

钢纤维轻骨料混凝土抗冲击性能试验研究与统计分析

王立成*, 王海涛, 刘汉勇

(大连理工大学 海岸和近海工程国家重点实验室, 辽宁 大连 116024)

摘要: 对5组钢纤维体积掺量分别为0、0.5%、1.0%、1.5%、2.0%的钢纤维轻骨料混凝土圆饼试件进行了自由落锤冲击试验. 试验结果表明: 钢纤维的掺入可以提高轻骨料混凝土的抗冲击性能, 而且钢纤维的体积掺量越多, 提高效果越明显. 由于试验结果具有较大的离散性, 借助数理统计的方法对试验结果进行分析, 研究随着钢纤维掺量的改变, 钢纤维轻骨料混凝土抗冲击性能的变化规律. 采用对数正态分布和两参数的威布尔分布分别对5组钢纤维轻骨料混凝土的抗冲击性能进行概率分布拟合, 拟合结果表明, 对数正态分布和两参数威布尔分布均能很好地描述不同掺量钢纤维轻骨料混凝土的抗冲击性能. 最后, 采用两种分布拟合了钢纤维轻骨料混凝土的抗冲击性能方程.

关键词: 钢纤维轻骨料混凝土; 自由落锤冲击试验; 抗冲击性能; 统计分析

中图分类号: TU528.572 **文献标志码:** A

0 引言

由于轻骨料混凝土具有轻质高强等优点(它比相同强度等级的普通密度混凝土自重降低25%~30%), 对于结构恒载占有较大比例, 且对材料性能具有较高要求的高层建筑、大跨度桥梁、海洋工程来说, 轻骨料混凝土的这种优势具有很大的市场竞争力^[1~4]. 但轻骨料混凝土的韧性比普通混凝土要差, 在一定条件下限制了其发展. 在轻骨料混凝土中掺入乱向分布的短钢纤维形成钢纤维轻骨料混凝土(steel fiber reinforced light-weight aggregate concrete, SFLWC). 钢纤维轻骨料混凝土不仅具有轻骨料混凝土的优良特性, 而且明显改善了轻骨料混凝土的抗拉强度、抗弯强度、抗裂性能和抗疲劳性能^[5~7]. 同时钢纤维的掺入还显著改善了机械、地震、海浪、大风等因素引起的动荷载对混凝土的抗冲击影响. 目前, 国内外对钢纤维轻骨料混凝土在静力荷载作用下的力学性能已开展了大量的研究^[5~7], 但对钢纤维轻骨料混凝土在动荷载作用

下的抗冲击性能研究还未见报道. 本文采用美国ACI 544委员会推荐的自由落锤试验方法^[8], 对5种不同体积掺量(0、0.5%、1.0%、1.5%、2.0%)的钢纤维轻骨料混凝土进行抗冲击试验, 研究钢纤维对改善轻骨料混凝土抗冲击性能的效果和机理. 对抗冲击试验结果分别采用对数正态分布和两参数威布尔分布进行统计分析.

1 试验材料与试验设计

1.1 原材料与混凝土配合比

水泥(C): 大连小野田水泥有限公司生产的P. II 42.5普通硅酸盐水泥; 粗骨料(G): 宜昌宝珠陶粒开发有限公司生产的圆球形高强页岩陶粒, 其物理力学性能如表1所示; 细骨料(S): 天然河砂, 堆积密度为2 600 kg/m³, 细度模数为2.67, 中砂, 级配良好; 拌和水(W): 自来水; 钢纤维(S_f): 嘉兴市七星钢纤维有限公司生产的凸痕形钢纤维(ZH-06), 长度32 mm, 长径比50, 抗拉强度大于600 MPa; 减水剂(A): 大连西卡建筑材料有限公司生产的西卡NF-III高效减水剂.

