

轻骨料碳纤维混凝土受压应力应变关系试验研究

杨雨山,石建军,冯春林

(南华大学 设计与艺术学院,湖南 衡阳 421001)

摘 要:通过轻骨料碳纤维混凝土抗压强度试验,得出非标准圆柱体和立方体两种尺寸间强度的换算公式,并利用该公式,对强度数据进行换算后重新拟合,得出了轻骨料碳纤维混凝土的应力应变曲线,为研究轻骨料碳纤维混凝土构件试验提供了依据。

关键词:RMT;尺寸效应;应力应变关系曲线

中图分类号:TD235

文献标识码:B

Experimental Study on Stress - strain Relationship of Carbon Fiber Reinforced Light Concrete

YANG Yu-shan, SHI Jian-jun, FENG Chun-lin

(Design and Arts School, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: We concluded a formula used to converse abnormal cylindrical specimen's strength into normal's by carbon fiber reinforced light concrete compressive strength test. Then, using the formula, we re - fitted the strength date after conversion, and obtained stress - strain relationship curve of carbon fiber reinforced light concrete. This curve provided a basic foundation to carbon fiber reinforced light concrete component test.

Key words: RMT; size effect; stress - strain relationship curve

1 试验概况

轻骨料混凝土和碳纤维混凝土已经在实际工程应用中,具备各自的优点^[1-2],结合两种高性能混凝土优点的轻骨料碳纤维混凝土是否能达到预期的应用效果,需要进行更深入的研究^[3-4]。

轻骨料碳纤维混凝土应力应变关系试验研究所选取的试件立方体共计 45 个,尺寸为 150 mm × 150 mm × 150 mm;与之对应的圆柱体试件 45 个,尺寸 $\Phi 70$ mm × 140 mm。

试验主要设备采用 RMT 岩石力学试验机,在 RMT 试验机上进行单轴抗压试验时采用 $\Phi 70$ mm ×

140 mm 非标准圆柱体试件,由于混凝土的级配,试件的形状和高径比都对混凝土的测试强度有影响,因此,RMT 试验机测定的圆柱体试件的抗压强度与混凝土上的内在真实强度并非一致,所以同时也测定了同环境中配制的同配合比标准立方体试件抗压强度,通过对两种不同尺寸试件极限强度比值的比较分析,确定两者强度之间的关系^[5]。

2 轻骨料碳纤维混凝土尺寸系数

试验测得两种不同尺寸的混凝土平均抗压强度整理如下表 1。

收稿日期:2008-11-22

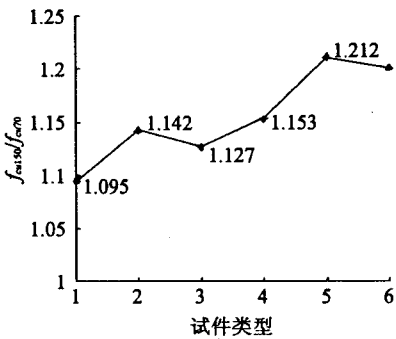
作者简介:杨雨山(1982-),男,湖南常德人,南华大学设计与艺术学院助教,硕士。主要研究方向:高性能混凝土。

表 1 各种混凝土圆柱体试件在 RMT 测得的平均强度
Table 1 Various cylindrical specimen's average strength tested by RMT

强度	混凝土类别					
	TLC30	TLCC25	TLCC30	TLCC40	KLCC30	SLCC30
$f_{cu,\Phi70}/(\text{MPa})$	28.76	29.16	30.8	34.7	20.8	37.5
$f_{cu,150}/(\text{MPa})$	31.5	33.3	34.7	40.0	25.2	45.0

注:TLC 为圆球陶粒轻骨料混凝土;TLCC 为圆球陶粒轻骨料碳纤维混凝土;
KLCC 为矿渣轻骨料碳纤维混凝土;SLCC 为碎石陶粒轻骨料碳纤维混凝土。

从表 1 可以看出非标准试件与标准立方体试件测试的强度存在相关性,两种尺寸各种不同配合比的混凝土试件强度比值如图 1 所示。



注:其中 X 轴坐标表示试件类型,1~6 分别为 TLC30, TLCC25, TLCC30, TLCC40, KLCC30, SLCC30。

图 1 标准立方体试件与非标准试件强度比
Fig. 1 Strength ratio between cylindrical specimen and cube specimen

