

钢纤维、玄武岩纤维及聚丙烯纤维对自密实混凝土性能的影响研究

赵冬雪, 璩继立

(上海理工大学 环境与建筑学院, 上海 200093)

摘要: 在混凝土中掺加纤维材料,能够改善自密实混凝土抗拉性能差与延性差的缺点。在分别加入钢纤维、玄武岩纤维与聚丙烯纤维掺料的基础上,通过对自密实混凝土进行塌落扩展度、V型漏斗、L仪试验、抗压强度试验与劈裂试验,研究了纤维种类、纤维体积率与纤维尺寸对自密实混凝土流动性、间隙通过性、抗压强度及劈裂强度的影响。试验结果表明:纤维长度越大、掺量越大,其对自密实混凝土流动性的抵抗作用越强,其中玄武岩纤维的影响最明显,聚丙烯纤维其次,钢纤维相对较弱。除长度在6mm时,钢纤维可少量增强混凝土抗压强度,其他长度对抗压强度的影响不明显;聚丙烯纤维和玄武岩纤维均明显削弱了抗压强度,当聚丙烯纤维体积掺量为0.3%和长度为6mm时,混凝土抗压强度下降了55.8%。钢纤维对劈裂强度有明显影响:短钢纤维具有削弱作用,长钢纤维具有明显增强作用;但钢纤维的掺量对劈裂强度影响不大。此外,聚丙烯纤维和玄武岩纤维对劈裂强度的影响较弱。

关键词: 自密实混凝土; 纤维; 流动性; 抗压强度; 劈裂强度

中图分类号: TU528

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2016)05-0174-06

Study on impact of steel fiber, basalt fiber and polypropylene fiber on properties of self-compacting concrete

ZHAO Dongxue, QU Jili

(Department of Civil Engineering, University of Shanghai for Science & Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Mixing fibrous material in self-compacting concrete (SCC) can improve the shortcomings of less tensile strength and poor ductility. Based on adding steel fiber, basalt fiber and polypropylene fiber into SCC, this paper conducted slump flow test, V funnel test, L meter test, compressive strength test and split test to investigate the impact of some factors including fiber types, dosage and length on fluidity, passing quality through gaps, compressive strength and splitting strength of SCC materials. Results showed that the resistance to fluidity increases with fiber length and dosage. The influence of basalt fiber is the most obvious, then followed polypropylene fiber, the influence of steel fiber is relatively the weakest. Length of steel fiber exerts little influence on compressive strength of SCC, except for 6mm steel fiber. However, the influence of other length of steel fiber on compressive strength of SCC is not notable. Both basalt fiber and polypropylene fiber can obviously weaken compressive strength. When dosage and length of polypropylene are 0.3% and 6mm respectively The compressive strength of SCC decreases by 55.8%. Steel fiber has obvious impacts on splitting strength, while short one can reduce it and long one can greatly enhance it. however, the dosage of steel fiber has little impact on splitting strength. In addition, polypropylene fiber and basalt fiber have the weaker influence on splitting strength of SCC.

Key words: self-compacting concrete; fiber; liquidity; compressive strength; splitting strength

收稿日期:2016-04-01; 修回日期:2016-05-30

基金项目:诺华上海实验室科研经费(3A-11-307-110)

作者简介:赵冬雪(1988-),女,黑龙江绥化人,硕士,主要从事土体改良和混凝土性能等方面的研究。

通讯作者:璩继立(1964-),男,河南孟州人,博士后,副教授,硕士生导师,主要从事岩土工程、水文地质等方面的研究与教学工作。

在工程实践中,自密实混凝土依靠自身重力作用流动,实现均匀分布又不离析^[1],能有效解决普通混凝土捣实困难、生产噪音污染大等问题^[2]。然而自密实混凝土也存在浆料含量大、抗拉性能差、早期易收缩开裂、延性差等弱点^[3-5]。

