

DOI:10.3969/j.issn.1004-4701.2018.05.01

矿物掺合料在水泥土防腐中的试验研究

沈建国, 何 畅

(南京水利科学研究所, 江苏 南京 210029)

摘要:以连云港徐圩新区的一复合地基为研究背景,开展了大掺量掺合料在复合地基水泥土防腐中的试验研究,测试了大掺量掺合料水泥土的力学性能、抗硫酸盐性能以及不同养护条件下水泥土抗压强度,设计了复合地基水泥土胶凝材料方案.试验结果表明:使用大掺量掺合料可以保证水泥土的力学性能,能够提高复合地基水泥土的防腐性能。

关键词:掺合料;大掺量;复合地基;水泥土;防腐

中图分类号:TU411 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-4701(2018)05-0313-05

0 引言

在复合地基中使用水泥土可以有效提高地基承载力、稳定性和抗渗性,且施工成本低廉,具有良好的加固效果和经济效益。已有研究表明^[1-5],掺入适量矿物掺合料可以改善水泥土的孔隙结构,提高水泥土的密实度,进而提高水泥土的强度和抗渗性能。然而,目前关于腐蚀环境下掺有矿物掺合料的水泥土耐久性研究较少,尤其是大掺量掺合料对水泥土防腐性能的影响更是不得而知,有待深入研究。

为了探究大掺量掺合料对水泥土防腐性能的影响,本文以连云港徐圩新区的一复合地基为研究背景,开展了大掺量掺合料在复合地基水泥土防腐中的试验研究,并为此类复合地基水泥土的胶凝材料设计提供参考。

1 研究背景

本研究的背景工程位于连云港市徐圩新区,离海岸线约5 km。根据勘探结果,此工程在勘探深度范围内的地基土主要由杂填土、粉质粘土、粉土、淤泥质粉质粘土及粉砂组成,表层存在约16 m厚的淤泥。为了确保工程结构的安全可靠,选用水泥搅拌桩、高压旋喷桩的复合地基方案对地基进行加固。

采用上述方案对地基进行加固时,水泥土形成的桩体易受到环境中侵蚀介质的腐蚀,进而影响复合地基的加固效果。为了确定环境中侵蚀介质的腐蚀强度,笔者对此工程的地下水水质和场地土易溶盐进行了分析,分析结果如表1所示。

表1 地下水水质和场地土易溶盐分析试验结果

取样地点	地下水		场地土	
	Cl ⁻ / (mg/L)	SO ₄ ²⁻ / (mg/L)	Cl ⁻ / (mg/L)	SO ₄ ²⁻ / (mg/L)
1	19 729	1 249	15 775	1 357
2	29 636	2 786	5 140	3 182

根据表1中的分析结果,按《混凝土结构耐久性设计规范》^[6](GB/T 50476-2008)和《铁路混凝土结构耐久性设计规范》^[7](TB10005-2010)对此工程的环境作用等级进行评定,评定结果如表2所示。

表2 工程环境作用等级

评定项目	氯化物环境作用等级	化学腐蚀环境作用等级	盐类结晶破坏环境作用等级
评定结果	IV-E	V-D	Y3
参考规范	GB/T 50476-2008	GB/T 50476-2008	TB10005-2010

由表2可知,此工程环境中氯盐、硫酸盐对水泥土的腐蚀将十分严重。综合考虑工程所处的腐蚀环境及

收稿日期:2018-07-30

项目来源:国家重点研发计划课题(2017YFC0405102)

作者简介:沈建国(1959-),男,大学专科,工程师。

成本因素,复合地基选用强度等级为42.5的抗硫酸盐硅酸盐水泥或者采用大掺量掺合料代替部分抗硫酸盐硅酸盐水泥。

为了确保上述复合地基方案的加固效果,本文开展了大掺量掺合料在复合地基水泥土防腐中的试验研究。

2 试验材料及方案

2.1 水泥土材料及配比

水泥土设计以《水泥土配合比设计规程》^[8](JGJ/T 233-2011)中水泥土搅拌法为基准,土体材料为工程现场淤泥质土,胶凝材料掺入比为18%,水胶比为0.5。

