

文章编号:1673-2049(2010)04-0007-07

基于静载强度分布的再生混凝土疲劳强度预测

肖建庄¹, 李 宏¹, 齐 萌²

(1. 同济大学 建筑工程系, 上海 200092; 2. 安徽省化工设计院, 安徽 合肥 230009)

摘要:在同济大学再生混凝土材料与结构研究组完成的大量再生混凝土静载抗压强度试验基础上,对再生混凝土静载抗压强度分布特征进行统计分析,得出再生混凝土的静载抗压强度可以用正态分布模型来描述;研究了不同粗骨料取代率情况下再生混凝土轴心静载抗压强度均值和方差的变化规律,对统计参数采用皮尔逊 χ^2 拟合优度检验法进行了检验;基于文献研究的成果,推导出了再生混凝土疲劳寿命概率分布表达式和疲劳强度表达式,对比分析了不同粗骨料取代率、不同应力比情况下再生混凝土的疲劳强度变化规律。结果表明:随着再生粗骨料取代率的增加,再生混凝土的疲劳强度呈现出降低趋势;根据推导的表达式可以估算不同疲劳寿命、不同保证率下的再生混凝土轴心抗压疲劳强度,为再生混凝土路面设计提供了依据。

关键词:再生混凝土;抗压强度;疲劳强度;正态分布;取代率;应力比

中图分类号: TU528

文献标志码: A

Fatigue Strength Prediction of Recycled Aggregate Concrete Based on Static Strength Distribution

XIAO Jian-zhuang¹, LI Hong¹, QI Meng²

(1. Department of Building Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Anhui Province Chemical Industry Design Institute, Hefei 230009, Anhui, China)

Abstract: Based on the test results of a large number of recycled aggregate concrete (RAC) static compressive strength completed by the Recycled Concrete Materials and Structures Research Group of Tongji University, the distribution characteristic for the static compressive strength of recycled aggregate concrete was studied and the probability distribution of the fatigue life and the expression of compressive fatigue strength were proposed. The results of Pearson χ^2 goodness of fitting show that the normal distribution model can be used to describe the probability distribution characteristics of the static compressive strength of RAC. Finally, the comparative analyses for fatigue strength of RAC under different stress ratios were made by the fatigue formula considered the influence about the mean and variance of axial compressive strength caused by different replacement percentages of the recycled coarse aggregate. The results show that with the increase of recycled coarse aggregate replacement percentage, the fatigue strength of recycled concrete shows a decreasing trend. According to this approach, axial compression fatigue strength with different fatigue lives and guaranteed rates can be estimated, which provide the basis for recycled concrete pavement design.

Key words: recycled aggregate concrete; compressive strength; fatigue strength; normal distribution; replacement percentage; stress ratio

收稿日期:2010-09-21

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划项目(2008BAK48B03)

作者简介:肖建庄(1968-),男,山东沂南人,教授,博士研究生导师,工学博士,E-mail:jzx@tongji.edu.cn。

0 引 言

随着土木工程的发展,再生混凝土的应用越来越广泛^[1],如汶川大地震发生后,灾区中有大量的基础设施需要兴建,在道路重建中,可以使用再生混凝土,但目前对再生混凝土疲劳性能的研究很少。再生混凝土与普通混凝土在材料组分上存在差异,普通混凝土中的粗骨料为天然石头经过破碎而成,而再生混凝土中的粗骨料成分有 3 种:天然骨料、部分没有破碎筛除的硬化砂浆块以及天然骨料和硬化砂浆的合体,其中对再生混凝土性能影响最大的是合体,表现为再生混凝土中的天然石子表面附着一层老砂浆,其体积分数为 47.4%,质量分数为 41%^[2]。老砂浆力学性能相对天然骨料较差以及再生混凝土在界面过渡区的数量、分布和性能的不同影响了再生混凝土的力学性能。再生混凝土中的粗骨料在二次破碎时造成的损伤也难免会对再生混凝土的力学性能产生一定的影响,目前还没有关于再生混凝土疲劳性能计算的规范说明,因此与普通混凝土的疲劳性能计算相比,再生混凝土疲劳计算参数的可靠程度还需要进一步验证。可是因试验费用高、周期长及试验数据离散程度大,现阶段再生混凝土疲劳性能的试验研究资料较少。针对这一问题,笔者根据混凝土疲劳寿命的离散性主要归因于其静载抗压强度的离散性这一观点^[3],通过分析再生混凝土静载抗压强度的分布特征,将普通混凝土疲劳强度的 S-N 试验曲线(S 为应力水平,即混凝土的最大压应力与静载抗压强度之比,N 为疲劳破坏时等幅荷载重复次数,即疲劳寿命)运用于再生混凝土,推导出再生混凝土等幅轴心抗压疲劳强度的取值,并与现行混凝土规范取值进行了比较。

