

文章编号:1671-6833(2003)02-0041-03

钢纤维掺量和基体强度对混凝土弯曲韧性的影响

李 丽, 秦鸿根

(东南大学材料科学与工程系, 江苏 南京 210096)

摘 要: 采用两个基体强度和钢纤维的五种体积掺量进行组合试验, 通过方差分析研究钢纤维体积掺量和混凝土基体强度对提高极限弯曲强度和达到极限弯曲强度后一定挠度区间内继续消耗能量影响的显著性, 比较钢纤维体积掺量和基体强度不同组合时的增韧效果. 研究表明: 钢纤维体积掺量和基体强度均为影响钢纤维混凝土弯曲韧性的显著因素.

关键词: 钢纤维增强混凝土; 体积掺量; 基体强度; 弯曲强度; 弯曲韧性

中图分类号: TU 375 文献标识码: A

0 引言

随着对钢纤维混凝土研究和应用领域的扩大, 钢纤维增强混凝土的韧性已成为与强度同等重要的材料属性. 设计和建造钢纤维混凝土结构前, 必须了解钢纤维混凝土在提高和改善弯曲韧性方面的效果^[1,3]. 本文通过考察钢纤维混凝土的极限弯曲强度和达到极限弯曲强度后一定挠度区间内继续消耗的能量这两个因素, 比较两个基体强度 C50, C70, 五种钢纤维体积掺量 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5% 和 2.0% 钢纤维混凝土的增韧效果.

1 试验

1.1 原材料

水泥采用江南水泥厂的普通硅酸盐水泥. 砂子堆积密度为 $1063\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 细度模数为 $1.8\sim 2.520$ mm 的碎石, 压碎值是 3.3%. 钢纤维选用江西的钢丝切断异形钢纤维, 长度 31 mm, 等效直径 0.676 mm. 外加剂采用江苏省建筑科学研究所生产的 JM-B 型高效减水剂.

1.2 试验方法

试验采用先干拌后湿拌的方法, 干拌均匀后撒入钢纤维. 成型时采用振动台振实. 试件尺寸 $100\text{ mm}\times 100\text{ mm}\times 400\text{ mm}$. 养护制度采用 28d 标准养护. 弯曲韧性的荷载-挠度曲线采用 ASTM C

1018 的三分点弯曲法^[1,3,4] (跨距 300 mm), 由数据自动采集记录系统完成, 见图 1, 其中 A 为压力传感器, B₁, B₂ 为位移传感器.

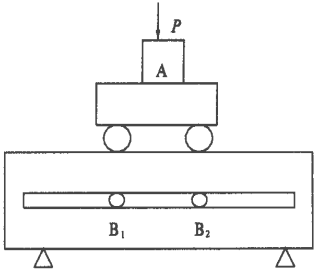


图 1 三分点弯曲试验示意图
Fig. 1 Flexure test set up

2 弯曲韧性

目前根据荷载-挠度曲线评价混凝土的韧性主要采用日本的 JCI 标准方法和 ASTM C 1018 方法. 考虑到 ASTM 法在确定初裂点时难度较大, JCI 法对荷载-挠度曲线的形状不够敏感^[3]. 本文进行以下分析:

(1) 考察试件 28d 极限弯曲强度值 R_f , 见表 1.

(2) 记钢纤维混凝土达到极限强度时的挠度为 δ' , 计算越过极限弯曲强度后至挠度增加到 $3\delta'$ 时钢纤维混凝土继续吸收的能量 W , 即为四边形 BACD 的面积, 如图 2、表 2 所示.

收稿日期: 2003-01-08; 修订日期: 2003-02-26

作者简介: 李 丽 (1979-), 女, 河南省洛阳市人, 东南大学硕士研究生.

