

文章编号:1672-6685(2004)04-0071-03

桥面铺装层混凝土掺用聚丙烯纤维的工程应用

王新定,丁汉山,戴航

(东南大学 交通学院,江苏 南京 210096)

摘要:结合某大桥桥面铺装层混凝土工程,阐述了聚丙烯纤维混凝土的特性及其工作机理。在桥面铺装层混凝土中掺用聚丙烯纤维能够增强其抗拉、抗折、抗渗、抗冲击能力,并起到阻裂增韧的作用。对该桥桥面铺装层混凝土掺用聚丙烯纤维后的配合比进行了试验设计,现场试验和观测结果表明,对该桥桥面铺装层混凝土掺用聚丙烯纤维进行改性是非常有益的,该桥桥面铺装层聚丙烯纤维混凝土工程的设计和施工是成功的。

关键词:桥面铺装层混凝土;聚丙烯纤维;工程应用

中图分类号:TU528.572 **文献标识码:**A

Application of Polypropylene Fiber Concrete in Deck Paving of a Bridge

WANG Xin-ding, DING Han-shan, DAI Hang

(School of Communication, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: In respect to the deck paving of a certain bridge, the properties and working mechanism of polypropylene fiber concrete are clarified in this paper. The use of polypropylene fiber in concrete of the bridge deck paving can improve its tensile strength, bending strength, permeability strength, impact ductility, cracking resistance and toughness. The ratio of polypropylene fiber and the bridge deck paving concrete is worked out by experiment. On-the-spot tests and observed results show that the use of polypropylene fiber into the concrete of bridge deck paving is very beneficial to the improvement of performance, and that the design and construction of the bridge deck paving polypropylene fiber concrete is successful.

Key words: concrete of bridge deck paving; polypropylene fiber; engineering application

0 前言

混凝土的最大弱点是抗拉强度低,只有其抗压强度的几分之一到十几分之一,因而它是一种脆性材料,极易产生裂缝。随着裂缝的扩展会造成结构物抗渗性能的降低,以致结构物的使用寿命缩短。随着我国经济的快速发展,交通流量日益增长,桥梁工程中桥面铺装层混凝土过早地出现裂缝,由于渗水及车辆的反复作用,日积月累,桥面铺装层混凝土遭受严重破坏,这直接危及梁体正常功能的使用,甚至导

致梁体毁坏,影响交通安全。因此,提高桥面铺装层混凝土的性能,尤其是提高其抗拉强度,使混凝土具有高韧性、高抗渗性等良好性能,显得特别重要。于是就出现了高性能混凝土。纤维混凝土即是在对混凝土的改性过程中应运而生的,目前常用的纤维混凝土有钢纤维混凝土、玻璃纤维混凝土、碳纤维混凝土、聚丙烯纤维混凝土等。由于聚丙烯纤维混凝土具有抗裂、抗渗、抗冲击、耐磨及价格低等优点,因此聚丙烯纤维在现代桥梁的桥面铺装层混凝土中的应

用日益得到重视和推广。

1 聚丙烯纤维混凝土的特性及其工作机理

1.1 阻裂增韧^[1~2]

混凝土在初期硬化过程中,由于水泥和水化学反应形成结晶体,从而导致混凝土体积收缩,另外在后期阶段由于混凝土内自由水分蒸发而引起干缩。如果收缩和干缩作用所产生的内部拉应力大于水泥基体的抗拉强度,则在混凝土内部必然引起微裂缝,这些微裂缝不可避免地存在于混凝土内的骨料和水泥凝胶体的局部接触面以及凝胶体自身内部。但对于掺入聚丙烯纤维的混凝土而言,由于聚丙烯纤维以单位体积内较大的数量均匀分布于混凝土内部,犹如在混凝土中掺入巨大数量的微细筋,故混凝土内部的微裂缝在发展过程中必然遭到纤维的阻挡,消耗了能量,难以进一步扩展。这样就抑制了混凝土开裂的进程,提高了混凝土的断裂韧性,从而达到阻裂增韧的作用,而且纤维间的平均间距越小,这种作用越明显。

