

柔性纤维砼特殊路用性能研究*

陈舫亦, 赵凤杰, 易志坚, 杨庆国

(重庆交通学院 土木建筑学院, 重庆 400074)

摘要:针对铺筑水泥路面的普通砼材料存在的性能弱点, 笔者在文中提出将柔性纤维砼作为路面材料应用于道路工程, 以提高水泥砼路面的路用性能. 基于断裂力学对柔性纤维砼阻裂增强机理的解释, 进行了柔性纤维砼几种特殊路用性能的试验研究, 研究表明柔性纤维的掺入使砼的抗收缩及抗冲击性能明显提高, 并显著改善了水泥砼的脆性性质.

关键词:水泥砼路面; 柔性纤维砼; 柔性纤维

中图分类号: U416.216 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-716X(2005)01-0042-04

传统的水泥砼路面是一种刚度大、扩散荷载能力强、稳定性好的路面结构. 但是普通水泥砼材料又是一种天生就存在内部缺陷(裂缝和气泡)的脆性材料, 抗拉强度远远低于抗压强度, 在较小的拉应力状态下就发生突然性破坏, 其抗收缩能力差、韧性及变形能力差, 对冲击、开裂的抵抗能力差^[1].

本文探讨的这种柔性纤维砼材料是一种新型的建筑材料, 在低掺量(0.15%或0.2%)的情况下就具有明显的抗收缩和阻裂效果, 变形能力显著高于普通砼, 并具有优良的抗冲击性能.

水泥砼路面的破坏与砼材料本身有着密切的联系. 从材料角度出发, 运用柔性纤维砼作为路面材料, 必能够显著提高水泥砼路面的路用性能. 基于断裂力学对柔性纤维砼阻裂增强机理的解释, 对柔性纤维砼的几种特殊路用性能进行了试验研究^[2].

1 柔性纤维水泥砼材料的阻裂增强机理

柔性纤维砼是将柔性聚丙烯纤维掺入水泥砼中形成的一种新型砼材料.

柔性纤维之所以能够显著增强和改善砼的性能, 是因为: ①从材料角度看: 柔性纤维加入水泥砼中后, 在水泥砼凝结过程中能够减少水泥砼中缺陷的数量, 使砼的更加致密、均匀, 改变了砼的内部结构, 从而使其性能得到了提高; ②从受力角度看: 柔性纤维砼作为整体受力时, 内部的纤维和砼共同受力, 纤维的作用从根本上改变了砼破坏过程中的裂纹扩展性质.

乱向分布的短纤维或是定向分布的连续纤维加入脆性砼基体所组成的复合材料——纤维增强砼, 其断裂、疲劳特性和强度都将得到显著的改善. 纤维增强砼的抗裂机理已经得到了广泛研究, 对此的全面评述可参见 Cotterell 和 Mai 的著作^[3]以及 Bazant 的著作^[4]. 可将柔性纤维砼的增强阻裂机理简单描述如图1、图2.

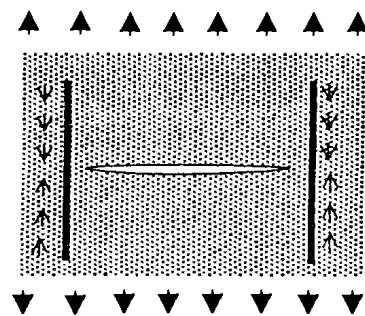


图1 纤维的闭合力

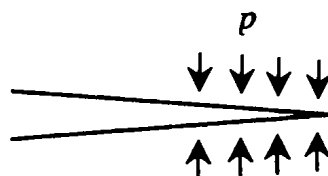


图2 横跨裂纹的纤维被简化为均布压力 p

图1、图2中可以看到, 在拉力的作用下, 假设水泥基体中穿透裂缝端部产生应力强度因子为 K_0 , 而当裂缝扩展到砼与纤维的界面时, 在界面上就会产生对裂纹起约束作用的应力使裂缝趋向于闭合,

* 收稿日期: 2004-03-22

基金项目: 交通部西部交通建设科技项目(2003 318 814 29)

作者简介: 陈舫亦(1980-), 女, 重庆合川人, 硕士, 从事公路及桥梁结构方面研究.

此时在裂缝顶端即会有与 K_0 相反的另一应力强度因子 $-K_p$, 于是总的应力强度因子就下降为 $K_0 - K_p$. 所以纤维作用表现为降低了裂纹尖端的应力强度因子, 对于裂缝发展起到阻滞作用. 文[5]中采用 K 叠加原理对纤维的增韧机理提出了更为合理的解释.