1 轴心静载抗压强度试验

1.1 原材料与配合比

天然粗骨料为连续级配的碎石,粒径为 5~31.5 mm,水泥采用海螺牌 32.5R 普通硅酸盐水泥,砂为普通天然黄砂,拌合水采用自来水,再生粗骨料为上海某机场跑道废弃混凝土经颚式破碎机破碎而成。再生粗骨料的外形介于碎石与卵石之间,略扁并带有若干棱角,孔隙较多,表面附着质量分数为 30%的硬化水泥砂浆,粒径分 5~15 mm 和 15~31.5 mm 两种,通过测试可知,当 5~15 mm 与 15~31.5 mm 的再生粗骨料质量比达 3:2 时,其堆积密度最大(1 290 kg·m⁻³),所以再生粗骨料自然级配

的质量比取为 3:2。

按照《普通混凝土用碎石或卵石质量标准及检验方法》(JGJ 53—92),主要测试了再生粗骨料的堆积密度、表观密度、吸水率、压碎指标、含泥量和坚固性等指标,普通混凝土和再生混凝土的含泥量试验结果分别为 1.80%、4.08%,可见再生粗骨料的含泥量高于天然粗骨料,这主要是由于再生骨料的破碎工艺所致,含泥量过高会对混凝土的性能产生不利影响,如强度降低、干缩率增大等。天然粗骨料和再生粗骨料的基本性能见表 1^[4]。

表 1 粗骨料的基本性能

Tab. 1 Basic Properties of Coarse Aggregates

粗骨料 类型	堆积密度/ (kg·m ⁻³)	表观密度/ (kg·m ⁻³)	吸水率/%	压碎指标/%
天然	1 453	2 820	0.40	4.04
再生	1 290	2 520	9.25	15.20

由表 1 可见,与天然粗骨料相比,再生粗骨料的堆积密度与表观密度分别降低了约 11%和 10%,原因主要是其表面水泥砂浆的含量较高。表 1 中的吸水率为 24 h 的测试结果,可见再生粗骨料的吸水率明显高于天然粗骨料,主要是由于再生粗骨料表面附着部分水泥砂浆,其孔隙率大,在短时间内即可吸水饱和,10 min 可达饱和程度的 85%,30 min 可超过饱和程度的 95%以上。

再生粗骨料的压碎指标大于天然粗骨料,表明其强度较低,这主要是因为再生粗骨料表面水泥砂浆的含量较高,导致其较易破碎。再生混凝土的配合比见表 2,考虑再生混凝土的吸水特性,配合比设计参照文献[5]进行,即首先按照普通混凝土配合比设计方法计算出各材料用量,然后根据实测再生粗骨料的有效吸水率(自然干燥状态至饱和面干燥状态的吸水率,约为 4%),计算出用以补偿再生粗骨料高吸水率的那部分水(附加水)的用量,同时为了探讨再生粗骨料取代率 r(再生粗骨料占全部粗骨料的质量分数)对再生混凝土性能的影响,考虑 r=0%、30%、50%、100% 四种情况,r=0% 时即为普通混凝土,本文中将其作为基准混凝土^[6]。

1.2 试块的制作

试块的制作在同济大学先进土木工程材料教育部重点实验室进行,拌合物采用 350 型立式高效搅拌机搅拌。投料顺序为:先将砂和水泥搅拌均匀,再加入再生粗骨料,继续搅拌至混合均匀,最后加入水,搅拌 3~5 min 后测量坍落度。将此拌合物注入钢模,人工插捣密实后用刮刀插实周边、抹平表面,

表 2 再生混凝土的配合比
Tab.2 Mix Proportions of RAC

试块 编号	取代 率/%	水灰 比	各材料用量/(kg·m ⁻³)					
			水泥	砂	天然 粗骨料	再生 粗骨料	拌合 水	附加 水
RAC-0	0	0.43	430	555	1 295		185	
RAC-30	30	0.39	474	523	855	366	185	15
RAC-50	50	0.39	474	511	596	596	185	24
RAC-100	100	0.35	529	469		1 094	185	44

