doi:10.16018/j.cnki.cn32-1650/n.201503016

钢纤维增强自密实橡胶混凝土力学性能研究

蔡树元,封　婷,陈　舒,陈张涛,曹　朋,黄薪维
(盐城工学院 材料工程学院,江苏 盐城　224051)

摘要:采用正交试验设计的方法,研究了钢纤维掺量、橡胶粉掺量、水胶比和砂率对钢纤维自密实橡胶混凝土力学性能的影响。研究结果表明,钢纤维自密实橡胶混凝土表观密度随着钢纤维掺量的增加而逐渐增加,随着橡胶粉掺量、水胶比与砂率的增加而逐渐减小;抗压强度随着钢纤维掺量、橡胶粉掺量、水胶比与砂率的增加有逐渐减小的趋势;劈裂抗拉强度随着钢纤维掺量的增加而增加,随着橡胶粉掺量增加而减小;拉压比随着钢纤维、橡胶粉掺量的增加逐渐增加,但随着水胶比与砂率的增加,出现了波动。最终得出:钢纤维自密实橡胶混凝土的韧性优于基准自密实混凝土。

关键词:钢纤维;橡胶粉;自密实混凝土;正交试验;力学性能;韧性
中图分类号:X705　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1671-5322(2015)03-0068-07

自密实混凝土(SCC)是一种新型的高性能混凝土,其拌合物具有很高的流动性,无需振捣,拌合物能依靠自重流动充满模具并达到密实,浇筑时不泌水、不离析,有良好的均匀性和稳定性,硬化后的混凝土具有良好的力学性能与耐久性能。因此,自密实混凝土极大地方便了施工,改善了施工环境,加快了施工进度,提高了劳动生产率,降低了工程费用,并提高了混凝土的质量[1-4]。然而,混凝土是一种脆性材料,自密实混凝土也不例外,其抗拉、防冲击、防裂性能差,破坏无先兆;且自密实混凝土为满足自密实要求,浆体用量较大,导致其硬化收缩也大[5-6]。

钢纤维混凝土不仅具有高的抗拉强度、抗折强度和韧性,而且抗裂性能、抗收缩性能良好,极限拉应变大[7-10]。

将废旧橡胶处理成粒状或粉状后掺入到混凝土中,不但能增加混凝土的韧性,改善其抗冲击和抗震性能,同时又能解决大量废旧橡胶的回收利用问题。因此,橡胶混凝土的研究和应用正成为热点[11-13]。

结合钢纤维混凝土、橡胶混凝土的特点,有许多研究者分别对钢纤维自密实混凝土[6,14]、橡胶自密实混凝土[15-18]以及钢纤维橡胶混凝土[19-21]进行了研究。然而,将钢纤维、橡胶同时加入自密实混凝土却鲜有报道。本课题采用正交试验的方法,就钢纤维掺量、橡胶粉掺量、水胶比和砂率 4 个因素分别选取 3 个水平组成 9 组试验,在调节外加剂掺量满足自密实混凝土工作性能的基础上,研究 4 因素对钢纤维增强自密实橡胶混凝土(SCRCS)力学性能的影响。

1　原材料与试验方法

1.1　原材料

水泥,购自江苏八菱海螺水泥有限公司,P.O42.5,表观密度 2 894 kg/m^3,28 d 抗压强度 49.5 MPa、抗折强度 8.1 MPa;

集料,购自盐城市联鑫混凝土有限公司,其中大石(10~20 mm)表观密度 2 750 kg/m^3,小石(5~10 mm)表观密度 2 710 kg/m^3,砂表观密度 2 589 kg/m^3、细度模数 2.7、中砂;

粉煤灰,购自盐城发电有限公司,2 级,表观密度 2 151 kg/m^3;

矿粉,购自盐城市联鑫混凝土有限公司,S95,表观密度 2 724 kg/m^3;

收稿日期:2015-04-23
基金项目:2014 年江苏省高等学校大学生实践创新训练计划项目
作者简介:蔡树元(1963-),男,江苏盐城人,讲师,硕士,主要研究方向为材料科学与工程、固体废弃物资源化利用。