从图中可以看出,虽然不同骨料类型、不同配合比的混凝土试件标准立方体试件与非标准试件强度比值不一致,但它们的比值波动范围较小,区域在 1.095~1.212 之间,在这个范围内取一个平均值 1.15,规定它为 150 mm×150 mm×150 mm 标准试件与 Φ70 mm×140 mm 试件的尺寸系数,可得出下式:

f_{cu,150} = 1.15 \times f_{cu,\Phi70} \tag{1}

3 轻骨料碳纤维混凝土应力-应变关系曲线

3.1 非标准圆柱体试件本构曲线

用 Φ 70 mm×140 mm 试件进行单轴抗压试验,可直接由 RMT-150B 力学系统得到其荷载-轴向变形曲线,荷载-横向变形曲线,应力-轴向应变曲线,应力-横向应变曲线及由荷载控制的原始数据组(P_{max}/0.25 组)。如图 2 所示。

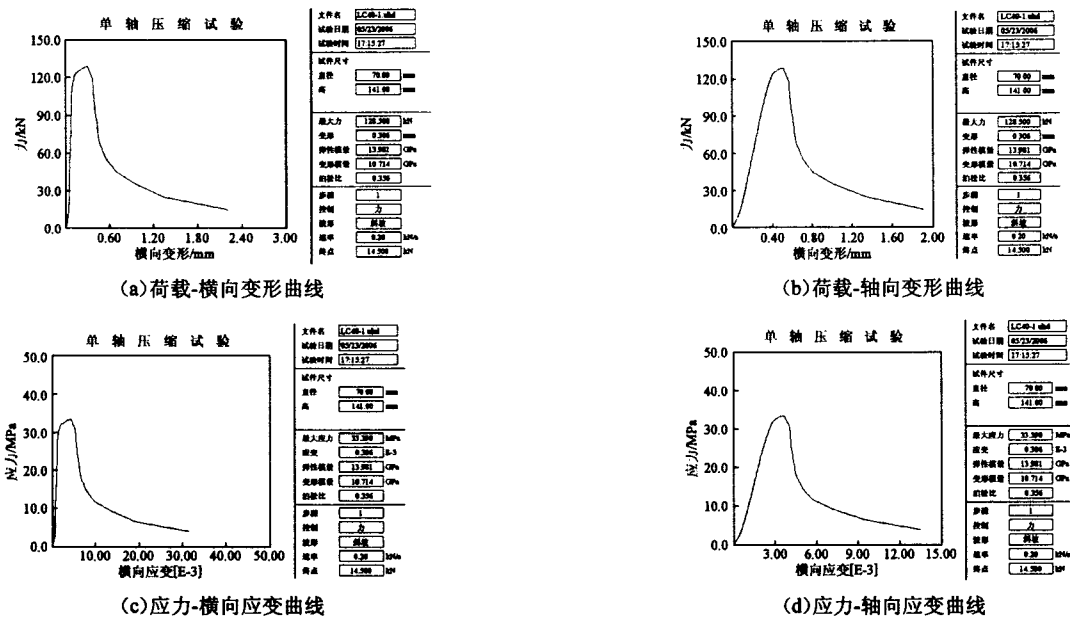


图 2 RMT-150B 力学系统生成的荷载-位移曲线、应力-应变曲线图
Fig. 2 Load-displacement curve and Stress-strain relationship curve generated by RMT

1) 不同种类的轻骨料碳纤维混凝土应力 - 应变关系全曲线如图 3 所示

由图 3 可以看出,用预湿后密度最大的碎石陶粒做骨料的 SLCC30 具有最大峰值应力和最小的轴向应变,用密度最小的矿渣为骨料的 KLCC30 峰值应力最小且轴向应变最大.说明在对轻骨料进行预湿处理后,骨料的强度对混凝土抗压强度的大小有较大影响.

