

基于钢纤维混凝土铺装层抗折强度的试验研究

管品武, 禹 雷, 孟会英, 唐国斌

(郑州大学 土木工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要:通过对30组共90个试件进行的有关钢纤维混凝土(SFRC)抗折试验的研究,着重讨论两种不同类型和不同体积率的钢纤维对混凝土抗折强度的影响,得出SFRC抗折强度与抗压强度、劈拉强度等之间的关系,为南阳高速公路桥面铺装工程的应用提供参考.研究表明:随着钢纤维体积率的增大,SFRC的抗折强度也随着线性提高,抗折强度与抗压强度之比也随着呈上升趋势;SFRC抗折强度随着劈拉强度的提高而提高,但随着钢纤维体积率的增大,SFRC的抗折强度与劈拉强度比呈下降趋势.

关键词:抗折强度;体积率;钢纤维混凝土(SFRC)

中图分类号: TU 528.572

文献标识码: A

0 引言

由于我国高速公路发展迅速,公路等级进一步提高,需要大量的优良路面铺装材料来满足日益提高的公路载荷.钢纤维混凝土(Steel Fiber Reinforced Concrete, SFRC)本身优异的特性,使其在路面和桥面铺装层中的应用越来越普遍.南阳白河特大桥是泌阳至南阳高速公路上的一座特大型预应力混凝土连续箱梁桥,该桥桥梁全长1 560.2 m,桥面总宽度34.5 m.为了改善桥面的混凝土性能,提高桥面铺装的耐久性,全线所有桥面铺装层采用了8 cm厚CF50钢纤维钢筋(双钢)混凝土.笔者结合该桥桥面铺装工程,按照有关规程^[1,2],利用42.5R普通水泥试配制CF50的SFRC,采用三分点对称加载破坏特性试验研究在混凝土中掺入两种不同类型和不同体积率的钢纤维对混凝土抗折强度的影响,并研究钢纤维混凝土抗折强度与抗压强度、劈拉强度等之间的关系.

1 材料的选取

本试验所采用混凝土基体强度等级为C50,水泥为郑州市洞林水泥厂的42.5R普通硅酸盐水泥.细集料采用河中砂, $M_s = 2.68$,容重1 520 kg/m³.粗集料采用粒径 ≤ 20 mm的花岗岩,连续粒级.拌合水采用自来水,外加剂采用郑州建科混凝土外加剂有限公司生产的FDN-1高效减水剂,

掺量1.0%.根据河南南阳白河特大桥桥面铺装工程的实际需求,本试验拟采用上海哈瑞克斯有限公司生产的,两种钢纤维进行对比试验,铣削型和剪切波纹型长径比分别为34.3和57.4.

2 试验方案

所有试件的制作、养护和试验方法都严格按照《钢纤维混凝土试验方法》(CECS13:89)等^[1~3]的规定进行.试件设计时考虑的主要参数是试件截面尺寸、钢纤维类型和钢纤维体积率等.抗压和劈拉试件尺寸为100 mm \times 100 mm \times 100 mm,抗折试件尺寸为100 mm \times 100 mm \times 400 mm,每种试验试件的钢纤维体积率分别为0,0.5%,1.0%,1.5%,2.0%,共5组,每组3个试块.

本试验所采用混凝土基体强度等级为C50,为消除基体混凝土的变异对试验结果的影响,在浇筑SFRC的同时,浇筑一批同等强度等级的素混凝土作对比.不同钢纤维类型和体积率的混凝土采用同一种配合比:水:水泥:砂:石子:钢纤维:外加剂=157:490:675:1 100:78:4.9,水灰比0.32,砂率0.38.

立方抗压强度测试采用NYL-2 000D压力试验机(无锡建筑材料仪器机械厂);劈拉强度测试采用NYL-600型材料试验机(无锡建筑材料仪器机械厂);抗折强度测试采用WE-30型压力机(广州试验仪器厂).

收稿日期:2006-09-10;修订日期:2006-11-20

作者简介:管品武(1971-),男,湖南祁东人,郑州大学教授,博士,主要从事混凝土及砌体结构基本理论研究

3 试验结果

在经过 28d 的标准条件下试件的养护,对不

同钢纤维掺量的试件分别进行抗压试验、极限抗折试验和劈拉试验. 不同钢纤维类型和体积率对 SFRC 性能的影响结果如表 1 所示.

