

文章编号:1671-6833(2010)05-0044-04

聚丙烯纤维水泥稳定碎石力学性能试验研究

张 鹏, 刘晨辉, 李清富

(郑州大学 水利与环境学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 为了研究聚丙烯纤维对水泥稳定碎石力学性能的影响,对聚丙烯纤维水泥稳定碎石和普通水泥稳定碎石的抗压强度、劈裂抗拉强度、抗压回弹模量、抗弯拉强度和抗弯拉弹性模量进行了测试,给出了聚丙烯纤维体积掺量合适的建议范围为0.06%~0.08%。同时根据试验结果的回归分析,得出了聚丙烯纤维体积掺量与聚丙烯纤维水泥稳定碎石各力学性能指标的关系式。试验结果表明:聚丙烯纤维的掺入对水泥稳定碎石的各种强度均有一定的提高,能有效地减小抗压回弹模量和抗弯拉弹性模量,提高了其抗变形能力;在聚丙烯纤维体积掺量小于0.1%的范围内,随着纤维掺量的增加,水泥稳定碎石各种强度有增加的趋势,而其抗压回弹模量和抗弯拉弹性模量是逐渐降低的。

关键词: 聚丙烯纤维;水泥稳定碎石;力学性能;纤维掺量

中图分类号: U416.2

文献标识码: A

0 引言

水泥稳定碎石是目前高等级公路应用最广的基层材料,然而该基层材料普遍存在的裂缝问题比较严重,对沥青路面的使用性能产生很大影响,这也是造成高速公路沥青路面损坏的重要原因之一^[1]。水泥稳定碎石基层的裂缝主要是由水泥稳定碎石材料的干燥收缩和温度收缩而引起的收缩裂缝^[2]。目前不少研究者提出了通过改善半刚性基层材料本身性能来提高其抗裂性的措施,如改善集料的级配、采用“预锯缝+土工布”防裂措施、加铺土工格栅、掺加各种外加剂等^[3-6]。这些措施对于防止半刚性基层的开裂起到了一定作用,但半刚性基层裂缝问题仍然没有得到有效解决。有资料表明,聚丙烯纤维能有效地抑制水泥稳定碎石的干缩开裂和温缩开裂^[7]。然而,目前有关聚丙烯纤维水泥稳定碎石力学性能的研究比较缺乏。因此,笔者通过室内试验,进行了聚丙烯纤维水泥稳定碎石各种力学性能试验,在此基础上探讨了聚丙烯纤维体积掺量对水泥稳定碎石各种力学性能的影响。

1 原材料及试件制作

1.1 原材料

采用P.O42.5水泥,水泥剂掺量为5%;聚丙烯

纤维为中国江苏丹阳合成纤维厂生产的束状单丝聚丙烯短纤维“丹强丝”,是通过特殊的生产工艺,将不同长度、不同截面的改性聚丙烯纤维按一定比例均匀地混合在一起的,聚丙烯纤维的主要物理性能见表1。

试验中选取4种纤维体积掺量 V_f ,即0.04%、0.06%、0.08%、0.1%;所采用的碎石由5种粒径范围骨料组成,最大粒径为30 mm,粒径小于2.5 mm的集料用河砂代替,砂子细度模数为2.73,碎石的合成级配见表2。

表1 聚丙烯纤维的主要物理性能

Tab.1 Physical properties of polypropylene fiber

密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	线密度 /dtex	长度 /mm	抗拉强 度/MPa	弹性模 量/MPa	熔点 /℃
0.91	10~20	10~20	≥ 450	$\geq 4\ 100$	160

表2 试验用碎石的级配

Tab.2 Gradation of the macadam

筛孔尺 寸/mm	31.5	19.0	9.5	4.75	2.36	0.60	0.075
通过 率/%	100	94.3	67.64	41.96	26.9	9.68	0.26

1.2 试件的制作

水泥稳定碎石抗压强度、劈裂抗拉强度和抗压回弹模量试验采用尺寸为 $\phi 150\text{ mm} \times 150\text{ mm}$

收稿日期:2009-12-09;修订日期:2010-02-29

基金项目:河南省教育厅自然科学基金资助项目(2009B580004)

作者简介:张鹏(1978-),男,河南方城人,郑州大学讲师,博士,研究方向为工程结构及材料性能研究, E-mail: zhanpgeng@zzu.edu.cn.

