

文章编号:1673-2049(2013)01-0019-06

聚烯烃粗合成纤维混凝土抗弯韧性试验

邓宗才, 师亚军, 曹 炜

(北京工业大学 城市与工程防灾减灾省部共建教育部重点实验室, 北京 100124)

摘要:为了解新型粗合成纤维对改善混凝土抗弯韧性的效果, 试验研究了纤维掺量、基体强度、纤维直径等因素对混凝土抗弯韧性的影响规律。结果表明: 单掺或混掺不同几何尺寸粗合成纤维后, 试件具有很好的韧性, 呈延性破坏; 抗弯韧性指数随纤维掺量的增加而增大; 基体强度提高时, 抗弯韧性指数略有上升; 纤维直径不同时, 抗弯韧性指数变化不明显; 3 种合成纤维与钢纤维混掺后, 其抗弯韧性指标大于单掺钢纤维或 3 种合成纤维混掺的试件; 混掺粗合成纤维可有效改善梁裂后行为, 即峰值荷载后仍保持较高荷载; 而单掺钢纤维梁在峰值荷载后, 荷载下降较快; 新的抗弯韧性评价方法能够准确地反映粗合成纤维混凝土裂后阻裂能力高、变形大的特点。

关键词:粗合成纤维; 抗弯韧性; 剩余强度; 混凝土; 配合比; 纤维掺量

中图分类号: TU528.58

文献标志码: A

Experiment on Flexural Toughness of Polyolefin Macro-fiber Reinforced Concrete

DENG Zong-cai, SHI Ya-jun, CAO Wei

(Key Laboratory of Urban Security and Disaster Engineering of Ministry of Education,
Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: In order to grip the flexural toughness impact of new type synthetic macro-fiber on reinforced concrete, the effects of the fiber content, the matrix strength of reinforced concrete and the diameter of fiber on the flexural toughness were studied. The results show that the addition of synthetic macro-fiber changes the failure mode of reinforced concrete from brittleness to ductility. The flexural toughness index increases with the fiber content, it also increases when the matrix strength increases; and it has't evidently changed when the diameter of fiber changes. The flexural toughness of reinforced concrete with steel fiber and three synthetic macro-fiber is higher than those of steel fiber or three synthetic macro-fiber, and synthetic macro-fiber can increase the toughness of reinforced concrete. The synthetic macro-fiber reinforced concrete can have a higher load after the peak load, but the load of concrete with steel fiber decreases quickly after the peak load, the characteristic of reinforced concrete with synthetic macro-fiber can be proved by the new toughness evaluation method.

Key words: synthetic macro-fiber; flexural toughness; residual strength; reinforced concrete; mix proportion; fiber content

收稿日期: 2012-10-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(50678011)

作者简介: 邓宗才(1961-), 男, 陕西扶风人, 教授, 博士研究生导师, 工学博士, E-mail: dengzc@bjut.edu.cn。

0 引 言

普通混凝土易裂,严重影响结构耐久性,掺入纤维后,可有效改善抗裂性^[1-2]。粗合成纤维价格低廉,施工方便,能有效阻止裂缝扩展,可增强混凝土变形能力和韧性,提高抗疲劳、抗冲击性能等^[3-4]。

纤维混凝土抗弯韧性指标极为重要^[5-8],可反映纤维对混凝土的增韧效果,它是开发新纤维品种、确定纤维品种及纤维掺量、检测和控制混凝土质量的重要指标。

本文中笔者通过试验研究了 3 种不同直径和长度的粗合成纤维增强混凝土的抗弯韧性,并与素混凝土、单掺钢纤维及钢纤维与合成纤维混掺试件进行了对比,探讨了纤维掺量、纤维直径、基体强度、混掺方式等对抗弯韧性的影响规律。

1 试验概况

1.1 纤维材性

聚烯烃粗合成纤维(聚丙烯与聚乙烯的共聚物)力学性能指标见表 1。圆丝浪形钢纤维由江西赣州大业金属纤维有限公司提供,直径和长度分别为 0.9 mm和 50 mm,强度均为 700 MPa。

