

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2018.04.037

早龄期镍铁渣粉水泥土强度试验研究

柯开展

(福建省建筑工程质量检测中心有限公司, 福建 福州 350028)

摘要: 为研究镍铁渣粉掺入到水泥土对其强度的影响, 试验分别对镍铁渣粉掺量为 0%、10%、20%、30%、40% 的水泥土进行 7 d 龄期和 28 d 龄期的无侧限抗压强度试验和 SEM 试验。试验结果表明, 水泥土的强度会随着镍铁渣粉掺量的增加而减小, 特别是 7 d 龄期时, 水泥土的强度下降非常明显, 微观结构疏松, 破坏应变也较大, 表现出更大的塑性。到 28 d 龄期时, 水泥土强度下降率逐渐变小, 微观结构也变的更加致密, 水泥土破坏主要表现为脆性破坏。由此说明, 镍铁渣粉在 7 d 龄期时对水泥土的强度贡献非常小, 到 28 d 龄期时, 才逐渐发挥其自身的作用。

关键词: 镍铁渣粉; 强度; 破坏应变; 微观结构

中图分类号: TU528.58

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2018)04-0192-04

Experimental Study on Early Age Strength of Nickel Iron Slag Powder Cement

KE Kaizhan

(Fujian Construction Engineering Quality Inspection Center Co., Ltd., Fuzhou, Fujian 350028, China)

Abstract: In order to study the effects of nickel iron slag powder on the strength of cement soil, the unconfined compressive strength test and the SEM test were carried out for 7 days old and 28 days old with 0%, 10%, 20%, 30% and 40% nickel iron slag powder respectively. The results show that the strength of cement soil decreases with the increase of nickel iron slag powder content, especially at 7 d age, the strength of cement soil decreases obviously, the microstructure is loose and the failure strain show also greater plasticity. At 28 d of age, the decrease rate of cement soil strength gradually becomes small, microstructure has become more dense, cement soil damage mainly manifested as brittle damage. It is shown that the contribution of nickel iron slag powder to the strength of cement soil is very small at 7 d age, and its effects is obvious in the 28th day of age.

Keywords: nickel iron slag powder; strength; failure strain; microstructure

水泥土是指在原状土或经捣碎后的土样中掺入水泥、水、外掺剂等物质后将其搅拌均匀, 然后再经过一定养护时间形成的一种与原状土相比在整体性、坚固性、水稳定性等都大大提高的土木工程材料。随着我国经济的发展和城市化进程的快速进行, 水泥土凭借其优良的性能在工程建设中的运用变的越来越广, 特别是在地基处理、渠道防渗、基坑围护、软土加固等方面已经有了很成熟的运用。水泥土在工程领域的广泛运用激起了学术领域中众多专家学者的兴趣, 并且多年来已经取得了丰硕的研

究成果^[1-4]。黄鹤等^[5]人研究了水泥掺量对水泥土无侧限抗压强度的影响。张家柱等^[6]通过试验研究了水泥土的抗剪强度、黏聚力、内摩擦角随水泥掺量和龄期变化的影响。张明等^[7]和梁仁旺等^[8]研究了将粉煤灰掺入到水泥土中对其强度和抗渗性能的影响。王文军等^[9]对纳米硅粉的固化机理进行了试验研究。Kaniraj S R 等^[10]建立了强度与龄期、水泥用量和粉煤灰用量之间的函数关系。Ismail M A 等^[11]通过三轴试验研究不同种类水泥对固化土抗剪性能的影响。张伟锋等^[12]研究分析了粉煤灰的水化及

固结特性。

目前通过将矿物掺和料掺入到水泥土中的研究已经取得了很大的成果,但研究成果还主要集中在粒化高炉矿渣、粉煤灰、硅灰等掺和料上。镍铁渣是镍冶炼厂和不锈钢冶炼厂排放的一种工业废渣^[13],通过将镍铁渣研磨后形成的镍铁渣粉也是一种具有活性的矿物掺和料。Dourdounis E 等^[14]采用细磨后的镍铁渣制备高铝水泥。樊佳磊等^[15]通过试验生产出了高标号水泥熟料。因此,本文通过将镍铁渣粉掺入到水泥土中,研究镍铁渣粉对水泥土早期强度的影响。

