

粗骨料对轻骨料混凝土塑性收缩裂缝的影响

孙大明¹, 何兵², 吴芳¹, 喻骁¹

(1.重庆大学 建筑材料工程系, 重庆 400045; 2.重庆市工程公路质量检测中心, 重庆 400000)

摘要:轻骨料级配以及含水率影响用其配制的混凝土的塑性收缩裂缝。试验结果表明,轻骨料单粒级粒径增大,则骨料吸水率和新拌混凝土水分蒸发量均增大,而裂缝面积却随之减小;此外,高含水率轻骨料更有利于抑制混凝土早期塑性收缩开裂。

关键词:轻骨料; 级配; 塑性收缩

中图分类号: TU528.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-7329(2004)04-0088-04

Effect of Coarse Aggregate on Characteristics of Plastic Shrinkage Cracking of Lightweight Aggregate Concrete

SUN Da-ming¹, HE Bing², WU Fang¹, YU Xiao¹

(1. Department of Building Materials, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China; 2. Chongqing Highway Engineering Quality Inspection Center, Chongqing 400000, P. R. China)

Abstract: The grading of lightweight aggregate (LA) and its water content has an effect on the plastic shrinkage cracking of lightweight aggregate concrete (LWAC). Test results show that the water absorption of LA and the water evaporation of the concrete increased with the increment of cubage of LA, but the area of plastic shrinkage cracking of LWAC decreased. Besides, LA with high water content is beneficial to restraining the plastic shrinkage cracking of LWAC.

Keywords: lightweight aggregate; grading of aggregate; plastic shrinkage

塑性收缩是指混凝土处于半流态或塑性阶段时,由于沉降运动、毛细压力、早期化学收缩以及自收缩等原因而引起的一种体积变化。当混凝土塑性收缩受到约束且所产生的约束力超过混凝土抗拉应力时,将导致混凝土开裂。水泥基材料的塑性收缩开裂性能受到配制参数、掺加材料以及环境三个方面因素的影响。塑性收缩是水泥基材料的固有属性,国内外大量的研究及工程实践表明^[1-3],采取适当措施可以降低水泥基材料开裂的可能性。

轻骨料混凝土无论是使用年限,还是用量以及使用规模方面都不及普通混凝土,以至于对轻骨料混凝土的塑性收缩裂缝研究甚少。近年来,轻骨料混凝土用量日益增大,使用范围不断扩大,加强对其塑性收缩裂缝的研究对指导工程应用具有重要意义,本文主要研究骨料粒径以及含水率对混凝土塑性收缩裂缝面积的影响。

1 试验

1.1 试验原材料

水泥:重庆腾辉地维水泥有限公司产 42.5R 普通硅酸盐水泥;细骨料:四川简阳中砂,细度模数为 2.40;粗骨料:湖北宜昌产高强页岩陶粒,其性能见表 1;水:自来水;减水剂:重庆江北特种建材有限公司

* 收稿日期:2004-02-07

作者简介:孙大明(1978-),男,江苏省东台人,硕士生,主要从事建筑材料研究。

司生产的 FDN-O 型高效减水剂。

表1 高强陶粒基本性能

粒型	堆积密度	表观密度	1 h 吸水率	粒径/mm	筒压强度	强度等级
圆球	770 kg·m ⁻³	1 360 kg·m ⁻³	2.1%	5~20	6.6 MPa	40

1.2 试验方法

试验所用装置、裂缝面积测定以及试验环境条件,详见文献^[4];水分蒸发量为5 h 蒸发量,其值为试验前后混凝土质量的变化量。

2 试验结果与讨论

2.1 陶粒级配对轻骨料混凝土塑性收缩裂缝的影响

为比较不同粒径陶粒对混凝土塑性收缩开裂的影响,试验测试了3个粒径陶粒所配制混凝土的塑性收缩裂缝面积。陶粒粒径分别为5~10 mm、10~16 mm 以及16~20 mm,并与连续级配5~20 mm 陶粒配制的混凝土进行了对比。混凝土配合比及测试结果见表2,图1和图2。