注:RAC 表示再生混凝土,其后面的数字表示再生粗骨料的取代率;水灰比数值为有效水灰比,即未考虑附加水的情况。
24 h 后拆模,试块尺寸均为 100 mm×100 mm×100 mm 的立方体,共制作了 371 块,其中 $r=0\%$ 的 75 块, $r=30\%$ 的 100 块, $r=50\%$ 的 98 块, $r=100\%$ 的 98 块。在标准条件下养护至一定试验龄期时测其抗压强度,该试验中各组再生混凝土的坍塌度均能达到 30~50 mm 的设计要求^[7]。抗压强度试验按照《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2002)进行,抗压强度试验的主要设备为一台 YE-1850 型液压式压力试验机,其最大量程为 2 MN。

1.3 试验结果

再生混凝土试块静载抗压强度试验结果见图 1。由图 1 可知,不同再生粗骨料取代率情况下,再生混凝土的抗压强度服从正态分布。采用极大似然估计法,分别得到 3 组再生混凝土的静载抗压强度均值,并用修正的样本标准差估计其标准差,得到再生混凝土静载抗压强度的正态分布概率密度函数的表达式。各组再生混凝土抗压强度 f_{cu} 的统计参数包括强度最大值 $f_{cu,max}$ 、最小值 $f_{cu,min}$ 和中位值 \hat{f}_{cu} 、均值 $\mu_{f_{cu}}$ 、标准差 $\sigma_{f_{cu}}$ 和变异系数 $\delta_{f_{cu}}$,见表 3。

由表 3 可得,3 组再生混凝土轴心静载抗压强度 f_c 的概率密度函数 $f_{30}(f_c)$ 、 $f_{50}(f_c)$ 、 $f_{100}(f_c)$ 的表达式分别为

$$f_{30}(f_c)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\times 3.94}\exp[-(f_c-41.5)^2/(2\times 3.94^2)]$$

(1)

$$f_{50}(f_c)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\times 3.90}\exp[-(f_c-40.2)^2/(2\times 3.90^2)]$$

(2)

$$f_{100}(f_c)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\times 3.00}\exp[-(f_c-36.5)^2/(2\times 3.00^2)]$$

(3)