针对水泥土所用胶凝材料,试验设计了8种胶凝材料方案,胶凝材料组分配比如表3所示。试验所用胶凝材料分别采用海螺牌P·O 42.5级普通硅酸盐水泥,P·HSR 42.5级抗硫酸盐硅酸盐水泥;南京热电厂的Ⅱ级(F类)粉煤灰;唐山钢铁厂生产的S95级矿渣粉。

表3 胶凝材料组分配比

方案编号	胶凝材料用量/%			
	普硅水泥	高抗硫酸盐水泥	粉煤灰	矿渣粉
LZ-0	100	/	/	/
LZ-K	/	100	/	/
LZ-F1	85	/	15	/
LZ-F2	75	/	25	/
LZ-G1	60	/	/	40
LZ-G2	50	/	/	50
LZ-H1	55	/	15	30
LZ-H2	45	/	20	35

2.2 水泥土力学性能试验方案

参照《水泥胶砂强度检验方法》^[9](ISO法)(GB/T 17671-1999)中试验方法,按表3中胶凝材料方案成型8组胶砂试件,测试胶砂试件7d和28d的抗折、抗压强度。

依据JGJ/T 233-2011中试验方法,按表3中胶凝材料方案成型8组水泥土试件,试件尺寸为70.7 mm×70.7 mm×70.7 mm,测试水泥土30d和60d的无侧限抗压强度。

2.3 水泥土抗硫酸盐性能与水泥土强度试验方案

参照《水泥抗硫酸盐侵蚀试验方法》^[10](GB/T 749-2008)和《混凝土抗硫酸盐类侵蚀防腐剂》^[11](JC/T 1011-2006),对表3中各胶凝材料方案的抗蚀系数和

膨胀系数进行评定。试验所用侵蚀溶液分别为5% Na₂SO₄溶液和根据工程实际配制的模拟侵蚀溶液(以下简称模拟侵蚀溶液),其中Cl⁻浓度为29 636 mg/L、SO₄²⁻浓度为2 786 mg/L。5% Na₂SO₄溶液中的SO₄²⁻浓度约为模拟侵蚀溶液的12倍。

依据JGJ/T 233-2011中成型方法,按表3中的胶凝材料方案成型8组水泥土试件,试件尺寸为100 mm×100 mm×100 mm。试件标准养护28d后,参照《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》^[12](GB/T 50082-2009)中抗硫酸盐侵蚀试验,评定水泥土试件的抗硫酸盐等级。试件标准养护28d后,取出部分试件浸泡在侵蚀溶液中,其余试件则继续在养护室中养护。

在水泥土试件强度测试中,浸泡所用侵蚀溶液分别为5% Na₂SO₄溶液和模拟侵蚀溶液。置于侵蚀溶液中的试件浸泡至30d后取出,同时取出标准养护试件,测试不同养护条件下水泥土抗压强度。

3 试验结果与分析

3.1 大掺量掺合料水泥土力学性能

各胶凝材料方案的胶砂强度测试结果如表4所示。

表4 胶凝材料胶砂强度 MPa

方案编号	7 d		28 d	
	抗折	抗压	抗折	抗压
LZ-0	7.5	43.9	9.3	58.7
LZ-K	7.7	40.5	8.9	48.3
LZ-F1	6.8	36.0	9.6	51.5
LZ-F2	6.1	30.3	8.4	42.6
LZ-G1	7.5	41.6	10.9	61.6
LZ-G2	7.2	34.6	9.7	58.5
LZ-H1	7.0	33.5	10.2	53.2
LZ-H2	6.4	30.1	9.2	48.3