为改善自密实混凝土抗拉性能差和延性差的缺点,国内外学者通过纤维加筋来提高其抗裂性、韧性和耐磨性^[6]。研究表明:纤维可以有效提高高性能混凝土的韧性和应力重分布能力,减小裂缝宽度,增大钢筋布置间距和提高施工速度^[7]。同时,纤维对混凝土的塌落度、硬化过程及硬化状态等特性也有明显影响^[8]。其主要机理为:纤维通过连接裂缝,传递应力,阻碍裂缝产生,从而改善自密实混凝土的硬化特性与硬化状态。但是,自密实混凝土存在最佳纤维加筋率,一旦超过这个纤维含量,颗粒骨架硬化,自密实混凝土不能再靠自重作用流动^[9],这将会影响其力学性能与工作效果^[10]。

目前,针对不同纤维种类、纤维尺寸和纤维加筋率情况下自密实混凝土性能的对比研究较少。因此,本文以钢纤维、聚丙烯纤维和玄武岩纤维为掺料,分别以 6, 12, 18 mm 的长度和 0.1%, 0.2%, 0.3% 的体积比加入到自密实混凝土中,通过塌落扩展度试验、V 型漏斗试验、L 仪试验、抗压强度试验和劈裂试验,研究分析纤维类型、纤维体积率以及纤维尺寸对自密实混凝土流动性、间隙通过性、抗压强度及劈裂强度的影响。

1 试验方法

1.1 试验材料

水泥:试验选用水泥为 42.5 级通用硅酸盐水泥。

粉煤灰:根据《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB/T 1596 - 2005)^[11],选用表面密度为 2.3 g/cm³ 的二级粉煤灰。

粗骨料:按照《自密实混凝土应用技术规程》(JGJ/T 283 - 2012)^[2]和《自密实混凝土设计与施工指南》(CCES 02 - 2004)^[12]规定,粗骨料直径不大于 20 mm。本试验选用花岗岩为粗骨料,其表面密度为 2.6 g/cm³,级配情况如表 1 所示。

细骨料:选用河砂为细骨料,属中粗砂,其表面密度为 2.6 g/cm³,细度等级为 2.52。

纤维:钢纤维、聚丙烯纤维和玄武岩纤维,其性能指标如表 2 所示,其性状特征如图 1 所示。减水剂:按照《自密实混凝土应用技术规程》(JGJ/T 283

- 2012)^[2]规定,本试验选用聚羧酸高性能减水剂。水:干净自来水。

表 1 粗细骨料级配

花岗岩		河砂	
粒径/mm	级配/%	粒径/mm	级配/%
<4.75		0.15 ~ 0.30	
4.75 ~ 9.50	62.65	0.30 ~ 0.60	61.78
9.50 ~ 16.00	64.28	0.60 ~ 1.25	72.10
16.00 ~ 19.00	74.00	1.25 ~ 2.36	81.17
>19.00	99.39	2.36 ~ 4.75	99.98

表 2 钢纤维、玄武岩纤维和聚丙烯纤维性能指标

纤维种类	长度/ mm	密度/ (g · cm ⁻³)	抗拉强度/ MPa	弹性模量/ GPa	直径/ μm
钢纤维	6, 12, 18	7.8	1150	210	20
玄武岩纤维	6, 12, 18	2.65	4150	93.1	13
聚丙烯纤维	6, 12, 18	0.91	>500	4.3	19



图 1 3 种纤维的性状特征

1.2 试样制备

根据《自密实混凝土应用技术规程》(JGJ/T 283 - 2012)^[2]规定,确定自密实混凝土的粗细骨料配合比,如表 3 所示。试验共分为 28 组,其中一组为对照组(纤维掺量 0)。

表 3 自密实混凝土配合比

材料	材料用量/(kg · cm ⁻³)
水泥	413
粉煤灰	140
粗骨料	725
细骨料	733
水	193
聚羧酸减水剂	11

分别在自密实混凝土中加入了长度为 6, 12 和 18 mm 纤维材料,其掺量分别占混凝土体积的 0.1%, 0.2% 和 0.3%,具体纤维配合比如表 4 所示。

