

文章编号:1673-9469(2020)01-0041-04

DOI: 10.3969/j.issn.1673-9469.2020.01.008

再生粗骨料对破碎卵石混凝土抗压性能影响研究

半 峥,安新正*,边金明,张 冰,马晓楠

(河北工程大学 土木工程学院,河北 邯郸 056038)

摘要: 为了研究再生粗骨料取代率对破碎卵石混凝土抗压性能的影响,和不同取代率下再生混凝土受压下的超声声速,制作了再生粗骨料取代率为0%、15%、30%、45%的标准立方体试块,进行龄期3、7、14、28、45 d的抗压性能试验,及28 d下的压应力-超声声速试验。研究表明:随着取代率的提高,各龄期下立方体抗压强度均呈先增长后降低趋势,其中3 d时该趋势尤为明显,当龄期超过28 d时该趋势变小。随着压应力系数的增加,各取代率下的超声声速均先增加后降低,当压应力系数为0.2时取得最大值;对于同一压应力系数,随着取代率的提高,其超声声速的变化趋势与抗压强度的变化相似。

关键词: 再生粗骨料;破碎卵石;抗压性能;超声声速

中图分类号:TU528

文献标识码:A

Influence of Recycled Coarse Aggregate on Compressive Property of Broken Pebble Concrete

MI Zheng, AN Xinzheng*, BIAN Jinming, ZHANG Bing, MA Xiaonan

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

Abstract: In order to study the effect of the replacement rate of recycled coarse aggregate on the compressive property of broken pebble concrete and the supersonic velocity of compressed concrete under different replacement rates, the standard cube test blocks with the replacement rates of 0%, 15%, 30% and 45% of recycled coarse aggregate were prepared for compressive property tests on days 3, 7, 14, 28 and 45 and compressive stress-ultrasonic velocity tests on days 28. The results show that with the increase of the substitution rate, the compressive strength of the cubes in each age increases first and then decreases. The trend is especially obvious at 3 days, and the trend becomes smaller after the age of 28 days. With the increase of compressive stress coefficient, the ultrasonic sound velocity at each substitution rate increases first and then decreases. When the compressive stress coefficient is 0.2, the maximum value is obtained. For the same compressive stress coefficient, with the increase of substitution rate, the variation trend of ultrasonic velocity is similar to that of compressive strength.

Key words: recycled coarse aggregate; broken pebbles; compressive property; ultrasonic sound velocity

随着我国建筑业的发展,天然山石的消耗量巨大,在开采山石的同时,对环境的破坏也随之加大。而我国河流资源丰富,河流两岸及河床天然堆积着大量河卵石,由于河卵石长期处于风化及雨水侵蚀的环境,使其表面光滑、圆润,经破碎加工后,可用于混凝土中替代天然山石。目前碎石粗骨料混凝土的研究较为充分,而破碎卵石混凝土

的研究相对较少。何锐等人^[1]利用数字图像处理技术,得出碎石、破碎卵石、卵石三者混凝土内部的挤嵌程度由紧密到分散。粗骨料在混凝土中起骨架支撑和传递应力的作用,其挤嵌程度对性能有很大的影响。所以,对破碎卵石混凝土的研究也十分必要。与此同时,在建筑业中建造和拆除时会产生大量的建筑垃圾,对于这些废弃物,

收稿日期:2019-07-26

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:半峥(1995-),男,河南安阳人,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,硕士生导师,主要从事混凝土结构耐久性理论与设计的研究。

无法采取掩埋与堆弃的处理方式。人们将废弃物破碎作为粗骨料,很大程度上解决了废弃建筑材料无法安置的问题。针对于再生粗骨料取代天然山石的研究已十分全面,并且适用于实际工程^[2-5]。而再生粗骨料取代破碎卵石研究相对较少,本文主要以再生粗骨料取代率 r 、龄期为变化因素,并基于超声声速研究再生粗骨料破碎卵石混凝土的抗压性能。

1 试验材料

水泥:太行山P·O 42.5级普通硅酸盐水泥;天然粗骨料:破碎的天然鹅卵石;再生粗骨料:河北工程大学结构试验室废弃的混凝土梁构件,经过人工破碎、清洗、筛分后得到的连续级配的再生粗骨料,筛分结果见表1;细骨料:天然河沙,细度模数1.6,含泥量1.1%;粉煤灰:I级粉煤灰;减水剂:高效聚羧酸液态减水剂,减水率25%;水:邯郸市自来水。粗骨料性能指标试验结果见表2所示。

