

聚丙烯纤维水泥基复合材料性能研究

文 / 李美利

1. 前言

混凝土有两个固有缺点即“干燥收缩”和“低的抗压强度比”。这是混凝土制作早期由于各种收缩引起的开裂现象是困扰着人们的一个难题。高性能混凝土(HPC)是近年来出现的一种新型的混凝土,在推广和使用的过程中也同样暴露出了易于开裂的缺陷,严重地影响了工程质量和使用寿命。纤维增强是改善这一缺点的最有效手段。各种材料的纤维加入水泥基体中,理论上主要作用有三种:(1)提高基体的抗拉强度,(2)阻止基体中原有缺陷(微裂缝)的扩展并延缓新裂缝的出现;(3)提高基体的变形能力从而改善其韧性与抗冲击能力。

目前对钢纤维等增强混凝土研究比较深入,而对低弹模合成纤维增强高性能混凝土的研究则比较少。聚丙烯纤维是合成纤维中价格比较低廉的一种,它是一种以聚丙烯为原料,以独特工艺制造的高强聚丙烯单丝纤维,价格低廉,自该产品诞生以来,美国、加拿大、意大利、澳大利亚、日本、韩国、墨西哥以及东南亚等地区的混凝土建筑行业已表现出越来越大的兴趣。

我国首先研究开发改性聚丙烯纤维的是中国纺织大学(现东华大学)并由方大特种纤维制造有限公司生产,于1997年通过中国纺织总会鉴定,近几年曾先后被应用到各种工程,以目前国内的研究水平来看,主要集中在对改性聚丙烯纤维水泥基复合材料物理力学性能的研究和对纤维混凝土的力学性能研究。基于国内外对聚丙烯纤维混凝土技术研究的概况,本文开展的主要研究工作有二:第一,进行了聚丙烯纤维砂浆的抗折和抗压强度与不掺聚丙烯纤维砂浆的对比;第二,对掺聚丙烯纤维砂浆的开裂性能进行了试验研究。

2. 试验研究

2.1 聚丙烯纤维砂浆的抗折和抗压强度与不掺聚丙烯纤维砂浆的对比试验

2.1.1 试验用原材料

水泥 P O 42.5 P O 32.5 砂 水泥试验用标准砂

聚丙烯纤维 JY-PP改性纤维长度15mm, 19mm, 直径45 μm

2.1.2 聚丙烯纤维砂浆的配比和试样制备

试验采用掺聚丙烯纤维的砂浆与不掺聚丙烯纤维的基准砂浆的抗折与抗压强度的对比。胶砂的质量配合比应为一份水泥,三份标准砂和半份水(水灰比为0.5),一锅胶砂成型三条试体,每锅材料用量:水泥450g,标准砂1350g,水225ml。

试样制备:先将纤维加入水中,用细棒拌数次,然后按GB/T规定的后序程序进行操作,将制成的胶砂试体,湿气养护箱养护24h后脱模,在水中继续养护,并分别测试养护3天、7天和28天试样的抗折与抗压强度,试件尺寸为40mm×40mm×160mm的棱柱体,抗折与抗压强度采用意大利产65-L11mm型水泥抗压抗折一体机测试,加荷程序符合GB/T17671-1999的要求。

2.1.3 试验结果与讨论

(1) 试验结果

表1 聚丙烯纤维对砂浆抗折及抗压强度的影响。

纤维掺量 (kg/m ³)	抗折强度 (MPa)			抗压强度 (MPa)		
	3d	7d	28d	3d	7d	28d
0	4.99	6.65	8.40	22.73	33.77	50.20
0.6	5.39	6.69	9.54	21.27	36.20	51.32
提高幅度	8.0	2.0	13.6	-6.4	7.2	2.2

注 ①水泥P O42.5 ②聚丙烯 长度15mm

表2 不同聚丙烯纤维掺量对水泥砂浆抗折及抗压强度的影响

纤维掺量 (kg/m ³)	抗折强度 (MPa)		抗压强度 (MPa)	
	3d	28d	3d	28d
0	3.94	7.03	17.04	31.72
0.6	4.0323	7.453	17.7039	37.8121
0.9	4.0391	7.5673	17.5027	36.4481

注:①水泥P O32.5 ②聚丙烯 长度15mm

表3 不同长度聚丙烯纤维对水泥砂浆抗折及抗压强度的影响

纤维长度	抗折强度 (MPa)		抗压强度 (MPa)	
	3d	28d	3d	28d
不掺纤维	4.16	7.92	17.30	36.12
15mm	4.2419	8.0010	17.5012	35.6712
19mm	4.3443	7.9706	17.1012	35.0829