1 试验

1.1 试验材料

本次试验所用材料主要为水泥、淤泥质黏土、镍

表 1 土样的部分物理力学性质指标统计

土样名称	$\omega/\%$	$\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	e	$W_L/\%$	$W_P/\%$	$I_P/\%$	I_L	c/kPa	$\phi/(\circ)$
淤泥质土	47.4	1.64	1.364	44.7	24.4	20.3	1.13	31.2	13.9

表 2 炼石水泥化学成分

成分	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MgO	f-CaO	其他	烧失量
质量百分比/%	62.55	21.69	4.38	3.34	2.89	2.05	0.57	0.84	1.59

表 3 镍铁渣粉化学成分

成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	f-CaO	LOI
质量百分比/%	35.82	21.46	29.22	9.46	0.78	0.57	1.33	0.16	—	2.43

表 4 配合比设计

编号	水泥掺入比/%	水灰比	镍渣取代水泥掺量/%	龄期/d	
				7	28
A			0	3	3
B			10	3	3
C	15	0.45	20	3	3
D			30	3	3
E			40	3	3

试样制作的主要过程为:将野外取回的扰动土烘干捣碎后过 2 mm 筛,然后按原状土的含水率称取一定水和土的重量进行混合均匀,再将由水泥、镍铁渣粉、水搅拌而成的水泥浆混合料加入拌好的土料中,经胶砂搅拌机至少搅拌 5 min 钟后用三联模在胶砂振实台振实成型,最后将成型好的试样放置标准养护室养护至一定龄期。

试验所用仪器为 MTS Landmark 370.50 型疲劳

铁渣粉和纯净水。淤泥质黏土为取自福州大学城永嘉天地地铁站基坑内,土料取出时为灰黑色,含有少量粉细砂,取土深度为 20 m~21 m。其主要物理力学性质指标见表 1。水泥为福建炼石水泥集团有限公司生产的炼石牌 P·O42.5 普通硅酸盐水泥,水泥的 3 d 和 7 d 抗压强度分别为 25.7 MPa 和 46.3 MPa。化学成分见表 2。镍铁渣粉为福建源鑫环保科技有限公司生产的 S85 级镍铁渣粉,颜色为灰白色,其化学成分见表 3。

1.2 试验方法

本次水泥土的强度试验采用无侧限抗压强度的方法进行试验研究。试验试块为 70.7 mm×70.7 mm×70.7 mm 的标准立方体试块,每一配比每一龄期分别制作 3 个平行试样,其配合比见表 4,最后取试样的平均值作为试样的强度。

试验机,无侧限抗压强度 q 按式(1)计算:

$$q = \frac{P}{A} \quad (1)$$

式中: F 为试件破坏的极限压力,N; A 为试块与承压板的接触面积, mm^2 。

2 结果与分析

2.1 镍铁渣粉掺量对强度的影响

试验测得了镍铁渣粉水泥土 7 d 和 28 d 的无侧向抗压强度,见表 5。

表 5 无侧限抗压强度

龄期/d	不同掺量(%)的抗压强度/MPa				
	0	10	20	30	40
7	1.08	0.86	0.79	0.57	0.43
28	1.74	1.69	1.55	1.40	1.01

由表 5 可知,镍铁渣粉水泥土的强度在 7 d 和

28 d 龄期均会随着镍铁渣粉掺量的增加而下降。对比 7 d 与 28 d 不同镍铁渣粉掺量所对应水泥土强度连成的曲线可知,7 d 龄期的曲线整体斜率要大于 28 d 龄期的整体斜率。7 d 龄期时,镍铁渣粉掺量分别为 10%、20%、30%、40%,相对于基准水泥土其强度分别下降了 20.4%、26.9%、47.2%、60.2%。28 d 时,强度分别下降了 3.4%、12%、20%、41.7%。由此说明,在 7 d 龄期时,水泥土的强度下降率大。与基准组相比,其余各组水泥掺量减少,生成的 C-S-H 凝胶减少;而镍铁渣粉水化缓慢,早期生成的 C-S-H 凝胶少,总的 C-S-H 少,从而使得水泥土的早期强度会大幅度降低。综上分析可知,镍铁渣粉对水泥土强度的贡献非常小,也是和其他掺和料一样在早龄期时只起到微集料的填充作用,均匀分布在水泥颗粒之间。到 28 d 龄期时,不同镍铁渣粉水泥土强度的下降率与 7 d 龄期时相比已经减小了很多,镍铁渣粉掺量为 10%时,与基准组相比,强度只下降了 3.4%。因此可以说明,到 28 d 龄期时,掺入到水泥土中的镍铁渣粉已经对水泥土的强度发挥一定的作用,从而使掺有镍铁渣粉的水泥土强度下降率在慢慢变小。这主要是由于水泥的强度来源于 C_3S 和 C_2S ,其中 C_3S 的水化速度快,镍铁渣粉的强度来源玻璃体中 SiO_2 和 $Ca(OH)_2$ 的反应,而该反应在高碱度条件下反应速率较慢,所以导致其早期强度较低。这也是为什么掺有镍铁渣粉的水泥土在 7 d 龄期时强度下降率大,而到 28 d 时,强度的下降率在慢慢减小。

