

季冻区聚丙烯纤维网混凝土的低温抗裂性能

张春平, 冯春成

(黑龙江工程学院 土木与建筑工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150050)

摘 要: 针对普通混凝土易开裂、耐久性不良等问题,通过室内试验探讨聚丙烯纤维网混凝土的低温抗裂性能.利用 weibull 分布,研究在常温、冰冻及冻融循环状态下纤维掺量对水泥混凝土断裂能和疲劳寿命的影响.结果表明,聚丙烯纤维网具有提高混凝土耐久性的作用,冻融后抗压强度提高 13.9%;早龄期抗裂性随着聚丙烯纤维掺量的增加而提高,在掺量为 0.9 kg/m^3 时经济性最佳.

关键词: 聚丙烯纤维网; 混凝土; 低温抗裂性; 断裂能; 疲劳寿命

中图分类号: U444 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2012)04-0106-04

The Low Temperature Crack Resistance of Polypropylene Fiber Concrete in Seasonal Frost Regions

ZHANG Chun-ping, FENG Chun-cheng

(School of Civil and Architectural Engineering, Heilongjiang Institute of Technology, Harbin 150050, China)

Abstract: In view of the phenomenon that the ordinary concrete is easily apt to crack and wreck, through the laboratory test, the effects of polypropylene fiber on the performance of concrete crack resistance at low temperature are studied. By using fatigue testing machine in lab, the fracture energy and fatigue life of cracking samples with different contents of polypropylene fiber were separately studied under indoor temperature, frozen and freeze-thaw cycle condition. Weibull distribution was introduced to analyze the test data in this research. The results show that: the durability of concrete reinforced by polypropylene fiber will be improved and raised with the increase of polypropylene fiber content, the compression strength enhanced up to 13.9% after freezing and thawing cycles compared with ordinary concrete, and the improvement will reach the optimum in mass content of 0.9 kg/m^3 .

Key words: polypropylene fibers; concrete; crack resistance at low temperature; fracture energy; fatigue life

0 引言

随着车行速度的提高及大型重载车比例的增加,桥面铺装混凝土早期破坏已成为桥梁工程的常见病害类型.桥面铺装混凝土层要求设计强度等级高、厚度薄,采用普通水泥混凝土铺装易由于水泥用

量大而产生收缩裂缝^[1],低温环境下尤为突出,且脆性大极限应变小,致使其已无法满足现阶段工程建设的需要.为改善混凝土材料在工程应用中的性能,国内外研究人员从原料、配比、制造及养护工艺等多方面开展研究,开发各种外掺剂产品,以切实寻求经济合理的改善途径.近年来,聚丙烯纤维网作为混凝土工程中的一种次级增强材料,因其较好的经

收稿日期: 2011-11-21

基金项目: 黑龙江省自然科学基金(E2007-17)

作者简介: 张春平(1973—),女,实验师,E-mail: zcphge@163.com;

冯春成(1971—),男,高级工程师.

济效益及优异的抗裂、增韧效果等性能而得到广泛应用,但在季冻区桥面铺装工程中的应用还有待进一步研究^[2-3]。鉴于此,在季冻区典型的冰冻气候条件下,本文对掺加聚丙烯纤维网的水泥混凝土开展了抗冻性和疲劳寿命试验,并从断裂力学角度探讨了聚丙烯纤维对水泥混凝土低温抗裂性能的影响规律。

1 原材料性能及试验方法

1.1 原材料

水泥: 哈尔滨水泥厂天鹅 42.5 级普通硅酸盐水泥,指标符合规范要求。

砂: 松花江江砂,表观密度为 2.67 g/cm^3 ,堆积密度 1.40 g/cm^3 ,细度模数 $2.6\sim2.7$ 。

碎石: 粒径 $0.5\sim2.0\text{ cm}$ 连续级配玄武岩碎石。

纤维: 西安博赛特公司聚丙烯纤维网 Fibermesh®/Fibernet™,相关物理力学性能见表 1,推荐纤维用量 0.9 kg/m^3 和 1.8 kg/m^3 。

表 1 聚丙烯纤维网物理力学性能指标

纤维密度/ (g/cm^3)	力学强 度/MPa	弹性模 量/GPa	伸长 率/%	比重/ (kg/m^3)	熔点/ $^{\circ}\text{C}$	燃点/ $^{\circ}\text{C}$
0.90	280~660	38	16~189	0.90	166	>584