表4 钢纤维、玄武岩纤维以及聚丙烯纤维配合比

钢纤维		玄武岩纤维		聚丙烯纤维	
掺量/ 纤维长度/ %	mm	掺量/ 纤维长度/ %	mm	掺量/ 纤维长度/ %	mm
0.1	6	0.1	6	0.1	6
0.2	6	0.2	6	0.2	6
0.3	6	0.3	6	0.3	6
0.1	12	0.1	12	0.1	12
0.2	12	0.2	12	0.2	12
0.3	12	0.3	12	0.3	12
0.1	18	0.1	18	0.1	18
0.2	18	0.2	18	0.2	18
0.3	18	0.3	18	0.3	18

1.3 塌落扩展度试验

通过塌落度试验评价自密实混凝土在水平方向无障碍作用下的流动能力,以确定混凝土的塌落扩展度,装置如图2(a)所示。将新拌混凝土在无压力状态下通过标准塌落度桶,其过程与常规混凝土塌落度试验相似,不同之处在于在两个垂直方向测量混凝土的扩散直径,混凝土到达直径为500 mm的时间定义为 T_{500} 。该指标是反映自密实混凝土黏稠度和稳定性的重要指标; T_{500} 的值越小,自密实混凝土的流动性越大,和易性损失也越小;塌落扩展度越大,则自密实混凝土填充模具的能力越强。

1.4 V型漏斗试验

V型漏斗试验用于确定自密实混凝土的填充能力和黏聚力。V型漏斗仪如图2(b)所示,由一个支架和一个漏斗形容器组成。试验中,倒入混凝土前将底部封死,混凝土在10~20 s内加入,然后打开底部出口,记录混凝土垂直流出所用的时间。流出所用时间越短,表明自密实混凝土的流动性和稳定性越好。

1.5 L仪试验

在L仪试验中,通过测量自密实混凝土穿越钢筋网片流到水平缘的时间、混凝土在钢筋网两侧存在的高度差以及粗骨料在钢筋网后面的堆积程度,评价混凝土的穿越能力与流动性。试验选用ZMS-L自密实混凝土L型流动仪,如图2(c)所示。试验中选用通过钢丝网的混凝土高度与未通过钢丝网的混凝土高度的比值为主要指标,该指标与自密实混凝土的流动性成正比。

1.6 抗压试验和劈裂试验

分别浇筑不同纤维种类、纤维体积率以及纤维

长度状况下尺寸为100 mm×100 mm×100 mm的立方体试块,室温养护24 h固化后脱模,置于饱和石灰水中。混凝土养护28 d后,根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010-2010)^[13]要求,进行混凝土抗压强度试验和劈裂试验。

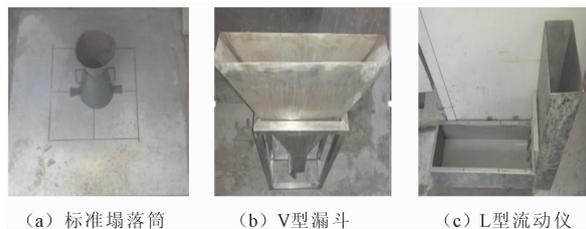


图2 试验设备

2 纤维种类、含量及长度的影响分析

2.1 对塌落扩展度的影响

图3所示钢纤维、聚丙烯纤维和玄武岩纤维长度为6,12与18 mm,对应体积掺量为0.1%,0.2%与0.3%时,自密实混凝土的塌落扩展度。根据图3显示:对于不同纤维类型下的自密实混凝土,当纤维掺量相同时,纤维长度与混凝土塌落扩展度的线形大致呈直线状;当纤维长度为18 mm时,塌落扩展度均取得最小值。同时,可以看出,对于掺入了不同纤维种类的自密实混凝土,其塌落扩展度数值与纤维掺量均成反比。

由图3可知:随着纤维长度的增加,各塌落扩展度相对于素混凝土塌落扩展度均有所下降。当掺量相同时,钢纤维混凝土塌落扩展度值最高,其次为聚丙烯纤维混凝土的塌落扩展度值,玄武岩纤维混凝土的塌落扩展度值最低。根据国内外研究资料,自密实混凝土的塌落扩展度直径不应低于550 mm^[14]。因此此时钢纤维均能满足对塌落扩展度的要求;聚丙烯纤维和玄武岩纤维掺量为0.2%且纤维长度为18 mm,掺量为0.3%且纤维长度分别为12和18 mm时,不能满足对塌落扩展度的要求,其余情况均能满足要求。

