

玻璃纤维与聚丙烯纤维混凝土性能的对比试验

丁一宁, 杨楠

(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 设计了常温下普通强度等级混凝土和高性能自密实混凝土的试验, 对比分析了玻璃纤维和聚丙烯纤维在掺量一致 (0.5 kg/m³ 和 1.0 kg/m³)、长度相近的条件下对混凝土性能的影响。试验表明, 玻璃纤维和聚丙烯纤维均能提高普通混凝土的抗折强度和劈拉强度, 但玻璃纤维的效果优于聚丙烯纤维。玻璃纤维和聚丙烯纤维对高性能自密实混凝土抗压强度和抵抗早期龄期自由收缩的能力的影响区别不明显, 但均能改善高性能自密实混凝土受压时的脆性破坏特征。

关键词 玻璃纤维 聚丙烯纤维 纤维混凝土 抗折强度 劈拉强度 抗压强度 自由收缩

中图分类号 :TU528.58 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2007)01-0024-03

Experimental study on behaviors of glass fiber reinforced concrete and polypropylene fiber reinforced concrete//DING Yi-ning, YANG Nan (*The State Key Laboratory of Coastal and Offshore Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China*)

Abstract :Experiments were performed to study the influences of glass fiber and polypropylene fiber on the behavior of concrete. In the experiments, two kinds of fibers with the similar length were mixed with the normal concrete and self-compacting high-performance concrete (SCHPC) at the same dosages (0.5 kg/m³ and 1.0 kg/m³, respectively). The results indicate that both of the two kinds of fibers can improve the flexural tensile strength and the splitting tensile strength of the normal concrete, while the effect of glass fiber is superior to that of polypropylene fiber, and that there is little difference between the influences of the two kinds of fibers on the compressive strength and free shrinkage at the early age of SCHPC, and both of them can improve the behavior of brittle failure of SCHPC under compression.

Key words :glass fiber; polypropylene fiber; fiber reinforced concrete; flexural tensile strength; splitting tensile strength; compressive strength; free shrinkage

由于加大了玻璃纤维 (glass fiber, 简称 GF) 中 ZrO₂ 的含量, 既保证了 GF 高抗拉、高弹性模量等特性, 又明显改善 GF 的抗碱性, 使 GF 具有良好的耐久性。GF 还具有优良的抗裂、耐温度湿度变化、耐火、抗冻等性能, 因此玻璃纤维混凝土 (glass fiber reinforced concrete, 简称 GFRC) 成为一种优良的新型建材^[1]。传统的聚丙烯短纤维可阻止混凝土基体中原有的微裂缝扩展并延缓新裂缝的出现, 提高基体的变形能力^[2]。聚丙烯纤维 (polypropylene fiber, 简称 PPF) 在高温熔化, 形成供给水汽由混凝土内部逸出的通道, 可以避免聚丙烯纤维混凝土 (polypropylene fiber reinforced concrete, 简称 PPFRC) 构件在火灾环境下发生爆裂。鉴于两种纤维混凝土在高温下的优异性能, 国外已开始将它们用于隧道工程。研究纤维混凝土的常温性能是研究其高温性能的前提, 两种纤维在低掺量下的对比研究国内外尚不多见, 笔者对比了两者在同等低掺量、相近长度的条件下对普通混凝土常温性能的影响, 总结出 GF 的性能优势。

混凝土在凝结和养护过程中, 其水泥胶膜内和混凝土骨架空隙内水分不断蒸发减少, 造成混凝土体积收缩, 在没有任何约束的情况下混凝土发生自由收缩。实际工程中混凝土结构由于基础、钢筋或者相邻部分的牵制而处于不同程度的约束状态, 混凝土收缩因受到约束会引起拉应力, 况且混凝土抗拉强度不高, 因而混凝土收缩容易引起混凝土开裂, 从而引起一系列危害^[3]。研究减少混凝土自由收缩的方法和措施 (例如掺加纤维) 对减少约束状态下混凝土收缩引起的破坏具有一定的现实意义。因此本文设计试验, 对比了两种纤维对高性能自密实混凝土 (self compacting high performance concrete, 简称 SCHPC) 早期自由收缩的影响, 得到了一些有益的结论。

1 试验概况

1.1 原材料和配合比
普通混凝土试验中采用等级为 P. II 32.5 的普

通硅酸盐水泥, 优质河砂, 细度模数为 2.5 ; 碎石, 粒径为 5 ~ 10 mm ; 第三代聚羧酸盐高效减水剂, 掺量为水泥用量的 0.25 % 。 配合比 : 水 210 kg/m³, 水泥 420 kg/m³, 砂子 637.2 kg/m³, 石子 1 132.8 kg/m³。