1.2 配合比方案

按混凝土强度等级 C40,如表 2 所示配合比方案制备试件。

表 2 混凝土配合比方案 (单位: kg/m^3)

试件类型	水泥	碎石	砂	水	聚丙烯纤维网
素混凝土	450	1 185	665	150	0
纤维混凝土	450	1 185	665	150	0.9

1.3 试验方案及数据处理

1.3.1 抗冻性试验

将 $100\times100\times400\text{ mm}$ 的混凝土试件标养 24 d 后,置于 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的水中浸泡 4 d 开始冻融试验。《公路工程水泥及水泥混凝土实验规程》JTG E30-2005 规定常规抗冻实验温度为 $-18\pm2\text{ }^{\circ}\text{C}\sim5\pm2\text{ }^{\circ}\text{C}$,鉴于黑龙江地区冬季的极端气候特点,在规程对抗冻实验方法制定的基础上,有针对性地增加了 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温持续冰冻及 $-35\text{ }^{\circ}\text{C}\sim5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温冻融循环条件下的实验研究,单循环时间 12 h。循环 50、100、150、175 次后,分别由共振仪激励试件产生受迫振动,利用共振原理测定试件的横向基频、由万能试验机测定试

件的抗压强度,并将上述各项实验结果与常温实验结果对比。

1.3.2 断裂能试验

由于本试验目前尚无标准试验方法,故参照参考文 [6] 中有关断裂能试验,制备中心具有裂纹的水泥混凝土试件,尺寸 $100\times100\times515\text{ mm}$ 。中心裂纹采用手工切割,深度控制在 $30\pm2\text{ mm}$,宽度小于 5 mm 。采用三点弯曲法利用液压伺服疲劳试验机加载,如图 1、2 所示,测定 3 种不同养生条件下的混凝土试件断裂能:

- 1) 常温下标准养生至 28 d;
- 2) 标准养生期后将试件置于潮湿状态下,在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境中冻 24 h,保持冻结状态进行试验;
- 3) 标准养生 25 d,室温环境下晾干至恒重后放入快速冻融循环试验机,以 $-18\sim5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度变化幅度,冻融循环 15 次,在融化状态开展试验。

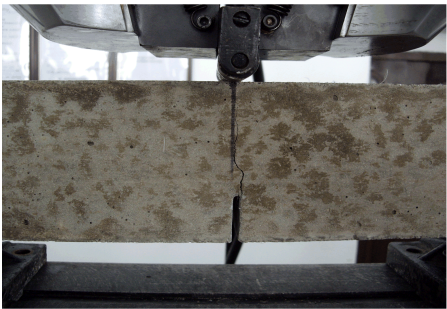


图 1 试件切口



图 2 试件与实验机压头局部示意图

1.3.3 疲劳寿命试验

本试验目前尚无标准试验方法,结合课题实际情况制备尺寸为 $100\times100\times400\text{ mm}$ 的试验试件,利用万能伺服疲劳试验机在下述 4 种条件下开展研究:

- 1) 常温标准养生 28 d,开展试验;
- 2) 保湿状态下,在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境中冻结 24 h,保持冰冻状态开展试验;
- 3) 标准养生 25 d 后,室温环境下晾干至恒重,

在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境中冷冻 24 h 并保持冻结状态,开展试验;

4) 标准养生 28 d,以 $-18\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度变化幅度,冻融循环 15 次,在融化状态开展试验.

断裂能和疲劳寿命数据处理采用存活率为 90% 的 Weibull 分布开展分析^[7],因其样本容量小于 20,故秩评定选用中位秩,具体参照文 [8-9] 中的计算公式 $F(N_i) = (i - 0.3) / (N + 0.4)$,参数估算方法采用线性回归方法,即最小二乘法.

