

文章编号: 1000-5013(2009)02-0208-03

# 钢纤维陶粒轻骨料混凝土受拉性能试验

曾志兴<sup>1</sup>, 宋小雷<sup>2</sup>, 孙艳秋<sup>1</sup>

(1. 华侨大学 土木工程学院, 福建 泉州 362021;  
2. 江苏省建筑工程质量检测中心有限公司, 江苏 南京 210008)

**摘要:** 采用工程中常用的陶粒作为轻骨料, 制成界面粘结强度较高的陶粒轻骨料混凝土, 研究不同钢纤维掺量的钢纤维轻骨料混凝土的受拉性能。根据试验数据得出钢纤维轻骨料混凝土立方体劈拉强度随钢纤维体积率变化的规律, 拟合出其劈拉强度与立方体抗压强度的关系式。试验结果表明, 其抗拉强度提高幅度较大。当钢纤维体积率为 2.5% 时, 试件的劈拉强度和抗折强度值分别提高 55.9% 和 77.31%, 钢纤维轻骨料混凝土的拉压比也随着钢纤维体积率的增加而增大。

**关键词:** 钢纤维轻骨料混凝土; 劈拉强度; 抗折强度; 钢纤维体积率

**中图分类号:** TU 528.570.2+6

**文献标识码:** A

随着人类发展的需要和建筑技术的提高, 以及环境保护和节约能源的要求, 混凝土正朝着轻质高强、高耐久性、节能环保等多功能的方向发展。轻骨料混凝土以其质量轻、保温性、耐火性、抗震性及综合经济效益好等优势, 得到了国内外的广泛应用和系统研究<sup>[1-2]</sup>。但轻骨料混凝土也由于其轻质面临着强度有限、隔声效果较差及施工不便等诸多问题。这些问题使得工程师倾向于认为, 它只能在特殊条件下使用。在轻骨料混凝土中掺入乱向分布的短钢纤维, 配制成了一种新型的多相材料复合的钢纤维轻骨料混凝土。它集中了钢纤维混凝土<sup>[3-4]</sup>和轻骨料混凝土各自的优点, 在不同层次和受荷阶段充分发挥其“混杂效应”来增强和改善混凝土, 很大程度上弥补了普通混凝土存在的抗拉强度低和自重较大等方面的不足。目前, 国内外对钢纤维轻骨料混凝土的研究还比较少。本文通过立方体劈裂抗拉强度试验和短梁弯曲抗折强度试验, 对钢纤维轻骨料混凝土的受拉性能进行了试验研究。

## 1 试验概况

抗拉强度和变形直接影响钢筋混凝土结构的承载力, 普通混凝土的抗拉强度比抗压强度小很多, 其结构往往由于抗拉强度不足而被破坏。保持配合比和钢纤维的几何参数不变, 主要以钢纤维体积率( $\rho$ )为参数, 进行立方体劈拉强度( $f_t$ )及标准试件抗折强度( $f_m$ )试验<sup>[5]</sup>。

采用 P. O42.5R 型矿渣硅酸盐水泥; 细骨料为中砂, 细度模数为 2.9; 钢纤维为波浪型, 长度为 30 mm, 等效直径为 0.5 mm, 抗拉强度大于 600 MPa; 轻骨料采用福建泉州市三角洲陶粒有限公司生产的粘土陶粒, 筒压强度为 8.5 MPa, 1 h 吸水率为 10.72%; 调整后, 采用的基体混凝土材料, 其 1 m<sup>3</sup> 的用量包括水泥 380 kg, 水 233.2 kg, 砂 810 kg, 陶粒 590 kg。

1 m<sup>3</sup> 的钢纤维轻骨料混凝土中, 钢纤维体积率与钢纤维掺量( $m_1$ )和减水剂用量( $m_2$ )的关系, 如表 1 所示。当钢纤维体积率为 0.5% 时, 钢纤维掺量为 39 kg, 然后, 依次成倍递增。搅拌时, 先将陶粒、砂和水泥按量放入搅拌机搅拌, 同时将钢纤维均匀撒入, 待各种材料均匀混合后, 再加水搅

表 1 1 m<sup>3</sup> 钢纤维轻骨料混凝土用量

Tab. 1 The amount of steel fiber and water reducer

$\rho/\%$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
$m_1/\text{kg}$	39	78	117	156	195
$m_2/\text{kg}$	0	1.90	3.80	4.56	5.32

收稿日期: 2008-04-02

通信作者: 曾志兴(1962-), 男, 教授, 主要从事结构工程的研究。E-mail: zhixing@hqu.edu.cn.