对于三维乱向圆柱形纤维增强材料,美国的 Romualdi 推导出纤维平均间距公式为

$$S = 1.25 \times \frac{d}{\sqrt{V_f}},$$

其中, S 为纤维中心平均间距, d 为纤维直径, V_f 为纤维体积掺率。

纤维增强混凝土的抗拉强度为

$$\sigma_{ct} = \sigma_{mt} + \frac{K}{\sqrt{(S-1)}},$$

其中, σ_{ct} 为纤维增强混凝土的抗拉强度, σ_{mt} 为基体混凝土的抗拉强度, K 为试验常数。

国外 Zollo 等人的试验结果表明,掺入体积分数 0.1%~0.3% 的聚丙烯纤维混凝土,其塑性收缩减少 12%~15%。

1.2 抗渗^[3~4]

从上面分析可以知道,在普通混凝土中掺入大量微细的聚丙烯纤维可以有效地减少和抑制混凝土内部因收缩或干缩产生的微裂缝的产生和发展,尤其是有效地抑制了裂缝贯通的产生。另外在混凝土中均匀分布且彼此相粘连的大量短细聚丙烯纤维起了“承托”骨料的作用,降低了混凝土表面的泌水与集料的离析,从而使混凝土中的孔隙含量大大降低,使混凝土的抗渗能力得到极大提高。

1.3 抗冲击^[5]

由于聚丙烯纤维的抗拉强度较混凝土高,弹性模量较混凝土低,因而聚丙烯纤维的极限拉伸率高于混凝土,故在动荷载与冲击荷载作用下可吸收能量,从而有效地减少了集中应力的作用,阻碍了混凝土中微裂缝的扩展,增强了混凝土的抗冲击和抗震能力。

2 工程应用实例

江苏南部地区某大桥全长为 416.44 m,全宽为 26 m,中央分隔带宽为 3.0 m,行车道为宽 2×10.75 m 的双幅单向车道分离式桥梁,其中主桥为 42.5 m+65.0 m+42.5 m 的三向预应力变截面连续箱梁。桥面为复合式桥面,10 cm 厚的普通水泥混凝土和 6 cm 厚的沥青混凝土。该桥于 1996 年建成运营通车,2001 年发现箱梁顶板及翼板有渗水现象,随后在桥面检查中发现桥面铺装层水泥混凝土出现了不同程度的裂缝现象,局部混凝土甚至已破碎。为此决定对该桥面铺装层进行全面翻修,为了改善混凝土的抗裂和抗渗性能,决定在该复合桥面翻修时,在水泥混凝土中掺入聚丙烯纤维,考虑到实际施工条件,根据以往工程经验以及室内试验结果,决定在水泥混凝土中掺入 0.9 kg/m³ 的美国杜拉纤维 (Durafiber),纤维的主要性能指标如表 1 所示。

表 1 Durafiber 主要性能指标

Table 1 The main properties of Durafiber

性能	抗拉强度/ MPa	弹性模量/ MPa	断裂伸长/ %	密度/ (g/cm ³)
数值	276	3 793	15	0.91

2.1 聚丙烯纤维混凝土的设计

桥面铺装层水泥混凝土的设计强度为 C50,为尽早开放交通,设计要求 3 d 的强度指标为:抗压强度 ≥ 35 MPa,抗折强度 ≥ 4.5 MPa。

2.1.1 材料选用 聚丙烯纤维采用美国杜拉纤维,纤维长 19 mm;水泥选用安徽宁国水泥厂生产的“海螺”牌 42.5 级普通硅酸盐水泥;粗集料选用 5~20 mm 连续级配碎石;细集料选用细度模数为 2.6 的长江中砂;外加剂采用复合型高效混凝土微膨胀减水剂。

2.1.2 配合比设计 聚丙烯纤维混凝土配合比设计强度指标,以抗压强度和抗折强度作为双控指标。

影响配合比的主要因素是水胶比、外加剂掺量、砂率以及聚丙烯纤维掺量,根据技术规范及经济合理的原则,经室内试配,确定实验室配合比如表2所示。聚丙烯纤维掺量为 0.9 kg/m^3 ,水胶体积比为0.34,外加剂掺量为10%,砂率为40%。