橡胶粉,购自青岛惠商橡胶有限公司,30 目,表观密度 1 065 kg/m^3;

钢纤维,购自盐城市联鑫混凝土有限公司,直径 1 mm,长度 4.84 mm,密度按 7 800 kg/m^3 计算;

聚羧酸高效减水剂,购自江苏博特新材料有限公司,型号为 PCA - 403,固含量 22.335%,减水率 30% 以上;

拌合用水,可饮用的普通自来水。以上材料均符合国家相关标准。

1.2　配合比设计

1.2.1　基准自密实混凝土配合比

基准自密实混凝土强度等级设计为 C60,其配合比以 1 m^3 计算先按 JGJ/T 283 - 2012《自密实混凝土应用技术规程》,得到计算配合比,经试配满足自密实混凝土工作性能要求,得基准自密实混凝土配合比,见表 1。由表 1 可看出,单方胶凝材料水泥、粉煤灰、矿粉总量 571 kg,粉煤灰占 20%,矿粉占 10%;水胶比取 0.31;砂率为 0.49,为保证粗集料级配合理,大石与小石比为 6∶4;外加剂掺量为 1%。

1.2.2　钢纤维增强自密实橡胶混凝土(SRCRS)配合比

钢纤维增强自密实橡胶混凝土研究采用正交试验,配合比设计考虑 4 个影响因素,每个因素取 3 个水平,见表 2。配合比正交试验见表 3。外加剂的加入量是根据工作性能达到自密实混凝土要求进行调整的。

表 1　基准自密实混凝土配合比

Table 1　Mix proportion of benchmark SCC　　kg

序号	水	水泥	粉煤灰	矿粉	砂	大石	小石	外加剂
A0	177	399	115	57	822	509	339	5.71

表 2　SRCRS 配合比设计因素水平表

Table 2　Parameters and their variation levels of mix proportions

水平	钢纤维		橡胶粉	水胶比	砂率
	外掺体积率/%	质量/kg	替代砂体积/%		
1	0.5	39	6	0.29	0.46
2	1.0	78	12	0.31	0.49
3	1.5	117	18	0.33	0.52

表 3　SRCRS 配合比正交试验表

Table 3　Orthogonal array and Details of mix proportions of SRCRS

序号	试验因素设计方案				配合比/kg								
	钢纤维/%	橡胶粉/%	水胶比	砂率	水泥	粉煤灰	矿粉	砂	大石	小石	钢纤维	橡胶粉	水
A	0.5	6	0.29	0.46	427	122	61	722	541	361	39	19	177
B	0.5	12	0.31	0.49	399	115	57	720	511	341	39	40.4	177
C	0.5	18	0.33	0.52	375	107	54	712	481	321	39	64.3	177
D	1.0	6	0.31	0.52	399	115	57	816	481	321	78	21.4	177
E	1.0	12	0.33	0.46	375	107	54	676	541	361	78	37.9	177
F	1.0	18	0.29	0.49	427	122	61	671	511	341	78	60.6	177
G	1.5	6	0.33	0.49	375	107	54	769	511	341	117	20.2	177
H	1.5	12	0.29	0.52	427	122	61	764	481	321	117	42.8	177
I	1.5	18	0.31	0.46	399	115	57	630	541	361	117	56.9	177

1.3　试验方法

(1)搅拌方法

试验拌制的混凝土为 15 L,采用手工搅拌。根据表 1 与表 3 的配合比,准确称取各原料;依次将砂、水泥、粉煤灰、矿粉、钢纤维、橡胶粉倒在事先润湿的大铁板上,用润湿过的铁铲搅拌均匀;再倒上大石与小石,干拌均匀堆成圆台;在圆台顶部作一凹槽,将已称量好并搅拌均匀的外加剂与水的液体混合物的一半倒入凹槽,仔细翻拌均匀,注意不使水流出;再加入剩余的液体混合物,继续翻拌,直至拌匀为止。整个拌和时间不超过 5 min。

