

[文章编号] 1009-2846 (2005) 06-0001-03

改性聚丙烯纤维影响混凝土抗压强度的机理初探

白国庆, 董建伟

(吉林省水利科学研究院, 吉林 长春 130022)

[摘要] 本文对国内外某些改性聚丙烯纤维影响混凝土强度的现象进行了分析, 认为在改性聚丙烯纤维混凝土中, 同时存在增强和损强因素, 当增强因素大于损强因素时, 混凝土强度增加。

[关键词] 改性聚丙烯纤维混凝土; 强度; 纤维持水性; 薄壳效应

[中图分类号] TV431+.6

[文献标识码] B

1 改性聚丙烯纤维对混凝土抗压强度的影响

近年来, 国内水利、交通、城市建设等工程采用改性聚丙烯纤维混凝土技术较多。一般认为: 在混凝土中加入改性聚丙烯纤维后, 混凝土的韧性、耐久性都有较大改善, 但通常不会增加混凝土抗压强度, 在纤维体积率、纤度、长径比选择不当的情况下, 有时还容易成为混凝土中的缺陷点, 使混凝土强度降低。

中国葛洲坝水利水电集团公司付华曾对几种国内常见纤维进行了实验比较:

表1 抗压强度比较表

试验编号	纤维名称	抗压强度 (MP _a)	
		7d	28d
1	空白混凝土	32.7	52.5
2	美国 RC	34.4	39.1
3	北京聚丙烯	33	45.3
4	江苏聚丙烯	36.1	45.8
5	上海丙纶	34.8	38.9
6	美国网	35.6	40.8

表1表明: 各种合成纤维均使混凝土抗压强度有不同程度的降低。在纤维体积率 V_f 较大时, 低弹性模量纤维的掺入相当于增加了混凝土的孔隙率, 反而降低混凝土的抗压强度。

但有报道提出一些纤维可以使混凝土抗压强度有所增加, 包括葛洲坝水利水电集团公司后来所做的实验。分析有关实验方法和数据可看出: 有些属实验偏差, 有些为厂商宣传抄作; 但有些纤维的确有使混凝土强度增加的现象。在笔者曾经做过的某些纤维混凝土的实验中, 也有若干使混凝土抗压强度增加的现象。

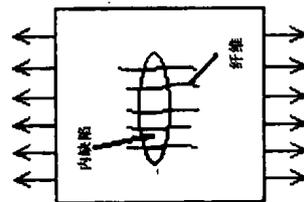


图1 纤维间距理论示意图

有研究引用 J. P. Romualdi 和 J. B. Baston 的纤维间距理论解释上述强度增加现象, 认为在混凝土受力过程中, 跨过缺陷裂缝的纤维将荷载传递给裂缝的上下表面, 使裂缝处的材料仍能继续承载, 缓和了裂缝尖端应力集中程度, 阻止了裂缝的引发和扩展, 使得混凝土抗压强度增加。

但笔者认为: 纤维间距理论适用于 $E_f/E_c > 1$ 的纤维, 而对于 $E_f/E_c < 1$ 的聚丙烯纤维不完全适合。从表2可看出: 虽然改性后的聚丙烯纤维抗拉强度较大, 但弹性模量小, $E_f/E_c \approx 1/8$, 在混凝土受荷载作用时不能及时产生约束应力,

[收稿日期] 2005-03-07

[作者简介] 白国庆 (1964-) 男, 高级工程师, 现从事水利水电工程材料实验研究工作。

故不能传递荷载,即便较大的纤维抗拉强度对混凝土也无特殊意义。

表2 改性聚丙烯纤维的几个主要理化指标

品 种	比重	抗拉强度	断裂延伸率	Ef
	g/cm ³	M _{pa}	%	GP _a
山东同伴	0.91~0.93	≥500	10~28	3.85
北京中纺纤维	0.91	>400	15~35	3.50
美国 Dura fiber	0.91	≥270		3.80
美国 Fibermesh	0.91	560~770		3.50