表 1 粗骨料的物理力学性能

Tab. 1 Physical and mechanical property of coarse aggregate

堆积密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	1 h 吸水 率/%	筒压强度/ MPa	颗粒表观密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	孔隙 率/%
770	2.7	6.6	1 330	43

按照《轻骨料混凝土技术规程》JGJ 51—2002

采用绝对体积法进行配合比设计,水灰比为0.42;砂率为40%;基准配合比 SF00 的 28 d 抗压强度 $f_{\text{cu}}=47.3 \text{ MPa}$;干表观密度 $\rho_{\text{d}}=1\,841 \text{ kg/m}^3$. 为研究钢纤维的掺入对轻骨料混凝土抗冲击性能的影响,本次试验根据钢纤维体积掺量的不同将轻骨料混凝土分成 5 组,即钢纤维的体积掺量分别为 0、0.5%、1.0%、1.5%、2.0%. 各组钢纤维轻骨料混凝土的编号及配合比如表 2 所示.

表 2 钢纤维轻骨料混凝土配合比

Tab. 2 Mix proportion of SFLWC

编号	各组份含量/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)				钢纤维掺量/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	减水剂掺量/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
	C	G	S	W		
SF00	450	686	527	204	0	0
SF05	450	686	527	204	39.25	0
SF10	450	686	527	204	78.50	2.25
SF15	450	686	527	204	117.75	3.15
SF20	450	686	527	204	157.00	4.50

1.2 试验设备和试验方法

本试验按照 ACI 544 委员会推荐的标准试验设备和试验方法进行^[8]. 试验装置的形状、尺寸如图 1 所示. 试件分 5 批制作,每种掺量的钢纤维轻骨料混凝土制作 12 个,共 60 个试件. 试验时先在试件底部抹一层黄油以减少底板对试件底部的横向约束,按图 1 要求置于底板上,试件成型面向上,基盘固定于刚性地面上. 在试件和垂直挡板之间放置泡沫橡胶垫,以便在观察第一条可见裂缝的测试期间限制试件底移动. 将质量为 4.54 kg 的钢质冲击锤从落距为 457 mm 的高度自由下落. 一次次冲击下,仔细观察试件表面,记录下初裂的冲击次数. 第一条可见裂缝出现以后,移走泡沫橡胶垫. 然后继续不断冲击,试件裂缝扩展并且

体积发生膨胀,当膨胀的试件接触到 4 个挡板的其中 3 个时,定义试件破坏,记录破坏时的冲击次数.

2 试验结果与统计分析

对 55 个试件进行自由落锤冲击试验. 表 3 列出了 5 种类型钢纤维轻骨料混凝土初裂冲击次数 N_1 、破坏冲击次数 N_2 、破坏与初裂冲击次数的差值 Δ . 从表 3 可以看出,试验结果具有较大的离散性,并且钢纤维掺量越低,离散性越显著. 这主要是由于钢纤维掺量越低,钢纤维在混凝土中的分布就越不均匀,在冲击试验过程中,每次冲击大概发生在 1 ms 内,如此短时间的变形很难在试件中产生应力重分布,导致初裂和破坏强度由试件的局部缺陷决定.

各种掺量的钢纤维轻骨料混凝土抗冲击性能指标的平均值 $\bar{x}$ 、标准差 σ 、变异系数 $V = (\sigma/\bar{x})$ 列入表 4 中,可以看出:当轻骨料混凝土中钢纤维体积掺量为 1.5% 时,其初裂冲击次数和破坏冲击次数的平均值分别为普通轻骨料混凝土的 4.0 倍和 8.5 倍;当钢纤维体积掺量为 2.0% 时,其平均值分别为普通轻骨料混凝土的 10 倍和 13 倍;钢纤维体积掺量为 0.5%、1.0% 时,初裂时冲击次数和破坏时冲击次数的平均值较普通混凝土也

