



聚丙烯纤维混凝土抗裂性能试验研究

成全喜, 江书杰, 孙锦鏢

(天津城市建设学院 土木工程系, 天津 300384)

摘要:聚丙烯纤维掺入混凝土中可明显改善其性能, 混凝土掺入纤维后能有效控制混凝土早期干缩裂缝的数量、长度及宽度。聚丙烯纤维在混凝土中起阻裂和细化裂缝的作用, 改善程度与纤维长度和掺量等因素有关。

关键词:聚丙烯纤维; 混凝土; 干缩; 阻裂

中图分类号: TU528.572 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-6853(2003)04-0265-04

混凝土是由胶凝材料、水和粗、细骨料按适当的比例配合、经过一定时间硬化而成的三相体的复合材料, 其硬化后抗压强度高, 但其各向异性及材料的非均质性导致的抗拉强度低, 受拉变形能力小, 易开裂的特点也暴露了这种材料在使用中的局限性, 这直接影响结构构件的耐久性和耐腐蚀性^[1]。混凝土产生裂缝的原因有多种, 尤以收缩变形引起的裂缝最多。聚丙烯纤维掺入混凝土中可明显改善其性能, 笔者根据试验结果, 研究论述了改性聚丙烯纤维混凝土的阻裂作用及抗干缩性能。

1 聚丙烯纤维混凝土抗干缩及阻裂性能试验

1.1 试件构造及参数

试验采用天津市欣晟建筑纤维有限公司生产的国产改性高强聚丙烯纤维(欣晟纤维), 各种性能指标如下: 材质, 高强丙纶(聚丙烯); 外观, 白色; 密度, 0.91; 纤度, $(15 \pm 3) \text{ g}/9\,000 \text{ m}$; 熔点, $165 \sim 173 \text{ }^\circ\text{C}$; 抗拉强度, 大于 500 MPa; 弹性模量, 大于 $4.5 \times 10^3 \text{ MPa}$; 断裂伸长率, 35%; 耐碱性, 在浓 NaOH 溶液, 浓氨水中强度不降低; 耐酸性, 在浓硫酸、浓盐酸、浓硝酸中强度不受影响。

试验根据纤维长度和掺量的不同, 共配置了 10 种不同类型的纤维混凝土, 类型及配比见表 1。

1.2 试验方案及结果

根据 GBJ81-85《普通混凝土力学性能试验方法》, 采用相同配合比的普通水泥混凝土, 通过掺入不同体积率的改性高强聚丙烯纤维与纤维掺量为零的试件进行多项混凝土力学性能试验, 研究其力学性能的变化规律。纤维混凝土的力学性能试验结果见表 2。

混凝土收缩的机理复杂, 影响因素较多, 为了使混凝土产生裂缝, 较好的模拟混凝土的自由干缩变形, 纤维混凝土的干燥收缩试验采用的是如图 1 所示的试验装置^[2]。

该实验装置在浇筑混凝土的四周布置螺纹钢筋是为了阻止混凝土与周边的框架分离, 但不限制框架中

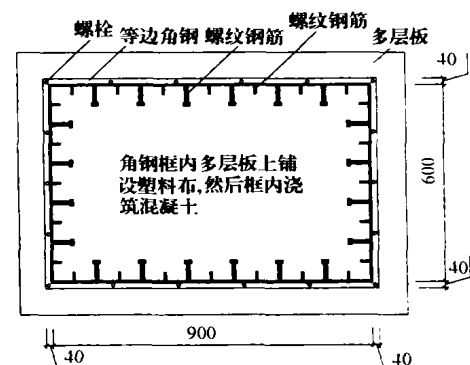


图 1 纤维混凝土干燥收缩试验装置示意图

收稿日期: 2003-08-28; 修订日期: 2003-09-27

基金项目: 天津市建委科技项目(2002-37)

作者简介: 成全喜(1965-), 男, 天津人, 天津城市建设学院高级实验师。

间的混凝土自由干燥收缩,保证裂缝出现在试验区内.为了诱导开裂,该试验的砂中含泥量为10%,并在

旁边设置排风扇强制干燥,风速为1.5 m/s.纤维混凝土抗干缩试验结果见表3.

