

聚丙烯纤维增强膨胀混凝土阻裂抗渗性能研究*

孙道胜 邓敏 唐明述 黄小明 谭麦秋
(南京工业大学 南京 210009) (空军后勤部机场营房部 北京 100720)

摘要:研究了聚丙烯纤维和微膨胀复合对混凝土抗折强度、抗渗性和收缩变形的影响。研究表明,聚丙烯纤维和膨胀剂复合与聚丙烯纤维或膨胀剂单一作用比,28d抗折强度分别提高7.5%和9.9%,渗水高度分别降低46%和61%,阻裂效果显著提高;纤维对膨胀混凝土7~14d的膨胀有明显的约束。

关键词:聚丙烯纤维 膨胀混凝土 阻裂 抗渗

STUDY ON THE ANTI-CRACKING AND IMPERMEABILITY PROPERTIES OF POLYPROPYLENE FIBER REINFORCED EXPANSIVE CONCRETE

Sun Daosheng Deng Min Tang Mingshu
(Nanjing University of Technology Nanjing 210009)

Huang Xiaoming Tan Maiqiu
(Department of Airport and Barrack Repair and Managements, Military Logistics Ministry of Air Force Beijing 100720)

Abstract: The influence of compounding polypropylene fiber and expansion on flexure strength, impermeability and the shrinkage deformation is studied. The experimental results show the comparing with the single effect of either polypropylene fiber or expansive agent, the compounding of them can enhance 28 days flexure strength by 7.5% and 9.9% and reduce the permeability height by 46% and 61% separately and it can also sharply increase the anti-cracking property. The polypropylene fiber can obviously restrict the 7~14 days expansion of expansive concrete.

Keywords: polypropylene fiber expansive concrete anti-cracking impermeability

裂缝是导致混凝土渗漏的直接原因,进而引起混凝土耐久性不良。很多与裂缝相关的工程质量问题,如楼板裂缝,屋面、卫生间、外墙、地下室渗漏是困扰着建筑业工程技术人员和管理人员的质量通病。建筑物裂缝、渗漏问题不仅造成建筑物寿命缩短和使用功能下降,也给人民的生活与工作带来许多不便,给国家和人民的生命财产造成损失。

从结构设计上,目前工程中广泛应用的控制裂缝措施是,减少约束,释放大部分变形,使出现较低的(允许的)约束应力,称之为“抗放兼施,以放为主”的设计原则。为此,必须设置大量的伸缩缝,而大量设置伸缩缝使施工成本增加,结构使用功能下降,后期维护费用增大。即便设置伸缩缝,仍然在很多情况下出现危害性裂缝,产生渗漏、钢筋锈蚀、结构可靠度降低等不利影响,维修费用巨大^[1]。

从材料上,目前主要采用降低水泥用量来降低收缩,用膨胀补偿混凝土收缩;或采用配置阻裂钢筋,掺入纤维增强(如合成纤维、钢纤维、碳纤维等)及降低混凝土的脆性,提高体积稳定性的方法来减少由变形引起的裂缝^[2,3]。国内外研究中,聚丙烯纤

维增强混凝土和膨胀混凝土的研究报道较多,钢纤维膨胀混凝土的研究有少量报道。聚丙烯纤维膨胀混凝土复合阻裂、增强的研究尚未见报道。

1 技术路线与试验设计

根据裂缝成因分析,从材料入手提高混凝土抗裂性能的技术途径应包括:1)减小温度和湿度等变形,降低干缩和温缩等变形引起的应力;2)提高抗拉强度和极限拉伸率。基于以上认识,本文的基本思路是:采用减水剂降低水胶比,提高混凝土的密实度;利用纤维的约束和膨胀对收缩的补偿来减小温度和湿度等变形,减少混凝土的原生缺陷;同时通过在纤维限制条件下的膨胀建立的自应力和对混凝土内部结构的改善来提高混凝土抗裂、耐久性能。充分发挥纤维和微膨胀的复合效应,实现“超叠加”,达

