

文章编号:1673-9469(2020)02-0014-04

DOI: 10.3969/j.issn.1673-9469.2020.02.003

基于砂率的富含砖粒再生混凝土基本性能试验研究

边金明,安新正*,半 峥,马晓楠,刘利伟

(河北工程大学 土木工程学院,河北 邯郸 056038)

摘要: 为探究富含砖粒再生混凝土阻尼性能、抗压及劈裂强度与砂率的关系,选用全再生富含砖粒粗骨料,以砂率为研究参数,设计制作砂率为25%~50%的6组不同配合比再生混凝土梁、抗压及劈裂试件。通过试验研究砂率对富含砖粒再生混凝土梁阻尼性能、抗压及劈裂强度的影响规律。研究结果显示,随砂率的增大,富含砖粒再生混凝土抗压及劈裂强度均减小,而阻尼比随砂率的增加先增大而后略有降低。

关键词: 砂率;富含砖粒再生混凝土;阻尼性能;抗压及劈裂强度

中图分类号:TU528

文献标识码:A

Experimental Study on Basic Properties of Brick-rich Recycled Concrete Based on Sand Ratio

BIAN Jinming, AN Xinzheng*, MI Zheng, MA Xiaonan, LIU Liwei

(College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Handan, Hebei 056038, China)

Abstract: In order to explore the relationship between damping performance, compressive strength and splitting strength of brick-rich recycled concrete and sanding ratio, 6 groups of regenerated concrete beams, compressive strength and splitting specimens with different mix ratios of 25%~50% were designed by selecting the whole regenerated coarse aggregate rich in brick particles and taking the sand rate as the research parameter. The effects of sand ratio on the damping performance, compression resistance and splitting strength of brick-rich recycled concrete beams were studied by experiments. The results show that with the increase of sand rate, the compressive strength and splitting strength of brick-rich recycled concrete decrease, while the damping ratio increases first and then decreases slightly with the increase of sand ratio.

Key words: sand ratio; brick-rich recycled concrete; damping performance; compression and splitting strength

再生混凝土,因其具有节约天然资源,减少环境破坏的优势,已得到了各国学者的青睐。据统计,我国老旧建筑物拆除产生的建筑垃圾中,废弃砖约占40%,废弃混凝土约占41%^[1-2]。因此,对富含砖粒再生混凝土的相关研究已成为绿色建筑研究热点话题之一。结构设计中,除了考虑再生混凝土力学性能外,阻尼性能也是结构设计的重要参数。当下,相关富含砖粒再生混凝土的研究主要集中在强度、工作性能和力学性能的探讨,以及再生粗骨料取代率、粒径等因素的影响^[3-6],而探讨砂率对其阻尼性能、抗压及劈裂性能的影响

研究较少。基于以上分析,本文通过制作一系列不同砂率富含砖粒再生混凝土梁试件、抗压及劈裂试件,研究富含砖粒再生混凝土的阻尼比、抗压及劈裂强度与砂率间的相关关系,可为再生混凝土工程设计和动力分析提供参考。

1 试验概况

1.1 试验用原材料

(1)水泥:采用太行山牌P·O42.5普通硅酸盐水泥;(2)细骨料:采用天然河砂,细度模数为1.6,含泥量为1.1%;(3)粗骨料:采用邯郸市全有建材

收稿日期:2019-06-25

基金项目:河北省自然科学基金资助项目(E2015204111);河北省科学技术研究与发展计划资助项目(15273609D)

作者简介:边金明(1993-),女,河北张家口人,硕士研究生,研究方向为混凝土结构耐久性理论与设计。

*通讯作者:安新正(1963-),男,河南镇平人,博士,副教授,从事混凝土结构耐久性理论与设计方面的研究。

有限公司提供富含砖粒再生粗骨料;(4)粉煤灰:采用邯郸马头电厂生产 I 级粉煤灰;(5)减水剂:采用高效聚羧酸液态减水剂,减水率 25%,掺量为胶凝材料用量的 1.5%;(6)水:邯郸市生活用水。配合比设计中的附加用水量按 24 h 吸水率计算,富含砖粒再生粗骨料基本性能指标见表 1。

表 1 再生粗骨料基本性能指标

Tab.1 Basic performance index of recycled coarse aggregate

| 粒径范围/mm | 表观密度 / $(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$ | 堆积密度 / $(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$ | 24 h 吸水率/% | 含泥量/% | 压碎指标/% |
|---------|--|--|------------|-------|--------|
| 5~20 | 2 381 | 1 295 | 11.2 | 1.07 | 16.1 |