表2 混凝土配合比及相关性能试验结果

编号	混凝土材料用量/kg·m ⁻³					有效水灰比	总水灰比	坍落度/mm	扩展度/ cm × cm	裂缝宽最 值/mm
	水泥	砂	陶粒	水	FDN					
H-I	420	815	521	174.8	1.325	0.40	0.416	160	26.5 × 28	1.23
H-II	420	815	521	182.6	1.375	0.40	0.435	175	29.5 × 31	1.17
H-III	420	815	521	186.2	2.61	0.40	0.443	125	26 × 24	0.78
H-H	420	815	521	178.9	1.98	0.40	0.426	165	31 × 32	0.93
T-I	450	725	569	164.9	2.905	0.35	0.366	195	35 × 37.5	1.32
T-II	450	725	569	173.4	3.35	0.35	0.385	185	33 × 32	0.55
T-III	450	725	569	177.4	3.89	0.35	0.394	65	—	0.63
T-T	450	725	569	169.5	2.515	0.35	0.377	175	31 × 32.5	0.55
P-I	480	689	541	189.4	2.29	0.38	0.395	120	20 × 21	0.75
P-II	480	689	541	197.5	2.97	0.38	0.411	160	26.5 × 28	0.83
P-III	480	689	541	201.3	3.63	0.38	0.419	185	33 × 34.5	0.37
P-P	480	689	541	193.8	3.27	0.38	0.404	190	36.5 × 37	0.54

注:陶粒:I—5~10 mm; II—10~16 mm; III—16~20 mm; H-H, T-T 和 P-P 为5~20 mm。

2.1.1 不同粒径陶粒吸水率 陶粒粒径不同,则其吸水率也不同,从表3可以看出,陶粒1 h 吸水率随陶粒粒径的增大而增大。粒径为16~20 mm 陶粒的吸水率分别为粒径是5~10 mm 和10~16 mm 陶粒吸水率的269%和125%。

陶粒属人造轻骨料,虽然外表有一层较为致密的外壳,但其表面仍有大量的开口孔。在高温煅烧的过程中,陶粒内部发生膨胀,孔隙率增大,陶粒粒径越大,膨胀亦越大,出现贯通开口孔的可能性较大。

表3 不同粒径陶粒在常压下的吸水率

陶粒粒径/mm	5~10	10~16	16~20	5~20
1 h 吸水率/%	1.3	2.8	3.5	2.1

2.1.2 拌合物水分蒸发量 三种粒径陶粒所配制混凝土拌合物的水分蒸发量如图1所示,三个系列拌合物水分蒸发量变化趋势一致。本试验所用陶粒未经预湿处理,附加水按“1 h 吸水率”计算,大粒径陶粒吸水率较大,在相同的配合比条件下,用其配制混凝土所添加的附加水较多。由于陶粒在混凝土中的吸水率低于其在水中的吸水率,从而使大粒径陶粒混凝土自由水较多,导致同时段内混凝土拌合物水分蒸发量较大。以H系列为例,在有效水灰比同为0.40时,用16~20 mm 的陶粒配制一方混凝土就比用5~10 mm 的陶粒配制的混凝土需多加水7.8 kg。由于这部分“额外”水并没有完全被陶粒所吸收,其结果是,大粒径轻骨料混凝土总水灰比较大,可蒸发用水量增多,因而蒸发速率大。

2.1.3 塑性收缩裂缝面积 由图2可看出,拌合物塑性收缩裂缝面积随陶粒单粒级粒径增大而显著减小,三系列拌合物中轻骨料粒径为16~20 mm 时对应的混凝土塑性收缩裂缝面积最小。

用大粒径骨料配制的混凝土,由于附加水的原因,一方面使可用于蒸发的自由水增多;另一方面使混凝土总水灰比增大,毛细管压力发展较为缓慢,待毛细管压力发展到破坏压力时,混凝土已具备一定的强度与之抗衡,因而裂缝面积较小。其次,轻骨料混凝土塑性收缩裂缝面积与骨料的颗粒强度存在重要的关系。大粒径骨料与小颗粒骨料相比,由于颗粒膨胀率和孔隙率较大,颗粒强度降低,弹性模量也较小,但这与早期水泥石弹性模量更相当,在界面处更不易出现应力集中的现象^[5],因而塑性收缩裂缝面积小。如图 2 所示,用 5~20 mm 连续级配的陶粒配制的混凝土的裂缝面积高于 16~20 mm 单粒径陶粒混凝土,但低于其它粒径的骨料配制的混凝土的裂缝面积,如图 2 所示。

