

文章编号: 1673-9469 (2019) 02-0025-03

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2019.02.006

## 养护条件对再生混凝土抗压与收缩性能的影响研究

张冰, 安新正, 马晓楠

(河北工程大学土木工程学院, 河北邯郸 056038)

**摘要:** 为研究不同养护条件下全再生粗骨料再生混凝土的抗压性能和收缩性能, 试验采用了薄膜覆盖养护、干湿循环养护和浸水养护3种养护条件, 在这三种养护条件下进行了1 d、3 d、7 d、14 d、28 d、45 d、60 d、90 d和120 d的再生混凝土抗压强度与收缩性能研究。结果表明: 在3种不同的养护条件下, 随着养护龄期的增长, 再生混凝土的抗压强度和收缩应变不断增加。7 d时再生混凝土抗压强度在3种养护条件下区别不明显, 14 d时薄膜覆盖养护和浸水养护与干湿循环养护的抗压强度相比分别降低了8.7%和14.2%; 3种养护条件下再生混凝土90 d时的收缩应变均趋于稳定, 120 d时薄膜覆盖养护较干湿循环养护的收缩应变增加了11.18%, 浸水养护呈现湿胀现象。

**关键词:** 不同养护条件; 再生混凝土; 抗压强度; 收缩性能

**中图分类号:** TU528

**文献标识码:** A

## Effect of Curing Conditions on Compressive and Shrinkage Properties of Recycled Concrete

ZHANG Bing, AN Xinzheng, MA Xiaonan

(College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Handan, Hebei, 056038, China)

**Abstract:** In order to investigate the compressive and shrinkage properties of fully reclaimed coarse aggregate recycled concrete under different curing conditions, three kinds of curing conditions were used in this experiment: film covering curing, dry and wet circulation curing and water immersion curing. Experimental study on compressive strength and shrinkage properties of recycled concrete with 1 d, 3 d, 7 d, 14 d, 28 d, 45 d, 60 d, 90 d and 120 d was carried out under these three curing conditions. The results show that under these three different curing conditions, the compressive strength and shrinkage strain of recycled concrete increase with the increase of curing age. At 7 d, the compressive strength of recycled concrete was not significantly different under the three curing conditions. At 14 d, the film coverage and immersion maintenance were reduced by 8.7% and 14.2% respectively compared with the compressive strength of dry and wet circulation curing. Under the three curing conditions, the shrinkage strain of recycled concrete at 90d tends to be stable. At 120 d, the shrinkage strain of the film covering curing is 11.18% higher than that of the dry and wet cycle. The immersion curing shows swelling.

**Key words:** different curing conditions; recycled concrete; compressive strength; shrinkage performance

为满足工程设计的要求, 对浇筑混凝土进行养护是必要的<sup>[1]</sup>。一方面, 对于混凝土抗压强度的研究现在大多学者主要是集中在粗骨料的取代率、矿物掺合料的取代率、纤维掺量等方面<sup>[2-4]</sup>, 而相关不

同养护条件下的再生混凝土抗压强度方面的研究却少有根寻。另一方面, 混凝土的收缩变形是影响混凝土开裂的主要因素, 也是限制再生混凝土在结构中广泛应用的因素之一<sup>[5]</sup>。在新型混凝土材料

收稿日期: 2019-03-03

基金项目: 河北省自然科学基金资助项目(E2015204111); 河北省科学技术研究与发展计划资助项目(152736091)

作者简介: 张冰(1994-), 女, 河北邢台人, 硕士研究生, 主要从事再生混凝土性能与设计的研究工作。

的研究领域,收缩变形问题始终是学术与工程界关注的重点,因为混凝土一旦开裂,则会大大降低结构的耐久性,威胁到结构的安全,尽管目前有大量学者研究混凝土的收缩变形问题<sup>[6-9]</sup>,但研究不同养护条件对混凝土收缩变形影响的较少。因此研究不同养护条件下再生混凝土的抗压强度和收缩变形性能具有工程与现实意义。

本文采用薄膜覆盖养护、干湿循环养护和浸水养护3种不同的养护条件,研究了不同养护条件对再生混凝土抗压强度及收缩变形性能的影响,可为再生混凝土在工程上科学合理的应用提供有益参考。

## 1 试验概况

### 1.1 试验原材料

水泥:采用太行山P·O 42.5级普通硅酸盐水泥;细骨料:采用天然河砂,细度模数为2.3,含泥量为0.75%;水:采用邯郸市饮用自来水;减水剂:采用聚羧酸高效减水剂;粗骨料:采用邯郸市全有生态建材有限公司提供的富含砖粒的再生粗骨料,粒径为5~25 mm,级配良好,堆积密度1 150 kg/m<sup>3</sup>,表观密度2 040 kg/m<sup>3</sup>,24 h吸水率为16%。