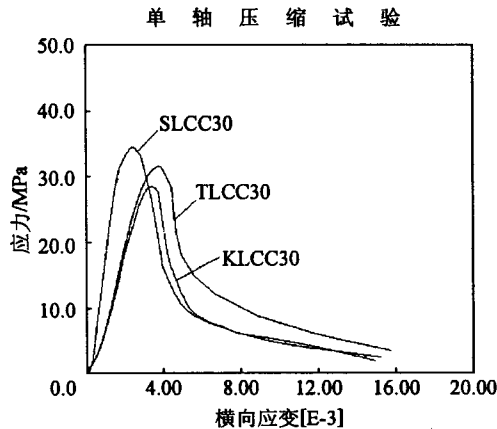


图 3 不同骨料类型的轻骨料碳纤维混凝土

应力 - 应变关系全曲线

Fig. 3 Stress - strain relationship curve of CFRLC with different aggregates

当压载造成试件破坏时,处在最大剪应力面的骨料会沿该面断裂,从破坏断面来观察,SLCC30 的断面比其他两种类型骨料平整,其多边形骨料与水泥浆的黏结更紧密,试件破坏后骨料不会脱离水泥砂浆基体,而 TLCC30 有较多骨料脱离现象;KLCC30 的骨料多伴随粉碎型破坏现象,其内部结构也比前两种骨料更加稀松.

2) 不同强度等级的轻骨料碳纤维混凝土应力 - 应变关系全曲线如图 4 所示

由图 4 可以看出,随着轻骨料碳纤维混凝土强度等级的提高,其应力 - 应变曲线上上升段长度随之增长,下降段随之变陡.说明了轻骨料碳纤维混凝土极限应变和弹性模量都在增大,其韧性逐步增大,而收缩变形能力逐步减弱.

3) 综合分析

由以上各组试件应力 - 应变曲线可知,当压应力小于抗压强度的 70% 时,应力应变关系呈线性递增,当应力为 $0.7 \sim 1.0\sigma_{\max}$ 时,应力 - 应变关系开始非线性递增,一旦超过破坏强度很快发生破坏.由于界面裂缝在混凝土承受荷载前就已经存在,称之为初始界面裂缝,当混凝土压应力较小

时,初始界面裂缝没有增加多少,可以忽略不计,这时应力 - 应变曲线处于直线上升阶段;当压应力超过某一值时,界面裂缝的长度,宽度和数量随着应力的增加而增加,应变的增长速率超过应力的增长速率,应力应变呈非线性关系.

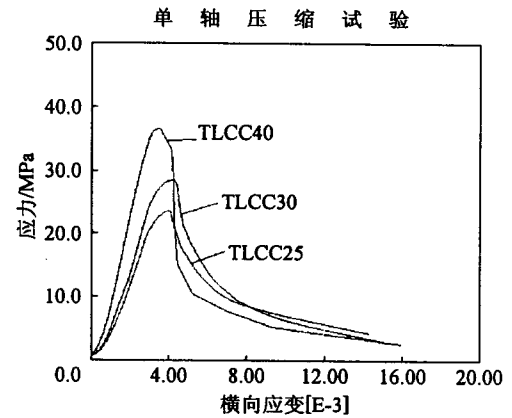


图 4 不同强度等级的轻骨料碳纤维混凝土

应力 - 应变关系全曲线

Fig. 4 Stress - strain relationship curve of CFRLC with different strength degree

与相同等级的轻骨料混凝土相比,碳纤维轻骨料混凝土的应力 - 应变关系曲线直线段要长.由于碳纤维轻骨料混凝土含有碳纤维,可生成典型的致密结构,其扩展到骨料表面,大大地消除了过渡区的不均衡性,改善了混凝土结构,使得轻骨料碳纤维混凝土的界面黏结强度有所提高,从而有效的提高了混凝土的韧性^[6],如图 5 所示.