在满足自密实混凝土的塌落扩展度要求的前提下,钢纤维混凝土在纤维掺量为0.3%且纤维长度为18 mm时,塌落扩展度比素混凝土下降了18.5%;聚丙烯纤维混凝土在纤维掺量为0.2%且纤维长度为12 mm时,塌落扩展度比素混凝土下降了21.5%;玄武岩纤维混凝土在纤维掺量为0.3%且纤维长度6 mm时,塌落扩展度比素混凝土下降了24.1%。

通过上述分析得出:纤维种类、掺量和尺寸均会对自密实混凝土塌落扩展度产生影响,其原因可能在于纤维与混凝土之间的摩擦力和咬合力阻碍了混凝土的流动,减小了自密实混凝土的流动性。

2.2 对 T_{500} 的影响

图4所示钢纤维、聚丙烯纤维和玄武岩纤维在不同掺量、不同长度条件下,对应的自密实混凝土的

T_{500} 值。由图4可知: T_{500} 值与纤维掺量成正比,同时随着纤维长度 r 增加, T_{500} 值呈现增加趋势。聚丙烯纤维对自密实混凝土 T_{500} 值的影响比钢纤维明显,而玄武岩纤维对自密实混凝土 T_{500} 值的影响最为明显。当 T_{500} 值过大时,将影响自密实混凝土在浇筑过程中的流动性,导致浇筑构件中出现孔隙,影响浇筑面的光滑度。

