

文章编号:1671-6833(2010)02-0039-03

矿物掺合料对大流动性轻混凝土拌和物性能的影响

王振军^{1,2}

(1. 长安大学 材料学院, 陕西 西安 710061; 2. 西安建筑科技大学 建筑材料研究所, 陕西 西安 710055)

摘要: 针对轻混凝土拌和物在大流动性条件下, 易于分层而导致工作性不良的现象, 采用 L-800 混凝土拌和物流动性测定仪, 结合混凝土拌和物性能测定方法, 研究了粉煤灰和硅灰等矿物掺合料对大流动性轻混凝土 (HFLC) 拌和物在不同时间间隔时流过 40 cm 距离的流动时间 $t_{(40, T)}$ 、坍落度和扩展度等工作性能的影响。结果表明, 掺加矿物掺合料是保证 HFLC 拌和物具有较好性能的关键因素, I 级粉煤灰和硅灰的最佳掺量分别为水泥总用量的 30% 和 2%。

关键词: 大流动性轻混凝土; 矿物掺合料; 拌和物; 性能

中图分类号: TU528 **文献标识码:** A

0 引言

随着轻混凝土质量及施工要求的提高, 轻混凝土将向高性能方向发展, 变机械振动成型为大流动自密实成型, 以减少对环境的污染^[1]。然而, 具有较好施工性能的轻混凝土所要解决的问题是其流动性问题, 即在保证大坍落度条件下, 混凝土拌和物不离析、不泌水; 轻骨料不上浮、不漂移, 从而达到大流动成型要求。大流动性轻混凝土 (HFLC) 是在大流动性普通混凝土技术基础上, 用轻骨料或高性能轻骨料代替普通骨料, 配制而成的一种干表观密度小于 $1\ 950\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 的新型高性能混凝土^[2], 兼有轻混凝土表观密度小, 自重小和大流动性混凝土坍落度大、流动性好等优点。近年来, 国内已有少数科研单位初步研究了拌和物的性能^[3], 但由于影响拌和物性能的因素较多, 特别是矿物掺合料, 直接关系到混凝土的实际工程应用, 所以针对矿物掺合料对 HFLC 拌和物性能的影响进行研究具有较高的应用价值。

1 原材料

(1) 水泥: 等级 P.O 42.5R 普通硅酸盐水泥, 实测 3 d 和 28 d 抗压强度分别为 34.2 MPa 和 50.3 MPa。

(2) 骨料: 细骨料用中砂, 细度模数 $\mu_f = 2.52$, 级配合格; 粗骨料为黏土陶粒, 具体物理和力学性能指标见表 1。

(3) 粉煤灰: I 级粉煤灰, SiO_2 和 Al_2O_3 含量为 55.21% 和 26.38%, $80\ \mu\text{m}$ 筛余量为 1.21%。

(4) 硅灰: SiO_2 含量为 90.85%, 比表面积约为 $20\ 000\ \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

(5) 外加剂: 复合高效减水剂 (液体), 减水率 20.5%, 推荐掺量为胶凝材料用量的 1.5%。

2 试验方案

普通轻混凝土拌和物在大流动性条件下, 轻骨料易上浮, 导致硬化后混凝土质量不均匀, 如图 1 所示。对于大流动性轻混凝土, 要求大流动性条

表 1 轻骨料的主要性能指标

Tab. 1 Main performance indexes of lightweight aggregate

| 累计筛余 / % | | | | 表观密度 / ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) | 堆积密度 / ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) | 含水 率 / % | 1 h 吸水 率 / % | 筒压强 度 / MPa | 软化系 数 / % | 孔隙 率 / % | 强度等 级 / MPa |
|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---|---|-------------|-----------------|----------------|--------------|-------------|----------------|
| $\phi 20\ \text{mm}$ | $\phi 15\ \text{mm}$ | $\phi 10\ \text{mm}$ | $\phi 5\ \text{mm}$ | | | | | | | | |
| 0 | 94 | 98 | 99.5 | 1162 | 840 | 3.1 | 5.1 | 8.2 | 0.92 | 29.0 | 25 |

收稿日期: 2009-08-31; 修订日期: 2010-12-28

作者简介: 王振军 (1978-), 男, 山东潍坊人, 长安大学博士研究生, 讲师, 研究方向为水泥基复合材料, E-mail: wangzhenjun029@163.com.

件下轻骨料能够悬浮于水泥浆体之间,从而硬化后能够均匀成型^[4],如图2所示,所以必须有足够数量的水泥浆体来支撑流动或静止条件下的轻骨料.因此,对于大流动性混凝土,要保持大坍落度条件下的较好流动性和均匀性,建议掺加矿物掺合料^[5-6].