### 1.2 再生混凝土配合比与试件制作

基于普通混凝土配合比设计,考虑到再生粗骨料吸水率较大的特点,在配置时增加了附加用水量以保证再生混凝土的工作性能,再生混凝土配合比详见表1。

表1 再生混凝土的配合比

Tab.1 Mix proportions of recycled concrete mixtures

水灰比	材料用量/(kg·m <sup>-3</sup> )				
	水	水泥	细骨料	粗骨料	附加用水量
0.49	161	329	641	922	110.64

再生混凝土采用强制搅拌机拌制,其生产工艺为:先加入再生粗骨料和附加用水量搅拌60 s,进行混凝土预吸水,然后再加入细骨料→水泥→50%的用水量→减水剂后搅拌70 s,最后加入剩余用水量,搅拌120 s后停止。搅拌完成后注入试件模具中,其中对于抗压强度试验,共制作了81个100 mm×100 mm×100 mm的立方体试块,编号分别表示为BM(1-27)、GS(1-27)、JS(1-27),对于收缩性能试验共制作了9个100 mm×100 mm×515 mm

的棱柱体试件,编号分别表示为BM-1、BM-2、BM-3、GS-1、GS-2、GS-3、JS-1、JS-2、JS-3。

### 1.3 再生混凝土的养护

再生混凝土试块和试件浇筑24 h后立即拆模,进行薄膜覆盖养护、干湿循环养护和浸水养护(始终保持水面没过试件10 cm),当龄期达到1 d、3 d、7 d、14 d、28 d、45 d、60 d、90 d、120 d后,分别进行再生混凝土的抗压强度和收缩变形试验[10]。

### 1.4 试件试验设计

#### 1.4.1 抗压强度的试验设计

对达到养护时间要求的BM(1-27)、GS(1-27)和JS(1-27)试块,依据文献[11]的相关要求,进行立方体抗压强度(fcu)试验。试验中使用TYA-2000型数显压力试验机,加荷速率均为0.5 MPa/s。

#### 1.4.2 收缩性能的试验设计

再生混凝土的收缩变形试验依据文献[12]的相关要求进行试验,对达到养护时间要求的BM-1、BM-2、BM-3、GS-1、GS-2、GS-3、JS-1、JS-2、JS-3试件,采用SP-540型混凝土收缩膨胀仪,进行再生混凝土的收缩变形测量(见图1)。收缩应变取正值为湿胀,负值为收缩。

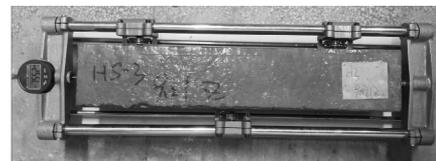


图1 再生混凝土收缩试验

Fig.1 Recycled concrete shrinkage test

## 2 试验结果与分析

### 2.1 养护条件对再生混凝土抗压强度影响

对试验数据进行整理分析后,绘制出养护条件对再生混凝土抗压强度的影响的关系曲线,如图2所示:

由图2可知,再生混凝土在7 d早期养护时,BM、GS和JS养护抗压强度分别为19.68 MPa、19.99 MPa和18.99 MPa,试验数据表明:湿度对于再生混凝土抗压强度的影响不是很明显,这是由于再生混凝土中粗骨料里含有一定量的砖粒,其有较大的吸水率,在混凝土浇筑成型初期,混凝土内部水分较多,虽然水泥水化和向外界环境挥发等因素会消耗掉一部分水分,但是混凝土内部仍然能保持

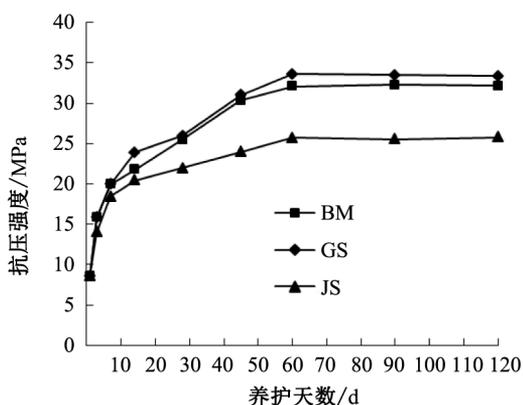


图2 养护条件对再生混凝土抗压强度的影响

Figure 2 Effect of curing conditions on compressive strength of recycled concrete