的圆柱体试件.抗弯拉强度和抗弯拉弹性模量试验采用尺寸为 100 mm × 100 mm × 400 mm 的梁式试件.梁式试件是根据文献[8]无机结合料稳定材料圆柱型试件成型的原理,采用自行设计加工的钢制试模.为防止试模被挤坏,试模 4 个侧面的连接采用榫连接方式,外面再焊接加固,试模的两端各焊加一个高强拉杆,以防水泥稳定碎石混合料的膨胀应力将两侧板拉开.长侧面钢板尺寸为 140 mm × 460 mm × 15 mm,试模上下垫板尺寸为 100 mm × 400 mm × 20 mm.根据击实试验得出的最大干密度及最佳含水量,见表 3 所示.采用挤压成型的方法制备试件.试件的成型以及脱模均在压力试验机上进行,试件成型后,静置 4 ~ 5 h 后脱模,将试件用塑料薄膜覆盖,放入标准养护室养护,养护龄期均为 28 d.为对比聚丙烯纤维的作用效果,在成型 4 组聚丙烯纤维水泥稳定碎石试件的同时,还成型了 1 组普通水泥稳定碎石试件.

表 3 最大干密度和最佳含水量

Tab.3 Maximum dry density and optimum moisture content

配比 编号	纤维体积 掺量/%	最大干密度 /(g · cm ⁻³)	最佳含水 量/%
S00	0	2.29	5.52
S04	0.04	2.31	5.62
S06	0.06	2.31	5.72
S08	0.08	2.29	5.61
S10	0.10	2.32	5.58

2 试验方法

2.1 抗压强度、抗拉强度及回弹模量试验

抗压强度、劈裂抗拉强度和抗压回弹模量试验按文献[8],在 WE-600B 型液压式万能试验机上进行.所有试件在养护龄期的最后要在水中浸泡一天,试验前用软布将试件表面的可见自由水吸去.抗压回弹模量的测试采用千分表测量整个试件在加载及卸载时的形变.由于水泥稳定碎石的强度比普通混凝土小得多,因而试验机要选取合适的测试量程.抗压强度和抗压回弹模量的测试量程为 0 ~ 300 kN,劈裂抗拉强度的测试量程为 0 ~ 120 kN.抗压强度和抗拉强度试验的加载速率控制在 0.1 ~ 0.2 kN/s,回弹模量试验的加载速率控制在 1 ~ 2 kN/min,以保持试件的形变等速变化.

2.2 抗弯拉强度及抗弯拉弹性模量试验

由于目前还没有针对半刚性材料抗弯拉强度及抗弯拉弹性模量的测试方法,因此笔者参考文献[9]规定的公路工程水泥混凝土抗弯拉试验方

法进行.试验选用 NYL-300C 型抗弯拉试验机,其量程范围为 0 ~ 60 kN,采用三分点加载法(即三分点处双点加荷和三点自由支撑),高跨比为 1:3,承压板支距为 100 mm,跨距为 300 mm,并采用千分表测量梁式试件的跨中挠度.由于本试验采用的是非标准小梁试件,所以计算结果应乘以尺寸换算系数 0.85 即得抗弯拉强度和抗弯拉弹性模量实际值.

3 聚丙烯纤维掺量的影响分析

3.1 对抗压强度和劈裂抗拉强度的影响

图 1 和图 2 给出了不同纤维掺量的聚丙烯纤维水泥稳定碎石与普通水泥稳定碎石抗压强度 R_c 和劈裂抗拉强度 R_t 的比较结果.从图中可以看出,在聚丙烯纤维体积掺量 V_f 不大于 0.1% 的前提下,随着 V_f 的增加,水泥稳定碎石的抗压、抗拉强度总体上都呈增长趋势.同别的纤维相比较,聚丙烯纤维可以包裹更多的集料,同水泥稳定碎石基体有更紧密的结合力,同时由于细微,故比表面积大,能在水泥稳定碎石内部构成一种均匀的乱向支撑体系,产生一种有效的增强效果.

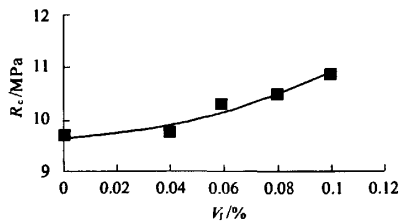


图 1 纤维体积掺量对抗压强度的影响

Fig.1 Effect of fiber volume fraction on compressive strength

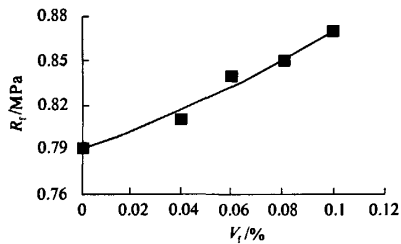


图 2 纤维体积掺量对劈裂抗拉强度的影响

Fig.2 Effect of fiber volume fraction on splitting tensile strength

根据试验结果的回归分析,得出了聚丙烯纤维水泥稳定碎石抗压强度、劈裂抗拉强度与 V_f 的关系式如下(相关系数为 0.958 7, 0.976 5):

$$R_c(V_f) = 1.0617V_f^2 + 0.1332V_f + 9.6627 \quad (1)$$

$$R_t(V_f) = 0.0215V_f^2 + 0.0606V_f + 0.7888 \quad (2)$$

式中: R_c 为抗压强度, MPa; R_t 为抗拉强度, MPa;

V_f 为聚丙烯纤维体积掺量, %.

