

不同种类矿物掺合料混凝土收缩开裂风险评估

李云峰, 解丹丹, 徐志峰, 李瀛涛

(山东科技大学 山东省土木工程防灾减灾重点实验室, 山东 青岛 266590)

摘要: 混凝土早期收缩开裂是加剧混凝土性能劣化、影响其耐久性的重要因素。采用平板约束和环形约束两种试验方法, 分析不同种类掺合料对混凝土早期开裂性能的影响。试验结果表明, 在平板约束情况下, 钢渣、粉煤灰复掺比例为 1:1, 且掺量为 30% 时, 混凝土抗裂性能较好; 三种掺合料情况下, 钢渣、矿渣、粉煤灰比例为 1:2:1, 且掺量为 30% 时, 混凝土抗裂性能较好; 采用圆环约束时, 钢渣、矿渣、粉煤灰掺入比例为 1:2:1, 且掺量为 40% 的胶砂试件具有较好的抗裂性能。

关键词: 钢渣; 矿渣; 粉煤灰; 混凝土; 收缩开裂

中图分类号: TU435

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2013)04-0075-05

Shrinkage Cracking Assessment of Concrete with Different Mineral Admixtures

Li Yunfeng, Xie Dandan, Xu Zhifeng, Li Yingtao

(Shandong Provincial Key Laboratory of Civil Engineering Disaster Prevention and Mitigation,
Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: The early-age shrinkage cracking of concrete played an important role in the accelerated deterioration and shortening the service life of concrete structures. In this paper, the methods of the plate-test and the ring-test were used to study the early-age cracking characterization of concrete with multi-components admixtures. The results show that the anti-cracking performance of the concrete is the best when the steel slag and fly ash as the equal mixture components replace cement at the rate of 30% in the plate-tests; if three kinds of admixtures are used, the anti-cracking performance of the concrete is the best when the proportion of steel slag, slag and fly ash is 1:2:1, with the replacing cement at the rate of 30%. The ring-test results indicate that the best anti-cracking performance of the concrete is obtained when the proportion of steel slag, slag and fly ash is 1:2:1, with the replacing the cement at the rate of 40%.

Key words: steel slag; slag; fly ash; concrete; shrinkage cracking

混凝土的开裂问题, 尤其是混凝土的早期收缩导致的开裂, 是混凝土结构劣化的重要原因。在混凝土材料中加入高炉矿渣粉、钢渣粉和粉煤灰等掺合料, 可以实现资源循环利用, 并且由于其特殊的矿物组成和化学成分, 可以使配制的混凝土强度提高, 耐久性和收缩开裂得到改善。目前, 国内外对单掺混凝土及双掺混凝土抗压强度进行了大量研究, 但以往的研究对于矿物掺合料对混凝土的收缩变形的影响规律存在着较大的分歧^[1-6], 目前国内采用钢渣、高炉矿渣和粉煤灰来配制三种掺合料混凝土的研究成果较少^[7]。平板约束及环形约束试验方法和试验装置简便实用, 在混凝土收缩开裂相关研究中应用较广, 国内多数研究成果均为自由收缩和约束收缩开裂的定性分析^[8], 混凝土约束收缩开裂的相关定量分析的研究成果较少。本研究采用平板约束和环形约束的试验方法, 分别评价两种掺合料和三种掺合料(钢渣、矿渣、粉煤灰)情况下混凝土的收缩开裂性能, 探讨多组分掺合料对混凝土开裂性能的影响, 并将混凝土约束收缩引起的开裂与混凝土的

收稿日期: 2013-04-18

基金项目: 山东省“泰山学者”建设工程专项经费项目

作者简介: 李云峰(1971—), 男, 山东广饶人, 教授, 博士, 主要从事混凝土结构材料方面的研究. E-mail: hhllyunfeng@126.com

