

DOI :10.3880/j.issn.1006-7647.2009.05.008

人工砂粉煤灰自密实混凝土的性能试验

武国王^{1,2}, 蒋林华¹, 缪昌文², 洪锦祥²

(1. 河海大学材料科学与工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 江苏省建筑科学研究院, 江苏 南京 210008)

摘要 为研究人工砂取代河沙制备自密实混凝土的可行性及掺粉煤灰的影响, 设计了 10 组配比, 并通过试验比较了 2 种自密实混凝土的性能。结果表明, 人工砂配制自密实混凝土, 不仅和易性满足要求, 且各龄期强度、抗渗性及抗氯离子渗透性能均优于同水胶比的河沙自密实混凝土。同时粉煤灰掺量不宜超过 37%。

关键词 人工砂 河沙 自密实混凝土 粉煤灰 抗渗性能 氯离子扩散系数

中图分类号 :U528.56 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2009)05-0029-03

Study of properties of self-compacting concrete with artificial sand and fly ash//WU Guo-wang^{1,2}, JIANG Lin-hua¹, MIAO Chang-wen², HONG Jin-xiang² (1. College of Materials Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Jiangsu Research Institute of Building Science, Nanjing 210008, China)

Abstract :The feasibility of replacing artificial sand with river sand in the production of self-compacting concrete (SCC) and the effect of adding the fly ash were examined in this study. Ten proportions were designed and the performance of two kinds of SCC were compared in experiments. The results indicate that artificial sand can be used in the production of SCC. It not only satisfies the workability requirements but also improves the strength in each stage, the impermeability, and the diffusion coefficient of the chloride ions of the SCC. In comparison with the use of river sand with the same water to binder ratio, all the properties of SCC are improved by artificial sand. This study also shows that the proportion of fly ash should not exceed 37% .

Key words :artificial sand ; river sand ; self-compacting concrete ; fly ash ; impermeability ; diffusion coefficient of chloride ion

随着工程建设增多,河沙已开始变得稀缺,且质量也在下降,人工砂作为河沙的替代资源,综合成本比河沙低,且能明显改善混凝土力学性能。河沙中的泥对混凝土的工作性能、体积稳定性和耐久性不利,而人工砂中的石粉与母岩的物理化学性质完全一样,大量的研究^[1-3]表明,适量石粉对人工砂混凝土工作性能和强度无不利影响,甚至还可改善混凝土性能。由于人工砂石粉含量高,颗粒表面粗糙,级配不良,因此人工砂自密实混凝土(artificial sand self-compacting concrete, ASSCC)配合比设计与普通(河沙)自密实混凝土(river sand self-compacting concrete, RSSCC)配合比设计有明显差异^[4]。目前人们对 ASSCC 研究较少,本文通过试验比较 ASSCC 和 RSSCC 的性能,并研究粉煤灰对 ASSCC 性能的影响及不同粉煤灰和石粉含量的自密实混凝土的性能,找出粉煤灰和石粉的合理掺量。

1 原材料

a. 水泥和粉煤灰。①水泥。京阳 P. II52.5 水

泥,其颗粒粒径分布如图 1 所示,主要物理性能指标如下 初凝、终凝时间分别为 110 min 和 210 min,7 d 抗压和抗折强度分别为 49.7 MPa 和 8.74 MPa,28 d 抗压和抗折强度分别为 60.1 MPa 和 9.87 MPa,细度为 2.60%,标准稠度用水量为 27.2%。②粉煤灰。石景山电厂二级灰,需水量比 91%,含水量 0.2%,细度 7.2%,烧失量 1.36%。