1.2 配合比与试件制作

共设计 6 组试件(表 2),每组 3 根,总共 18 根富含砖粒再生混凝土梁,试件尺寸为 100 mm×100 mm×1 000 mm,再生混凝土配合比见表 2。每组同批次浇筑边长为 100 mm 的立方体试块各 6 块。养护条件均为薄膜覆盖养护。砂率的取值分别为:25%、30%、35%、40%、45%、50%。

表 2 再生混凝土配合比

Tab.2 Mix proportion of recycled concrete

| 试件组号 | 原材料用量/ $(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$ | | | | | | 砂率/% |
|------|--|----------|--------|-------|------|--------|------|
| | 水泥 | 粗骨料 | 细骨料 | 粉煤灰 | 减水剂 | 水 | |
| SC25 | 263.9 | 1 148.35 | 382.73 | 29.32 | 4.40 | 161.25 | 25 |
| SC30 | 263.9 | 1 071.79 | 459.34 | 29.32 | 4.40 | 161.25 | 30 |
| SC35 | 263.9 | 995.23 | 535.89 | 29.32 | 4.40 | 161.25 | 35 |
| SC40 | 263.9 | 918.68 | 612.45 | 29.32 | 4.40 | 161.25 | 40 |
| SC45 | 263.9 | 842.12 | 689.01 | 29.32 | 4.40 | 161.25 | 45 |
| SC50 | 263.9 | 765.57 | 765.57 | 29.32 | 4.40 | 161.25 | 50 |

2 试验方法

2.1 抗压及劈裂强度测试

依据 GB/T 50081-2002《普通混凝土力学性能试验方法标准》^[7]进行 28 d 抗压强度和劈裂强度测试。富含砖粒再生混凝土拉压比按公式(1)计算。

$$\lambda = \frac{f_t}{f_{cu}} \quad (1)$$

式中: f_t 为立方体劈裂强度; f_{cu} 为立方体抗压强度。

2.2 再生混凝土梁动力测试

测试采用悬臂梁自由振动衰减法,如图 1。测试仪器主要包括 DH5902 动态信号采集仪、DH5682 程控电荷放大器、加速度传感器、力锤。

测试程序:(1)梁试件固定于 TYA-2000 型数显压力试验机上,悬臂梁固定端嵌入长度为 160 mm,梁悬臂端长度为 840 mm;(2)在悬臂端上下垫两块 150 mm×100 mm×5 mm 钢板作为缓冲,试验机缓慢下移加载,保证上下板加紧试件构成悬臂梁;(3)加速度传感器安装于悬臂端上部中轴线三等分位置处;(4)试验开始,利用力锤施加激励。在时域上,通过加速度时程曲线(图 2),利用对数衰减法得到阻尼比 ξ ,按公式(2)计算^[8]。经 FFT 变换,将时域响应信号转换到频域上,记录自振频率 f 。

$$\xi = \frac{1}{2\pi n} \ln \frac{A_i}{A_{i+n}} \quad (2)$$

式中: A_i 、 A_{i+n} 分别为悬臂梁自由振动衰减第 i 、 $i+n$ 周期的加速度峰值。



图 1 悬臂梁测试图

Fig.1 Cantilever beam test diagram

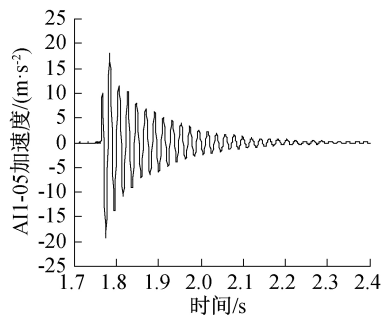


图 2 加速度时程曲线

Fig.2 Acceleration history curve

3 试验结果与分析

3.1 再生混凝土基本性能试验结果

富含砖粒再生混凝土基本性能试验实测结果见表 3。

3.2 砂率对抗压强度和劈裂强度的影响

依据测试结果,可得到砂率对再生混凝土抗

表3 试验结果
Tab.3 Test results

| 试件编号 | 阻尼比/% | 固有频率/Hz | 抗压强度/MPa | 劈裂抗拉强度/MPa | 拉压比 |
|------|-------|---------|----------|------------|-------|
| SC25 | 3.04 | 48.2 | 33.7 | 3.00 | 0.089 |
| SC30 | 3.34 | 46.2 | 29.7 | 2.83 | 0.095 |
| SC35 | 3.49 | 45.7 | 30.3 | 2.69 | 0.089 |
| SC40 | 4.50 | 43.9 | 25.5 | 2.46 | 0.097 |
| SC45 | 3.50 | 45.1 | 21.9 | 2.40 | 0.110 |
| SC50 | 3.36 | 46.6 | 19.6 | 2.18 | 0.111 |