表 1 粗合成纤维力学性能指标

| Tab.1 Mechanical Property Indexes of Macro-fibers | | | | | |
|---|----------|------------------------------|----------|-------|-------|
| 直径/ mm | 抗拉强度/MPa | 密度/ (g·cm ⁻³) | 初始模量/GPa | 伸长率/% | 长度/mm |
| 1.0 | 484 | 0.91 | >4.2 | 12 | 50 |
| 0.8 | 526 | 0.91 | >4.2 | 13 | 45 |
| 0.5 | 450 | 0.91 | >4.2 | 15 | 40 |

1.2 混凝土配合比

普通混凝土 C25,C35 采用 P. O32.5 普通硅酸盐水泥,高强混凝土 C50 采用 P. O42.5 普通硅酸盐水泥,砂采用中砂,石为人工碎石,水为自来水。为了更好地研究混凝土基体强度对纤维增韧效果的影响,试验考虑 3 种混凝土强度,混凝土配合比如表 2 所示。

表 2 混凝土配合比

| Tab.2 Mix Proportions of Concrete | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|-----|-------|-----|------|
| 混凝土强度等级 | 各材料用量/(kg·m ⁻³) | | | | 水灰比 |
| | 水泥 | 砂 | 石 | 水 | |
| C25 | 376 | 643 | 1 194 | 180 | 0.48 |
| C35 | 486 | 618 | 1 150 | 180 | 0.37 |
| C50 | 500 | 614 | 1 142 | 180 | 0.36 |

1.3 试件制作

试件尺寸为 100 mm×100 mm×400 mm。制作

试件时,先将称好的砂、水泥、石依次放入搅拌机,干拌 2 min,再将水分 2 次或 3 次加入,将纤维分散加入并搅拌 3 min 左右,混凝土搅拌好后倒入模具内振捣并抹平,浇注 24 h 后脱模并在标准养护室养护 28 d,试验前 3 h 从养护室取出晾干,试件编号及纤维掺量见表 3。

表 3 试件编号及纤维掺量

| Tab.3 Numbering Specimens and Fiber Contents | | | | | |
|--|---------|-----------|-----------|------------------------------|---------------------------------|
| 试件编号 | 混凝土强度等级 | 粗合成纤维 | | | 钢纤维掺量/ (kg·m ⁻³) |
| | | 直径/ mm | 长度/ mm | 掺量/ (kg·m ⁻³) | |
| C25-0.5-6 | C25 | 0.5 | 40 | 6.0 | 0 |
| C25-0.5-8 | C25 | 0.5 | 40 | 8.0 | 0 |
| C25-0.5-11 | C25 | 0.5 | 40 | 11.0 | 0 |
| C25-0.8-6 | C25 | 0.8 | 45 | 6.0 | 0 |
| C25-0.8-8 | C25 | 0.8 | 45 | 8.0 | 0 |
| C25-0.8-11 | C25 | 0.8 | 45 | 11.0 | 0 |
| C25-1-6 | C25 | 1.0 | 50 | 6.0 | 0 |
| C25-1-8 | C25 | 1.0 | 50 | 8.0 | 0 |
| C25-1-11 | C25 | 1.0 | 50 | 11.0 | 0 |
| C50-0.5-6 | C50 | 0.5 | 40 | 6.0 | 0 |
| C50-0.5-8 | C50 | 0.5 | 40 | 8.0 | 0 |
| C50-0.5-11 | C50 | 0.5 | 40 | 11.0 | 0 |
| C50-0.8-6 | C50 | 0.8 | 45 | 6.0 | 0 |
| C50-0.8-8 | C50 | 0.8 | 45 | 8.0 | 0 |
| C50-0.8-11 | C50 | 0.8 | 45 | 11.0 | 0 |
| C50-1-6 | C50 | 1.0 | 50 | 6.0 | 0 |
| C50-1-8 | C50 | 1.0 | 50 | 8.0 | 0 |
| C50-1-11 | C50 | 1.0 | 50 | 11.0 | 0 |
| C35-H-8 | C35 | 0.5 | 40 | 2.7 | 0 |
| | | 0.8 | 45 | 2.7 | |
| | | 1.0 | 50 | 2.7 | |
| C35-HG-33 | C35 | 0.5 | 40 | 2.7 | 25 |
| | | 0.8 | 45 | 2.7 | |
| | | 1.0 | 50 | 2.7 | |
| C35-G-25 | C35 | 0.0 | 0 | 0.0 | 25 |

