

层布式混杂纤维混凝土的干缩性能

贺东青¹ 卢哲安²

(1. 河南大学 土木建筑学院, 河南 开封 475001; 2. 武汉理工大学 土木工程与建筑学院, 湖北 武汉 430070)

摘要 为研究层布式钢纤维与聚丙烯纤维混杂应用对混凝土干缩性能的影响,对普通混凝土、层布式钢纤维混凝土以及层布式混杂纤维混凝土在恒温((20 ±2))、恒湿(相对湿度(60 ±5) %)条件下的干缩率和质量损失率进行了对比试验。结果表明:层布式混杂纤维混凝土的干缩率明显小于普通混凝土和层布式钢纤维混凝土,在龄期180 d时,层布式混杂纤维混凝土干缩率降低了26.9%,掺入粉煤灰和磨细矿渣的层布式混杂纤维混凝土降低了40.2%;而层布式混杂纤维混凝土的质量损失率比普通混凝土大,在龄期180 d时,增加了18.3%,掺入粉煤灰和磨细矿渣的层布式混杂纤维混凝土,其质量损失率与普通混凝土基本一致。层布式混杂纤维的掺入,显著改善了混凝土的干缩性能。

关键词 干缩性能;层布式混杂纤维混凝土;干缩率;质量损失率

中图分类号 TU 528.572

文章编号 1007-4333(2007)03-0096-04

文献标识码 A

Study on dry-shrinkage properties of layer hybrid fiber reinforced concrete

He Dongqing¹, Lu Zhe'an²

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Henan University, Kaifeng 475001, China;

2. School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract In order to study the effects of the hybrid application of layer steel fibers and polypropylene fibers on dry-shrinkage properties of concrete, the contrast experiments on the dry-shrinkage ratio and mass-loss ratio of the ordinary concrete (OC), the layer steel fiber reinforced concrete (LSFRC) and the layer hybrid fiber reinforced concrete (LHFRC) under constant temperature ((20 ±2)) and constant humidity (relative humidity 60 % ±5 %) conditions were carried out. The dry-shrinkage ratio of LHFRC is obviously smaller than those of OC and LSFRC and achieves a reduction of 26.9%; while that of LHFRC after adding grinding slag and fly ash achieves a reduction of 40.2% at the age of 180 days. However, the mass-loss of LHFRC is larger than that of OC and achieves an increment of 18.3% at the age of 180 days and that of LHFRC is almost the same with OC's after adding grinding slag and fly ash. The dry-shrinkage properties of concrete will be improved remarkably by adding layer hybrid fiber.

Key words dry-shrinkage property; layer steel fiber reinforced concrete; dry-shrinkage ratio; mass-loss ratio

层布式钢纤维混凝土^[1] (layer steel fiber reinforced concrete, LSFRC) 的力学性能与钢纤维混凝土相近,而钢纤维用量仅为钢纤维混凝土的10%,明显降低了成本;但其中间部分素混凝土的韧性、抗裂性能较差,成为薄弱环节。层布式混杂纤维混凝土^[2] (layer hybrid fiber reinforced concrete, LHFRC)

是对层布式钢纤维混凝土的改进,在其基础上加入有机纤维,并使之三维乱向均匀分布于混凝土中。这样一来,两类纤维对混凝土的增强作用得到优势叠加,材料性能优势互补,混凝土中塑性裂缝数量较少、宽度明显较小,混凝土内部空隙较少,使其原生缺陷部分减少^[2];并且,将纤维加入混凝土中,改善

收稿日期: 2006-10-08

基金项目: 国家《纤维混凝土结构技术规程》资助项目(建标协字第15号)

作者简介: 贺东青, 硕士研究生; 卢哲安, 教授, 博士生导师, 主要从事高性能复合砼结构及道路桥梁结构研究, E-mail: luzhean@163.com

了混凝土的抗干缩开裂性能^[3]。裂缝是混凝土路面的主要灾害,尽管引起裂缝的原因很多也很复杂,但许多研究结果表明,混凝土结构表面出现的各种网状表面裂缝绝大多数是因干缩引起的^[4];因此研究这种新型复合材料路面的干缩性能有重要意义。目前,国内外关于层布式混杂纤维混凝土干缩性能的研究尚未见报道。为此笔者对其干缩性能进行了研究,并与普通混凝土(ordinary concrete, OC)、LS-FRC及掺入部分粉煤灰和磨细矿渣的LHFRC进行了比较分析。