表 1 极限弯曲强度 R_f 的试验结果

Tab .1 Uti mate flexural strength R_f

序号	基体强度	材料用量/(kg·m ⁻³)							R_f /MPa	
		纤维掺量	水灰比	水泥	砂	石	水	JM-B	1 组	2 组
1	C50	0	0.36	403	699	1 140	145	4.03	6.14	6.14
2		0.5	0.36	417	723	1 130	150	4.17	6.84	7.08
3		1.0	0.36	430	748	1 077	155	4.30	7.28	9.41
4		1.5	0.36	444	790	1 006	160	4.44	9.83	11.21
5		2.0	0.36	458	830	937	165	4.58	11.41	14.00
6	C70	0	0.30	474	658	1 222	142	5.69	6.68	6.68
7		0.5	0.30	487	669	1 138	146	5.84	8.45	8.25
8		1.0	0.30	500	694	1 086	150	6.00	10.64	10.29
9		1.5	0.30	517	734	1 014	155	6.20	12.67	12.21
10		2.0	0.30	533	773	944	160	6.40	15.68	15.19

说明:①纤维掺量为钢纤维的体积掺量,%;②为进行基体强度和钢纤维体积掺量两个因素的交互作用检验,试验重复进行了两次,强度值列为 1 组和 2 组.

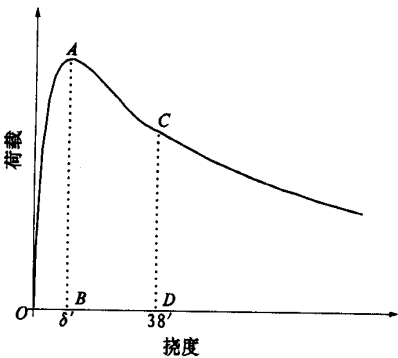


图 2 钢纤维混凝土典型的荷载—挠度曲线
Fig .1 A typical load—deflection curve of SFRC

表 2 W 的计算结果

Tab .2 W based on load—deflection curves

项目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
基体	C50	C50	C50	C50	C50	C70	C70	C70	C70	C70
纤维掺量/%	0	0.5	1.0	1.5	2.0	0	0.5	1.0	1.5	2.0
W/(N·m)	0	1.71	4.28	4.60	5.45	0	2.34	4.82	5.15	6.02

3 基体强度和钢纤维体积掺量对 R_f 和 W 影响的显著性

3.1 基体强度和钢纤维体积掺量对 R_f 影响

方差分析的因素与水平见表 3^[9].表 4 分析结果表明,基体强度和钢纤维体积掺量对极限弯曲强度 R_f 的影响均十分显著.基体强度大的钢纤维混凝土,其极限弯曲强度随钢纤维体积掺量提高增长的较快.同一基体强度下,极限弯曲强度随钢纤维体积掺量增大而增加.

表 3 因素与水平

Tab .3 Elements and levels

因素	水平				
	1	2	3	4	5
基体 1	C50	C50	C50	C50	C50
基体 2	C70	C70	C70	C70	C70
纤维掺量/%	0	0.5	1.0	1.5	2.0

表 4 极限弯曲强度 R_f 的方差分析表

Tab .4 Variance analysis of uti mate flexural strength R_f

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	显著性
基体强度	15.3	1	15.3	22.6	$F_{0.0}(1,10)=10.04$
纤维掺量	148.9	4	37.2	55.0	$F_{0.0}(4,10)=5.99$
两因素交互	11.8	4	2.9	4.4	$F_{0.0}(4,10)=5.99$
误差	6.7	10	0.6		

说明:由方差分析结果知,基体强度和体积掺量两个因素的交互作用的影响可忽略.

3.2 基体强度和钢纤维体积掺量对 W 影响

方差分析表 5 说明:钢纤维体积掺量对钢纤维混凝土承载达到极限弯曲强度后一定挠度区间内继续消耗的能量 W 的影响尤其显著,相比较而言,基体强度对的影响很微小.同一基体强度下, W 随钢纤维体积掺量提高而增加显著.