2 配合比及试件制作

配合比设计符合文献[6]的要求,本文采用的再生粗骨料24 h吸水率为4.83%,考虑到再生粗骨料的吸水率较高^[7],根据其用量,需加入相应的附加用水,试验配合比如表3所示。

试验共设计4种再生粗骨料取代率(等质量取代, $r=0\%$ 、 $r=15\%$ 、 $r=30\%$ 、 $r=45\%$),测其在不同龄期(3、7、14、28、45 d)下的立方体抗压强度,共制作72个150 mm×150 mm×150 mm的立方体试件。试验使用J30型强制式搅拌机采用多步搅拌

工艺拌制再生混凝土^[8],搅拌前,对搅拌机进行裹浆处理,之后将砂、天然粗骨料、再生粗骨料及70%的水加入搅拌20 s,再将水泥与粉煤灰加入搅拌40 s,最后加入剩余的水和减水剂搅拌120 s出料。将拌好的混凝土分层倒入事先涂好脱模剂的模具中,逐层插捣,并用橡胶锤轻击模具外壁,待大量气泡冒出后,抹平浇筑面,24 h后拆模并进行室内自然养护。

表1 再生粗骨料的筛分结果

Tab.1 Screening results of recycled coarse aggregate

筛孔尺寸/mm	筛余质量/g	分计筛余率/%	累计筛余率/%
31.5	243	4.86	4.86
26.5	1 205	24.10	28.96
19.0	792	15.84	44.8
16.0	1 255	25.10	69.90
9.50	624	12.48	82.38
4.75	480	9.6	91.90
2.36	376	7.52	99.42

3 试验方法

3.1 抗压强度试验

依照《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081-2002)^[9]的相关要求进行试验,使用YES-2000压力试验机进行抗压强度测试。

3.2 混凝土超声声速的测试

使用瑞士TICO超声波测试仪对不同取代率、龄期均为28 d的单轴受压下的再生混凝土立方体试块进行实时超声波检测,试块共12块。测试方法采用对测法,在试块非压力面的两对侧面的对角线上共选取六对测点,如图1所示。测试时,使

表2 天然及再生粗骨料性能指标

Tab.2 Performance index of natural and recycled coarse aggregate

名称	粒径/mm	表观密度/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	堆积密度/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	含泥量/%	泥块含量/%	压碎值/%	24 h吸水率/%
破碎卵石	5~31.5	2 689	1 590	0.4	0.1	11.3	2.45
再生粗骨料	5~31.5	2 560	1 340	0.35	0.12	11.8	4.83

表3 再生混凝土配合比

Tab.3 Recycled concrete mix ratio

试件组编号	材料用量/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)							
	水泥	粉煤灰	砂	破碎卵石	再生粗骨料	水	减水剂	附加用水量
MZ0	356	35.6	623	1 157	0	165	4.60	0
MZ15	356	35.6	623	983	174	165	4.60	9
MZ30	356	35.6	623	810	347	165	4.60	17
MZ45	356	35.6	623	636	521	165	4.60	25

用耦合剂(凡士林)保证发射端探头 $n(n=1\sim 6)$ 、接收端探头 $n'(n'=1'\sim 6')$ 与试块充分耦合,通过公式(1)计算该压应力下的超声声速。

$$V_{r,\sigma_i} = \frac{\sum_{n=1}^6 V_n}{6} \quad (1)$$

试块单轴受压时,分级加载,在此定义一个变量 Y_i ,它是每级所受压应力与龄期 28 d 的抗压强度之比,见公式(2)。记录并计算 $Y_i(i=1\sim 5)$ 分别为 0、0.2、0.4、0.6、0.8 时,不同取代率、28 d 龄期的超声声速。

$$Y_i = \frac{\sigma_i}{f_{cu}} \quad (2)$$

式中: r —再生粗骨料取代率; i —加载等级; V_n —第 n 对测点的超声声速; V_{r,σ_i} —取代率为 r 、压应力为 σ_i 下的超声声速; σ_i —不同压力下的单轴压应力; f_{cu} —再生混凝土试块 28 d 抗压强度; Y_i —不同压力下的单轴压应力系数。