龄期结合起来,评估多组分胶凝材料在不同情况下的收缩开裂风险,分析不同矿物掺合料对混凝土早期收缩开裂的影响规律与作用机理。

1 试验研究

1.1 原材料及配合比

本试验采用 P·O42.5 普通硅酸盐水泥,黄岛电厂 II 级粉煤灰,细度 15.3%。钢渣粉密度 3.45 g/cm³,比表面积 500 m²/kg。矿渣粉密度 2.94 g/cm³,比表面积 450 m²/kg。细骨料是天然河沙,细度模数 2.4,表观密度 2710 kg/m³。粗集料采用石灰石碎石,5~25 mm 的连续级配,压碎值为 10.5%。减水剂采用萘系高效减水剂。

本试验采用的水胶比为 0.4,砂率为 0.4,胶凝材料为 380 kg/m³,高效减水剂用量为 1.6%。掺合料的掺入比例的不同,获得试件的强度指标有很大差别,本试验选用强度指标较好的掺合料掺加比例进行试件的准备^[9-11]。试件的配合比如表 1、表 2 所示。

表 1 混凝土平板约束试验配合比表

Tab. 1 Mix proportions of concrete specimens in plate-tests

编号	材料用量/kg							减水剂
	钢渣	矿渣	粉煤灰	水泥	砂	石子	水	
O	0	0	0	380	747.2	1120.8	152	6.08
GK30%	57.0	57.0	0	266	747.2	1120.8	152	6.08
GF30%	57.0	0	57.0	266	747.2	1120.8	152	6.08
KF40%	0	91.2	60.8	228	747.2	1120.8	152	6.08
S20%	19.0	38.0	19.0	304	747.2	1120.8	152	6.08
S30%	28.5	57.0	28.5	266	747.2	1120.8	152	6.08
S40%	38.0	76.0	38.0	228	747.2	1120.8	152	6.08
S50%	47.5	95.0	47.5	190	747.2	1120.8	152	6.08
S60%	57.0	114.0	57.0	152	747.2	1120.8	152	6.08

表 2 环形约束试件配合比表

Tab. 2 Mix proportions of mortar specimens in ring-tests

编号	材料用量/kg					
	钢渣	矿渣	粉煤灰	水泥	砂	水
J0	0	0	0	380	1140	152
SJ20%	19.0	38.0	19.0	304	1140	152
SJ30%	28.5	57.0	28.5	266	1140	152
SJ40%	38.0	76.0	38.0	228	1140	152
SJ50%	47.5	95.0	47.5	190	1140	152

1.2 约束收缩开裂试验方法

平板约束试验的试件尺寸为 600 mm×600 mm×50 mm,约束模具的四边为钢板,四边框内分别焊接上、中、下三排小螺纹钢筋齿,形成波式布置,混凝土浇注后发生收缩时,四周将会受到钢筋齿的约束。通过测定单位面积上的总开裂面积、平均开裂面积和单位面积的裂缝数目等参数,了解各种情况混凝土试件裂缝宽度随龄期变化的规律,对多组分掺合料混凝土的早期开裂特性进行分析。试验装置如图 1 所示。

