

再生粗骨料粒径对再生混凝土早期开裂影响研究

安新正, 郭恒, 李莎莎, 张结太

(河北工程大学 土木工程学院, 河北 邯郸 056038)

摘要:采用平板约束试验方法,对5~15 mm、15~25 mm、25~31.5 mm 三种级别再生粗骨料粒径的再生混凝土(RC)和粉煤灰再生混凝土(FRC)分别进行早期抗裂性能(龄期:0~24 h)试验研究。研究表明:在三种粗骨料粒径级别范围内,25~31.5 mm 级别再生混凝土试件的早期开裂损伤最小;而对粉煤灰掺入量为15%的粉煤灰再生混凝土来说,粒径级别为15~25 mm 的早期开裂损伤最小,表明粉煤灰掺入量与粗骨料粒径之间存在一个优化掺入量,在这个优化掺入量情况下,粉煤灰再生混凝土的早期抗裂性能能够达到比较理想的效果。

关键词:再生粗骨料粒径;平板法;再生混凝土;粉煤灰;早期裂缝

中图分类号:TU528

文献标识码:A

Effects of recycled coarse aggregate size on early anti-crack performance of recycled aggregate concrete

AN Xin-zheng, GUO Heng, LI Sha-sha, ZHANG Jie-tai

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

Abstract: Early age cracking has been an ever-present problem during the application of recycling coarse aggregate concrete. Influences of recycling coarse aggregate size (5~15mm, 15~25mm and 25~31.5mm) on early age (age: 0~24h) cracking tendency of recycling coarse aggregate concrete (RC) and recycling coarse aggregate concrete with fly ash (FRC) were studied based on slab test method. The results of the early age cracking indexes and cracking processes indicate that the large aggregate size (25~31.5mm) corresponds to the decrease of cracking damage for recycling coarse aggregate concrete targets, the slab test samples with 15~25mm of recycling coarse aggregate size has the optimum efficiency in terms of anti-cracking ability when comparing to the other two kinds of FRC samples for RC samples with 15% fly ash. The experimental result in this paper is very beneficial to the optimization and design of recycling coarse aggregate concrete on anti-cracking mix proportions.

Key words: recycling coarse aggregate size; slab test method; fly ash; recycled concrete; early age cracking; calculation model

再生粗骨料作为绿色混凝土材料目前在机场跑道工程、农田水利工程、住宅工程等都有实际应用,在土木工程中有着较为广泛的应用前景。微裂纹、微孔隙是再生混凝土工程浇筑成型早期较为常见的损伤病害^[1-4],是诱发混凝土工程耐久性性能退化的重要因素^[5-7]。由再生粗骨料作为粗骨料配制而成的混凝土,其早期的开裂损伤与其后期的耐久性性能密切相关^[8],因此,研究与提高再

生混凝土材料的早期抗裂性能是当前业内研究者的重大课题。影响再生混凝土材料早期开裂损伤的因素比较多,一些研究是针对矿物掺和料与再生混凝土材料早期收缩变形性能的相关性^[9-10];另一些研究则是针对不同水灰比下再生混凝土材料抗裂性能^[3-4],这些研究为再生混凝土材料的抗裂优化设计提供了一些有益的参考。然而,目前国内外的研究中针对再生粗骨料粒径对再生混

收稿日期:2013-10-15

基金项目:河北省自然科学基金资助项目(E2010001034)

特约专稿

作者简介:安新正(1963-),男,河南镇平人,博士,副教授,研究方向为结构耐久性理论与实验。

凝土材料早期抗裂性能影响的相关研究报道较少。用再生粗骨料全部替换天然碎石粗骨料生产的再生混凝土中,再生粗骨料约占总用料的60%,所以研究再生粗骨料的颗粒粒径对再生混凝土早期抗裂性能的影响尤为重要。

本文以三种级别再生粗骨料粒径配制的再生混凝土和掺粉煤灰再生混凝土的早期平板约束试件为研究对象,针对再生粗骨料粒径对再生混凝土早期抗裂性能影响进行相关试验研究,进而分析再生粗骨料粒径对再生混凝土早期开裂性能的影响。