1 试验材料与方法

1.1 原材料

胶凝材料:武汉产堡垒牌 P. O. 42.5R 水泥、阳逻牌一级粉煤灰,北京首钢盛世佳新型材料公司产高炉磨细矿渣。

骨料:中河砂,细度模数 2.77;石子,粒径 5~30 mm,大小均匀,无片状,连续级配。

纤维:上海贝卡尔特佳密克丝 R ZP-805 型钢纤维(表 1)和聚丙烯纤维(表 2)。

表 1 钢纤维性能参数

Table 1 Properties of steel fiber

长径比	形状	抗拉强度/MPa	弹性模量/GPa	极限拉伸率/%	密度/(kg/m ³)
80	弓形	1 070	200	0.5~3.5	7 800

表 2 聚丙烯纤维性能参数

Table 2 Properties of polypropylene fiber

密度/(kg/m ³)	延伸率/%	长度/mm	吸水率/%	燃点/	熔点/	f/MPa	E/MPa
910	12	18~20	0	593	165	276	3 793

1.2 方法

据文献[5],按《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTGD40-2002)重级交通等级对混凝土弯拉强度等级 4.5~5.0 MPa^[6]的要求,确定普通混凝土的配合比(表 3),并以此为基础设计混凝土试件(表 4),其中 F3 的配合比见表 5。

表 3 普通混凝土配合比

Table 3 Mix of ordinary concrete

体积质量/(kg/m ³)				总体积质量/(kg/m ³)	水灰质量比
水泥	砂	石	水		
330	671	1 300	152	2 453	0.46

表 4 试件设计及编号

Table 4 Design and code of specimens

编号	钢纤维体积率/%	聚丙烯纤维体积率/%	粉煤灰质量百分率/%	磨细矿渣质量百分率/%
F0(OC)	0	0	0	0
F1(LSFRC)	上层 1.0,下层 1.5	0	0	0
F2(LHFRC)	上层 1.0,下层 1.5	0.1	0	0
F3(LHFRC)	上层 1.0,下层 1.5	0.1	10	20

表 5 F3 的配合比

Table 5 Mix of F3(LHFRC)

体积质量/(kg/m ³)						总体积质量/(kg/m ³)	水胶质量比
水泥	粉煤灰	磨细矿渣	砂	石	水		
231	33	66	671	1 300	152	2 453	0.46

F1、F2 及 F3 的上、下层钢纤维,分别以试件上、下 2 cm 厚的体积率进行掺配,每个试件钢纤维的质

量为:上层1%体积率的钢纤维质量 = $7\ 800 \times 0.1 \times 0.515 \times 0.02 \times 1\% = 0.080\ 3\ \text{kg}$,下层1.5%体积率的钢纤维质量 = $7\ 800 \times 0.1 \times 0.515 \times 0.02 \times 1.5\% = 0.120\ 5\ \text{kg}$,并撒布于距试件上、下边缘2 cm处;F2和F3的聚丙烯纤维以试件体积率进行掺配,并均匀分布于混凝土中。

为保证混凝土拌合物的均匀性和质量,采用强制式搅拌机搅拌,制作流程为:石子、砂子、10%水,搅拌30 s,加水泥(掺合物),搅拌30 s,加有机纤维,搅拌60 s,加余下水,搅拌60 s,卸料浇注。F1、F2和F3制作流程:在钢模底部铺2 cm厚的混凝土层,人工均匀撒布一层0.120 5 kg的钢纤维,加入混凝土,把试件连同钢模放在振动台上振动密实,再在混凝土钢模顶部2 cm处人工均匀撒布一层0.080 3 kg的钢纤维,振动、密实、收浆、抹平。

采用100 mm × 100 mm × 515 mm混凝土试件,每组3块,按照《公路工程水泥混凝土试验规程》(JTJ 053-94)^[7]进行干缩性能测试。在(20 ± 2)、相对湿度(95 ± 5)%条件下养护24 h,脱模,然后在(20 ± 2)、相对湿度(60 ± 5)%的空气中养护至预定龄期。分别测试各混凝土试件在龄期为1、3、7、14、28、60、90、180 d时的长度和质量,并计算其相对于1 d龄期试件的长度收缩率和质量损失率(亦称失水率)。

