

水灰比对轻骨料混凝土塑性收缩裂缝的影响*

杨长辉, 孙大明, 喻 晓

(重庆大学 建筑材料工程系, 重庆 400045)

摘要:研究了在水泥和骨料用量一定的条件下,轻骨料混凝土的塑性收缩裂缝特性,并与同配合比的普通混凝土进行比较。结果表明,轻骨料混凝土的水分蒸发量随水灰比增大而增大,且蒸发速率在2 h左右出现最大值。在低水灰比时,轻骨料混凝土塑性收缩裂缝面积较大,并在水灰比为0.40左右达到最大值,而后裂缝面积随水灰比增加而逐渐减小。

关键词:轻骨料混凝土; 塑性收缩; 蒸发速率

中图分类号: TU528.2

文献标识码: A

文章编号: 1006-7329(2004)03-0085-04

The Effect of Water - Cement Ratio on the Plastic Shrinkage Cracking of Lightweight Aggregate Concrete

YANG Chang - hui, SUN Da - ming, YU Xiao

(Department of Building Materials, Chongqing University, Chongqing 400045, P.R. China)

Abstract: In this paper, the characteristic of the plastic shrinkage cracking of the lightweight aggregate concrete (LWAC) was studied under the condition of prescribed quantity of cement and aggregate and was compared with that of the normal aggregate concrete (NC) with the same proportion of materials for the LWAC. The results suggested that the water evaporation quantity in the concrete became larger with the increase of w/c , and water evaporation velocity reached maximum value around two hours. When the water - cement ratio was low, the area of the plastic shrinkage cracking of LWAC was large and when w/c was 0.40, the area reached the maximum value and then became smaller with the increase of w/c .

Keywords: lightweight aggregate concrete; plastic shrinkage; evaporation velocity

混凝土裂缝已成为工程界普遍关注的问题。高温、干燥以及大风条件下浇筑的混凝土,由于其表面温度高,水分蒸发量大,往往在混凝土浇筑2~3 h^[1]内即在混凝土的表面出现开裂现象,这些裂缝的存在不仅影响了建筑物的外观,严重的还可能会对建筑物的安全性和使用寿命产生负面影响。这种早期裂缝与混凝土塑性收缩裂缝有关。有关混凝土塑性收缩裂缝的研究很多,但绝大部分研究的对象都是普通混凝土,有关轻骨料混凝土的塑性收缩裂缝研究却很少。

轻骨料混凝土具有轻质、高强以及良好的保温性能和抗震性能等,在过去的几十年,特别是最近20年,轻骨料混凝土在大跨度连续钢构桥梁中的应用得到普遍重视,取得了良好的技术经济效益。与普通骨料相比,轻骨料密度小,强度较低,制约变形的能力相对较弱,用其配制的混凝土塑性收缩特性应与普通混凝土有所不同。本文主要研究水灰比对轻骨料混凝土塑性收缩裂缝的影响。

1 原材料及试验方法

1.1 原材料

1) 水泥:重庆腾辉地维水泥有限公司产42.5R普通硅酸盐水泥,其水泥性能见表1。

* 收稿日期:2004-02-15

作者简介:杨长辉(1965-),男,湖北岳阳人,教授,主要从事建筑材料研究。

表 1 水泥性能

稠度 / %	初凝时间	终凝时间	安定性 (饼法)	抗折强度 / MPa		抗压强度 / MPa		比表面积 / $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$	密度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$
				3 d	28 d	3 d	28 d		
25.8	1:48	2:53	未见裂纹 未见翘曲	5.1	8.7	29.1	55.1	3 945	3.09

2) 细骨料:四川简阳中砂,细度模数为 2.40;

3) 粗骨料:湖北宜昌产高强页岩陶粒,其性能见表 2;碎石:重庆小泉石灰石碎石,粒径 5~20 mm,其中粒径 5~10 mm:10~20 mm=3:7(质量比)。

表 2 高强陶粒基本性能

粒型	堆积密度/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	表观密度/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	1 h 吸水率 / %	粒径 / mm	筒压强度 / MPa	强度等级
圆球	770	1 360	2.1	5~20	6.6	40

4) 减水剂:重庆江北特种建材有限公司生产的 FDN-O 型高效减水剂。

1.2 试验方法

测试混凝土塑性收缩裂缝的实验装置如图 1 所示。实验装置具有混凝土板件的特点,外形尺寸为 600 mm × 380 mm × 70 mm,用钢板制成;内部为用薄钢板制成约束装置,端约束生成器提供端约束,中心应力生成器促使裂缝的形成。测量裂缝宽度用刻度放大镜。试验持续时间为 5 h。5 h 后依据裂缝宽度情况,沿裂缝走势方向,将裂缝分成若干小段,再分别测定其长度 l_i 和裂缝宽度 d_i ,然后依据公式($\sum l_i \times d_i$)计算裂缝面积。