HFLC配合比中水泥用量为 $325 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,水 $175 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,细骨料 $780 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,轻骨料 $355 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,粉煤灰用量为水泥用量的10%、20%、30%和35%,硅灰用量分别为2%、4%和6%,掺加方式为外掺.

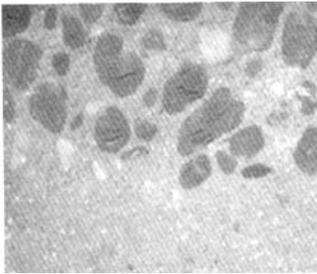


图1 已分层的HFLC
Fig.1 Layered HFLC

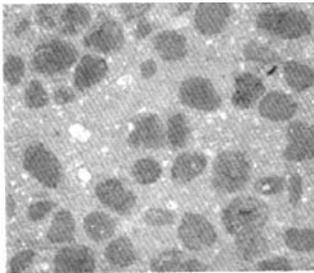


图2 均匀成型的HFLC
Fig.2 Well-proportioned HFLC

采用L-800混凝土拌和物流变性能测定仪^[7](如图3),测定混凝土拌和物在拌和0 min、30 min和60 min时流过40 cm距离所用的时间,标记为 $t_{(40,T)}$ (其中T为测试时间),来测定新拌混凝土拌和物的流动性能,另外同时进行拌和物的坍落度和扩展度试验.

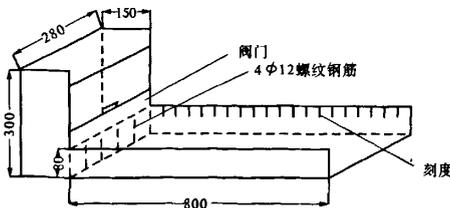


图3 L-800流动性能测定仪
Fig.3 L-800 rheological testing apparatus

3 矿物掺合料对混凝土拌和物性能影响

大流动性轻混凝土拌和物坍落度和扩展度试验按照《普通混凝土拌和物性能试验方法标准》(GB/T 50080-2002)和《轻骨料混凝土技术规程》(JGJ51-2002)进行,流动性能用 $t_{(40,T)}$ 进行评价.

3.1 粉煤灰掺量对HFLC拌和物性能的影响

将10%、20%、30%和35% 4种不同掺量的粉煤灰掺加到混凝土拌和物中进行试验,试验结果如表2和表3所示.

表2 不同粉煤灰掺量时HFLC拌和物的流动性能

| 粉煤灰掺量/% | 流域时间 $t_{(40,T)}$ /s | | |
|---------|----------------------|--------|--------|
| | 0 min | 30 min | 60 min |
| 10 | 42 | 57 | 88 |
| 20 | 25 | 35 | 62 |
| 30 | 17 | 24 | 49 |
| 35 | 19 | 28 | 65 |

表3 不同粉煤灰掺量时HFLC拌和物的部分性能指标

| 粉煤灰掺量/% | 坍落度/mm | | | 扩展度/(mm × mm) | | | 结果 |
|---------|--------|--------|--------|---------------|-----------|-----------|----|
| | 0 min | 30 min | 60 min | 0 min | 30 min | 60 min | |
| 10 | 255 | 230 | 205 | 580 × 555 | 545 × 535 | 500 × 505 | 堵塞 |
| 20 | 270 | 250 | 245 | 605 × 625 | 605 × 605 | 605 × 590 | 流动 |
| 30 | 265 | 265 | 250 | 615 × 625 | 610 × 620 | 600 × 605 | 均匀 |
| 35 | 260 | 250 | 245 | 600 × 610 | 590 × 600 | 590 × 585 | 粘稠 |

表2、表3表明,粉煤灰掺量为10%时,流动时间为42 s,拌和30 min后流过40 cm所用的时间为57 s,60 min后达到88 s,此时拌和物难以穿过流动仪的钢筋间隙,呈现离析状态,坍落度和扩展度损失相对较大;随着粉煤灰掺量增加,流动时间减小;粉煤灰掺量为30%时,开始测试时流过流动仪40 cm所用时间为17 s,拌和30 min后为24 s,拌和60 min后为49 s,且拌和物质量均匀,黏聚性较好,坍落度和扩展度基本没有损失.原因在于粉煤灰中球形颗粒的“形态效应”和“微集料效应”等作用效应(如图4所示),使得混凝土拌和物中颗粒级配更为合理,与水泥水化产物形成二次反应^[8],凝胶体的化学组成进一步改善.从表2和表3还可以看出,当粉煤灰用量达到35%时,拌和物变得相当黏稠,初始坍落度和扩展度明显降低,刚开始测试时的流动时间和测试后期的流动时间明显增长为19 s和65 s,拌和物流动性降低.因此,采用合理的粉煤灰用量是保证

