模拟酸雨条件下C50混凝土力学性能变化的研究

胡晓波,龙亭,陶新明,侯晓燕,刘芬,肖柏军
中南大学 土木建筑学院,长沙 410075

摘要:研究了在模拟酸雨侵蚀作用下,C50混凝土和掺矿渣、粉煤灰及SBR聚合物C50混凝土的力学性能变化.结果表明:在相当于75年酸雨侵蚀烈度的模拟条件下,五种配合比的C50混凝土的主要力学性能无明显劣化,仍可以达到混凝土结构设计对其力学性能的要求;矿渣、SBR聚合物和粉煤灰可以不同程度的提高混凝土后期力学性能,或降低酸雨对混凝土侵蚀程度和速率;酸雨侵蚀下混凝土表面溶蚀是主要问题,存在使对表面状态敏感的抗折、抗拉强度等力学性能下降的可能性;并从结构安全度角度考虑酸雨侵蚀对混凝土的影响.

关键词:混凝土;模拟酸雨;腐蚀;力学性能;安全系数
中图分类号:TG172.3　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1002-6495(2009)04-0380-04

INFLUENCE OF A SIMULATED ACID RAINFALL ON MECHANICAL PROPERTIES OF C50 CONCRETE

HU Xiao-bo, LONG Ting, TAO Xin-ming, HOU Xiao-yan, LIU Fen, XIAO Bo-jun
School of Civil Engineering and Architecture, Central South University, Changsha 410075

Abstract: The mechanical properties of C50 concrete as well as the C50 concretes with slag, SBR polymer and fly ash respectively were tested after exposure in an environment of simulated acid rainfall for periods of desired length. The result showed that the main mechanical properties of these five concretes didn't declined obviously and still met the requirements of the structure design on strength; Slag, SBR polymer and fly ash can improve the mechanical properties of concrete and lower the erosion rate of concrete to some extent in the later stage of the exposure in the condition of simulated acid rainfall occurred in area of Fushan city for a length of period around 75 years. The main trouble for concrete in acid rainfall is surface erosion. That is to say that the acid rain may induce the degradation of some mechanical properties which are sensitive to surface status such as flexural strength and tensile strength, which should be considered for designing and constructing of a reliable structure.

Keywords: concrete; simulated acid rain; erosion; mechanical properties; safety factor

目前,酸雨已成为全球性重要区域环境污染问题之一,它对建筑物中建筑材料的腐蚀破坏本身就是一个值得关注的问题.迄今为止,国内外对于酸雨成因,分布特点及其对环境的影响都做了详尽的试验研究和理论分析[1,2],在水泥基材料方面的研究主要集中在酸雨侵蚀对砂浆性能的影响(水胶比及微观结构等)[3],但是关于酸雨侵蚀条件下混凝土力学性能变化的研究则相对较少,特别是对与施工中常应用的C50混凝土则鲜有报道[4].

本文在模拟酸雨腐蚀的基础上,探讨各配比C50混凝土抗压、抗折、抗剪、抗拉强度,以及抗压弹性模量与轴心抗压强度等力学性能随酸雨腐蚀时间变化的变化规律,为混凝土工程防止酸雨腐蚀提供试验依据.

收稿日期:2007-11-08
作者简介:胡晓波(1961-),男,博士,教授,从事混凝土组成材料、性能、检测与试验分析及工程应用研究.
Tel:13808422491,0731-2655029　E-mail:xbhu@mail.csu.edu.cn

1 实验方法

本实验所用水泥为韶峰牌P·O 42.5,湖南韶峰水泥集团;砂为河砂、中砂Mx=2.79,长沙湘江;石子为5~10 mm碎石,广州;高效减水剂为粤和牌缓凝型高效减水剂和萘磺酸盐高效减水剂,广州;粉煤灰为Ⅱ级粉煤灰,湖南湘潭发电厂;矿粉为S95级粒化高炉矿渣超细粉,江西联达高新建材厂;聚合物为羧基丁苯胶乳(SBR),上海BASF公司,固含量47%.

本实验设计了5种不同配合比的C50混凝土,和易性及强度如表1所示.

酸雨模拟试验采用文献[6]的方法进行.

按《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080-2002和《普通混凝土力学性能实验方法标准》GBJ0081-2002进行混凝土性能实验.