* 国家 973 计划项目(编号:2001CB610705)、安徽省教育厅自然科学重点项目(编号:2002KJ0822D)和江苏省重点实验室开放课题资助。

第一作者:孙道胜 男 1963年10月出生 副教授

收稿日期:2003-09-12

到阻裂和增强目的。

混凝土非荷载作用产生的内部裂缝状况,反映了混凝土原生缺陷的多少和结构的均匀性及完整性。混凝土的抗渗性与混凝土内部的裂缝状况直接相关,混凝土的抗折强度与混凝土原生缺陷的多少和结构的均匀性及完整性密切相关,变形变化是混凝土非荷载作用下产生裂缝的根本原因。所以,试验研究混凝土的抗渗性、抗折强度和变形性能,以此评价混凝土的阻裂性能。

本文是结合某机场水泥混凝土道面应用而做,因此,混凝土配合比设计和有关试验方法按道路工程要求进行。试验用原材料:1)水泥:河南鹤壁水泥厂 PO 42.5R(含 8%~10%的粉煤灰);熟料主要矿

物成分见表 1;2)粉煤灰:洛阳电厂超级 PFA;主要技术参数见表 2;3)砂:河南鲁山产河砂,细度模数 2.90;4)石:5~40mm 混合碎石,松堆密度为 1.53,紧堆密度为 1.67,压碎指标值为 13.8%;5)膨胀剂:江苏海特曼工程新材料公司产镁质膨胀剂;6)丹阳合成纤维厂产单丝聚丙烯纤维,主要技术参数见表 3;7)减水剂:江苏省建筑科学研究院产 JM-B 萘系高效减水剂。

设计四个体系的混凝土配比,分别为:空白、纤

表 1 水泥熟料主要矿物成分

成分	f-CaO	C ₃ S	C ₂ S	C ₁ A	C ₄ AF
含量/%	0.82	56.47	21.14	7.47	10.23

表 2 粉煤灰主要技术参数

SO ₃	K ₂ O	N ₂ O	烧失量	含水量	细度(45μm)	需水量比
0.93	1.80	0.92	1.37	0.71	4.7	86

表 3 聚丙烯纤维主要技术参数

线密度/ dtex	密度/ (g·cm ⁻³)	抗拉强度/ MPa	拉伸极限/ %	弹性模量/ MPa	酸性溶解度/ %	碱性溶解度/ %	熔点/ ℃	纤维长度/ mm
12~20	0.91	300	28	3 850	0.3	0.3	160~170	15

维(F)+膨胀剂(E)+减水剂(WR)、E+WR和F+WR。根据前期试验结果,确定纤维掺量为 0.9kg/m³;膨胀剂采用内掺,掺量为胶凝材料的 8%;JM-B 萘系高效减水剂,掺量为胶凝材料的 0.6%。具体配合比见表 4。试验项目包括:维勃稠度,抗折强度(3d,28d),渗透性,收缩变形性能等。根据《公路工程水泥混凝土试验规程》(JTJ 053-94),有关试验方法为:维勃稠度按规程“T 0512-94”测定;抗折强度按规程“T 0520-94”,试样尺寸为 150mm×150mm×550mm;渗透性按规程“T 0529-94”,水压控制恒定为(1.2±0.05)MPa,加压 24h 后停止试验,测定渗水高度;收缩变形参照规程“T 0526-94”,试样尺寸为 100mm×100mm×515mm,试样带模养护 1d 后拆模并测量其长度作 0 天的基准长度,试样在

(20±3)℃、90%以上相对湿度的标准条件下养护。

表 4 混凝土配合比

试验 编号	材料用量/(kg·m ⁻³)							水胶比
	C	PFA	E	F	S	R	WR	
1	310	39	0	0	645	1 371	0	0.38
2	282	39	28	0.9	645	1 371	2.09	0.38
3	282	39	28	0	645	1 371	2.09 ^a	0.38
4	310	39	0	0.9	645	1 371	2.09	0.38

