

Experimental Investigation on the Effect of Fly Ash Content to the Shrinkage of Self-Compacting Concrete

Zhiyuan Huang¹, Keke Peng^{2*}

¹Guangdong Changhong Highway Engineering Co., Ltd., Guangzhou Guangdong

²School of Environment & Civil Engineering and Architecture, Foshan University, Foshan Guangdong

Email: *Pengkeke8481@126.com

Received: Dec. 25th, 2015; accepted: Jan. 8th, 2016; published: Jan. 13th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The mechanism sand is used to make up self-compacting concrete, and the effect of fly ash content to the shrinkage of self-compacting concrete is researched by laboratory experiments. Water to binder ratio is fixed, and the fly ash content is variable at three levels, which are 0%, 20%, 40%. The change regulation of dry-shrinkage, self-shrinkage, temperature-shrinkage with the above three levels is obtained. The result shows that the fly ash can eliminate the shrinkage of self-compacting concrete. The elimination effect is limited when the fly ash content is 20%, and when the content of fly ash reaches to 40%, the elimination effect is significant.

Keywords

Fly Ash, Mechanism Sand, Self-Compacting Concrete, Shrinkage, Experimental Investigation

粉煤灰掺量对自密实混凝土收缩性能影响的试验研究

黄知元¹, 彭可可^{2*}

¹广东长宏公路工程有限公司, 广东 广州

²佛山科学技术学院环境与土木建筑学院, 广东 佛山

*通讯作者。

Email: *Pengkeke8481@126.com

收稿日期: 2015年12月25日; 录用日期: 2016年1月8日; 发布日期: 2016年1月13日

摘要

采用机制砂配制自密实混凝土, 通过试验研究分析粉煤灰掺量对自密实混凝土收缩性能的影响。通过固定水胶比等配合比参数, 以粉煤灰掺量为变量, 分别实验测试得到了掺0%、20%和43%三个水平的粉煤灰条件下机制砂自密实混凝土的干燥收缩、自收缩及温度收缩的变化规律。试验结果表明: 掺加粉煤灰可减少机制砂自密实混凝土的收缩, 且掺量低于20%时其对机制砂自密实混凝土的自收缩与干燥收缩的控制效果有限, 而当粉煤灰掺量增加到40%左右时, 其对机制砂自密实混凝土收缩的抑制作用显著。

关键词

粉煤灰, 机制砂, 自密实混凝土, 收缩性能, 试验研究

1. 引言

在过去的20年里, 一种不需要借助外力振捣即可利用自身优异的流动性自动流平, 挤满模板且紧密包裹钢筋的材料——自密实混凝土显示出了巨大的施工优势, 并在我国的隧道、高层建筑、桥梁等领域得到了广泛应用。现已成为配筋密集、复杂结构工程的首选建筑材料[1]。长期以来, 配制自密实混凝土的细集料都是采用天然河砂, 面对当今天然砂资源日益减少的实情, 采用机制砂配制混凝土逐渐得到重视[2]。机制砂俗称人工砂, 较天然河砂而言, 其颗粒的形态、微观构造、颗粒的粒径搭配、含泥量、微粉含量等指标均有所不同。因此, 采用机制砂生产得到的自密实混凝土, 其配比参数对混凝土性能的影响规律也不能照搬天然河砂配制得到的自密实混凝土的已有研究结论[3]。基于此, 本文设计单因素实验, 采用机制砂配制自密实混凝土, 以粉煤灰掺量和水灰比为变量, 研究其收缩变形性能的变化规律。

2. 试验研究

2.1. 试验原材料

(1) 胶凝材料: 包括水泥及矿物掺合料, 这里水泥采用金羊牌 P·O 42.5R 普通硅酸盐水泥, 生产厂家为广州市越堡水泥有限公司; 矿物掺合料仅掺加粉煤灰(II级)一种, 其生产厂家为广州恒达资源综合利用有限公司, 详细技术指标见表1。

