

橡胶微膨胀混凝土抗压和抗折强度试验研究

徐辉¹, 张成¹, 刘佳钰¹, 周扬锋², 荣彬²

(1.华北中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津市 300000; 2.天津大学, 天津市 300072)

摘要:为研究膨胀剂与橡胶颗粒对混凝土抗压强度与抗折强度的影响,研究了在混凝土中掺入不同种类及不同掺量的膨胀剂和不同比例的橡胶颗粒的力学性能。试验结果表明,在混凝土中加入膨胀剂能提高混凝土的抗压强度,抗折强度,弥补了橡胶加入后混凝土强度的部分减少量,其中膨胀剂掺量为10%,橡胶掺量为6%时,两者复掺的性能优于其他掺量的混凝土试件,CSA膨胀剂的掺加对混凝土试件强度的提高要优于CHA膨胀剂。

关键词:膨胀剂;橡胶颗粒;混凝土;抗压强度;抗折强度

中图分类号: TU5

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2021)01-0165-04

0 引言

橡胶集料混凝土是近几年来研究比较多的新型混凝土。橡胶集料混凝土是将橡胶颗粒作为混凝土的粗骨料或者细骨料,按照一定比例配制而成的混凝土,用以改善传统混凝土的性能。但由于混凝土中的粗骨料和细骨料与橡胶颗粒的粘结程度不够牢固,导致橡胶集料混凝土的抗压和抗折性能有不同程度的降低。

针对新拌橡胶集料混凝土的物理性能,国内外学者进行了大量的研究,得到了具有实际意义的结论。Khatib和Bayomy^[1]则对新拌橡胶集料混凝土的坍落度进行了研究;通过在混凝土中加入粒径不同的橡胶颗粒代替粗骨料或者细骨料,研究橡胶颗粒作为混凝土不同组分时对于坍落度的影响。通过试验研究表明,当橡胶颗粒作为粗骨料加入混凝土时,得到的新拌混凝土的坍落度与普通混凝土相比基本没有降低或者降低很少;而将橡胶颗粒作为细骨料加入到混凝土当中时,新拌混凝土的坍落度则下降得较多,如果橡胶颗粒作为细骨料的比达到40%的时候,制作的混凝土已经失去了工作性。

将混凝土颗粒作为混凝土骨料代替一定的传统砂石骨料可以有效改善混凝土构件的延性,提高其抗裂性能;但是其抗压强度会有一定的降低,为了补偿这种效应,可以加入适量的混凝土膨胀剂来提高混凝土强度。本文研究了膨胀剂种类以及膨胀剂

掺量,橡胶颗粒掺量对混凝土强度的影响,并筛选出最适合的膨胀剂掺量,橡胶掺量混凝土配合比。

1 原材料与配合比

1.1 原材料

此次试验采用的水泥为P.O 42.5型号普通硅酸盐水泥;使用的粗骨料为石灰质岩的碎石,粒径为5~20 mm,表观密度为2.6 g/cm³;细骨料为天然河砂,细度模数为2.45,表观密度为3.5 g/cm³;橡胶颗粒集料密度为1.09 g/cm³,平均粒径为1.2 mm。

1.2 配合比

试验配合比见表1、表2。其中CHA4CR0代表4%掺量硫铝酸钙类膨胀剂,0%掺量橡胶颗粒,其他以此类推。本试验试件混凝土混合不同比例橡胶颗粒及不同比例不同种类的膨胀剂。本试验试件混凝土采用C35混凝土配合比。水灰比0.44,膨胀剂掺入法采用外掺法,膨胀剂比例为水泥掺量的百分比。本次试验采用4%、8%、12%、15%掺量膨胀剂,以便尽可能大范围考虑膨胀剂掺量对混凝土试件强度的影响,采用0%、2%、4%、6%、8%掺量橡胶颗粒,根据已有研究^[9]中橡胶掺量8%以上对于混凝土试件的强度影响较大,因而未选取大于8%掺量橡胶颗粒,其中膨胀剂掺量为0%时为对比组。