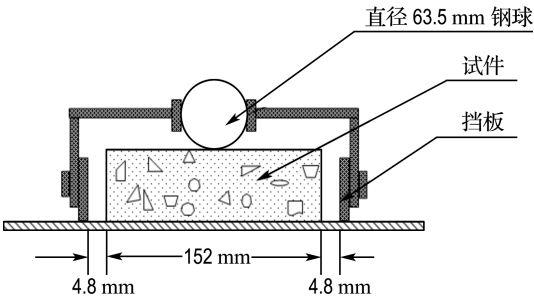


图 1 自由落锤冲击试验装置

Fig. 1 Drop-weight test device

表 3 钢纤维轻骨料混凝土的冲击试验结果

Tab. 3 Impact resistance test results for SFLWC

试件编号	N_1/N_2					Δ				
	SF00	SF05	SF10	SF15	SF20	SF00	SF05	SF10	SF15	SF20
1	33/35	49/58	433/747	327/2 152	1 881/1 988	2	9	314	1 825	107
2	186/189	525/564	60/189	323/1 684	1 891/2 055	3	39	129	1 361	164
3	220/223	4/14	159/405	50/184	2 005/2 863	3	10	246	134	858
4	69/71	689/724	670/778	372/1 528	841/1 596	2	35	108	1 156	755
5	8/25	276/290	42/147	157/384	1 809/2 474	17	14	105	227	665
6	20/33	17/34	90/520	1 301/3 608	2 753/3 149	13	17	430	2 307	396
7	91/94	33/58	22/59	199/688	2 098/2 416	3	25	37	489	318
8	1 017/1 030 ¹⁾	73/87	42/797	1 191/1 462	459/962	—	14	755	271	503
9	555/560	8/20	251/1 079	1 677/2 526	—	5	12	828	849	—
10	325/330	718/767	68/95	762/1 129	—	5	49	27	367	—
11	305/312	1 150/1 280 ¹⁾	35/260	689/797	—	7	—	225	108	—
12	9/12	10/33	19/48	—	—	3	23	29	—	—

注：1)数据离散性太大,分析时舍去

有不同程度的增长. 上述数值表明:钢纤维的掺入,可以显著提高轻骨料混凝土的抗冲击性能,而且钢纤维的体积掺量越多,效果越明显. 这与钢纤维普通混凝土的抗冲击试验结论是类似的^[9,10]. 原因是钢纤维在混凝土中的三维增强效应:在冲击的过程中,每一根钢纤维就像一个微型的能量吸收机械,分担了一定的冲击荷载. 当第一条裂缝出现以后,横跨裂缝的钢纤维不仅发挥着吸收能

量的作用,而且还充当荷载传递的微型机械,减缓裂缝尖端的应力集中,阻止裂缝的进一步开展,从而显著地提高混凝土的抗冲击性能. 钢纤维在轻骨料混凝土中的三维增强效应还可以从普通轻骨料混凝土和钢纤维轻骨料混凝土的破坏形态上加以说明,普通轻骨料(LWC)混凝土圆饼的破坏大部分分成 3 块(图 2),而钢纤维轻骨料混凝土(SFLWC)圆饼的破坏大部分分成 2 块(图 3).

表 4 钢纤维混凝土冲击试验的统计分析结果

Tab. 4 Statistical analyses for impact resistance test results of SFLWC

统计参数	N_1/N_2					Δ				
	SF00	SF05	SF10	SF15	SF20	SF00	SF05	SF10	SF15	SF20
$\bar{x}$	166/171	218/241	158/427	641/1 467	1 717/2 188	5	23	269	826	471
σ	174/173	288/299	202/350	537/1 011	729/699	5	13	273	746	274
V	105/101	132/124	128/82	84/69	42/32	83	59	101	90	58

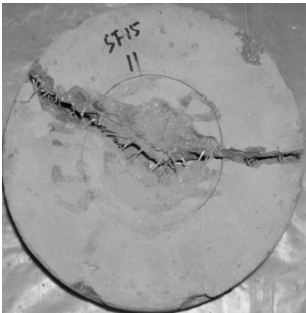


图 2 普通轻骨料混凝土破坏形态

Fig. 2 Failure state of LWC

图 3 钢纤维轻骨料混凝土破坏形态

Fig. 3 Failure state of SFLWC

从表 4 中还可以看出,变异系数 V 随着钢纤维体积掺量的改变而改变. 变异系数是反映数据离散程度的一个重要指标,变异系数越小,数据越集中于平均值周围,离散程度也越小;反之,变异系数越大,数据偏离平均值的程度越大,离散程度也越大. 当钢纤维体积掺量为 0.5% 和 1.0% 时,变异系数较普通轻骨料混凝土大,而当钢纤维体积掺量为 1.5% 和 2.0% 时,变异系数有明显的下降趋势. 这与低掺量的钢纤维在轻骨料混凝土中分布不均匀有重要关系.