2 结果与讨论

2.1 干缩率

2.1.1 试验结果 从图1可以看出:1)龄期3~7 d时,F0、F1的干缩率增长较明显,而F2、F3的干缩率基本没有变化;7~14 d时,4组试件的干缩率均激增;60 d后,干缩率增长速度均十分缓慢。2)F1与F0干缩率基本一致。3)F2、F3各龄期干缩率均明显低于F0,龄期180 d时,分别低于F0达0.021

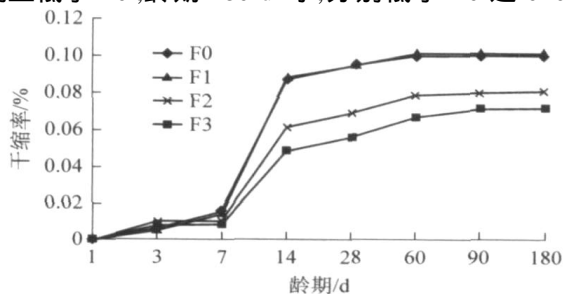


图1 不同试件的干缩率

Fig. 1 Dry-shrinkage ratio of different specimens

和0.028个百分点,比F0分别降低26.9%和40.2%。

2.1.2 结果分析 乱向分布的聚丙烯纤维使混凝土的干缩率大幅度减小。混凝土的干燥收缩过程与毛细管中水的弯液面有关,在毛细管水蒸发过程中,混凝土处于不断增强的压缩状态,导致其体积缩小^[8]。掺入聚丙烯纤维的混凝土,每 cm^3 有数十根细纤维,它们起着“撑托”骨料的作用,降低了混凝土表面的析水,亦即水泥砂浆的保水能力得到了提高,从而延长了水泥砂浆孔隙中出现弯液面(表面张力)的时间;另外,聚丙烯纤维的弹性模量高于凝结初期基体的弹性模量,增加了塑性和硬化初期复合体的抗拉强度,增强了抵制因失水干燥而产生变形的能力。

掺入复合掺合料后,有效减小了混凝土的干缩率。这是因为,复合掺合料等量替代了部分水泥,水泥用量减少,水化产生的体积收缩随之减小;同时,粉煤灰起到了微集料效应及火山灰效应,它生成致密的C-S-H凝胶,填充了孔隙,降低了混凝土的孔隙率,从而减小了混凝土的干缩率。

2.2 质量损失率

2.2.1 试验结果 从图2可看出:1)龄期3~7 d时,4组试件的质量损失率均激增;7~14 d时,质量损失率增长速度相对放慢;60 d后,质量损失率增长速度十分缓慢。2)F1质量损失率低于F0,龄期180 d时,低于F0达22%。3)F3与F0质量损失率基本一致;F2质量损失率高于F0,180 d龄期时高于F0达18.3%。

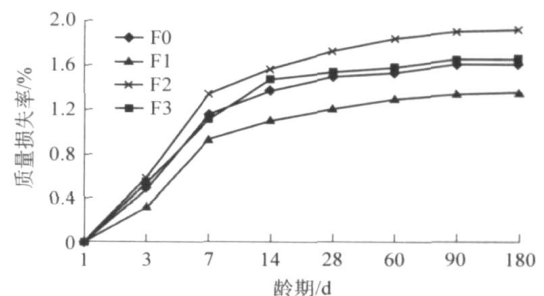


图2 不同试件的质量损失率

Fig. 2 Mass-loss ratio of different specimens

2.2.2 结果分析 掺入聚丙烯纤维后,混凝土质量损失率有所提高。文献[9]指出:开始干燥时所损失的自由水并不引起混凝土的收缩,干燥收缩的主要原因是吸附水的消失。聚丙烯纤维的介入,使水泥浆中胶凝质点间吸附水减少,而自由水相对增加;因

此,混凝土失去的水分中自由水所占比率增大,而自由水的失去并不会引起混凝土体积的收缩。本试验结果表现为:相对于 OC, LHFRC 在干缩率减小的同时失水率增大;另外,对比图 1 和 2,尤其在 3~7 d 失水速率很高而干缩速率却很低,它们不呈正比关系。其原因在于这段龄期失去的水分大都是自由水。