2 试验方法

2.1 膨胀剂种类掺量改变情况下的混凝土抗压强度

此次试验中共有54组试件,分别对应不掺入膨胀剂6组,掺入CHA膨胀剂24组,掺入CSA膨胀剂24组,试件尺寸为100 mm×100 mm×100 mm,试验试件强度要乘以尺寸折减系数0.95。

收稿日期: 2020-06-20

作者简介: 徐辉(1981—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁结构的设计研究工作。

表1 膨胀剂掺量不同的配合比表

单位:kg/m³

组名	砂子	石子	水泥	水	膨胀剂种类	膨胀剂掺量 /%	橡胶掺量 /%	个数	尺寸 /mm
C0	571	1 158	466	205	无	0			
CHA4CR0	571	1 158	466	205	硫铝酸钙类(CHA)	4			
CHA8CR0	571	1 158	466	205		8			
CHA12CR0	571	1 158	466	205		12			
CHA15CR0	571	1 158	466	205		15	0	6	100 × 100 × 100
CSA4CR0	571	1 158	466	205	氧化钙类(CSA)	4			
CSA8CR0	571	1 158	466	205		8			
CSA12CR0	571	1 158	466	205		12			
CSA15CR0	571	1 158	466	205		15			

表2 膨胀剂橡胶颗粒掺量不同的配合比表 单位:kg/m³

组名	膨胀剂种类	膨胀剂掺量 /%	橡胶掺量 /%	个数	尺寸 /mm
CHA8CR0	硫铝酸钙类(CHA)	8	0		
CHA10CR0		10	0		
CHA12CR0		12	0		
CSA8CR0	氧化钙类(CSA)	8	0		
CSA10CR0		10	0		
CSA12CR0		12	0		
CHA8CR2	硫铝酸钙类(CHA)	8	2		
CHA10CR2		10	2		
CHA12CR2		12	2		
CSA8CR2	氧化钙类(CSA)	8	2		
CSA10CR2		10	2		
CSA12CR2		12	2		
CHA8CR4	硫铝酸钙类(CHA)	8	4		
CHA10CR4		10	4		
CHA12CR4		12	4		
CSA8CR4	氧化钙类(CSA)	8	4		
CSA10CR4		10	4		
CSA12CR4		12	4		
CHA8CR6	硫铝酸钙类(CHA)	8	6		
CHA10CR6		10	6		
CHA12CR6		12	6		
CSA8CR6	氧化钙类(CSA)	8	6		
CSA10CR6		10	6		
CSA12CR6		12	6		
CHA8CR8	硫铝酸钙类(CHA)	8	8		
CHA10CR8		10	8		
CHA12CR8		12	8		
CSA8CR8	氧化钙类(CSA)	8	8		
CSA10CR8		10	8		
CSA12CR8		12	8		

注:砂子,石子,水泥,水用量与表1一致。

2.2 膨胀剂种类掺量和橡胶颗粒掺量同时改变情况下的混凝土抗压抗折强度

(1)此次试验中有30组试验,膨胀剂掺量为8%、10%、12%,膨胀剂种类为CSA和CHA,橡胶掺量为0%、2%、4%、8%。立方体抗压强度试验参考标准试验方法进行,每组有三个试件,所有试件均在标准养护条件下养护成型,试件尺寸为100 mm × 100 mm × 100 mm,试验试件强度要乘以尺寸折减系数0.95。

(2)抗折强度试验按GB/T 50081—2002《普通混凝土力学性能试验方法标准》试验方法进行,膨胀剂掺量,种类,橡胶掺量与混凝土立方体抗压强度试验均相同。试件为100 mm × 100 mm × 400 mm的棱柱体混凝土试件,试验试件强度应乘以尺寸换算系数0.85。

(3)混凝土抗折强度计算按式(1)计算:

$$F_f = \frac{FL}{bh^2} \quad (1)$$

式中: F_f 为混凝土抗折强度,MPa; F 为试件被破坏荷载,N; L 为支座间跨度,mm; H 为试件截面高度,mm; B 为试件截面宽度,mm。

混凝土抗折强度计算精确至0.1 MPa。

3 试验结果与分析

3.1 膨胀剂种类掺量改变情况下的混凝土抗压强度

对54组试件进行抗压强度试验。试件破坏见图1。未添加膨胀剂的试块在试验过程中外表剥落较为明显,添加膨胀剂的试块多为只出现裂缝,而外表混凝土仍然较为完好,但膨胀剂添加量达到15%的试块试验过程中会在发出“嘭”的清脆响声同时,试块开裂。