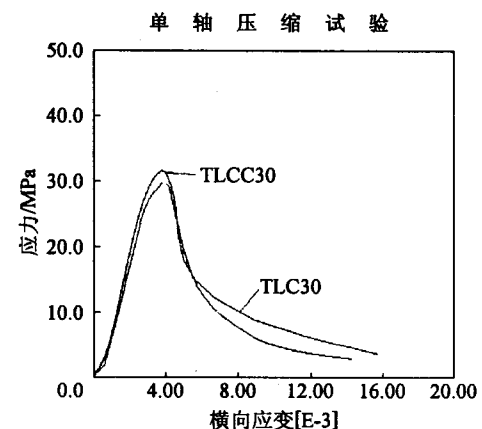


图 5 碳纤维对应力 - 应变的影响

Fig. 5 Carbon fiber's influence on stress - strain relationship curve

碳纤维的加入,使曲线下降段更加平缓规则,更具有延展性,说明了轻骨料碳纤维混凝土的压缩变形能力有所增强.

RMT 机直接得出的应力应变曲线,特别是上升段的曲线比较符合混凝土受压应力应变曲线规律,说明用 RMT 试验机进行混凝土应力应变曲线的试验方法简单易行,可靠。

3.2 轻骨料碳纤维混凝土应力 - 应变曲线

根据试验设想,将 RMT 测得强度原始数据按尺寸效应公式进行换算,因为荷载控制的数据组有 $P_{\max}/0.25$ 组,结合混凝土应力 - 应变关系曲线的发展特征,以每级荷载 0.75 kN 平均选取曲线上上升段荷载 - 位移数据,分别对原数据和换算数据进行拟合:

利用 MATLAB 7.0 对数据进行 3 次多项式拟合,选取应变为自变量,应力为因变量,从一组数据实验数据($\sigma_c - \varepsilon$)中寻找他们之间的函数关系。

TLCC25 非标准试件拟合方程为:

$$\sigma = -1.5045\varepsilon^3 + 7.7107\varepsilon^2 - 0.4767\varepsilon + 0.4274 \quad (2)$$

TLCC25 立方体试件拟合方程为:

$$\sigma = -1.7302\varepsilon^3 + 8.8673\varepsilon^2 - 0.5482\varepsilon + 0.4915 \quad (3)$$

拟合曲线如图 6。

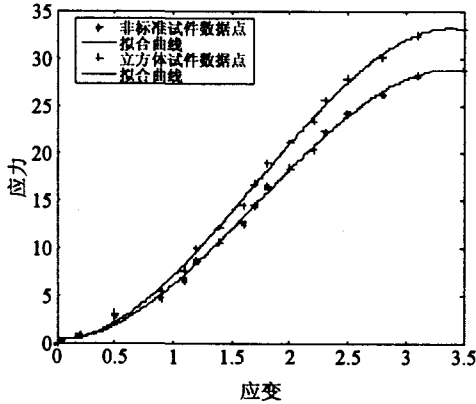


图 6 TLCC25 应力 - 应变拟合曲线

Fig. 6 The fitted curve of TLCC25

TLCC30 非标准试件拟合方程为:

$$\sigma = -1.3849\varepsilon^3 + 7.0281\varepsilon^2 - 1.0101\varepsilon + 0.2425 \quad (4)$$

TLCC30 立方体试件拟合方程为:

$$\sigma = -1.5926\varepsilon^3 + 8.823\varepsilon^2 - 1.1616\varepsilon + 0.2789 \quad (5)$$

拟合曲线如图 7。

TLCC40 非标准试件拟合方程为:

$$\sigma = -1.3102\varepsilon^3 + 7.0211\varepsilon^2 - 2.453\varepsilon + 0.1418 \quad (6)$$

TLCC40 立方体试件拟合方程为:

$$\sigma = -1.5068\varepsilon^3 + 8.0743\varepsilon^2 - 2821\varepsilon + 0.1631 \quad (7)$$