测试水分蒸发的模具,端面为正方形,面积 225 cm^2 ,高 7.0 cm 的长方体。用电子天平(精确度为 0.1 g)进行水分损失的称量,前后两次称量的差值即为水分蒸发量;水分蒸发量除以前后两次称量的时间间隔即为水分蒸发速率。

试验在室内控制条件下进行,温度为 30~35℃,相对湿度为 60%,风速为 8 m/s。

2 试验结果及讨论

混凝土配合比及试验结果分别见表 3,图 2、图 3 和图 4。其中,图 2 为水灰比对 5 时混凝土水分蒸发量的影响;图 3 为水灰比对蒸发速率的影响;图 4 为水灰比对混凝土塑性收缩裂缝的影响。

2.1 拌合物水分蒸发量及其蒸发速率

轻骨料混凝土和普通混凝土拌合物初期(5 h),水分蒸发量均随着水灰比的增大而提高,如图 2 所示。在混凝土配合比以及试验环境相当条件下,在有效水灰比较低时,普通混凝土的水分蒸发量低于轻骨料混凝土的水分蒸发量,而在水灰比较高时,结果正好相反。这种情况可能与轻骨料的吸水特性有关。一般,碎石在常压下吸水可以忽略不计,轻骨料则较大,试验测得轻骨料 1 h 吸水率达到 2.1%。但是,陶粒在混凝土中的吸水情况与其在水中的吸水情况有所不同^[2],表现为吸水率降低,一般仅为水中吸水率的 50%~70%^[3]。本研究中,附加水以“1 h 吸水率”计算,结果是轻骨料混凝土的实际水灰比大于有效水灰比。因而同条件下所含自由水必然多于普通混凝土中的自由水,再加上在低水灰比时,混凝土的整体性和粘聚性较好,骨料在基体中分布稳定,因而轻骨料混凝土的水分蒸发量稍高于普通混凝土的蒸发量。