2 结果与讨论

混凝土的力学性能是决定道路、桥梁和结构工程安全性

Table 1 Mix proportion of C50 concrete

code	mix proportion, Kg/m^3							workability			
	m_c	m_{ma}	m_w	m_s	m_g	m_{sp}	m_p	slump, mm		cohesiv-eness	water-retentivity
								initi	1 h		
A	490	/	180	720	1080	4.12/HPG	/	90	65	thickly	medium
B1	430	86/ⅡFA	180	670	1092	4.12/PNS	/	115	75	medium	medium
B2	400	188/ⅡFA	180	628	1019	4.12/HPG	/	150	120	medium	medium
C	400	188/S95	180	628	1019	4.12/HPG	/	170	135	medium	medium
D	490	/	180	720	1080	3.92/PNS	72/SBR	100	75	medium	medium

note: mc-cement content, mma-mineral admixture content(ⅡFA S95), mw-water content, ms-sand content, mg-aggregate content, msp-superplasticzer content(HPG-set-retarding water-reducer agent, PNS-naphthalene sulfonate superplasticzer).

和使用性的关键. 实验测试了相当于佛山 75 年酸雨侵蚀条件下,混凝土的抗压、抗折、抗拉(劈拉)和抗剪强度等. 以相当于佛山 25 年酸雨侵蚀作为一个阶段,共进行五个阶段(包括干湿循环),分别检测各阶段的力学性能变化. 以下内容为模拟 C50 混凝土经受相当于佛山地区 75 年酸雨侵蚀的过程中以及 75 年后力学性能变化结果.

2.1 实验结果

2.1.1 混凝土抗压强度变化　　图 1 为模拟过程中各配比混凝土抗压强度变化情况. 模拟结束,各配合比混凝土抗压强度基本呈增长趋势;第二、第三阶段的抗压强度增长较明显,第三阶段时A组,B1组,B2组的增长不大,仅C组混凝土呈增长趋势.

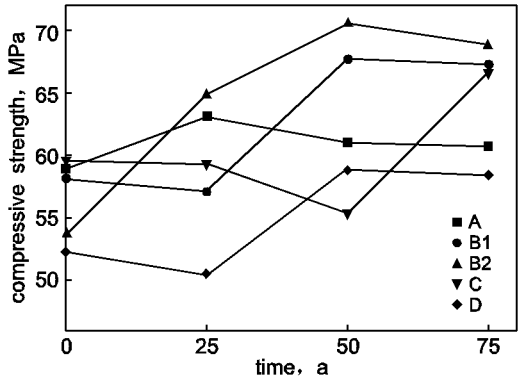

Fig. 1 Compressive strength versus time of concrete in smulated acid rain condition

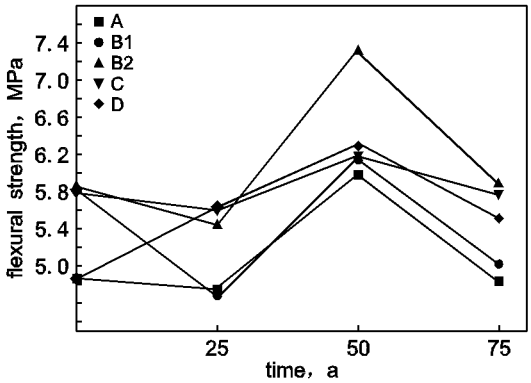

Fig. 2 Flexural strength versus time of concrete in smulated acid rain condition

Table 2 Compressive strength of erosion concrete and contrast concrete(MPa)

condition and sample	A	B1	B2	C	D
eroded sample	60.7	67.3	68.8	66.6	58.4
constrast sample	68.4	70.2	68.4	63.5	57.5

Table 3 Axial compressive strength of erosion concrete and contrast concrete(MPa)

condition	sample code	A	B1	B2	C	D
28 d axial compressive strength		47.1	49.4	45.6	51.6	43.1
eroded sample	the second period	49.3	55.8	60.2	61.2	50.3
	the third period	59.5	66.7	63.0	62.0	59.1
constrast sample	the third period	54.2	64.1	53.2	64.4	54.8

表 2 为模拟试验结束后,受侵蚀与同期对比混凝土的抗压强度实验结果(以考虑酸雨中水分对混凝土强度增长的影响,同期对比混凝土试件为按喷淋和光照周期,在水中浸泡和空气中干燥的同配合比混凝土). 模拟后,各混凝土抗压强度明显大于基准混凝土的 28 天抗压强度,模拟 75 年侵蚀后混凝土抗压强度与对比混凝土的强度接近.

