

文章编号 1000-5013(2003) 04-0380-05

钢纤维轻骨料混凝土的强度和变形性能

陈莹 曾志兴

(华侨大学土木工程系, 福建 泉州 362011)

摘要 采用人造膨胀珍珠岩作粗骨料, 同时掺入随机乱向分布的短钢纤维, 配制成一种新型的多相材料复合的混凝土——钢纤维轻骨料混凝土. 对新型混凝土材料进行立方体抗压强度、劈拉强度、弯折强度、轴心抗压强度和弹性模量等试验, 研究其强度、变形等力学性能. 试验结果表明, 采用轻骨料和加入钢纤维后, 混凝土的强度和变形等力学性能的改善, 效果十分显著.

关键词 钢纤维轻骨料混凝土, 抗压强度, 劈拉强度, 弯折强度, 弹性模量

中图分类号 TU 377. 102 文献标识码 A

钢纤维混凝土是在普通混凝土中掺入乱向分布的短钢纤维, 形成一种性能优良且应用广泛的新型复合材料. 它在受力过程中, 由于钢纤维能限制及推迟基体混凝土裂缝的开展, 从而使原来脆性的混凝土材料呈现较高的抗裂、抗冲击和抗弯韧性等性能^[1~3]. 轻骨料混凝土是由水泥、轻粗骨料和细骨料加水配制而成的轻质混凝土, 性能与普通混凝土相比是轻质高强^[2~4]. 但是, 轻骨料混凝土抗拉、抗剪强度较低, 影响了轻骨料混凝土的广泛应用^[5]. 本文将两者结合起来, 配制成的钢纤维轻骨料混凝土, 并对其力学性能进行了试验研究. 结果发现, 这种新型混凝土同时利用两种材料的优势.

1 钢纤维轻骨料混凝土的强度

1. 1 立方体抗压强度

立方体抗压强度是混凝土最重要、最基本的力学性能指标, 常作为确定混凝土等级和其它力学性能的基本参量. 钢纤维轻骨料混凝土的立方体抗压强度试验方法与普通混凝土相同, 试件尺寸为 150 mm × 150 mm × 150 mm^[6], 共进行了 15 个试件的试验. 试验结果, 如表 1 所示.

表 1 钢纤维轻骨料混凝土强度试验数据表

$V_f/\%$	0	0.6	1.2	1.8	2.4
f_{cu}/MPa	26.3	30.0	22.4	30.7	29.5
f_{ts}/MPa	2.21	2.35	2.49	3.06	2.55
$f_{t,m}/\text{MPa}$	3.08	4.08	4.19	4.72	5.63

收稿日期 2003-03-28

作者简介 陈莹(1979-), 女, 硕士研究生, E-mail: lizzying@hqu.edu.cn

基金项目 大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室基金资助项目(LP9906) rights reserved. http://w

钢纤维轻骨料混凝土立方体试件抗压强度 f_{cu} 为^[7]

$$f_{cu} = P_{max} / A, \tag{1}$$

式中 f_{cu} 为钢纤维轻骨料混凝土立方体抗压强度, P_{max} 为破坏荷载, A 为试件承压面积. 从表可以看出, 掺入钢纤维后, 抗压强度从 26.3 MPa 提高到 30.0 MPa. 此外, 随着钢纤维体积率的增大, 钢纤维轻骨料混凝土的抗压强度还会略有提高, 但提高幅度不大. 对于钢纤维体积率较大的个别试件, 如体积率等于 2.4% 的试件, 其抗压强度反而有所降低. 这可能是由于钢纤维增多, 其比表面积增加, 因而缺乏足够的浆体包裹与充填, 使钢纤维轻骨料混凝土的密实度下降. 同时, 加入较多的钢纤维后, 有可能导致由于捣搅困难或捣搅时间稍短而出现明显的蜂窝和麻面. 因此, 随着钢纤维体积率的增加, 相应地提高混凝土基体的砂率, 并加长捣搅时间. 至于钢纤维体积率等于 1.2% 的数据不合理, 这是因为该组试块振捣不善而出现了较多的蜂窝和麻面, 造成钢纤维体积率等于 1.2% 时, 抗压强度偏低.