层布式钢纤维对混凝土干缩率影响极小,但其质量损失率有所降低。分析原因,分布在上、下表层的钢纤维对混凝土基体的影响很小,试验结果表明,LSFRC 与 OC 的失水量基本相同;而计算质量损失率时,由于钢纤维使 LSFRC 试件的基准质量增加,因此得到的质量损失率减小。

3 结论

层布式混杂纤维混凝土(LHFRC)的干缩率明显低于普通混凝土(OC)和层布式钢纤维混凝土(LSFRC),掺入粉煤灰和磨细矿渣后其干缩率进一步降低。LHFRC 的失水率大于 OC,掺入粉煤灰和磨细矿渣后其失水率与 OC 基本一致;LSFRC 由于基准质量增加,计算得到的失水率小于 OC。

本研究得到的混凝土干缩率与失水率之间的非线性关系,与经典的混凝土干缩机理之劈张力理

论^[9]是一致的;另外,LHFRC 可以有效降低干缩应力,从而可避免出现或减少、减小路面裂缝,使这种新型复合材料路面具有优良的长期性能。

参 考 文 献

- [1] 上下层布式钢纤维混凝土抗折强度及增强机理研究[J]. 武汉理工大学学报,2001,23(1):56-59
- [2] 袁海庆,陈景涛,朱继东. 层布式钢纤维—聚丙烯腈纤维混凝土力学性能试验研究[J]. 武汉理工大学学报,2003,25(4):31-34
- [3] 马一平,李昊,谈慕华. 陶瓷-尼龙纤维水泥复合材料力学性能研究[J]. 建筑材料学报,1998,1(1):43-48
- [4] 肖瑞敏,张雄,乐嘉麟. 胶凝材料对混凝土干缩影响的研究[J]. 混凝土与水泥制品,2002(5):11-13
- [5] 郭赞. 层布式钢纤维混杂纤维混凝土的增强机理研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2006
- [6] JTGD40-2002 公路水泥混凝土路面设计规范[S]
- [7] JTJ 053-94 公路工程水泥混凝土试验规程[S]
- [8] Bazant Z P, Xi Y. Drying creep of concrete: constitutive model and experiments separating its mechanisms[J]. Materials and Structure,1994,27:3-14
- [9] Gardner N J, Zhao J W. Creep and shrinkage revisited[J]. ACI Materials Journal,1993,90(3):236-246
- [9] Melo F J Q, Carneiro J A O, Camanho P P, et al. The simulation of impact loads on beam-type structures using a pseudo-dynamic procedure[J]. Strain,2004,40(1):13-23
- [10] Huang Dongzhou. Dynamic and impact behavior of half-through arch bridges[J]. Journal of Bridge Engineering,2005,10(2):133-141
- [11] So W, Francis F C. Dynamic finite element analysis of solid propellant impact test[J]. Journal of Spacecraft and Rockets,1991,28(6):658-662
- [12] Cui Shijie, Hao Hong, Cheong Hee Kiat. Numerical analysis of dynamic buckling of rectangular plates subjected to intermediate-velocity impact[J]. International Journal of Impact Engineering,2001,25(2):147-167

(上接第 95 页)

- [2] 邢誉峰. 梁结构线弹性碰撞的解析解[J]. 北京航空航天大学学报,1998,24(6):633-637
- [3] 张继业,曾京,舒仲周. 杆的纵向冲击振动[J]. 振动与冲击,1999,18(3):57-61
- [4] 吴家强,王宏志. 杆的纵向冲击问题全过程分析[J]. 振动与冲击,2004,23(1):101-107
- [5] 邢誉峰,诸德超. 两杆纵向非线性弹性碰撞的瞬间响应[J]. 北京航空航天大学学报,1998,24(1):39-42
- [6] 李敏,诸德超. 球杆碰撞问题的数值分析和实验研究[J]. 北京航空航天大学学报,2001,27(1):62-65
- [7] 邢誉峰,诸德超. 用模态法识别结构弹性碰撞载荷的可行性[J]. 力学学报,1995,27(5):560-566
- [8] 诸德超,邢誉峰. 厚度效应对梁冲击响应的影响[J]. 力学学报,2004,36(2):184-190