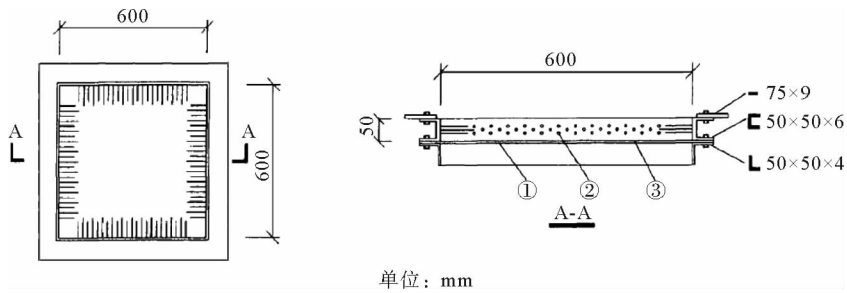


图 1 平板约束试验装置示意图

Fig. 1 Schematic description of plate-test

环形约束试验装置由钢制圆环和两个半圆的钢模组成,胶砂试件浇筑在两个外环钢模与钢环之间。试件置于温度 20 °C、相对湿度为 95% 的环境中养护 1 d 后拆除外模,然后将试件放置于干燥的环境中进行试验观察。用放大镜观察圆环是否开裂,从浇注试件开始记录每个试件出现裂缝的时间,用 JC4-10 读数显微镜(精度为 0.005 mm)测量裂缝宽度,记录裂缝宽度随试件龄期的发展变化情况。测定裂缝的长度和宽度,用裂缝的开裂面积(或宽度)来表述混凝土的抗裂性能^[12]。水泥胶砂试件在 7 d 左右就开裂完全,通过对龄期为 7 d 的胶砂试件的裂缝开展和发展情况进行分析,评价多种掺合料胶凝材料抵抗早期开裂的能力。