注:C:水泥,PFA:粉煤灰,E:膨胀剂,F:纤维,S:砂,R:石,WR:减水剂。

2 试验结果与讨论

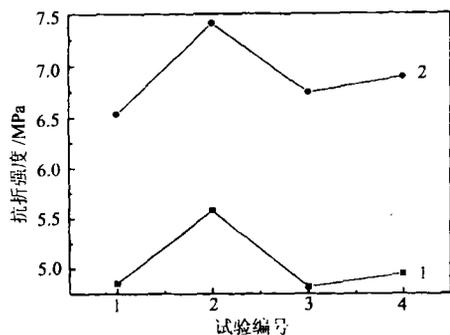
维勃稠度、抗折强度、收缩变形和渗水高度试验结果见表 5、图 1~图 4。

表 5 维勃稠度、抗折强度、收缩变形和渗水高度试验结果

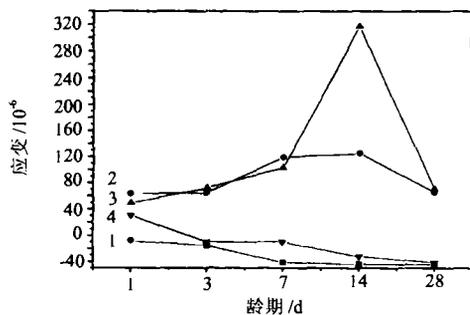
试验 编号	VC/ s	抗折强度/MPa			膨胀(收缩)值/10 ⁻⁶				渗水高度/ mm
		3d	28d	1d	3d	7d	14d	28d	
1	19	4.85	6.54	-8.7	-15.3	-41	-44	-45	39
2	22	5.58	7.41	63.5	64.6	119	125	66	7
3	25	4.92	6.74	49.3	72.2	103	317	71	18
4	16	4.95	6.89	30.0	-10.0	-10	-32	-41	13

聚丙烯纤维和膨胀剂复合与聚丙烯纤维或膨胀剂单一作用相比,28d 抗折强度分别提高 7.5%和

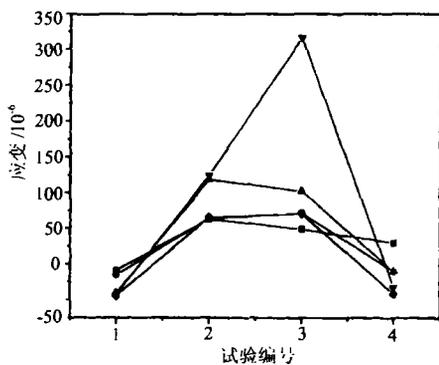
9.9%,与空白样比 28d 抗折强度提高 13.3%。聚丙烯纤维和膨胀剂复合与聚丙烯纤维或膨胀剂单一作



1 - 3d; 2 - 28d
图1 混凝土抗折强度



1 - 1号; 2 - 2号; 3 - 3号; 4 - 4号
图2 各编号试件应变随龄期的变化



■ 1d; ● 3d; ▲ 7d; ▼ 14d; ◆ 28d
图3 各龄期不同编号试件应变的比较

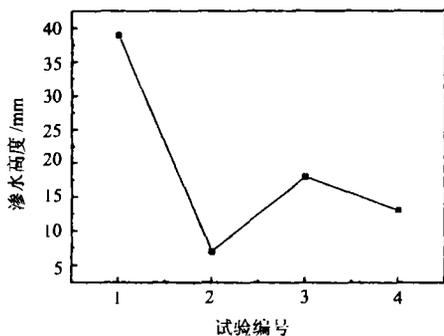


图4 各编号试件渗水高度的变化

用相比, 渗水高度分别降低 46% 和 61%, 与空白样比渗水高度降低 82%。与空白样比, 单掺纤维 1d 有微小膨胀, 3d 的应变水平基本相同, 3 ~ 7d 空白样

继续收缩, 而掺纤维样基本无变形, 14d 和 28d 的应变水平又趋于相同; 单掺膨胀剂能补偿收缩且产生微小膨胀, 1 ~ 7d 膨胀缓慢稳定增长, 7 ~ 14d 膨胀增长最快, 28d 应变回到 3d 的水平。纤维与膨胀剂复合与单掺膨胀剂比较, 7d 前变化很小, 14d 的应变大幅度减小, 28d 的应变水平基本相同。

混凝土应变的变化是混凝土内部结构变化的外在表现, 收缩与否及变形的稳定性决定了混凝土内部应力的性质和大小。这种混凝土内部应力的性质和大小又决定了混凝土内部原生缺陷的多少和结构的均匀性及完整性。混凝土抗折强度比抗压强度对混凝土内部原生缺陷的多少和结构的均匀性及完整性更为敏感, 混凝土渗透性直接取决于混凝土内部原生缺陷的多少和结构的均匀性及完整性。