表 3 冻融循环质量损失率试验结果

试件	0 次	50 次		100 次		150 次		175 次	
	质量 /kg	质量 /kg	质量损失率 /%	质量 /kg	质量损失率 /%	质量 /kg	质量损失率 /%	质量 /kg	质量损失率 /%
基准混凝土	10.26	10.10	1.6	9.90	3.5	9.64	6.1	9.42	8.2
纤维网混凝土	10.55	10.47	0.8	10.31	2.3	10.04	4.8	9.87	6.4

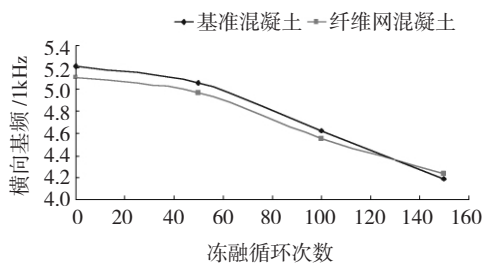


图 3 横向基频对比图

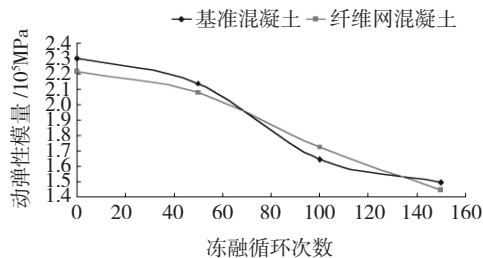


图 4 动弹性模量对比图

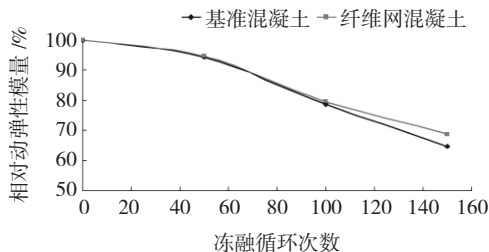


图 5 相对动弹性模量对比图

表 4 冻融后抗压强度对比表

试件	冻融后抗压强度	冻融后抗压强度	相对耐久性指数 $K_n/\%$
	平均值/MPa	对比/%	
基准混凝土	13.9	13.9	32.3
纤维混凝土	53.2	13.9	34.3

2 试验结果与分析

2.1 抗冻性能

质量损失率与冻融循环次数之间的关系如表 3,试验后试件的残留抗压强度及相对耐久性指数如表 4 所示.

试验后试件的横向基频、动弹模量、相对动弹模量对比结果如图 3 ~ 图 5 所示.

分析表 3,4 试验结果: 冻融循环后两种混凝土均有质量损失,纤维网混凝土的质量损失率较基准混凝土低. 循环 150 次时,基准混凝土的质量损失率已超过 5%,而纤维网混凝土尚未达到 5%. 残留抗压强度方面,聚丙烯纤维网混凝土相比于基准混凝土,经 175 次冻融循环后,前者的抗压强度提升 13.9%,相对耐久性指数亦有提升,说明纤维网混凝土抗冻耐久性好于基准混凝土.

由图 3 ~ 图 5 可知: 随着冻融循环次数的增加,基准混凝土与纤维网混凝土的横向基频和动弹性模量均有所降低,但纤维网混凝土的动弹模基本上始终低于基准混凝土,说明纤维网混凝土的刚度小、柔度大,变形能力好于基准混凝土. 同时纤维网混凝土的相对动弹模下降曲线较基准混凝土平缓,说明纤维网混凝土抵抗冻融循环破坏的能力较基准混凝土强.

2.2 断裂能试验

断裂能试验数据如表 5 所示.

由表 5 数据可知,常温条件下,混凝土试件的断裂能高于晾干后进行冻融循环试验试件的断裂能,表明冻融循环过程对材料自身性能的破坏不可忽视; 冰冻环境下试件的断裂能高于常温下混凝土试件的断裂能,说明低温状态下试件的抗裂能力将发生虚假增长,这与冻结状态下土体比常温土体更难被破坏的原理相似,但该种假增长待到试件融化后便会消失. 由此可见,聚丙烯纤维网的掺入有助于提高混凝土的断裂能. 但是纤维掺量的变化与断裂能间的关系并非呈线性趋势,考虑聚丙烯纤维网混凝土的造价问题,掺量为 0.9 kg/m^3 时经济性较好;

表 5 断裂能数据

(单位: N/m)

纤维掺量	存活率 90% 时的断裂能	断裂能 平均值	存活率 90% 时的断裂能	断裂能 平均值	存活率 90% 时的断裂能	断裂能 平均值
	常温		晾干冻融循环		保温 -40℃	
基准组	79.83	209.89	61.06	195.90	371.20	451.81
0.9kg/m ³	135.80	336.92	107.80	310.76	483.31	552.94
1.8kg/m ³	171.84	515.28	115.60	222.39	513.65	709.77

对比表 5 中试验结果可知: 根据 Weibull 分布法计算得到的存活率为 90% 的混凝土试件断裂能与平均值法计算的数据相比,前者数值结果较小,由此表明利用 weibull 分布进行数据分析将具有较大的安全性.