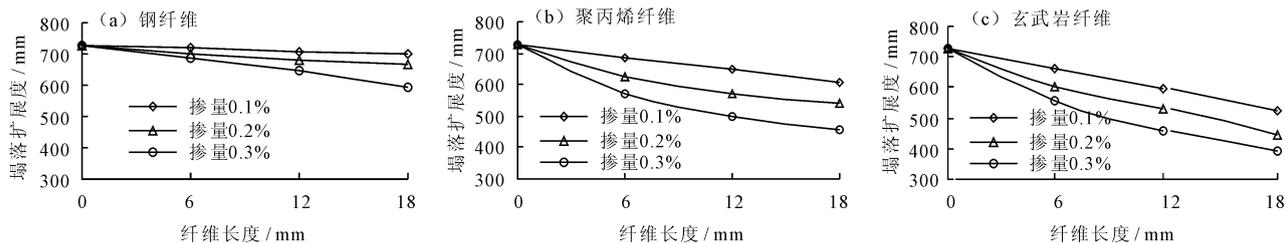


图3 纤维对自密实混凝土塌落扩展度的影响

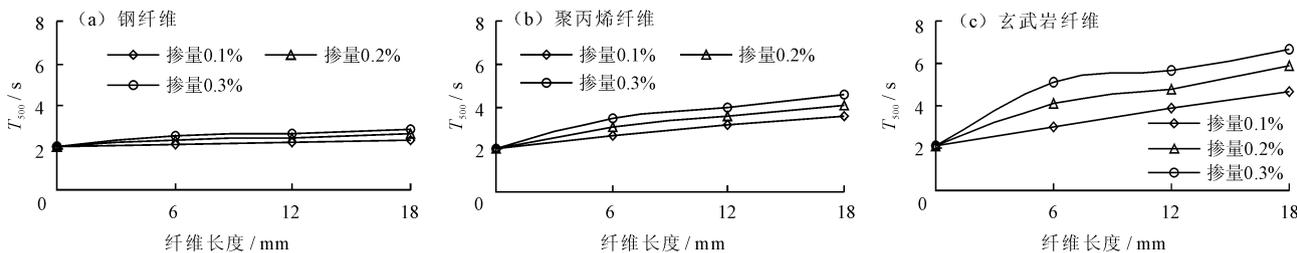


图4 纤维对自密实混凝土 T_{500} 的影响

2.3 对 V 型漏斗试验流出时间的影响

图5所示纤维种类、掺量及长度所对应的自密实混凝土 V 型漏斗试验流出时间。从图5可知:在3种不同纤维自密实混凝土中,随着纤维含量与纤维长度的增加,混凝土流出时间均会延长;玄武岩纤维对自密实混凝土 V 型漏斗试验流出时间的影响强于聚丙烯纤维和钢纤维。3种纤维在最高掺量 0.3% 和最大纤维长度 18 mm 时,对流出时间影响均最为明显,此时玄武岩纤维、聚丙烯纤维和钢纤维分别将流出时间延长了 323.3% ,218.8% 和 88.9% 。

此外,不同纤维种类、掺量和长度对自密实混凝土的流动性和黏稠度影响程度也大不相同。在相同的掺入量和纤维长度条件下,钢纤维对自密实混凝土流动性的阻碍作用明显小于其它两种纤维。

2.4 对 L 仪试验结果的影响

图6所示钢纤维、聚丙烯纤维和玄武岩纤维分别在掺量为 0.1% ,0.2% 和 0.3% 和纤维长度为 6, 12 和 18 mm 时,对自密实混凝土 L 仪试验中钢丝网两侧的混凝土高度之比的影响。结果表明:自密实混凝土通过钢丝网的比率随着纤维掺量的增加而减小,同时两侧混凝土的高度的比值随纤维长度的增加而减小。玄武岩纤维对自密实混凝土的通过率的阻碍作用最为明显,阻碍作用最大可达到 28.1% ,其次为聚丙烯纤维阻碍作用可达到 13.5% ,钢纤维的阻碍作用最弱,最大为 7.9% 。上述分析说明:钢纤维对自密实混凝土流动性的阻碍作用较其余两种纤维弱,这与塌落扩展度试验、 T_{500} 以及 V 型漏斗试验结果相一致。