(2)工作性能测定

钢纤维增强自密实橡胶混凝土的工作性能用坍落扩展度、扩展时间 T_{500} 与 J 环扩展度表示,测定依据 JGJ/T283 - 2012。

(3)试件成型

工作性能测定与调整符合要求后,依据 JGJ/T283 – 2012,将混凝土拌合物分 2 次装入 100 mm ×100 mm ×100 mm 的试模。每次料层厚度基本相同,不振动或插捣;拌合物应高出模口;刮去多余混凝土,待基本收浆后,用抹刀抹平;在(20 ± 5) ℃的房间里放置 24 h 后从加水算起脱模编号;再在(20 ± 1) ℃、>95% RH 的养护箱养护 27 d。

(4)力学性能测定

钢纤维增强自密实橡胶混凝土的力学性能用抗压强度、劈裂抗拉强度与拉压比表示。抗压强度、劈裂抗拉强度测定依据GB/T50081 – 2002进行,拉压比是所测定的劈裂抗拉强度与抗压强度的比值。

2 试验结果与分析

2.1 基准自密实混凝土性能

2.1.1 基准自密实混凝土工作性能

依据表 1 配合比制作的基准自密实混凝土拌合物坍落扩展度为 810 mm、扩展时间 T_{500} 为 6.9 s、J 环扩展度为 765 mm,坍落扩展度与 J 环扩展度差值为 45。根据 JGJ/T283 – 2012 表 4、表 1 和 2,基准自密实混凝土的填充性符合 SF3 与 VS1、间隙通过率符合 PA1。

2.1.2 基准自密实混凝土力学性能

依据表 1 配合比制作的基准自密实混凝土硬化后表观密度为 2 453 kg/m^3,28 d 抗压强度 67.6 MPa、劈裂抗拉强度 5.50 MPa,拉压比为 0.08。

2.2 正交试验结果与分析

2.2.1 正交试验结果

钢纤维增强自密实橡胶混凝土试件(以下简称试件)28 d 表观密度与力学性能正交试验结果见表 4。

由表 4 可得试件 28 d 表观密度与力学性能,正交试验的直观分析结果见表 5、表 6。

表 4 试件 28 d 表观密度与力学性能正交试验结果

Table 4 The specimens´ Results after 28 days of orthogonal experiment

序号	试验因素设计				密度/(kg · m^{-3})	力学性能		拉压比
	钢纤维/%	橡胶粉/%	水胶比	砂率		抗压强度/MPa	劈裂抗拉强度/MPa	
A	0.5	6	0.29	0.46	2 491	67.9	5.36	0.08
B	0.5	12	0.31	0.49	2 426	59.7	4.71	0.08
C	0.5	18	0.33	0.52	2 287	37.0	4.69	0.13
D	1.0	6	0.31	0.52	2 464	60.8	5.03	0.08
E	1.0	12	0.33	0.46	2 427	53.0	5.89	0.11
F	1.0	18	0.29	0.49	2 416	48.8	6.39	0.13
G	1.5	6	0.33	0.49	2 467	56.7	8.15	0.14
H	1.5	12	0.29	0.52	2 438	50.2	5.46	0.11
I	1.5	18	0.31	0.46	2 427	45.0	4.84	0.11

表 5 试件 28 d 表观密度与抗压强度直观分析

Table 5 Intuitive analysis I of experimental results at 28 day

水平号	密度/(kg · m^{-3})				抗压强度/MPa			
	钢纤维	橡胶粉	水胶比	砂率	钢纤维	橡胶粉	水胶比	砂率
k1	2 401	2 474	2 449	2 448	54.9	61.8	55.6	55.3
k2	2 436	2 431	2 439	2 436	54.2	54.3	55.2	55.1
k3	2 444	2 376	2 393	2 396	50.6	50.6	48.9	49.3
极差 *R*	43	98	56	52	4.3	11.2	6.7	6.0