由表4可知可知,LZ-K组的7d胶砂抗折和抗压强度相对较高,而28d相对较低。各组方案28d胶砂抗压强度除LZ-F2组外,均高于LZ-K组。

各胶凝材料方案成型的水泥土30d、60d无侧限抗压强度如图1所示。

各组水泥土30d的无侧限抗压强度均在3.0 MPa~4.9 MPa之间,LZ-G1组的强度最高,LZ-K组的强度较低。至60d龄期后,各组水泥土的无侧限抗压强度在5.0 MPa~6.9 MPa之间,掺有矿物掺合料的各组抗压强度均大于LZ-K组,LZ-G1组的强度最高。

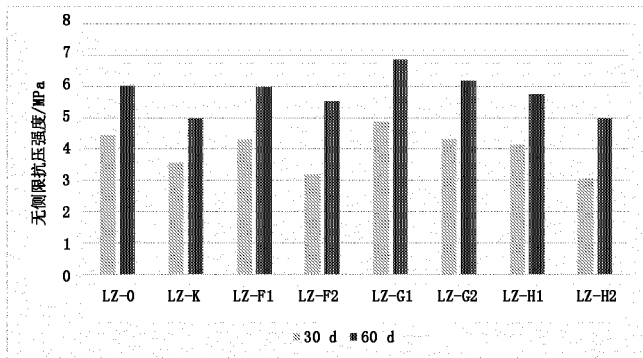


图 1 水泥土无侧限抗压强度

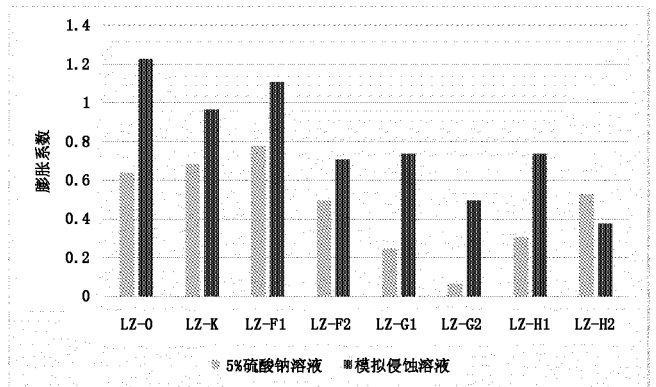


图 2 各方案膨胀系数

胶砂强度与无侧限抗压强度的试验结果表明,采用矿物掺合料代替部分抗硫酸盐硅酸盐水泥后,试件的力学性能会有所提高,提高效果随养护时间的增加而增大。

3.2 大掺量掺合料水泥土抗硫酸盐性能

3.2.1 抗蚀系数

各胶凝材料方案的抗蚀系数如表 5 所示。

表 5 胶凝材料抗蚀系数

方案编号	抗蚀系数 K	
	5% Na ₂ SO ₄	模拟侵蚀溶液
LZ-0	0.88	0.82
LZ-K	1.02	1.00
LZ-F1	1.07	1.05
LZ-F2	1.03	0.88
LZ-G1	1.07	0.89
LZ-G2	1.09	0.93
LZ-H1	1.21	1.03
LZ-H2	1.20	0.96

依据文献^[11]的规定,抗蚀系数 K 应大于 0.85。由表 5 可知,除 LZ-0 组(模拟侵蚀溶液中)外,各方案的抗蚀系数系数 K 均大于 0.85。LZ-F1 组和 LZ-H1 组在两种侵蚀溶液中的抗蚀系数均大于 LZ-K 组。由上述结果可知,采用大掺量掺合料对胶凝材料抗蚀系数有一定的影响,但效果并不显著。

3.2.2 膨胀系数

各胶凝材料方案的膨胀系数如图 2 所示。依据文献^[11]的规定,其膨胀系数 E 不应大于 1.50。由图 2 可知,各方案的膨胀系数 E 均小于 1.50,大掺量情况下胶凝材料在侵蚀溶液中的膨胀系数均小于 LZ-K 组。由此说明,采用大掺量掺合料代替部分抗硫酸盐硅酸盐水泥,可以有效降低胶凝材料的膨胀系数。