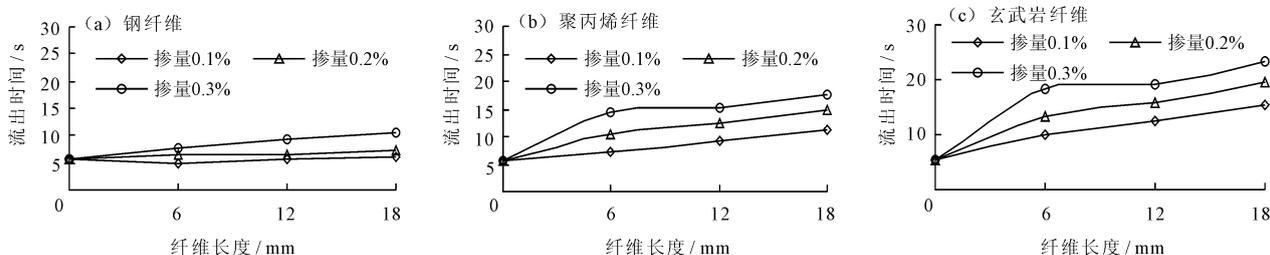


图5 纤维对自密实混凝土 V 型漏斗试验流出时间的影响

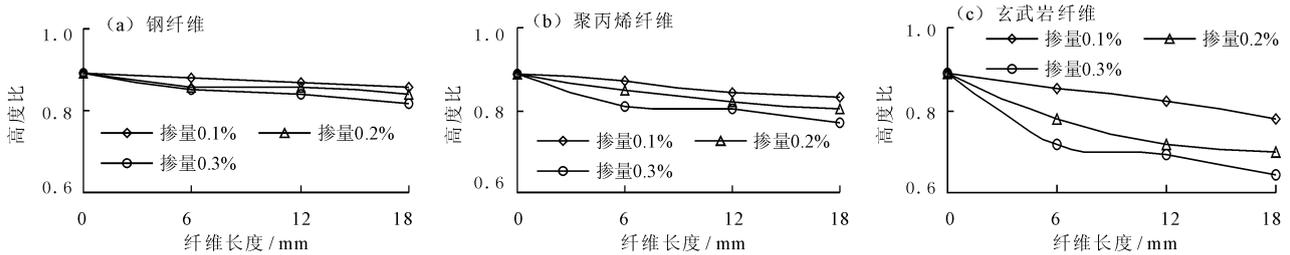


图6 纤维长度对自密实混凝土L型钢筋网两侧的混凝土高度之比的影响

2.5 对混凝土抗压强度的影响

图7显示了纤维种类、掺量以及尺寸对自密实混凝土抗压强度的影响。由图可知:钢纤维在长度为6 mm时,可以将自密实混凝土的抗压强度提高7.7%;当钢纤维长度为12与18 mm时,钢纤维在一定程度上降低了自密实混凝土的抗压强度。玄武岩纤维仅在纤维掺量为0.1%且纤维长度为6 mm时,少许提高了混凝土抗压强度,其他试验组的玄武岩纤维均削弱了自密实混凝土的抗压强度。聚丙烯纤维对自密实混凝土的抗压强度削弱作用最为显著,抗压强度最大减少量达到55.8%。

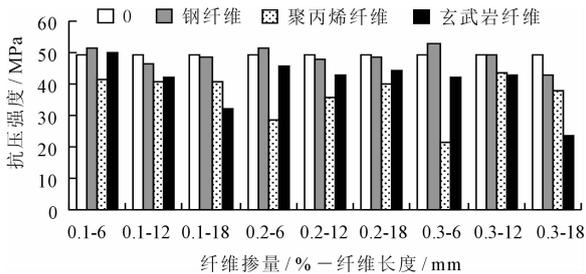


图7 纤维对自密实混凝土抗压强度的影响

2.6 对混凝土劈裂强度的影响

图8显示了钢纤维、聚丙烯纤维和玄武岩纤维对自密实混凝土劈裂强度的影响。试验结果表明:钢纤维在长度为6 mm时,降低了自密实混凝土劈裂强度;在长度为12和18 mm时,均可提高混凝土劈裂强度。当钢纤维掺量为0.1%且长度为18 mm时,劈裂强度提高了16.3%,此时钢纤维自密实混凝土劈裂强度达到峰值。玄武岩纤维在长度6 mm时,对混凝土的劈裂强度有削弱作用;在纤维长度大于12 mm且掺量高于0.1%时,对自密实混凝土的劈裂强度有增强作用,特别地,当玄武岩纤维长度18 mm时,对混凝土劈裂强度影响最为显著。

当聚丙烯纤维的长度6 mm时,劈裂强度随纤维掺量增加呈现先增加后减小的规律;当聚丙烯纤维的长度为12和18 mm,掺量分别为0.1%和0.2%时,自密实混凝土的劈裂强度有明显提高;当纤维掺

量为0.3%时,聚丙烯纤维对劈裂强度的影响并不明显。因此得出,钢纤维对自密实混凝土劈裂强度的影响强于玄武岩纤维和聚丙烯纤维。

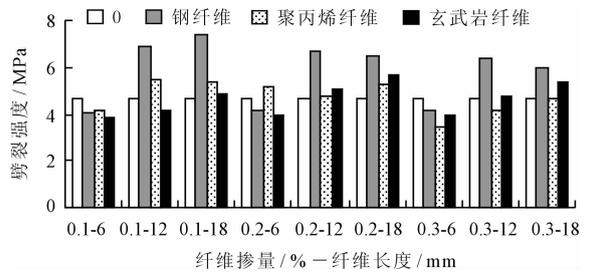


图8 纤维对自密实混凝土劈裂强度的影响

3 结论

本文综合研究了钢纤维、聚丙烯纤维和玄武岩纤维在不同掺入量与长度时,自密实混凝土流动性、间隙通过性、抗压强度及劈裂强度的变化情况。通过分析,可以得到以下主要结论:

(1)自密实混凝土的塌落扩展度与钢纤维、聚丙烯纤维和玄武岩纤维的掺量和长度成反比。在相同纤维掺量和长度条件下,玄武岩纤维对自密实混凝土流动性的阻碍作用最强,钢纤维的影响最弱。