3.2 对抗压回弹模量的影响

图3给出了纤维掺量聚丙烯纤维水泥稳定碎石与普通水泥稳定碎石抗压回弹模量的关系.

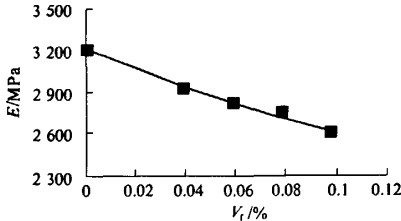


图3 纤维体积掺量对抗压回弹模量的影响

Fig.3 Effect of fiber volume fraction on compressive modulus of resilience

从图3可以看出,随着 V_f 的增加,水泥稳定碎石的抗压回弹模量 E 是逐渐下降的.这主要是由于聚丙烯纤维的拉压变形能力较脆性的水泥稳定碎石的变形能力强得多,它的加入使复合材料整体受力,增强了复合材料的变形能力,柔性增大.因此,聚丙烯纤维的掺入保证了水泥稳定碎石可以承受较大收缩变形而不致被破坏.根据试验结果的回归分析,得出了 E 与聚丙烯纤维体积掺量 V_f 的回归关系式如下(相关系数为0.9911):

$$E(V_f) = 132.01V_f^2 - 713.99V_f + 3207.8 \quad (3)$$

式中: E 为抗压回弹模量,MPa.

3.3 对抗弯拉强度和抗弯拉弹性模量的影响

图4和图5分别给出了不同纤维掺量聚丙烯纤维水泥稳定碎石与普通水泥稳定碎石抗弯拉强度 f_t 和抗弯拉弹性模量 E_t 随纤维体积掺量增大的变化规律.由图4和图5可以看出,当 V_f 小于0.1%时,聚丙烯纤维的掺入能显著地提高水泥稳定碎石的抗弯拉强度,降低抗弯拉弹性模量.

其原因主要是由于聚丙烯纤维在水泥稳定碎石折断时对折断面两侧的稳定粒料起到了牵扯作用,延缓了水泥稳定碎石的开裂破坏,增强了其抗弯拉强度及受拉延性.此外,由于水泥稳定碎石的干燥收缩以及温度收缩等造成内部存在着不同尺度的微裂纹,而聚丙烯纤维阻止了这些裂纹的引发,减少了裂缝源的数量,并使裂缝尺度变小,这就缓和了裂缝尖端应力集中程度,抑制了裂纹的引发与扩展,从而使抗弯拉强度有所提高.由于所掺入的聚丙烯纤维与水泥稳定碎石本身相比,柔性较大,其拉压变形能力要大得多.根据复合材料混合定律^[10],聚丙烯纤维水泥稳定碎石的混合物抗弯拉弹性模量要比普通水泥稳定碎石的低.

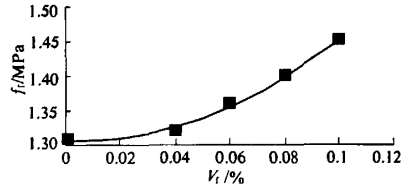


图4 纤维体积掺量对抗弯拉强度的影响

Fig.4 Effect of fiber volume fraction on flexural tensile strength

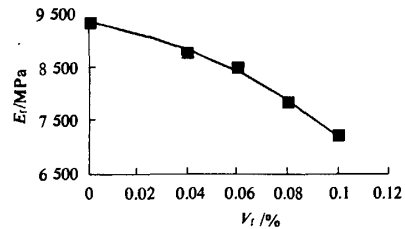


图5 纤维体积掺量对抗弯拉弹性模量的影响

Fig.5 Effect of fiber volume fraction on flexural tensile modulus of elasticity

根据试验结果的回归分析,得出了聚丙烯纤维水泥稳定碎石抗弯拉强度、抗弯拉弹性模量与聚丙烯纤维体积掺量的关系式如下(相关系数分别为0.9941,0.9959):

$$f_t(V_f) = 0.1648V_f^2 - 0.0209V_f + 1.3085 \quad (4)$$

$$E_t(V_f) = 9337.7 - 1528.5V_f^2 + 613.14V_f \quad (5)$$

式中: f_t 为抗弯拉强度,MPa; E_t 为抗弯拉弹性模量,MPa.