对照图 1 和图 2 可以看出,单粒径陶粒所配混凝土的总裂缝面积随水分蒸发量的增大而降低。

2.2 陶粒含水率对轻骨料混凝土塑性收缩裂缝的影响

为考察陶粒含水率对塑性收缩裂缝的影响,试验研究了 5~20 mm 连续粒级陶粒经不同时间浸水处理后所配混凝土的塑性收缩裂缝面积。混凝土配合比及测试结果分别见表 4 和图 3~图 5。

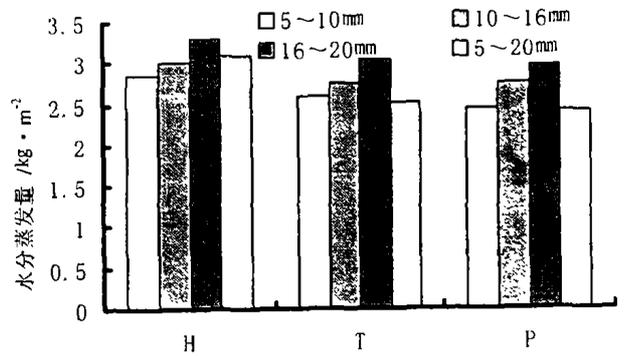


图 1 骨料粒径对水分蒸发量的影响

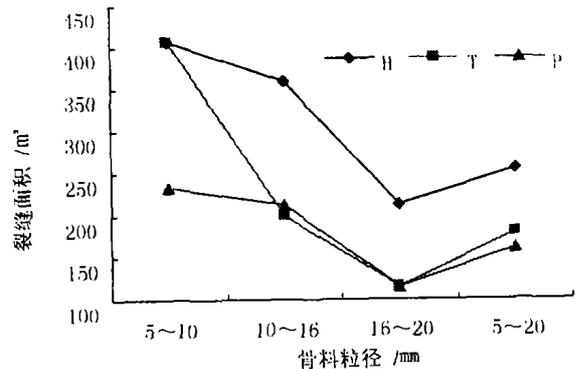


图 2 骨料粒径对塑性收缩裂缝面积的影响

表 4 混凝土配合比及相关性能试验结果

编号	每立方米混凝土材料用量/kg					有效水灰比	坍落度/mm	扩展度/ cm × cm	裂缝宽最 值/mm
	水泥	砂	陶粒	水	FDN				
X-0d	400	822	526	179	1.56	0.42	130	—	0.67
X-1d	400	822	526	168	1.45	0.42	175	31.5 × 33	0.91
X-7d	400	822	526	168	0.96	0.42	180	30 × 32	0.53
Y-0d	450	711	558	182.7	2.37	0.38	200	35 × 36	1.31
Y-1d	450	711	558	171	1.91	0.38	185	30.5 × 33	1.43
Y-7d	450	711	558	171	1.45	0.38	165	29.5 × 30	0.69
Z-0d	500	690	542	186.4	1.97	0.35	165	28.5 × 29	0.74
Z-1d	500	690	542	175	1.54	0.35	180	32 × 34	0.61
Z-7d	500	690	542	175	1.67	0.35	180	29.5 × 31	0.63

备注: 0d, 1d 和 7d 分别表示陶粒未水处理, 饱水 1 天和饱水 7 天。

2.2.1 陶粒常压下吸水率随时间的关系 经高温煅烧的陶粒,其内部的孔隙由开口的大孔、毛细孔和封闭孔组成,尽管外表致密,但其表面仍有大量的开口孔。当陶粒浸泡在水中时,由于毛细压力作用,水会进入颗粒孔隙中而表现为陶粒的吸水。陶粒在常压下的吸水率随时间的变化见图 3 所示。

陶粒浸泡在水中,在毛细压力的作用下,陶粒中开口孔开始吸水,水进入颗粒孔隙中。在吸水过程中,部分孔隙和毛细孔内的气体排出体外,而部分孔隙内的气体由于在水的表面张力所形成的毛细管压力作用下被挤压在陶粒内部相互贯通的孔隙中。这部分气体因毛细管压力作用被压缩而产生一定的微压,随着吸水量的增加,孔隙内被密闭空气压力增加,当密闭空气