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目(E0740009)

拌制成钢纤维陶粒轻骨料混凝土. 每改变一种钢纤维体积率, 由实际情况相应增大实际减水剂的用量, 增加标准以使坍落度大于等于 3 cm.

## 2 立方体劈裂抗拉试验

### 2.1 劈拉试验结果

根据钢纤维体积率的不同, 以 18 个尺寸为 150 mm × 150 mm × 150 mm 的标准立方体做试件, 在 200 t 液压式压力试验机上进行立方体劈拉强度( $f_{t,i}$ ) 试验. 测试为每 3 个一组, 取其平均值. 钢纤维轻骨料混凝土立方体试件的劈裂抗拉强度 $f_{t,i}^{[6]}$ 为

$$f_{t,i} = \frac{2F_{\max}}{\pi A} = 0.637 \frac{F_{\max}}{A}. \quad (1)$$

式(1)中,  $F_{\max}$ 为破坏荷载(N),  $A$ 为劈裂面面积. 试验所得立方体劈裂抗拉强度 $f_{t,e}$ , 如表 2 所示. 从表 2 可以看出, 当钢纤维体积率从 0.5% 增加到 2.5% 时, 与轻骨料混凝土( $\varphi=0\%$ ) 相比, 其劈拉强度值的提高率( $\eta$ )从 10.38% 提高到 77.31%, 两者近似为直线关系. 经分析拟合, 可得劈拉强度值与钢纤维体积率的关系式为

$$f_{t,i} = 77.086\varphi + 2.5748. \quad (2)$$

### 2.2 立方体劈拉强度和抗压强度的关系

根据所测得立方体劈拉强度( $f_{t,e}$ ) 和前期得到的抗压强度试验值( $f_{c,u}$ ), 计算出不同钢纤维体积率时钢纤维轻骨料混凝土的拉压强度比, 如表 2 所示. 从表 2 可知, 钢纤维轻骨料混凝土的拉压比随钢纤维体积率的增大而提高. 当钢纤维体积率从 0.5% 增加到 2.5% 时, 拉压强度比从 1/8.52 变化到 1/12.83. 结果反映了加入钢纤维后, 在增强混凝土抗压强度的同时, 劈拉强度的提高幅度更大. 钢纤维的加入大大改善了轻骨料混凝土的脆性性能. 采用最小二乘法, 由试验数据回归, 得到两者关系的经验公式为

$$f_{t,e} = 1.60 \times 10^{-4} f_{c,u}^{2.75}. \quad (3)$$

由上式算出的函数值与实测的 $f_{t,e}$ 有一定的偏差, 但可以用来近似表示二者之间的关系. 由经验公式得到的计算值( $f_{t,e}$ ), 如表 2 所示.

## 3 短梁抗折强度试验

根据钢纤维体积率的不同, 以 18 个尺寸为 150 mm × 150 mm × 550 mm 的小梁为标准试件, 在 200 t 液压式压力试验机上进行抗折强度( $f_{m,e}$ ) 试验. 测试量程为 500 kN, 采用三分点对称加载方式, 每 3 个一组, 取其平均值. 为了得到实测试件的荷载-挠度曲线, 在梁跨中布置位移传感器, 由 DH3816 型静态应变测试系统记录荷载和位移, 由此绘出荷载-位移曲线.

假定截面应力为线性分布, 由材料力学可以导出, 矩形截面梁弯曲抗拉强度 $f_m^{[6]}$ 为

$$f_m = \frac{P_{\max}}{bh^2}. \quad (4)$$

式(4)中,  $f_m$ 为钢纤维轻骨料混凝土的抗折强度(MPa),  $P_{\max}$ 为最大荷载(N),  $l$ 为支座间距(mm),  $b$ 为试件截面宽度(mm),  $h$ 为试件截面高度(mm). 表 3 为试验所得各体积率的钢纤维轻骨料混凝土的抗折强度平均值( $f_{m,e}$ ). 由表 3 可以看出, 随着钢纤维体积率的增加, 试件的抗折强度不断提高, 充分发挥了乱向分布的钢纤维抗拉性能好的优势. 当钢纤维体积率为 0.5% 和 2.5% 时, 抗折强度分别增