(2)在自密实混凝土中掺入纤维,均在不同程度上增大其 T_{500} 值,同时纤维掺量及其长度均与 T_{500} 值成正比。在相同纤维掺量和长度条件下,玄武岩纤维对 T_{500} 值有明显影响,而聚丙烯纤维与钢纤维对其影响较弱。

(3)自密实混凝土的V型漏斗试验流出时间在加入3种纤维后均得以不同程度地延长。3种纤维均在最大掺量0.3%且最大长度18 mm时,对流出时间具有最大影响,此时,玄武岩纤维、聚丙烯纤维和钢纤维分别将流出时间延长了323.3%,218.8%和88.9%。在相同纤维掺入量与相同长度条件下,钢纤维对自密实混凝土流动性的阻碍作用明显低于其它两种纤维。

(4)随着纤维掺量和长度的增加,自密实混凝土

土通过钢丝网的比率均有所减小。玄武岩纤维对自密实混凝土通过率的阻碍作用最明显为28.1%,其次为聚丙烯纤维13.5%,钢纤维最弱为7.9%。

(5)除纤维长度为6 mm时,钢纤维对自密实混凝土的抗压强度有增强作用外,其余试验组均对自密实混凝土的抗压强度有削弱作用。玄武岩纤维在掺量为0.1%且长度为6 mm时,可少许提高混凝土抗压强度,其他掺量和长度对自密实混凝土的抗压强度有削弱作用;聚丙烯纤维对自密实混凝土的抗压强度有明显削弱作用,最大削弱量达到55.8%。

(6)钢纤维对自密实混凝土劈裂强度有较大影响,而聚丙烯纤维和玄武岩纤维的影响较小。短钢纤维降低了自密实混凝土劈裂强度,长钢纤维增强了混凝土的劈裂强度;同时,钢纤维的掺量对自密实混凝土的劈裂强度影响并不明显。

由于上述试验结果是在室内条件下得到的,并未进行工程实践,因此本文对提高自密实混凝土性能研究有一定的参考作用。

参考文献:

- [1] 廉慧珍,路新瀛. 按耐久性设计高性能混凝土的原则和方法[J]. 建筑技术, 2001,32(1):8-11.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ/T 283-2012 自密实混凝土应用技术规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2012.
- [3] 杨润年,尹久仁,肖华明,等. 混杂尺寸钢纤维混凝土试验研究[J]. 新型建筑材料, 2006(6):27-29.

- [4] 丁一宁,董香军,王岳华. 混杂纤维自密实混凝土的强度和抗弯韧性[J]. 建筑材料学报, 2005,8(3):294-298.
- [5] Hossain K M A, Lachemi M, Sammour M, et al. Influence of polyvinyl alcohol, steel and hybrid fibers on fresh and rheological properties of self-consolidating concrete[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2012, 24(9): 1211-1220.
- [6] 曹旗,程银亮,王晓峰. 纤维自密实混凝土综述[J]. 混凝土, 2016,1:123-126.
- [7] Bentur A, Mindess S. Fibre reinforced cementitious composites[M]. CRC Press, 2006.
- [8] Ferrara L, Park Y D, Shah S P. A method for mix-design of fiber-reinforced self-compacting concrete[J]. Cement and Concrete Research, 2007,37(6):957-971.
- [9] Okamura H, Ozawa K, Ouchi M. Self-compacting concrete[J]. Structural Concrete, 2000,1(1):3-17.
- [10] 马昕,尚百雨. 免振捣自密实混凝土研究与应用[J]. 混凝土, 2006(4):58-60.
- [11] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 1596-2005 用于水泥和混凝土中的粉煤灰[S]. 北京:中国标准出版社,2005.
- [12] 中国土木工程协会标准. CCES 02-2004 自密实混凝土设计与施工指南[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2005.
- [13] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50010-2010 混凝土结构设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [14] 刘数华,王晓燕. 自密实混凝土综述[J]. 建筑技术开发, 2004,31(7):118-120.