1.4 试验方法

抗弯韧性试验在 Instron1343 伺服系统机上采用三分点加载方式进行,试件跨度为 300 mm,采用恒位移控制加载,加载速率为 0.10 mm·s⁻¹。挠度测定时将夹式引伸仪置于试件的中性轴来测定试件的挠度,计算机自动记录数据,并自动绘制荷载-挠度曲线,抗弯韧性试验测试装置如图 1 所示。

2 试验结果与分析

2.1 破坏过程及形式

单掺或混掺粗合成纤维后,试件具有很好的抗

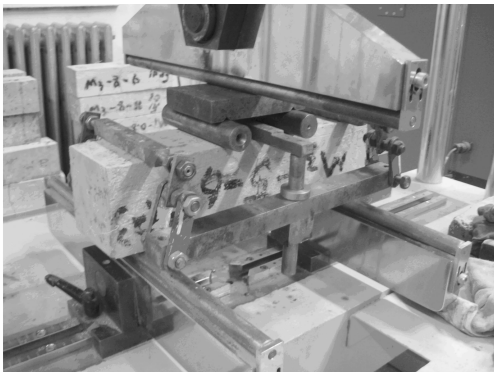


图 1 抗弯韧性试验测试装置

Fig. 1 Testing Equipment of Flexural Toughness Experiment

弯韧性,呈延性破坏,各抗弯韧性指数随着纤维掺量的增加而增大。

当基体强度为 C25 时,各试件的抗弯强度相差较小。开裂前,荷载增长较快,荷载-挠度曲线呈直线上升趋势;开裂后,挠度增长速度加快,曲线斜率略有下降;当荷载达到峰值以后,荷载迅速下降,挠度也随之有较大增长,试件中部有明显的裂缝出现,之后裂缝缓慢向上发展,裂缝处纤维被逐渐拔出,纤维起到了很好的连接增韧作用。然后荷载缓慢下降,但有部分试件荷载保持不变或略有上升,裂缝逐渐变宽,挠度增大直至试件破坏。

当基体强度为 C50 时,各试件的抗弯强度同样相差较小,抗弯强度比基体强度为 C25 时有明显的增大。

3 种合成纤维混掺后的试件明显呈延性破坏;单掺钢纤维的试件有较高的峰值荷载,但是开裂后荷载下降较快,然后荷载保持在较低值;粗合成纤维与钢纤维混掺的试件,呈现出良好的延性,粗合成纤维和钢纤维能够发挥各自作用,使试件在出现裂缝后,仍保持较高的荷载,起到了很好的增强增韧作用。

2.2 荷载-挠度曲线

纤维混凝土试件典型的荷载-挠度曲线如图 2~9 所示。

2.3 抗弯韧性指数

2.3.1 美国 ASTM 方法

按照美国 ASTM 方法求得的纤维混凝土抗弯韧性指数 I_5, I_{10}, I_{30} 及剩余强度 S_{AR} 见表 4。剩余强度 S_{AR} 的表达式为

$$S_{AR} = \frac{l}{bh^2} \frac{P_{0.5} + P_{0.75} + P_{1.0} + P_{1.25}}{4} \quad (1)$$