一定的湿度,以促进水泥水化<sup>[13]</sup>,所以不同养护条件对于再生混凝土7d早期的强度影响不大。

比较BM和GS2种养护条件下再生混凝土的抗压强度可以看出,14d时BM比GS强度降低约为8.7%,28d时BM比GS强度降低约为1.8%,说明在水泥水化的早期给予再生混凝土一定能够试件的湿度养护,可以保证混凝土的抗压强度不降低。在14d时JS比GS强度降低了14.2%,比BM强度低了6.1%,28d时JS比GS、BM分别降低了15.5%和13.9%,这些数据表明,再生混凝土在14d时达到饱和状态,水分占据了试块的内部空间,削弱了再生混凝土内部的质点联结,所以JS养护比GS和BM养护强度低。

## 2.2 养护条件对再生混凝土收缩性能影响

对试验数据进行分析整理后,绘制出养护条件对再生混凝土收缩变形的影响的关系曲线,如图3所示:

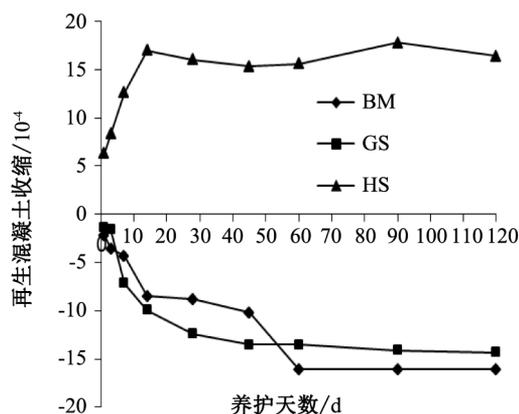


图2 养护条件对再生混凝土收缩变形的影响

Figure 2 Effect of curing conditions on shrinkage deformation of recycled concrete

图3显示了在BM和GS2种不同养护条件下120d时的收缩变形,随着养护时间的增长,再生混凝土的收缩应变都在增加,BM养护90d以后,收缩应变变化逐渐趋于稳定;GS养护45d以后,收缩应变变化趋于稳定,这是因为在GS养护下,再生混凝土试件在短时间内蒸发、充水往复循环,致使后期养护时水分蒸发相对较小,因此收缩变形趋于稳定。在120d时,BM较GS养护条件下收缩变形增加了11.18%,这主要是因为,再生集料表面残留砂浆吸收的水分随着养护龄期的增加而散失,水分散失引起再生混凝土的收缩增加<sup>[14]</sup>,但是由于GS养护能及时补充水分,因此GS较BM养护收缩小。

JS养护呈现湿胀状态,14d以后收缩应变趋于稳定,120d时的收缩应变为 $16.4 \times 10^{-4}$ 。这是因为再生混凝土在水泥水化的时候提供了充足的水分,避免了水分向外界蒸发而导致混凝土的收缩;并且随着养护时间的增长,再生混凝土达到饱和状态,水分使得再生粗骨料充分饱和,抑制了富含砖粒再生混凝土的收缩。

## 3 结论

1) 薄膜覆盖养护、干湿循环养护和浸水养护3种养护条件下,随着龄期的增长,再生混凝土抗压强度不断增加,在7d早期养护时,养护湿度对于再生混凝土抗压强度的影响不是很明显。养护14d时薄膜覆盖养护比干湿循环养护降低了8.7%;浸水养护比薄膜覆盖养护强度降低了6.1%,比干湿循环养护强度降低了14.2%。养护28d时薄膜覆盖养护比干湿循环养护降低了1.8%;浸水养护比薄膜覆盖养护强度降低了13.9%,比干湿循环养护强度降低了15.5%。45d后3种养护条件下的再生混凝土抗压强度基本趋于稳定。干湿循环养护的抗压强度均大于薄膜覆盖养护和浸水养护的抗压强度。

2) 薄膜覆盖、干湿循环和浸水3种养护条件下,随着龄期的增长,再生混凝土的收缩应变不断增加,薄膜覆盖养护90d以后,收缩应变变化逐渐趋于稳定;干湿循环养护45d以后,收缩应变变化趋于稳定;浸水养护14d以后,收缩应变变化趋于稳定。薄膜覆盖养护比干湿循环养护增加了11.18%,浸水养护出现湿胀现象。干湿循环养护较薄膜覆盖养护和浸水养护抑制收缩变形最强。 (下转第32页)