表 1 各项力学性能的试验结果

Tab.1 The main experimental data of meochnical property

钢纤维类型	试件编号	钢纤维体积率 /%	抗压强度 /MPa	抗折强度 (极限强度)/MPa	劈拉强度 /MPa
铣 削 型	XSF ₀	0	51.8	5.25	3.07
	XSF ₁	0.5	52.7	5.62	3.93
	XSF ₂	1.0	53.8	6.09	4.22
	XSF ₃	1.5	55.6	6.56	5.49
	XSF ₄	2.0	53.6	6.72	5.49
剪 切 型	BSF ₀	0	52.2	4.85	2.74
	BSF ₁	0.5	53.5	5.75	3.74
	BSF ₂	1.0	55.8	6.38	4.14
	BSF ₃	1.5	57.3	6.36	4.70
	BSF ₄	2.0	53.7	6.73	4.75

4 试验结果分析

4.1 钢纤维体积率的影响

4.1.1 钢纤维体积率对抗折强度的影响

由图 1 可看出,随钢纤维体积率的增加,不同掺量试件的抗折强度都呈线性增加,当钢纤维体积率为 2.0% 时,试件的抗折强度达到最大值. 由于随着钢纤维的掺量增多,混凝土在搅拌过程中,钢纤维容易产生结团现象,钢纤维分布的均匀性和结构的连续性降低;同时用振捣棒插入内部振捣密实,易将钢纤维折断及引起钢纤维结团,影响钢纤维的随机分布. 因此当体积率超过 1.0% 时,可能引起抗折强度增加幅度开始变缓的现象.

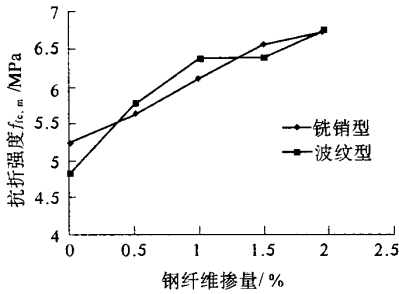


图 1 钢纤维掺量对混凝土抗折强度的影响

Fig.1 The effect of different quantities of steel fibers on the flexural strength

铣销型和剪切型钢纤维混凝土试件,当 V_f 从 0.5% 增加到 1.0% 时,其抗折强度分别增加为 8.4%,11.0%,当 V_f 从 1.0% 增加到 2.0% 时,其抗折强度分别增加为 10.3%,5.5%. 根据以往的文献记载^[4],对剪切型钢纤维高强混凝土试件,

当 V_f 从 0.64% 增加到 1.28% 时,其抗折强度增加为 9.2%,当 V_f 从 1.28% 增加到 1.92% 时,其抗折强度增加为 18.5%. 因此,可以看出本次试验结果在合理误差范围内.

当钢纤维体积率小于 1.0% 时,波纹型 SFRC 的抗折强度较大,当体积率大于 1.0% 时,波纹型 SFRC 的抗折强度略小于铣销型,但是总体来看,波纹型 SFRC 的抗折强度略大于铣销型 SFRC. 从试验现象可以看出,钢纤维改变了混凝土抗折破坏的形式,强度较素混凝土有明显的提高.

4.1.2 钢纤维体积率对 $f_{fc,m}/f_{fc,eu}$ 的影响

图 2 给出了两种不同钢纤维类型和掺量的混凝土抗折强度和抗压强度之比与钢纤维体积率之间的关系. 可见,随钢纤维体积率的增加,抗折强度与抗压强度之比明显增大,呈上升趋势. 抗折强度增长率明显大于抗压强度增长率,因此,增加合适的钢纤维掺量能有效提高混凝土的抗折性能. 但是,对于剪切波纹型 SFRC,当体积率达到 1.5% 时, $f_{fc,m}/f_{fc,eu}$ 明显下降,这可能是随着钢纤维的增多,混凝土变得比较干硬,搅拌比较困难,造成钢纤维分布的均匀性和结构的连续性降低,造成试验数据较为离散,影响了试件的极限抗折强度. 但是总体来看,抗折强度与抗压强度之比呈现明显增大趋势. 同时也说明钢纤维的掺量不能太大,否则会产生混凝土施工困难.

对于本试验,在钢纤维体积率为 0~2.0% 时,其 $f_{fc,m}/f_{fc,eu}$ 值,铣销型为 0.10~0.13,剪切波纹型为 0.09~0.12. 铣销型和剪切波纹型 SFRC 的 $f_{fc,m}/f_{fc,eu}$ 平均值分别为 0.113,0.108.