表 6 试件 28 d 劈裂抗拉强度与拉压比直观分析

Table 6 Intuitive analysis II of experimental results at 28 day

水平号	劈裂抗拉强度/MPa				拉压比			
	钢纤维	橡胶粉	水胶比	砂率	钢纤维	橡胶粉	水胶比	砂率
k1	4.92	6.18	5.74	5.36	0.09	0.10	0.11	0.10
k2	5.77	5.35	4.86	6.42	0.11	0.10	0.09	0.12
k3	6.15	5.31	6.24	5.06	0.12	0.12	0.13	0.11
极差 *R*	1.23	0.87	1.38	1.36	0.03	0.02	0.04	0.02

2.2.2　各因素对 28 d 表观密度的影响

由表 5 可见,从 k1、k2 至 k3,随着钢纤维掺量的增加,试件 28 d 的表观密度逐渐增加;随着橡胶粉掺量、水胶比与砂率的增加,试件 28 d 的表观密度逐渐减小。从表 5 极差 R 可以看出,各因素影响程度依次为:橡胶粉掺量 > 水胶比 > 砂率 > 钢纤维掺量,其中尤以橡胶粉掺量的影响最为显著,极差约为水胶比与砂率的 2 倍,水胶比、砂率与钢纤维掺量的影响则较为接近。

2.2.3　各因素对 28 d 抗压强度的影响

由表 5 可见,从 k1、k2 至 k3,随着钢纤维掺量、橡胶粉掺量、水胶比与砂率的增加,试件 28 d 的抗压强度均表现出逐渐减小的趋势。

从表 5 中极差 R 可以看出,各因素影响程度依次为:橡胶粉掺量 > 水胶比 > 砂率 > 钢纤维掺量,其中也是以橡胶粉掺量的影响最为显著。从表 5 与图 4 还可以看出,从 k1 到 k3 随着钢纤维掺量、水胶比与砂率的增加,对应于 k1、k2 抗压强度的值,减小是很小的,而由 k2 到 k3,降低较大。与基准自密实混凝土相比,各个平均值均小于基准自密实混凝土 28 d 的抗压强度 67.6 MPa。

2.2.4　各因素对 28d 劈裂抗拉强度的影响

由表 6 可见,从 k1、k2 至 k3,随着钢纤维掺量的增加,试件 28 d 的劈裂抗拉强度增加,由 4.92 MPa 增加到 6.15 MPa,增加了 1.23 MPa;随着橡胶粉掺量的增加,试件 28 d 的劈裂抗拉强度则逐渐下降,下降了 0.87 MPa;随着水胶比与砂率的增加,试件 28 d 的劈裂抗拉强度均出现了波动。从表 6 极差 R 可以看出,各因素影响程度依次为:水胶比 > 砂率 > 钢纤维掺量 > 橡胶粉掺量,其中也是以水胶比、砂率的影响较为显著。

2.2.5　各因素对 28 d 拉压比的影响

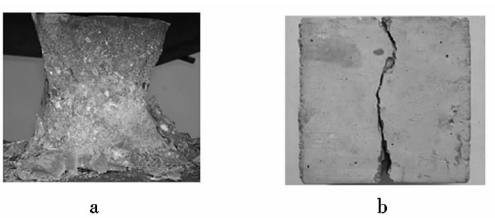
拉压比的大小可以反映混凝土的延性和抗变形能力。由表 6 可见,从 k1、k2 至 k3,随着钢纤维掺量的增加,试件 28 d 的拉压比增加,由 0.09 增加到 0.12,增加了 33%;橡胶粉掺量的增加,试件 28 d 的拉压比也逐渐增加,由 0.10 增加到 0.12,增加了 20%;但随着水胶比与砂率的增加,试件 28 d 的拉压比均出现了波动,前者波动近 40%、后者也达 20%。从表 6 中极差 R 可以看出,各因素影响程度依次为:水胶比 > 钢纤维掺量 > 砂率 = 胶粉掺量。与基准自密实混凝土相比,各个平均值均大于基准自密实混凝土 28 d 的拉压比 0.08,由此说明,由于钢纤维、橡胶粉掺入到自密实混凝土中,其脆性减小,韧性变大,大大提高了试件的抗裂、抗冲击的能力。