1 试验设计

1.1 试验材料

(1)再生粗骨料:利用邯郸市建筑拆迁所产生的废弃混凝土(C30)经分选、破碎等加工工艺而制成的再生粗骨料,连续颗粒级配,粗骨料粒径分为5~15 mm、15~25 mm、25~31.5 mm三种级别^[11],基本性能参数详见表1所示。

(2)水泥:新峰水泥厂生产的42.5R普通硅酸

盐水泥,基本性能指标见表2所示。

(3)细骨料:天然河砂,含泥量1.3%,吸水率1.63%,细度模数2.6,表观密度为2 510 kg/m³,堆积密度为1 506 kg/m³。

(4)减水剂:苏博特公司产JM-PCA混凝土超塑化剂。

(5)粉煤灰:邯郸电厂生产的I级粉煤灰(详见表2)。

(6)拌和水:饮用自来水。

1.2 再生混凝土配合比

为了研究再生粗骨料粒径对再生混凝土材料早期抗裂性能的影响规律,针对再生混凝土(RC)和粉煤灰再生混凝土(FRC)分别设计了5~15 mm、15~25 mm、25~31.5 mm三种级别再生粗骨料粒径混凝土配合比(见表3)。其中,RC-15表示再生粗骨料粒径为5~15 mm的再生混凝土,FRC-15表示再生粗骨料粒径为5~15 mm的粉煤灰再生混凝土,其它依此类推。

表1 再生粗骨料基本性能参数

Tab.1 Table of rolling parameters

粗骨料粒径 /mm	堆积密度 /kg·m ⁻³	表观密度 /kg·m ⁻³	30 min 吸水率/%	含泥量/%	针片状颗粒 含量/%	压碎指标/%
5~15	1 250	2 476	10.26	2.51	5.8	13.8
15~25	1 265	2 490	5.37	2.40	6.3	12.4
25~31.5	1 281	2 501	3.01	2.64	7.2	11.3

表2 水泥、粉煤灰基本性能参数

Tab.2 Performance parameters of cement and fly ash

水泥				粉煤灰							
初凝时间 /min	终凝时间 /min	表稠用水量 /%	抗折强度 /Mpa		抗压强度 /Mpa		细度	需水比 /%	烧失量 /%	含水率 /%	三氧化硫 含量/%
			3 d	28 d	3 d	28 d					
125	250	27.1	5.0	9.5	30.2	48.8	9.2	91	4.0	0.7	2.0

表3 再生混凝土配合比

Tab.3 Mix ratio of RC

混凝土类型	粗骨料粒径 /mm	水胶比 (W/(C+F))	各材料用量/kg					
			水泥	水	砂	石	粉煤灰	减水剂
RC-15	5~15	0.46	352.5	185	718	1 085	0	4.5
FRC-15		0.46	300	185	718	1 085	52.5	4.5
RC-25	5~25	0.46	352.5	185	720	1 083	0	4.5
FRC-25		0.46	300	185	720	1 083	52.5	4.5
RC-31.5	25~31.5	0.46	352.5	185	716	1 085	0	4.5
FRC-31.5		0.46	300	185	716	1 085	52.5	4.5

1.3 试验设备与方法

采用平板约束试件进行再生混凝土早期(24 h)开裂损伤的试验研究。依据 CCES01 - 2004《混凝土结构耐久性设计与施工指南》要求制作的平板约束试件钢制试模如图 1 所示。钢制试模边框内设有两排共 14 个 $\Phi 10 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 的双排螺纹螺栓伸向锚具内侧以对再生混凝土的收缩变形进行约束。按预定的配合比配制再生混凝土,每组试件制作 3 个。平板约束试件浇筑后立即用塑料薄膜进行覆盖密封,并保持试件所处的环境温度为 $(30 \pm 1) \text{ }^\circ\text{C}$,相对湿度为 $(60 \pm 1.2) \%$ [12]。