3.2.3 抗硫酸盐等级

各组水泥土试件在不到 10 次浸烘循环后,均已破坏。因此,借鉴文献^[12]的试验方法不能区分各方案抗硫酸盐侵蚀性能的优劣,无法评价大掺量掺合料对水泥土抗硫酸盐等级的影响,关于水泥土抗硫酸盐等级的试验方法有待进一步开发。

3.3 不同养护条件水泥土抗压强度

不同侵蚀溶液中浸泡 30 d 后的水泥土试件如图 3 所示。

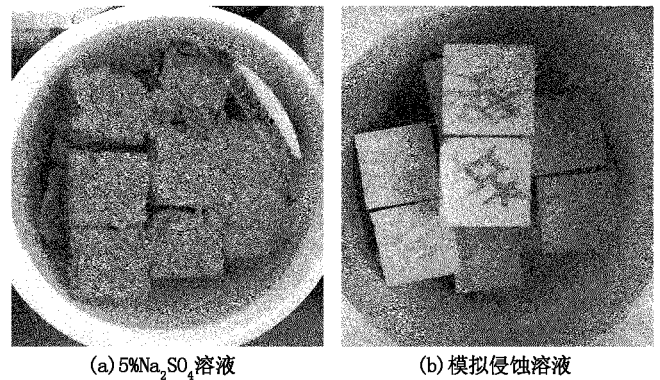


图 3 不同侵蚀溶液中浸泡 30 d 的水泥土试件

由图 3 可知,在高浓度硫酸盐(5% Na₂SO₄)浸泡下,水泥土不到 30 d 就出现崩解破坏,而采用模拟侵蚀溶液浸泡,水泥土试件表现无明显变化。

由于 5% Na₂SO₄ 溶液中的试件已出现崩解破坏,试验只对模拟侵蚀溶液浸泡的试件进行抗压强度测试,不同养护条件下水泥土试件抗压强度对比如图 4 所示。

由图 4 可知,模拟侵蚀溶液浸泡后的试件抗压强度较标准养护方式无明显变化,个别组(LZ-K 和 LZ-G1)的强度值甚至还略有提高。由此说明,在背景工程环境中采用大掺量掺合料取代部分抗硫酸盐硅酸盐水

泥,并不会引起水泥石抗压强度的明显下降。

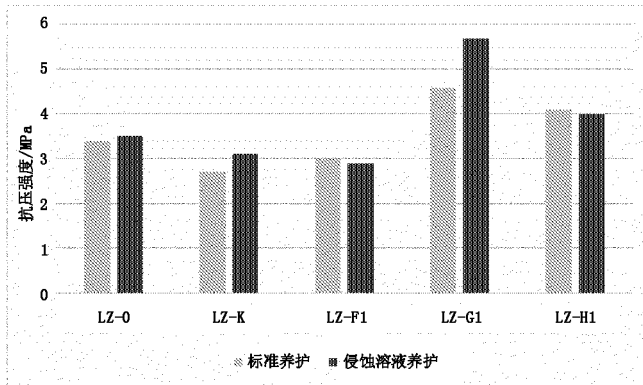


图4 不同养护条件下水泥石试件抗压强度对比

水泥石在 5% Na_2SO_4 溶液出现崩解破坏,而在模拟侵蚀溶液中抗压强度未出现明显下降,造成这一现象的主要原因^[13]是:侵蚀溶液中的 SO_4^{2-} 与水泥水化产物反应生成了钙矾石,钙矾石易在溶液中析出,可填补水泥石的孔隙,增加水泥石的抗压强度。当溶液中 SO_4^{2-} 浓度过大时,反应生成的钙矾石过多,引起水泥石体积膨胀,当膨胀力大于水泥石的胶结力时,导致水泥石崩解破坏。