总之, 柔性纤维的掺入显著增强和改善砼的性能, 提高了砼的断裂韧性, 使柔性纤维砼具有优于普通砼的性能特点.

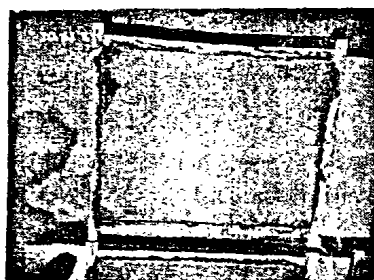
2 柔性纤维水泥砼的特殊路用性能

2.1 抗收缩性能

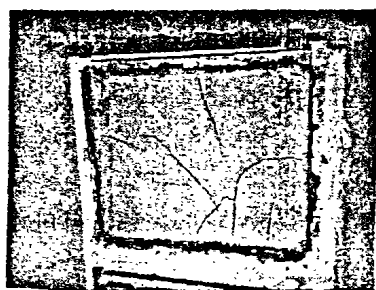
一般来说, 水泥砼的早期收缩变形远远大于温度变形, 收缩变形在砼面层中产生的拉应力是非常巨大的^[6-7]. 因此必须尽早割缝, 但在割缝处裂纹贯穿板厚的瞬间, 砼板在裂纹两端附近的拉应力完全释放, 面板将产生巨大的回复力而使面层收缩, 这种突然产生的回复力是非常巨大的, 常常造成面板在早期施工中就出现大量裂缝, 雨水随裂缝进入面层及基层, 最终造成路面严重损坏; 并且, 砼的早期收缩, 引起路面面层与基层发生相互移动, 这种相对移动会导致面层与基层的接触界面出现非均匀支撑, 大大降低路面承载力和耐久性.

因此, 材料抗收缩性能的优劣对路面破坏影响极大. 为了探讨柔性纤维砼的收缩特性, 作了如下的试验研究^[2]:

考虑到砼中的粗、细骨料基本上不存在塑性收缩, 塑性收缩实际上是由于水泥砂浆收缩引起的, 实验中主要对比考察了柔性纤维砂浆与普通水泥砂浆的塑性收缩的情况. 如图 3.



a. 体积掺量为 0.1% 的单丝纤维砂浆试件



b. 普通水泥砂浆试件

图 3 体积掺量为 0.1% 的某种单丝柔性纤维砂浆试件与普通水泥砂浆的对比

从图 3 中能够看到柔性纤维的掺入明显减少了水泥砼由于收缩产生的裂缝. 根据 Kraai 建议的方法^[8], 用裂纹面积评定塑性收缩性能, 对比了多种柔性纤维(含单丝和纤维网)对水泥砂浆塑性收缩的影响. 如表 1.

表 1 各种砂浆试件裂纹面积(单位: mm^2)

试件种类	纤维掺量(体积率)		0% 普通水泥砂浆
	0.10%	0.05%	
1* 单丝纤维砂浆	0	14.5	622.4
2* 单丝纤维砂浆	0	22.4	
3* 单丝纤维砂浆	0	16.9	
4* 纤维网砂浆	54.8	238.3	

注: 裂纹面积(mm^2) = 裂纹宽度(mm) × 裂纹长度(mm)

由表 1 得到: 当柔性纤维掺入量达到体积率的 0.05% 时, 单丝柔性纤维砂浆仅出现很小的开裂; 而柔性纤维网掺入量达到体积率的 0.05% 时, 柔性纤维砂浆开裂现象明显, 但是仍然显著优于普通水泥砂浆, 裂纹宽度均在 0.5mm 以下. 当柔性纤维掺入量达到体积率的 0.10% 时, 单丝柔性纤维砂浆没有开裂现象出现; 而柔性纤维网掺入量达到体积率的时, 柔性纤维砂浆有微弱的开裂现象.

所以, 单丝纤维的阻裂效果优于网状纤维, 只要柔性单丝纤维在砼中的掺量大于 0.1%, 即可承受因砼收缩而产生的拉应变, 延缓或阻止砼出现裂缝, 这有利于减小素砼的内部缺陷, 提高水泥砼的品质. 柔性纤维掺入水泥砼中, 一方面大大改善砼表面普遍存在的细微龟裂, 减小由收缩引起的巨大恢复力; 更重要的是能够改善路面板的不均匀支撑状态, 提高路面承载力.

2.2 抗冲击性能

由于道路和桥面承受的活荷载主要是具有冲击作用的行车荷载, 所以路用材料的抗冲击性能对路面的持久运营具有十分重要的意义. 路面结构层很长, 但相对较薄, 在行车荷载及温差作用下通常处于受弯拉状态. 因此进行弯曲冲击试验^[2], 对比柔性纤维砼与普通砼的抗冲击性能.