2.1.2 混凝土轴心抗压强度变化　　表 3 给出各配合比混凝土在模拟酸雨侵蚀阶段的轴心抗压强度变化和模拟结束时对比混凝土的轴心抗压强度. 模拟酸雨侵蚀的混凝土和水中养护对比的混凝土轴心抗压强度在试验期间均呈增长情况;除个别情况(B1)外,酸雨侵蚀后混凝土轴心抗压强度与对比混凝土的轴心抗压强度也很接近,和表 1 中所列立方体抗压强度结果相似. 考虑试验结果的波动因素,整个酸雨模拟过程中混凝土的受压强度呈增长.

2.1.3 混凝土抗折强度变化　　抗折强度是道路混凝土质量评价的主要指标. 酸雨侵蚀试验中抗折强度的变化有些特别(图 2). 尽管各阶段、各配合比的混凝土均以两组或以上的抗折强度来决定试验结果,但从整个侵蚀模拟的过程看,抗折强度的变化呈波动情况.

相当于 50 年酸雨侵蚀情况时,各配合比的 C50 混凝土抗折强度相对 28 天的基准抗折强度,有一定的提高;而 25

年和75年的酸雨侵蚀情况下,抗折强度与基准抗折强度相差不大.

结合酚酞显色的中性化结果[6]分析,在模拟75年酸雨侵蚀期间,H^+离子和酸根(主要是SO_4^{2-})未能渗入混凝土更深的内部引起中性化或溶蚀;也未见生成诸如钙矾石等有害成分[6],引起混凝土劣化,明显降低抗折强度.

由表4可见,模拟试验后,对比样品的抗折强度既高于基准值,也高于受侵蚀混凝土的.假定图2中的抗折强度在模拟期间的波动非试验原因造成的,则引起这种变化的原因

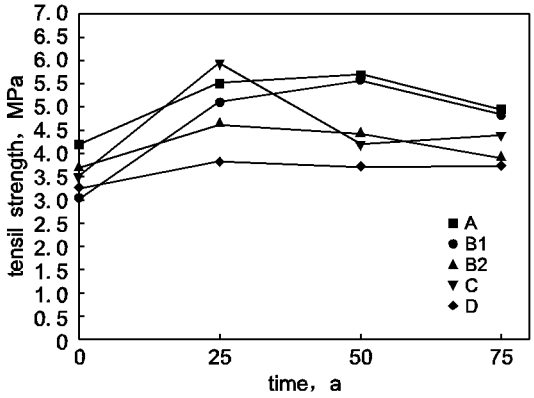

Fig. 3 Tensil strength versus time of concrete in smulated acid rain condition

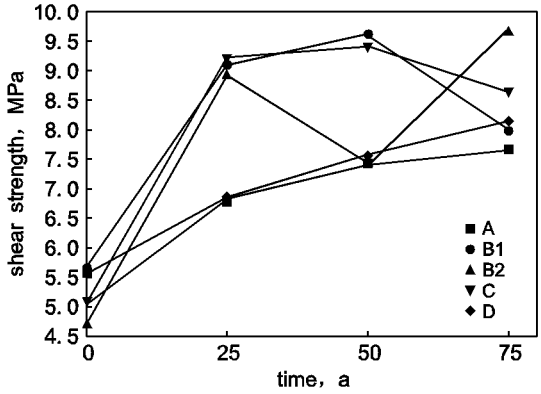

Fig. 4 Shear strength versus time of concrete in smulated acid rain condition

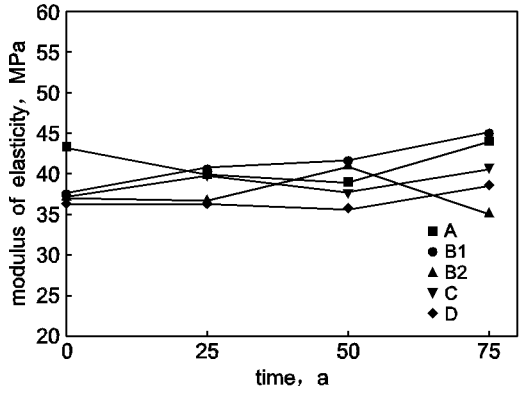

Fig. 5 Tensil strength versus time of concrete in smulated acid rain condition

Table 4 Flexural strength of eroded concrete and contrast concrete(MPa)

condition and sample	A	B1	B2	C	D
eroded sample	5.04	5.22	6.08	5.98	5.71
constrast sample	6.66	6.68	6.98	6.15	6.80