2.2 变形特性

2.2.1 应力应变曲线

图 1 和图 2 分别为 7 d 龄期和 28 d 龄期不同掺量镍铁渣粉水泥土的应力应变曲线。

从图可知,7 d 龄期当镍铁渣粉掺量为 0%时,水泥土的应力应变曲线可以表现出比较明显的三阶段曲线,即线弹性阶段、塑性屈服阶段和峰值软化阶段。随着镍铁渣粉掺量的增加,其应变软化的性质变的越来越不明显,当镍铁渣粉掺量为 40%时,水泥土应力应变曲线表现出与黏性土比较相似的性质,其趋势越来越接近应变硬化的性质。从而也说明了,当镍铁渣粉掺量为 40%时,水泥土将变的与普通黏性土并无很大区别,其性质更接近于一般黏性土,强度也很低。

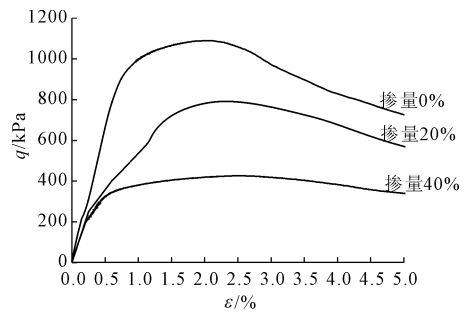


图 1 7 d 主应力差与轴向应变关系曲线

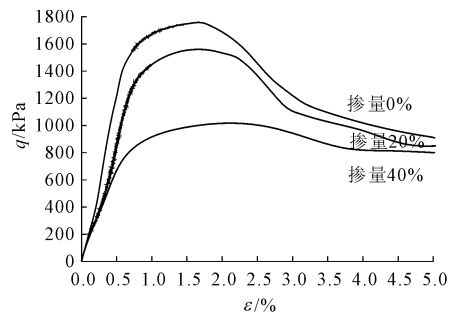


图 2 28 d 主应力差与轴向应变关系曲线

28 d 龄期时,不同镍铁渣粉水泥土的应力应变曲线均表现出很明显的应变软化特性,曲线的峰值应力也更加明显。由此说明,镍铁渣粉水泥土 28 d 龄期时与一般黏性土存在较大差别,强度已经得到了很大的提高。

2.2.2 破坏应变

破坏应变是衡量水泥土变形特性的重要指标之一,破坏应变大则其塑性特征明显,破坏应变小则其脆性特征显著。从表 6 和图 1、图 2 可知,7 d 龄期时,水泥土的破坏应变较大,并且随着镍铁渣粉掺量的增加而变大,说明早龄期时水泥土的塑性特征更加的显著,从加载到破坏阶段会发生更大的塑性变形。到 28 d 龄期时,水泥土的塑性变形普遍小于 7 d 龄期,镍铁渣粉掺量为 40%的水泥土试样,其破坏应变也已经下降到 1.5%,说明此时水泥土已经具有较大的强度,其破坏主要表现为脆性破坏,见图 3。

表 6 破坏应变

龄期/d	不同掺量(%)的应变度/%		
	0	20	40
7	1.57	2.20	2.54
28	1.17	1.26	1.50



图 3 试件脆性剪切破坏

2.3 微观结构

宏观是微观的外在表象,微观是宏观的内在本质,水泥土宏观力学性能是由其微观结构所决定的。因此,试验利用 SEM 分别对 7 d 龄期和 28 d 龄期的水泥土试样进行微观结构分析,如图 4 和图 5。