1.4 抗压强度的概率分布特征检验

假设各组再生混凝土抗压强度服从正态分布,

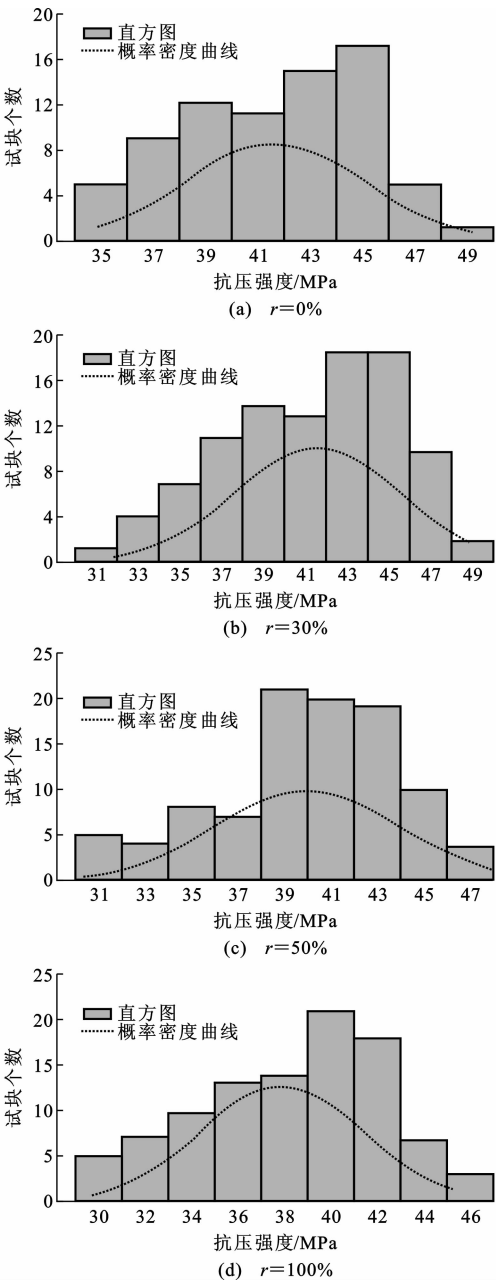


图 1 再生混凝土抗压强度分布直方图

Fig.1 Histograms of Compressive Strength Distribution of RAC

表 3 再生混凝土抗压强度的统计参数

Tab.3 Statistical Parameters of Compressive Strength of RAC

$r/\%$	$f_{cu,max}/\text{MPa}$	$f_{cu,min}/\text{MPa}$	\hat{f}_{cu}/MPa	$\mu_{f_{cu}}/\text{MPa}$	$\sigma_{f_{cu}}/\text{MPa}$	$\delta_{f_{cu}}$
0	49.2	34.8	42.1	41.6	3.44	0.082 7
30	48.7	31.9	44.5	41.5	3.94	0.094 9
50	48.0	30.6	40.1	40.2	3.90	0.097 0
100	42.6	29.7	37.0	36.5	3.00	0.082 2

结合表 3 中各组再生混凝土试块抗压强度的统计参

数,采用皮尔逊 χ^2 拟合优度检验法^[8]进行检验。对于正态分布模型,原假设为 $H_0:f_{cu} \sim N(\mu_{f_{cu}}, \sigma_{f_{cu}}^2)$ 。表 4 给出了再生骨料取代率 $r=100\%$ 时的检验过程,其中, \hat{p}_j 为区间 D_j 上的概率, n 为数据设计个数, n_j 为数据实际个数。表 5 给出了再生混凝土抗压强度分布 χ^2 检验结果。

表 4 $r=100\%$ 时再生混凝土抗压强度正态分布 χ^2 检验结果

Tab. 4 χ^2 Test Results for Normal Distribution of Compressive Strength of RAC when $r=100\%$

j	D_j	\hat{p}_j	$n\hat{p}_j$	n_j	$(n_j-n\hat{p}_j)^2$	$(n_j-n\hat{p}_j)^2 \cdot (n\hat{p}_j)^{-1}$
1	$(-\infty, 32.5]$	0.091 8	8.996 4	12	9.021 6	1.002 8
2	$(32.5, 34.0]$	0.111 5	10.927 0	10	0.859 3	0.078 6
3	$(34.0, 35.5]$	0.167 4	16.405 2	13	11.595 4	0.706 8
4	$(35.5, 37.0]$	0.196 8	19.286 4	14	27.946 0	1.449 0
5	$(37.0, 38.5]$	0.181 1	17.747 8	21	10.576 8	0.596 0
6	$(38.5, 40.0]$	0.130 4	12.779 2	18	27.256 8	2.132 9
7	$(40.0, +\infty)$	0.121 0	11.858 0	10	3.452 2	0.291 1

表 5 再生混凝土抗压强度分布 χ^2 检验结果
Tab. 5 χ^2 Test Results of Compressive Strength Distribution of RAC

$r/\%$	χ^2 计算值	χ^2 临界值	接受或拒绝 H_0
0	7.237 9	9.487 7	接受
30	6.828 9	11.070 5	接受
50	6.328 8	9.487 7	接受
100	6.257 2	11.070 5	接受

由表 5 的检验结果可以得出,在显著性水平 $\alpha=0.05$ 时不能拒绝原假设,即可认为各再生粗骨料取代率下的再生混凝土抗压强度服从正态分布。为了进一步考察正态分布模型对于描述再生混凝土抗压强度概率分布特征的适用性,采用 Monte Carlo 方法^[9]对各组再生粗骨料取代率下的再生混凝土抗压强度分布进行了模拟,步骤如下:首先生成 1 组(1 000 个)介于 0 到 1 的随机数 r_i (概率),然后令式(4)中的概率分布函数 $F(x_i)$ 分别等于 r_i ,据此可求出每一个抗压强度 x_i ,从而实现再生混凝土抗压强度的 Monte Carlo 随机模拟。

$$F(x_i) = \int_{-\infty}^{x_i} f(x) dx$$

(4)

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{f_u}} e^{-\frac{(x-\mu_{f_{cu}})^2}{2\sigma_{f_{cu}}^2}}$$

(5)