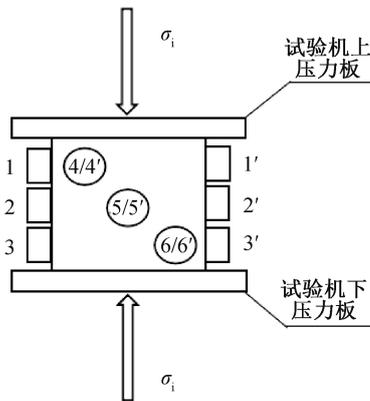


图 1 超声波检测示意图

Fig.1 Ultrasonic inspection schematic

4 试验结果与分析

4.1 再生粗骨料取代率及龄期对抗压强度的影响

立方体抗压强度 f_{cu} 取每组三个试件的算术平均值,如果存在最大值或最小值超过中间值的 15% 时,取中间值作为其强度值;如果最大值、最小值均大于中间值的 15% 时,需重新进行试验。不同取代率、龄期下的抗压强度试验结果见图 2。

从图 2 可以看出,随着取代率 r 的增加,再生混凝土抗压强度均有所提高,呈先上升后下降的增长趋势。当 $r=15\%$ 、 30% 、 45% 时,养护龄期为 3 d 的立方体抗压强度分别增长了 23.3%、36.9%、28.1%,其中当 $r=30\%$ 时,抗压强度最高,

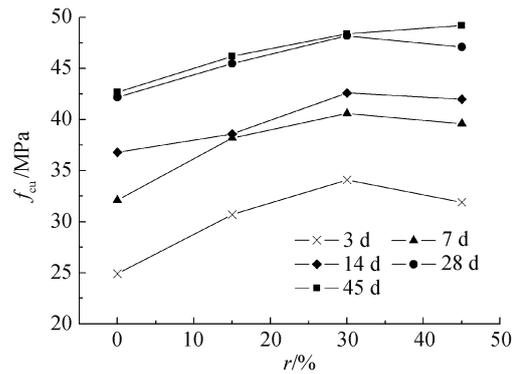


图 2 立方体抗压强度和取代率之间的关系

Fig.2 The relationship between cubic compressive strength and substitution rate

早期强度最优。当 r 未超过 30% 时,抗压强度在不断增加,主要原因是破碎废弃混凝土所制成的再生粗骨料的强度比破碎卵石要高,破碎后的再生粗骨料表面棱角也较多,又提高了骨料在混凝土中的嵌固程度。再生粗骨料中含有大量砂浆颗粒,其吸水率比较高,在搅拌时,砂以及水泥等细小颗粒在水的作用下形成薄膜,将部分水分封锁在粗骨料中,在养护阶段,粗骨料中的水与未水化的水泥颗粒作用,提高了试件整体的水化程度,对立方体抗压强度起有利作用^[10]。当 r 在 30% 后,其抗压强度开始降低, $r=45\%$ 与 $r=30\%$ 的抗压强度相比,3 d 降低了 6.5%,7 d 降低了 2.5%,14 d 降低了 1.4%,28 d 减低了 0.8%,说明这种有利的作用,随着 r 的增加在减小,这是由于再生骨料的强度不均衡,成分复杂所造成,但在 45 d 时上升了 1.7%,这是由于再生骨料仍剩有部分水分,为残余未水化的水泥颗粒提供了条件,使得强度略有增长。因此,对施工进度有要求的工程,不易掺入大量的再生粗骨料, $r=30\%$ 时的性能相对更为突出;而掺入大量再生粗骨料的混凝土虽在 $r=45\%$ 时的强度继续提高,但后期强度及其它基本性能仍值得我们进一步研究。

4.2 单轴受压下的超声声速分析

在同一坐标轴下做出龄期均为 28 d、不同粗骨料取代率下再生混凝土超声声速随单轴压应力系数的变化规律图,如图 3 所示。

根据图 3 中不同取代率下的曲线走势,很容易可以看出再生混凝土的超声声速与压应力系数有着密切的联系。当压应力系数在 0.2 以下时,随着压应力系数增加,超声声速反而也在增加,出现这

