

文章编号:1673-9469(2012)04-0001-04

单轴受压下再生混凝土的损伤特性研究

安新正¹,王小学²,姜新佩¹,张结太¹

(1. 河北工程大学 土木工程学院,河北 邯郸 056038;2. 河北工程大学 附属中学,河北 邯郸 056038)

摘要:利用超声检测技术,以超声波波速的衰减来度量损伤,对单轴受压条件下不同再生粗骨料取代率再生混凝土的损伤进行实时超声试验。通过试验研究了不同再生粗骨料取代率下再生混凝土损伤随单轴压应力的变化规律。结果表明再生粗骨料取代率对单轴压应力下混凝土损伤影响显著,且不应忽视混凝土在极限压应力以前的损伤。在考虑单轴压应力、再生混凝土初始强度影响因素下,建立了再生混凝土损伤关系模型。

关键词:再生混凝土;再生粗骨料取代率;超声检测;损伤度;关系模型

中图分类号:TC333.17

文献标识码:A

Experimental study on damage properties of recycled concrete under uniaxial compression

AN Xin-zheng¹, WANG Xiao-xue², JIANG Xin-pei¹, ZHANG Jie-tai¹

(1. College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China;

2. The High School Attached to Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

Abstract: In order to investigate the effect of uniaxial compressive stress on the damage of recycled concrete, real-time ultrasound tests were carried on recycled concrete with different recycled aggregate replacement ratio by using ultrasonic detecting technology. The rule of axial compressive damage altered with uniaxial compressive stress was studied by the uniaxial compression tests and real-time ultrasound tests of recycled concrete with different recycled aggregate replacement ratio. The results show that recycled aggregate replacement ratio has remarkable effect on the damage of recycled concrete, and the axial compressive damage of recycled concrete can not be ignored before load get at ultimate compressive stress. Based on the test results, a damage relational model of recycled concrete is established under considering the effect of uniaxial compressive stress and the initial compressive strength of recycled concrete at different recycled aggregate replacement ratio.

Key words: recycled concrete; recycled aggregate replacement ratio; ultrasonic detection; damage; relational model

再生混凝土作为绿色混凝土材料在土木工程建设中有着广泛的应用前景^[1]。再生混凝土工程会由于再生粗骨料、干缩、散热不均等原因而导致其内部结构中具有一定数量的初始微裂纹和微孔隙^[2]。在压应力的作用下,随着服役时间的延长这些初始的微裂纹和微孔隙将会不断的变化,表现为随着压应力的增大,微裂纹和微孔隙将

发育扩展,并最终在再生混凝土内部形成不可逆转的累积损伤,从而使得再生混凝土材料产生能量耗散和强度退化^[3],导致服役再生混凝土结构承载可靠性、耐久性的降低。

为了促进再生混凝土工程的科学化设计与利用,国内外学者针对侵蚀环境作用下的再生混凝土损伤进行了系列试验研究,并取得了一些研究

收稿日期:2012-07-02

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,从事混凝土结构耐久性方面的研究。

成果^[4-6],但针对应力作用下再生混凝土损伤规律的试验研究却很少。超声波检测属无损检测且检测成本较小,利用该技术可方便实现对受荷再生混凝土结构损伤的连续检测^[7-11]。因此,利用超声波检测技术来研究混凝土材料的受压损伤规律是既经济又合理的方法。本文进行了单轴受压状态下不同再生粗骨料取代率混凝土试件的超声波实时检测试验,分析单轴受压状态下基于超声波波速变化的混凝土损伤发展规律,结合超声波检测试验结果回归出再生混凝土损伤与再生混凝土初始(90 d)抗压强度、单轴受压应力的函数关系,为再生混凝土结构的科学化设计提供参考依据。

1 试验过程

1.1 试验仪器设备

本文在微机控制混凝土压力试验机(YAW-2000)上对再生混凝土试件进行设定受压条件下的加载试验,通过非金属超声波测试仪(TICO)对不同单轴受压作用下再生混凝土试件的超声波波速进行实时数据采集与存储。