式中: $P_{0.5}, P_{0.75}, P_{1.0}, P_{1.25}$ 分别为挠度 0.5, 0.75,

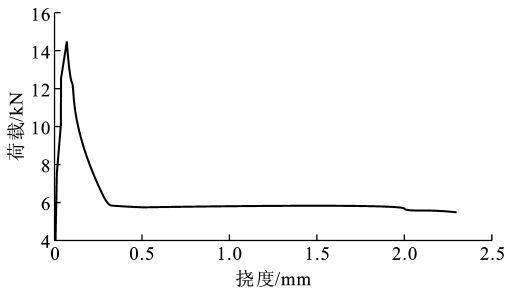


图 2 试件 C25-0.5-6 荷载-挠度曲线

Fig. 2 Load-deflection Curve of Specimen C25-0.5-6

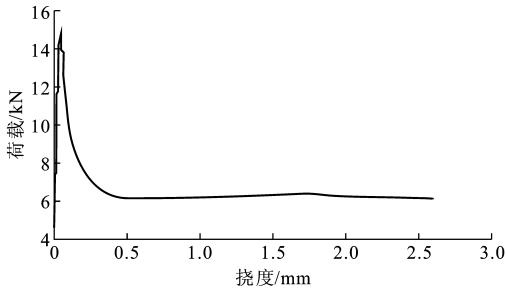


图 3 试件 C25-0.5-8 荷载-挠度曲线

Fig. 3 Load-deflection Curve of Specimen C25-0.5-8

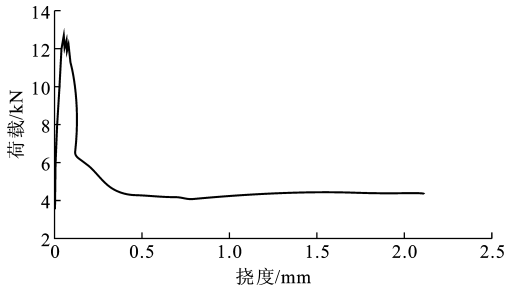


图 4 试件 C25-0.8-8 荷载-挠度曲线

Fig. 4 Load-deflection Curve of Specimen C25-0.8-8

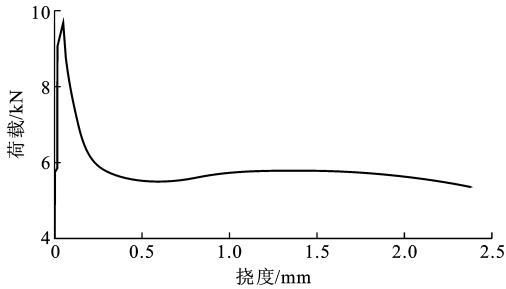


图 5 试件 C25-1-8 荷载-挠度曲线

Fig. 5 Load-deflection Curve of Specimen C25-1-8

1.0, 1.25 mm 时的荷载; l, b, h 分别为试件的长度、宽度和高度。

相对剩余强度 S_{IR} 的表达式为

$$S_{IR} = \frac{S_{AR}}{R_{MO}} \times 100\% \quad (2)$$

式中: R_{MO} 为纤维混凝土的弯拉强度。

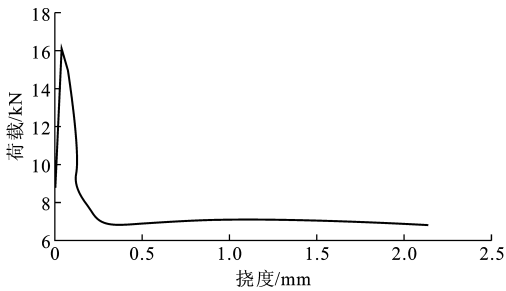


图 6 试件 C50-0.8-8 荷载-挠度曲线

Fig. 6 Load-deflection Curve of Specimen C50-0.8-8

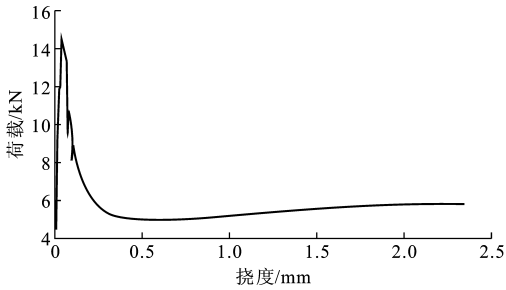


图 7 试件 C35-H-8 荷载-挠度曲线

Fig. 7 Load-deflection Curve of Specimen C35-H-8

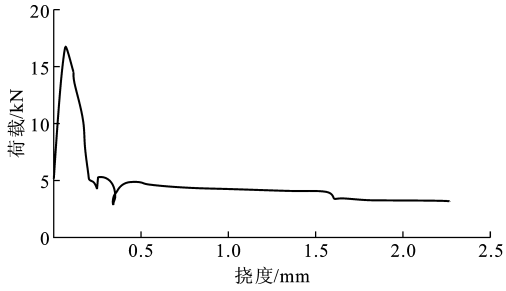


图 8 试件 C35-G-25 荷载-挠度曲线

Fig. 8 Load-deflection Curve of Specimen C35-G-25

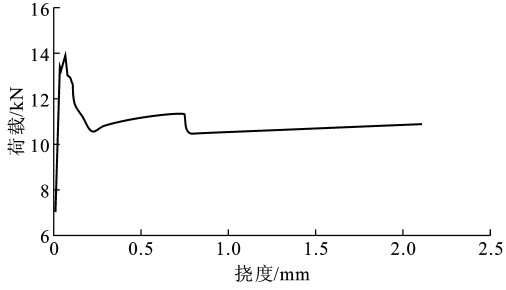


图 9 试件 C35-HG-33 荷载-挠度曲线

Fig. 9 Load-deflection Curve of Specimen C35-HG-33

由表 4 可以看出:

(1)对于基体强度为 C25 和 C50 的合成纤维混凝土试件,随着纤维掺量的增加,抗弯韧性指数明显增加。直径为 0.5 mm 的纤维,当掺量由 $6\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 增加到 $11\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 时,抗弯韧性指数 I_5 比素混凝土提高了 2.3~3.7 倍,抗弯韧性指数 I_{10} 比

表 4 抗弯韧性试验结果

Tab. 4 Experiment Results of Flexural Toughness