式中: $f(x)$ 为混凝土抗压强度的概率密度函数。
再生粗骨料取代率为 0% 和 50% 时,模拟结果与试验结果的对比如图 2 所示。由图 2 可见,模拟

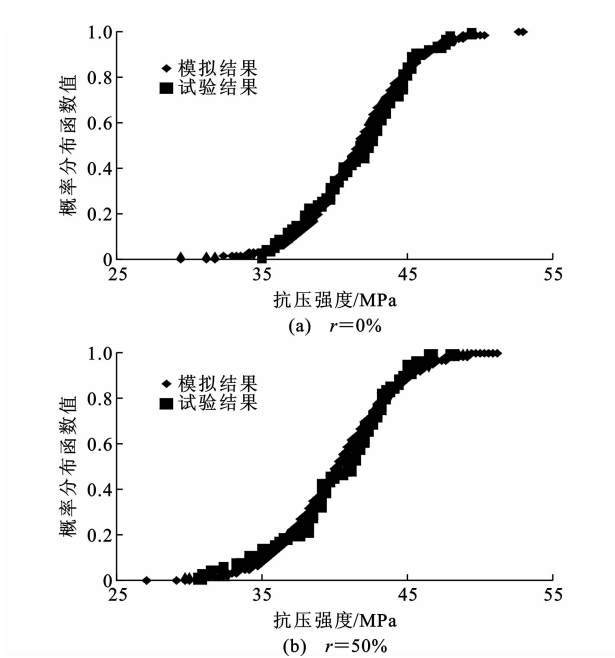


图 2 再生混凝土抗压强度分布模拟与试验结果对比
Fig. 2 Comparisons Between Simulated and Experimental Results of Compressive Strength Distribution of RAC

结果与试验结果吻合良好,表明可以用正态分布模型来描述再生混凝土抗压强度的概率分布特征。

2 轴心静载抗压强度与疲劳强度关系

再生混凝土轴心静载抗压强度 f_c 的概率分布特征用正态分布模型 $N(\mu_c, \sigma_c^2)$ 来描述,其中 μ_c, σ_c^2 分别为 f_c 的均值和方差,则 f_c 的概率密度函数为

$$f(f_c) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_c} e^{-\frac{(f_c - \mu_c)^2}{2\sigma_c^2}}$$

(6)

同时结合实际情况,要求混凝土材料满足

$$p(f_c < 0) = \int_{-\infty}^0 \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_c} e^{-\frac{(f_c - \mu_c)^2}{2\sigma_c^2}} df_c = \varphi\left(-\frac{\mu_c}{\sigma_c}\right) = 0$$

(7)

式中: $p(\cdot)$ 为概率函数; φ 为标准正态分布函数。

对于混凝土材料而言, $\mu_c/\sigma_c > 4$, 因此 $p(f_c < 0) = \varphi(-\mu_c/\sigma_c) \approx 0$, 即满足式(7)的要求。由混凝土材料考虑应力比 R 的 $S-N$ 曲线关系: $S = a + b(1-R) \cdot \lg N$, a, b 为参数, $R = \sigma_{c, \min}^f / \sigma_{c, \max}^f$, $\sigma_{c, \min}^f$ 为重复荷载作用下混凝土的最小应力, $\sigma_{c, \max}^f$ 为重复荷载作用下混凝土的最大应力,由此可得

$$f_c = f_c(N) = \sigma_{c, \max}^f / [a + b(1-R) \lg N]$$

(8)

在得到式(6)、(8)后,通过数理统计中随机变量函数的概率分布公式,可得到在规定应力比和疲劳强度下疲劳寿命 N 的概率密度函数 $f_N(n)$ 为

$$f_N(n) = \begin{cases} f[f_c(n)]f'_c(n) & n > 0 \\ 0 & n \leq 0 \end{cases} \quad (9)$$

式(9)还可以表示为

$$f_N(n) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_c} \exp\left\{-\left[\frac{\sigma_{c,\max}^f}{a+b(1-R)\lg n} - \mu_c\right]^2 / (2\sigma_c^2)\right\} & n > 0 \\ 0 & n \leq 0 \end{cases} \quad (10)$$

在疲劳寿命为 n_1 时,材料不发生破坏的保证率 P_1 (概率)为

$$P_1(N > n_1) = 1 - P_1(N \leq n_1) = 1 - \varphi\left\{\left[\frac{\sigma_{c,\max}^f}{a+b(1-R)\lg n_1} - \mu_c\right] / \sigma_c\right\} \quad (11)$$