Table 1. Performance parameter for experimental fly ash

表1. 实验用粉煤灰主要技术指标

序号	试验项目(%)	试验值
1	细度(45 um 方孔筛筛余)	14.1
2	需水量比	99
3	烧失量	1.5
4	含水率	0.1
5	SO ₃	2.4
6	游离氧化钙	0.8

(2) 集料: 即机制砂与碎石两种, 实验中所采用的砂、石分别来自广州市萝岗区方石砂场、萝岗区裕丰石场。其中机制砂是中粗砂, 最大粒径 5 mm, 表观密度 2600 kg/m^3 , 含泥量 2.7%, 细度模数 2.7; 连续级配碎石的粒径范围为 5~20 mm, 压碎值 8.1%, 针片状颗粒含量为 7.7%, 表观密度为 2620 kg/m^3 。

(3) 拌合用水及外加剂: 拌合水采用自来水, 外加剂仅掺加苏博特 PCA-1 型聚羧酸高效减水剂, 其掺量范围为 0%~1.4%, 减水率为 30%~40%。

2.2. 试验设计

根据原材料参数及《自密实混凝土应用技术规程》(JGJ/T 283-2012)中的自密实混凝土配合比设计方法进行本次实验的配合比设计, 通过固定水胶比的方法, 分别取 0%、10%、20%、30%、43%和 50%三种粉煤灰掺量情况, 以系统探讨粉煤灰掺量对机制砂自密实混凝土早期收缩性能的影响规律。实验最终采用的自密实混凝土配合比参数如表 2 所示。

2.3. 试验测量方法

通常, 普通混凝土在标准养护条件下的第 4 天测量其收缩, 但相关研究却表明, 早龄期(1~7 天)才是自密实混凝土收缩的主要发生期[4]。一般来说, 干燥收缩在混凝土的早期收缩中占据绝对主导地位, 因此忽略混凝土的温度及自收缩, 近似的认为干燥收缩就等于总收缩。本实验以探讨粉煤灰掺量对 SCC 砼收缩性能的影响为目的, 测试了干燥收缩、自收缩及温度收缩。

(1) 干燥收缩试验方法。在 $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 515 \text{ mm}$ 尺寸的棱柱体试件两端, 预埋金属片测头, 试件浇筑成型置于标准养护条件下 24 h 后拆模, 此时用千分表第一次测量试件的干燥收缩值, 然后将试件置于相对湿度(60 ± 5)%, 环境温度(20 ± 2) °C 的养护室内, 每天用千分表测量一次干燥收缩值, 测满 7 天后, 每隔 3 天测一次干燥收缩值。

(2) 自收缩试验方法。采用李悦教授等人基于电位器式传感器 LVDT 的高精度及高稳定性设计研发而成的自密实混凝土自收缩测量系统[5], 如图 1 所示。详细测试原理及方法参考文献[5]。

(3) 混凝土的温度收缩通过测试试件内部的温度来得到, 本实验在自密实混凝土试件成型时, 在试模内装入一半混凝土时埋入热电偶, 再浇筑剩余混凝土, 并用塑料薄膜包裹。与自密实混凝土的自收缩测试同步进行, 从初凝开始, 分别测试试件直到 7 天龄期的温度变化(通过预埋热电偶测得)及试件对应的收缩值。

