

钢纤维混凝土收缩时变特征研究

姚晓超¹, 方国强², 张宁^{1*}, 谢宜琨¹

(1.西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨陵 712100; 2.中交公路规划设计院有限公司)

摘要: 针对钢纤维混凝土的收缩特点, 该文进行了钢纤维体积率 0.5%、1.0%、1.5% 的收缩试验。结合已有研究成果统计和对比分析表明: 钢纤维混凝土收缩量随着钢纤维掺量的增加不断降低, 并且降低幅度随掺量增加趋于平稳; 与素混凝土相比, 钢纤维体积率 0.5%、1.0%、1.5% 混凝土收缩分别下降了 20%、36%、40%。参考已有的试验结果, 拟合了钢纤维混凝土的收缩量计算表达式, 拟合公式具有较好的相关度, 能够满足钢纤维混凝土收缩模型预测要求。

关键词: 钢纤维混凝土; 收缩; 体积率

混凝土收缩会使箱梁结构的内力分布和变形随时间产生变化, 导致结构受力性能退化, 影响其正常使用甚至结构安全。混凝土结构收缩预测和控制十分复杂, 一般难以获得精确计算模型。Hu 等通过试验研究发现随着矿渣含量的增加, 混凝土干燥收缩率略有增长, 并且增加粉煤灰含量亦可改善混凝土的收缩量; Wang 等发现提高预湿轻骨料时间能降低混凝土收缩率, 同时在混凝土中掺加膨胀剂对混凝土的收缩也有一定的抑制作用; Zhutovsky 等发现不同水灰比对混凝土收缩有一定影响, 水灰比减小能降低混凝土收缩。钢纤维混凝土是在普通混凝土中掺入钢纤维组成的多向非均质材料, 具有较好的抗裂缝能力, 可用来增强混凝土断裂韧性和抗冲击性能。目前, 对钢纤维混凝土的收缩性能开展了一定的试验研究: Aydin 等通过设置 0.5%、1.0%、1.5%、2.0% 共 4 种不同的钢纤维体积分数, 发现混凝土的收缩率随着钢纤维掺量的增加而降低; Atis 等设置 0、0.25%、0.5%、1.0%、1.5% 共 5 种不同体积分数的钢纤维, 发现钢纤维可以有效降低混凝土收缩; 吴林妹、王婧等通过在超高性能混凝土(UHPC)中加入 1%、2%、3% 不同含量的钢纤维, 发现 7 d 干缩速率较快, 并且当钢纤维含量超过 2% 后收缩不再变化; 程红强等根据试验数据给出钢纤维混凝土收缩应变的计算模型; 林鸿斌等发现掺入钢纤维能减小超高强混凝土的收缩变形, 长径比大的钢纤维抑

制混凝土收缩较好。该文研究不同体积率钢纤维对混凝土收缩的影响, 并与已有研究成果对比, 给出了钢纤维混凝土的收缩计算表达式, 以满足钢纤维混凝土收缩模型的计算精度要求。

1 试验设计

1.1 原材料及配合比

试验参考 GB/T 50082—2009《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》, 共拌制 12 个 100 mm×100 mm×515 mm 棱柱体试件, 每组试件钢纤维体积率分别为 0、0.5%、1.0%、1.5%。素混凝土立方体抗压强度等级为 C50, 水泥采用 P.O. 42.5 级水泥; 粗骨料粒径为 5~20 mm; 细骨料采用中砂; 减水剂采用聚羧酸高性能减水剂, 各组混凝土配合比见表 1。钢纤维长 30 mm, 等效直径 0.70 mm, 长径比 43。钢纤维混凝土配合比参照 JGJ/T 221—2010《纤维混凝土应用技术规程》进行调整。

1.2 试验设计

试验参考 GB/T 50082—2009《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》, 采用卧式混凝土收缩膨胀仪测量(图 1)。混凝土收缩测头尺寸 20 mm×35 mm, 振捣时应保证收缩测头和收缩试模接触严实。收缩试件在标准养护室养护, 其后放置在温度为 18~

收稿日期: 2019-11-25(修改稿)

基金项目: 交通运输部建设科技项目(编号: 2014 318 363 230, 2014 318 802 220)