HFLC 拌和物具有较好流动性能的关键。

3.2 硅灰掺量对 HFLC 拌和物性能的影响

保持粉煤灰用量 20% 不变,将水泥质量 2%、4% 和 6% 的硅灰掺加到混凝土拌和物中进行试验,试验结果如表 4 和表 5 所示。

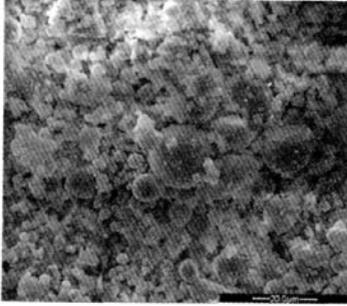


图 4 粉煤灰的作用效应

Fig.4 Effects of fly ash

表 4 不同硅灰掺量时 HFLC 拌和物的流动性能
Tab.4 Fluidity of HFLC mixtures with different silicon fume dosages

| 硅灰掺量/% | 测试时间 $t_{(40,7)}/s$ | | |
|--------|---------------------|--------|--------|
| | 0 min | 30 min | 60 min |
| 0 | 25 | 35 | 62 |
| 2 | 13 | 19 | 45 |
| 4 | 20 | 30 | 61 |
| 6 | 30 | 45 | 82 |

表 5 不同硅灰掺量时 HFLC 拌和物的部分性能指标

Tab.5 Partial performance indexes of HFLC mixtures with different silicon fume dosages

| 硅灰掺量/% | 坍落度/mm | | | 扩展度/(mm × mm) | | | 结果 |
|--------|--------|--------|--------|---------------|-----------|-----------|----|
| | 0 min | 30 min | 60 min | 0 min | 30 min | 60 min | |
| 0 | 270 | 250 | 245 | 605 × 625 | 605 × 605 | 605 × 590 | 流动 |
| 2 | 265 | 265 | 250 | 615 × 625 | 610 × 620 | 600 × 605 | 均匀 |
| 4 | 255 | 240 | 225 | 600 × 615 | 580 × 575 | 560 × 575 | 变黏 |
| 6 | 250 | 230 | 215 | 570 × 580 | 550 × 555 | 520 × 530 | 黏稠 |

表 4、表 5 表明,未掺加硅灰时,拌和物流动时间较长,扩展度损失虽然较小,但坍落度损失较大;当硅灰掺量为 2% 时,开始测试时流过流动仪 40 cm 所用的流动时间为 13 s;拌和 30 min 和 60 min 时,流动时间分别为 19 s 和 45 s,比不掺硅灰时少,混凝土拌和物坍落度和扩展度损失较小;这是因为混凝土拌和物中掺加硅灰后,在复合减水剂共同作用下,硅灰发挥“微填充效应”,硅灰颗粒填充在水泥颗粒之间,使包裹在水泥颗粒之间的水被释放出来,增加了拌和物的流动性;另外,硅灰吸附减水剂,使硅灰颗粒之间 Zeta 电位增加,硅灰颗粒被分散,拌和物流动性增加。但随着

硅灰掺量的逐渐增大,特别是硅灰掺量大于 4% 时,混凝土拌和物的黏聚性明显增加,流动性开始变差,此时,拌和物虽然不分层,轻骨料亦不上浮,但流动速度较慢。掺量达到 6% 时,拌和物变得非常黏稠,流动时间明显增加,坍落度和扩展度减小。所以,控制硅灰的用量对于保证拌和物流动性、节省成本具有重要意义。

4 结论

(1) 粉煤灰的“微集料效应”和“形态效应”能够改善 HFLC 拌和物的颗粒级配,增加流动性;外掺水泥总用量 30% 的 I 级粉煤灰后,拌和物性能明显改善,流动性能最好,坍落度和扩展度损失最小。

(2) 硅灰有助于 HFLC 拌和物黏性的提高,使拌和物更加密实,避免离析和分层,但过高掺量的硅灰会导致拌和物黏性过大,流动性降低,从而进一步影响拌和物的性能,较为合理的硅灰掺量为水泥总用量的 2%。

参考文献:

- [1] LO T Y, TANG P W C, CUI H Z, et al. Comparison of workability and mechanical properties of self-compacting lightweight concrete and normal self-compacting concrete [J]. Materials Research Innovations, 2007, 11(1): 16-17.
- [2] CHOI Y W, KIM Y J, SHIN H C, et al. An experimental research on the fluidity and mechanical properties of high-strength lightweight self-compacting concrete [J]. Cement and Concrete Research, 2006, 36(9): 1595-1602.
- [3] 曹永民,宋宏伟,王立久.免振捣自流平高性能轻骨料混凝土和高性能轻骨料混凝土的研究[J].混凝土, 2002, 157(11): 36-38.
- [4] 王振军.自密实轻骨料高性能混凝土的研究[D].西安:西安建筑科技大学 土木工程学院, 2004: 30-38.
- [5] KHAYAT K H. Workability, testing and performance of self-compacting concrete [J]. ACI Materials Journal, 1999, 96(5): 346-350.
- [6] AARON W S. New methodology for designing self-compacting concrete [J]. ACI Materials Journal, 2001, 98(6): 540-546.
- [7] 何廷树,宋学锋,詹美洲.膨胀剂对免振捣自密实混凝土性能的影响[J].长安大学学报:自然科学版, 2003, 23(6): 19-22.
- [8] 施养杭,袁双喜.高掺量粉煤灰混凝土性能试验研究[J].郑州大学学报:工学版, 2008, 29(4): 86-89.

(下转第 46 页)

- 公路结构体的应力强度因子[J]. 振动工程学报, 2003, 16(1): 114 - 118.
- [5] 王金昌, 朱向荣. 面层与基层层间摩擦系数对应力强度因子影响的研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(15): 2757 - 2764.
- [6] 黄志义, 潘伟兵, 徐兴, 等. 路面接触非线性特性研究[J]. 公路交通科技, 2005, 22(5): 1 - 4.
- [7] 谢水友, 郑传超. 轮胎接触压力对沥青路面结构的影响[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2004, 24(1): 12 - 16.
- [8] 乐金朝, 丁武洋, 谢丽. 路面结构裂缝应力强度因子数值计算[J]. 郑州大学学报: 工学版, 2002, 23(2): 41 - 43.
- [9] 毛成. 沥青路面裂缝形成机理及扩展行为研究[D]. 西南交通大学 土木工程学院, 2004: 81 - 132.
- [10] 中国航空研究院. 应力强度因子手册[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [11] 王宏畅, 李国芬, 黄晓明. 高等级沥青路面表面裂缝扩展规律及寿命研究[J]. 公路交通科技, 2007, 24(7): 10 - 14.

Analysis of Surface Crack Propagation of Asphalt Pavement

ZHANG Bei, LI Hai-long, GUO Cheng-chao, WANG Fu-ming

(School of Water Conservancy and Environment Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The usage limit of road decreases with the appearance of asphalt pavement early crack. In order to study the propagation behavior of asphalt pavement surface crack in use, the change law of the stress intensity factor K_{II} of surface crack was analyzed under moving load with the commerce FEM software ABAQUS based on fracture mechanics theory. The response of asphalt pavement with surface crack was studied under the condition of different crack depth and different frictional contact status between layers. The effects of pavement parameters such as surface thickness and surface modulus and base modulus on the crack propagation were discussed. Some theoretical reference was provided for the rational design of semi-rigid asphalt pavement and for the maintenance and rehabilitation of asphalt pavement.

Key words: stress intensity factor; surface crack; moving load; asphalt pavement; finite element

(上接第 41 页)

Influences of Mineral Admixtures on Performances of High Flowing Lightweight Concrete Mixtures

WANG Zhen-jun^{1,2}

(1. School of Materials Science, Chang'an University, Xi'an 710061, China; 2. Institute of Building Materials, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: In view of the phenomena that mixtures of lightweight concrete were prone to be in separation in condition of high fluidity, which resulted in the bad workability of mixtures, a mended L-800 rheological testing apparatus of concrete mixtures and the testing methods of concrete mixtures workability were adopted to study influences of mineral admixtures, fly ash and silicon fume, on workability of the mixtures of high flowing lightweight concrete (HFLC), such as the value of $t(40, T)$, which was the time when concrete mixtures flowing the length of 40 cm at the different time intervals, slump and spread values. The results indicate that the addition of the mineral admixtures is a key measure to make the mixtures have good performances and the optimal dosage of first grade fly ash and is 30% and 2% cement mass respectively.

Key words: high flowing lightweight concrete; mineral admixture; mixture; performance