表 5 W 的方差分析

Tab .1 Variance analysis of W

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	显著性
基体强度	0.676	1	0.676	13.45	$F_{0.0}(1,4)=10.13$
体积掺量	43.935	4	10.984	218.54	$F_{0.0}(4,4)=15.98$
误差	0.201	4	0.050		

4 弯曲韧性的分析

有学者认为,韧性好的混凝土应在极限承载

力被超越以后,仍能支持结构保持整体性,不导致结构迅即破坏,这要求混凝土材料在达到极限承载力后仍能消耗较大的能量^[7].根据此观点,本文计算了两个基体强度C50,C70,五种钢纤维体积掺量0%,0.5%,1.0%,1.5%和2.0%混凝土在达到极限弯曲强度 R_f 后至挠度增加 $2\delta'$ 内(荷载—挠度曲线上极限荷载对应的挠度值为 δ')消耗的能量 W .

依据表5的分析,钢纤维的体积掺量对弯曲韧性影响十分显著.这是因为纤维在混凝土中起到了阻裂和改善裂后形态的作用.钢纤维混凝土断裂后延伸率高于混凝土基体本身裂后延伸率二个数量级^[4],因此钢纤维体积掺量的增加将显著提高钢纤维混凝土复合材料的韧性.另一方面,提高混凝土基体强度有利于增加钢纤维与基体间的粘结性能.不同基体强度的钢纤维混凝土,当混凝土抗拉强度的增长和钢纤维与基体间界面粘结强度的增长同幅度时,钢纤维对不同基体强度混凝土韧性提高的贡献相同,反之则不同^[4].本文中基体强度对混凝土弯曲韧性的影响不如钢纤维体积掺量的影响显著.

5 结束语

钢纤维与基体的粘结使纤维起到了阻止混凝土内裂缝开展和承受荷载的作用.当承受弯曲荷

载时钢纤维粘结滑移、拔出或拔断过程中要消耗大量的能量,从而大大改善了混凝土开裂后的变形性能.本文通过方差分析发现,钢纤维体积掺量对混凝土承载超过极限弯曲强度后挠度增加在一定范围内继续消耗的能量影响尤其显著.

参考文献:

[1] 赵国藩,彭少民,黄承逵.钢纤维混凝土结构[M].北京:中国建筑工业出版社,1999.

[2] 孙 伟.钢纤维对高强混凝土的增强、增韧与阻裂效应的研究[J].东南大学学报,1991,21(1):50~55.

[3] HUANG Cheng kui,ZHAO Guo fan.Properties of steel fiber reinforced concrete containing larger coarse aggregate[J].Cement and Concrete Composites,1995,(17):199~206.

[4] 姚 武,蔡江宁,吴科如.钢纤维混凝土的抗弯韧性研究[J].混凝土,2002,(6):31~33.

[5] NATARAJA M C,DHANG N,GUPTA A P.Toughness characterization of steel fiber reinforced concrete by JSCE approach[J].Cement and Concrete Research,2000,(30):593~597.

[6] 蔡正泳,足 献.数理统计在混凝土试验中的应用[M].北京:中国铁道出版社,1988.

[7] 曹 诚,孙 伟,秦鸿根.钢纤维混凝土的韧性分析及粉煤灰对钢纤维混凝土韧性影响的研究[A].程庆国.全国第七届纤维水泥与纤维混凝土学术会议论文集[C].北京:中国铁道出版社,1998.148~155.

Influence of Steel Fiber Volume Fraction and Cementitious Matrix Strength on Flexural Toughness in SFRC

LI Li,QIN Hong-gen

(Department of Materials Science & Engineering,Southeast University,Nanjing 210096,China)

Abstract: The paper adopts the experiments of combinations of two cement matrix strengths and five volume fractions of steel fibers to test their significance levels on the ultimate flexural strength and the consumed energy under a certain deformation over the ultimate flexural strength. It shows that both steel fiber volume fraction and cement matrix strength are significant elements influencing flexural toughness of steel fiber reinforced concrete.

Key words: steel fiber reinforced concrete (SFRC); volume fraction; cement matrix strength; flexural strength; flexural toughness