压强度、劈裂强度及拉压比影响曲线(图3、图4)。由图3可知,再生混凝土28d抗压强度和劈裂强度均随着砂率增加而减小。当砂率为25%时,二者均达到最大强度值33.7、3.00 MPa。试件组SC50与试件组SC25相比,抗压强度和劈裂强度分别下降了41.8%、27.3%。原因是:随着砂率增大,富含砖粒再生混凝土拌和物中再生粗骨料比例相对减少,细骨料比例相对增加,而富含砖粒再生粗骨料是再生混凝土的骨架,砂率增大,骨架削弱,导致抗压及劈裂强度降低。另外,破碎混凝土表面附着老旧砂浆,新旧砂浆结合及新砂浆与砖粒结合均易形成弱过渡界面。随着砂率的增大,黏结表面积增大^[9-10],引起弱过渡界面面积增大,同时富含砖粒再生粗骨料内部又存在初始微损伤和缺陷,均导致再生混凝土抗压强度和劈裂强度降低,承载力降低。

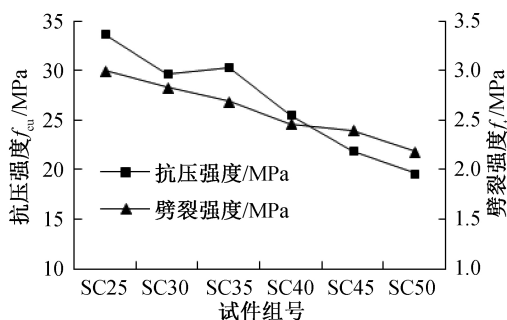


图3 砂率对再生混凝土强度的影响

Fig.3 Effect of SC on the strength of recycled concrete

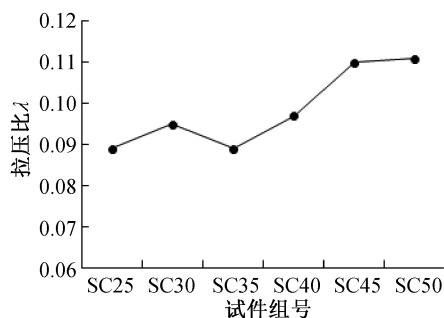


图4 再生混凝土拉压比曲线

Fig.4 Recycled concrete tension ratio curve

砖粒孔隙率大,本身存在微裂纹,强度较低,宏观破坏面存在大部分砖粒粗骨料自身断裂^[11]。随着砂率的增大,同时富含砖粒粗骨料中砖粒含量较高,内部受力分配不均匀,受荷应力集中,导致富含砖粒再生混凝土强度均降低。

由图4可知,富含砖粒再生混凝土拉压比在0.089~0.111范围内,基本呈现上升趋势。随砂率增大,强度虽然降低,但拉压比增大。说明砂率的增大在一定程度上可以改善混凝土的脆性特征^[4],提高富含砖粒再生混凝土的韧性。

3.3 砂率对阻尼比及固有频率的影响

依据测试结果,经计算得到砂率对再生混凝土梁阻尼比 ξ 及固有频率 f 影响规律(图5、图6)。由图5与图6可知,随着砂率增大, ξ 呈现出先增大而后减小的现象。当砂率为40%时,富含砖粒再生混凝土 ξ 达到最大值4.50%, f 达到最小值43.9 Hz。当砂率由25%增加至40%时, ξ 增大了48.0%, f 减小了8.9%。其原因是:一方面,随着砂率增大,粗细骨料用量及分布不合理,引入大量气泡,骨料与砂浆结合时,增大了混凝土的总孔隙体积,梁在振动过程中,混凝土内部孔隙相当于柔性缓冲垫^[12],增加耗能, ξ 提高。另一方面,微观结构缺陷是引起材料内部阻尼耗能的主要方面^[13]。随着砂率的增大,砂浆与再生粗骨料包裹表面积增大,薄弱界面过渡区相对面积增大,界面过渡区存在微裂缝和缺陷,振动过程中,薄弱界面相对滑移变形,微裂缝的扩展和延伸^[14],及微裂缝间的摩擦和界面缺陷,均导致能量耗散增加,故 ξ 增大。而随着砂率增大,砂浆与骨料接触薄弱过渡区面积增大,振动时易产生微观裂纹,降低混凝土刚度,导致了再生混凝土梁 f 降低。

