

文章编号:1671-6833(2010)02-0018-04

钢渣稳定土的水稳性试验研究

乐金朝, 李新明, 乐旭东

(郑州大学 水利与环境学院, 河南 郑州 450001)

摘要: 针对路基工程施工需要, 对于两种不同钢渣掺量的钢渣稳定土在不同饱水时间以及不同失水-吸水干湿循环次数下的无侧限抗压强度和劈裂强度的变化规律进行了研究, 并在最佳含水率附近探讨了钢渣稳定土对成型含水率的敏感性。试验结果表明, 对于钢渣掺量为8%和15%的钢渣稳定土, 在饱水试验和干湿循环试验中, 钢渣稳定土的抗压强度和劈裂强度在初期急剧减小, 最终均趋于稳定值, 且随着钢渣掺量的增加, 其水稳性得到改善。随着龄期的增长, 成型含水率的变化对钢渣稳定土强度的影响逐渐减小, 增加钢渣掺量也能够有效降低成型含水率变化对其强度的影响。

关键词: 钢渣稳定土; 路基; 水稳性; 干湿循环

中图分类号: U416.4 **文献标识码:** A

0 引言

焦桐高速叶舞段路基处于中湿状态, 路床填料的水稳性显得尤为重要。叶舞段沿线堆积着大量的钢渣, 严重影响环境。将钢渣应用于路基虽已有不少成功实例, 但都集中于级配钢渣在路基和路面基层中的应用, 对于利用钢渣活性稳定土的研究很少。针对焦桐高速叶舞段路床施工的需要, 提出利用钢渣代替部分石灰稳定土处治上路床。多位学者的研究均表明^[1-2], 路基的强度与稳定性与其湿度有密切的关系。笔者采用不同饱水时间以及不同失水-吸水干湿循环次数模拟地下水位和地表降水对路基性能影响的运行特征, 研究了不同成型含水率下钢渣稳定土的强度变化规律, 并对钢渣稳定土的水稳性进行综合分析, 为钢渣稳定土类材料的工程应用提供技术依据。

1 试验原材料

1.1 钢渣

试验用钢渣取自舞阳钢铁公司陈化8个月经磁选后的电炉钢渣, 主要成分见表1。可以看出, 该钢渣CaO含量高达49.44%, 其对应的碱度值为3.32, 属于高碱度渣^[3], 活性较大, 有利于进行工程利用。

表1 钢渣的主要化学成分

Tab. 1 Chemical constituents of steel slag %

成分	质量分数	成分	质量分数
CaO	49.44	Al ₂ O ₃	14.16
MgO	5.32	Fe ₂ O ₃	2.24
SiO ₂	14.89	f-CaO	1.18

表2为钢渣颗粒级配。可以看出, 试验用钢渣就其颗粒大小及颗粒组成而言, 属于砂类土。从颗粒级配来看, 不均匀系数为19.2, 曲率系数为2.9, 级配良好。若将其与土混合, 会在一定程度上改善素土颗粒级配, 有利于混合料的压实和强度的形成。

表2 钢渣的颗粒级配

Tab. 2 Grading curve of steel slag

孔径/mm	通过率/%	孔径/mm	通过率/%
9.5	100	0.6	63.9
4.75	99.1	0.3	44.0
2.36	88.4	0.15	22.7
1.18	72.2	0.075	11.8

1.2 土样

土样采集于焦桐高速 K44 + 600 桩号附近, 取土深度为0.3~0.7 m, 为红褐色黏土, 呈半坚硬块状, 常用指标如表3、4所示。

收稿日期: 2009-10-16; 修订日期: 2009-12-27

基金项目: 平顶山市科技攻关项目(2009041); 2007年教育部留学回国人员科研启动基金项目

作者简介: 乐金朝(1965-), 男, 河南信阳人, 郑州大学教授, 博士, 博士生导师, 主要从事道路工程新材料与新工艺研究, E-mail: yuejc@zzu.edu.cn.