不同种类,不同掺量的膨胀剂的混凝土抗压强度见图2。

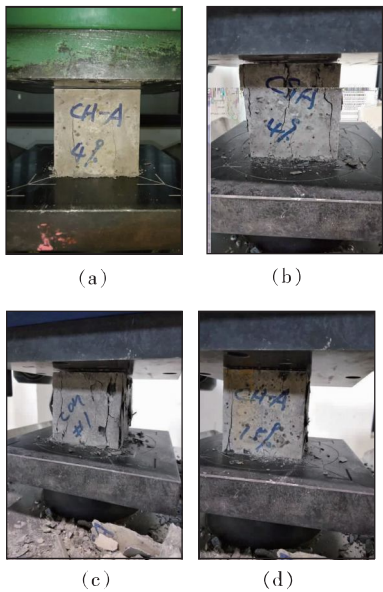


图 1 强度试验试件

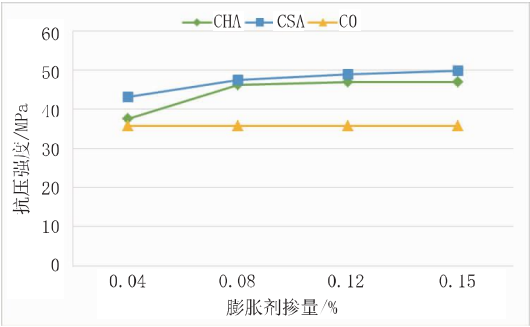


图 2 膨胀剂及其掺量变化时的抗压强度变化曲线

由图 2 可知可以看出各试件组的抗压强度曲线呈现波浪形,相对于普通混凝土的构件组,掺入膨胀剂的构件组抗压强度都有不同程度的提高。掺入量越高强度提高的越多,且 CSA 与 CHA 膨胀剂掺量相同情况下对抗压强度的提高差别不大,膨胀剂添加 4% 硫铝酸钙类(CH A)膨胀剂的相对抗压强度提高最少,添加 8%、12%、15% 的膨胀剂强度提高较明显,但对于添加量为 15% 的构件强度提高与添加量 8% 和 12% 相比提高不够明显,后期双掺试验考虑添加量 8%~12% 范围进行后期试验。

3.2 膨胀剂种类掺量和橡胶颗粒掺量同时改变情况下的混凝土抗压强度

对 90 组试件进行抗压强度试验。试件破坏见图 3。同时添加膨胀剂和橡胶颗粒的试块多为只出现裂缝,而外表混凝土仍然较为完好,但橡胶颗粒添加量达到 8% 的试块试验过程中会出现轻微剥落。