注:普通混凝土抗拉弹性模量 E_c 平均取 27.6GP_a。

2 对改性聚丙烯纤维影响混凝土强度机理的初步分析

2.1 减少了混凝土早期缺陷

现有的解释是:乱向均匀分布的聚丙烯纤维,可以有效地抑制混凝土的早期塑性收缩和离析裂缝的产生及发展,对混凝土温度裂缝有较好的抑制作用;有效改善混凝土的泌水性,对早期养护有益;防止和减少混凝土硬化后期的干缩微裂缝、温度变化引起的裂缝,减少了混凝土早期塑性收缩、硬化后期的干缩、温度裂缝所形成的混凝土内部缺陷,会使混凝土强度增加。

上述对掺入适量纤维后混凝土韧性指标得到较大改善的解释是基本合理的,但对增加混凝土抗压强度的解释还值得商榷。应当指出的是,低弹性模量纤维也在混凝土中形成了缺陷,国内外很多实验已经证明,在纤维体积率 V_f 较大时,混凝土抗压强度明显降低。

2.2 纤维持水性改变了水化条件

在水灰比相同的条件下,改性聚丙烯纤维混凝土与普通混凝土相比,在拌制时有塌落度降低的现象。化工、化纤部门根据聚丙烯纤维的构造特点,认为聚丙烯纤维是不吸水的。据此人们进一步认为:由于聚丙烯纤维是不吸水的,因此是乱向分布的纤维阻碍了水泥浆的流动,使塌落度降低。

笔者以为:这种观点有其合理性,也有片面性。纤维混凝土触变性的存在佐证了其合理性。其片面性在于,聚丙烯纤维自身虽不吸水,且某些经表面改性后的纤维还具有疏水性,但却没有憎水性,在混凝土凝固过程中,混凝土中的纤维有一定的表面持水能力。笔者曾做过这样的实验:将水浸后的 2.8tdex 纤维,静置至无流动水

状态时,表面持水量可达纤维自身重量的 2.0 倍;经挤压至无流动水时,表面持水量仍可达纤维自身重量的 1.6 倍。纤维的持水性使拌和水减少,水灰比降低,和易性受到一定影响。对常见的 C20 混凝土而言,当水泥用量 281kg,水 174kg,水灰比 0.62,聚丙烯纤维 1kg 时,减去纤维持水量 2kg,则实际拌和水 172kg,实际水灰比 0.61。

由于水灰比的相对减少,纤维的持水性又减少了泌水及水-浆分离现象,可以弥补由于加入纤维而导致的强度损失,乃至在同样水灰比条件下会使混凝土强度有所增加。例如在 $V_f=0.1\%$ 时,实际拌和水量减少约 2kg,按照 abrams 定则,由于水灰比降低,将使抗压强度增加约 2%。为解决因纤维表面持水造成的和易性降低问题,可采用加减水剂或适量补充拌和水,但补水过量时会导致混凝土强度降低。浙江省宁波白溪水库由于在调整纤维混凝土坍落度时补水过量,导致混凝土抗压、抗拉强度均有下降:

表3 宁波白溪水库纤维混凝土力学性能

纤维掺量 kg/m ³	抗压强度 M _{pa}				抗折强度 M _{pa}	抗拉强度 M _{pa}	
	7d	28d	60d	90d	28d	7d	28d
0	28.3	37.6	38.6	38.7	3.89	2.64	3.29
0.6	25.6	33.3	35.2	35.9	3.63	2.58	3.11
0.9	23.1	33.2	35.3	37.7	3.89	2.16	3.12
1.2	23.2	32.9	35.4	37.8	3.98	2.14	3.04

2.3 微薄壳效应

“微薄壳效应”是笔者为解释某些纤维增强混凝土强度的机理而提出的一个假说。

为增加纤维与混凝土之间的握和力,笔者曾用硅烷偶联剂对纤维表面进行染整后掺入,其中纤维体积率为 0.1%,纤度 10tdex,长度 6~9mm,结果发现混凝土的抗压强度有所增加。在纤维表面进行改性以改善纤维混凝土性能的实验研究,国内外已有类似研究。东华大学材料学院王依民曾进行在纤维表面接枝 3 个 -OH 的研究,以增加与水泥混凝土的粘和力;美国杜拉纤维也对纤维表面进行了处理,使得纤维在配制混凝土/砂浆的过程中极易均匀分散,从而更有效地发挥其作用,耐久性增加。据了解其表面系采用了硅烷偶联剂(γ -甲基丙烯酰氧基丙基-三甲氧基硅烷)进行处理。根据上述实验结果,笔者提出了“微薄壳效应”的假说。其基本概念是:

聚丙烯纤维是混凝土增强材料的载体,其所携带的促进水泥水化的材料使纤维周围强度增加,纤维的附水性也改善了周边水化条件,相当于在纤维周围构成相对封闭的高强度薄壳,在受

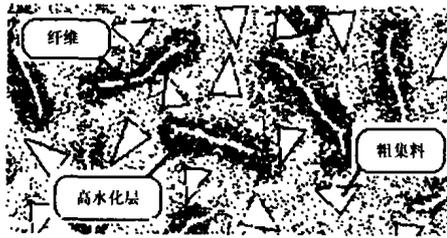
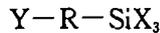


图2 纤维周围形成高强度薄壳

某些纤维表面接枝的硅烷偶联剂促使高强度微壳层的形成。硅烷偶联剂是一类具有特殊结构的有机硅化合物,通式为:



其中 Y 是可以与有机化合物起反应的基团, X 是可进行水解反应并生成 Si-OH 的基团。硅烷偶联剂可以在有机材料与无机材料之间形成“分子桥”,把这两种性质相差悬殊的材料连接在一起。因此经过硅烷偶联剂处理后的有机相纤维,能与无机相混凝土产生较好的握合力。但有文献和研究报告指出:在水泥中加入某种硅烷偶联剂后,其抗折、抗压强度、断裂韧性和微区硬度均有所提高,耐水性显著改变,孔隙更趋细小,耐久性增加。因此纤维表面携带的偶联剂可以在纤维周围形成高强度薄层。

3 对若干问题的探讨和建议

①在改性聚丙烯纤维混凝土中,同时存在增强和损强因素,当增强因素大于损强因素时,混

荷载作用时,薄壳可产生抵御应力,进而增加混凝土的抗压强度。

“微薄壳效应”示意如图2、图3。

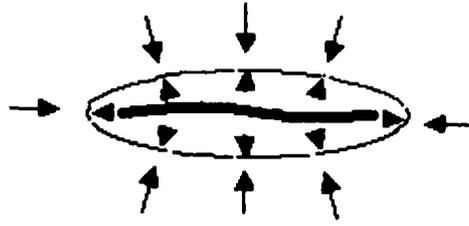


图3 薄壳抵御破坏应力

凝土强度增加,反之减少。②改性聚丙烯纤维在混凝土中的分布密度、分布方式等,对混凝土各项强度指标产生影响。纤维、长度不同的纤维在混凝土中的分布是不同的,故在不考虑纤维自身结构的前提下提出的纤维混凝土的各项强度指标值得商榷。

②纤维表面的持水性使混凝土拌和水量减少,等效于纤维具有吸水性。在拌制改性聚丙烯纤维混凝土时,应摒弃聚丙烯不吸水的传统观念,考虑纤维的等效吸水量。

③微薄壳效应的假说,仅是对改性聚丙烯纤维混凝土抗压强度、耐久性的提高作出一种尝试性解释,宜进一步对高强度微壳层形成的形态、条件进行研究和论证。吉林省水利科学研究院已经着手开展相关的实验研究工作。

④除了纤维周围可能存在的高强度微壳层对混凝土强度产生影响外,也存在纤维所携带的硅烷偶联剂溶解并分散到混凝土中,具有两个不同性质分子基团的偶联剂提高了水化能力,使混凝土强度提高的可能性。□

Discussion on the Mechanism of the Modification PPF Influencing the Compressive Strength of the Concrete BAI Guo-qing, DONG Jian-wei

BAI Guo-qing, DONG Jian-wei

Abstract: After analyzing the Phenomenon of the modification PPF that can enhance the concrete strength in home and abroad, this paper reckons the equivalence hydroscopicity of the PPF has changed water environment, and the grafting strengthening material in the surface of the PPF can form the high strength lamina around it which enhance the concrete strength and durability.

Key words: modification polypropylene fiber (PPF); strength; thin shell effect