对于不同保证率,由标准正态分布函数值表可得到相应的分位值 n_k ,这样就可以得到疲劳寿命 n_1 时的混凝土能够承受的最大应力 $\sigma_{c,\max}^f$ 为

$$\sigma_{c,\max}^f = (\mu_c - n_k \sigma_c) [a + b(1-R)\lg n_1] \quad (12)$$

取疲劳寿命 $n_1 = 2 \times 10^6$,同时取 95% 保证率所对应的分位值 $n_k = 1.645$,由式(12)求得的 $\sigma_{c,\max}^f$ 与规范中定义的疲劳寿命为 2×10^6 次以上再生混凝土的抗压疲劳强度 f_c^f 意义相同,即

$$f_c^f = (\mu_c - 1.645\sigma_c) [a + b(1-R)(6 + \lg 2)] \quad (13)$$

3 抗压疲劳强度预测

首先按照《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002,以下简称规范)中的方法确定再生混凝土的轴心抗压疲劳强度,该规范中混凝土轴心抗压疲劳强度 $f_c^f = f_c \gamma_p$,其中 f_c 取为立方体抗压强度平均值减去 1.645 倍的标准差后再乘以棱柱体轴心抗压强度和立方体抗压强度的换算系数, γ_p 为疲劳强度修正系数,可根据应力比查规范中的相应表得到;其次,按照式(13)计算再生混凝土的抗压疲劳强度,参照文献[10]中关于混凝土抗压疲劳强度的 S-N 曲线研究成果,取 $a = 0.9255$, $b = -0.0502$;参照文献[3]中针对普通混凝土抗压疲劳强度的 S-N 曲线研究成果,取 $a = 1.0$, $b = -0.0685$ 。将上述参数 a , b 代入式(13),即可计算得到再生混凝土的抗压疲劳强度 $f_c^{f[11]}$ 。

按照规范及式(13)得到的再生混凝土轴心抗压疲劳强度如图 3 所示。由图 3 可见,采用文献[3]和文献[10]中建议的 S-N 曲线计算出来的结果比规范值大,在低应力区(应力比为 0~0.3),采用文献[10]的疲劳强度公式计算出来的结果比采用文献

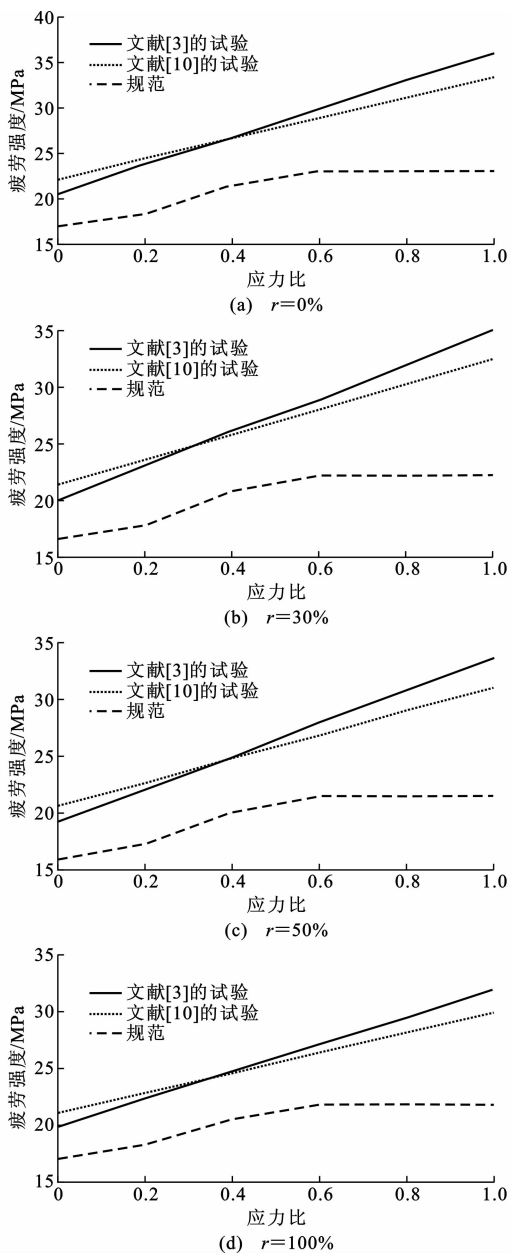


图 3 再生混凝土轴心抗压疲劳强度的对比

Fig. 3 Comparisons of Axial Compression Fatigue Strength of RAC

[3]的疲劳强度计算公式得出的结果大,在应力比大于 0.3 的应力区,结果则相反,所以在低应力区采用文献[3]的 S-N 曲线得到的结果更接近规范的要求,而在应力比大于 0.3 的应力区采用文献[10]的 S-N 曲线更接近规范的计算结果。由图 3 还可见,根据 S-N 关系计算混凝土轴心抗压疲劳强度时,静载抗压强度大的混凝土,其抗压疲劳强度也大。再生混凝土粗骨料取代率与疲劳强度的关系如图 4 所示。由图 4 可见,取代率越高,再生混凝土的疲劳强度越低。图 5 为不同保证率下的再生混凝土疲劳强