膨胀剂种类掺量和橡胶颗粒掺量同时改变情况下的混凝土抗压强度见图 4、图 5。

由图 4 可知各试件组的抗压强度曲线随橡胶颗粒添加量的增加呈现下降趋势,相对于只添加膨胀剂的混凝土构件组,掺入橡胶颗粒的构件组抗压强

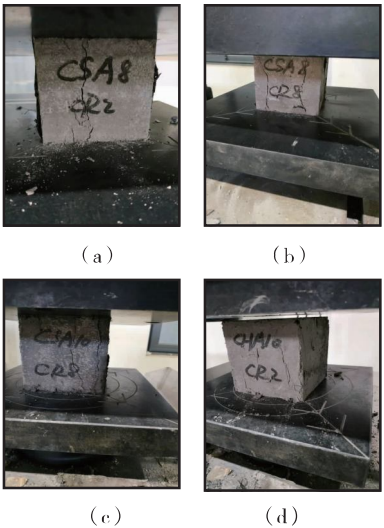


图 3 强度试验试件

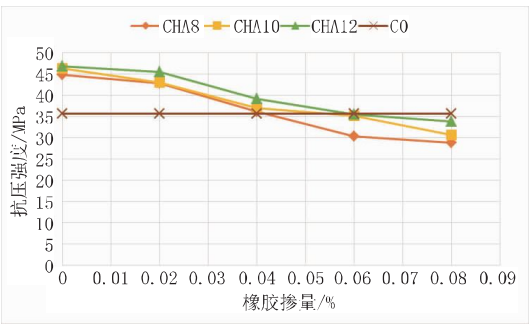


图 4 CHA 中橡胶掺量变化的抗压强度

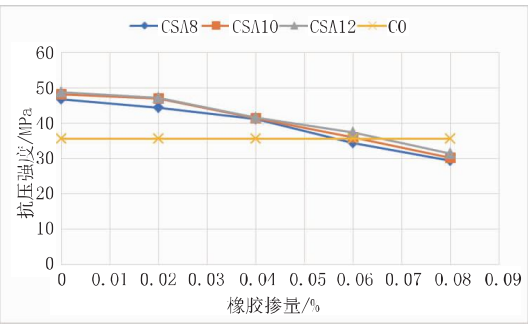


图 5 CSA 中橡胶掺量变化的抗压强度

度都有不同程度的降低;相对于两者都不掺的素混凝土试块,添加 8%、10% 硫铝酸钙类(CH A)膨胀剂的混凝土试块在添加橡胶颗粒量达到 4% 之前,抗压强度均大于素混凝土试块抗压强度,橡胶颗粒掺量增加,CH A8 混凝土试块的抗压强度降低较为明显。对于混凝土试件,橡胶颗粒掺入量越高强度越低,添加 12% 硫铝酸钙类(CH A)膨胀剂的混凝土试块与添加 10% 硫铝酸钙类(CH A)膨胀剂的混凝土试块抗压强度变化不大,在添加橡胶颗粒量达到 6% 时抗压强度与素混凝土试块的抗压强度基本一致,而抗裂性能得到较大提高。橡胶颗粒添加量达到 8% 时,强度降低明显。

由图 5 可知,添加 12% 氧化钙类(CSA)膨胀剂

的混凝土试块与添加 8%、10% 氧化钙类(CSA)膨胀剂的混凝土试块抗压强度变化不大,橡胶颗粒含量增加混凝土试件强度明显降低,混凝土试块在添加橡胶颗粒量达到 6% 之前,双掺的混凝土试件的抗压强度是大于素混凝土试件的抗压强度的。混凝土试块在添加橡胶颗粒量达到 8% 时,抗压强度下降达 30% 以上。

综合图 4、图 5 可知,添加氧化钙类(CSA)膨胀剂的混凝土试块抗压强度比添加同等掺量是硫铝酸钙类(CHA)膨胀剂的混凝土试块抗压强度大。相对于普通混凝土的构件组,掺入膨胀剂的构件组抗压强度都有不同程度的提高。掺入量越高强度提高的越多,添加 4% 硫铝酸钙类(CHA)膨胀剂的相对抗压强度提高最少,添加 8%、12%、15% 的膨胀剂强度提高较明显,但对于添加量为 15% 的构件强度提高与添加量 8% 和 12% 相比提高不够明显,后期双掺试验考虑添加量 8%~12% 范围进行后期试验。