3. 试验结果与分析

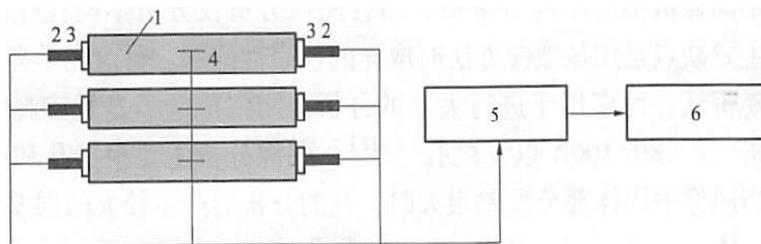
3.1. 粉煤灰掺量对机制砂自密实混凝土干燥收缩的影响

对本次实验数据进行整理得到粉煤灰掺量对机制砂自密实混凝土试件干燥收缩的影响结果, 如图 2。

Table 2. Mixture Parameter for experimental SCC

表 2. 实验用自密实混凝土配合比参数

编号	水/(kg/m^3)	水泥/(kg/m^3)	粉煤灰/(kg/m^3)	粉煤灰掺量/(%)	水胶比	机制砂/(kg/m^3)	碎石/(kg/m^3)	砂率/(%)	减水剂/(%)
SC4-0	175	461	0	0	0.38	741	1011	43	0.9
SC4-1	175	415	46	10	0.38	741	1011	43	0.9
SC4-2	175	369	92	20	0.38	741	1011	43	1
SC4-3	175	323	138	30	0.38	741	1011	43	1
SC4-4	175	263	198	43	0.38	741	1011	43	0.9
SC4-5	175	231	231	50	0.38	741	1011	43	0.9



其中：1-混凝土试件；2-传感器 LVDT；3-玻璃片；4-热电偶；5-巡检仪；6-计算机数据采集

Table 1. Self-contraction test principle and constitution

图 1. 自密实混凝土自收缩测试原理及系统组成

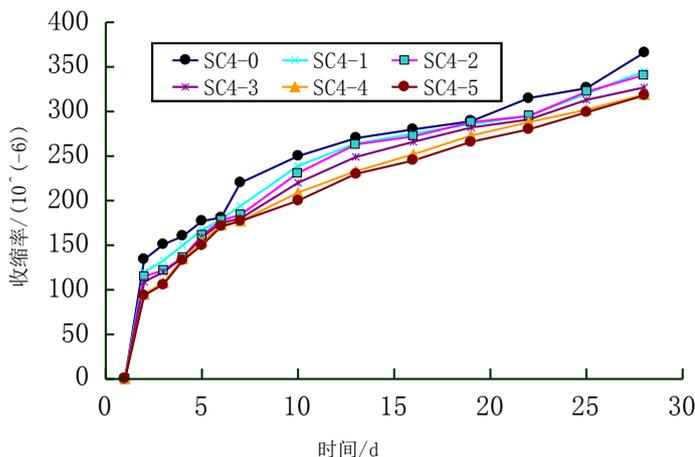


Table 2. The effect curve of fly ash content to the dry shrinkage of SCC with mechanism sand

图 2. 粉煤灰掺量对机制砂自密实混凝土干燥收缩的影响曲线

从图 2 可看出，前 24 h 内，干燥收缩发展迅速，相同龄期下，随粉煤灰掺量的增加，机制砂自密实混凝土的干燥收缩值有减少趋势。当粉煤灰掺量在 10%~30% 之间时，较不掺粉煤灰组比，机制砂自密实混凝土干燥收缩明显得到抑制；而当粉煤灰增加到 43% 的掺量，较不掺粉煤灰组比，干燥收缩值明显减少，减少幅度约 7.2%~11.1% 不等，明显减少了自密实混凝土试件的收缩量；继续增大粉煤灰掺量至 50%，干燥收缩值较 SC4-4 组掺灰量相比较，变化不大，这说明当粉煤灰掺量达到 43% 左右时，继续增大掺灰量对机制砂自密实混凝土干燥收缩量影响微小。这一实验结果，与已有的粉煤灰掺量对天然河砂干燥收缩的影响结果相比，存在较大区别。同时，这也说明，干燥收缩的测试值随机制砂自密实混凝土的龄期，砂、石等原材料的特性密切相关。

3.2. 粉煤灰掺量对机制砂自密实混凝土自收缩的影响

自密实混凝土的自收缩与干燥收缩不同，前者是因为混凝土自身的水化反应导致的收缩，后者则是混凝土试件在养护条件下，以与外界环境存在热量与水分交换为前提测得的试件收缩值。图 3 为本次实验测得的粉煤灰掺量对机制砂自密实混凝土自收缩的影响变化。