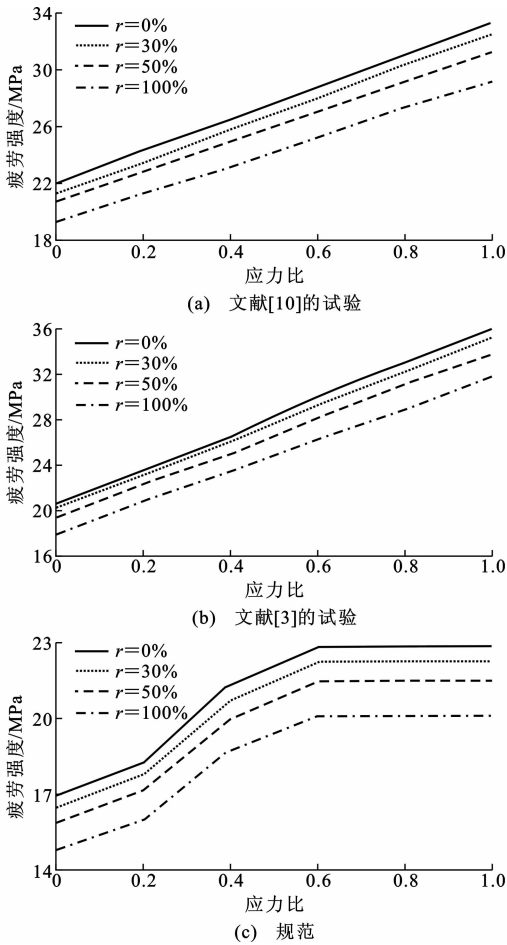


图4 再生混凝土粗骨料取代率与疲劳强度的关系

Fig. 4 Relations Between Replacement Percentages of Recycled Coarse Aggregates and Fatigue Strength of RAC

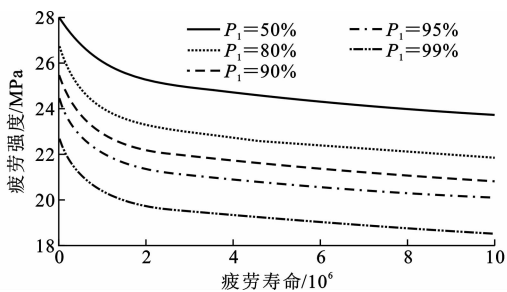


图5 不同保证率下的疲劳强度-疲劳寿命关系

Fig. 5 Relations of Fatigue Strength and Fatigue Life with Different Guaranteed Rates

度与疲劳寿命的关系。

4 结语

(1)轴心静载抗压强度试验结果表明,再生混凝土静载抗压强度服从正态分布。

(2)根据再生混凝土静载抗压强度及S-N试验曲线计算得到的具有95%保证率的等幅抗压疲劳强度与按规范确定的抗压疲劳强度接近,且大于参

照规范计算出的疲劳强度。

(3)根据本文中的方法,可以估算不同保证率下的再生混凝土轴心抗压疲劳强度。

(4)随着再生混凝土中再生粗骨料取代率的增加,再生混凝土的疲劳强度呈现出降低趋势。

参考文献:

References:

- [1] 肖建庄. 再生混凝土[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
XIAO Jian-zhuang. Recycled Aggregate Concrete [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2008.
- [2] 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.
XIAO Jian-zhuang, LIU Qiong, LI Wen-gui, et al. On the Micro-and Meso-structure and Failure Mechanism of Recycled Concrete[J]. Journal of Qingdao Technological University, 2009, 30(4): 24-30.
- [3] 王瑞敏, 宋玉普, 赵国藩. 混凝土疲劳破坏的概率分析[J]. 大连理工大学学报, 1991, 31(3): 331-336.
WANG Rui-min, SONG Yu-pu, ZHAO Guo-fan. Probability Analysis of Fatigue Damage of Plain Concrete[J]. Journal of Dalian University of Technology, 1991, 31(3): 331-336.
- [4] 肖建庄, 李佳彬, 孙振平, 等. 再生混凝土的抗压强度研究[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2004, 32(12): 1558-1561.
XIAO Jian-zhuang, LI Jia-bin, SUN Zhen-ping, et al. Study on Compressive Strength of Recycled Aggregate Concrete[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2004, 32(12): 1558-1561.
- [5] 张亚梅, 秦鸿根, 孙伟, 等. 再生混凝土配合比设计初探[J]. 混凝土与水泥制品, 2002(1): 7-9.
ZHANG Ya-mei, QIN Hong-gen, SUN Wei, et al. Preliminary Study on the Proportion Design of Recycled Aggregate Concrete[J]. China Concrete and Cement Products, 2002(1): 7-9.
- [6] 李佳彬, 肖建庄, 孙振平. 再生粗骨料特性及其对再生混凝土性能的影响[J]. 建筑材料学报, 2004, 7(4): 390-395.
LI Jia-bin, XIAO Jian-zhuang, SUN Zhen-ping. Properties of Recycled Coarse Aggregate and Its Influence on Recycled Concrete[J]. Journal of Building Materials, 2004, 7(4): 390-395.
- [7] 李佳彬. 再生混凝土基本力学性能研究[D]. 上海: 同济大学, 2004.

- LI Jia-bin. Study on Mechanical Behavior of Recycled Aggregate Concrete [D]. Shanghai: Tongji University, 2004.
- [8] 潘承毅,何迎晖. 数理统计的原理与方法[M]. 上海: 同济大学出版社, 1991.
- PAN Cheng-yi, HE Ying-hui. Principles and Methods of Mathematical Statistics[M]. Shanghai: Tongji University Press, 1991.
- [9] 徐钟济. 蒙特卡罗方法[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985.
- XU Zhong-ji. Monte Carlo Method[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1985.
- [10] 吴佩刚,赵光仪,白利明. 高强混凝土抗压疲劳性能研究[J]. 土木工程学报, 1994, 27(3): 33-40.
- WU Pei-gang, ZHAO Guang-yi, BAI Li-ming. Fatigue Behavior of High Strength Concrete Under Compressive Cyclic Loading[J]. China Civil Engineering Journal, 1994, 27(3): 33-40.
- [11] 肖建庄,杜 锋,陈德银. 高性能混凝土轴心抗压静载与疲劳强度[J]. 建筑材料学报, 2005, 8(6): 605-608.
- XIAO Jian-zhuang, DU Feng, CHEN De-yin. Research on Static and Fatigue Axial Strength of HPC Under Compression[J]. Journal of Building Materials, 2005, 8(6): 605-608.

《岩土工程学报》2011 年征订通知

《岩土工程学报》创办于 1979 年,是中国水利、土木、力学、建筑、水电、振动 6 个全国性学会联合主办的学术性科技期刊,由南京水利科学研究院承办,国内外公开发行;主要刊登土力学、岩石力学领域中能代表中国理论和实践水平的论文、报告、实录等,报道新理论、新技术、新仪器、新材料的研究和应用;主要栏目有论文、短文、工程实录、焦点论坛、学术讨论和动态简讯等。欢迎有国家自然科学基金项目及其他重要项目研究成果的作者向本刊投稿,倡导和鼓励有实践经验的作者撰稿,并优先刊用这些稿件。

《岩土工程学报》被《中文核心期刊要目总览》连续 5 版收录,并在建筑类核心期刊中排列首位;是中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊),并被评为“百种中国杰出学术期刊”;被中国科技论文与引文数据库、中国期刊全文数据库和中文科技期刊数据库等多个国内重要的数据库收录,并可在《中国学术期刊(光盘版)》、中国期刊网、万方数据和重庆维普全文检索;被美国《工程索引》(Ei)等国际检索系统收录。

《岩土工程学报》读者对象为土木建筑、水利电力、交通运输、矿山冶金、工程地质等领域中从事岩土工程及相关专业的科研人员、设计人员、施工人员、监理人员和大专院校师生。

《岩土工程学报》为月刊,大 16 开,双栏排版,160 页,每月中旬出版,每期定价 25 元,全年 300 元。

《岩土工程学报》国际标准连续出版物号:ISSN 1000-4548,国内统一连续出版物号:CN 32-1124/TU,国内邮发代号:28-62,国外发行代号:MO0520。

地 址:南京虎踞关 34 号《岩土工程学报》编辑部

邮 编:210024

电 话:(025)85829534 85829553 85829555(传真)

E-mail:ge@nhri. cn