从 28 d 拉压比来看,试验范围较好的方案是钢纤维掺量为 1.5%、橡胶粉掺量为 18%、水胶比为 0.33、砂率为 49%。

2.3　试件被破坏的外观形态

2.3.1　受压破坏

在抗压强度试验过程中,当基准自密实混凝土试件受压达到极限时迅速出现裂纹,只听嘭一声试件很快碎裂;受压破坏之后基准自密实混凝土试件残体呈双锥型,周围留下许多混凝土碎片,属典型的脆性破坏,见图 1a。而钢纤维增强自密实橡胶混凝土试件受压到一定程度时,沿受压方向开始出现竖向裂纹,随后裂纹逐渐扩展,且竖向裂纹逐渐增多;达到极限破坏时,试件仍呈现原始形状,断裂声沉闷,表现出明显的韧性特征,见图 2。



a　　b

图 1　基准 SCC 受力破坏外观

Fig. 1　The appearance of benchmark SCC specimens destroyed

2.3.2　劈裂抗拉破坏

在劈裂抗拉强度试验过程中,当基准自密实混凝土试件受劈裂抗拉作用达到极限时,沿着受压方向出现裂纹;裂纹沿竖直方向发展,只听嘭一声试件迅速碎裂,变成几乎相同的两片,也表现出典型的脆性破坏,见图 1b。而钢纤维增强自密实橡胶混凝土试件受劈裂抗拉作用到一定程度时,沿受压方向开始出现竖向裂纹,随后裂纹逐渐扩展,宽度逐渐增大;达到极限破坏时,试件沿竖向只出现一条裂纹,断裂声沉闷,也表现出明显的韧性特征,见图 3。从图 3 可以看出编号 C、E、I 试件的施力面上有比较深的垫条留下的压痕,而编号 C、E、I 是橡胶粉掺量最多的试件,说明橡胶粉的加入使试件的韧性特征更为明显。

2.4　机理分析

2.4.1　表观密度

橡胶粉表观密度为 1 065 kg/m^3,钢的表观密

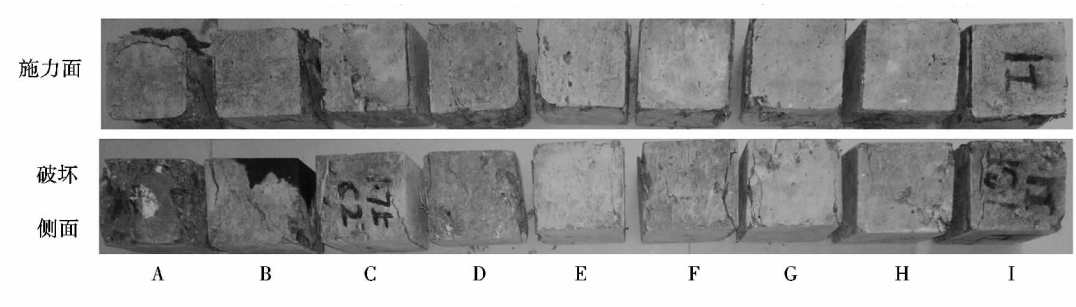


图 2 正交试验试件受压破坏外观

Fig. 2 The appearance of orthogonal experimental specimens destroyed after compression

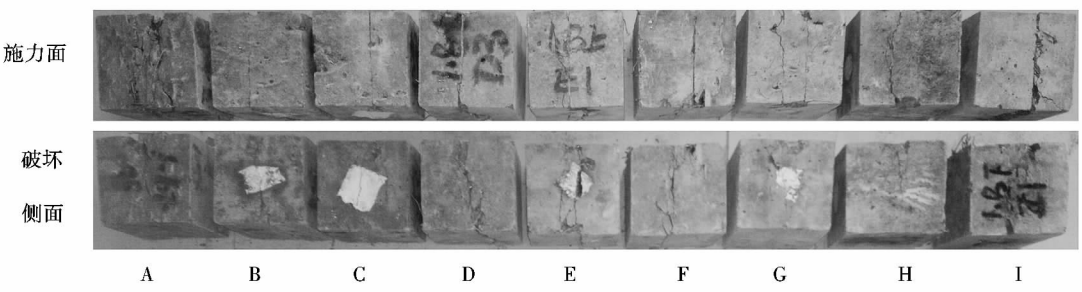


图 3 正交试验试件劈裂抗拉破坏形态

Fig. 3 The appearance of orthogonal experimental specimens destroyed after split – tension