2 收缩开裂试验

2.1 平板约束试验

通过平板约束试验获得单位面积上的总开裂面积、平均开裂面积和单位面积的裂缝数目等参数,试验结果如图 2—图 6。

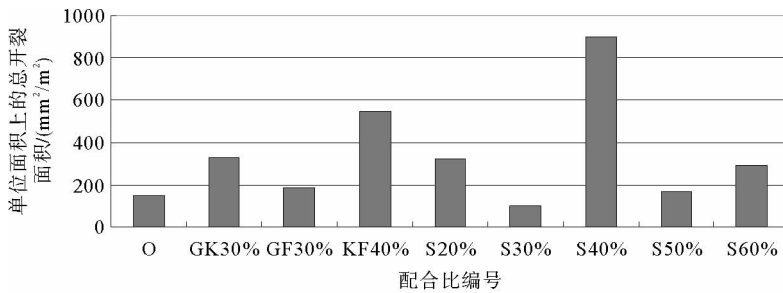


图 2 平板约束试验单位面积上的总开裂面积直方图

Fig. 2 The total crack area per unit area of plate-tests

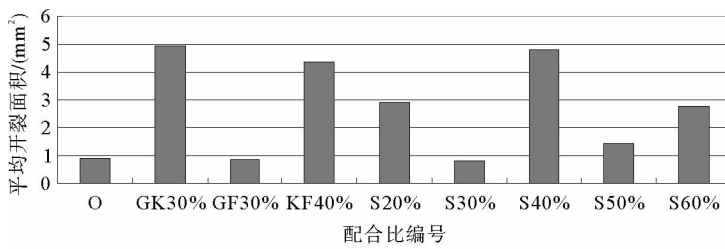


图 3 平板约束试验的平均开裂面积直方图

Fig. 3 The average crack area of plate-tests

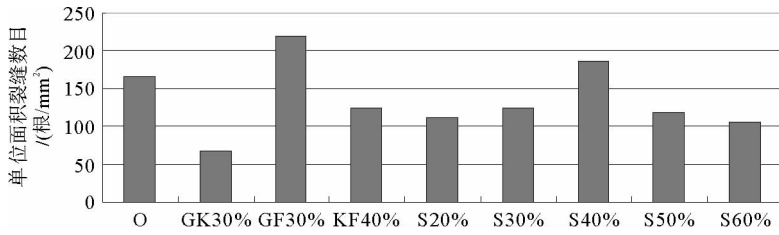


图 4 平板约束试验单位面积裂缝数目直方图

Fig. 4 The number of cracks per unit area of plate-tests

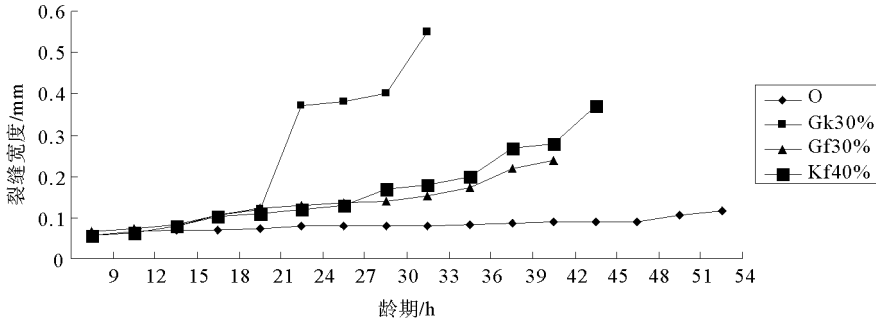


图 5 两种掺合料情况裂缝宽度随着龄期变化的影响曲线图

Fig. 5 Effect of two admixtures on crack width of concrete specimens

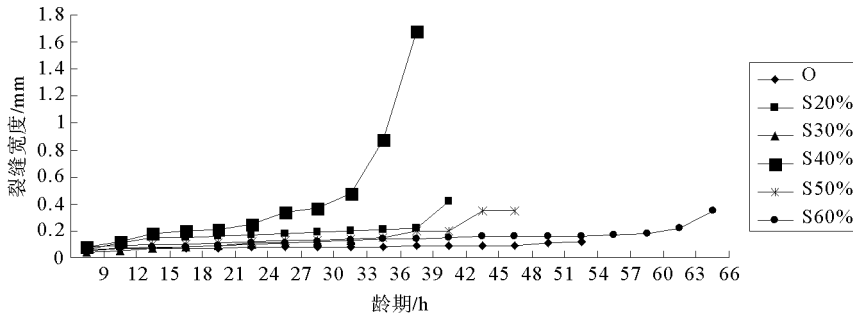


图 6 三种掺合料情况裂缝宽度随着龄期变化的影响曲线图

Fig. 6 Effect of three admixtures on crack width of concrete specimens

2.2 环形约束试验

通过环形约束试验可得到三种矿物掺合料的配比变化对裂缝收缩开裂宽度的影响,胶砂试件 7 d 龄期裂缝开裂宽度及其随龄期的变化情况如图 7、图 8 所示。

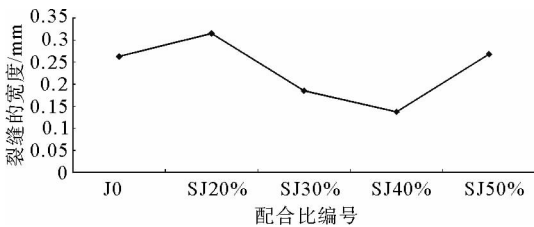


图 7 不同掺合料对胶砂试件平均裂缝宽度的影响

Fig. 7 Effect of admixtures on average crack width of mortar specimen

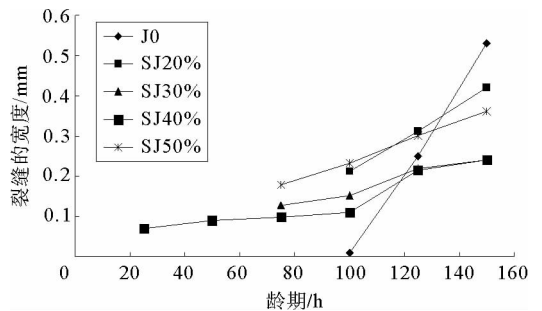


图 8 胶砂试件裂缝的宽度随龄期变化曲线图

Fig. 8 Effect of admixture on crack width of mortar specimen at different ages

3 不同种类掺合料对混凝土收缩开裂风险的影响

3.1 平板约束试验结果分析

由混凝土试件平板约束试验结果可看出,两种矿物掺合料或三种矿物掺合料的应用导致混凝土试件干燥收缩数值增大,平板约束作用下的收缩开裂性能比没有掺合料的普通混凝土试件差一些,因此在工程应用中要采取相应措施对混凝土结构收缩开裂进行限制和预防。

