

## 聚丙烯纤维网混凝土基本力学性能研究

王学森 申春森 张国忠 赵 康  
(解放军 63653 部队 10 分队, 马兰 841700)

[摘 要] 通过不同掺量聚丙烯纤维网所配制混凝土的抗压强度、抗折强度和抗拉强度等试验,研究了聚丙烯纤维网混凝土的基本力学性能,对基于聚丙烯纤维网混凝土力学性能的相关问题进行了讨论。

[关键词] 聚丙烯纤维网混凝土;抗压强度;抗折强度;抗拉强度

[中图分类号] TU528.572 [文献标识码] A [文章编号] 1001-523X(2003)07-0052-03

STUDY ON THE MECHANICAL PROPERTY OF POLYPROPYLENE  
FIBERMESH REINFORCED CONCRETE

Wang Xue-sen Shen Chun-miao Zhang Guo-zhong Zhao Kang

[Abstract] The essential mechanical property of polypropylene fibermesh reinforced concrete, for example compressive strength, flexural strength, and tensional strength was studied by mixing into a known quantity polypropylene fibermesh. The correlative issues of its mechanical property were discussed.

[Keywords] Polypropylene fibermesh reinforced concrete; Compressive strength; Flexural strength; Tensional strength

## 1 前言

20 世纪 80 年代以来美国合成材料化学工业生产了聚丙烯纤维网(FIBERMESH),并将其应用于混凝土建筑物,通过大量材料性能和工程结构试验,现已得到广泛应用。它对增强混凝土早期抗拉强度、防止早期由沉陷、水化热、干缩而产生的内蕴微裂纹,减少表面裂缝和开裂宽度,增强混凝土的防渗性能、抗磨损抗冲击性能及增强结构整体性有显著作用<sup>[1]</sup>。但就其在现代混凝土工程中使用年限来看,比钢纤维要晚 20 年,目前已在世界各地逐步推广开来<sup>[2]</sup>。对该型混凝土的个别力学性能的认识,特别是聚丙烯纤维网对混凝土的抗压和干缩龟裂的影响,还有相互矛盾的说法。本文试图通过抗压强度、抗折强度和劈裂抗拉强度等基本力学性能试验,以期对这种新型工程材料力学性能有所认识。

## 2 试验方法

## 2.1 原材料

## 2.1.1 水泥

采用新疆天山水泥有限公司和静水泥厂 32.5 级普通硅酸盐水泥。

## 2.1.2 集料

粗集料采用 5~10 mm 的碎石,细集料采用中粗砂。

## 2.1.3 减水剂

新疆建材研究院外加剂厂生产的 FDN-2 高效减水剂。

## 2.1.4 聚丙烯纤维网

美国纤维网公司生产,西安博赛特纤维网混凝土有限公司提供。

其物理性能如下:

吸水性:无;相对密度:0.91;纤维长度:12~19 mm;熔点:160~170℃;燃点:590℃;导电性:低;导热性:低;抗酸、碱腐蚀能力:高;抗拉强度:560~770 MPa;杨氏弹性模量:3500 MPa。

## 2.1.5 水

饮用水。

## 2.2 试验配合比

本试验基准混凝土配合比以 C30 强度等级指标配制,共设计了三种不同聚丙烯纤维网掺量的混凝土对比试验,即分别掺入 0、0.9 kg/m<sup>3</sup> 和 1.8 kg/m<sup>3</sup> 等三种掺入量,配比参见表 1。

表 1 对比试验混凝土配合比(kg/m<sup>3</sup>)

| 试验编号                    | 水泥  | 石子  | 砂   | 水   | 减水剂  | 纤维网 |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|
| 1-空白                    | 480 | 830 | 810 | 210 | 3.84 | 0   |
| 2-0.9 kg/m <sup>3</sup> | 480 | 830 | 810 | 210 | 3.84 | 0.9 |
| 3-1.8 kg/m <sup>3</sup> | 480 | 830 | 810 | 210 | 3.84 | 1.8 |