塑性流动引起,只要不产生大规模滑塌,不会引起周围建筑物大量不均匀沉降。(2)根据完建工况变形量判断,在60~70m远处的管道相对变形量不会大于3mm,不会引起管线因不均匀沉降而破坏。(3)桩墙失效基坑周围的素填土以及淤泥质黏土将会向基坑滑塌,其滑塌范围从基坑内壁向外约影响10m,约为基坑开挖深度的2~3倍范围。由于加油站约位于坑壁外侧65m左右,因此即使基坑桩墙发生局部破坏,地表变形不会波及到加油站设施。

#### 4 结论

1) 颗粒流数值模拟结果取决于合理的颗粒体系与边界条件,本文伺服过程得出的模型可以反映岩土细观力学特性,并赋予细观接触力学参数。

2) 通过宏观弹性模量、泊松比、峰值强度与细观有效模量、刚度比、黏结强度的线性对应规律推算,可以有效的确定土层岩土力学参数。

3) 基坑开挖分析发现,变形量不会对关心的加油设施产生大量不均匀沉降,与工程地质判断情况一致,表明计算结果合理。

#### 参考文献:

- [1] 姚爱军,张剑涛,郭海峰,等.地铁盾构隧道上方基坑开挖卸荷-加载影响研究[J].岩土力学,2018,39(7):2318-2326.
- [2] 封超.太原市人民南路站基坑开挖对周边建筑物的影响分析[D].太原:中北大学,2018.
- [3] 苏容,郭建新,杜振.基于ANSYS的某深基坑降水开挖加固方案优化设计[J].吉林水利,2018,(2):1-4.
- [4] 梁潇文,张福龙.黄土地区基坑开挖对边坡稳定性的影响分析[J].山西建筑,2017,43(13):79-81.
- [5] 何世秀,韩高升,庄心善,等.基坑开挖卸荷土体变形的试验研究[J].岩土力学,2003,(1):17-20.
- [6] 刘兴旺,益德清,施祖元,等.基坑开挖地表沉陷理论分析[J].土木工程学报,2000,33(4):51-55.
- [7] 石崇,张强,王盛年.颗粒流(PFC5.0)数值模拟技术及应用[M].2018,北京:中国建筑工业出版社.
- [8] SHI C, LI D J, CHEN K H, et al.Failure mechanism and stability analysis of the Zhenggang Landslide at the Yunnan Province of China using 3D particle flow code simulation[J]. Journal of Mountain Science, 2016, 13(5): 891-905.
- [9] SHI Chong. A construction method of complex discrete granular model [J].Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 2012, 43(2): 203-207.

(责任编辑 李新)

(上接第27页)

#### 参考文献:

- [1] 王会娟,刘小伟.混凝土施工养护的重要性[J].商品混凝土,2012(9):101-103.
- [2] 肖建庄,李佳彬,孙振平,等.再生混凝土的抗压强度研究[J].同济大学学报:自然科学版,2004(12):1558-1561.
- [3] 陈爱玖,王静,杨粉.钢纤维再生混凝土抗压强度试验研究[J].混凝土,2012(4):64-66.
- [4] HANSEN T C. Recycled aggregate and recycled aggregate concrete[J].Material and Structures, 1986, 19(5): 201-246.
- [5] 胡功球.不同养护条件下超高性能混凝土(UHPC)的收缩性能研究[D].长沙:湖南大学,2015.
- [6] LIU J T, YANG Y, GU C P. Influence of dry heating regime on the mechanical and shrinkage properties of reactive powder concrete[J].Journal of Zhejiang University-Science A, 2018, 19(12): 926-938.
- [7] 侯永利,李晨霞,霍俊芳,等.再生混凝土力学性能

和收缩性能试验研究[J].硅酸盐通报,2017,36(1):311-314.

- [8] 罗俊礼,徐志胜,谢宝超.不同骨料等级再生混凝土的收缩徐变性能[J].中南大学学报:自然科学版,2013,44(9):3815-3822.
- [9] 崔正龙,吴翔宇,童华彬.砂率对再生混凝土强度及干燥收缩性能影响[J].硅酸盐通报,2014,3(11):3054-3057.
- [10] 安新正,牛薇,杨莹莹,等.废砖骨料对再生混凝土抗压与收缩性能的影响[J].河北工程大学学报:自然科学版,2017,34(3):56-59.
- [11] GB/T50081-2002,普通混凝土力学性能试验方法标准[S].
- [12] GB/T50082-2009,普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准[S].
- [13] 田丽,毛永琳,阎坤.不同养护条件对混凝土抗压强度的影响[J].工程地质学报,2007(增刊):593-595.
- [14] 王磊,陈杏,张毅.再生骨料混凝土长龄期收缩及基本力学性能研究[J].混凝土,2013(7):23-25.

(责任编辑 李新)