综合分析以上试验结果, 较之聚丙烯纤维或膨胀剂的单一作用, 聚丙烯纤维和微膨胀复合对混凝土抗折强度、抗渗性和阻裂性能都有不同程度地提高。根据试验结果分析, 单掺聚丙烯纤维虽能减小混凝土早期的收缩并使变形趋缓, 但并不能改变其总体的收缩趋势, 即收缩应力仍然存在; 单掺膨胀剂虽能补偿混凝土的收缩并产生微膨胀, 但这种膨胀产生的膨胀应力导致的混凝土内部质点间距离的增加, 在补偿收缩的同时对混凝土内部结构的均匀性和完整性亦构成危害。

聚丙烯纤维与膨胀剂复合与单掺膨胀剂比较, 14d 的应变大幅度减小, 说明纤维对膨胀混凝土 7 ~ 14d 的膨胀有明显的约束作用, 而在此期间混凝土已具有足够的强度, 有研究表明, 此阶段膨胀组分水化产生的膨胀应力会导致混凝土内部缺陷, 这是膨胀剂对混凝土强度产生负效应的原因。大量乱向分布的细纤维会使这种膨胀应力得到分散, 纤维的这种约束作用显然会有效控制膨胀应力可能导致的结构破坏, 并且此约束必然在混凝土中建立一定的预压应力。因此, 可以认为, 较之聚丙烯纤维或膨胀剂的单一作用, 聚丙烯纤维和微膨胀复合对混凝土抗折强度的贡献和对抗渗性能的改善, 其机理在于两者的复合效应对混凝土内部结构的改善, 具体来说, 是使混凝土内部原生缺陷的减少和结构的均匀性及完整性的改善。作者采用交流阻抗谱和压汞法研究了以上几个体系配比混凝土的孔结构, 结果证实了以上分析, 限于篇幅将另文发表。

3 结论

聚丙烯纤维和膨胀剂复合与聚丙烯纤维或膨胀
(下转第 64 页)

家指出,利用这一特性制成的“智能混凝土”具有传感器功能,在道路和桥梁等建筑领域将具有广泛的应用前景。2001年我国广州电力设计院孙旭研究了导电混凝土在变电站接地网中的应用,取得了较好的效果^[18]。2002年唐祖全、李卓球等研究了导电混凝土电热层布置对路面除冰效果的影响,分析结果表明,采用导电混凝土覆层的形式布置电热层可取得较好的融雪化冰效果^[19]。

目前,世界各国主要通过撒盐(NaCl, CaCl₂)来融化冰雪,这一方法是利用盐降低水的冰点,使积雪自动融化。该法具有材料来源广泛、价格便宜、化冰雪效果好等特点,因而得到了普遍应用。但是,撒盐法也给混凝土路面结构和环境带来了许多负面效应,主要表现为钢筋纤维锈蚀、路面剥蚀破坏和环境污染等问题^[15]。世界上不少国家因使用除冰盐,已造成道路、桥梁的严重破坏,目前正在花费巨额费用进行修复,其经济损失十分巨大。例如,1998年,美国60万座钢筋混凝土桥中,被列入修复计划的费用是2000亿美元,是当初建桥费用的4倍^[20];英国于1972年在20km长的高速公路段上建了11座桥,因撒盐使混凝土开裂,15年的修复费已是建桥费的1.6倍^[21]。我国东北道路也因撒除冰盐造成路面严重破坏。因此,研究新型功能混凝土及其在机场跑道等路面除冰方面的应用,具有十分重要的意义。近年来,美、英、加拿大等发达国家开展了关于导电混凝土及在桥梁路面除冰应用方面的试验研究。

4 结束语

导电混凝土是一种新型的特种功能混凝土,只调节导电相材料的含量就可以方便地调节导电混凝土的电阻率,电阻率取决于导电材料的种类、性能与掺量。导电混凝土具有材料来源广泛、制备简单、经济等特性。随着科学技术的发展,今后在电工工程以及家庭取暖等领域将会被广泛应用。