## 2.3 试样制备

## 2.3.1 搅拌方法

- 将粗骨料、砂和水泥放入强制式搅拌机中搅拌 1 min;
- 将水和减水剂放入强制式搅拌机中搅拌 1 min,成均

收稿日期:2003-04-10

作者简介:王学森(1966-),男,安徽枞阳人,毕业于沈阳建筑工程学院,获清华大学材料工程硕士学位,高级工程师,从事特种工程材料研究。

匀状态;

c)将聚丙烯纤维网放入强制式搅拌机中,搅拌 4 ~ 5 min,均匀后浇筑试样;

d)将试模放在振动台上,振动 4 ~ 5 min 成型。

### 2.3.2 养护

在养护室进行标准状态下养护,即室温  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ,湿度 90% 以上,养护一天后脱模,在温度为  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  的水中养护至试验龄期。

## 3 试验结果及分析

本试验选择早期的 3 d 和后期的 28 d 的两个龄期,分别进行了不同聚丙烯纤维网掺量混凝土的抗压强度、抗折强度和劈裂抗拉强度等性能的检测。

### 3.1 抗压强度

试样为  $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$  标准立方体,测试结果见表 2。

表 2 抗压强度对比试验

| 试验编号                     | 3 d 抗压强度 (MPa) | 28 d 抗压强度 (MPa) | 备注 |
|--------------------------|----------------|-----------------|----|
| 1-空白                     | 25.2           | 37.9            | 最低 |
| 2-0.9 kg/cm <sup>3</sup> | 25.3           | 42.8            |    |
| 3-1.8 kg/cm <sup>3</sup> | 29.1           | 53.1            | 最高 |

抗压强度试验结果基本上反映了掺加聚丙烯纤维网增强作用,而且掺量多的后期强度,聚丙烯纤维网增强作用(3 ~ 1.8 kg/cm<sup>3</sup> 的混凝土强度比空白提高了 40.1%)比掺量少的(2-0.9 kg/cm<sup>3</sup> 的混凝土强度比空白提高了 12.9%)要大;但聚丙烯纤维网对早期强度影响,不同掺量的差距较大,低掺量几乎不起作用。

### 3.2 抗折强度

试样为  $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$  长方体,试验采用三点式抗弯模式。测试结果见表 3。

表 3 抗折强度对比试验

| 试验编号                     | 3 d 抗折强度 (MPa) | 28 d 抗折强度 (MPa) | 备注 |
|--------------------------|----------------|-----------------|----|
| 1-空白                     | 3.20           | 6.16            | 最低 |
| 2-0.9 kg/cm <sup>3</sup> | 3.90           | 6.64            | 最高 |
| 3-1.8 kg/cm <sup>3</sup> | 3.38           | 6.64            |    |

抗折强度所反映的是材料的抗疲劳特性即脆性指标,特别是动载下的抗裂性。抗折强度的试验结果证明,聚丙烯纤维网对混凝土早期抗折强度影响相对较大(聚丙烯纤维网的混凝土 3 d 抗折强度比未掺聚丙烯纤维网的混凝土增加 21.8%),比后期(聚丙烯纤维网的混凝土 28 d 抗折强度比未掺聚丙烯纤维网的混凝土增加 9.3%)效果明显。有专家认为高掺量的纤维,纤维掺量在混凝土中不易均匀分散,故必须延长混凝土拌和料的搅拌和振动时间。因此,在一定的条件下(如搅拌和振捣强度的决定,与施工技术和施工进度密切相关),适宜的掺量是必须的,掺量大不仅对提高混凝土抗折强度无益,而且会提高成本。另外,试验过程中混凝土试件没有完全断裂开,说明纤维网起到了阻裂作用。

### 3.3 劈裂抗拉强度

试样为  $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$  标准立方体。测试结果见表 4。

表 4 劈裂抗拉强度对比试验

| 试验编号                     | 3 d 劈裂抗拉强度 (MPa) | 28 d 劈裂抗拉强度 (MPa) | 备注       |
|--------------------------|------------------|-------------------|----------|
| 1-空白                     | 2.75             | 3.29              |          |
| 2-0.9 kg/cm <sup>3</sup> | 2.36             | 3.85              | 数据整体上无规律 |
| 3-1.8 kg/cm <sup>3</sup> | 2.79             | 3.65              |          |

本组试验数据离散性较大,整体上没有规律性可寻。但总的趋势是,掺入聚丙烯纤维网对混凝土劈裂抗拉强度的影响不显著。试验中掺入纤维的混凝土同普通混凝土一样产生了崩裂,这可能与聚丙烯纤维网的低抗拉强度(聚丙烯纤维网的抗拉强度只有钢纤维的 50 ~ 70%)有关,可能还与纤维与水泥石的低粘结力有关。