2.3 疲劳寿命试验

疲劳寿命试验数据如表 6 所示.

表 6 疲劳寿命数据

纤维掺量	存活率 90% 寿命			
	常温	晾干后冻融循环	晾干 -40℃ 冻 24h	保温 -40℃ 冻 24h
0	241.4	136.0	4 769.6	17 443.9
0.9kg/m ³	512.5	425.3	14 257.7	30 254.4
1.8kg/m ³	553.6	476.0	18 270.4	33 346.5

分析表 6 中试验数据: 冻融循环过程对不同纤维掺量的混凝土试件的疲劳寿命均有破坏性. 常温下混凝土试件的疲劳寿命高于晾干后冻融循环试件的疲劳寿命; 但常温下试件的疲劳寿命低于在 -40℃ 环境下冻结 24 h 后试件的疲劳寿命,亦表明低温状态下混凝土试件的抗疲劳性能将产生虚增长,而对比两种冰冻状态下试件的疲劳数据,潮湿条件 -40℃ 冻结状态下试件的疲劳寿命高于晾干 -40℃ 试件的疲劳寿命. 这是由于潮湿条件下试件中将含有更多的冰,冰的弹性模量^[14]远小于 C40 混凝土,致使试件具有比混凝土更好的弹性,当低幅值荷载额度反复作用时,试件能够较好地以弹性变形的形式吸收能量,总体来说,纤维混凝土的疲劳寿命与基准混凝土相比,具有较高的优异性.

3 结 论

1) 随着冻融循环次数的增加,基准混凝土与纤维混凝土均有质量损失,但聚丙烯纤维网混凝土的质量损失率较小,残留抗压强度及相对耐久性指数较高,同时纤维网混凝土的刚度小、柔度大,低温变

形能力较优,抗冻性能好于基准混凝土.

2) 冻融循环过程对混凝土材料的断裂能影响显著. 但与基准混凝土相比,聚丙烯纤维网的掺加,有助于降低混凝土断裂能的下降幅度,并且随着纤维掺入量的增加断裂能逐渐增大并趋于稳定.

3) 冻融循环对材料的疲劳寿命具有破坏性,与基准混凝土相比,聚丙烯纤维网的掺加,有助于降低混凝土的疲劳寿命下降幅度. 基于纤维掺量对断裂能和疲劳寿命的影响,确定聚丙烯纤维网的掺入量为 0.9 kg/m³ 时混凝土的性价比最高.

4) 利用 Weibull 分布方法分析混凝土的断裂能和疲劳寿命可知,该方法与平均值法相比,具有更大的安全储备性.

参 考 文 献:

[1] 孙增智,申爱琴,胡长顺. 聚丙烯纤维网混凝土桥面铺装的性能 [J]. 公路,2007(5): 7-12.

[2] 程红强,高丹盈. 聚丙烯纤维混凝土冻融损伤试验研究 [J]. 东南大学学报: 自然科学版,2010, 40(2): 197-200.

[3] 张慧莉,田堪良. 矿渣聚丙烯纤维混凝土抗弯疲劳性能 [J]. 浙江大学学报: 工学版, 2011, 45(4): 699-707.

[4] 都成,黄亚胜,孙伟. 聚丙烯纤维对混凝土抗裂防渗性能影响 [J]. 低温建筑技术,2005(5): 55-56.

[5] 向阳开,蓝祥雨. 隧道聚丙烯纤维混凝土抗渗性能分析及试验比较 [J]. 土木建筑与环境工程, 2010, 32(5): 114-118.

[6] 郭向勇,方坤河,冷发光. 混凝土断裂能的理论分析 [J]. 哈尔滨工业大学学报,2005,37(9): 1219-1222.

[7] 骆红云. Weibull 分布及工程应用 [J]. 机械与电子,2006(5): 74-76.

[8] 麻晓敏. 可靠性数据威布尔分布中秩评定算法改进与研究 [J]. 核科学与工程,2007,27(2): 152-155.

[9] 贺国芳,许海宝. 可靠性数据的收集与分析 [M]. 北京: 国防工业出版社,1995,29(6): 82-85.

[10] 李志军,王永学,李广伟,等. DUT-1 合成模型冰的弯曲强度和弹性模量实验研究 [J]. 水科学进展. 2002, 13(5): 292-297.

(编辑: 付长缨)