度为 7 800 kg/m^3,砂的表观密度为 2 589 kg/m^3,当橡胶粉等体积代替砂掺入混凝土中,表现出随着橡胶粉掺量增多,单位体积混凝土质量减小,试件的表观密度减小;而钢纤维以体积率 0.5%、1.0%与 1.5%加入混凝土中,表现出随着钢纤维掺量增多,单位体积混凝土质量增加,试件的表观密度增加。

2.4.2 抗压强度

首先橡胶粉自身承受抗压的能力要比普通水泥混凝土差得多,当橡胶粉掺入混凝土中,橡胶粉界面处就会成为薄弱点,当受到外力作用后,橡胶粉处产生应力集中,整体承载能力下降;其次,橡胶粉本身是一种有机高分子材料,对水泥混凝土材料来说,是一种惰性材料,两者不发生化学反应,界面粘结力有所下降,当受到压力作用时易达到抗压极限值;再次,橡胶粉作为一种弹性体,本身变形能力强,当受到外力作用时会发生较大的变形,而水泥混凝土变形能力相对较小,当橡胶粉部位受到压力作用发生较大变形时,可能会使粘结的水泥混凝土由于较大变形而出现裂缝;最后,同等掺量下,当粒径较小时改性水泥混凝土薄弱面会相对增加,表现出随着橡胶粉掺量增多,试件的抗压强度减小。

对于钢纤维来说,钢纤维本身的抗压强度很高,所以改性混凝土的抗压强度主要取决于混凝土与橡胶粉形成的强度。由于钢纤维断面呈圆形,与混凝土浆体的握裹力较差;加之随着钢纤维的增多,钢纤维与浆体、骨料之间可能形成架空,反而不利于抗压强度的发挥。因此试件的抗压强度随着钢纤维掺量的增大而下降,钢纤维掺得越多,其抗压强度下降幅度越大。

2.4.3 劈裂抗拉强度

橡胶粉是一种高分子材料,与水泥浆体粘结较弱,界面粘结强度较低。橡胶粉可以看作分布在砂浆或混凝土内的微小弹簧体,破坏来源于橡胶微粒周边的水泥基材料产生应力集中而受拉开裂;而橡胶微粒本身又有很好的抗拉特性,同时亦分布众多短纤维,阻碍了裂缝的进一步发展。当水泥混凝土试件内部所受拉力达到一定数值时,试件出现裂缝并随着荷载的增加向橡胶微粒方向发展,当裂纹到达胶粒与水泥浆体接触面时,裂纹被微小弹簧体钝化,能量在胶粒体内积蓄,应力集中消失。由于橡胶微粒弹性模量小,变形能力强。在积蓄能量过程中它能承受很大的应变,从而变脆性破坏为延性破坏,延长了试件破坏的时间。当试件达到极限荷载并积蓄静压时,裂纹将沿胶粒表面扩展,继而和其他裂纹相接,致使内部裂纹贯通,试件破坏。因而造成橡胶粉掺量增多,试件

的劈裂抗拉强度减小。

钢纤维的抗拉能力很强,当钢纤维掺入混凝土中,与混凝土形成桥接作用,在承受拉力时各个钢纤维发挥桥接作用,钢纤维越多,发挥的作用越大,从而导致试件的劈裂抗拉强度随着钢纤维掺量的增大而增大。

2.4.4　拉压比

橡胶粉本身是弹性材料,其抗拉能力优于胶凝材料浆体的抗折能力,当破坏的裂纹扩展至胶粒时受一定程度的阻碍,混凝土的韧性提高,表现为混凝土的变形能力增加,而且随着橡胶粉掺量的增大试件的拉压比提升;各个钢纤维的桥接作用又使得混凝土中的抗拉能力强于抗压能力,表现为随着钢纤维掺量增多,试件的拉压比增大。