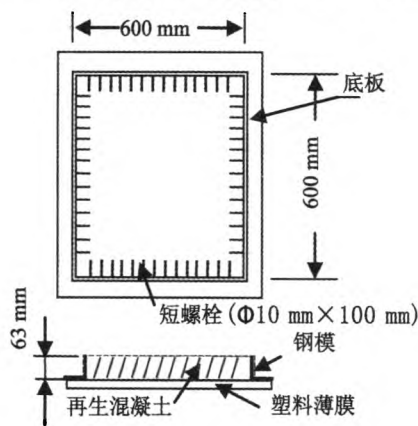


图 1 平板约束试验钢制试模

Fig.1 Steel test mould of flat

试验方法:(1)待再生混凝土在平板约束试模中浇筑成型 2 h 后将塑料薄膜覆盖层去除,然后用鼓风机吹平板开裂试件混凝土表面,并保持试件中心区域上方 2 ~ 3 cm 处的风速为 4 m/s;(2)在观测平板约束试件初始裂缝时段内,每隔 5 min 观测一次,并记录试件的初裂时间;(3)分别在平板约束试件被施加风荷载 3、6、9、12、18 和 24 h 时,记录相对应时段各平板约束试件的裂缝数量,同

时利用裂缝显微镜测仪、平板尺分别对平板约束试件表面每条裂缝的宽度、长度进行检测并记录 [13]。

平板约束试件表面每根裂缝的平均开裂面积可依据各类再生混凝土平板开裂试件的裂缝长度、裂缝宽度的实测值按式(1)进行统计计算 [14]:

$$a_i = \frac{1}{2n} \cdot \sum_{i=1}^n L_i \cdot W_i \quad (1)$$

式中: a_i 为再生混凝土浇筑入模 t 时刻时平板约束试件表面每根裂缝的平均开裂面积(mm^2); L_i 为平板约束试件表面第 i 条裂缝的实测长度值(mm); W_i 为平板约束试件表面第 i 条裂缝的实测宽度值(mm); n 为 t 时刻平板约束试件表面裂缝总条数。

再生混凝土的早期开裂损伤程度按式(2)进行统计计算 [14]:

$$c_i = a_i \cdot \frac{n}{A} \quad (2)$$

式中: c_i 为再生混凝土浇筑入模 t 时刻时平板约束试件表面单位面积的裂缝总面积(mm^2/m^2); A 为平板约束试件测试面的总表面积(0.36 m^2)。

2 试验结果与分析

2.1 早期开裂结果与分析

用于研究再生粗骨料粒径对再生混凝土早期抗裂性能影响的平板约束试件共有 18 个,其中,再生混凝土试件 9 个。三种再生粗骨料粒径下再生混凝土与粉煤灰再生混凝土平板约束试件的早期开裂试验结果见表 4。在表 4 中, n 代表每组中三个平板约束试件的平均总裂缝条数, W_{\max} 代表该组试件裂缝的最大宽度。

表 4 各类再生混凝土平板约束试件早期开裂试验结果

Tab.4 Test results of slab constraint specimens on early age cracking of RC

试件类别	初裂时间 (h)	开裂指标											
		3 h		6 h		9 h		12 h		18 h		24 h	
		n	W_{\max} /mm	n	W_{\max} /mm	n	W_{\max} /mm	n	W_{\max} /mm	n	W_{\max} /mm	n	W_{\max} /mm
RC - 15	0.75	17	0.10	44	0.16	75	0.30	96	0.40	112	0.44	122	0.48
FRC - 15	1.00	13	0.12	32	0.16	60	0.22	78	0.28	93	0.32	104	0.36
RC - 25	1.05	13	0.06	35	0.16	59	0.32	70	0.36	82	0.40	93	0.40
FRC - 25	2.15	10	0.04	26	0.08	38	0.12	46	0.16	52	0.18	56	0.18
RC - 31.5	1.50	14	0.04	37	0.10	57	0.16	65	0.20	78	0.24	84	0.28
FRC - 31.5	2.00	14	0.06	31	0.08	46	0.12	57	0.16	62	0.22	67	0.24

由表4可知,三种再生粗骨料粒径下,再生混凝土的初裂时间基本上是随再生粗骨料粒径的增大而增加,早期开裂的裂缝数量及最大裂缝宽度均表现为在相同早期时段内随着再生粗骨料粒径的增大而减小。对粉煤灰再生混凝土来说,三种再生粗骨料粒径下粉煤灰的掺入使得再生混凝土的初裂时间都有一定程度的推迟,同时早期各时段内的最大裂缝宽度和裂缝数量比不掺粉煤灰的再生混凝土的都小。由此可见粉煤灰的掺入对抑制再生混凝土的早期开裂是有利的。