1.2 劈裂抗拉强度

抗拉强度是确定混凝土抗裂度的重要指标. 考虑到混凝土轴心抗拉强度试验方法困难, 试验结果离散性较大, 本次研究进行了劈拉试验. 劈拉试验可以采用受压试件进行, 试验方法简单且试验结果的离散性较小. 钢纤维轻骨料混凝土劈裂抗拉强度的试验方法与普通混凝土基本相同, 试件设计尺寸为 150 mm × 150 mm × 150 mm, 共进行 15 个试件的试验. 试验结果, 如表 1 所示. 钢纤维轻骨料混凝土立方体试件的劈裂抗拉强度^[7]为

$$f_{t,s} = 2P_{max} / PA = 0.637P_{max} / A. \tag{2}$$

在式(2)中, $f_{t,s}$ 为钢纤维轻骨料混凝土劈裂抗拉强度, P_{max} 为破坏荷载, A 为试件劈裂面面积. 从表 2 中的试验值可以说明, 加入钢纤维后的钢纤维轻骨料混凝土的劈裂抗拉强度, 较骨料混凝土有所提高. 同时, 只有在适当的钢纤维体积率内, 钢纤维轻骨料混凝土的劈裂抗拉

表 2 荷载与应变输出值

项 目	00/mV	01/mV	02/STAN	03/STAN
应力等于 0.5 MPa	31.62	18.98	+ 6	+ 71
应力等于 40% 轴压强度	408.30	173.80	+ 20	+ 75

强度才会随钢纤维体积率的增大而提高. 当钢纤维体积率等于 1.8% 时, 钢纤维轻骨料混凝土的劈拉强度达到最高值, 且增长幅度很大, 达到 22.9%. 这主要是因为钢纤维含量增加, 参与“边壁效应”的钢纤维百分比就相应提高, 抗拉强度提高得也就越快. 根据试验中得到的不同钢纤维体积率下的劈拉强度 $f_{t,s}$, 采用最小二乘法, 经回归分析, 得到体积率 V_f 与劈拉强度 $f_{t,s}$ 之间的关系式为

$$f_{t,s} = 2.25 + 0.232V_f. \tag{3}$$

由式(3)算出的函数值与实测的 $f_{t,s}$ 值有一定的偏差, 标准偏差 R 为 0.084, 而变异系数 D 为 0.033. 这表明式(3)的符合程度较好.

1.3 弯折强度

采用 150 mm × 150 mm × 550 mm 小梁作为标准试件, 进行钢纤维轻骨料混凝土弯折强度(即弯曲抗拉强度)试验, 结果如表 1 所示. 每种钢纤维体积率各做 3 个试件(小梁), 共进行 15 个试件的试验. 在试验中, 将荷载和梁中部的位移接入 X-Y 函数记录仪中. 通过输出的荷载和位移关系曲线变化, 研究随钢纤维体积率的增加, 钢纤维轻骨料混凝土的弯折强度和抗折

韧性的变化规律. X-Y 函数记录仪共输出 15 条曲线, 图 1 为经拟合分析后得到的荷载(P)与位移(S)关系曲线. 钢纤维轻骨料混凝土试件的弯折强度为^[7]

$$f_{t,m} = P_{\max} l / bh^2,$$

(4)

式中 $f_{t,m}$ 为钢纤维混凝土弯折强度, P_{\max} 为最大荷载, l 为支座间距, b 为试件截面宽度, h 为试件截面高度. 表3的数据表明, 加入钢纤维的钢纤维轻骨料混凝土, 比没有加入钢纤维的轻骨

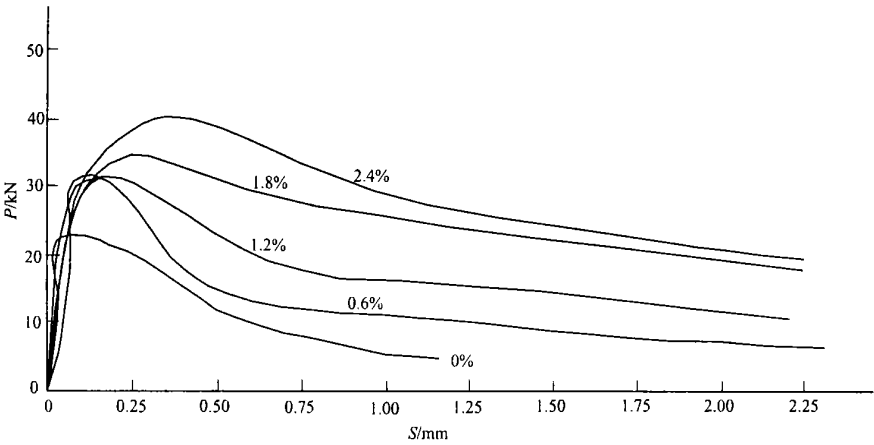


图 1 抗折试验荷载和位移关系曲线

表 3 弹性模量 E 和泊松比 T 与轴心抗压强度 f_c 试验值

E / GPa	17.0	17.6	17.3	16.3	17.3
T	0.184	0.174	0.149	0.151	0.189
V_f / (%)	0	0.6	1.2	1.8	2.4
f_c / MPa	18.7	19.5	19.7	18.3	19.9

料混凝土的弯折强度提高了许多, 而且提高幅度也随钢纤维体积率的增大而增大. 从图 1 中可以看出, 掺入钢纤维后, 混凝土的抗折韧性(延性)有了较显著的改善.