1.2 试件的制备

(1) 基准混凝土试件

基准混凝土试件,即再生粗骨料取代率 $r = 0\%$ 的混凝土试件。基准混凝土试件的制备:拌和用水采用自来水;水泥采用邯郸产太行山普通硅酸盐水泥(P. O. 42.5R);砂采用沙河产优质河砂,细度模数为 2.6;粗骨料采用天然石灰石碎石,表观密度为 2.76,压碎指标 3.81%,粒径 5~20 mm,连续颗粒级配。基准混凝土强度等级采用 C30,其配合比($\text{Kg} \cdot \text{m}^{-3}$)为:水/水泥/粉煤灰/矿渣粉/砂/石子 = 0.629/1.000/0.025/0.025/2.530/3.793。粉煤灰为 I 级粉煤灰,矿渣粉为 S95 级。混凝土采用机械强制拌和方式拌和 2 min 后注入 150 mm × 150 mm × 150 mm 钢试模之中,然后将钢试模放置于标准震动台上进行震捣成型,试件数量为 9 个。将完成震捣成型的钢试模移至标准养护室内静止养护 1 d 后拆模,并对试件进行编号,待室内标准养护 28 d 后移至室外进行自然养护。

(2) 再生混凝土试件

再生混凝土试件,即采用只将基准混凝土中的天然石灰石碎石粗骨料的 30%、60% 和 100%

部分用再生粗骨料替代,而其它条件不变情况下生产的含有再生粗骨料的混凝土试件。再生粗骨料采用实验室自制的且满足文献[12]要求的再生粗骨料。再生粗骨料的表观密度为 2.45,压碎指标 12.85%,粒径 5~20 mm,连续颗粒级配。每组再生混凝土试件的制备数量为 9 个。首先将再生粗骨料与天然粗骨料混合,然后按照制作及养护基准混凝土试件的方法制备及养护再生混凝土试件。

1.3 试验原理及加载测试方案

试验时将试件安装在微机控制混凝土压力试验机的上、下压板之间并进行几何对中,并采用凡士林耦合剂将超声波发射头 T1(T2)与接受头 R1(R2)分别耦合在与试件压应力方向垂直的两对相互垂直的自由侧面 A 面与 A1 面以及 B 面与 B1 面的中心位置上,为了提高测试的准确度,在此利用弹性加紧钢板对发射头与接受头进行加紧固定,以增加超声波发射头与接受头安装位置耦合的准确性与可靠性。测试系统示意图详见图 1 所示。

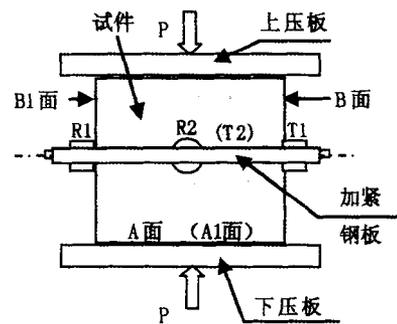


图1 测试方法示意图

Fig.1 Sketch of test method

在此,定义压应力系数 Y_σ 为试验试件承受的单轴压应力与再生混凝土 90 d 抗压强度之比,即:

$$Y_\sigma = \frac{P_\sigma}{f_{cu,0}} \quad (1)$$

本文单轴受压试验设计的压应力系数 Y_σ 取 0.25、0.35、0.45、0.55、0.65、0.75 和 0.85 七组,加载速率为 0.50 Mpa/s。单轴受压试验为分级并按照设定的压应力由小到大对试件依次施加,当施加的压应力达到某一设定压应力时,应将此设定压应力维持 1~1.5 min,并在此时间内对试件的两对自由侧面的 A 面与 A1 面以及 B 面与 B1 面进行混凝土超声波的“对测法”试验,待完成超声波波速试验之后即可继续施加下一级荷载,直到完成全部的设定试验为止。

2 试验结果与分析

基准混凝土及再生粗骨料取代率 r 分别为 30%、60% 和 100%，再生混凝土的 90 d 抗压强度 ($f_{cu,0}$) 实测值分别为 33.7 Mpa、30.2 Mpa、28.5 Mpa 和 25.6 Mpa。基准混凝土与再生混凝土试件在 90 d 且无受压应力作用时的超声波波速平均值 V_{co} ，以及施加单向压应力作用后的超声波波速平均值 $V_{c\sigma}$ 的实时测试结果列于表 1。

为了研究单轴受压情况下混凝土的损伤变化规律，在此以混凝土单轴受压情况下的超声波波速相对于 90 d 且无受压时的超声波波速的衰减程度来度量受压后混凝土的损伤程度，设 D_{σ} 为单轴受压应力作用下基于超声波波速衰减的混凝土损伤度，则可有^[13]；

$$D_{\sigma} = 1 - \frac{V_{c\sigma}^2}{V_{co}^2} \quad (2)$$

基于不同单轴压应力条件下各组试件的超声波波速测试试验结果，依据(2)式的计算方法，在表 1 中给出了不同单轴压应力作用下基准混凝土及再生混凝土损伤度 D_{σ} 的计算值。