试验参照 ACI544 号委员会规定的测试方法, 将砼小梁试件(100mm × 100mm × 400mm)搁置在刚性支撑上, 跨距 300mm. 然后用 3kg 的重锤在一定的高度(200mm)自由落下, 冲击小梁的跨中部位, 以小梁开裂和断开的冲击次数或者冲击能量来衡量砼的抗冲击性能. 如图 4 及图 5.



图 4 落重实验照片

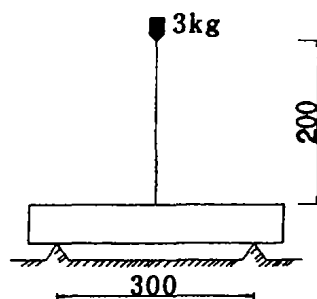


图 5 落重实验基本原理(单位:mm)

表 2 弯曲冲击试验结果

试件类别	初裂时平均冲击次数	破坏时平均冲击次数	平均初裂破坏能量(Nm)	平均破坏能量(Nm)
普通水泥砼	3	3	26.46	26.5
柔性纤维水砼 (掺量:0.15%)	4	4.6	35.28 (提高 33%)	40.6 (提高 53%)
柔性纤维水泥砼 (掺量:0.2%)	6.4	7.4	56.45 (提高 113%)	65.3 (提高 146%)

注:所有的试件都为相同配合比、并且拥有相同的施工及养护条件,每组试件 6 个.多次冲击循环后,直到试件下边缘出现裂缝时的冲击次数计为初裂冲击次数,而当裂缝贯穿整个截面时的冲击次数即为破坏冲击次数.砼的冲击韧性按下式计算: $W = Nmgh$

式中, W ——砼的冲击韧性,N.m; N ——破坏时的冲击次数; m ——钢锤的重量,3kg; h ——冲击锤下落高度,0.2m; g ——9.81N/kg.

从弯曲冲击的实验结果中可以看出,柔性纤维水泥砼在经受反复冲击荷载的作用情况下,初裂及破坏的冲击次数和冲击能量明显增加.从平均破坏能量角度对比,0.15% 的纤维砼较普通砼提高了 53%,而 0.2% 的纤维砼则比普通砼提高了 146%.

并且实验发现:普通砼在反复冲击荷载作用下一旦开裂,裂缝便贯穿整个截面、发生断裂,所以普通砼的初裂平均冲击次数与破坏平均冲击次数是相同的;而纤维砼的初始裂缝很微小,需仔细观察才能辨认,并且有一个裂纹扩展过程,再次受冲击荷载时,裂纹才逐渐发展,到达试件顶部.这说明加入柔性纤维提高了砼受冲击时吸收动能的能力,阻滞了砼中裂缝的扩散与发展.

2.3 二次承压效应

在进行柔性纤维砼抗压强度测试中^[2],我们发现:柔性纤维砼具有二次承压效应.所谓二次承压,即当纤维砼抗压试件达到它的极限荷载后,进行二次加载,它仍能承受极限荷载 75% 以上的荷载;而对比的普通砼达到极限承载力后几乎不能再承受二次加荷.这一性质对于地震地区对延性要求高的路面结构具有非常大的优势.

为了考察柔性纤维砼在受压状态下柔性纤维在其内部的阻裂作用,对柔性纤维砼和普通水泥砼的立方体试块进行了抗压试验.试验中读取了立方体

(10cm × 10cm × 10cm) 抗压试件破坏之前的荷载 - 竖向位移数值,根据试验结果,绘出了受压状态下两种砼的荷载 - 竖向位移曲线.如图 6.

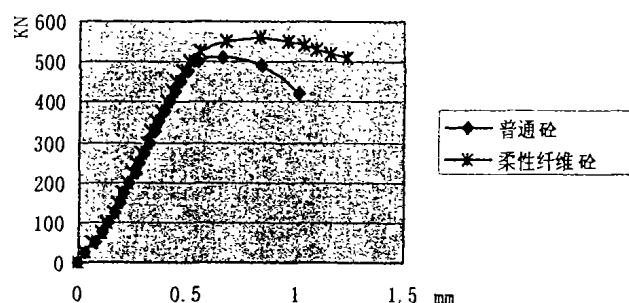


图 6 柔性纤维砼和普通砼受压破坏过程中的典型荷载 - 位移曲线

荷载位移曲线显示,从接近极限荷载到达到极限荷载直至超过极限荷载的过程中,柔性纤维砼的竖向变形量较大,材料仍能够承担较大的荷载,荷载位移曲线从走平到下降的趋势较弱;而普通砼在达到其极限荷载时,荷载位移曲线从走平到下降的趋势更明显.这是由于柔性纤维砼中由于纤维的存在,使得裂纹有一个较长的稳定扩展过程.跨越裂纹的柔性纤维提供了阻滞裂纹发展的闭合集中力,延缓了裂纹的发展,并使柔性纤维砼最终破坏需要较多的能量.