SCHPC 试验中采用等级为 P. II 52.5 的普通硅酸盐水泥 ; 优质河砂, 细度模数为 2.34 ; 碎石, 粒径为 5 ~ 10 mm ; 大连热电磨细粉煤灰, 掺量为 20 % ; 第三代聚羧酸盐高效减水剂, 掺量为 8.775 kg/m³。 配合比 : 水 174 kg/m³, 水泥 468 kg/m³, 粉煤灰 117 kg/m³, 砂子 741.7 kg/m³, 石子 906.3 kg/m³。

为对比研究的需要, 两种强度等级的混凝土试验中均采取了同等低掺量的 GF 和 PPF, 普通混凝土试验中纤维掺量为 0.5 kg/m³ 和 1.0 kg/m³, SCHPC 试验中纤维掺量为 1.0 kg/m³。 两种纤维长度相近(见图 1 和图 2), GF 为 20 mm, PPF 为 19 mm。 GF 性能参数 : 单丝直径 15 μm, 密度 2.7 kg/m³, 抗拉强度 1 800 GPa, 弹性模量 80 GPa, 断裂伸长率 2.45 %, 软化点 860 ℃。 PPF 性能参数 : 单丝直径 48 μm, 密度 0.91 kg/m³, 抗拉强度 500 MPa, 弹性模量 5 GPa, 断裂伸长率 18.2 %, 燃点约 580 ℃, 熔点约 160 ℃。



图 1 国产高耐碱 GF 短切纱 (20 mm)



图 2 国产 PPF (19 mm)

1.2 试验方法

普通混凝土进行 28 d 抗折强度和 28 d 劈拉强度试验, 试件尺寸分别为 100 mm × 100 mm × 400 mm 和 100 mm × 100 mm × 100 mm, 试验按 CECS13—1989《钢纤维混凝土试验方法》^[4] 进行。

SCHPC 进行 28 d 抗压强度和混凝土早期龄(1 ~ 45 d) 自由收缩试验, 试件尺寸分别为 100 mm × 100 mm × 100 mm 和 100 mm × 100 mm × 400 mm, 其中抗压强度试验按 CESC13—1989《钢纤维混凝土试验方

法》^[4] 进行。 SCHPC 的自由收缩试验按照德国标准进行, 温度控制为 (20 ± 2) ℃, 湿度控制为 (60 ± 5) %, 试验装置见图 3。 自由收缩的试验方法具体为 : 制作 100 mm × 100 mm × 400 mm 的 GFRC 试块和 PPFRC 试块各 3 块, 拆模后固定在已经安放好的收缩测试架上, 使其顶部中心和事先安放在支架上的千分表精确接触, 试件的变形可通过千分表测出。 试验时应注意 : ① 为保证试验数据的准确性, 应避免震动的发生 ; ② 保持恒定的温度和湿度。



图 3 试验装置

2 试验结果与分析

2.1 普通混凝土试验

普通混凝土掺加了 GF 或 PPF 后, 抗折强度(28 d) 和劈拉强度(28 d) 的试验结果见表 1。 表 1 中, NC 代表素混凝土 ; GF0.5 和 GF1.0 分别代表纤维掺量为 0.5 kg/m³ 和 1.0 kg/m³ 的 GFRC ; PPF0.5 和 PPF1.0 分别代表纤维掺量为 0.5 kg/m³ 和 1.0 kg/m³ 的 PPFRC。 每组 3 个试块的试验值波动较小, 变异系数均在 0.05 以下, 因此可忽略试验结果的波动对纤维影响效果的干扰。

表 1 各组抗折和劈拉试验结果(均值) MPa		
纤维类型	抗折强度	劈拉强度
NC	3.075	2.858
GF0.5	3.445	3.201
GF1.0	3.383	3.115
PPF0.5	3.260	3.087
PPF1.0	3.157	2.915

a. 在抗折试验中, 无论是素混凝土还是纤维混凝土均发生了脆性破坏, 说明在低掺量的情况下, GF 和 PPF 对普通强度等级混凝土的抗折韧性无明显影响。

b. 在劈拉试验中, 素混凝土和 PPFRC 的破坏均是脆性的, 当达到破坏荷载以后, 试件突然劈开。 而 GFRC 的破坏则具有一定的塑性特征, 荷载达到最大值以后有稳定的下降段, 这说明试验所采用的低掺量玻璃纤维在一定程度上降低了普通强度等级混凝土的脆性。

c. 与素混凝土相比, 随纤维掺量的增加, GFRC

抗折强度分别提高了 12% 和 10%,PPFRC 抗折强度分别提高了 6% 和 2.7% 相同掺量的 GF 与 PPF 相比,当纤维掺量均为 0.5 kg/m^3 时,GFRC 抗折强度高于 PPFRC 抗折强度 5.7%,当纤维掺量均为 1.0 kg/m^3 时,GFRC 抗折强度高于 PPFRC 抗折强度 7.2%。

d. 与素混凝土相比,随纤维掺量的增加,GFRC 劈拉强度分别提高了 12% 和 9%,PPFRC 劈拉强度分别提高了 8% 和 2% 相同掺量的 GF 与 PPF 相比,当纤维掺量均为 0.5 kg/m^3 时,GFRC 劈拉强度高于 PPFRC 劈拉强度 3.7%,当纤维掺量均为 1.0 kg/m^3 时,GFRC 劈拉强度高于 PPFRC 劈拉强度 6.9%。