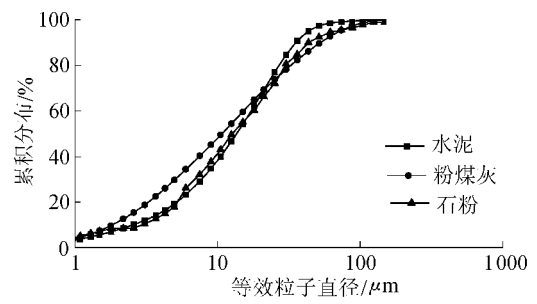


图 1 水泥、粉煤灰和石粉的粒径分布

b. 石粉。表观密度为 2 609 kg/m³, 含水率为 0.25%。其颗粒粒径分布如图 1 所示。

c. 细集料。江苏省玄武石厂生产的人工砂。

作者简介 武国王(1976—),男,越南人,博士研究生,从事混凝土新材料性能研究。E-mail :wuonghwru@yahoo.com

试验所用人工砂和河沙的主要物理性能如表 1 和表 2 所示。

表 1 河沙和人工砂的累计筛余

类别	累计筛余/%						
	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	0.6 mm	0.3 mm	0.15 mm	< 0.15 mm
河 沙	0.00	4.78	21.76	49.00	82.52	97.30	99.56
人工砂	0.00	1.80	21.15	43.55	80.65	97.95	99.50

表 2 河沙和人工砂的主要物理性能

类别	紧密堆积密度/ (kg·m ⁻³)	表观密度/ (kg·m ⁻³)	含泥量/ %	石粉质量 分数/%
河 沙	1670	2600	1.00	0
人工砂	1675	2609	0.08	12

d. 粗集料。玄武岩碎石,由 5 ~ 10 mm 和 10 ~ 20 mm 两种粒径组成,按 6:4 比例混合使用。粗集料的主要物理性能如下:压碎值 2.1%,表观密度 2710 kg/m³,松散堆积密度 1560 kg/m³,紧密堆积密度 1700 kg/m³,吸水率 0.75%,含水率 0.46%,含泥量 0.08%,针片状含量 1%。

e. 外加剂。江苏博特新材料有限公司生产的 JM-PCA-II 型聚羧酸系减水引气剂,减水率 30%。

2 配合比

按 CECS203 : 2006《自密实混凝土应用技术规程》设计配合比。水泥和粉煤灰总量 513 kg/m³,单位用水量 180 kg/m³,砂率 43%,水胶比 0.35,混凝土强度达到 45 ~ 90 MPa。通过大量优化试验,选定 ASSCC 和 RSSCC 配合比如表 3 所示。

表 3 ASSCC 和 RSSCC 配合比

编号	水泥/ (kg·m ⁻³)	粉煤灰		细骨料/ (kg·m ⁻³)	石粉质量 分数/%
		质量/ (kg·m ⁻³)	掺量/%		
A0	513	0	0	705	12
A1	375	138	27	705	12
A2	323	190	37	705	12
A3	270	243	47	705	12
A4	221	292	57	705	12
R0	513	0	0	713	0
R1	375	138	27	713	0
R2	323	190	37	713	0
R3	270	243	47	713	0
R4	221	292	57	713	0

注 :A0,A1,A2,A3,A4 为 ASSCC,R0,R1,R2,R3,R4 为 RSSCC 各配合比粗骨料均为 920 kg/m³,外加剂掺量(质量分数)均为 12% 石粉质量分数 12% 为人工砂含。

3 试验方法

3.1 拌合物性能和抗压强度

拌合物性能根据 GB/T 50080—2002《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》,参照 CECS203 : 2006《自密实混凝土应用技术规程》测试。测定混凝土拌

合物在水平面上两垂直方向的扩展值,取平均值为坍落扩展度.同时测定 U 型箱试验填充高度。抗压强度试验根据 GB/T 50081—2002《普通混凝土力学性能试验方法标准》进行。

3.2 抗渗性

渗透性试验根据 GBJ 82—85《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》进行。

3.3 氯离子渗透性

试验参照 ASTM C1202 和德国 Aachen 工业大学建筑材料研究所提出的氯离子电迁移快速试验方法进行。

4 试验结果与分析

4.1 自密实混凝土拌合物工作性能

本文拌合物性能试验采用坍落扩展度和 U 型箱试验来完成。根据工程现场需求,自密实混凝土拌合物和易性要求是:坍落扩展度 550 ~ 750 mm,V 漏头通过时间 4 ~ 25 s,U 型箱试验填充高度 300 mm 以上。试验混凝土自密实性能等级指标包括一级、二级、三级。