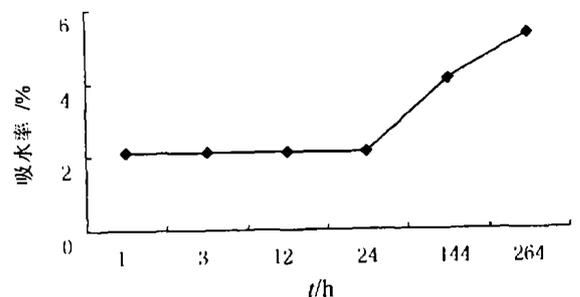


图 3 陶粒常压下吸水率与时间的关系

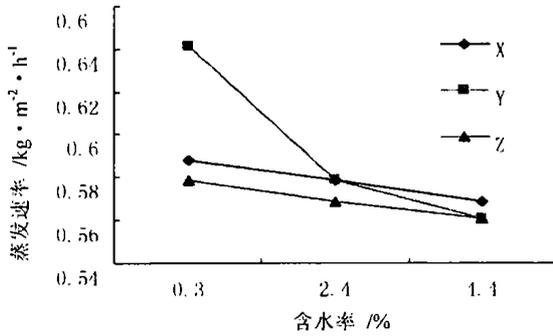


图4 陶粒含水率对蒸发速率的影响

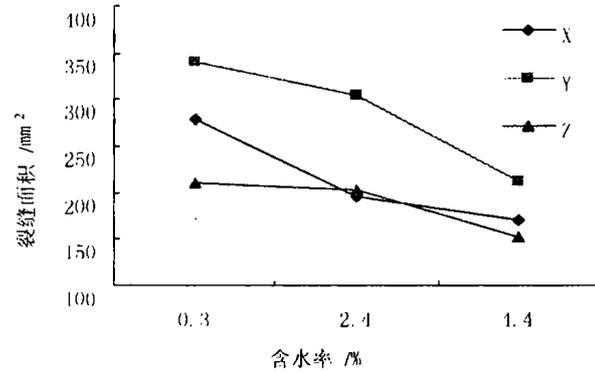


图5 陶粒含水率对塑性收缩裂缝面积的影响

的压力与毛细压力接近平衡时,陶粒吸水的过程将逐渐变缓而趋于稳定。从图3可以看出,在前24 h,陶粒吸水量一直维持在一恒定的值而没有变化。随着时间的推移,部分密闭的空气逸出或溶解在水中,密闭空气的压力有所减小,破坏了业已存在的压力平衡系统,其结果必将导致陶粒继续吸水,因而表现为陶粒继续吸水,陶粒吸水率增大。

2.2.2 陶粒含水率对拌合物水分蒸发速率的影响 从图4水分蒸发速率图可以看出,轻骨料混凝土水分蒸发速率随骨料含水率的提高而降低。

未预湿陶粒配制的混凝土水分蒸发速率高于预湿陶粒配制的混凝土水分蒸发速率,主要是因为附加水所致。而对于饱水陶粒,混凝土水分蒸发速率却随陶粒饱水程度的提高而降低,可能是因为陶粒放水“微泵”效应^[6]随陶粒饱水程度的提高而存在滞后性的缘故。陶粒“微泵”效应,表现为既能从水泥系统中吸水,又能将陶粒孔隙中所蓄水分返还给水泥系统。陶粒放水的“微泵”过程在外界环境相同的情况下,在很大程度上取决于陶粒内部的动力。高饱水陶粒由于内部部分被密闭的空气已逸出或溶解于水中,甚至有些孔隙已贯通。因此,低饱水陶粒内部将水向外驱赶的动力高于高饱水陶粒,这样低饱水陶粒会提前将部分水转移到水泥系统中,而起初转移的这部分水,量虽少,但多用于蒸发,而不像后期释放的水大多用于水化和混凝土自身的潮湿养护而有所区别,所以很可能出现低饱水陶粒混凝土的水分蒸发速率略高于高饱水陶粒混凝土蒸发速率。