2.1 不同单轴受压应力下再生混凝土损伤演化分析

依据表 1 数据，结合单轴压应力作用下试件的宏观试验现象不难看出，当压应力系数 $Y_{\sigma} \leq 0.35$ 时，混凝土损伤度 D_{σ} 随压应力系数 Y_{σ} 的增大而减小，这主要是由于混凝土内部部分微裂纹等

缺陷被压密所致。在 $Y_{\sigma} = 0.75$ 之后，混凝土损伤度的增长幅度较大。

基准混凝土试件在累积受压荷载作用下，表现为：当压应力系数 $Y_{\sigma} \leq 0.75$ 时，试件在外观上基本上处于完好状态；当 $0.75 < Y_{\sigma} \leq 0.85$ 时，试件在外观上出现 1 条或几条微细裂缝；当 $0.85 < Y_{\sigma}$ 时，试件外观上的微细裂缝明显增多，范围也继续扩大；再生粗骨料取代率 $r = 100\%$ 的再生混凝土试件在累积受压荷载作用下，表现为：当压应力系数 $Y_{\sigma} \leq 0.65$ 时，试件在外观上基本上处于完好状态；当 $0.65 < Y_{\sigma} \leq 0.75$ 时，试件在外观上出现有限的几条微细裂缝；当 $0.75 < Y_{\sigma} \leq 0.85$ 时，试件外观上的微细裂缝明显增多，范围也继续扩大；当 $0.85 < Y_{\sigma}$ 时，试件外观上的微细裂缝继续扩大，甚至出现贯通裂纹。

基于不同压应力系数 Y_{σ} 下不同再生粗骨料取代率混凝土试件的损伤度计算结果，在图 2 中绘出了不同再生粗骨料取代率下单轴受压混凝土的损伤度 D_{σ} 随压应力系数 Y_{σ} 的变化规律关系曲线。

比较各组试件的试验与计算结果(见图 2)可以发现，混凝土在相同累积受压荷载作用下的外观损伤将随着再生粗骨料取代率的增加而增大，且不同再生粗骨料取代率混凝土的损伤度 D_{σ} 均表现为随压应力系数 Y_{σ} 的增加呈非线性增大趋势。当 $0.75 \leq Y_{\sigma}$ 时，各组试件的损伤度 D_{σ} 均表现为随压应力系数 Y_{σ} 的增加而加速非线性增大。这也表明再生混凝土的单轴受压损伤过程是一个不可逆的非线性损伤累积过程。可见再生混凝土

表 1 单轴受压下基准混凝土与再生混凝土损伤度

Tab. 1 The damage of normal concrete and RAC unedr uniaxial pressure stress

$f_{cu,0}/\text{Mpa}$ ($V_{c0}/\text{km/s}$)	Y_{σ} /MPa	$V_{c\sigma}$ / km/s	D_{σ}	$f_{cu,0}/\text{Mpa}$ ($V_{c0}/\text{km/s}$)	Y_{σ} /MPa	$V_{c\sigma}/\text{km/s}$	D_{σ}
33.7 (4.291)	0.25	4.136	0.071	28.5 (3.904)	0.25	3.765	0.070
	0.35	4.149	0.065		0.35	3.760	0.072
	0.45	4.128	0.074		0.45	3.701	0.101
	0.55	4.052	0.108		0.55	3.662	0.120
	0.65	3.854	0.193		0.65	3.441	0.223
	0.75	3.799	0.216		0.75	3.273	0.297
	0.85	3.260	0.410		0.85	2.908	0.445
30.2 (4.057)	0.25	3.885	0.083	25.6 (3.626)	0.25	3.478	0.080
	0.35	3.904	0.074		0.35	3.500	0.068
	0.45	3.868	0.091		0.45	3.390	0.126
	0.55	3.797	0.124		0.55	3.364	0.139
	0.65	3.610	0.208		0.65	3.136	0.252
	0.75	3.421	0.289		0.75	2.889	0.365
	0.85	3.057	0.432		0.85	2.467	0.537