表 4 为坍落扩展度和 U 型箱试验中的指标范围。可以看出 掺入粉煤灰能提高 RSSCC 和 ASSCC 的工作性能,其中,RSSCC 提高更多,这是因为人工砂颗粒表面粗糙和棱角多。U 型箱填充高度仅 A4 不满足要求,而坍落扩展度均满足要求。粉煤灰掺量为 47% 时 ASSCC 和 RSSCC 的工作性能都较好。

表 4 各配比坍落扩展度和 U 型箱填充高度指标范围

编号	坍落 扩展度/mm	U 型箱填充 高度/mm	编号	坍落 扩展度/mm	U 型箱填充 高度/mm
A0	610	305	R0	630	315
A1	630	310	R1	680	345
A2	620	305	R2	660	340
A3	625	305	R3	670	340
A4	570	295	R4	625	330

4.2 自密实混凝土抗压强度

自密实混凝土抗压强度试验数据见表 5,可以看出 粉煤灰对 ASSCC 早期抗压强度增长有利。同 水灰比情况下,掺粉煤灰的 ASSCC 抗压强度略高于 掺粉煤灰的 RSSCC,特别 7 d 和 28 d 的抗压强度提高 更为明显,标准养护 56 d 的 2 种自密实混凝土抗压 强度相当。这可能由于粉煤灰对人工砂及石粉有更 好的密实填充效应,且人工砂粗糙的表面增强了与 水泥的界面黏结,使得人工砂混凝土早期强度表现 出优势。也有研究表明石粉加速了 C₃S 的水化,这 可能是石粉中的 CaCO₃ 促进了水化物新相形成,加 速了水泥水化动力学过程^[5]。

表 5 ASSCC 和 RSSCC 各龄期抗压强度

编号	抗压强度/MPa		
	7 d	28 d	56 d
A0	53.0	70.0	75.3
A1	60.0	75.7	81.9
A2	52.5	67.2	74.1
A3	43.0	58.8	68.5
A4	37.0	49.7	60.0
R0	45.5	64.0	75.8
R1	50.0	71.8	79.0
R2	45.2	62.7	70.0
R3	38.6	55.0	66.2
R4	33.2	45.0	56.4

从表 5 可知:掺 27% 粉煤灰时抗压强度最高,掺量为 0%,37%,47% 和 57% 时抗压强度依次降低,A4 和 R4 的抗压强度最低,这与普通混凝土强度发展规律一样。掺粉煤灰 ASSCC 和 RSSCC 早期强度受到一些影响,后期发展潜力很大。早期强度要求不高的工程,适量掺粉煤灰对后期强度影响较小,从试验结果看,粉煤灰掺量不宜超过 37%。

4.3 抗渗性能

试件为顶面直径 175 mm、底面直径 185 mm、高 150 mm 的圆台,刷毛后在标准养护条件下养护,规定龄期后将试件取出并晾干表层,在试件侧面均匀涂抹一层石蜡作为密封材料,然后将试件压入抗渗试模中并装入混凝土渗透仪,开始加压 0.1 MPa 以后每 8h 增加 0.1 MPa 直到有 2 个试件表面渗水,记下相应的压强,如压强为 1.2 MPa 时,试件表面仍不渗水,将试件取下,劈开,用直尺量取渗水高度。