3 概率分布拟合

随着可靠度理论在土木工程领域的广泛应用,用概率的方法进行研究正越来越受到重视^[11]. 本文借助统计分析的方法,采用对数正态分布、两参数威布尔分布分别对冲击试验结果进行概率分布拟合.

3.1 对数正态分布

在对数据进行正态性检验时,一种常用的方法就是正态概率纸检验法^[12]. 正态概率纸的横轴是均匀刻度,表示随机变量 X ;纵轴是不均匀刻度,表示 $N(x)$. 分布 $F(x)$ 如果是正态,则 $(x, F(x))$ 在正态概率纸上呈一条直线. 从母体中抽取 n 个样本,将它们按从小到大的次序排列,记做 $x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \cdots \leq x_{(n)}$,令

$$F_n(x) = \begin{cases} 0; & x < x_{(1)} \\ \frac{i}{n+1}; & x_{(i)} \leq x < x_{(i+1)} \\ \frac{n}{n+1}; & x_{(n)} \leq x \end{cases} \quad (1)$$

$F_n(x)$ 是经验分布函数,当 n 较大时, $F_n(x)$ 和 $F(x)$ 很接近,因此,如果将 $(x, F_n(x))$ 描绘在坐标图中,则应接近于直线. 图 4 为 SF10 钢纤维轻骨料混凝土初裂冲击次数的对数正态分布拟合直线. 直线表达式为

$$Y = \alpha_1 X - \beta_1 \quad (2)$$

式中: $Y = u_p, u_p$ 为累积概率密度; $X = \ln N_1$; α_1 、 β_1 为回归系数. 表 5 列出了各种掺量钢纤维轻骨料混凝土的初裂冲击次数 N_1 、破坏冲击次数 N_2 和破坏与初裂冲击次数差值 Δ 的 $\ln N$ - u_p 线性回

归结果.

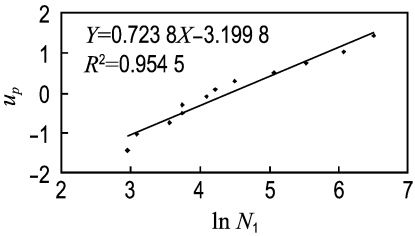


图 4 SF10 初裂冲击次数对数 N_1 正态分布线性回归结果

Fig. 4 The linear regression of N_1 of SF10 in log-normal distribution

表 5 钢纤维轻骨料混凝土抗冲击次数的对数正态分布线性回归结果

Tab. 5 The linear regression of impact resistance times of SFLWC in log-normal distribution

抗冲击次数	混凝土类型	α_1	β_1	相关系数 R^2
N_1	SF00	0.552 8	2.409 9	0.954 7
	SF05	0.433 9	1.785 8	0.954 0
	SF10	0.723 8	3.199 8	0.954 5
	SF15	0.779 0	4.716 2	0.952 5
	SF20	1.200 3	8.795 4	0.771 8
N_2	SF00	0.662 8	3.017 8	0.969 4
	SF05	0.550 9	2.527 9	0.930 8
	SF10	0.771 8	4.340 8	0.952 0
	SF15	0.938 8	6.585 1	0.942 7
	SF20	2.023 8	15.453 0	0.893 0
Δ	SF00	1.116 0	1.658 2	0.896 0
	SF05	1.444 7	4.276 5	0.968 9
	SF10	0.704 7	3.555 6	0.963 3
	SF15	0.786 7	4.932 9	0.977 0
	SF20	1.048 4	6.240 6	0.933 9

3.2 威布尔分布

大量的试验研究表明,钢纤维混凝土的疲劳寿命服从威布尔概率分布^[13~15],钢纤维轻骨料混凝土的抗冲击性能与其疲劳性能在受力机理上有着本质的相似. 因此,本文采用威布尔分布对钢纤维轻骨料混凝土的抗冲击性能进行概率分布分析. 对于每种钢纤维掺量的轻骨料混凝土,各试件抗冲击性能指标的分布规律可用以下威布尔密度函数表示:

$$f(N) = \frac{b}{N_a - N_0} \left(\frac{N - N_0}{N_a - N_0} \right)^{b-1} \times \exp \left[- \left(\frac{N - N_0}{N_a - N_0} \right)^b \right];$$
$$N_0 \leq N < \infty \quad (3)$$