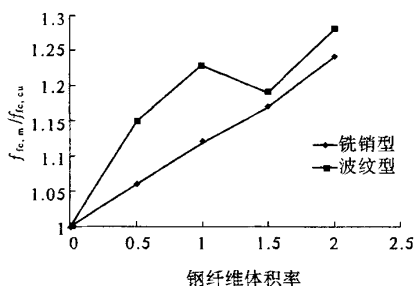
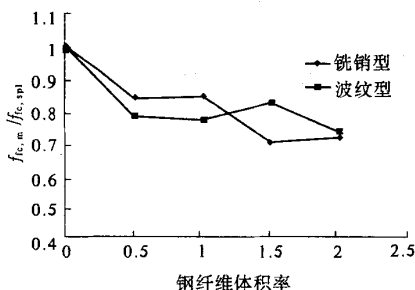
图2 钢纤维体积率对 $f_{fc,m}/f_{fc,cu}$ 的影响Fig. 2 The effect of different quantities of steel fibers on the $f_{fc,m}/f_{fc,cu}$ 4.1.3 钢纤维体积率对 $f_{fc,m}/f_{fc,sp}$ 的影响

图3给出了两种不同钢纤维类型和掺量的混凝土抗折强度和劈拉强度之比与钢纤维体积率之间的关系,可见,随着钢纤维体积率的增加,抗折强度与劈拉强度之比 $f_{fc,m}/f_{fc,sp}$ 明显减小,呈下降趋势。正如有关文献所述^[5,6],随着钢纤维体积率的增大,抗折强度增长率小于劈拉强度增长率。在本试验中,铰销型和剪切波纹型钢纤维混凝土的 $f_{fc,m}/f_{fc,sp}$ 平均值分别为 1.40, 1.58。

图3 钢纤维体积率对 $f_{fc,m}/f_{fc,sp}$ 的影响Fig. 3 The effect of different quantities of steel fibers on the $f_{fc,m}/f_{fc,sp}$

从总体试验结果来看,铰销型和剪切波纹型钢纤维对混凝土的抗折强度、劈拉强度和抗压强度平均增强率分别为:19%, 56%, 4% 和 30%, 39%, 5%。钢纤维对混凝土的抗折强度和劈裂强度增强显著,而对于抗压强度增加不是太明显。

4.2 抗折强度与其它强度的关系

4.2.1 抗折强度与抗压强度

图4给出了 SFRC 抗折强度与抗压强度之间的关系,其中,基体混凝土为 C50。可以看出,随着钢纤维体积率的增加,抗折强度随抗压强度的提高而提高,提高幅度为 0~28%。因此,在桥面铺装中使用高强 SFRC,可以有效地提高路面的抗裂能力。本文通过试验研究的结果,对数据进行回归统计分

析可以得出抗压强度在 50~60 MPa 时,抗压强度与抗折强度之间的趋势线,其关系式为

$$f_m = 0.0005 f_{cu}^{2.36} \quad (1)$$

将试验值与式(1)的计算值进行比较,二者比值的均值 $\mu = 1.012$, 均方差 $\sigma = 0.21$ 。

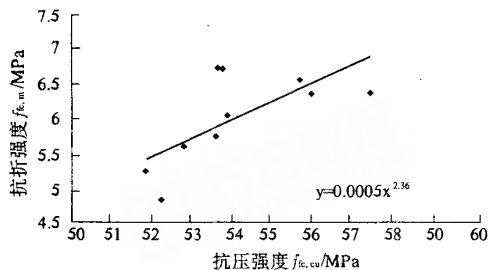


图4 抗折强度与抗压强度的关系

Fig. 4 The relation of flexural strength and compressive strength

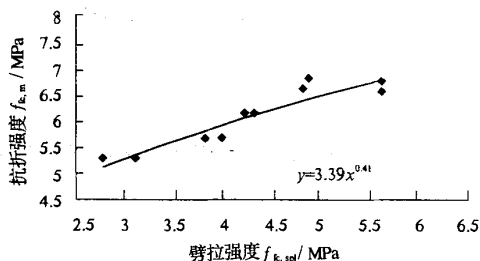


图5 抗折强度与劈拉强度的关系

Fig. 5 The relation of flexural strength and splitting strength

4.2.2 抗折强度与劈拉强度

图5显示出抗折强度与劈拉强度之间的关系。随着劈拉强度的增长抗折强度明显增大。劈拉强度与抗折强度比明显大于抗压强度与抗折强度比。本文通过对数据进行回归统计分析得出劈拉强度在 2~6 MPa 时,抗折强度与劈拉强度之间的关系式为