4 复合地基水泥石胶凝材料设计

将各胶凝材料方案的 28 d 胶砂强度、30 d 水泥石强度、抗蚀系数以及膨胀系数试验结果进行汇总,并以 LZ-K 组为对照组进行比较,比较结果如表 6 所示。

表6 各胶凝材料方案试验结果汇总比较

编号	各项性能比较(以抗硫酸盐水泥组为对照组)			
	28 d 胶砂强度	30 d 水泥石强度	抗蚀系数	膨胀系数
LZ-0	++	++	-	-
LZ-K	0	0	0	0
LZ-F1	0	+	+	-
LZ-F2	-	-	0	+
LZ-G1	++	+++	0	+
LZ-G2	++	++	0	+
LZ-H1	+	+	+	+
LZ-H2	0	-	0	+

表 6 中胶砂强度和水泥石强度栏,强度每增加或减少 10% 为一个 + 或者 -;抗蚀系数和膨胀系数仅定性判断较优 + 或较劣 -。

由表 6 可知,LZ-0、LZ-G1、LZ-G2 组的力学性能较好,但抗硫酸盐性能略有不足。相比之下,LZ-H1 组(普通硅酸盐 42.5 水泥 55% + 粉煤灰 15% + 矿渣粉 30%)的各项性能均优于 LZ-K 组,其抗腐蚀性性能优于抗硫酸盐硅酸盐水泥。因此,此类复合地基水泥石的胶凝材料设计可优先选用 LZ-H1 方案,能够明显提高水泥石的防腐蚀性性能。

5 结论

通过大掺量掺合料在复合地基水泥石防腐蚀中的试验研究,本文获得的结论主要如下:

(1) 采用矿物掺合料代替部分抗硫酸盐硅酸盐水泥后,水泥石的力学性能会有所提高,提高效果随养护时间的增加而增大。

(2) 硫酸盐腐蚀环境下,大掺量掺合料对胶凝材料抗蚀系数的影响并不明显,但可以有效降低胶凝材料的膨胀系数。大掺量掺合料水泥石在 5% Na_2SO_4 溶液中浸泡 30 d 就会出现崩解破坏,而在模拟侵蚀溶液中抗压强度不会出现明显下降。

(3) 对于腐蚀环境下的复合地基,水泥石可选用配比为“普通硅酸盐 42.5 水泥 55% + 粉煤灰 15% + 矿渣粉 30%”的胶凝材料方案,能明显提高水泥石的防腐蚀性性能。

参考文献:

- [1] Arezoumandi M, Volz J S. Effect of fly ash replacement level on the shear strength of high-volume fly ash concrete beams[J]. Journal of Cleaner Production, 2013, 59(18): 120~130.
- [2] Supit S W M, Shaikh F U A. Durability properties of high volume fly ash concrete containing nano-silica[J]. Materials & Structures, 2015, 48(8): 2431~2445.
- [3] Arezoumandi M, Volz J S, Ortega C A, et al. Effect of total cementitious content on shear strength of high-volume fly ash concrete beams[J]. Materials & Design, 2013, 46(4): 301~309.
- [4] 李北星,周长泉,蔡老虎,等. 硫酸环境作用下粉煤灰混凝土性能劣化时变规律[J]. 材料科学与工程学报, 2014, 32(6): 809~815.
- [5] 汪潇,王宇斌,杨留栓,等. 高性能大掺量粉煤灰混凝土研究[J]. 硅酸盐通报, 2013, 32(3): 523~532.
- [6] 混凝土结构耐久性设计规范(GB 50476-2008)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [7] 铁路混凝土结构耐久性设计规范(TB 10005-2010)[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2011.
- [8] 水泥石配合比设计规程(JGJ/T 233-2011)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.

(下转第 333 页)