从表 6 中可以看出,粉煤灰能提高 RSSCC 和 ASSCC 的抗渗性能。两者的抗渗性能都达到了较高的水平,而且渗水高度差别不大。这是由于自密实混凝土用水量少、水泥用量低、颗粒结构堆积致密、孔隙小、孔隙率低、接触点多、更加密实的特点提高了其抗渗性。另外水泥在水化时生成的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 能与粉煤灰中所含活性氧化硅或氧化铝反应,生成低碱度的水化产物,填充和分割混凝土中的大孔,使孔径细化,抗渗性提高。可以认为,在标准养护 90 d 时,掺粉煤灰的 ASSCC 和掺粉煤灰的 RSSCC 渗水高度差别不大。

表 6 混凝土抗渗试验结果

编号	混凝土龄期/d	渗水高度/mm	编号	混凝土龄期/d	渗水高度/mm
R0	60	10.6	A0	60	8.2
R0	90	2.2	A0	90	1.6
R3	60	20.2	A3	60	15.8
R3	90	4.9	A3	90	3.9

注 渗水高度均为水压加至 1.2 MPa 后劈裂混凝土试件测得。

4.4 抗氯离子渗透能力

从表 7 可以看出,标准养护 28 d 的 ASSCC 和

RSSCC 的氯离子渗透性均为 III(中),2 种自密实混凝土的氯离子扩散系数均低于 $250 \times 10^{-14} \text{m}^2/\text{s}$ 。标准养护 60 d 后 ASSCC 和 RSSCC 的氯离子渗透性均为 III(中),2 种自密实混凝土的氯离子扩散系数低于 $150 \times 10^{-14} \text{m}^2/\text{s}$ 。可以认为,相同条件下粉煤灰能提高 ASSCC 和 RSSCC 的氯离子扩散系数。混凝土在侵蚀介质中的破坏是由于离子扩散,而离子扩散的发生或加速与混凝土的渗透性有关。混凝土的渗透是水或离子通过连通的毛细孔迁移的过程,减少连通的毛细孔数量、减少孔径和增加孔隙弯曲程度都可以降低渗透性,同时也就减少了离子的扩散^[6]。

表 7 自密实混凝土的氯离子渗透结果

氯离子扩散系数/渗透性 ($10^{-14} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)			氯离子扩散系数/渗透性 ($10^{-14} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)		
编号			编号		
A0-28 d	180	III(中)	R0-28 d	202	III(中)
A3-28 d	220	III(中)	R3-28 d	245	III(中)
A0-60 d	106	III(中)	R0-60 d	129	III(中)
A3-60 d	132	III(中)	R3-60 d	147	III(中)

5 结 论

研究了利用人工砂和河沙制备自密实混凝土的性能,试验结果表明,用人工砂全部取代河沙配制自密实混凝土,不仅和易性能够满足自密实混凝土要求,而且各个龄期的强度、抗渗性及抗氯离子渗透性能均好于同水胶比条件下的河沙自密实混凝土,适量添加粉煤灰能改善 RSSCC 和 ASSCC 的工作性能、强度及抗氯离子渗透性能。

参考文献:

[1] 吴明威,付兆岗,李铁翔,等. 机制砂中石粉含量对混凝土性能影响的实验研究[J]. 铁道建筑技术,2000(4): 46-49.
[2] 蔡基伟,李北星,周明凯,等. 石粉对中高低强度机制砂混凝土性能的影响[J]. 武汉理工大学学报,2006,28(4): 27-30.
[3] 杨玉辉,周明凯,赵华耕. C80 机制砂泵送混凝土的配制及其影响因素[J]. 武汉理工大学学报,2005,28(4): 27-30.
[4] 蒋正武,石连富,孙振平. 用机制砂配制自密实混凝土的研究[J]. 建筑材料学报,2007,10(2): 154-160.
[5] 杨建森,张粗锦. 石灰石硅酸盐水泥性能及其水化研究[J]. 宁夏工学院学报,1996,8(2): 24-30.
[6] 方泽锋,施惠生. 粉煤灰-矿渣复合掺合料对海工砼耐久性的影响[J]. 粉煤灰综合利用,2002(6): 5-7.

(收稿日期 2008-11-10 编辑 熊水斌)