表1 纤维混凝土类型及配比

| 序号 | 纤维混凝土类型 | 纤维长度/mm | 纤维用量 /(kg·m ⁻³) | 水泥 /(kg·m ⁻³) | 砂子 /(kg·m ⁻³) | 石子 /(kg·m ⁻³) | 水 /(kg·m ⁻³) |
|----|-----------|---------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 1 | 0/0型(无纤维) | 0 | 0 | 360 | 679 | 1106 | 205 |
| 2 | 12/0.6型 | 12 | 0.6 | | | | |
| 3 | 12/0.9型 | 12 | 0.9 | | | | |
| 4 | 12/1.2型 | 12 | 1.2 | | | | |
| 5 | 19/0.6型 | 19 | 0.6 | | | | |
| 6 | 19/0.9型 | 19 | 0.9 | | | | |
| 7 | 19/1.2型 | 19 | 1.2 | | | | |
| 8 | 30/0.6型 | 30 | 0.6 | | | | |
| 9 | 30/0.9型 | 30 | 0.9 | | | | |
| 10 | 30/1.2型 | 30 | 1.2 | | | | |

注:①表中水泥为:普通硅酸盐水泥,等级为32.5;②表中砂子为:普通砂,细度模数1.89,表观密度2 650 kg/m³,堆密度1 450 kg/m³;③表中石子为:碎石,针片状含量3.5%,表观密度2 700 kg/m³,堆密度1 520 kg/m³.

表2 纤维混凝土基本力学性能试验结果

| 纤维混凝土类型 | 立方体抗压强度/MPa | 轴心抗压强度/MPa | 劈裂抗拉强度/MPa | 抗折强度/MPa | 弹性模量/MPa |
|-----------|-------------|------------|------------|----------|------------------------|
| 0/0型(无纤维) | 27.3 | 21.0 | 2.33 | 3.6 | 3.26 × 10 ⁴ |
| 12/0.6型 | 33.1 | 29.3 | 2.10 | 3.9 | 3.48 × 10 ⁴ |
| 12/0.9型 | 31.0 | 25.4 | 2.70 | 3.9 | 3.25 × 10 ⁴ |
| 12/1.2型 | 30.5 | 25.7 | 2.10 | 4.2 | 3.31 × 10 ⁴ |
| 19/0.6型 | 34.4 | 26.8 | 2.72 | 4.2 | 3.24 × 10 ⁴ |
| 19/0.9型 | 34.5 | 27.7 | 2.79 | 4.2 | 3.39 × 10 ⁴ |
| 19/1.2型 | 27.4 | 26.6 | 2.49 | 4.4 | 3.38 × 10 ⁴ |
| 30/0.6型 | 33.2 | 28.1 | — | 4.0 | 3.50 × 10 ⁴ |
| 30/0.9型 | 36.3 | 27.8 | 2.69 | 4.3 | 3.38 × 10 ⁴ |
| 30/1.2型 | 34.3 | 28.4 | 2.53 | 4.1 | 3.28 × 10 ⁴ |

表3 纤维混凝土抗干缩试验结果

| 纤维混凝土类型 | 试件初始质量/kg | 24 h 质量/kg | 24 h 缩水率/% | 24 h 裂缝形状 | | 裂缝面积/mm ² | 裂缝面积总和/mm ² | 裂缝消除率/% |
|---------------|-----------|------------|------------|-----------|-------------|----------------------|------------------------|---------|
| | | | | 裂缝宽度/mm | 裂缝长度/mm | | | |
| 0/0型 (无纤维) | 68.7 | 65.0 | 5.4 | 2.50 | 600 | 1 500 | 2 412 | — |
| | | | | 1.00 | 400,300,180 | 880 | | |
| | | | | 0.12 | 120,150 | 32.4 | | |
| 19/0.9型 | 67.5 | 65.8 | 2.5 | 0.60 | 170 | 102 | 218 | 90.96 |
| | | | | 0.20 | 280,300 | 116 | | |
| 19/1.2型 | 68.6 | 66.4 | 3.2 | 0.10 | 30,50 | 8 | 8 | 99.67 |
| 30/0.9型 | 70.0 | 67.6 | 3.4 | 0.12 | 290,380,320 | 119 | 119 | 95.07 |
| 30/1.2型 | 68.0 | 65.5 | 3.7 | 1.00 | 320 | 32 | 228 | 90.55 |
| | | | | 0.70 | 280 | 196 | | |

2 试验分析

2.1 纤维混凝土的抗干缩性能

在混凝土的塑性收缩中,主要表现为混凝土的干缩,即指混凝土拌合物在硬化前体积减小的情况.干缩

主要发生在混凝土浇筑后4~10 h内,由于水化反应及水分蒸发,混凝土失水严重,因而产生较多的裂缝,根据混凝土中掺入的聚丙烯纤维的长度和数量的不同,共进行了5种不同类型的纤维混凝土抗干缩性能试验.试验表明,素混凝土在浇筑后2 h出现第一条裂缝,其余的裂缝也相继出现,总共出现了5条明显的粗

裂缝,宽度 1~2.5 mm 不等,其余部位也出现多条细裂缝,其中 3 条粗裂缝在 5 h 后贯通成一条整裂缝.掺入聚丙烯纤维的混凝土则明显不同,混凝土浇筑后 5 h 内没有出现粗裂缝,只出现很少的毛细裂缝,20 h 后虽出现一些裂缝,但其长度和宽度均明显小于素混凝土的裂缝.掺加纤维后,裂缝消除率平均为 94.12%,基本消除了裂缝的产生.裂缝形态参见图 2、图 3.