2.2 不同再生粗骨料粒径再生混凝土的早期抗裂性能

图2与图3分别给出了再生混凝土与粉煤灰再生混凝土浇筑24 h后,不同再生粗骨料粒径再生混凝土平板约束试件的开裂损伤柱状图。

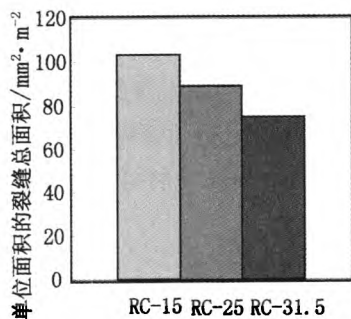


图2 浇筑24 h再生混凝土开裂损伤柱状图
Fig.2 Columnar section cracking damage of RC at 24 h

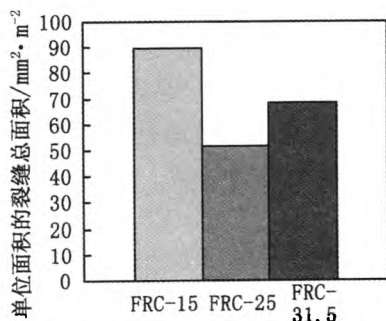


图3 浇筑24 h粉煤灰再生混凝土开裂损伤柱状图
Fig.3 Columnar section cracking damage of FRC at 24 h

由图2和图3可以发现:对于再生混凝土,粗骨料粒径级别为25~31.5 mm时平板约束试件(RC-31.5)的早期开裂损伤最小。对于粉煤灰再生混凝土,粗骨料粒径级别为15~25 mm时平板约束试件(FRC-25)的早期开裂损伤最小。这说明粉煤灰的掺入使得再生粗骨料粒径对混凝土早期开裂损伤的影响规律发生了变化。可以说对

于粉煤灰掺入量为15%,再生粗骨料粒径级别为15~25 mm的粉煤灰再生混凝土,其早期抗裂性能最好。

图4与图5分别描述了再生混凝土与粉煤灰再生混凝土平板约束试件在浇筑3、6、9、12、18和24 h时,试件的早期开裂损伤随成型时间的演化过程。

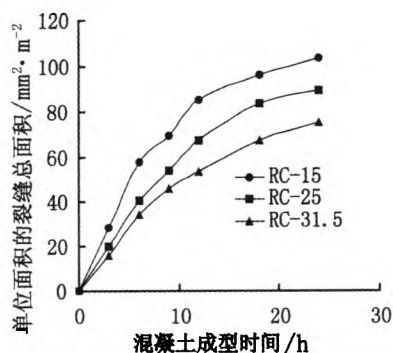


图4 再生粗骨料粒径对再生混凝土早期开裂的影响
Fig.4 Effect of recycling coarse aggregate size on early age cracking of RC

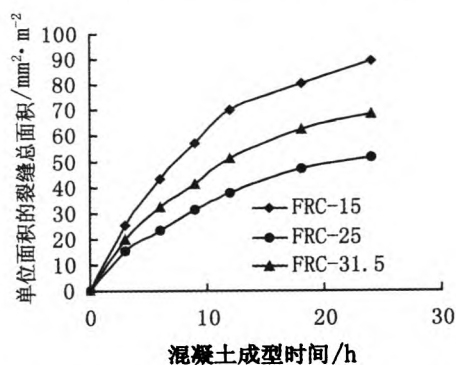


图5 再生粗骨料粒径对粉煤灰再生混凝土早期开裂的影响
Fig.5 Effect of recycling coarse aggregate size on early age cracking of FRC

由图4与图5可以看出,在平板约束试件浇筑成型后的18 h内,三种再生粗骨料粒径的再生混凝土和粉煤灰再生混凝土的早期开裂损伤均有较快的发展,且在浇筑成型18 h之后早期开裂损伤逐渐趋于平缓。