拟合曲线如图 8。

SLCC30 非标准试件拟合方程为:

$$\sigma = -0.7443\varepsilon^3 + 3.0232\varepsilon^2 - 9.0927\varepsilon + 0.8094 \quad (8)$$

SLCC30 立方体试件拟合方程为:

$$\sigma = -0.8559\varepsilon^3 + 3.4767\varepsilon^2 - 10.4566\varepsilon + 0.9309 \quad (9)$$

拟合曲线如图 9。

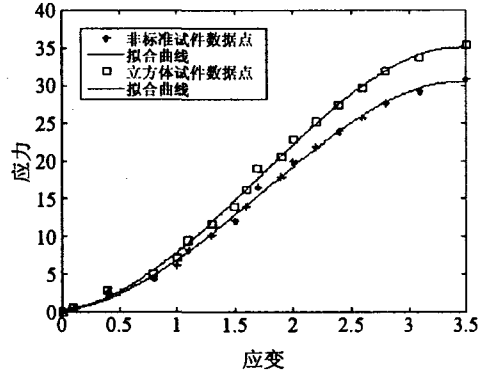


图 7 TLCC30 应力 - 应变拟合曲线

Fig. 7 The fitted curve of TLCC30

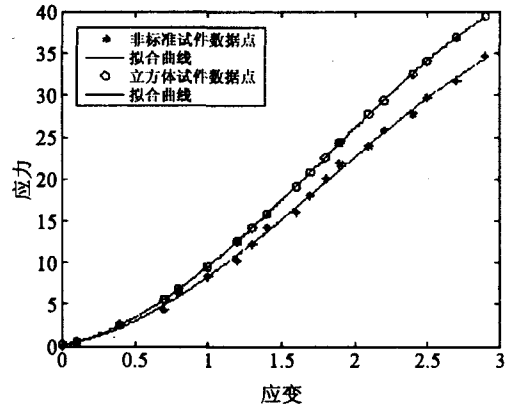


图 8 TLCC40 应力 - 应变拟合曲线

Fig. 8 The fitted curve of TLCC40

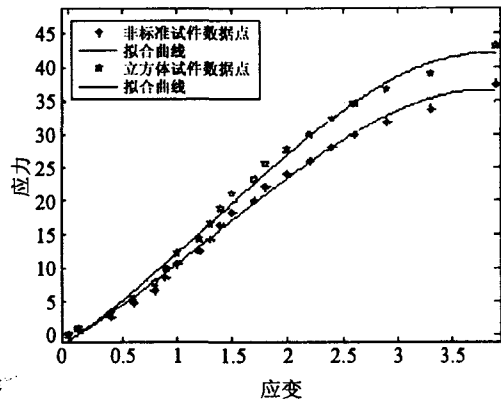


图 9 SLCC40 应力 - 应变拟合曲线

Fig. 9 The fitted curve of SLCC40

KLCC30 非标准试件拟合方程为:

$$\sigma = -0.2063\varepsilon^3 + 3.6059\varepsilon^2 - 1.6822\varepsilon + 0.1436 \quad (10)$$

KLCC30 立方体试件拟合方程为:

$$\sigma = -0.2373\varepsilon^3 + 4.1468\varepsilon^2 - 1.9345\varepsilon + 0.1651 \quad (11)$$

拟合曲线如图 10.

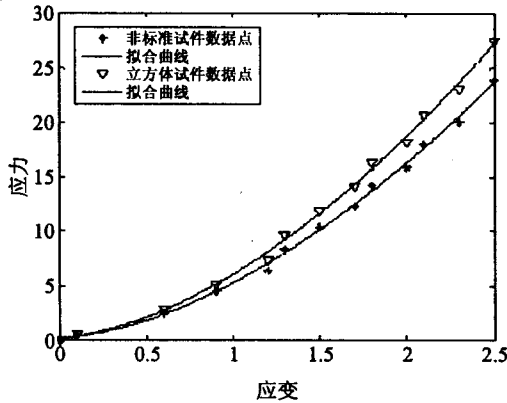


图 10 KLCC40 应力 - 应变拟合曲线

Fig. 10 The fitted curve of KLCC40

从以上拟合的结果可以看出,拟合曲线与原始数据的相对误差很小,而且曲线的发展规律符合混凝土本构曲线的规律,鉴于 RMT 试验系统拟合曲线时用到的应力 - 应变数据达数百组,说明了其得到的应力 - 应变曲线将更精确.