3　结论

(1)钢纤维自密实橡胶混凝土表观密度随着钢纤维掺量的增加而逐渐增加,随着橡胶粉掺量、水胶比与砂率的增加而逐渐减小;各因素对试件密度的影响程度依次为:橡胶粉掺量 > 水胶比 > 砂率 > 钢纤维掺量,橡胶粉掺量的影响最为显著。

(2)钢纤维自密实橡胶混凝土抗压强度随着钢纤维掺量、橡胶粉掺量、水胶比与砂率的增加表现出逐渐减小的趋势。各因素对试件抗压强度的影响程度依次为:橡胶粉掺量 > 水胶比 > 砂率 > 钢纤维掺量,以橡胶粉掺量的影响最为显著。

(3)钢纤维自密实橡胶混凝土劈裂抗拉强度随着钢纤维掺量的增加而增加,随着橡胶粉掺量增加而减小。各因素对试件劈裂抗拉强度的影响程度依次为:水胶比 > 砂率 > 钢纤维掺量 > 胶粉掺量。

(4)钢纤维自密实橡胶混凝土拉压比随着钢纤维、橡胶粉掺量的增加逐渐增加;但随着水胶比与砂率的增加,出现了波动。各因素对试件的拉压比影响程度依次为:水胶比 > 钢纤维掺量 > 砂率 = 胶粉掺量。

(5)从拉压比看,钢纤维自密实橡胶混凝土的韧性优于基准自密实混凝土。

参考文献:

[1] 龙广成,谢友均. 自密实混凝土[M]. 北京:科学出版社,2013.

[2] 赵筠. 自密实混凝土的研究和应用[J]. 混凝土,2003(6):9 - 17.

[3] 王立保,郭栋,杨静. 浅谈自密实混凝土配合比计算方法[J]. 山西建筑,2010,36(24):182 - 183.

[4] Beycio ğl A, Aruntş H Y. Workability and mechanical properties of self - compacting concretes containing LLFA, GBFS and MC[J]. Construction and Building Materials, 2014,73:626 - 635.

[5] 何小兵,卓仪. 聚丙烯纤维自密实混凝土工作性及强度性能研究[J]. 重庆交通大学:自然科学版,2012,31(6):1 137 - 1 140.

[6] 李树慧,蔡怀森. 钢纤维对自密实混凝土力学性能的影响研究[J]. 中国水运,2010,10(2):191 - 192.

[7] 韩峰,赵顺波,曲福来. 钢纤维混凝土抗拉性能试验研究[J]. 土木工程学报,2006,39(11):63 - 67.

[8] 杨久俊,刘俊霞,韩静宜,等. 大流动度超高强钢纤维混凝土力学性能研究[J]. 建筑材料学报,2010,13(1):1 - 6.

[9] Ruano G, Isla F, Pedraza R I, etc. Shear retrofitting of reinforced concrete beams with steel fiber reinforced concrete[J]. Construction and Building Materials, 2014, 54(11):646 - 658.

[10] 王冲,林鸿斌,杨长辉,等. 钢纤维自密实高强混凝土的制备技术[J]. 土木建筑与环境工程,2013,35(2):129 - 134.

[11] 蒋连接,杜彬,佟彤. 废橡胶粉在混凝土中的资源化利用[J]. 混凝土,2014(6):108 - 111.

[12] 王贤. 橡胶粉改性混凝土的性能研究[D]. 大连:大连交通大学,2014.

[13] 赵艳艳,贺东青,王一鸣. 橡胶混凝土的基本力学性能[J]. 河南大学学报:自然科学版:2015,45(1):117 - 121.

[14] Ferrara L, Bamonte P, Caverzan A, etc. A comprehensive methodology to test the performance of Steel Fiber Reinforced Self - Compacting Concrete (SFR - SCC)[J]. Construction and Building Materials, 2012,37:406 - 424.

[15] 李哲. 橡胶集料自密实混凝土研究[D]. 长沙:中南大学,2012.