3.4 聚丙烯纤维合理的体积掺量

笔者所采用的聚丙烯纤维市场价格约为40元/kg,与普通水泥稳定碎石基层相比,每公里聚丙烯纤维水泥稳定碎石基层增加的工程造价较低,且在公路建成通车后,可节省大量用于维修路面裂缝的资金,因而具有较好的经济性.由试验结果的分析可知,在聚丙烯纤维体积掺量小于0.1%的范围内,随着纤维掺量的增加,水泥稳定碎石各种强度有增加的趋势,而其抗压回弹模量和抗弯拉弹性模量是逐渐降低的.从理论上讲,0.1%体积掺量的聚丙烯纤维水泥稳定碎石基层具有更好的抗裂性,然而考虑到实际工程的施工经济性,为减小工程造价,建议实际工程纤维体积掺量可取为0.06%~0.08%.

4 结论

(1)聚丙烯纤维的掺入可以适当提高水泥稳定碎石的抗压强度、抗拉强度和抗弯拉强度,在聚丙烯纤维体积掺量不大于0.1%的前提下,随着

聚丙烯纤维掺量的增加,水泥稳定碎石各种强度总体上都呈增长趋势。

(2)聚丙烯纤维的掺入能有效降低水泥稳定碎石的回弹模量和抗弯拉弹性模量,当聚丙烯纤维体积掺量不大于0.1%时,随着聚丙烯纤维掺量的增加,水泥稳定碎石回弹模量和抗弯拉弹性模量逐渐降低。

(3)聚丙烯纤维的掺入在提高水泥稳定碎石基层强度的同时,可使水泥稳定碎石基层的抗收缩变形能力和抗裂能力提高,从而可预防因基层开裂而引起的路面早期破坏,延长路面使用寿命。

参考文献:

- [1] 李淑明,许志鸿. 水泥稳定碎石基层的最低劈裂强度和抗压强度[J]. 建筑材料学报,2007,10(2): 177-182.
- [2] 孙兆辉. 水泥稳定碎石基层的抗裂稳定性研究[J]. 建筑材料学报,2007,10(1): 59-65.
- [3] 胡龙泉,蒋应军,陈忠达,等. 骨架密实型水泥稳定碎石路用性能[J]. 交通运输工程学报,2001,1(4): 37-40.
- [4] 蒋应军,薛航,薛辉,等. 半刚性基层预锯缝及铺土工布的路面防裂措施[J]. 长安大学学报:自然科学版,2006,26(2): 6-9.
- [5] 周志刚,张起森,郑健龙. 交通荷载作用下土工格栅防止沥青路面开裂的桥联效应[J]. 中国公路学报,1997,12(3): 27-42.
- [6] 黄煜镔,吕伟民,徐建达,等. 减水剂对水泥稳定碎石物理力学性能的影响[J]. 建筑材料学报,2005,8(3): 311-315.
- [7] 李清富,张鹏,沈捷. 聚丙烯纤维水泥稳定碎石抗裂性能研究[J]. 建筑材料学报,2008,11(3): 368-374.
- [8] 中华人民共和国交通部. JTJ 057-94 公路工程无机结合料稳定材料试验规程[S]. 北京:人民交通出版社,1994.
- [9] 中华人民共和国交通部. JTG E30-2005 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程[S]. 北京:人民交通出版社,2005.
- [10] 孙家瑛,陈建祥,吴初航,等. 硅灰对水泥基PP纤维复合材料路用性能的影响[J]. 建筑材料学报,2000,3(1): 80-83.

Experimental Study on Mechanical Properties of Cement Stabilized Crushed Stones Reinforced with Polypropylene Fiber

ZHANG Peng, LIU Chen - hui, LI Qing - fu

(School of Water Conservancy and Environment Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In order to study the effect of polypropylene fiber upon each mechanical property of cement stabilized crushed stones, the experimental research on the mechanical properties including compressive strength, splitting tensile strength, compressive modulus of resilience, flexural tensile strength and flexural tensile modulus of elasticity of polypropylene fiber reinforced cement stabilized crushed stones and common cement stabilized crushed stones was conducted. Four fiber volume fractions were adopted, which were 0.04%, 0.06%, 0.08% and 0.1%. At the same time, the relation formulas between the fiber volume fractions and the mechanical indices have been obtained according to the regression analysis of the test results. The appropriate volume fraction range of polypropylene fiber was suggested, which was 0.6‰ to 0.8‰. The results indicate that the addition of polypropylene fiber has certain reinforcement on several strengths of cement stabilized crushed stones, however, it can effectively decrease compressive modulus of resilience and flexural tensile modulus of elasticity of cement stabilized crushed stones, and then the ability of the resistance to deformation of cement stabilized crushed stones can be increased. When the volume fiber content is not beyond 0.1%, there is a tendency of increase in the strengths, while compressive modulus of resilience and flexural tensile modulus are gradually decreasing with the increase of polypropylene fiber content.

Key words: polypropylene fiber; cement stabilized crushed stone; mechanical property; fiber fraction