式中： N_0 为最小寿命参数； N_a 为特征寿命参数； b 为威布尔形状参数。威布尔分布的随机变量简称威布尔变量，以 N_ξ 表示。根据式(3) 给出的威布尔密度函数 $f(N)$ ，可以求出威布尔变量 N_ξ 大于某一数值的概率即存活率。为安全可靠及计算简便，在式(3) 中取最小寿命参数 $N_0 = 0$ ，简化为两参数威布尔分布：

$$f(N) = \frac{b}{N_a} \left(\frac{N}{N_a} \right)^{b-1} \exp \left[- \left(\frac{N}{N_a} \right)^b \right];$$

$0 \leq N < \infty$

(4)

则

$$P(N > N_\xi) = \exp \left[- \left(\frac{N}{N_a} \right)^b \right]$$

(5)

式(5) 可以变换为 $\frac{1}{P} = \exp \left(\frac{N}{N_a} \right)^b$ ，两边取两次对数得

$$\ln \ln (1/P) = b \ln N - b \ln N_a$$

(6)

即

$$Y = \alpha_2 X - \beta_2$$

(7)

式中： $Y = \ln \ln (1/P)$ ； $X = \ln N$ ； α_2 、 β_2 为回归系数。式(7) 可用来检验钢纤维轻骨料混凝土抗冲击试验数据是否服从两参数威布尔分布。图 5 为 SF10 钢纤维轻骨料混凝土初裂冲击次数 N_1 的威布尔分布拟合直线。表 6 列出了各种钢纤维掺量轻骨料混凝土的初裂冲击次数 N_1 、破坏冲击次数 N_2 和破坏与初裂冲击次数差值 Δ 的 $\ln N - \ln \ln (1/P)$ 线性回归结果。

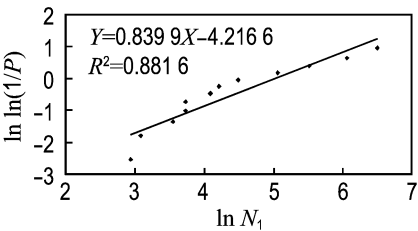


图 5 SF10 初裂冲击次数 N_1 威布尔分布线性回归结果

Fig. 5 The linear regression of N_1 of SF10 in Weibull distribution

从图 4、5 中可以看出，对于 SF10 钢纤维掺量的轻骨料混凝土，各数据点都落在一条直线附近，这说明对数正态分布和威布尔分布都可以较好地描述其抗冲击初裂性能。同样表 5、6 中的数

据表明：各种钢纤维掺量的轻骨料混凝土初裂冲击次数 N_1 、破坏冲击次数 N_2 和破坏与初裂冲击次数差值 Δ 都可以通过对数正态分布和威布尔分布来描述。

表 6 钢纤维轻骨料混凝土抗冲击次数的威布尔分布线性回归结果

Tab. 6 The linear regression of impact resistance of SFLWC in Weibull distribution

抗冲击次数	混凝土类型	α_2	β_2	相关系数 R^2
N_1	SF00	0.670 5	3.422 8	0.962 9
	SF05	0.511 6	2.626 0	0.927 2
	SF10	0.839 9	4.216 6	0.881 6
	SF15	0.953 5	6.272 3	0.978 2
	SF20	1.512 6	11.568 0	0.853 7
N_2	SF00	0.798 6	4.135 4	0.964 6
	SF05	0.648 1	3.473 6	0.883 2
	SF10	0.939 0	5.784 6	0.966 6
	SF15	1.159 5	8.632 8	0.985 8
	SF20	2.503 4	19.599 0	0.951 6
Δ	SF00	1.279 7	2.400 9	0.807 5
	SF05	1.697 2	5.523 6	0.916 7
	SF10	0.844 9	4.766 7	0.949 8
	SF15	0.942 8	6.411 1	0.961 8
	SF20	1.284 4	8.129 6	0.976 1