试件在受荷达到单轴极限压应力之前就已存在着受压损伤,且这一损伤在受荷接近单轴极限压应力时增长较大,不容忽视。

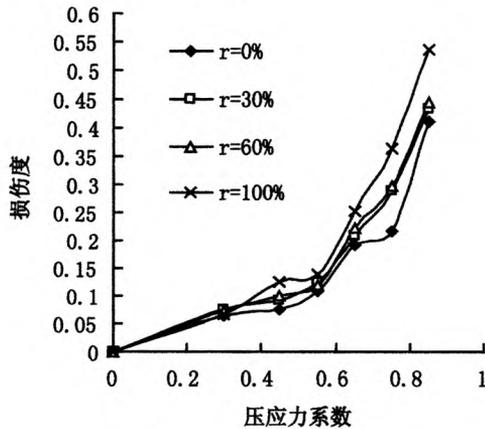


图2 损伤度随压应力系数的变化规律

Fig.2 The rule of damage altered with pressure stress coefficient

2.2 再生混凝土损伤关系模型的建立

考虑到单轴压应力、混凝土 90 d 抗压强度是影响混凝土损伤度的主要因素,可以建立如下形式的关系模型:

$$D_{\sigma} = \left(\alpha_0 + \frac{\alpha_1}{f_{cu,0}} \right) e^{\alpha_2 \gamma_{\sigma}} \quad (3)$$

式中, α_0 、 α_1 、 α_2 为试验常数。

基于单轴压应力下各组试件的超声波试验数据及损伤度的计算值,利用 MATLAB 中的非线性拟合函数对式(3)进行非线性回归分析,可得到试验常数 $\alpha_0 = -0.0033$, $\alpha_1 = 0.5623$, $\alpha_2 = 3.9338$ 。于是式(3)可改写为:

$$D_{\sigma} = \left(\frac{0.5623}{f_{cu,0}} - 0.0033 \right) e^{3.9338 \gamma_{\sigma}} \quad (4)$$

在再生混凝土工程的实际设计中,通过式(4)建立起来的再生混凝土损伤度与再生混凝土初始强度、压应力系数之间的函数关系,就可以较方便地获取相应的损伤程度,并可据此指导再生混凝土构件的相关设计。

3 结论

本文基于单轴受压下混凝土的超声波实时检测试验结果,以超声波波速的衰减来度量混凝土的受压损伤,对单轴受压下不同再生粗骨料取代率混凝土的损伤度变化规律进行了分析研究。得到的结论如下:

1) 在单轴受压应力达到 0.85 倍极限应力时,

基准混凝土的损伤度最小 ($D_{\sigma} = 0.41$); $r = 100\%$ 再生混凝土的损伤度最大 ($D_{\sigma} = 0.537$),且试件的宏观损伤比较明显,所以极限压应力以前的损伤是不应该被忽视的。

2) 与基准混凝土相比,再生粗骨料的掺入降低了混凝土的抗损伤能力。

3) 基于单轴压缩条件下不同再生粗骨料取代率混凝土的试验与计算结果,建立了考虑单轴压应力、再生混凝土初始抗压强度因素影响的混凝土损伤关系模型,该损伤关系模型可为再生混凝土构件科学化设计提供理论指导。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 肖开涛. 再生混凝土的性能及改进研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2004.
- [3] 肖建庄,刘琼,李文贵,等. 再生混凝土细观结构和破坏机理研究[J]. 青岛理工大学学报, 2009, 30(4): 24-30.
- [4] 安新正,易成,姜新佩,等. 海水环境下再生混凝土的腐蚀研究[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2011, 28(1): 5-9.
- [5] RYU J S. An experimental study on the effect of recycled aggregate on concrete properties [J]. Magazine of Concrete Research, 2002, 54(1): 7-12.
- [6] 陈爱玖,章青,王静,等. 再生混凝土冻融循环试验与损伤模型研究[J]. 工程力学, 2009, 26(11): 102-107.
- [7] 罗松南,程红梅. 波在局部损伤混凝土介质中的传播[J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2002, 29(2): 20-23.
- [8] 刘桂玲,张作鹏. 混凝土抗压强度超声波法无损检测的试验研究[J]. 四川理工学院学报: 自然科学版, 2011, 24(3): 258-260.
- [9] 安新正,易成,刘燕,等. 钢筋混凝土梁腐蚀损伤超声检查试验研究[J]. 河北农业大学学报, 2010, 33(1): 108-112.
- [10] 王建国,毛利胜,沈卓洋. 高精度打声法在混凝土内部缺陷检测中的应用[J]. 四川理工学院学报: 自然科学版, 2010, 23(1): 18-22.
- [11] 王怀亮,宋玉普. 不同尺寸混凝土试件受压状态下超声波传播特性研究[J]. 大连理工大学学报, 2007, 47(1): 90-94.
- [12] JGJ53-92, 普通混凝土用碎石或卵石质量标准及检验方法[S].
- [13] AL AMONDI O S B, MASIEHNDDIN M, ABDUL AL Y A B. Role of chloride ions on expansion and strength reduction in plain and blended cements in sulfate environments[J]. Constr. Build Mate., 1995, 9(1): 25-33.

(责任编辑 马立)