由图 3 可知，当粉煤灰掺量从 0% 增加到 50% 的过程中，机制砂自密实混凝土试件的自收缩值是逐渐减少的。当粉煤灰掺量从 0% 增加到 20% 时，试件的自收缩值在前 3 天的变化并不大，直到 5 天以后才有明显变化；而当粉煤灰掺量从 0% 增加到 43% 的时候，试件的自收缩明显降低，特别是在控制试件前 1 天

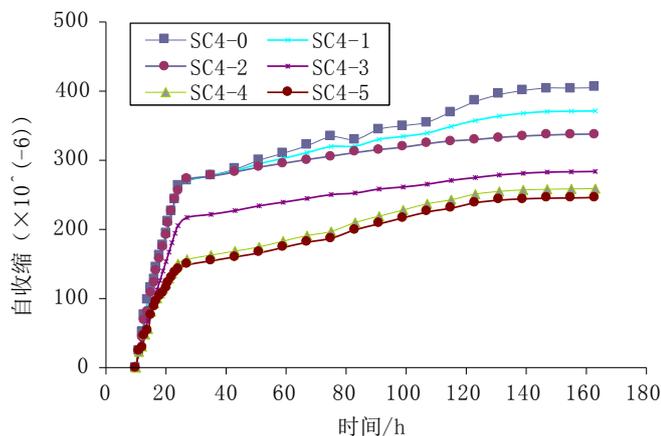


Table 3. The effect curve of fly ash content to the self construction of SCC with mechanism sand

图 3. 粉煤灰掺量对机制砂自密实混凝土自收缩的影响曲线

的自收缩上表现尤其显著,同时,机制砂自密实混凝土试件自收缩的增长率也有所减慢。在粉煤灰掺量分别为 20%、43% 的时候,就试件 7 天的自收缩来看,其值较不掺粉煤灰组的试件分别减少了 11.7%、36.8%。而当继续增加粉煤灰掺量到 50%,其对机制砂自密实混凝土自收缩的影响较掺量 43% 组相比则变化甚小。

根据机制砂自密实混凝土的组成材料特点,产生上述现象的原因有二:一是掺入粉煤灰后,其本身表面要比水泥光滑、需水量更少,当面对固定水胶比的条件时,水泥浆中的自由水变多,直接导致自密实混凝土的自收缩减少;二是粉煤灰是以等量取代水泥的方式加入到混凝土中,而粉煤灰与水的早期水化反应较水泥与水的水化反应要弱,这也减少了自密实混凝土试件的自收缩。

3.3. 粉煤灰掺量对机制砂自密实混凝土温度收缩的影响

在针对混凝土收缩的研究中,尤其是针对大体积混凝土而言,混凝土的温度收缩变形一直是一个需要引起重视的问题。有关研究表明,水泥的水化反应会引起混凝土内部温度升高,且混凝土内部温度的峰值出现时间大约在 6~15 h (从加水开始计时) [6]。考虑到本实验中环境温度固定,混凝土试件内部温度通过预埋入的热电偶测得,取热膨胀系数为 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,那么可以混凝土的热膨胀系数和温差的乘积来计算得到机制砂自密实混凝土的温度收缩值。经过计算并整理后得到的粉煤灰掺量对机制砂自密实混凝土温度变化及温度收缩变形的影响曲线如图 4 所示。