受压状态下柔性纤维砼中裂纹稳定扩展的规律很好地解释了柔性纤维砼具有二次承压的试验现象.

2.4 变形及韧性

传统的水泥路面面层是脆性的素砼材料,脆性的东西适应变形的能力非常弱,因此路面板很容易在各种荷载作用下发生断裂.而用柔性纤维砼作为路用材料,将柔性纤维掺入砼中,能够降低砼的脆性,使其变形及韧性明显改善.

由于砼面板在行车和温度荷载的作用下,板底的应力主要表现为弯拉应力.下面通过研究柔性纤维砼和普通砼弯拉试件的破坏过程,得到柔性纤维砼和普通砼弯拉过程中,试件底面砼的应力-应变对比曲线图^[2],用以比较二者的变形性能及韧性.如图 7.

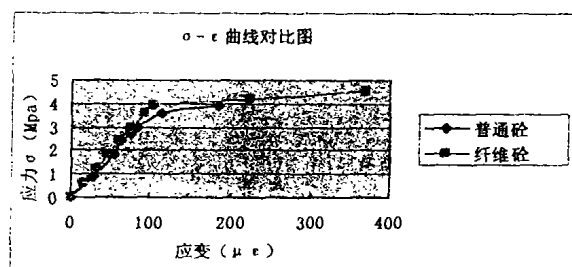


图 7 柔性纤维砼和普通砼弯拉状态破坏过程的 $\sigma - \epsilon$ 曲线

从图 7 中看出:柔性纤维砼在断裂前,应变有一个较大的增长;并且纤维使砼在达到弯拉极限强度后仍然保留着高于素砼的裂后强度.所以,柔性纤维砼在较高的应力水平下具有优越的抗裂能力,也即是说柔性纤维的掺入使砼试件在裂纹失稳扩展前有一个微裂纹的亚临界扩展过程,能够降低砼的脆性,使其变形及韧性明显改善.

3 结 语

柔性纤维砼与普通砼相比,具有特殊的优良路用性能.柔性纤维的掺入不仅降低了砼脆性,使其抗收缩、抗冲击、抗裂、变形及韧性等性能都显著提高,其它力学性能也均得到改善^[2].将柔性纤维砼运用与道路工程,在低掺量情况下就能够大大改善砼材料的各种路用性能,是一种优越的建筑材料,在道路工程中具有广泛的应用前景.

参考文献:

- [1] 郑建岚.现代砼结构技术[M].北京:人民交通出版社,1999.
- [2] 易志坚.新型柔性纤维砼薄层路面性能及应用研究[R].重庆:重庆交通学院,2004.
- [3] COTTERELL B and MAI Y W. Fracture Mechanics of Cementitious Materials[M]. Blackie Academic and Professional, Chapman and Hall, 1996.
- [4] BAZANT Z P. Fracture Mechanics of Concrete Structures [M]. Elsevier Applied Science, London and New York: 1992.
- [5] YI Z J, LI Z W, YANG Q G, et al. Crack arresting mechanism of fiber reinforced concrete[A]. Damage & Fracture Mechanics 2004[C]. Crete Greece, 2004.
- [6] 易志坚.基于断裂力学原理的水泥砼路面破坏过程分析及路面设计新构思[J].重庆交通学院学报,2001,20(2):15-18.
- [7] YI Zhi-jian, YANG Qing-guo. A Fundamental Understanding to the Failure of Cement Concrete Pavement based on the Concept of Fracture Mechanics [J]. International Journal of Road Materials and Pavement Design, 2002, 30(3): 21-23.
- [8] 龚益杜.拉纤维在土建工程中的应用[M].北京:机械出版社,2002.

Research of special peculiarity of flexible fiber reinforced concrete

CHEN Yi-yi, ZHAO Feng-jie, YI Zhi-jian, YANG Qing-guo

(School of Civil Engineering & Architecture, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 40074, China)

Abstract: To reduce normal concrete's defect, this article propose a new material of flexible fiber reinforced concrete to apply in road engineering. Based on the theory of crake mechanics, do much experimental research to gain the special traits of flexible fiber reinforced concrete.

Key words: cement pavement; flexible fiber reinforced concrete; flexible fiber