3.3 SFLWC 抗冲击性能的 $P-V_f - \lg N$ 曲线

根据式(2)和(7)可以得出不同钢纤维体积掺量的轻骨料混凝土在不同分布情况下相应失效概率的抗冲击次数 (N_1 、 N_2)。

对数正态分布：

$$N = \exp \left(\frac{u_p + \beta_1}{\alpha_1} \right)$$

(8)

威布尔分布：

$$N = \exp \left(\frac{\ln (-\ln P) + \beta_2}{\alpha_2} \right)$$

(9)

式中： α_i 、 β_i 可以从表 5、6 分别得到。根据式(8)、(9)计算不同失效概率下的抗冲击性能指标，列入表 7。

根据表 7 的数据，绘出钢纤维轻骨料混凝土抗冲击性能的 $P-V_f - \lg N_1$ 曲线如图 6、7 所示。从图中可以看出，在不同失效概率下，钢纤维轻骨料混凝土初裂冲击次数与钢纤维体积掺量大致呈二次曲线关系。对曲线进行拟合可得

$$\lg N_1 = mV_f^2 - nV_f + l$$

(10)

表 7 钢纤维轻骨料混凝土不同分布情况相应失效概率的抗冲击次数

Tab.7 Impact resistance times of SFLWC for different probabilities of failure

抗冲击 次数	失效概率	正态分布					威布尔分布				
		SF00	SF05	SF10	SF15	SF20	SF00	SF05	SF10	SF15	SF20
N_1	0.05	4	1	9	52	387	2	1	4	32	294
	0.10	8	3	14	82	524	6	2	10	68	473
	0.15	12	6	20	112	640	11	5	17	107	631
	0.20	17	9	26	145	756	18	9	25	149	778
	0.25	23	13	33	179	867	26	15	34	195	920
	0.30	30	18	40	217	983	35	23	44	244	1 060
N_2	0.05	8	5	33	193	919	4	2	20	132	767
	0.10	14	10	53	285	1 100	11	7	43	246	1 023
	0.15	23	15	72	367	1 239	18	13	68	357	1 216
	0.20	27	21	93	455	1 367	27	21	96	470	1 380
	0.25	34	29	116	542	1 483	37	31	126	585	1 527
	0.30	43	38	140	636	1 598	49	43	158	704	1 664

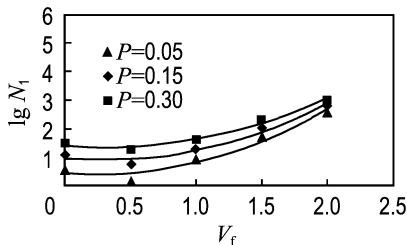


图 6 对数正态分布的 $P-V_f$ - $\lg N_1$ 曲线
Fig.6 $P-V_f$ - $\lg N_1$ curves in log-normal distribution

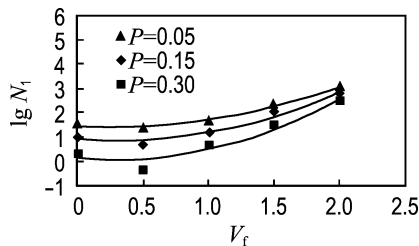


图 7 威布尔分布的 $P-V_f$ - $\lg N_1$ 曲线
Fig.7 $P-V_f$ - $\lg N_1$ curves in Weibull distribution

4 结 论

(1)钢纤维的体积掺量为 1.5%和 2.0%时,其平均抗冲击初裂次数和平均破坏次数分别为普通轻骨料混凝土的 4.0、8.5 和 10、13 倍,钢纤维的掺量为 0.5%和 1.0%时,其抗冲击性能也有不同程度的提高,说明钢纤维的掺入可以提高轻骨料混凝土的抗冲击性能,而且钢纤维的体积掺量越多,提高效果越明显。

(2)当钢纤维体积掺量为 0.5%和 1.0%时,钢纤维轻骨料混凝土抗冲击试验数据的变异系数较普通轻骨料混凝土大;当钢纤维体积掺量为 1.5%和 2.0%时,变异系数呈下降趋势.这与低掺量的钢纤维在轻骨料混凝土中分布不均匀有重要关系。

(3)用对数正态分布和两参数威布尔分布对钢纤维轻骨料混凝土的抗冲击试验数据进行拟合,线性回归后,都具有较高的相关系数,说明采用对数正态分布和两参数威布尔分布都能很好地描述钢纤维轻骨料混凝土的抗冲击性能。