Table 5 Tensil strength of erosion concrete and contrast concrete(MPa)

condition and sample	A	B1	B2	C	D
eroded sample	4.95	4.82	3.92	4.39	3.74
constrast sample	4.90	4.71	4.00	4.92	4.33

Table 6 Shear strength of erosion concrete and contrast concrete(MPa)

condition and sample	A	B1	B2	C	D
eroded sample	7.67	7.98	9.65	8.65	8.15
constrast sample	7.12	8.55	6.58	7.52	8.01

Note: Sample dimension is 100mm×100mm×300mm

Table 7 Modulus of elasticity of eroded concrete and contrast concrete(GPa)

condition and sample	A	B1	B2	C	D
eroded sample	44.0	45.0	35.1	40.8	38.6
constrast sample	41.4	39.4	36.8	42.5	35.4

是逐渐加重的混凝土表面溶蚀使表面平整度下降,对平整度敏感的抗折强度因此而下降.

2.1.4 *混凝土劈拉强度变化* 在混凝土结构与桥梁的设计中也十分关注抗拉强度,一般混凝土工程的抗裂也需要了解混凝土抗拉性能.图3和表5给出了各配合比混凝土在三个模拟阶段的劈拉强度变化和模拟结束时对比样品的劈拉强度.

在酸雨侵蚀模拟第一和第二阶段,混凝土的劈拉强度试验值有所增长,此后趋于下降;但模拟结束后各配合比的混凝土劈拉强度仍高于28天基准值.

下降的原因可以从表面溶蚀得到一定解释.问题是表5的对比样品的劈拉强度与试验结束时的也很相近,B1和A组的还低于受侵蚀样品的.其原因一可能是:劈拉试验时混凝土中主受拉应力区的骨料差异,引起劈拉强度有较大波动;原因二是对比样品组数较少.

2.1.5 *混凝土抗剪强度变化* 混凝土抗剪强度对混凝土结构和桥梁的复杂应力计算也很重要.图4和表6列出各配合比混凝土在三个模拟阶段的拉剪强度变化和模拟结束时对比混凝土的拉剪强度.需要说明的是抗剪强度试验采用100 mm×100 mm×300 mm的试件.

除A组和C组两种配合比有个别的特殊外,模拟酸雨试验中混凝土抗剪强度变化呈增长趋势.表6中的经模拟酸雨侵蚀的和对比的混凝土抗剪强度各有高低,B2组混凝土抗

剪强度较高.

2.1.6 混凝土抗压弹性模量变化　弹性模量是混凝土重要的力学性能,它反映了混凝土所受应力与所产生应变之间的关系,是计算混凝土结构变形、裂缝开展和温度应力所必需的参数之一,混凝土弹性模量既是混凝土桥梁和结构设计的重要参数,也是表征混凝土材料内部结构发生破坏的重要参数[如抗冻性的(动)弹模评价].

图 5 和表 7 列出各配合比混凝土在三个模拟阶段的拉压弹性模量变化和模拟结束时对比混凝土的抗压弹性混凝土的弹性模量试验结果.

从表 7 的数据看,经模拟酸雨侵蚀后混凝土弹模无论是与 28 天基准,还是与对比混凝土的弹模相比较,相互差别均不大. 经模拟酸雨侵蚀的混凝土弹模略低,但远高于侵蚀破坏(相关耐久性标准)弹模限定系数(0.60).

2.2 结果分析

从试验结果来看,侵蚀早期,各配比混凝土力学性能基本呈缓慢增长趋势,应是混凝土中水泥持续水化,而酸雨不足以侵入混凝土内部,导致劣化效果不显著;相当于 75 年的酸雨侵蚀后,混凝土立方体抗压强度方面仅掺 32% S95 矿渣的混凝土呈增长趋势,而其他各组配比混凝土略有下降,但仍然达到《混凝土结构设计规范》(GB50010-2002)等设计要求. 这种结果源于矿渣微粉反应活性优于粉煤灰,在掺量相同的情况下能够提供更多的水化产物,对降低水泥石孔隙率方面有更显著的作用[4],混凝土内部相对更加密实因此在抵抗酸雨侵蚀有较好效果;在轴心抗压强度方面,各配比混凝土呈持续增长趋势,有研究表明在粉煤灰掺量超过 30% 时砂浆抗酸雨能力有明显下降,但在此次模拟试验中掺加粉煤灰 32% 和 17% 混凝土相差不大. 在抗剪强度方面除 A 组和 C 组两种配合比有个别的特殊外,试验中混凝土抗剪强度变化基本呈增长趋势,可见酸雨侵蚀对混凝土抗剪强度的影响较小;有研究者[3]研究表明酸雨对混凝土侵蚀主要是溶蚀作用及化学反应生成较大体积膨胀物质,从而改变混凝土孔隙率及孔径分布. 从试验中未检测出如钙矾石等有害成分来看,主要是发生溶蚀作用,也有研究者[5,7]认为溶蚀从表面开始,并逐层进行,这就造成了混凝土随侵蚀时间增长表面平整度持续下降,导致抗折,抗拉强度波动较大. 但在本次模拟试验结束后无论是对比混凝土还是酸雨侵蚀后混凝土抗折均达到《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTG F30-2003)标准;弹性模量方面,在试验中弹性模量变化不显著且波动较大,可能与其侵蚀部位及侵蚀程度存在差异导致部分缺陷的存在有关,但均远高于强度侵蚀限定系数及弹模限定系数,可见其内部结构因酸雨损害并不严重,结合未检测出如钙矾石等有害成分来看应是酸雨侵蚀仍未能侵入内部破坏所致.