表 3 土样的常用指标

Tab.3 Common indexes of soil sample

$W_L/\%$	$W_p/\%$	I_p	$\delta_{et}/\%$	$\omega_{op}/\%$	$\rho_{dmax}/(g \cdot cm^{-3})$	$\omega_s/\%$
41.6	22.2	19.4	33	14.5	1.90	2.4

表 4 土样的颗粒级配

Tab.4 Grading curve of soil sample

孔径/mm	2.0	1.0	0.5	0.25	0.075
通过率/%	100	88.3	71.2	57.1	33.8

由表 3 可以看出,土样液限高达 41.6,但自由膨胀率 δ 为 33% ($<40\%$),按照《公路土工试验规程》和《公路路基设计规范》推荐的分类标准,属于低液限黏土。从表 4 可以看出,该土样细颗粒含量多,浸湿后长期保持水分,不易挥发,因而承载力明显减小,应对其遇水后的稳定性进行研究。

2 试验内容与技术方

2.1 试件配合比及其力学性能

选取配合比 A 和 B 分别为钢渣含量为 8% 和 15% 的钢渣稳定土(质量分数)。其中配合比 A 为试验路段施工配合比。

钢渣稳定土的力学性能如表 5 所示。从表 5 可以看出,7 d 浸水强度与不浸水强度相差较大,说明水对钢渣稳定土的抗压强度(R_c)和劈裂强度(R_t)影响较大。另外,钢渣稳定土的早期强度较低,但随着龄期的增长后期强度增大,说明钢渣的活性得到激发,并且 90 d 强度得到了明显的提高。

表 5 钢渣稳定土的力学性能指标

Tab.5 Mechanical property index of steel slag soil

龄期 /d	配合比 A		配合比 B	
	R_c/MPa	R_t/MPa	R_c/MPa	R_t/MPa
* 7	0.57	0.07	0.71	0.08
7	0.41	—	0.47	—
14	0.47	—	0.58	—
28	0.51	0.05	0.68	0.07
90	0.72	0.07	0.89	0.10

注: * 表示不饱水。

2.2 水稳性试验内容及方案

根据《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》,击实试验采用重型击实试验法,试件在最佳含水率下按 95% 压实度静压成型,每组试件个数为 6 个,进行水稳性试验。

综合现有水稳性研究方法^[4-6],钢渣稳定土的水稳性的室内模拟试验主要包括以下三方面的内容:

(1) 饱水时间模拟试验。在室内水槽中铺设

透水石,加水至透水石顶面下约 1 mm,保持水槽平稳,然后将试件置于透水石上,在毛细作用下,试件通过透水石从水槽中吸水,通过不同的吸水天数来模拟现场路基饱水时间的长短。

A、B 两种配合比试件在标准养护室养护 28 d 后,自然风干 1 d,放置于水槽中的透水石之上,分别吸水 0,1,2,3,5,10 d,测试吸水后的抗压强度和劈裂强度及含水量,分析钢渣稳定土的强度变化规律。

(2) 干-湿循环试验。采用试件“在透水石上吸水-自然风干-吸水-自然风干……”干湿循环来模拟现场路基土的失水-吸水循环。两种配合比试件在标准养护室养护 28 d 后,取出自然风干 1 d 后,放置于水槽中的透水石上吸水 1 d,然后自然风干 1 d,其中自然风干 1 d-透水石上吸水 1 d(为一次干-湿循环),分别考察循环次数 $N=0,1,2,3,5$ 时对试件强度的影响。

(3) 水敏感性试验。对于 A、B 两种配合比的钢渣稳定土,在最佳含水率附近分别制作含水率变化了 $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$ 、 $\pm 3\%$ 的试件,养护 7 d 和 28 d 后,测试不同成型含水率对钢渣稳定土强度的影响。

3 试验结果与分析

3.1 击实特性

针对不同钢渣掺量钢渣稳定土分别进行击实特性试验,其干密度与含水率关系如图 1 所示。

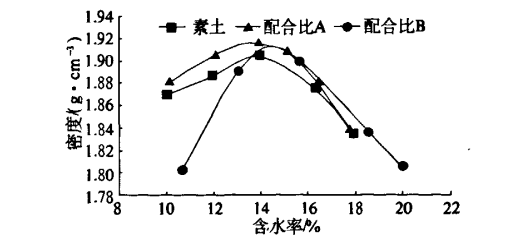


图 1 干密度与含水率变化关系

Fig.1 Relation between dry density and water content

从图 1 可以看出,在相同击实条件下,配合比 A 和 B 的最佳含水率相差不大,最大干密度随钢渣掺量的增加而有所减小;含水率的增大对钢渣稳定土干密度影响明显;钢渣的掺入在一定程度上加宽了可击实含水率区域,给施工带来了方便;但干密度对高于最佳含水率的情况敏感性较大,施工时需予以注意。

3.2 不同饱水时间对钢渣稳定土强度的影响

根据试验方案,作者进行了 A、B 两种配合比

下龄期为 28 d, 饱水时间为 0, 1, 2, 3, 5, 10 d 的抗压强度和劈裂强度及含水率的测试, 试验结果如图 2 所示。

(1) 素土 28 d 不饱水抗压强度达 0.26 MPa, 饱水 1 d 后强度急剧下降至 0.09 MPa (部分试件散掉), 2 d 后试件散掉, 强度几乎丧失, 这说明水对素土强度的弱化作用明显。