结合 RMT 试验机修正得到的应力 - 应变下降段曲线,由此可以得到立方体试件的各种轻骨料碳纤维混凝土应力 - 应变曲线,如图 11 所示.

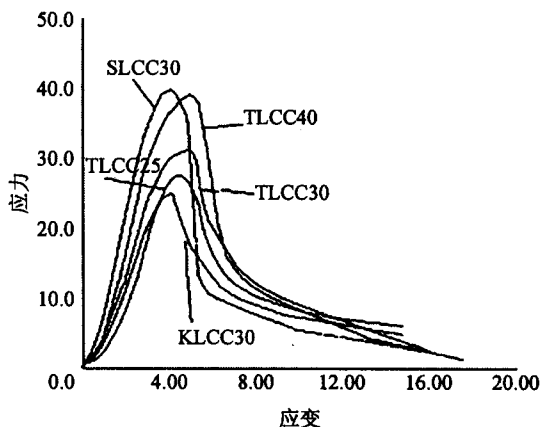


图 11 轻骨料碳纤维混凝土应力应变曲线

Fig. 11 Stress-strain relationship curves of CFLC

4 结论

通过分析,得出以下几点结论

1) 试验用的非标准圆柱体试件抗压强度与标准立方体试件强度换算公式为:

$$f_{cu,150} = 1.15 \times f_{cu,\Phi70}$$

2) 拟合了各种轻骨料碳纤维混凝土的应力 - 应变曲线,并得出了它们的上升段拟合方程,分别为:

TLCC25 的拟合方程:

$$\sigma = -1.7302\varepsilon^3 + 8.8673\varepsilon^2 - 0.5482\varepsilon + 0.4915$$

TLCC30 的拟合方程:

$$\sigma = -1.5926\varepsilon^3 + 8.823\varepsilon^2 - 1.1616\varepsilon + 0.27895$$

TLCC40 的拟合方程:

$$\sigma = -1.5068\varepsilon^3 + 8.0743\varepsilon^2 - 2.821\varepsilon + 0.1631$$

SLCC30 的拟合方程:

$$\sigma = -0.8559\varepsilon^3 + 3.4767\varepsilon^2 - 10.4566\varepsilon + 0.9309$$

KLCC30 的拟合方程:

$$\sigma = -0.2373\varepsilon^3 + 4.1468\varepsilon^2 - 1.9345\varepsilon + 0.1651$$

3) 用 RMT 试验机直接可以得出轻骨料碳纤维混凝土的应力应变全曲线,且曲线符合普通混凝土应力应变曲线的发展规律.通过对本构曲线的研究,再次验证了合理掺量的碳纤维在轻骨料混凝土中的确可以提高其抗压强度,增强其韧性.

参考文献:

- [1] 龚洛书. 轻集料混凝土技术的发展与展望[J]. 混凝土, 2002(2): 13-15.
- [2] 周建方, 吴国松. 碳纤维增强混凝土的研究现状和发展[J]. 河海大学常州分校学报, 2002, 16(4): 1-6.
- [3] 杨雨山, 石建军, 黄志刚. 碳纤维增强轻骨料混凝土的试验研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2007(1): 46-48.
- [4] 石建军, 王学东, 杨建明. 轻骨料碳纤维混凝土[J]. 科技情报与开发, 2004, 14(4): 112-113.
- [5] 黄海燕, 张子明. 混凝土的尺寸效应[J]. 混凝土, 2004(3): 8-9.
- [6] 陈兵, 姚武, 吴科如, 等. 受压荷载下碳纤维水泥基材料机敏性研究[J]. 建筑材料学报, 2002, 5(2): 108-113.
- [7] JGJ51-2002 轻骨料混凝土技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.