从结构安全性角度来看,由于受到酸雨侵蚀,大部分混凝土的力学强度会有所下降,有可能导致混凝土荷载承受能力下降,结构破坏坍塌. 分析试验统计结果,模拟实验结束后对于混凝土轴心抗压强度,劈拉强度,抗折强度,弹性模量而言,其受侵蚀混凝土与同期对比混凝土试验测试值相比略低或者基本接近,对于混凝土抗压强度,酸雨侵蚀影响较为明显,结合实验中并未发现产生钙矾石等有害成分,应与酸雨对混凝土的溶蚀作用有关;分析实验数据,相当于酸雨侵蚀 75 年混凝土抗压强度保证率变化较大,其中 B1 混凝土,B2 混凝土,C 混凝土强度保证率均大于 95%,仍然满足结构承载力设计要求,其中 A 混凝土为 81.15%,B1 为 99.03%,B2 为 96.58%,C 为 95.37%,D 为 92.23%;同时通过分析图 1 及表 2,C 混凝土与对比混凝土相较,高出 4.65%,可看出 C 混凝土抗压强度安全储备明显高于其余各混凝土.

3 结论

1. 在经受模拟佛山地区 75 年及 75 以上酸雨侵蚀烈度的试验后,本项目研究的五种配合比混凝土的主要力学性能仍然可以达到 JTG D61《公路砖石与混凝土桥涵设计规程》、JTG D40《公路水泥混凝土路面设计规程》和 GB50010《混凝土结构设计规程》中有关力学性能的设计要求;

2. 根据模拟酸雨中掺加矿渣、SBR 聚合物和粉煤灰 C50 混凝土的抗折、抗压强度的变化,以及与对比样品的比较,可以发现:矿渣、SBR 聚合物和粉煤灰可以不同程度提高混凝土后期力学性能,或降低酸雨对混凝土侵蚀程度和速率;

3. 影响混凝土力学性能测试结果因素较多,采用少量实验结果评价改性材料效果和环境介质因素对混凝土破坏程度的影响有存在误差的可能性. 但综合大量实验数据可以消除实验因素的明显影响.

4. 在酸雨侵蚀情况下,混凝土表面溶蚀会使对表面状态敏感的力学性能(抗折、抗拉强度)有明显下降.

参考文献:

[1]魏铭炎. 国外酸雨试验研究动态[J]. 环境技,2000(2):24.
[2]齐文启,席俊清,汪志国,等. 酸雨研究的现状和发展趋势[J]. 中国环境监测,2002(2)1:6.
[3]谢绍东,周定,岳奇贤,等. 模拟酸雨对砂浆的强度物相和孔结构影响的研究[J]. 环境科学学报,1997(1)17:25.
[4]周定,谢绍东,岳奇贤. 模拟酸雨对砂浆影响的研究[J]. 中国环境科学,1996,16(1):21.
[5]赵烨,刘光,任春菊,等. 酸雨对普通硅酸盐建筑物表面腐蚀的形态模拟研究[J]. 北京师范大学学报,2002(2)1:6.
[6]胡晓波,侯晓燕,龙亭,等. 酸雨侵蚀下的水泥石组成变化分析[J]. 铁道科学与工程学报,2007,4(4):47.
[7]陈烽,肖佳,唐咸燕. 模拟酸雨环境下粉煤灰对水泥胶砂抗蚀性能影响的试验研究[J]. 粉煤灰,2006(6):11.