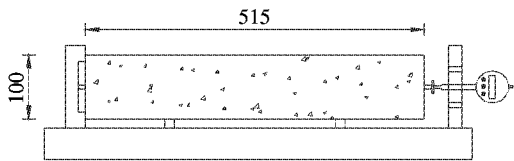
作者简介: 姚晓超, 男, 硕士研究生, E-mail: yaoxiaochao123@163.com

* 通信作者: 张宁, 男, 博士, 副教授, E-mail: johning@live.cn

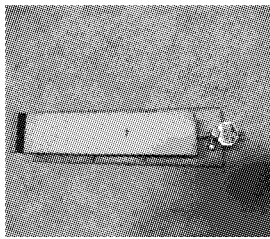
22 ℃,相对湿度为 55%~65%的环境中测量其长度, 测量周期为 1、3、7、14、21、28、45、60 d。

表 1 钢纤维混凝土配合比

编号	钢纤维/%	水胶比	组分/(kg·m ⁻³)				
			水泥	水	粗骨料	细骨料	减水剂
A0	0	0.31	470	147	1 069	683	0.94
A1	0.5	0.31	487	152	998	753	0.97
A2	1.0	0.31	503	157	917	813	1.01
A3	1.5	0.31	519	162	829	863	1.04



(a) 卧式混凝土收缩仪示意图(单位:mm)



(b) 卧式混凝土收缩仪测量图

图 1 卧式混凝土收缩仪测量装置

2 试验结果与分析

各组试件的收缩测量均值如图 2 所示。

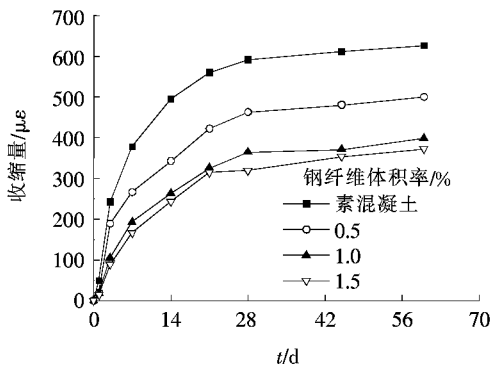


图 2 龄期对收缩的影响

由图 2 可见:① 以 60 d 后的素混凝土收缩测量值 626 με 为基值,钢纤维体积率 0.5%、1.0%、1.5% 的混凝土收缩值分别为 500、398、372 με,分别降低了 20%、36%、40%;② 随着钢纤维体积率的增加,混凝土收缩量减小,当钢纤维体积增加到一定量时,收缩减

小趋势平缓,这是由于钢纤维的添加限制了混凝土内部干缩效应,当钢纤维继续增加后,已达到混凝土的收缩限值,收缩效应趋于稳定。

3 收缩计算模型

根据已有的试验数据分别对素混凝土、0.5%、1.0%、1.5% 钢纤维混凝土收缩量进行参数拟合,结果如图 3 所示。

由收缩时程曲线可知,28 d 后混凝土收缩趋于平缓,取龄期 60 d 的试验数据进行回归分析,结果如图 4 所示。

根据图 3,通过对不同掺量的钢纤维试验数据进行回归分析,得到不同掺量的钢纤维混凝土随龄期变化的计算表达式,见式(1)。

$$\epsilon_{s,f}(t, \rho_f) = (0.57 + 0.42e^{-1.17\rho_f}) \frac{t}{6.4 + 1.66t} \times 10^{-3} \quad (1)$$

式中: $\epsilon_{s,f}(t, \rho_f)$ 为任意时刻钢纤维混凝土收缩变形; t 为混凝土龄期(d); ρ_f 为钢纤维体积率(%)。

将钢纤维混凝土得到的计算结果和统计的试验结果进行比较,比较结果见表 2。经计算该文给出的公式相关系数 $R = 0.982\ 2$,拟合的公式具有较高相关度,满足钢纤维混凝土收缩模型的计算精度要求。

由表 2 可知:混凝土收缩试验值和混凝土收缩计算值平均值为 1.021,混凝土收缩计算结果和试验结果拟合较好。

4 结论

该文共拌制 12 个棱柱体试件,试件中钢纤维体积率分别设置为 0、0.5%、1.0%、1.5%,通过试验研究,得出以下结论:

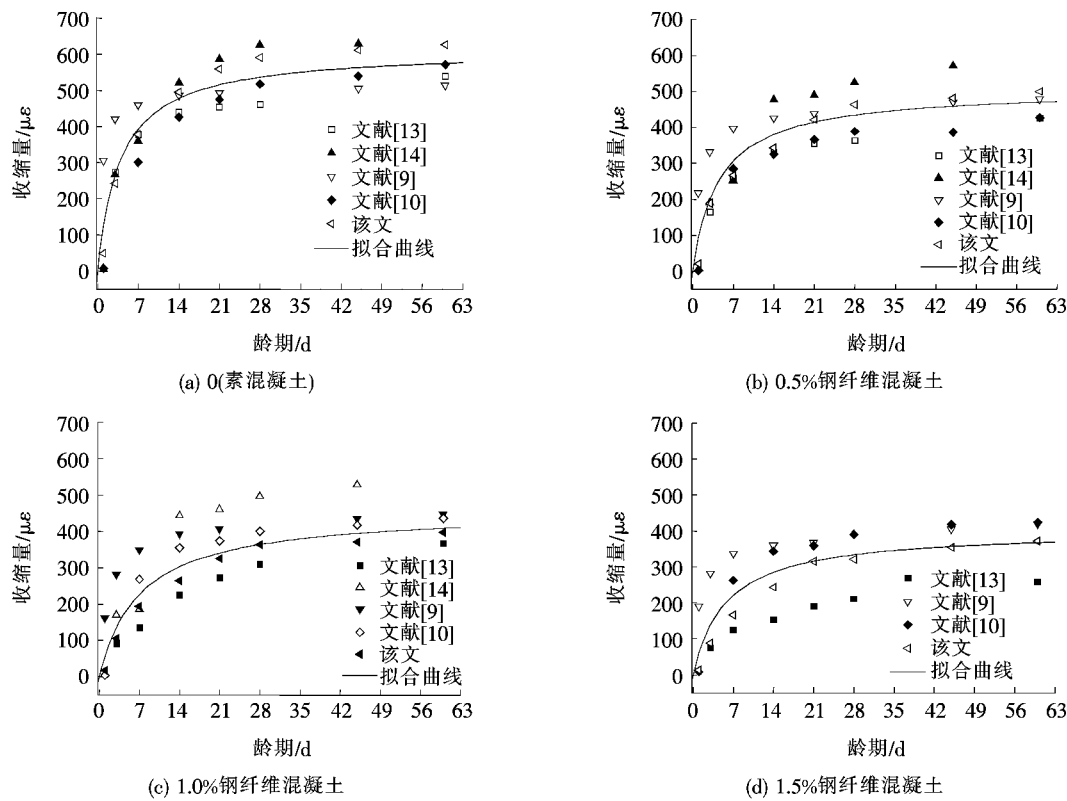


图 3 不同钢纤维掺量混凝土收缩时程曲线

表 2 收缩试验值和计算值的比较

钢纤维 掺量/%	数据来源	不同龄期(d)的收缩量/ $\mu\epsilon$							
		1	3	7	14	21	28	45	60
0(素 混凝土)	计算值	125	268	398	486	525	547	574	586
	文献[9]	2.440	1.571	1.156	1.00	0.939	—	0.880	0.877
	文献[10]	0.064	—	0.754	0.877	0.905	0.945	0.939	0.974
	文献[13]	—	1.019	0.951	0.904	0.866	0.844	—	0.920
	文献[14]	0.040	0.989	0.907	1.074	1.118	1.144	1.094	—
	该文	0.392	0.903	0.950	1.019	1.067	1.080	1.064	1.068
0.5	计算值	90	199	303	377	411	430	454	465
	文献[9]	2.411	1.663	1.314	1.130	1.066	—	1.037	1.030
	文献[10]	0.022	—	0.941	0.862	0.893	0.905	0.852	0.918
	文献[13]	—	0.827	0.851	0.873	0.864	0.846	—	0.916
	文献[14]	—	0.955	0.832	1.268	1.192	1.221	1.260	—
	该文	0.222	0.950	0.881	0.910	1.027	1.077	1.059	1.075
1.0	计算值	56	135	225	301	339	362	392	406
	文献[9]	2.893	2.081	1.556	1.306	1.201	—	1.112	1.103
	文献[10]	0.071	—	1.191	1.179	1.103	1.108	1.066	1.074
	文献[13]	—	0.676	0.596	0.749	0.803	0.853	—	0.906
	文献[14]	—	1.259	0.822	1.475	1.360	1.373	1.347	—
	该文	0.321	0.785	0.858	0.877	0.962	1.008	0.946	0.980