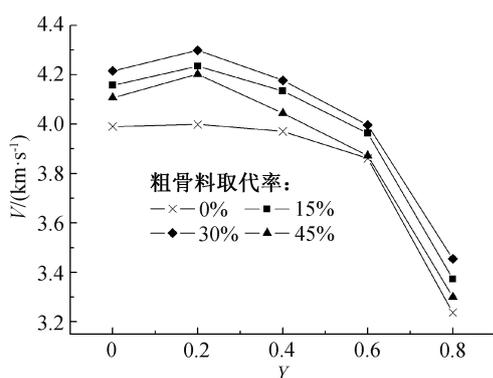


图3 超声声速与单轴压应力系数的关系

Fig.3 The Relationship between ultrasonic sound velocity and uniaxial compressive stress coefficient

种情况的原因为:首先,再生粗骨料及卵石在破碎的过程中产生细微裂缝,在无压力作用下,细微裂缝降低了超声波的传播速度,在开始加压后,这些细微裂缝逐步闭合,提高了超声波的传播速度;其次,在浇筑过程中产生了初始缺陷,在压力作用下,各材料发生弹性变形,减小的初始缺陷的影响,使得超声波的传播速度有所提高。当压应力系数大于0.2时,随着压应力系数的增加,超声声速在逐渐减低,这是由于随着压应力的增加,再生混凝土内部的裂缝数量不断增加并逐渐开展,降低了超声波的传播速度。在压应力系数从0增长到0.2的过程中,随着取代率的提高,其超声声速分别增长了0.009、0.077、0.084、0.095 km/s,再生粗骨料取代率越高,骨料中的细微裂缝数量就越多,单轴受压下,超声波的传播速度提高的越多。当压应力系数超过0.6后,各取代率下超声声速均呈快速下降趋势。在同一压应力系数下,随着取代率的提高,超声声速为先增加后降低趋势,在 $r=30\%$ 时,超声声速最大,承压性能最好。

5 结论

1)随着再生粗骨料取代率的增加,再生粗骨料破碎卵石混凝土的抗压强度均有所提高,呈先

增大后减小的增长趋势。 $r=30\%$ 时,增幅最大,为36.9%, $r>30\%$ 时,增幅开始减小。

2)不同龄期下的立方体抗压强度对 r 的敏感程度不同。当龄期为3d时,随着 r 的增加,抗压强度的增长趋势尤为明显, r 对于早期强度影响较大;龄期28d后,这种增长趋势开始减小。

3)随着压应力系数的增加,各取代率下的超声声速呈先增加后减小趋势,在压应力系数为0.2时取得最大值;在同一压应力系数下,随着取代率的提高,超声声速先增加后降低,并在 $r=30\%$ 时取得最大值。

参考文献:

- [1]何锐,王帅,李丹,等.水泥混凝土粗集料类型对其空间分布特性的影响[J].材料科学与工程学报,2015,33(4):576-581.
- [2]乔宏霞,关利娟,曹辉,等.再生骨料混凝土研究现状及进展[J].混凝土,2017(7):77-82.
- [3]ZHANG Y, LUO W, WANG J J, et al. A Review of Life Cycle Assessment of Recycled Aggregate Concrete [J]. Construction and Building Materials, 2019:209.
- [4]CHEN X D, SHI D D, SHEN N, et al. Experimental Study and Analytical Modeling on Fatigue Properties of Pervious Concrete Made with Natural and Recycled Aggregates[J].International Journal of Concrete Structures and Materials, 2019, 13(1):1-13.
- [5]安新正,牛薇,杨莹莹,等.废砖骨料对再生混凝土抗压与收缩性能的影响[J].河北工程大学学报:自然科学版,2017,34(3):56-60.
- [6]JGJ 55-2011,普通混凝土配合比设计规程[S].
- [7]汪泽利.建筑用破碎卵石与破碎山石性能区别验证[J].安徽建筑,2014,21(2):83-84.
- [8]付向红,阎利.多步搅拌工艺对高性能混凝土强度和抗渗性的影响[J].混凝土,2013(9):158-160.
- [9]GB/T 50081-2002,普通混凝土力学性能试验方法标准[S].
- [10]杨青.再生骨料的吸水率对再生混凝土物理力学性能的影响研究[D].浙江大学,2011.

(责任编辑 王利君)