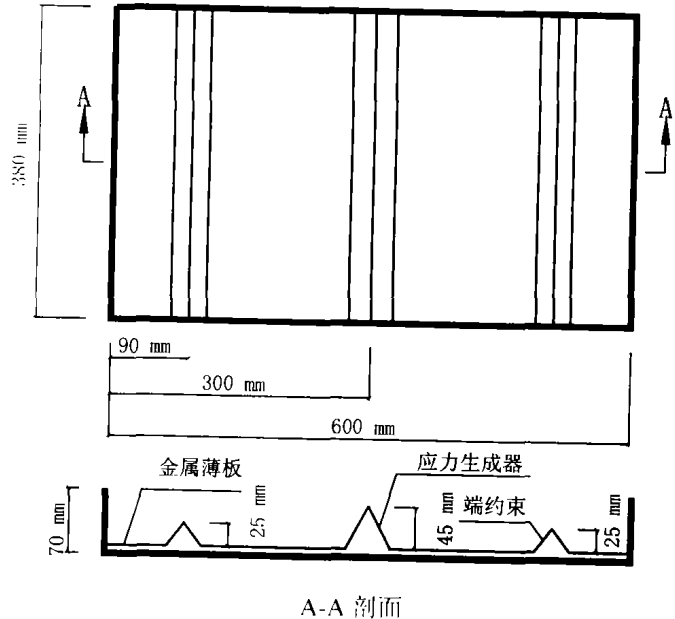


图 1 约束试验装置

表3 混凝土配合比

编号	配合比/kg·m ⁻³ C:LA:W:FDN	有效 水灰比	总水 灰比	初始坍落度/	初始扩展度/	最大裂缝宽/
				mm	cm × cm	mm
A-1	400:760:597:212.5:0	0.50	0.53	190	43 × 30	0.59
A-2	400:760:597:192.5:1.8	0.45	0.48	265	65.5 × 68	0.67
A-3	400:760:597:172.5:1.7	0.40	0.43	210	40 × 38	0.83
A-4	400:760:597:152.5:3.2	0.35	0.38	220	38.5 × 41	0.72
B-1	450:725:569:236.95:0	0.50	0.527	230	50 × 49	0.28
B-2	450:725:569:214.45:0	0.45	0.477	210	38 × 36.5	0.64
B-3	450:725:569:191.95:0	0.40	0.427	160	27 × 27.5	0.23
B-4	450:725:569:169.45:1.2	0.35	0.377	170	30 × 29.5	0.06
C-1	500:690:542:261.4:0	0.50	0.523	240	65 × 54	—
C-2	500:690:542:236.4:0	0.45	0.473	235	52 × 49.5	1.18
C-3	500:690:542:211.4:0	0.40	0.423	210	37 × 36	1.34
C-4	500:690:542:186.4:1.9	0.35	0.373	230	48 × 45	1.08
N-1	500:690:1076:250:0	0.50	—	235	57 × 51.5	0.76
N-2	500:690:1076:225:10	0.45	—	220	45 × 46	0.95
N-3	500:690:1076:200:2.1	0.40	—	220	41.5 × 40	0.84
N-4	500:690:1076:175:3.7	0.35	—	245	65 × 66.5	0.68

注:①A、B、C系列为轻骨料混凝土;N系列为普通混凝土;②陶粒未经预湿处理;③总水灰比=有效水灰比+陶粒1小时吸水量(陶粒用量×1h吸水率)/水泥用量;④用水量=水泥用量×总水灰比。

随着水灰比的增大,陶粒在混凝土中的吸水率也随之增大^[3],但仍低于“1h吸水率”。虽然轻骨料混凝土中的自由水还是多于普通混凝土中的自由水。但在水灰比较高时,混凝土的稠度降低,而塑性增大。在混凝土成型密实的过程中,混凝土外分层结构的差异便显露出来。对普通混凝土,密度较小的水、水泥浆及带有较小细骨料的水泥砂浆上浮,碎石及较大颗粒的细骨料及包裹它们的水泥浆下沉,造成混凝土整体的不均匀,形成了混凝土的外分层结构;对轻骨料混凝土,则是密度较小的轻骨料、水等上浮,水泥浆和砂下沉,造成混凝土整体的不均匀,形成了轻骨料混凝土的外分层结构。轻骨料的上浮,一方面抑制了泌水;另一方面使有效蒸发面积减小。因而在水灰比较高时,轻骨料混凝土的水分蒸发量低于普通混凝土。由此可见,在水灰比较高时,轻骨料混凝土的外分层结构为制约水分蒸发的主要因素。

水分蒸发速率图3(C)显示,混凝土水分蒸发速率在开始前2h左右逐渐增大,然后开始减少。这与混凝土中存在自由水的数量有关。混凝土成型初期,自由水较多,浆体粘度小,混凝土塑性较好,因而蒸发速率逐渐增大。

但随着水泥水化和水分蒸发的进行,混凝土塑性降低,混凝土中的自由水逐渐减小,蒸发速率随之减小。水灰比较高时,混凝土中所含自由水较多,其在同时段的水分蒸发速率也较大,这从图3中也可以看出。但水灰比为0.50的轻骨料混凝土在成型大约3.5h后,其水分蒸发速率陡然降低,甚至低于其余低水灰比的轻骨料混凝土,这可能与轻骨料混凝土外分层结构制约水的蒸发有关。