2.3 机理分析

观察三种级别再生粗骨料粒径再生混凝土在浇筑成型后24 h内其表面的变化过程,可以发现过渡区都有明显的微裂纹产生,实测三种级别再生粗骨料粒径再生混凝土的早期开裂损伤值表明RC-15的早期开裂损伤值明显大于RC-31.5的开裂损伤值。这主要是因为混凝土中的水泥胶

体和再生粗骨料的模量存在一定的差异。随着再生粗骨料粒径的增大,裂缝变的更加曲折,阻碍再生混凝土裂缝的扩展作用得到增强,从而促使再生混凝土过渡区骨料与水泥胶体界面的微裂缝也随之减小。15%粉煤灰掺入量的粉煤灰再生混凝土的抗裂性能优于相同再生粗骨料粒径下的再生混凝土,这主要是由于:(1)掺入粉煤灰后再生混凝土的早期强度增长变缓、弹性模量减小;(2)粉煤灰的微集料效应改善了再生混凝土的微孔结构,以及粉煤灰减小了再生粗骨料与水润湿性^[15],从而降低了水分的扩散与蒸发速度。

3 结论

再生粗骨料粒径对再生混凝土的早期抗裂性能有明显影响,主要表现为:对于再生混凝土,在选择三种粒径范畴内,25~31.5 mm 粒径级配下其早期抗裂性能相对其他两种粒径的效果要好;而对于粉煤灰含量为15%的粉煤灰再生混凝土,粒径为15~25 mm 时早期抗裂性能最佳,这表明粉煤灰含量与再生骨料粒径之间存在一个优化值,使再生混凝土的早期抗裂性能达到最佳。这表明在掺入粉煤灰与再生骨料粒径之间进行合理调节是提高再生混凝土材料早期抗裂能力的一个十分有效途径。

参考文献:

[1] 王武祥,刘立,尚礼忠,等. 再生混凝土集料的研究[J]. 混凝土与水泥制品,2001(4):9-12.
 [2] KATZ A. Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete [J]. Cement and Concrete Research, 2003, 33(5):703-711.
 [3] EVANUELISTA L, BRITO J. Durability performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates [J]. Cement and Concrete Composites, 2010, 32(1):9

-14.
 [4] COURARD L, MICHEL F, DELHEZ P. Use of concrete road recycled aggregates for roller compacted concrete [J]. Construction and Building Materials, 2010, 24(3):1-6.
 [5] 巴恒静,高小建. 约束条件下高性能混凝土的早期开裂[J]. 混凝土,2000(5):3-6.
 [6] 张运良,马震岳,王洋,等. 混凝土开裂对巨型水电站主厂房动力特性的影响[J]. 水利学报,2008,39(8):982-986.
 [7] PAILLERE A, BUIL M, SERRANO J. Effect of fiber addition on autogenous shrinkage of silica fume concrete [J]. ACI Material Journal, 1989, 86(2):139-144.
 [8] 安新正,王小学,姜新佩. 单轴受压下再生混凝土的损伤特性研究[J]. 河北工程大学学报:自然科学版,2012,29(4):1-4.
 [9] 花丽君,吴相豪,袁潘. 掺粉煤灰和石灰粉影响再生混凝土自收缩变形的试验研究[J]. 粉煤灰,2013(1):37-39.
 [10] 张健,杜辉,张财,等. 矿物掺和料和再生骨料对混凝土的收缩性能的影响[J]. 青岛理工大学学报,2009,30(4):145-149.
 [11] 吴国祥,王奔. 再生骨料混凝土的基本性能[J]. 黑龙江科技学院学报,2006,16(2):120-123.
 [12] 董淑慧,冯德成,江守恒,等. 早期受冻温度对负温混凝土微观结构与强度的影响[J]. 黑龙江科技学院学报,2013,23(1):66-69.
 [13] 梁明进. 钢筋混凝土结构裂缝深度无损检测技术的现状及发展[J]. 四川理工学院学报:自然科学版,2012,25(4):245-248.
 [14] CCES01-2004. 混凝土结构耐久性设计与施工指南[S].
 [15] 郭远臣,王雪,何运祥. 再生骨料混凝土吸湿性能及对干燥收缩的影响[J]. 建筑材料学报,2012,15(3):386-390.

(责任编辑 王利君)