掺入两种矿物掺合料情况:钢渣、矿渣作为掺合料时,混凝土裂缝宽度发展变化迅速,平均开裂面积大,但出现的裂缝少;矿渣、粉煤灰作为掺合料时,混凝土裂缝宽度发展变化减缓,总开裂面积和平均开裂面积比较大;钢渣、粉煤灰作为掺合料时,混凝土裂缝宽度发展变化比较平缓,总开裂面积和平均开裂面积较小,但是出现的裂缝数目最多。钢渣与粉煤灰两种掺合料有较好的互补作用,使得混凝土凝固硬化过程中体积变化最小,干燥收缩数值相对较小,因此在约束收缩条件下抗裂性能较好,而矿渣与粉煤灰两种掺合料应用时混凝土抗裂性能相对较差。

掺入三种矿物掺合料情况,钢渣、矿渣与粉煤灰总掺量为 30% 的混凝土出现的裂缝数目较多但是宽度较小,与普通混凝土裂缝开展情况相似。从裂缝的发展趋势来看,随龄期增长裂缝宽度均为较平缓的变化,因此三种掺合料掺量为 30% 的混凝土试件的抗裂性能与普通混凝土相似,没有出现劣化现象。

3.2 环形约束试验结果分析

依据钢渣、矿渣、粉煤灰三种掺合料制备胶砂试件的收缩开裂试验结果可以看出,裂缝的平均宽度随着掺量的增加,先减小后增大,在掺量为 40% 时裂缝的平均开裂宽度最小,而掺量为 20% 时裂缝的平均开裂宽度最大;三种掺合料的掺量为 30%、40% 时,胶砂试件裂缝宽度随着龄期的发展变化比较平缓,其他掺量时胶砂试件裂缝宽度发展较快,尤其没有掺合料的水泥胶砂试件裂缝宽度发展急剧增大。由图 7 可看出,对于胶砂试件的约束收缩开裂,当三种掺合料掺量为 40% 时(钢渣、矿渣、粉煤灰比例为 1:2:1),裂缝的发展比较均匀,最终的裂缝开裂宽度较小,该配合比胶砂试件具有较好的抗裂性能。

4 结论

利用板式约束和环形约束试验方法,研究了不同矿物掺合料的混凝土早期开裂情况和裂缝的发展趋势,对多种矿物掺合料掺入后混凝土早期收缩开裂风险进行分析,得到以下主要结论:

1) 多种掺合料应用于混凝土材料后,对混凝土早期收缩开裂的影响具有较大的不确定性,需要根据工程实际进行针对性分析。

2) 利用两种矿物掺合料制备混凝土进行板式约束试验时,钢渣与粉煤灰两种掺合料使得混凝土凝固硬化过程中体积变化最小,约束收缩条件下混凝土抗裂性能较好,而矿渣与粉煤灰两种掺合料应用时混凝土抗裂性能相对较差。

3) 利用三种矿物掺合料进行板式约束试验时,掺合料掺量为 30% 时混凝土试件抗裂性能与不使用掺合料的普通混凝土相似。

4) 对于胶砂试件进行环形约束试验,三种掺合料掺量为 40% 时(钢渣、矿渣、粉煤灰比例为 1:2:1),裂缝的发展比较均匀,最终的裂缝开裂宽度较小,该配合比胶砂试件具有较好的抗裂性能。

参考文献:

- [1] 吴中伟,廉慧珍. 高性能混凝土[M]. 北京:中国铁道出版社,1999:270.
- [2] 梁文泉,王信刚. 矿渣微粉掺量对混凝土收缩开裂的影响[J]. 武汉大学学报工学版,2004,37(1):77-81.
Liang Wenquan, Wang Xingang. Influence of GGBFS content on shrinkage cracking of concrete[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2004, 37(1): 77-81.
- [3] 高小建. 高性能混凝土早期开裂机理与评价方法[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2003:33-39.