| 试件编号 | 抗弯强度/MPa | 初裂韧性/(N·mm) | I_5 | I_{10} | I_{30} | S_{AR}/MPa | $S_{IR}/\%$ |
|------------|----------|-------------|-------|----------|----------|---------------------|-------------|
| C25-0.5-6 | 4.29 | 412.06 | 3.9 | 6.3 | 13.3 | 1.74 | 40.56 |
| C25-0.5-8 | 4.32 | 374.40 | 3.6 | 5.8 | 15.2 | 1.84 | 42.59 |
| C25-0.5-11 | 4.25 | 213.63 | 4.7 | 8.4 | 19.5 | 2.16 | 50.86 |
| C25-0.8-6 | 3.77 | 346.54 | 3.6 | 3.7 | 9.1 | 1.22 | 32.27 |
| C25-0.8-8 | 3.79 | 414.45 | 3.3 | 4.8 | 9.6 | 1.27 | 33.51 |
| C25-0.8-11 | 4.44 | 304.29 | 3.7 | 5.7 | 12.0 | 1.72 | 38.74 |
| C25-1-6 | 4.12 | 262.17 | 3.3 | 6.2 | 11.0 | 1.15 | 27.99 |
| C25-1-8 | 2.88 | 352.43 | 3.3 | 5.5 | 13.4 | 1.70 | 58.93 |
| C25-1-11 | 4.11 | 413.35 | 3.2 | 5.8 | 15.7 | 2.20 | 53.53 |
| C50-0.5-6 | 4.72 | 429.03 | 3.4 | 5.3 | 10.3 | 1.26 | 26.69 |
| C50-0.5-8 | 4.83 | 210.87 | 3.8 | 8.8 | 14.5 | 1.75 | 36.19 |
| C50-0.5-11 | 4.70 | 591.69 | 3.3 | 5.0 | 14.7 | 2.06 | 43.81 |
| C50-0.8-6 | 5.41 | 553.92 | 2.6 | 3.7 | 9.2 | 0.94 | 17.38 |
| C50-0.8-8 | 4.76 | 304.92 | 3.4 | 5.8 | 11.8 | 2.13 | 44.75 |
| C50-0.8-11 | 5.37 | 470.92 | 3.5 | 5.6 | 12.2 | 2.33 | 43.39 |
| C50-1-6 | 4.38 | 649.47 | 2.5 | 4.4 | 9.9 | 1.51 | 34.38 |
| C50-1-8 | 5.06 | 661.11 | 3.0 | 6.8 | 11.5 | 1.32 | 26.02 |
| C50-1-11 | 3.43 | 226.99 | 3.7 | 6.5 | 15.6 | 1.89 | 55.10 |
| C35-H-8 | 4.26 | 306.32 | 4.1 | 6.3 | 13.0 | 1.54 | 36.15 |
| C35-HG-33 | 4.08 | 468.16 | 4.8 | 6.8 | 19.1 | 3.21 | 78.68 |
| C35-G-25 | 4.90 | 449.15 | 4.6 | 5.9 | 10.6 | 1.31 | 26.73 |