$$f_m = 3.39 f_{sp}^{0.41} \quad (2)$$

将试验值与式(2)的计算值进行比较,二者比值的均值 $\mu = 0.989$, 均方差 $\sigma = 0.16$ 。

5 SFRC 抗折强度的计算方法

钢纤维高强混凝土的抗折强度受多重因素的影响。为了简化计算,其抗折强度可采用综合系数法计算模式^[7,8],并采用影响系数法表征钢纤维对混凝土抗剪强度的增强作用。其计算模式为

$$f_{fm} = f_{im} (1 + \alpha_m \lambda_f) \quad (3)$$

式中: f_{fm} 、 f_{im} 分别为 SFRC 和素混凝土的抗折强度; α_m 为钢纤维对混凝土抗折强度的影响系数;

λ_f 为钢纤维特征系数, $\lambda_f = \rho_f l_f / d_f$

由式(3)可知, 当钢纤维的类型和体积掺率确定时, 钢纤维对混凝土影响作用的评估主要体现在对钢纤维混凝土抗剪强度影响系数 α_m 的确定上. 因此, 计算式的关键在于 α_m 的取值, 由于各种钢纤维的类型, 试验方法不同等影响因素, α_m 的取值也不尽相同. 本试验综合了大量的研究数据, 经过对本试验结果的统计, 铣削型和剪切波纹型钢纤维的影响系数 α_m 分别为: 0.19, 0.30.

6 结论

(1) 两种 SFRC 的抗折强度都随着钢纤维体积率的增大而增大, 虽然由于数据的离散性导致两种 SFRC 抗折强度有稍微波动, 但总体来看, 波纹型 SFRC 的抗折强度略大于铣削型 SFRC.

(2) 两种 SFRC 的抗折强度随着抗压强度的提高而提高, 随着钢纤维体积率的增大, 两种 SFRC 的抗折强度与抗压强度比也随着呈上升趋势, 比值无明显差距.

(3) SFRC 抗折强度随着劈拉强度的提高而提高, 随着钢纤维体积率的增大, SFRC 的抗折强度与劈拉强度比呈下降趋势. 铣削型和剪切波纹型 SFRC 的 $f_{fc,m}/f_{fc,api}$ 平均值分别为 1.40, 1.58.

(4) 经过本文试验结果的统计分析, 得出

SFRC 抗压强度与抗折强度关系式, 劈拉强度与抗折强度的关系式.

(5) 经过本文试验结果的统计分析, 得出两种钢纤维对混凝土的抗折强度增强系数, 铣削型为: 0.19, 剪切波纹型为: 0.30. 剪切波纹型钢纤维增强效果要明显好于铣削型钢纤维的增强效果.

参考文献:

- [1] JTG D40-2002 公路水泥混凝土路面设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [2] JTG F30-2003 公路水泥混凝土路面施工技术规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [3] CECS 13:89, 钢纤维混凝土试验方法[S]. 北京: 中国计划出版社, 1996.
- [4] 翟阳, 吴佩刚, 姜永波, 等. 钢纤维高强混凝土的抗折强度[J]. 烟台大学学报, 1995, 8(4): 56-61.
- [5] 高丹盈, 刘建秀. 钢纤维混凝土基本理论[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994.
- [6] 高丹盈, 朱海堂, 汤寄予. 钢纤维高强混凝土的抗剪强度[J]. 硅酸盐学报. 2005, 33(1): 82-86.
- [7] 赵国藩, 彭少民, 皇承逵. 钢纤维混凝土结构[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- [8] 高丹盈, 赵军, 朱海堂. 钢纤维混凝土设计与应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.

Flexural Strength of Steel Fibers Concrete Study on the Pavement

GUAN Pin-wu, YU Lei, MENG Hui-ying, TANG Guo-bin

(School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Through studying a total of 90 specimens divided into 30 groups in the flexural test, and through studying on the flexural strength of steel fibers concrete, this paper uses different V_f and two types of steel fibers in concrete to study the influence to the flexural strength. And it studies the relationship of flexural strength, compressive strength and splitting strength. And it provides reference to practice concrete pavement of Nanyang expressway project. The results show that the flexural strength and the $f_{fc,m}/f_{fc,cu}$ increase with the increase of V_f . The flexural strength increases with the increase of splitting strength, but the $f_{fc,m}/f_{fc,api}$ decrease with the increase of V_f .

Key words: flexural strength; volume rate; steel fibers concrete(SFRC)