续表 2

钢纤维 掺量/%	数据来源	不同龄期(d)的收缩量/ $\mu\epsilon$							
		1	3	7	14	21	28	45	60
1.5	计算值	59	137	219	283	314	332	355	365
	文献[9]	3.220	2.051	1.534	1.272	1.169	—	1.141	1.148
	文献[10]	0.136	—	1.196	1.208	1.143	1.178	1.177	1.159
	文献[13]	—	0.550	0.568	0.539	0.604	0.633	—	0.707
	该文	0.237	0.650	0.758	0.859	1.003	0.964	0.997	1.019

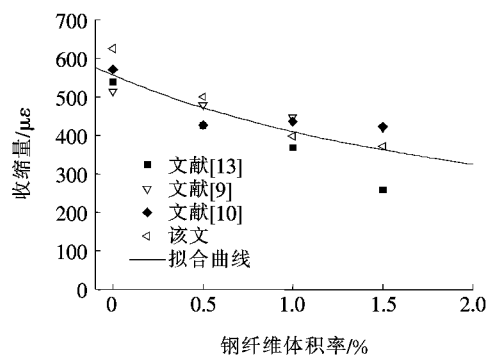


图 4 $T=60\text{ d}$ 钢纤维体积率对收缩的影响

(1) 随着钢纤维体积率的增加,收缩逐渐减小,与素混凝土相比,钢纤维体积率 0.5%、1.0%、1.5%混凝土 60 d 收缩量分别下降了 20%、36%、40%。

(2) 拟合了钢纤维混凝土的收缩模型计算表达式,通过比较混凝土收缩计算结果和混凝土收缩试验结果,得到相关系数 $R=0.982\ 2$ 。

参考文献:

[1] 魏维.钢纤维混凝土收缩徐变研究现状及前景分析[J].四川建材,2013(6).

[2] 王忠彬.混凝土收缩徐变对自锚式悬索桥的影响分析[D].西南交通大学硕士学位论文,2006.

[3] 吴勇往.混凝土收缩徐变对铁路高墩大跨连续刚构桥的影响研究[J].国防交通工程与技术,2012(6).

[4] HU X,SHI Z G,SHI C J,et al. Drying Shrinkage and Cracking Resistance of Concrete Made with Ternary Cementitious Components [J]. Construction and Building Materials,2017,149:406—415.

[5] WANG X F,FANG C,KUANG W Q,et al. Experimental Investigation on the Compressive Strength and Shrinkage

of Concrete with Pre—Wetted Lightweight Aggregates [J].Construction and Building Materials,2017,155:867—879.

[6] ZHUTOVSKY S,KOVLER K. Influence of Water to Cement Ratio on the Efficiency of Internal Curing of High—Performance Concrete[J].Construction and Building Materials,2017,144:311—316.

[7] 刘永胜,王肖钧,金挺,等.钢纤维混凝土力学性能和本构关系研究[J].中国科学技术大学学报,2007(7).

[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.

[9] AYDIN S,BARADAN B. The Effect of Fiber Properties on High Performance Alkali—Activated Slag/Silica Fume Mortars[J].Composites Part B—Engineering,2013,45(1):63—69.

[10] ATIS C D,KARAHAN O. Properties of Steel Fiber Reinforced Fly Ash Concrete[J].Construction and Building Materials,2009,23(1):392—399.

[11] 吴林妹,史才军,张祖华,等.钢纤维对超高性能混凝土干燥收缩的影响[J].材料导报,2017(12).

[12] 王婧.高强钢纤维混凝土收缩性能研究[J].硅酸盐通报,2017(8).

[13] 程红强,高丹盈.钢纤维混凝土的收缩性能试验研究[J].混凝土,2009(2).

[14] 林鸿斌,王冲,曾毅娟.钢纤维高强混凝土的收缩变形及开裂研究[J].混凝土,2011(5).

[15] 何桥敏,周丽.不同钢纤维掺量及黏结剂对混凝土性能的影响[J].中外公路,2019(5).

[16] 张艳聪,申俊敏.废轮胎钢纤维混凝土力学性能试验研究[J].中外公路,2018(5).

[17] GB/T 50082—2009 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准[S].

[18] JGJ/T 221—2010 纤维混凝土应用技术规程[S].