2.2 塑性收缩裂缝面积

由图4中A、B、C三组拌合物的塑性收缩裂缝面积图可以看出,当w/c < 0.40时,裂缝面积随水灰

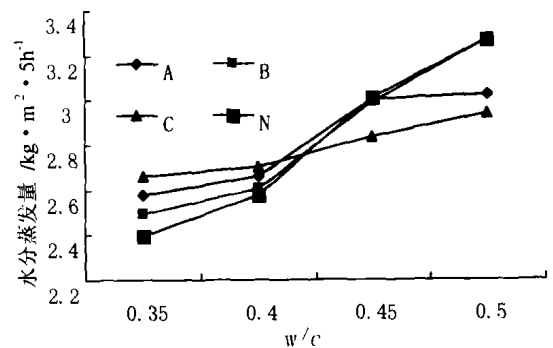


图2 水灰比对混凝土水分蒸发量(5h)的影响

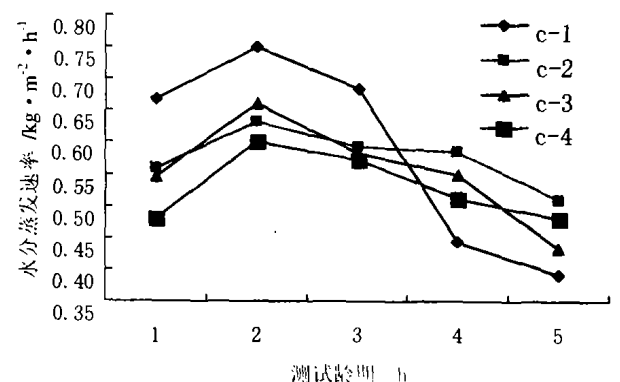


图3 不同水灰比条件下水分瞬时蒸发速率

比的增大而增大,但较缓和;当 $w/c > 0.40$ 时,裂缝面积随水灰比的增大而显著减小;在 $w/c = 0.40$ 时,裂缝面积达到最大。

水灰比较低时,粒子之间的距离相对较小,塑性收缩仅能产生相对较小的体积收缩,同时在低水灰比情况下,未水化的水泥颗粒较多。按照中心质假说^[4],未水化的水泥颗粒在粒子间距较小时会产生有利的中心质效应,有利的中心质效应减少了界面过渡层的薄弱环节,这是抵抗塑性收缩有利的两个方面。但水灰比较低,粒子间距较小时,毛细管压力相当的大,同时由于水分的蒸发,混凝土中的水分减少,水泥的水化程度降低,相对于毛细压力发展速度,混凝土强度增长特别是抗拉强度增长缓慢,不足以抵抗毛细压力的破坏作用。在这种不利和有利因素的综合制约下,毛细压力破坏作用上升为主要作用,因而使其产生较大的塑性收缩,故收缩裂缝面积较大。随着水灰比的增大,混凝土体系中可用于蒸发的自由水增多,蒸发速率加快,但此时混凝土的整体性和粘聚性降低,在这种情况下,裂缝面积还将有所增大。在水灰比达到较高时,裂缝面积减小,其可能的原因是可用于蒸发的自由水增多,但关键是毛细管压力发展缓慢的缘故。待毛细压力发展到破坏压力时,混凝土已具备一定的强度足以与之相抗衡。因而裂缝面积较小,甚至出现不开裂的情形。

在混凝土配合比以及试验环境相当条件下,普通混凝土的裂缝趋势与轻骨料混凝土不同,这可以从图 4 中的 C 和 N 系列可以看出。在研究的水灰比范围内,普通混凝土的塑性收缩裂缝面积随水灰比的增大而增大,这与王川的结论^[5]基本一致,但塑性收缩裂缝面积均大于同配合比的轻骨料混凝土。其可能的原因为,在普通混凝土中,由于水泥石和骨料两相的弹性模量相差较大,因而在两相的界面处容易出现应力集中现象;而在轻骨料混凝土中,水泥石与骨料两相的弹性模量却相当,因而在此两相的界面处不易出现应力集中的现象;其次从骨料和水泥石的界面区域^[6~8]来考虑,轻骨料表面存在孔隙,提高了骨料和基体的粘结强度,对裂缝的发展有抑制作用;另一方面,人造骨料一般属于烧结粘土质材料,经过高温煅烧,表面具有一定的活性,特别是粉煤灰陶粒,能与水泥石中的氢氧化钙发生化学反应,且粘结强度更高,因而轻骨料和水泥石的粘结力要比碎石和水泥石的粘结力强。在某种程度上,裂缝相对于普通混凝土而言要少些。

在混凝土配合比以及试验环境相当条件下,普通混凝土的裂缝趋势与轻骨料混凝土不同,这可以从图 4 中的 C 和 N 系列可以看出。在研究的水灰比范围内,普通混凝土的塑性收缩裂缝面积随水灰比的增大而增大,这与王川的结论^[5]基本一致,但塑性收缩裂缝面积均大于同配合比的轻骨料混凝土。其可能的原因为,在普通混凝土中,由于水泥石和骨料两相的弹性模量相差较大,因而在两相的界面处容易出现应力集中现象;而在轻骨料混凝土中,水泥石与骨料两相的弹性模量却相当,因而在此两相的界面处不易出现应力集中的现象;其次从骨料和水泥石的界面区域^[6~8]来考虑,轻骨料表面存在孔隙,提高了骨料和基体的粘结强度,对裂缝的发展有抑制作用;另一方面,人造骨料一般属于烧结粘土质材料,经过高温煅烧,表面具有一定的活性,特别是粉煤灰陶粒,能与水泥石中的氢氧化钙发生化学反应,且粘结强度更高,因而轻骨料和水泥石的粘结力要比碎石和水泥石的粘结力强。在某种程度上,裂缝相对于普通混凝土而言要少些。