## 4 讨论

### 4.1 聚合物纤维网对混凝土干缩龟裂的影响

多数文献介绍聚合物纤维网可以有效地阻止混凝土(专业文献一般不具体区分混凝土与砂浆,多数情况下都将砂浆纳入混凝土概念中)的干缩龟裂<sup>[1,2]</sup>,换言之,即纤维可以有效地降低混凝土的干缩龟裂数量。但实际上,Yun Mook Lim 等人的研究结果认为,在自然环境下(温度:  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ ; 湿度  $50\% \pm 2\%$ ),掺加纤维的砂浆(指没有粗骨料)比不掺纤维砂浆的收缩量要高 10% ~ 60%,同时比普通混凝土的收缩率要高 3 ~ 4 倍<sup>[3]</sup>。而收缩则不可避免产生干缩裂缝。因此,就纤维砂浆而言,其干缩龟裂数量可能要比普通混凝土多。他们认为出现这种情况的原因可能是由于掺加纤维的砂浆中的水泥用量大而缺乏粗骨料。

同时,Yun Mook Lim 等人的研究又证实掺加纤维的砂浆早期(1 d ~ 2 d 内)所出现裂缝的最大宽度,一般只有不掺纤维砂浆的 1/5。从这一点来看,认定纤维混凝土(砂浆)具有抗早期裂缝扩展的功能是有其理论和实践根据的。另外,按照 Griffith 微裂缝理论,材料的断裂强度不是取决于裂缝数量,而是决定于裂缝大小,即由最危险的裂缝尺寸(临界裂缝尺寸)决定材料的断裂强度<sup>[4]</sup>。实际上,聚合物纤维网对提高混凝土的疲劳断裂强度的贡献较大,从本试验的抗折强度结果可见一斑。

因此,对于纤维混凝土的阻止混凝土干缩龟裂的提法,应详细区分混凝土(或砂浆)的具体形态,否则,极易引起误解。

### 4.2 聚合物纤维网对混凝土抗压强度影响

国内有些文献认为聚丙烯纤维网能增加混凝土的抗压强度<sup>[6,7]</sup>,又有文献认为聚丙烯纤维网对抗压强度的贡献不大或使混凝土的强度稍有降低<sup>[5,8,9]</sup>,由此可见,对于同一问题的观点有相互矛盾的认识。不过,对不同结论应作具体分析。一般认为聚丙烯纤维网对混凝土的抗压强度影响,可能

与聚丙烯纤维网的弹性模量和掺量有关,从本试验结果来看,高掺量对混凝土后期强度影响较大。但另外一方面,同一类型的聚丙烯纤维网,相同的掺量,有时得出的结论也相反,这似乎与混凝土的组成材料的性质(如水泥石与骨料的界面状态、拌和料的水灰比等)有关,只是情况比较复杂,不便说清楚;还有人认为聚丙烯纤维网对混凝土的抗压强度影响还与混凝土振动时间有关联<sup>[7]</sup>。因此,聚丙烯纤维网对混凝土的抗压强度的影响问题,目前还不能一概而论,绝对地否定或肯定一个观点,都是片面的。

## 5 结束语

对聚丙烯纤维网混凝土的性能的认识,随着研究的不断深入,必将越来越清晰。但通过掺入纤维网消除或减少原生裂隙的数量和尺度、改善混凝土的品质,从而改进混凝土的使用性能,无疑是有其现实意义的。

## 参考文献

1 惠士博.纤维混凝土概述.清华大学水利系

- 2 Fiber-reinforced Concrete: an Overview after 30 Year of Development, Ronald F. Zollo, Cement and Concrete Composite, No. 19 1997
- 3 Development of Flexural Composite Properties and Dry Shrinkage Behavior of High-Performance Fiber Reinforced Cementitious Composite at Early Ages, Yun Mook Lim et. al, ACI Materials Journal, January-February 1999
- 4 关振铎等.无机材料物理性能.北京:清华大学出版社,1992
- 5 孙家瑛.聚丙烯纤维网对高性能混凝土抗折、抗冲击性能影响研究.上海市市政工程研究院.
- 6 纤维网增强混凝土(FRC)路用性能研究.西安公路交通大学检测中心
- 7 纤维网增强混凝土(FRC)力学性能试验.北方交通大学
- 8 曹诚.关于聚丙烯纤维网对混凝土性能影响的几点认识.天津市市政工程研究院
- 9 曹诚,王立军,王德群.振动时间对合成纤维混凝土强度的影响.天津市市政工程研究院
- 10 郭子嵩.聚丙烯纤维网混凝土在工程中的应用.水利部珠江水利委员会勘测设计研究院