3.3 膨胀剂种类掺量和橡胶颗粒掺量同时改变情况下的混凝土抗折强度

对 90 组试件进行抗折强度试验。试件破坏见图 6。试验中构件仅出现一条裂缝未有其他变化。

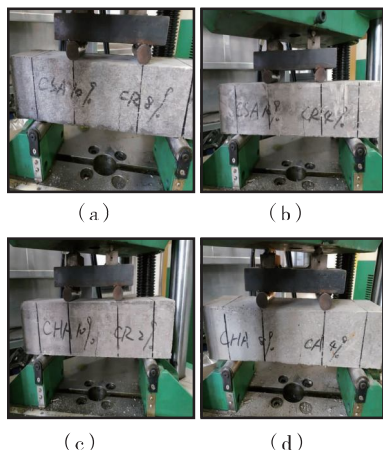


图 6 抗折试验试件

由图 7、图 8 可知各试件组的抗折强度曲线随橡胶颗粒添加量的增加呈现下降趋势。

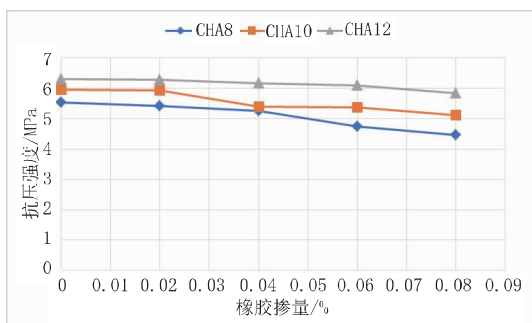


图 7 CHA 中橡胶掺量变化时的抗折强度

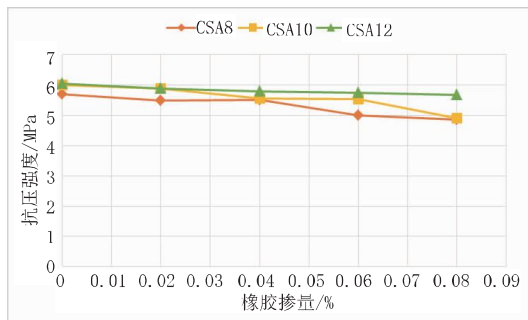


图 8 CSA 中橡胶掺量变化时的抗折强度

由图 7 可知,CHA 膨胀剂掺量越多,混凝土试件抗折强度提高越明显。橡胶掺量越多,混凝土试件抗折强度下降的越明显,其中橡胶掺量起到主要控制作用。当橡胶掺量达到 6% 之后,混凝土试件抗折强度下降的十分明显,当橡胶掺量到 8% 时,CHA5 混凝土试件抗折强度下降达 20% 以上。考虑到经济效益,CHA10 混凝土试件的抗折强度表现较好。

由图 8 可知,总体上,随着橡胶颗粒掺量的增加,混凝土的抗折强度是逐步降低的,CSA 的掺量在 8%~12% 变化时对于混凝土试件抗折强度的提升区别不大,橡胶颗粒对试件的抗折强度起到控制作用。在橡胶掺量达到 6% 之前,CSA10 试件与 CSA12 试件随着橡胶颗粒掺量抗折强度的变化趋势基本一致,数据相差不大。考虑到经济效应,CSA10 为最优的选择。

综合图 6、图 7 来看,两种膨胀剂对于试件的抗折强度的影响差别不大。

4 结 论

(1)在混凝土中掺入膨胀剂对混凝土的强度的较为明显的提高,4%~12% 膨胀剂掺量时,混凝土试件的强度提高的较为明显,12%~15% 膨胀剂掺量时,混凝土试件的强度提高的不多。

(2)橡胶的掺入有利于混凝土试件的延性破坏,相应的橡胶掺量的增加使得混凝土试件的强度降低,8% 橡胶掺量时,混凝土抗压强度下降达 30% 以上。

(3)加入膨胀剂可以使混凝土更加密实,膨胀剂的掺入一定程度上补偿了橡胶混凝土强度的损失。在抗压强度,抗折强度中橡胶掺量起主要因素,膨胀剂掺量起次要因素,且在 6% 橡胶掺量与 10% 膨胀剂掺量的配合比下的混凝土试件力学性能优于其他复掺的试件。

参考文献:

[1] Khatib. Z.K., Bayoym, F.M. Rubberized Portland cement concrete[J].

软件使用门槛。但因计算仅基于 Dynamo 静态节点, 代码处理不同数据的能力也因此被削弱。为弥补该类不足, Dynamo 还开放了用户自定义节点, 允许设计师自行通过 Python 脚本语言创建自定义节点。熟悉编程的设计师往往通过写代码定义出有针对性的节点, 高效地解决设计中遇到的难题, 避免因原生节点计算力不足, 导致思维逻辑不得不绕“远路”的办法。