参考文献

- 1 杨伯科. 混凝土实用新技术手册. 长春:吉林科学技术出版社, 1998. 483 ~ 486
- 2 张雄. 建筑功能材料. 北京:中国建筑工业出版社, 2000. 348 ~ 352
- 3 李仁福. 导电混凝土采暖地面. 混凝土, 1998(6): 47 ~ 48
- 4 Fu Xuli, Chung D D L. Carbon Fiber Reinforced Mortar as an Electrical Contact Material for Cathodic Protection. Cem Concr Res, 1995, 25(4): 689 ~ 694
- 5 Fu X, Chung D D L. Radio-Wave-Reflecting Concrete for Lateral Guidance in Automatic Highways. Cem Concr Res, 1998, 28(6): 795 ~ 801
- 6 Shi Zengqiang, Chung D D L. Carbon Fiber Reinforced Concrete for Traffic Monitoring and Weighing in Motion. Cem Concr Res, 1999, 29(4): 435 ~ 439
- 7 Fu Xuli, Chung D D L. Self-Monitoring of Fatigue Damage in Carbon Fiber Reinforced Cement. Cem Concr Res, 1996, 26(1): 15 ~ 20
- 8 Xie Ping, Gu Ping, Beaudoin J J. Electrical Percolation Phenomena in Cement Composites Containing Conductive Fibres. Journal of Materials Science, 1996, 31(15): 4 093 ~ 4 097
- 9 雀部博之. 导电高分子材料. 北京:科学出版社, 1989
- 10 Pye Glendon B, Myers Robert E, Arnott Mark R, et al. Conductive Concrete Compositions Containing Carbonaceous Particles. Chemical Abstracts, 2001(58): 76
- 11 Kang Seok Hwa, Ko Ja Sul, Kim Jae Jun, et al. Conductive Carbon-Carbon fiber Composite for Concrete Structures. CA, 2001(57): 58
- 12 Wang Gang. Electrically Conductive Graphite Containing Concrete. CA, 2001(58): 57
- 13 Manchuk R V. Electroconducting Concrete as a Material for Protection of Electronic Equipment and Personnel Against Electromagnetic Impact. CA, 2001(59): 58
- 14 Xie P, Beaudoin J J. Electrically Conductive Concrete and Its Application in Deicing. Advances in Concrete Technology. In: Proceedings, Second CANMET/ACI International Symposium. Mich: 1995. 399 ~ 417
- 15 Sherif Yehia, Christopher Y Tuan. Conductive Concrete Overlay for Bridge Deck Deicing. ACI Materials Journal, 1999, 96(3): 382 ~ 390
- 16 Serif Yehia, Christopher Y Tuan, David Ferdonetal. Conductive Concrete Overlay for Bridge Deck Deicing: Mixture Proportioning Optimization and Properties. ACI Materials Journal, 2000, 97(2): 172 ~ 181
- 17 孙浦生. 英国研制出能快速变热的导电混凝土. 石油工程建设, 1998(6)
- 18 孙旭. 导电混凝土在变电站接地网中的应用. 高电压技术, 2001(S1): 66 ~ 67
- 19 唐祖全, 李卓球, 侯作富, 等. 导电混凝土电热层布置对路面除冰效果的影响. 武汉理工大学学报, 2002(2): 45 ~ 48
- 20 洪乃丰. 防冰盐腐蚀与钢筋混凝土的耐久性. 建筑技术, 2000(2): 102 ~ 104
- 21 洪乃丰. 我国北方地区冬季撒盐的利害分析与对策. 低温建筑技术, 2000(3): 12 ~ 13

(上接第51页)

剂单一作用相比, 28d抗折强度分别提高7.5%和9.9%, 渗水高度分别降低46%和61%;聚丙烯纤维对膨胀混凝土7~14d的膨胀有明显的约束。混凝土抗折强度和抗渗性的提高都说明混凝土内部结构缺陷减少, 混凝土内部结构的均匀性和完整性改善;亦即混凝土阻裂性能提高。

聚丙烯纤维增强膨胀混凝土阻裂抗渗性能提高的原因可归纳为三个方面:一是聚丙烯纤维对混凝土早期塑性裂缝的抑制和结构均匀性的改善;二是膨胀剂对混凝土收缩的补偿,使各种收缩应力可能引起的结构缺陷减少;三是聚丙烯

纤维对膨胀的约束有效控制了膨胀应力可能导致的结构破坏,从而进一步改善了混凝土的内部结构。

参考文献

- 1 McDonald, J E, Vaysburd A M, Emmons P H, et al. Selecting Durable Repair Materials: Performance Criteria. Concrete International, 2002, 24(1)
- 2 游宝坤. 建筑结构裂渗控制新技术. 北京:中国建材工业出版社, 1998
- 3 杨医博, 文梓芸. 混凝土工程裂缝控制的系统方法. 混凝土, 2001(4)