表2 聚丙烯纤维混凝土实验室配合比一览表

Table 2 The lab mixing ratio of polypropylene fiber concrete

水胶比	砂率/%	原材料单位用量/(kg/m^3)						坍落度/cm
		水泥	砂	碎石	水	聚丙烯纤维	外加剂	
0.34	40	477	708	1 062	180	0.9	53	7~9

2.2 施工工艺^[6]

为确保桥面聚丙烯纤维混凝土与箱梁顶板混凝土结合良好,在桥面聚丙烯纤维混凝土施工前,先对箱梁顶板表面混凝土进行凿毛处理,用清水冲洗结合面,以保证混凝土界面无浮尘,在防裂焊接钢筋网片安装完成以后,再次用鼓风机将整个结合面的浮尘吹除干净,同时让结合面在聚丙烯纤维混凝土施工时保持湿润。在桥面聚丙烯纤维混凝土施工时,先测试当天的砂、碎石的含水量,据此将理论配合比换算为施工配合比。外加剂、水、砂、碎石、水泥及聚丙烯纤维等材料应严格计量,投料按碎石、砂、水泥、外加剂、聚丙烯纤维、水的顺序进行加料拌和,拌和时间较普通水泥混凝土延长1 min左右,以确保聚丙烯纤维混凝土出料后分散均匀,其降解纸袋也能完全分解在混凝土混合物中,没有絮凝成团的现象。聚丙烯纤维混凝土出料后,用手推车将拌和物送至指定位置,人工将拌和物大致摊铺整平,摊铺系数按1.2左右控制。先用平板式振捣器进行振捣,再用振动梁进行拖平振捣,确保混凝土振捣均匀、密实、不漏振。在混凝土初凝前采用圆盘式抹光机抹面加人工精抹,确保混凝土表面平整无浮浆。待聚丙烯纤维混凝土收浆后及时遮盖彩条布,彩条布不得紧贴混凝土表面。由于聚丙烯纤维混凝土的早期强度较高,所以应加强早期的养护工作。聚丙烯纤维混凝土终凝后的3 d内要24 h洒水养护,7 d内保持湿润养护。终凝前严禁行人及其他重物通行,在交通开放前的3 d内严禁一切车辆通行。

2.3 工程质量评述

为确保大桥桥面聚丙烯纤维混凝土的工程质量,在施工前进行了多次室内纤维混凝土的试配工作,施工过程中严格按施工规范及有关要求实施,严格材料的计量工作,测定混凝土的坍落度,加强纤维

混凝土的振捣和养护工作。表3是施工现场随机抽样的聚丙烯纤维混凝土的强度试验结果,结果表明3 d的抗压强度和抗折强度均满足设计要求,3 d的抗压强度、抗折强度和劈裂抗拉强度分别达到28 d强度值的82.2%、89.3%和90.2%。通过现场观测,聚丙烯纤维混凝土表面未出现裂纹,箱梁顶板也未见有渗水现象。试验和现场观测结果表明,桥面铺装层聚丙烯纤维混凝土的设计和施工是成功的,桥面铺装层混凝土采用聚丙烯纤维进行改性的效果十分明显。

表3 施工现场随机抽样强度试验结果

Table 3 The in-situ test result of strength of polypropylene fiber concrete

龄期/d	抗压强度		抗折强度		劈裂抗拉强度	
	实测值/	百分比/	实测值/	百分比/	实测值/	百分比/
	MPa	%	MPa	%	MPa	%
3	56.7	82.2	8.91	89.3	4.86	90.2
7	64.8	93.9	9.73	97.5	5.36	99.4
28	69.0	100	9.98	100	5.39	100

3 结束语

(1) 桥面铺装层混凝土掺入聚丙烯纤维后,能较大地提高其抗拉强度,从而显著地增强了桥面铺装层混凝土的抗裂性能。

(2) 桥面铺装层混凝土掺入聚丙烯纤维后,聚丙烯纤维所形成的三维乱向支撑作用降低了混凝土表面的泌水与集料的离析,减少了混凝土的孔隙率,并且减少了桥面混凝土的收缩裂缝,因而极大地提高了桥面铺装层混凝土的抗渗性能。

(3) 桥面铺装层混凝土是汽车活载冲击作用的直接承担者,在其中掺入聚丙烯纤维后极大地提高了桥面铺装层混凝土抗冲击能力。

(4) 桥面铺装层混凝土中掺入聚丙烯纤维后,随着其抗裂、抗渗和抗冲击性能的提高,桥面铺装层混凝土的耐久性也得到改善。

(5) 由于混凝土中掺入聚丙烯纤维后具有增稠效应,因而在施工过程中要注意聚丙烯纤维混凝土的这一特点。

参考文献:

- [1] 袁勇,邵晓芸.合成纤维增强混凝土的发展前景[J].混凝土,2000(9):3-7.