当砂率超过40%以后, ξ 稍有下降。原因是富

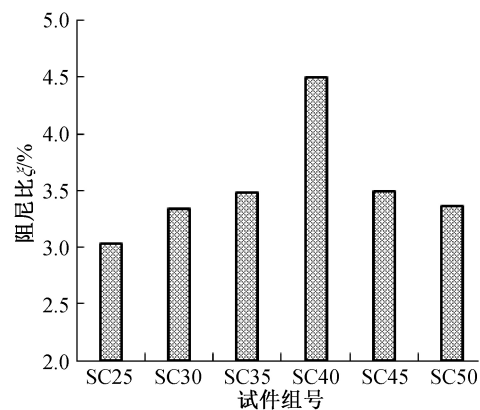


图5 再生混凝土梁一阶阻尼比

Fig.5 First damping ratio of recycled concrete beams

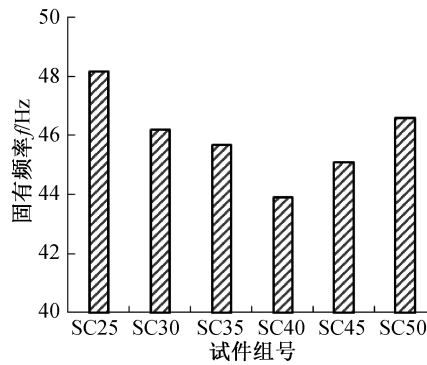


图6 再生混凝土梁一阶固有频率

Fig.6 First natural frequency of recycled concrete beams

含砖粒再生粗骨料本身孔隙率大,砂率过大,富含砖粒再生粗骨料用量明显下降,耗能孔隙减少, ξ 降低,这与文献[13]研究结果一致。总体上,砂率增大, λ 提高,增强了富含砖粒再生混凝土梁的韧性。 ξ 总体呈先上升后下降趋势, f 呈先减小后增大趋势。

4 结论

1) 砂率由25%增大到50%,富含砖粒再生混凝土的抗压强度和劈裂强度均呈下降趋势,而抗压比则呈上升趋势。砂率的增大对富含砖粒再生混凝土的韧性有利。

2) 砂率由25%增大到40%,随砂率的增加,阻尼比呈逐渐增大的趋势,而固有频率呈减小的趋势;当砂率超过40%之后,随砂率的增加,阻尼比呈逐渐减小的趋势,而固有频率则呈增大趋势。

3) 当砂率在25%~40%范围内时,砂率的变化对富含砖粒再生混凝土抗压强度、劈裂强度的影响较小,而对阻尼比和固有频率的影响较大。建议设计者在设计时综合考虑。

参考文献:

- [1] 肖建庄. 再生混凝土[M].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [2] 安新正,牛薇,张亚飞,等.含砖粒再生混凝土基本性能研究[J].河北工程大学学报:自然科学版,2017,34(1):30-33.
- [3] BANON H, VENEZIANO D. Seismic Safety of Reinforced Concrete Members and Structures [J]. Earthquake Engineering and Structural Dynamic,2006,10(2):179-193.
- [4] 惠存,李丹丹,海然,等.不同砂率高强再生混凝土工作性和力学性能试验研究[J].工业建筑,2019,49(01):136-139.
- [5] 马俊.再生骨料混凝土阻尼性能试验研究[D].江苏:扬州大学,2015.
- [6] 梁超锋,刘铁军,邹笃建,等.再生混凝土材料阻尼性能研究[J].振动与冲击,2013,32(09):160-164.
- [7] GB/T 50081-2002,普通混凝土力学性能试验方法标准[S].
- [8] 梁超锋,刘铁军,肖建庄,等.再生混凝土悬臂梁阻尼性能与损伤关系的试验研究[J].土木工程学报,2016,49(07):100-106.
- [9] XUAN D, ZHAN B, POON C S. Assessment of Mechanical Properties of Concrete Incorporating Carbonated Recycled Concrete Aggregates [J]. Cement and Concrete Composites, 2016,65-67.
- [10] 周美丽,柯国军.砂率对煤矸石粉混凝土和易性及抗压强度的影响[J].混凝土,2016(08):133-135.
- [11] 石建光.再生骨料对混凝土性能影响的试验研究和计算分析[D].上海:上海大学,2011.
- [12] 刘铁军,邢锋,隋莉莉,等.气泡对纤维混凝土阻尼性能的影响[J].功能材料,2010,41(12):2140-2143.
- [13] 梁超锋,何佳俊,肖建庄,等.再生混凝土梁的阻尼性能及其机理分析[J].同济大学学报:自然科学版,2018,46(06):737-750.
- [14] 过镇海.钢筋混凝土原理[M].北京:清华大学出版社,2013.

(责任编辑 王利君)