综上所述,低掺量的 GF 和 PPF 均能提高普通强度等级混凝土的抗折强度和劈拉强度,由于 GF 弹性模量较高,而且 GF 中的 SiO_2 不影响基体的各向同性,并在一定程度上提高基体的密实性,因此在对两种强度的提高幅度上 GF 大于 PPF,而且 GF 能够在一定程度上提高普通混凝土的劈拉韧性。

2.2 SCHPC 试验

2.2.1 抗压试验结果与分析

立方体抗压强度试验结果见表 2,试块破坏后的形态见图 4 和图 5。

表 2 立方体抗压强度试验结果(均值) MPa			
纤维种类	1 d 强度	7 d 强度	28 d 强度
PPF	24.39	55.60	66.24
GF	21.87	47.43	66.99



图 4 GFRC 抗压试块



图 5 PPFRC 抗压试块

a. 由图 4 和图 5 可知,掺加纤维明显改变了高强混凝土的破坏形态。横跨裂缝的纤维起到了阻止裂缝扩展的作用,限制了骨料间裂缝沿受力方向的扩展与贯通;当荷载超过极限荷载后,由于纤维的相连作用,延缓了基体中裂缝的失稳扩展,阻止了基体中损伤核的快速扩散,使得基体的变形能力得到提高,从而提高了混凝土的抗压韧性。

b. 由抗压强度均值可知,PPFRC 前期强度增长较快,GFRC 后期强度增长较快 28 d 抗压强度 GFRC 略高于 PPFRC,GF 和 PPF 对高强混凝土强度的影响区别不明显。

2.2.2 早龄期(1~45 d)自由收缩试验结果与分析

GFRC 与 PPFRC 试件自由收缩对比曲线见图 6 (图中收缩值均为 3 个试块的平均值)。

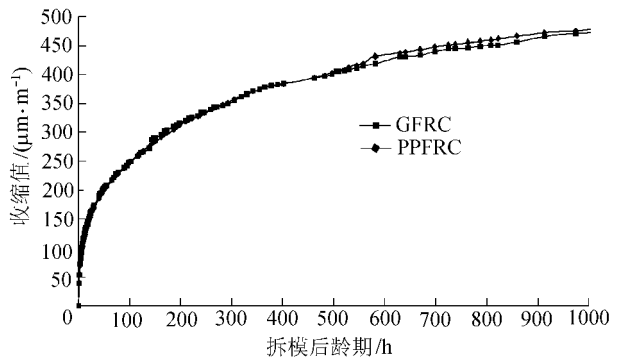


图 6 GFRC 和 PPFRC 自由收缩对比曲线

a. 在试验初期,无论是 GFRC 还是 PPFRC,其自由收缩量都较大,而且增长速度较快,前 500 h 已达到总收缩量的 80%,自由收缩曲线明显攀升;随着时间的推移,其收缩量增长速度减缓,自由收缩曲线趋于平缓;当超过 800 h 后,收缩量随时间的增长已较小。

b. 由图 6 可知,低掺量的 GF 和 PPF 对混凝土早龄期自由收缩影响的区别不明显。

3 结 论

a. 对于普通强度等级的混凝土,当纤维掺量较低、长度相近时,GF 和 PPF 均能提高混凝土的抗折强度和劈拉强度,在提高幅度上 GF 大于 PPF,且 GF 的成本低于 PPF,因此掺加 GF 具有一定的性能与价格优势。由于混凝土强度等级较低,GF 和 PPF 对混凝土的抗折韧性和劈拉韧性的提高比较有限。

b. 对 SCHPC,掺加较低掺量(1 kg/m^3)的 GF 和 PPF 对抗压强度和抵抗早龄期自由收缩的影响无明显区别,但均能明显降低混凝土抗压破坏时的脆性,使之表现出一定的抗压韧性。

参考文献:

[1] 唐乃岩,李秋平,刘乃芸. 玻璃纤维混凝土的研究进展与工程应用[J]. 山东建材,1999(2): 22-23.
[2] 李广伟,杨元慧. 聚丙烯纤维混凝土性能的试验研究[J]. 水利水电科技进展,2001,21(5): 14-16.
[3] 黄国兴,惠荣炎. 混凝土的收缩[M]. 北京: 中国铁道出版社,1990: 1-2.
[4] CECS13—1989,钢纤维混凝土试验方法[S].

(收稿日期: 2005-09-16 编辑: 熊水斌)