表 2 立方体试块劈裂抗拉强度试验结果

Tab. 2 Experimental results of cube splitting-tensile strength

$\varphi / \%$	$f_{t,e} / \text{MPa}$	$\eta / \%$	$f_{t,e} / \text{MPa}$	$f_{c,u}$	$f_{t,e} / f_{c,u}$
0	2.60	0	2.47	33.36	1/12.83
0.5	2.87	10.38	3.12	36.73	1/12.80
1.0	3.25	25.00	3.36	38.49	1/11.84
1.5	4.20	64.54	3.03	35.93	1/8.55
2.0	3.70	42.31	3.67	37.94	1/10.25
2.5	4.61	77.31	4.58	40.72	1/11.32

表 3 抗折强度试验结果

Tab. 3 Experimental results of flexural strength

$\varphi / \%$	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
$f_{m,e} / \text{MPa}$	4.27	5.04	5.36	5.18	6.29	6.66
$\eta / \%$	0	18.30	25.53	21.31	47.31	55.97

长 18.03% 和 55.97%。各种钢纤维体积率的钢纤维轻骨料混凝土试验梁的荷载-位移( $P-\Delta$ )曲线,如图 1 所示。

从图 1 可以看出,未掺钢纤维时,荷载-挠度曲线只有上升段,初裂强度即是抗折极限强度,表现为一裂即坏。当钢纤维体积率越大时,其荷载-位移曲线的上升段曲线的斜率总体趋势是越大,反映了钢纤维在复合材料开裂前的阻裂作用。由于钢纤维对混凝土基体有裂前和裂后的双重阻裂效应,从而抗折极限强度比抗折初裂强度有更大幅度的提高。

## 4 结束语

分析钢纤维体积率的变化对钢纤维轻骨料混凝土受拉性能的影响,给出相应的计算表达式,以利于其在工程实践中的推广和应用。试验结果表明,采用轻骨料和加入钢纤维后,混凝土的抗拉和弹塑性变形性能得到了明显的改善,可以为这种新型建筑材料的工程应用及其他研究提供参考。

### 参考文献:

- [1] 杨秋玲,马可栓.轻骨料混凝土的现状与发展[J].铁道建筑,2006(6):104-106.
- [2] 向晓峰,郭志昆,刘峰,等.高强轻骨料混凝土的应用与研究现状[J].工业建筑,2005,35(S1):645-650.
- [3] 杨勇,任青文,王山山.钢纤维混凝土力学性能试验研究[J].河海大学学报:自然科学版,2006,34(1):92-94.
- [4] 张敏,刘永胜.低温钢纤维混凝土的力学性能及强度机理[J].西部探矿工程,2004(6):49-50.
- [5] 中华建筑科学研究院.GB/T 50081-2002 普通混凝土力学性能试验方法标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [6] 哈尔滨建筑工程学院.CECS 13:89 钢纤维混凝土试验方法[S].北京:中国工程建设标准化协会,1989.

## Experimental Investigation on Tensile Behaviors of Steel Fiber Reinforced Lightweight Ceramisite Concrete

ZENG Zhixing<sup>1</sup>, SONG Xiaolei<sup>2</sup>, SUN Yanqiu<sup>1</sup>

(1. College of Civil Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China;

2. Jiangsu Testing Center For Quality of Construction Engineering Co. Ltd., Nanjing 21000, China)

**Abstract:** The usual ceramisite is mixed into concrete as lightweight aggregate to manufacture the lightweight ceramisite concrete with high interface bond strength. The tensile properties of steel fiber reinforced lightweight aggregate concrete with the different amounts of steel fiber are tested. According to the test data, the relationship between the splitting-tensile strength of the concrete and the volume ratio of steel fiber is obtained, the formula between the splitting-tensile strength and the cube compressive strength is fitted. The experimental results indicate that the tensile property is improved obviously. When the steel fiber volume fraction is 2.5%, the splitting-tensile strength and the flexural strength increase by 55.9% and 77.31% respectively, the ration of the tensile strength to the compressive strength also increases with increasing the steel fiber volume fraction.

**Keywords:** steel fiber reinforced lightweight aggregate concrete; splitting-tensile strength; flexural strength; steel fiber volume fraction

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 方德平)

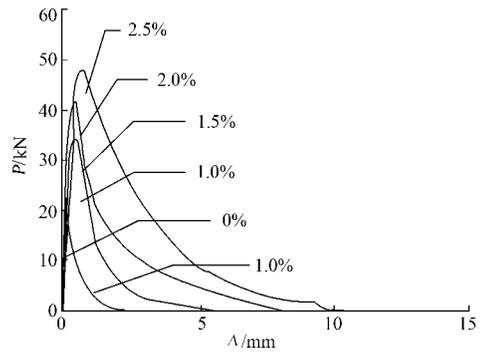


图 1 荷载-挠度关系曲线

Fig. 1 Relationship between load and deflection