据上图可知,机制砂自密实混凝土自初凝后,其内部温度迅速上升,温度曲线显示在 25 h 左右才达到最高温度,之后温度开始下降,下降过程先急后缓,然后趋于稳定,逼近环境温度,稳定时间约在浇筑 3~4 天后。据此可以判断,在机制砂自密实混凝土中掺入粉煤灰可有效影响混凝土内部的温度变化,能明显延缓混凝土的水化温升过程,推迟温度峰值的来临时间。总的来说,与本实验测试得到的试件干燥收缩及自收缩相比,试件的温度收缩是随温度变化的,虽然其值很小,但由于混凝土内部的温度下降导致的温度收缩变形却不容小觑,若再考虑到由于机制砂自密实混凝土干燥收缩和自收缩等引起的收缩应力的共同作用,则自密实混凝土出现开裂的可能性将大大提高。考虑到实验数据结果中,掺粉煤灰量为 43% 及 50% 两个组的试验结果相差不大,以粉煤灰掺量分别为 20%、43% 的时候为代表,与掺加 0% 粉煤灰组相比,混凝土试件的温度峰值来临时间延缓了 1~2 h、2~3 h,水化温升约降低 4.2%~6.6%、6.6%~9.9%。可见,粉煤灰不但可减少混凝土的温度梯度,降低最大温升,还可以延缓因水化热导致的混凝土温度峰值来临时间。这对实际工程应用来说,争取到了更多的混凝土水化时间,从而有利于混凝土

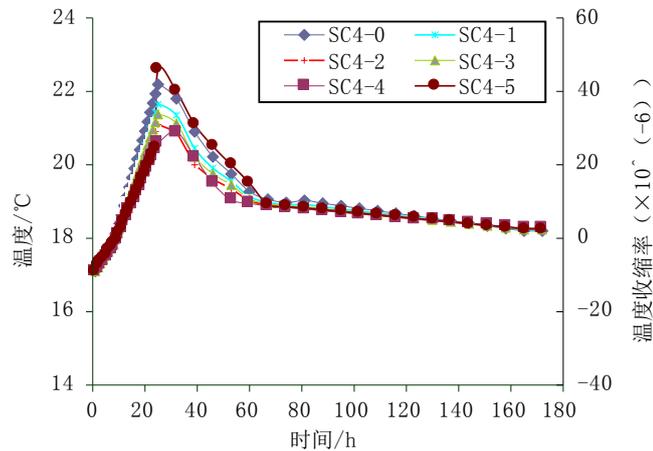


Table 4. The effect curve of fly ash content to the temperature variation and self-contraction of SCC with mechanism sand
图 4. 粉煤灰掺量对机制砂自密实混凝土温度变化及收缩的影响曲线

土形成足够的抗拉强度来抵抗早期裂缝，进而抑制机制砂混凝土的早期开裂。

4. 结论

(1) 掺 30% 及以下掺量粉煤灰对机制砂自密实混凝土的干燥收缩及自收缩的抑制作用均不明显。但当粉煤灰掺量增加至 43% 时，机制砂自密实混凝土干燥收缩量有较大幅度的减少，且自密实混凝土的自收缩也有明显降低(尤其是 1 天前的自收缩)，继续增大粉煤灰掺量则对收缩的影响再次变小。在随粉煤灰掺量从 0% 增加到 43% 的过程中，混凝土收缩的降低效果逐渐显著，且其自收缩增长速率还呈现明显减慢趋势。

(2) 粉煤灰的掺入能明显降低机制砂自密实混凝土的水化温升，推迟机制砂自密实混凝土水化温度峰值时间的来临，减小温度梯度，从而使得机制砂自密实混凝土有较充裕的时间水化而获得足够的抗拉强度来抵抗早期裂缝的产生。但当粉煤灰掺量超过 43% 左右，其影响效果变弱。

基金项目

广东省交通运输厅科技项目(2012-03-007)。

参考文献 (References)

- [1] 刘运华, 谢友均, 龙广成, 等. 自密实混凝土研究进展[J]. 硅酸盐学报, 2007, 35(5): 671-678.
- [2] 张后禅. 机制砂自密实混凝土配制方法及应用技术研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [3] 鸿根, 潘钢华. 掺粉煤灰高性能桥用混凝土变形性能研究[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2002, 32(5): 779-782.
- [4] 安明哲, 朱金铨, 贾维祖. 高性能混凝土的自收缩问题[J]. 建筑材料学报, 2001, 4(2): 160-166.
- [5] 李悦. 自密实混凝土技术与工程应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2013.
- [6] 冯乃谦. 实用混凝土大全[M]. 北京: 科学出版社, 2001.