近年来,随着计算机、树脂材料、工业制作等专业的不断发展,与土木工程相结合的跨界运用不断涌现,3D 打印技术无疑是众多应用中的一个亮点。有的3D 打印机甚至可以直接打印结构构件或小型建筑。该方法地出现极大地提高了生产效率,提升建筑设计的适应性以及拓展性。这在技术上是一个质地飞跃,极大影响到建筑设计思维。3D 打印技术的兴起以数控技术为依托,改变了以前建筑只能手工堆砌的状态。时代的发展对传统设计行业提出了更高的要求,程序设计,不但可以丰富设计师的设计手段,更可以有效地实现对机器设备地控制,从而完成与新技术地结合,实现智慧建造。

由于 Dynamo 本身使用开源的方式进行开发与维护,使得设计师可以根据自身需求,将 Dynamo 进行定制化开发,并移植到需要的软件中。当开发者发现 Dynamo 主程序本身存在 Bug 或有更优化的处理逻辑也可直接 Pull Request 向 Dynamo 根项目发起代码更新请求。此外,Autodesk 公司还推出了更稳定,兼容性更好,界面设计更优秀的 Dynamo Studio,该软件进行收费许可,对稳定性看重的大型企业可以考虑这种商业版。该项目组表示基础版本的 Dynamo 会持续

开源状态,并长期免费提供下载。通过这种可交互式的开发模式,设计师感受到了来自软件厂商的平等沟通,为 Dynamo 的发展攒下了不少的好感。这也使得 Dynamo 版本快速地迭代更新,软件本身不断地完善。

6 结 语

在整个建模过程中, Dynamo 可视化程序算法的预定义功能节点的复杂连接看似繁杂,但用户只需梳理好建模的逻辑思路,并将思路转化为一步步的逻辑程序,即可创建复杂的空间曲面形体^[3]。

本文将计算式设计、可视化编程与桥梁工程相结合,将这种新的设计方式引入到 BIM 桥梁设计中,并取得了一些初步成果。

与西方发达国家相比,我国 BIM 技术研究起步相对较晚^[4],但现今信息化已逐渐成为我国土建行业的主流与热点,也是未来的发展方向。在复杂造型建筑结构的设计施工中,Dynamo 等参数化设计软件将发挥越来越重要的作用^[3]。

参考文献:

- [1] 王松. 可视化编程语言下的计算式设计插件 [J]. 福建建筑, 2015 (11):106-110.
- [2] 董海峰, 余振, 李铁栓, 等. Dynamo for Revit 在地铁车站自动化建模中的探索[C]// 第四届全国 BIM 学术会议论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018: 110-115.
- [3] 吴生海, 刘陕南, 刘水晓, 等. 基于 Dynamo 可视化编程建模的 BIM 技术应用与分析[J]. 工业建筑, 2018(48):35-38.
- [4] 胡金鹏. Dynamo for Revit 在中小型水利项目中的应用 [J]. 水利规划与设计, 2018(2):182-186.

(上接第 168 页)

- Journal of Materials in Civil Engineering, 1999, 11(4): 206-213.
- [2] A. Turatsinze, M. Carros. On the modulus of elasticity and strain capacity of self-compacting concrete incorporating rubber aggregates[J]. Resource, Conservation and Recycling, 2008(52): 1209-1215.
- [3] Eldin, Neil. N., Senouci. Rubber-tired particles as concrete aggregate[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 1993, 5(4): 478-496.
- [4] Toutanji H. A. The use of rubber tire particles in concrete to replace mineral aggregates[J]. Cement and Concrete Composites, 1996, 18(2): 135-139.
- [5] 孙洪泉, 朱海陶, 陈志阳, 等. 不同级配粗骨料对橡胶混凝土构件力学性能的分形研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2015(1): 42-45.
- [6] 杨彬, 肖晓辉. 橡胶混凝土基本力学性能试验研究[J]. 道路工程, 2017(1): 80-82.
- [7] 徐培秦, 李会文, 闰洪生, 等. 橡胶掺量对圆钢管橡胶混凝土短柱力学性能的影响[J]. 建筑结构, 2019, 49(3): 66-77.
- [8] Miller N. Mechanical properties of rubberized lightweight aggregate concrete[J]. Dissertations & Theses-Gradworks, 2014.
- [9] 薛凯. 橡胶膨胀混凝土的试验研究[D]. 天津: 天津大学, 2013.
- [10] 吴中伟, 张鸿真. 膨胀混凝土[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1990.