(2) 随着饱水天数的增加, 钢渣稳定土试件的含水率逐渐升高, 且在第 3 d 时基本趋于一定值。相对于素土而言, 在一定的初始含水率内, 钢渣稳定土试件饱水能力有了一定的降低, 说明钢渣的掺入在一定程度上改善了填料的水稳性。两种配合比试件在饱水 1 d 后抗压强度和劈裂强度均急剧下降, 这与图 2(a) 中的饱水 1 d 后含水率急剧增加和初期土体处于非饱和状态密切相关。

(3) 在饱水幅度范围内, 配合比 A、B 的试件抗压强度分别减小了 54.2% 和 31.4%, 分别大于 0.33 MPa 和 0.52 MPa。这说明钢渣的活性得到了激发, 钢渣的掺入相对降低了强度的减幅, 试验结果已基本接近饱和强度。

3.3 不同干湿循环次数对钢渣稳定土强度的影响

本次试验分别测试了配合比 A、B 在龄期为 28 d, 循环次数为 1, 2, 3, 5 时的无侧限抗压强度和劈裂抗拉强度及含水率, 测试结果如图 3 所示。结果表明:

(1) 与饱水试验的特征类似, 经过一次干湿循环, 素土试件的强度基本丧失, 水对其强度的弱

化作用非常明显。

(2) 经过不同次数的干湿循环, 试件强度的变化特征与饱水试验类似, 但在干湿循环的变化过程表现出一定的波动性, 这与试验过程中自然风干时的温度与湿度密切相关。表现为室内温度越高, 湿度越低, 强度有一定的增加, 这与文献 [4] 的成果基本一致。

(3) 随着干湿循环次数的增加, 钢渣稳定土的抗压强度和劈裂强度均有减小趋势, 经过 3 次干湿循环试件吸水已基本饱和。配合比 A、B 的抗压强度分别减小了 45.8% 和 43.0%, 最终趋于稳定值 0.39 MPa 和 0.49 MPa。说明钢渣的活性得到一定程度的激发, 抑制了抗压强度的减小, 在一定程度上改善了水稳性。但在相同含水率下, 饱水试验较干湿循环条件下试件的强度略小, 这与试件内部不同程度的损伤有关。

3.4 水敏感性试验

本次试验测试了成型时含水率分别为最佳含水率及其附近变化了 $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$ 、 $\pm 3\%$ 时的 7 d 和 28 d 强度, 每组试件 7 个, 结果如图 4 所示。

可以看出, 配合比 A、B 试件的抗压强度峰值出现在最佳含水率附近, 与含水率成抛物线关系。配合比 A 和 B 试件的 28 d 抗压强度降幅只有 37.3% 和 25.0%, 而 7 d 抗压强度的降幅为 41.5% 和 34.0%, 因此, 不同的含水率对 28 d 抗压强度的影响较 7 d 抗压强度小, 说明钢渣稳定土的长期强度对成型含水率的变化不太敏感。

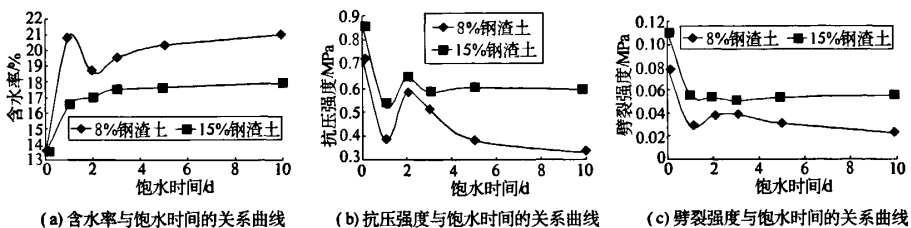


图 2 不同饱水时间对钢渣稳定土强度的影响

Fig. 2 Effect of soak period on the strength of steel slag soil

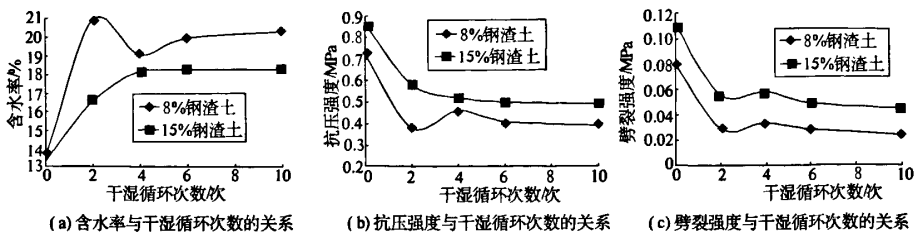


图 3 不同干湿循环次数对钢渣稳定土强度的影响

Fig. 3 Effect of different wetting and drying cycles on the strength of steel slag soil

