 建材与装饰, 2020(10): 167-168.
- [3] 孙跃东, 肖建庄. 再生混凝土骨料[J]. 混凝土, 2004(6): 33-36.
- [4] 葛智, 刘相阳, 李秋义, 李秋义, 肖建庄, 孙仁娟, 秦际峰. 再生细骨料自密实混凝土性能研究[J]. 建筑结构, 2019, 49(S1): 672-676.
- [5] Braga, M., De Brito, J. and Veiga, R. (2012) Incorporation of Fine Concrete Aggregates in Mortars. *Construction and Building Materials*, **36**, 960-968. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.06.031>
- [6] Mas, B., Cladera, A., Del Olmo, T. and Pitarch, F. (2012) Influence of the Amount of Mixed Recycled Aggregates on the Properties of Concrete for Non-Structural Use. *Construction and Building Materials*, **27**, 612-622. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.06.073>
- [7] Katz, A. (2003) Properties of Concrete Made with Recycled Aggregate from Partially Hydrated Old Concrete. *Cement and Concrete Research*, **33**, 703-711. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)01033-5](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)01033-5)
- [8] Poon, C.S., Shui, Z.H., Lam, L., Fok, H. and Kou, S.C. (2004) Influence of Moisture States of Natural and Recycled Aggregates on the Slump and Compressive Strength of Concrete. *Cement and Concrete Research*, **34**, 31-36. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00186-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00186-8)
- [9] Yaprak, H., Aruntas, H.Y. and Demir, I. (2011) Effects of the Fine Recycled Concrete Aggregates on the Concrete Properties. *International Journal of Physical Sciences*, **6**, 2455-2461.
- [10] Hu, J., Wang, Z. and Kim, Y. (2013) Feasibility Study of Using Fine Recycled Concrete Aggregate in Producing Self-Consolidation Concrete. *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, **2**, 20-34. <https://doi.org/10.1080/21650373.2012.757832>