2 钢纤维轻骨料混凝土的变形

综合考虑钢纤维混凝土和轻骨料混凝土的特点, 本次试验取压应力等于轴心抗压强度 40% 时, 其加荷割线模量为钢纤维轻骨料混凝土的弹性模量. 每种钢纤维体积率各做 3 个试件, 试件设计尺寸为 100 mm × 100 mm × 300 mm. 对每个试件, 先做弹性模量测试, 然后压至破坏, 测取轴心抗压强度. 试验中利用 UCAM 数字采集器(Data Logger UCAM-10B) 采集应力(荷载)和应变(位移)数据. UCAM 系统可以同时测量试件上的 8 组试验数据, 用电学参数(如电压、电流等)从 8 个通道输出. 然后, 按事先标定的值进行换算, 即可得到所需的数据. 在弹性模量试验中, 共接入 4 条通道. 其中, 00 通道输出的电压值代表施加的荷载值, 换算关系为 1 mV = 1/6 kN. 01 通道输出的电压值代表竖向应变值, 换算关系为 1 mV = 5.0 × 10⁻⁶. 至于 02, 03 通道, 其直接输出横向应变值不需换算. 由于在试验中, 左右各贴了一片应变片, 故在计算竖向和横向应变时应除以 2, 取其平均值. 此外, 在轴心抗压强度试验中, 我们还将荷载和竖向位移接入 X-Y 函数记录仪, 以获得轴心抗压的荷载-位移关系曲线. 钢纤维轻骨料混凝土

试件的(静力受压)弹性模量为^[7]

$$E = R/E \tag{5}$$

取钢纤维体积率等于 1.8% 时的一个试件输出值计算. 当其应力等于 0.5 MPa 并等于 40% 轴心抗压强度时, UCAM 的输出值, 如表 2 所示. 其荷载 $P = (408.3 - 31.62)/6 = 62.78$ (kN), 应力 $R = P/A = 6.278$ (MPa); 竖向应变 $E = (173.8 - 18.98) \times 5/2 = 3.8705 \times 10^{-4}$, 横向应变 $E = (71 + 75 - 6 - 20)/2 = 6.0 \times 10^{-5}$, 则 $E = R/E = 6.278/(378.05 \times 10^{-6}) = 1.62 \times 10^4$ (MPa), $T = E/E = 0.155$. 钢纤维轻骨料混凝土在不同钢纤维体积率下, 其弹性模量 E 和泊松比 T 试验值, 如表 3 所示. 从表 3 的数据可以看出, 钢纤维体积率的变化对轻骨料混凝土的弹性模量并无大的影响. 但总的来说, 钢纤维轻骨料混凝土的弹性模量比普通混凝土的弹性模量小很多. 钢纤维轻骨料混凝土试件的轴心抗压强度为^[7]

$$f_c = P_{\max}/A. \tag{6}$$

在式(6)中, f_c 为钢纤维轻骨料混凝土轴心抗压强度, P_{\max} 为破坏荷载, A 为试件承压面积. 由于本次试验采用的试件尺寸为 100 mm × 100 mm × 300 mm, 所以测得的轴心抗压强度值应乘以尺寸换算系数 0.9^[8]. 轴心抗压强度试验值, 如表 3 所示. 图 2 为经过拟合分析 X-Y 函数记录仪输出的 15 条曲线后, 所得到的轴心抗压荷载和位移关系曲线. 从表 3 和图 2 中可以知道,