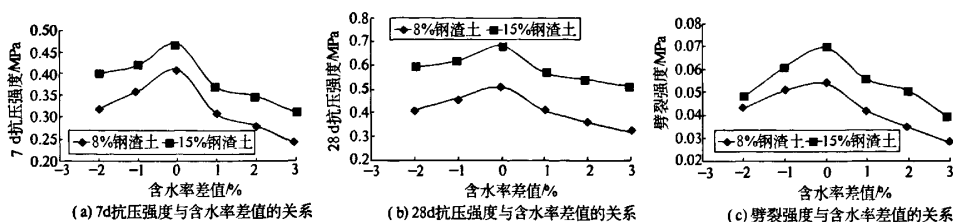


图4 不同成型含水率对钢渣稳定土强度的影响

Fig. 4 Effect of different water content on the strength of steel slag soil

经回归分析可知,在不同成型含水率情况下配合比A、B的7d和28d抗压强度有很好的相关性.关系式分别如下:配合比A, $y = 1.1348x + 0.0458$, $R^2 = 0.9931$; 配合比B, $y = 1.0678x + 0.1721$, $R^2 = 0.9984$. 其中, x 和 y 分别为7d和28d抗压强度,可以看出,在不同成型含水率情况下配合比A和B的7d和28d抗压强度相关性较好,对于强度预测有一定的帮助.

5 结论

(1) 钢渣稳定土的可击实含水率区域较素土宽,这将给施工带来一定的便利.

(2) 经过不同饱水时间和干湿循环试验,2种配合比混合料的抗压强度和劈裂强度均表现出先急剧衰减,而后趋于稳定的特征,但在干湿循环的变化过程中表现出了一定的波动性,这与试验过程中风干时环境的温度和湿度密切相关.相对于素土,钢渣稳定土的水稳性明显改善,且随钢渣掺量的增加其水稳性增强.

(3) 随着龄期的增长,成型含水率的变化对配合比A、B钢渣稳定土强度的影响逐渐减小.不

同成型含水率下钢渣稳定土的7d和28d抗压强度有很好的相关性,对于进行其强度预测有一定的帮助.

参考文献:

- [1] 谢华昌,吴海平,凌建明.湿度和吸力对处治土路基回弹模量的影响[J].中国公路学报,2001,14(增刊):19-21.
- [2] 刘冰.路基土冰冻稳定性室内试验条件的初步研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学 土木工程学院,2006.
- [3] 许远辉,陆文雄,王秀娟,等.钢渣活性激发的研究现状与发展[J].上海大学学报:自然科学版,2004,10(1):91-95.
- [4] 凌建明,谢华昌,庄少勤,等.水泥-石灰土水稳性的实验研究[J].同济大学学报:自然科学版,2001,29(6):733-737.
- [5] 冯美果,陈善雄,余颂,等.粉煤灰改性膨胀土水稳性试验研究[J].岩土力学,2007,28(9):1889-1893.
- [6] 梁波,丁立.粉煤灰作为填料的水稳性试验研究[J].岩土工程学报,2002,24(1):112-114.

Experimental Study on Water Stability of Steel Slag Stabilized Soil

YUE Jin - chao, LI Xin - ming, YUE Xu - dong

(School of Water Conservancy and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In order to study the water stability of steel slag soil and direct the construction of road bed, the varying characters of unconfined compressive strength and splitting tensile strength in different soak periods and different wetting and drying cycles have been carried out in the state of optimal water content under certain compaction. The two strength indexes of steel slag soil were investigated with the different water content when sample formed. Test results showed that after different soak periods and different wetting and drying cycles, both the unconfined compressive strength and the splitting tensile strength of steel slag soil with 8% or 15% steel slag decreased sharply in the initial period, and drove to stability of status at last time. As more steel slag is added, the steel slag soil had better water stability. For different water contents, the influence on both the unconfined compressive strength and the splitting tensile strength of steel slag soil decreased as the period of sample formed increased. The effect is the same by increasing the proportion of steel slag.

Key words: steel slag stabilized soil; road bed; water stability; wetting and drying cycle