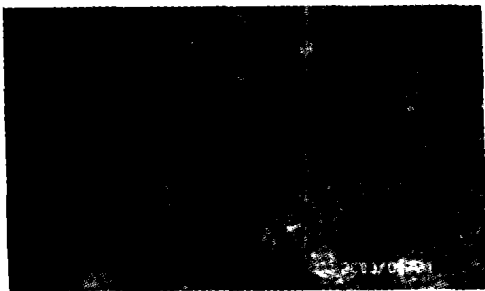


图 2 24 h 0/0 型(无纤维)裂缝形状

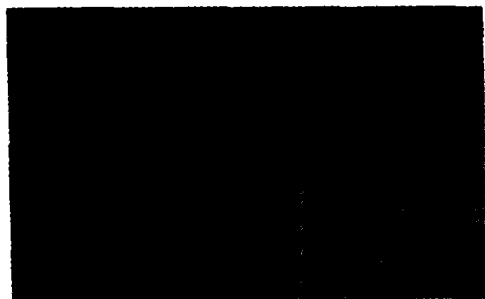


图 3 24 h 19/0.9 型混凝土裂缝形状

混凝土在浇灌后的 24 h 内,特别是在浇筑后的 4~10 h 内,如果其表面暴露于大气中,由于气候干燥或刮风等原因会使混凝土表面失水较多,混凝土中水会发生移动,由于排水以及毛细作用,通路移动至混凝土表面,而发展成混凝土中极细微的龟裂现象,细小裂缝发展迅速结合、相碰,发展成较大的裂缝,相同裂缝形状均匀遍布于混凝土,这些裂缝将结合成较明显的收缩裂缝.混凝土在硬化后,如果周围环境湿度较低,则会因为失水而引起干燥收缩并出现干缩裂缝.

浇筑后的混凝土中的骨料会下沉,这一析水现象对混凝土的干缩开裂有很大影响,试验结果表明聚丙烯纤维具有明显的保水作用^[3].与普通混凝土的相比,聚丙烯纤维混凝土水损失明显减少,保水能力提高了 31%~54%不等.三维乱向分布的纤维网络阻止了骨料和水之间的离析,保证了混凝土的水化反应充分进行,亦提高了混凝土的抗干缩性能.

由于纤维在混凝土内均匀乱向分布,抑制了裂缝

的发展,产生显著的抗干缩效应.因此,聚丙烯纤维的抗干缩效应主要体现在消除或减轻了早期混凝土中原生裂隙的发生和发展,这可理解为是通过聚丙烯纤维提高早期混凝土的抗拉强度实现的.

2.2 聚丙烯纤维对混凝土的阻裂作用

多数情况下,混凝土构筑物的裂缝是由于干燥收缩而产生的,与荷载产生的裂缝及温度变化等等产生的裂缝等相比,干燥收缩裂缝在相当大的程度上与混凝土的配比有直接的关系,因此通过材料试验,就可以在相当程度上评定混凝土的阻裂性能.

根据混凝土中掺入的聚丙烯纤维的长度和数量的不同,共进行了 10 种不同类型的纤维混凝土基本力学性能和阻裂性能试验^[4].从试验结果中可以看出,无论是掺入何种长度和数量的纤维,均提高混凝土的立方体强度和轴心抗压强度.抗折强度也均有所提高,即混凝土的抗弯拉能力增强了.劈裂抗拉强度除有两类略有下降外,其余的均有提高,效果十分明显,强度值最高的则增长了 16.5%.

棱柱体的抗压强度试验和抗折试验还表明试件的破坏形式有所不同,当达到极限荷载后,素混凝土完全断裂;而聚丙烯纤维混凝土仅有两条不同方向的可见短裂缝,试件仍保持完整.试块在达到破坏荷载后,试验机读数并非急剧归零,而是在试块的残余承载力作用下缓慢归零,破坏形态参见图 4、图 5.估且将这一现象称为“持荷现象”,这一现象也从宏观上表明在混凝土中适量加入聚丙烯纤维对改善混凝土性能的影响^[5].