素混凝土提高了 4.0~7.8 倍,抗弯韧性指数 I_{30} 比素混凝土提高了 9.3~18.5 倍。直径为 0.8 mm 的纤维,当掺量由 $6\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 增加到 $11\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 时,抗弯韧性指数 I_5 比素混凝土提高了 1.6~2.7 倍, I_{10} 比素混凝土提高了 2.7~4.8 倍, I_{30} 比素混凝土提高了 7.2~11.2 倍。直径为 1 mm 的纤维,当掺量由 $6\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 增加到 $11\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 时,抗弯韧性指数 I_5 , I_{10} , I_{30} 分别比素混凝土提高了 1.5~2.7, 3.4~5.8, 8.9~14.7 倍。

(2)当基体强度提高时,抗弯韧性指数略有上升。如单掺直径 0.8 mm 的合成纤维,当基体强度由 C25 增加到 C50 时,抗弯韧性指数 I_{30} 分别由 9.1, 9.6, 12.0 增加到 9.2, 11.8, 12.2。

(3)纤维直径对抗弯韧性指数的影响规律不明确,但从总体上看,掺入直径 1 mm 纤维的试件,其抗弯韧性指数比直径为 0.5 mm 或 0.8 mm 纤维的试件小。为改善韧性,宜选用直径相对较小的纤维。

(4)混掺钢纤维和合成纤维对于改善混凝土裂后行为效果显著,特别对于提高 I_{30} 效果非常显著。当基体强度为 C35 时,3 种合成纤维混掺后试件的抗弯韧性指数 I_5 , I_{10} , I_{30} 分别比素混凝土提高了

3.1,5.3,12.0 倍;单掺钢纤维后试件的抗弯韧性指数 I_5, I_{10}, I_{30} 分别比素混凝土提高了 3.6,4.9,9.6 倍;同时掺入合成纤维和钢纤维后试件的抗弯韧性指数 I_5, I_{10}, I_{30} 分别比素混凝土提高了 3.8,5.8,18.1 倍。合成纤维与钢纤维共同作用,使抗弯韧性指数得到有效提高。

(5)剩余强度随纤维掺量的增加而提高,如基体强度为 C25、单掺直径 1 mm 纤维的试件,掺量分别为 6,8,11 kg · m⁻³ 时,剩余强度分别为 1.15,1.70,2.20 MPa。

(6)合成纤维与钢纤维混掺后,对于改善试件剩余强度效果明显。3 种合成纤维混掺后剩余强度为 1.54 MPa,单掺钢纤维后剩余强度为 1.31 MPa,合成纤维与钢纤维混掺后的剩余强度达到了 3.21 MPa,高于上述 2 种掺法剩余强度之和。

2.3.2 日本 JSCE 方法

按照日本 JSCE 方法求得的纤维混凝土抗弯韧性指标和韧度因子试验结果见表 5,其中, T_b 为抗弯韧性指标, $\bar{\sigma}$ 为韧度因子。

表 5 抗弯韧性指标和韧度因子

Tab. 5 Flexural Toughness Indexes and Toughness Genes

| 试件编号 | $T_b / (N \cdot mm)$ | $\bar{\sigma} / MPa$ |
|------------|----------------------|----------------------|
| C25-0.5-6 | 12 577.93 | 1.89 |
| C25-0.5-8 | 13 312.02 | 2.00 |
| C25-0.5-11 | 20 890.22 | 3.13 |
| C25-0.8-6 | 9 463.94 | 1.42 |
| C25-0.8-8 | 9 664.83 | 1.45 |
| C25-0.8-11 | 12 135.17 | 1.82 |
| C25-1-6 | 8 795.40 | 1.32 |
| C25-1-8 | 11 781.65 | 1.77 |
| C25-1-11 | 15 253.08 | 2.28 |
| C50-0.5-6 | 10 257.26 | 1.54 |
| C50-0.5-8 | 12 967.83 | 1.95 |
| C50-0.5-11 | 15 422.78 | 2.31 |
| C50-0.8-6 | 8 781.12 | 1.32 |
| C50-0.8-8 | 14 992.98 | 2.25 |
| C50-0.8-11 | 16 285.97 | 2.44 |
| C50-1-6 | 10 958.81 | 1.64 |
| C50-1-8 | 12 136.09 | 1.82 |
| C50-1-11 | 13 171.67 | 1.98 |
| C35-H-8 | 11 416.27 | 1.71 |
| C35-HG-33 | 21 603.11 | 3.24 |
| C35-G-25 | 9 839.60 | 1.46 |