注 ①水泥P O32.5 ②纤维掺量 0.6g

(2) 讨论

从表1可以看出,掺聚丙烯纤维的砂浆,其抗折强度均有所提高,28天抗折强度提高13.6%,而抗压强度没有明显变化。

从表2可以看出,聚丙烯纤维掺量由1.6g提高到1.9g时,抗折强度与基准砂浆相比,提高幅度均有所上升,而抗压强度均有所下降。

从表3可以看出,15mm和19mm聚丙烯砂浆的抗折强度均有所提高。

2.2 掺聚丙烯纤维砂浆的开裂性能试验

2.2.1 前言

普通混凝土在浇注后早期硬化阶段,会因泌水和水分散失而产生塑性收缩,使混凝土产生细微裂缝,在硬化后期还会产生干缩裂缝,削弱其整体性,在温度应力及其他外力作用下,裂缝将进一步发展,从而影响混凝土的耐久性和抗磨、抗冲击性能,而且因裂缝渗水,钢筋会腐蚀,而在混凝土中掺入一定量的改性聚丙烯可有效提高混凝土、砂浆对塑性收缩、离析、水化热温度应力等因素导致的非结构性裂缝的抗裂能力。笔者研究了15mm改性单丝聚丙烯砂浆的抗裂能力。

2.2.2 试验用原材料

水泥 P O32.5 实测28天抗压强度33.72MPa
砂 中砂 细度模数2.7

聚丙烯纤维 JY-pp改性纤维长度15mm,直径45 μm,

密度0.91g/cm³ 抗拉强度400MPa。

2.2.3 试验方法

(1) 塑性干缩开裂试验方法

塑性干缩开裂试验模具采用914mm×610mm×19mm木模,采用砂浆搅拌机按水泥:砂:水=1:1.5:0.5(质量比)的配比搅拌约3min,有纤维的砂浆则同时加入纤维,然后将拌和料沿木模边缘螺旋式向试模中心进行浇注,直至拌合料自动流满整个木模,立即用逢平长木条沿试模边快速刮平试件表面,成型后用风速约为5m/s的电风扇,并开启位于试模上方约1.5m处的1000W碘钨灯,光照4h后关灯,风吹24h后关闭电风

扇,将裂缝宽度分为三类,d<1mm,1mm≤d<2mm,d≥2mm,按裂缝宽度分段测量裂缝长度L,为了便于比较不同裂缝宽度的重要程度,定出裂缝宽度的权重A₁,d<1mm,A=0.5,1mm≤d<2mm,A=0.75,d≥2mm,A=1.0,按下式计算塑性开裂权重值W

$$W = \sum A_i L_i$$

W反映了塑性开裂的总长度,以cm计。

(2) 试验结果与讨论

聚丙烯纤维对水泥砂浆塑性干缩开裂性的影响,试验结果列于表4。

裂缝宽度 (d/mm)	裂缝长度 (L)					
	15mm 聚丙烯纤维		19mm 聚丙烯纤维			
	0.05%	0.10%	0.20%	0.05%	0.10%	0.20%
d≥2mm	33	3	0	0	6	2
1mm≤d<2mm	132	44	21	0	48	28
d<1mm	157	160	121	0	177	141
W(权重值)	210	116	76	0	130	94

由表4可知,掺聚丙烯纤维的砂浆均未掺纤维的砂浆塑性开裂权重值有所减少,对于15mm聚丙烯,0.05%掺量,开裂权重值减少45%,0.10%掺量,开裂权重值减少64%,0.20%掺量,没有出现塑性开裂,对于19mm聚丙烯,0.05%掺量,开裂权重值减少38%,0.10%掺量,开裂权重值减少55%,0.20%掺量,没有出现塑性开裂。

由表4还可见,15mm聚丙烯要比19mm聚丙烯的抗塑性开裂的能力要强,这主要是因为同样质量聚丙烯15mm的要较19mm的条数要多。

(3) 聚丙烯纤维抗塑性干缩开裂机理探讨

水泥基材料浇注成型后,由于水与水泥基材料的亲润性,水分蒸发时表层材料毛细管中形成凹液面,其凹液面上表面张力的垂直分量形成了对管壁间材料的拉应力,此时材料处于塑性阶段,材料自身的塑性抗拉强度较低,若材料表层毛细管失水收缩产生的应力σ_c>σ_p。

则材料表层出现开裂现象。

当水泥基材料中掺入纤维后,由于与未掺纤维者相比,此时表层材料中存在纤维材料,一方面使其失水面积有所减少水分迁移较为困难,从而使毛细管失水收缩形成的毛细管张力有所减少;另一方面,低弹模的有机纤维相对于塑性浆体成为了高弹模材料,依靠纤维材料与水泥基之间的界面吸附粘聚力,机械啮合力等,增加了材料抵抗开裂的塑性抗拉强度,从而使σ_c与σ_p满足下式时:

$$\sigma_c \leq \sigma_p$$

材料表层的开裂状况得以减轻,甚至消失。

对于15mm聚丙烯和19mm聚丙烯相比,因为同样质量,同样直径的聚丙烯,聚丙烯越短,聚丙烯的根数越多,所以15mm聚丙烯较19mm聚丙烯抗塑性开裂的能力较强。

当纤维水泥基材料开裂后,由于纤维跨接在裂缝两侧,依靠纤维与基材的粘接及纤维自身力学特性,使裂缝扩展速度和程度得以延缓减小,从而裂缝宽度减小,细化。

3 结论

在水泥砂浆中加入少量的聚丙烯纤维提高的砂浆的抗折强度,砂浆的抗压强度没有明显变化,同时聚丙烯纤维大大提高了砂浆的抗裂性能。

作者单位:同济大学地下建筑与工程系

[收稿日期:2003-03-17]