3 结论

1) 水泥和骨料用量一定时,混凝土水分蒸发量随水灰比增大而增大。与同配合比的普通混凝土相比较,在水灰比较低时,轻骨料的吸水特性是影响蒸发量的主要因素,轻骨料混凝土的水分蒸发量高于普通混凝土的蒸发量;而在水灰比较高时,混凝土的整体性,特别是外分层结构对水分蒸发量起主导作用使轻骨料混凝土的水分蒸发量反而比普通混凝土的蒸发量低。试验所得临界水灰比为 0.40。

2) 轻骨料混凝土的水分蒸发速率在拌制之初 2 h 内逐渐增大,并在 2 h 左右达到最大值,达到最大蒸发速率的时间与混凝土开裂的时间基本吻合。此后,由于拌合物自由水减少,蒸发速率逐渐降低。此外,蒸发速率随水灰比的增大而增大,但水灰比较高的轻骨料混凝土,其在后期的蒸发速率可能会因为有效蒸发面积的减少而较低。

3) 在试验的水灰比范围内,轻骨料混凝土在水灰比较低时,裂缝面积较大,并在水灰比为 0.40 时达到最大值,此后随水灰比的增大而降低。

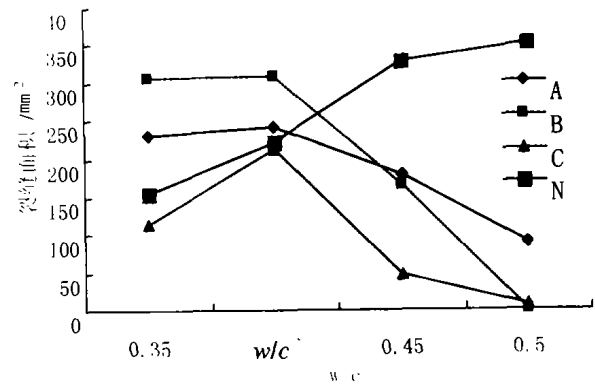


图 4 水灰比对塑性收缩裂缝的影响

性能等级分别为 PG52 - 22、PG70 - 22、PG70 - 22、PG70 - 22,可见,SBS 的掺入使基质沥青的高温性能提高了 3 个等级,而在低温性能方面,基质沥青和三种 SBS 改性沥青均为 PG - 22,改性剂的掺入并没有对基质沥青的低温性能产生实质性的影响,这与本试验研究得到的结果基本类似。

3 结语

在我国,由于用于铺筑高等级沥青路面的优质石油沥青数量严重不足,很多单位都在致力于研发 SBS 改性沥青,但应该清醒地看到,SBS 改性沥青虽然对提高沥青路面的高温稳定性、耐久性、抗水损害性、抗滑减噪性等方面有程度不同的贡献。但是 SBS 改性沥青并非万能的道路铺装材料。就本研究试验结果来看,采用 SBS 作改性剂,使用共存共融的物理改性方法难以使基质沥青的低温抗裂性能有实质性的改善。

参考文献:

- [1] 沈金安. 沥青及沥青混合料路用性能[M]. 北京:人民出版社,2001.
- [2] AASHTO Provisional Standards[S]. Interim Edition. 1999.
- [3] 袁宏伟. 道路沥青改性剂的试验评价[J]. 石油沥青,2003,(17,增刊):137 - 141.
- [4] 沈金安. 90 年代道路沥青研究的热门课题[J]. 中国公路学报,1995,(8):21 - 27.

(上接第 88 页)

参考文献:

- [1] 陈翠红,王元. 大流动态混凝土早期裂缝原因分析及控制措施[J]. 混凝土,2003,(5):33 - 34.
- [2] Min - Hong Zhang, Odd E. Gjov. Microstructure of the Interfacial Zone[J]. Cement and Concrete Research, 1990, 20:610 - 618.
- [3] 唐笑. 高强陶粒吸水特性研究[D]. 重庆:重庆大学,2003.
- [4] 吴中伟. 水泥基复合材料的界面问题[J]. 武汉建材学院学报,1982,2:14 - 16.
- [5] 王川. 大流动性混凝土塑性收缩裂缝研究[D]. 重庆:重庆大学,2002.
- [6] R. Wasserman, A. Bentur. Interactions Interactions in Lightweight Aggregate Concrete and their Influence on the Concrete Strength [J]. Cement and Concrete Composites, 1996, 18:67 - 76.
- [7] Satish Chandra, Leif Berntsson. Interdependence of Microstructure and Strength of Structural Lightweight Aggregate Concrete[J]. Cement & Concrete Composites, 1992, 14:239 - 248.
- [8] Alexander M. Vaysburd. Durability of Lightweight Concrete Bridges in Severe Environments[J]. Concrete International, 1996, 67:33 - 38.