(下转第77页)

力水平下的经验公式中的常数 a, b, c , 如表 3 所示。

表 3 不同应力水平下的蠕变经验公式
Table 3 The empirical formula of shear creep
under diverse normal stress

试件 编号	应力水平 σ/MPa	a	b	c	$\Delta = \sum (\epsilon_i - \epsilon_i')^2 \times 10^{-3}$
1-1	2.49	0.584 9	0.203 5	130.468 1	1.578
1-2	0.32	1.830 0	0.508 6	235.589 4	1.285
1-3	1.12	1.785 1	0.816 2	0.749 1	7.313
1-4	1.20	5.614 7	1.170 4	239.427 6	30.579
2-1	1.09	4.284 2	1.681 5	9.058 4	1.811
2-4	2.61	1.959 5	0.054 5	0.517 4	0.020

从表 3 可以看出, 采用该经验公式来拟合图 1~6 中的典型蠕变曲线是比较合理的, 误差比较小 (除试件 1-4 外)。

4 结论

(1) 通过快剪试验和长期剪切流变试验得到了节理的短期抗剪强度和长期抗剪强度。利用 Mohr-Coulomb 剪切破坏准则对试验结果进行拟合分析, 得到节理短期抗剪强度参数为: 摩擦系数 $f=0.94$, 粘聚力 $c=0.31 \text{ MPa}$; 长期抗剪强度参数为: $f=$

0.681, 粘聚力 $c=0.117 \text{ MPa}$ 。与室内快速剪切强度参数相比, 长期抗剪强度有所降低, 摩擦系数为快剪试验的 72%, 粘聚力为快剪试验的 38%。粘聚力对时间更为敏感, 随时间增加衰减得更快。

(2) 通过采用最小二乘法对试验数据进行回归分析, 最终得到了适合于模拟特定法向应力作用下剪切应力低于长期强度的应变-时间关系经验公式 $\epsilon(t)=(a-be^{-at})\sigma_0$, 可用于预测特定应力水平下岩石节理面的最终变形。

参考文献:

- [1] 曹树刚, 边金. 岩石蠕变本构关系及改进的西原正夫模型[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(5): 632-634.
- [2] 夏熙伦, 徐平, 丁秀丽. 岩石流变特性及高边坡稳定性流变分析[J]. 岩石力学与工程学报, 1996, 15(4): 312-322.
- [3] 孙钧. 岩土材料流变及其工程应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- [4] 唐焕文, 秦学志. 实用最优化方法[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2000.

作者简介: 陈记(1976—), 男, 湖北赤壁人, 广东阳茂高速公路有限公司助理工程师, 硕士, 主要从事岩土力学与工程方面的研究。

(责任编辑: 褚金红)

(上接第 73 页)

- [2] 马一平, 谈慕华. 聚丙烯纤维对水泥基复合材料物理力学性能研究(1)——抗塑性干缩开裂性能[J]. 建筑材料学报, 2000, 3(2): 48-53.
- [3] 李光伟. 聚丙烯纤维对混凝土抗裂性能的影响[J]. 水电站设计, 2002, 18(2): 98-101.
- [4] 刘鲁新, 陈发祥. 聚合物纤维混凝土在渠道防渗中的应用[J]. 节水灌溉, 2001(5): 36-32.

- [5] 孙家瑛. 聚丙烯纤维对高性能混凝土抗折强度、抗冲性影响研究[J]. 混凝土, 1999(3): 19-21
- [6] JTJ 041-2000, 公路桥涵施工技术规范[S].

作者简介: 王新定(1966—), 男, 浙江新昌人, 东南大学交通学院讲师, 博士在读, 主要从事桥梁和隧道工程方面的研究。

(责任编辑: 褚金红)