由表 5 可知,纤维掺量增加对提高抗弯韧性指标效果明显。当基体强度为 C25 和 C50 时,3 种合成纤维单掺的试件,抗弯韧性指标 T_b 和韧度因子 $\bar{\sigma}$

随纤维掺量的增加而增加。

混掺 3 种合成纤维的混凝土试件韧度因子 $\bar{\sigma}$ 为 1.71 MPa,单掺钢纤维的混凝土试件韧度因子 $\bar{\sigma}$ 为 1.46 MPa,同时混掺合成纤维和钢纤维的试件韧度因子 $\bar{\sigma}$ 达到了 3.24 MPa,远高于其他试件。可见,这种混掺方式可有效提高混凝土试件的韧性。

2.3.3 新评价方法

上述方法可以评价纤维对混凝土的增韧效果,但也存在不足之处,美国 ASTM 方法中的抗弯韧性指数对初裂挠度要求较高,但初裂点不易确定且其离散性较大,不同试验者采用的方法也各不相同,要想取得准确的荷载-挠度曲线,对试验机要求较高;日本 JSCE 方法中峰值荷载容易确定,但不能反映纤维对混凝土开裂后的增韧作用。由荷载-挠度曲线可知,粗合成纤维混凝土具有良好的延性,峰值荷载后仍可保持较高水平,甚至有上升的趋势,试件挠度为 2 mm 时,纤维对韧性的作用还很明显,挠度大于 2 mm 后,伺服试验机费时且纤维增韧作用下降,为了较好地反映粗合成纤维的增韧效果,剩余强度计算可以将梁挠度为 2 mm 作为结束标准。建议剩余强度 S_{AR} 为

$$S_{AR} = \frac{l}{bh^2} \frac{P_{0.5} + P_{1.0} + P_{1.5} + P_{2.0}}{4}$$

(3)

式中: $P_{1.5}, P_{2.0}$ 分别为挠度为 1.5,2.0 mm 时的荷载。

采用新评价方法^[9] 计算得到的剩余强度见表 6。

与表 4 相比,单掺合成纤维试件剩余强度 S_{AR} 变化较小,变化幅度在 3% 以内,但是单掺钢纤维试件采用新评价方法计算,其剩余强度 S_{AR} 减小了 6.85%,3 种合成纤维混掺后剩余强度 S_{AR} 增加了 4.54%。粗合成纤维可有效提高混凝土试件韧性,峰值荷载后可保持较高的荷载,而单掺钢纤维试件在峰值荷载后,荷载下降较快,延性较差。采用此评价方法可充分反映合成纤维混凝土具有良好的阻裂能力和变形特性。