图 4 无纤维与掺纤维混凝土棱柱体抗压强度试验破坏形态对比

混凝土是一种非均质材料,其内部存在着大量的微裂缝,当承受拉力时,内部各质点受力极不均匀,再增大拉力时,内部某些应力集中点首先达到极限应力状态,微裂缝随即扩展.当纤维混凝土出现裂缝后,有

大量的单丝纤维均匀地分布于混凝土中,由于纤维搭接在裂缝两侧,混凝土依靠纤维与基材的粘结及纤维自身的抗拉能力,继续抵抗外力,以承受更大的变形,使裂缝扩展的速度减慢,开裂程度减小,从而使裂缝宽度减小、细化。

图6给出了各型混凝土的阻裂能力的趋势比较,试验结果比较明显地反映出聚丙烯纤维能提高混凝土的阻裂能力.在混凝土中掺入纤维材料的目的是针对因混凝土抗拉强度不足造成的易裂问题,纤维在混凝土中的阻裂作用实际上正是提高了混凝土抗拉强度

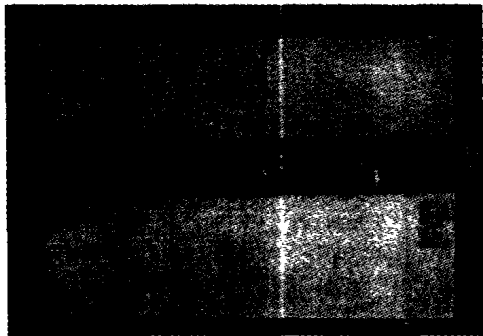


图5 无纤维与掺纤维混凝土棱柱体抗折强度试验破坏形态对比

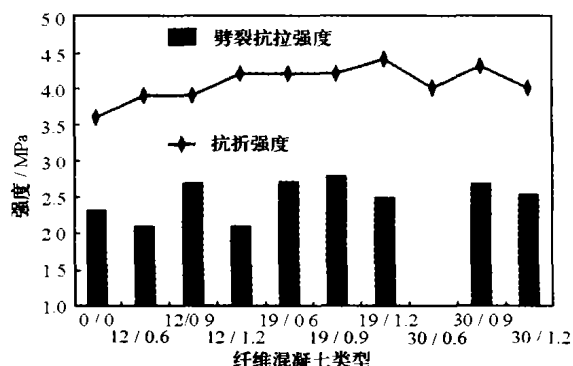


图6 纤维混凝土阻裂能力示意图

的表现,但不同长度和掺量的纤维,在混凝土中阻裂作用和效果也不同.综合上述试验结果,19/0.9型和30/0.9型的混凝土阻裂增强作用尤为明显.以上分析仅为初步分析,尚有待进一步深入研究。

3 结论

(1) 聚丙烯纤维对混凝土力学性能有积极的影响,尤其在改善混凝土抗拉强度方面比较突出。

(2) 聚丙烯纤维能有效抑制混凝土表面的水分蒸发,有效控制混凝土早期干缩裂缝的数量、长度及宽度.纤维混凝土抗干缩性能试验可用来宏观分析比较纤维在混凝土中的阻裂作用,但抗干缩性能的微观解释,有待进一步探索研究。

(3) 聚丙烯纤维可显著改善混凝土材料的阻裂性能,聚丙烯纤维在混凝土中起阻裂和细化裂缝的作用,改善程度与纤维长度和掺量等因素有关.19/0.9型和30/0.9型的混凝土阻裂增强作用尤为明显,实际工程中可在混凝土构件中适当使用聚丙烯纤维。

参考文献:

- [1] 曹 诚,刘兰强.关于聚丙烯纤维对混凝土性能影响的几点认识[J].混凝土,2000,(9):49-51.
- [2] 戴建国,刘 明,黄承逵.聚丙烯纤维混凝土和砂浆的塑性收缩试验研究[J].沈阳建筑工程学院学报,2000,(3):195-196.
- [3] 马一平,谈慕华.聚丙烯纤维水泥基复合材料物理力学性能研究—抗塑性干缩开裂性能[J].建筑材料学报,2000,(3):48-52.
- [4] 邦 奇 J H.结构混凝土试验[M].王怀彬译.北京:中国建筑工业出版社,1987.
- [5] 龚 益,沈荣熹,李清海.杜拉纤维在土建工程中的应用[M].北京:机械工业出版社,2002.

Experimental research on crack resistance of polypropylene fibre reinforced concrete

CHENG Quan-xi, JIANG Shu-jie, SUN Jin-biao

(Department of Civil Engineering, TIUC, Tianjin 300384, China)

Abstract: The fraction of polypropylene fibre in concrete can greatly improve its performance, and can efficiently control the amount, length and width of early drying and shrinkage crack of the concrete. The polypropylene fibre plays a role to some extent in anti-crack and fine-drawn crack, according to the length and mixing amount of the fiber.

Key words: polypropylene fibre; concrete; drying and shrinkage; crack resistance