(上接第 35 页)

## 4 减振措施与效果分析

强夯的冲击能量以波的形式由振源向土体深层和地面传播,传播形式可分为体波(P波、S波)、面波(R波、Love波),其中R波能量约占总量的67%。R波局限于地基的表面附近且衰减缓慢,对建筑物的破坏力较大,因而成为减少强夯施工振动对周围建筑物影响的主要控制对象。

根据R波的传播特性,一般采用主动隔振和被动隔振两种方法减少振动影响。主动隔振是在靠近或围绕振源处设置隔振屏障(如隔振沟)以减少振源向外辐射的能量;被动隔振是靠近减振对象设置隔振屏障以减少地基振动的影响。

影响隔振效果的因素很多,振源至隔振沟中心的距离 $R$ 、沟长 $L$ 、沟宽 $W$ 、沟深 $H$ 都是直接影响隔振效果的因素。Woods<sup>[5]</sup>(1968年)在进行大量的现场隔振试验后认为,若要使沟后地表的位移振幅减少75%以上,对主动隔振的环形隔振沟( $L=2\pi R$ ),其最小深度约为 $0.6\lambda_R$ (其中 $\lambda_R$ 为R波波长),而对被动隔振沟则需达到 $(1.2\sim 1.5)\lambda_R$ ,两者的沟宽对隔振效果均没有实质性影响。

本文在前述算例中对设在距夯点中心距为7.33m处环形隔振沟的效果进行了模拟分析。计算结果表明,在本算例中,当隔振沟的深度在(1~4)m范围内变化时,其隔振效果基本相同(图15、图16所示)。

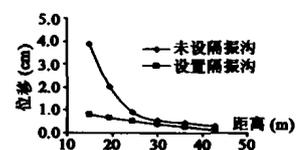


图 15 表面径向位移峰值-距离衰减曲线

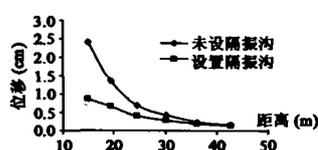


图 16 表面垂向位移峰值-距离衰减曲线

由图 15、图 16 可见,在距夯点 14.8 m 处,径向位移峰值

从未设置隔振沟时的 3.87 mm,降至设置隔振沟以后的 0.93 mm,降幅为 75.9%;垂向位移峰值从未设置隔振沟时的 2.41 mm,降至设置隔振沟以后的 0.99 mm,降幅为 58.7%。这说明在本算例中,设置深度为 1 m 的环形隔振沟就可以获得显著的隔振效果。

## 5 结论

通过本文的计算分析,得出以下初步结论:

- a) 本文建立的有限元模型及其数值计算方法可用于分析强夯引起的地基振动衰减规律,为工程实践服务。
- b) 强夯引起的地基振动(包括位移、速度和加速度)随与夯点中心距离的增大而迅速衰减,其峰值随距离的衰减规律可用负幂函数来描述。
- c) 强夯引起的地基振动周期随距离的增大而变长,反映振动频率发生了由高到低的变化,这容易导致基频较低的建筑物发生类共振现象。
- d) 强夯引起的地表振动,位移峰值沿垂向深度的衰减远小于沿水平径向的衰减。
- e) 可在工地四周开挖一定深度的空沟来减小强夯振动对临近环境的影响。

## 参考文献

- 1 谭捍华,孙进忠,祁生文.强夯振动衰减规律的研究[J].工程勘察,2001,(5):11-14
- 2 梁志荣.水力冲填(吹填)粉煤灰的性质及加固方法的研究[D].同济大学,1991
- 3 梁志荣,曹名葆,叶柏荣.强夯特性的数值分析[J].地基处理,1992,3(4):20-26
- 4 夏瑞良,龚小平,沈小七.强夯引起地面振动的衰减特征[J].地震学刊,2001,21(2):41-44
- 5 Woods, R. D. Screening of Surface Waves in Soils[J]. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 94(SM4):951-979