3 结 语

(1)掺入粗合成纤维后,试件具有很好的弯曲韧性,呈延性破坏。

(2)当基体强度为 C25,C50 时,单掺粗合成纤维试件的抗弯韧性指数随纤维掺量增加而增加。

(3)当基体强度提高时,单掺粗合成纤维试件的抗弯韧性指数略有上升;当纤维直径变化时,抗弯韧性指数变化不明显。

(4)3 种合成纤维混掺后,试件的剩余强度为

表 6 采用新评价方法计算的剩余强度
Tab. 6 Residual Strength Calculated by
New Evaluation Method

| 试件编号 | S_{AR}/MPa | $S_{IR}/\%$ |
|------------|---------------------|-------------|
| C25-0.5-6 | 1.73 | 40.27 |
| C25-0.5-8 | 1.86 | 43.01 |
| C25-0.5-11 | 2.19 | 51.53 |
| C25-0.8-6 | 1.22 | 32.27 |
| C25-0.8-8 | 1.31 | 34.60 |
| C25-0.8-11 | 1.64 | 37.04 |
| C25-1-6 | 1.16 | 28.16 |
| C25-1-8 | 1.70 | 58.93 |
| C25-1-11 | 2.28 | 55.37 |
| C50-0.5-6 | 1.29 | 27.30 |
| C50-0.5-8 | 1.68 | 34.78 |
| C50-0.5-11 | 2.11 | 44.94 |
| C50-0.8-6 | 0.97 | 17.93 |
| C50-0.8-8 | 2.11 | 44.42 |
| C50-0.8-11 | 2.36 | 43.89 |
| C50-1-6 | 1.47 | 33.58 |
| C50-1-8 | 1.29 | 25.49 |
| C50-1-11 | 1.87 | 54.38 |
| C35-H-8 | 1.61 | 37.79 |
| C35-HG-33 | 3.22 | 78.92 |
| C35-G-25 | 1.22 | 24.90 |

1.54 MPa,单掺钢纤维试件的剩余强度为 1.31 MPa,3 种合成纤维与钢纤维混掺后,试件的剩余强度达到了 3.21 MPa,高于 3 种合成纤维混掺试件与单掺钢纤维试件的剩余强度之和,使不同纤维的性能得到了充分发挥。

(5)粗合成纤维混掺可有效提高混凝土梁的韧性,峰值荷载后可保持较高荷载,而单掺钢纤维混凝土梁在峰值荷载后,荷载下降较快,延性较差,采用新评价方法可充分反映出粗合成纤维混凝土裂后阻裂能力高、变形大的特点。

参考文献:

References:

[1] ASTM C1018-97, Standard Test Method for Flexural Toughness and First-crack Strength for Fiber Reinforced Concrete[S].
[2] JSCE 1984, Steel Fiber Reinforced Concrete Research

Subcommittee[S].
[3] 邓宗才.高性能合成纤维混凝土[M].北京:科学出版社,2003.
DENG Zong-cai. High Performance Synthetic Fiber Reinforced Concrete[M]. Beijing: Science Press, 2003.
[4] 邓宗才,何唯平,孙成栋.聚丙烯腈纤维增强水泥混凝土的抗弯性能[J].公路,2004(2):129-134.
DENG Zong-cai, HE Wei-ping, SUN Cheng-dong. Flexural Behaviour of Cement Concrete Reinforced with Polyacrylonitrile Fiber[J]. Highway, 2004(2): 129-134.
[5] 邓宗才,李建辉,刘国栋.混杂粗纤维增强混凝土力学特性试验研究[J].混凝土,2006(8):50-55.
DENG Zong-cai, LI Jian-hui, LIU Guo-dong. Experimental Study on Mechanical Properties of Hybrid Macro-fiber Reinforced Concrete[J]. Concrete, 2006(8):50-55.
[6] 杜明干.纤维混凝土细观力学模型与应用[D].北京:清华大学,2004.
DU Ming-gan. Microscopic Models of Fiber Reinforced Concrete and Their Applications[D]. Beijing: Tsinghua University, 2004.
[7] 邓宗才,张鹏飞,李建辉,等.预应力 AFRP 加固混凝土梁的疲劳与静载特性[J].中国公路学报,2007,20(6):49-55.
DENG Zong-cai, ZHANG Peng-fei, LI Jian-hui, et al. Fatigue and Static Behaviors of RC Beams Strengthened with Prestressed AFRP[J]. China Journal of Highway and Transport, 2007, 20(6): 49-55.
[8] 李炳宏,江世永,飞渭,等.纤维增强塑料筋混凝土梁抗弯设计数值分析[J].长安大学学报:自然科学版,2011,31(5):50-56.
LI Bing-hong, JIANG Shi-yong, FEI Wei, et al. Numerical Analysis of Flexural Design of Concrete Beams Reinforced with FRP Bars[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2011, 31(5): 50-56.
[9] 邓宗才,彭书成.哑铃型钢纤维粉煤灰混凝土基本力学性能及抗弯韧性[J].公路,2003(9):149-155.
DENG Zong-cai, PENG Shu-cheng. Basics Performance Characteristics and Flexural Toughness of Dumbbell Steel Fiber Reinforced Fly Ash Concretes[J]. Highway, 2003(9):149-155.