(4)在不同失效概率下,钢纤维轻骨料混凝土抗冲击性能与钢纤维掺量大致呈二次曲线关系,其抗冲击性能可以通过 $P-V_f$ - $\lg N$ 曲线进行检验和预测。

参考文献:

[1] 龚洛书,柳春圃. 轻集料混凝土[M]. 北京:中国铁道出版社,1996

[2] 王立成,刘汉勇,HIWADA K. 硅灰对轻骨料混凝土抗海水冻融性能的影响[J]. 建筑材料学报,2005, 8(4):349-355

[3] HAQUE M N, AL-KHAIAT H, KAYALI O. Strength and durability of lightweight concrete [J]. Cement and Concrete Composites, 2004, 26(4): 307-314

[4] ZHANG M H, GJØRV O E. Mechanical properties

of high-strength lightweight concrete [J]. **ACI Materials Journal**, 1991, **88**(3):240-247

[5] 曾志兴,胡云昌. 钢纤维轻骨料混凝土力学性能的试验研究[J]. 建筑结构学报, 2003, **24**(5):78-81

[6] 朱亚菲,高建明,王 边. 钢纤维高强轻集料混凝土的试验研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2001, **27**(5):38-40

[7] KAYALI O, HAQUE M N, ZHU B. Some characteristics of high strength fiber reinforced lightweight aggregate concrete [J]. **Cement and Concrete Composites**, 2003, **25**(2):207-213

[8] ACI Committee 544. Measurement of properties of fiber reinforced concrete [J]. **ACI Materials Journal**, 1988, **85**(6):583-593

[9] NATARAJA M C, DHANG N, GUPTA A P. Statistical variations in impact resistance of steel fiber-reinforced concrete subjected to drop weight test [J]. **Cement and Concrete Research**, 1999, **29**(7):989-995

[10] SONG P S, HWANG S, SHEU B C. Statistical evaluation for impact resistance of steel-fiber-reinforced concretes [J]. **Magazine of Concrete Research**, 2004, **56**(8):437-442

[11] 贡金鑫. 工程结构可靠度计算方法[M]. 大连:大连理工大学出版社, 2003

[12] 方开泰,许建伦. 统计分布[M]. 北京:科学出版社, 1987

[13] 陈应波,卢哲安,黄 达. 层布式钢纤维混凝土疲劳寿命的概率分布拟合[J]. 武汉理工大学学报, 2002, **24**(12):33-36

[14] 陈应波,卢哲安,张全林. 层布式钢纤维混凝土路面板弯曲疲劳性能研究[J]. 武汉大学学报(工学版), 2004, **37**(4):40-44

[15] SINGH S P, KAUSHIK S K. Flexural fatigue life distributions and fatigue probability of steel fibrous concrete [J]. **ACI Materials Journal**, 2000, **97**(5):658-667

Experimental study and statistical evaluation for impact resistance of steel fiber reinforced lightweight aggregate concrete

WANG Li-cheng*, WANG Hai-tao, LIU Han-yong

(State Key Laboratory of Coastal and Offshore Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: The impact resistance of steel fiber reinforced lightweight aggregate concrete (SFLWC) was presented in a drop-weight test. In this test, 5 groups of discal specimens with different steel fiber volume fractions including 0, 0.5%, 1.0%, 1.5% and 2.0% were tested. The experimental results indicate that the impact resistance of lightweight aggregate concrete is improved with the increase in fiber volume fraction. As the variation in experimental results, a statistical evaluation was performed to study the influence of impact resistance of SFLWC with different steel fiber volume fractions. Furthermore, the impact resistance was simulated with probability distribution by log-normal distribution and two-parameters Weibull distribution, respectively. And the goodnees-of-fit tests indicate that the log-normal distribution and Weibull distribution both have good fitness to the impact resistance of steel fiber reinforced lightweight aggregate concrete. Lastly, the impact resistance formulas for SFLWC with each steel fiber addition are developed to facilitate the application.

Key words: steel fiber reinforced lightweight aggregate concrete; drop-weight test; impact resistance; statistical evaluation