[16] 马昆林,龙广成,谢友均,等. 橡胶颗粒对自密实混凝土性能的影响[J]. 硅酸盐学报, 2014,42(8):966 - 973.

[17] 钱智铭. 橡胶集料自密实混凝土耐久性能研究[D]. 长沙:中南大学,2013.

[18] 罗素蓉,陈伟妹,王雪芳. 橡胶自密实混凝土断裂性能试验研究[J]. 水利学报,2015,46(2):217 - 222.

[19] 唐德胜,陈爱玖,张舒昊,等. 正交法分析钢纤维橡胶再生混凝土的劈拉、抗折强度[J]. 混凝土,2014(3):4 - 6,10.

[20] 陈爱玖,岳媛媛,张舒昊,等. 正交法分析钢纤维再生橡胶混凝土的抗压强度[J]. 混凝土,2014(4):53 - 55.

[21] Xie J H, Guo Y C, Liu L S, et al. Compressive and flexural behaviours of a new steel – fiber reinforced recycled aggregate concrete with crumb rubber[J]. Construction and Building Materials, 2015,79:263 – 272.

Research on Mechanical Properties of Self – compacting Rubberized Concrete Reinforced with Steel – fiber

CAI Shuyuan, FENG Ting, CHENG Shu, CHENG Zhangtao, CAO Peng, HUANG Xinwei
(School of Materials Engineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng Jiangsu 224051, China)

Abstract: The influence of the dosage of steel fiber, the content of rubber powder, the water – binder ratio and the sand ratio on mechanical properties of Self – compacting Rubberized Concrete Reinforced with Steel – fiber (SRCRS) were researched by means of orthogonal experiment. The research results showed that density of SRCRS increased with the increase of added dosage of steel – fiber and the decrease of rubber added content, the water – binder ratio and the sand ratio; The compressive strength of SRCRS decreased with the increase of added dosage of steel – fiber, rubber added content, the water – binder ratio and the sand ratio; The splitting tensile strength increased with the increase of steel fiber content, and the decrease of rubber powder content; The ratio of tension to compression increased tremendously with the increase of steel fiber, rubber powder content. But with the increase of water – binder ratio and sand ratio, there was a wave of volatility. A conclusion can be drawn that the toughness of SRCRS is much better than that of ordinary self – compacting concrete in the end.

Keywords: Steel – fiber; rubber powder; Self – compacting concrete; Orthogonal experiment; Mechanical properties; toughness

(责任编辑:张英健)

(上接第 28 页)

参考文献:

[1] 黄旭. 基于 TDC – GP2 的远距离脉冲式激光测距的研究[D]. 北京:北京交通大学,2012.
[2] 万小强. 基于 AD500 型 APD 的激光测距硬件电路的研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2012.
[3] 杨佩. 基于 TDC – GP2 的高精度脉冲激光测距系统研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2010.
[4] 朱志忠. 基于 TDC – GP2 的便携式脉冲激光测距仪研究[D]. 长春:长春理工大学,2012.
[5] 徐成涛,吴冠豪,郑睿童. 脉冲式激光测距仪计时系统设计与实现[J]. 自动化仪表,2012,33(5):73 – 76.
[6] 岱钦,耿岳,李业秋,等. 利用 TDC – GP21 的高精度激光脉冲飞行时间测量技术[J]. 红外与激光工程,2013,42(7):1 706 – 1 709.

Design of Laser Range Finder Based on TDC_GP21

JI Xiaolun, JIANG Qian, CHEN Jiangwei, ZHANG Xuye
(Guodian Nanjing Automation Haiji Technology Co., Ltd, Nanjing Jiangsu 210000, China)

Abstract: In order to improve the ranging accuracy of laser range finder, we used the time digital converter chip TDC_GP21 of ACAM, designing a high precision time interval measurement module, using data fitting algorithm to calibrate the ranging system, and the average value of multiple ranging arithmetic is used to improve the accuracy of the system. The measurement results show that the circuit is simple, the precision is high, the cost is lower, and it has the feasibility of mass production.

Keywords: laser ranging; time of flight; TDC_GP21; fitting

(责任编辑:李华云)