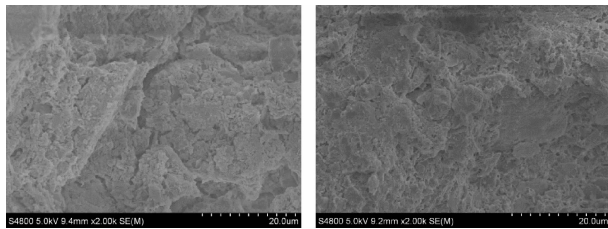


图 4 7 d 水泥土微观结构 图 5 28 d 水泥土微观结构

从 SEM 图片可以看出,7 d 龄期时,水泥土放大 2000 倍的微观结构比较疏松,土颗粒间的胶结物质很少,存在较多的孔隙与裂缝,从而使水泥土的整体性降低,宏观力学性能较差。到 28 d 龄期时,水泥水化生成的 C-S-H、C-A-H、Ca(OH)₂ 等胶凝物质越来越多,不仅可以使土颗粒胶结在一起,使得水泥土形成一个整体性更强的物体,而且胶凝物质等还可以填充土颗粒之间存在的孔隙与裂隙,使得水泥土变的更加致密与坚硬。如图 5 所示,28 d 龄期时的水泥土微观结构已经比 7 d 龄期时得水泥土微观结构变的更致密,孔隙和裂隙也大大减小,整体性更强,所以其宏观力学性得到很大的提高。

3 结 论

本文通过无侧向抗压强度试验和 SEM 试验研究得到如下结论:

(1) 7 d 龄期时,镍铁渣粉水泥土的微观结构疏松,孔隙与裂隙较多,镍铁渣粉取代水泥的掺入会造成水泥土强度的较大下降,镍铁渣粉对水泥土强度的贡献非常小,只起到集料的填充作用。

(2) 28 d 龄期时,与 7 d 龄期相比,镍铁渣粉水泥土的微观结构变的致密,整体性也更好,强度下降率变的更小,水泥土的脆性破坏特征变的非常明显。

(3) 镍铁渣粉的活性较低,特别是在较早龄期的时候,对材料的强度贡献非常小。到 28 d 龄期时,其活性才被激发,开始发挥对材料的作用。

参考文献:

- [1] 刘剑平,白晓红,王林浩,等. 偏高岭土及龄期对水泥土强度影响的试验研究[J]. 四川建筑科学研究, 2017(3): 62-66.
- [2] 周世宗,梁仕华,戴君. 矿渣和粉煤灰固化南沙软土试验研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2015, 13(4): 76-79, 125.
- [3] 张海燕,张传森,李元婷,等. 采用土壤固化剂改善渠道基土性能初探[J]. 水利与建筑工程学报, 2003(2): 38-40.
- [4] 储诚富,刘松玉,邓永锋,等. 含盐量对水泥土强度影响的室内试验研究[J]. 工程地质学报, 2007(1): 139-143.
- [5] 黄鹤,张俐,扬晓强. 水泥土材料力学性能的试验研究[J]. 太原理工大学学报, 2000, 31(6): 705-709.
- [6] 张家柱,程钊,余金煌. 水泥土性能的试验研究[J]. 岩土工程技术, 1999(3): 38-40.
- [7] 张明,白晓红. 粉煤灰在深层搅拌桩中应用[J]. 太原理工大学学报, 2001, 32(1): 78-81.
- [8] 梁仁旺,张明,白晓红. 水泥土的力学性能试验研究[J]. 岩土力学, 2001, 22(2): 211-213.
- [9] 王文军,朱向荣. 纳米硅粉水泥土的强度特性及固化机理研究[J]. 岩土力学, 2004, 25(6): 922-926.
- [10] Kaniraj S R, Havanagi V G. Compressive strength of cement stabilized fly ash-soil mixtures[J]. Cement and Concrete Research, 1999, 29(5): 673-677.
- [11] Ismail M A, Joer H A, Sim W H, et al. Effect of cement type on shear behavior of cemented calcareous soil[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2002, 128(6): 520-529.
- [12] 张伟锋,黄润秋,裴向军,等. 水泥土环境中粉煤灰水化与活性激发研究[J]. 长春工程学院学报, 2007, 8(1): 42-45.
- [13] 万朝均,孟立. 镍铁合金矿热炉渣辅助胶凝材料的制备与性能[J]. 重庆大学学报, 2010, 33(1): 119-123.
- [14] Dourdounis E, Stivanakis V, Angelopoulos G N, et al. High-alumina cement production from FeNi-ERF slag, limestone and diasporic bauxite[J]. Cement & Concrete Research, 2004, 34(6): 941-947.
- [15] 樊佳磊,李海宁. 使用镍钛渣配料生产优质水泥熟料[J]. 水泥, 2004(5): 24-26.