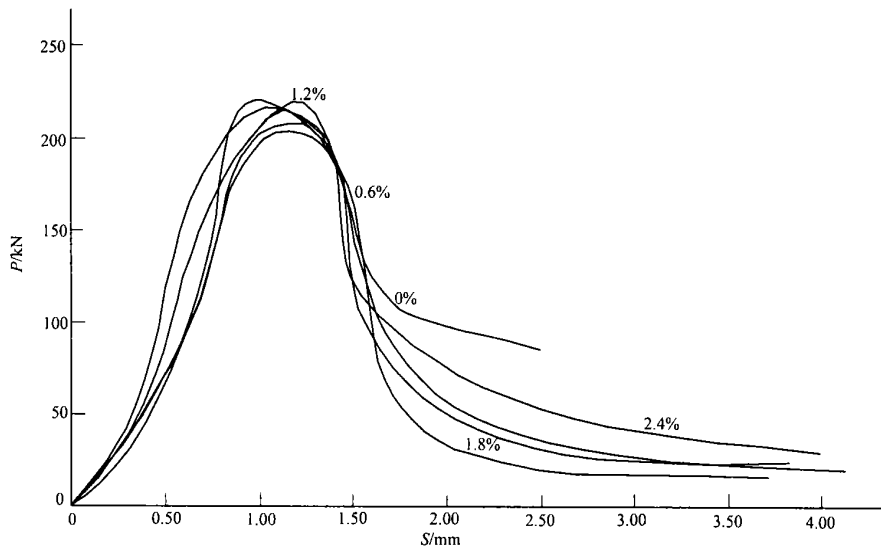


图 2 轴压试验荷载和位移关系曲线

钢纤维的加入在一定程度上提高了轴心抗压强度, 只是随钢纤维体积率的增加, 轴压强度提高得并不多. 至于钢纤维体积率等于 1.8% 时, 其所出现的过低的轴压强度, 是由于振捣不善而使得混凝土试件出现过多的蜂窝和麻面造成的. 根据立方抗压强度 f_{cu} 和轴心抗压强度 f_c 试验所得的数据, 采用最小二乘法, 可以得出两者平均值的关系式为

$$f_c = 0.73f_{cu}. \tag{7}$$

这个比值低于钢纤维混凝土和轻骨料混凝土, 但与普通混凝土相近. 取表 1 和表 3 中的数据进行验算, 得出标准偏差 R 为 0.768, 变异系数 D 为 0.04. 这说明式(7)与试验结果较为吻合.

3 结束语

本试验着重研究了钢纤维轻骨料混凝土中, 钢纤维体积率对其力学性能的影响, 得出了 4 点结论。(1) 在轻骨料混凝土中掺入钢纤维, 可以有效地提高基体混凝土的抗拉强度、抗折强度及抗裂强度。(2) 虽然钢纤维的加入对抗压强度的提高没有太大帮助, 但加入钢纤维后, 混凝土的延性大大提高。因此, 试件在破坏时吸收了较多的能量, 钢纤维轻骨料混凝土的抗压韧性有很大改善。(3) 钢纤维轻骨料混凝土的弹性模量比普通混凝土低, 这虽然意味着发生变形的可能性略大, 但是在地震情况下却不容易遭受外力破坏。(4) 由于条件所限, 还有一些力学性能指标, 如抗剪强度等未进行研究。为了深入了解钢纤维轻骨料混凝土的力学性能, 还需要进行更多系统的试验。

参 考 文 献

- 1 赵国藩, 彭少民, 黄承逵等. 钢纤维混凝土结构[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999. 2~3
- 2 张晓峰. 钢纤维对轻骨料混凝土剪力墙抗震性能的影响[J]. 建筑技术开发, 1998, 25(6): 32~35
- 3 曾志兴. 钢纤维混凝土裂缝的分析与计算[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 1998, 19(3): 280~283
- 4 邓宗才. 轻骨料高强度钢纤维混凝土的力学特性[J]. 山东建材学院学报, 1997, 11(1): 57~58
- 5 苑金生. 轻骨料混凝土的应用及效益分析[J]. 云南建材, 1996, (1): 29~30
- 6 城乡建设环境保护部编. GBJ 81-85 普通混凝土力学性能试验方法[S]. 北京: 中国计划出版社, 1986. 8~22
- 7 哈尔滨建筑工程学院, 大连理工大学编. CECS 13 89 钢纤维混凝土试验方法[S]. 北京: 中国计划出版社, 1990. 28~42

Strength and Deformation as Mechanical Performance of Steel Fiber Light Aggregate Concrete

Chen Ying Zeng Zhixing

(Dept. of Civil Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou, China)

Abstract A new multiphase material composite concrete is prepared by adopting artificial expanded perlite as coarse aggregate and mixing into it the randomly distributed steel fibers simultaneously. Strength and deformation as mechanical performance of this new concrete material are studied by the tests of cube compressive strength, split and tensile strength, buckling strength, axis compressive strength, and modulus of elasticity. Strength and deformation as mechanical performance of concrete improved significantly after adopting light aggregate and adding steel fibres, as shown by results of tests.

Keywords steel fibre light aggregate concrete, compressive strength, split and tensile strength, buckling strength, modulus of elasticity