2.2.3 陶粒含水率对塑性裂缝的影响 从图5可以看出,陶粒的饱水程度越高,拌合物的塑性收缩裂缝面积越小。这主要是因为陶粒的“微泵”所致。陶粒在混凝土中的“微泵”作用分为两个阶段:第一阶段发生在混凝土的搅拌、运输、浇筑以及成型等过程中,大致在水泥浆初凝以前,表现为陶粒从水泥浆中吸取水分,使浆体局部水灰比减小,即主要为“自真空”和“自密实”作用;第二阶段发生在混凝土凝固硬化以及日后的养护和使用过程中,表现为水分在外部和内部的压力作用下会从陶粒孔隙中返还部分给水泥浆体,以供水泥颗粒继续和深入水化之用,即为“自润湿”“自养护”作用。拌和前预先饱水的陶粒,有可能不参与第一阶段的“微泵”作用,但在混凝土的双重微孔微管系统^[7]的作用下,随着水泥水化的进行以及环境条件的变化也能发挥“微泵”效应,但不及在第二阶段显著。

陶粒在混凝土的“微泵”效应是一个持久而缓慢的过程,它将随着水泥的水化进程而继续下去。陶粒的饱水程度越高,则其释水过程更长,同时所释水的量也将更多,使得陶粒与砂浆界面以及基体的水泥水化程度提高,能优化骨料与基体的界面,提高界面粘结力,因而拌合物裂缝面积较小。

综上所述,在陶粒预先水处理的情况下,水分蒸发速率随陶粒饱水程度的提高而降低,而裂缝面积随蒸发速率的降低而减小。

- Hall, 1993, 35 - 54.

- [2] Zell. S. Modern Sardine Management[M]. Real Estate Issue, 11 (Spring/Summer), 1986, 1 - 5.
- [3] 郭建强. 再议泡沫经济及其生成条件[J]. 山西高等社会科学学报, 2000, (10): 17 - 19.
- [4] 李晓西, 杨琳. 虚拟经济、泡沫经济与实体经济[J]. 财贸经济, 2000, (6): 5 - 11.
- [5] 李翀. 论泡沫经济形成的原因、效应和危害[J]. 求索, 2001, (5): 12 - 15.
- [6] 王子明. 泡沫与泡沫经济非均衡分析[M]. 北京: 北京大学出版社, 2002.
- [7] 颜哲, 任波. 房地产与泡沫经济[A]. 房地产经济与管理[C]. 北京: 中国人民大学出版社, 1997.

(上接第 91 页)

3 结论

1) 骨料粒径增大, 其吸水率以及混凝土水分蒸发速率随之增大, 而拌合物塑性收缩裂缝面积减小。

2) 陶粒浸水处理后, 陶粒含水率增大, 且浸泡时间越长, 含水率越大, 用其配制的混凝土较未预湿陶粒配制的混凝土水分蒸发速率小, 塑性收缩裂缝面积也较小。

3) 单粒径大颗粒陶粒以及高含水率陶粒配制混凝土时, 由于陶粒的“微泵”效应, 能够有效地抑制混凝土早期塑性收缩开裂。但考虑到陶粒的强度、骨料的生产以及混凝土性能的要求, 骨料尽量选用 5 ~ 20 mm 的连续级配, 且宜在拌制混凝土之前对骨料进行预湿处理。

参考文献:

- [1] Pariv Soroushian and Siavosh Ravanbakhsh, Control of Plastic Shrinkage Cracking with Specialty Cellulose Fibers[J]. ACI Materials Journal, July - Aug. 1998: 429 - 435.
- [2] Miroslaw Grzybowski and Surendra P. Shah, Shrinkage Cracking of Fiber Reinforced[J]. ACI Materials Journal, Mar. - April 1990: 138 - 148.
- [3] 吴芳, 蔡贵生, 杨长辉. 聚丙烯纤维控制特细砂混凝土塑性收缩裂缝试验研究[J]. 重庆建筑大学学报, 2003, 25(5): 81 - 86.
- [4] 杨长辉, 孙大明, 喻骁. 水灰比对轻骨料混凝土塑性收缩裂缝的影响[J]. 重庆建筑大学学报, 2004, 26(3): 85 - 89.
- [5] Alexander M. Vaysburd, Durability of Lightweight Concrete Bridges in Severe Environments[J]. Concrete International, July 1996, 33 - 38.
- [6] 唐笑. 高强陶粒吸水特性研究[D]. 重庆: 重庆大学硕士学位论文, 2003.
- [7] 混凝土学. 高校试用教材[Z]. 北京: 中国建工出版社, 1981, 137 - 141.