

钢渣-粉煤灰粉质黏土小应变动力特性研究

李伟 李赫夫 王泽

沈阳建筑大学土木工程学院

DOI:10.12238/btr.v7i2.4267

[摘要] 目的: 研究钢渣-粉煤灰稳定粉质黏土的小应变动力特性,探讨钢渣粉煤灰粉质黏土混合料是否可以在工程中应用,方法: 利用GDS-RCA共振柱系统,开展不同配合比、养护时间和围压条件下钢渣粉煤灰粉质黏土混合料的动力特性试验,探究在不同配合比、养护时间和围压对钢渣粉煤灰粉质黏土混合料动力特性的影响。通过试验得到2种配合比和3种养护时间在150KPa围压下的动剪切模量和阻尼比曲线。结果: 在钢渣与粉煤灰二者总量占混合土体的 20%,渣灰比为6:4时,混合土体的最大动剪模量达到最高;渣灰比一定时,钢渣粉煤灰混合土的动剪模量随养护龄期的增长而提高。结论: 通过与钢渣粉质黏土的混合料的试验结果比较,钢渣粉煤灰粉质黏土混合料在养护龄期大于3天时,其动剪切模量大于钢渣粉质黏土混合料。钢渣粉煤灰作为地基处理材料是可行的。

[关键词] 钢渣; 粉煤灰; 动剪模量; 阻尼比

中图分类号: TQ442.32 **文献标识码:** A

Study on Small Strain Dynamic Characteristics of Steel Slag Fly Ash Fly Ash Clay

Wei Li Hefu Li Ze Wang

School of Civil Engineering, Shenyang Jianzhu University

[Abstract] To study the small strain dynamic characteristics of steel slag-fly ash stabilized silty clay, and to replace cement silty clay mixture with steel slag fly ash silty clay mixture in engineering. Using the GDS-RCA resonant column system, conduct dynamic characteristics tests on steel slag, fly ash, and fly clay mixtures under different mix ratios, curing times, and confining pressure conditions Through experiments, the dynamic shear modulus and damping ratio curves of four mating ratios and three curing times under three confining pressures were obtained. When the total amount of steel slag and fly ash accounts for 20% of the mixed soil, and the slag-ash ratio is 6:4, the maximum dynamic shear modulus of the mixed soil reaches the highest. the dynamic shear modulus of steel slag fly ash mixed soil increases with the increase of curing age. By comparing with the test results of cement silty clay mixture, the dynamic shear modulus of steel slag fly ash silty clay mixture is greater than that of cement silty clay mixture when the curing period is greater than 3 days, so it is feasible for steel slag fly ash to replace cement as a foundation treatment material.

[Key words] steel slag; Fly ash; Dynamic shear modulus; Damping ratio

引言

钢渣是钢铁冶炼过程中形成的工业废渣,其水化活性物质与水泥成分中的水化活性物质基本相同。粉煤灰是煤炭在锅炉燃烧过程中未充分燃尽的煤粉产生的悬浮状粉尘。钢渣和粉煤灰作为钢铁冶炼过程中的次生废弃物。美国、日本的回收利用率已接近100%,欧洲也达到了87%,而我国的钢渣利用水平则严重滞后,仅为29.5%^[1]。

ChanCM^[2]等人对钢渣凝固海洋疏浚混凝土的力学性能进行了深入研究,在钢渣凝固处理后的海洋疏浚土的应变显著下降,研究表明,以钢渣作为回填填料对海洋疏浚土的稳定作用,

能够满足工程回填的规范要求。

Argaw Asha Ashanggo^[3]等研究钢渣固化膨胀土的力学特性,经过钢渣固化的膨胀土,无侧限抗压强度提高2倍,动力特性提高58%。钢渣能够有效地固化膨胀土。

沈卫国^[4]研究发现钢渣:粉煤灰1:1、外加剂掺量为2.5%时是用于路面基层材料时其最优配比,回弹模量值为1300~1700MPa,劈裂抗拉强度值为0.5~0.8MPa。

谭鹏^[5]对钢渣粉煤灰混合料进行了疲劳试验。研究表明,应力比与疲劳寿命可用线性方程 $S_1=A-B \lg N_f$ 表示,在同一应力条件下,其抗疲劳性能相较于石灰土、水泥土和二灰土均得到明显改善。

表1 钢渣的化学成分

钢渣	$\omega(\text{CaO})$	$\omega(\text{SiO}_2)$	$\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3)$	$\omega(\text{Al}_2\text{O}_3)$	$\omega(f-\text{CaO})$	$\omega(\text{MgO})$	$\omega(\text{P}_2\text{O}_5)$	$\omega(\text{FeO})$
	40.02%	19.43%	13.20%	3.08%	1.5%	10.52%	1.64%	7.2%

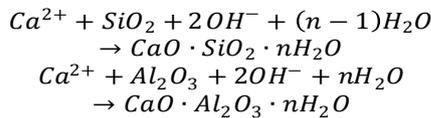
张桂荣^[6]等利用大量室内试验研究了在堤防除险加固工程中,在水泥掺量4%时,粉煤灰掺量从0%提升至6%,改良土渗透系数降幅为130%,无侧限抗压强度增幅约为118%。保持粉煤灰掺量6%,水泥的掺量从0%提升至6%,改良土无侧限抗压强度增幅约为235%,渗透系数降低约6.9%。水泥作为改良剂改良土体以提高土体的力学性能为主,而粉煤灰作为改良剂以降低土体的渗透性能为主。

黄永强^[7]等讨论了在不同钢渣含量下二灰稳定钢渣碎石材料的抗压回弹模量与间接抗拉强度。当钢渣含量从0%增加到100%时,骨架密实型混合料的抗压回弹模量。

增长为7.1%的间接抗拉强度增长为17.6%。悬浮密实型混合料的抗压回弹模量增幅达22.9%,间接抗拉强度增幅达34.3%。

李曙龙等^[8]利用碱性物质激发粉煤灰水泥混合料再生基层可以显著提升其力学特性和干缩性能,发现当粉煤灰掺量为25%时,水泥粉煤灰对于再生基层的固化效果最佳,显著提升其抗冲刷性。

粉煤灰表面进一步生成具有胶凝性的硅铝酸钙盐,并逐渐硬化,粉煤灰能够用来生产各种建筑材料,其具体反应式如下^[9]:



在利用固废的趋势下,钢渣粉煤灰都有与水泥相似的化学成分,作为软弱地基处理的材料逐渐受到更多的关注,本试验决定采用钢渣粉煤灰混合料加固粉质黏土,并利用共振柱试验探究混合土体的小动力应变特性。

1 试验介绍

1.1 试验材料

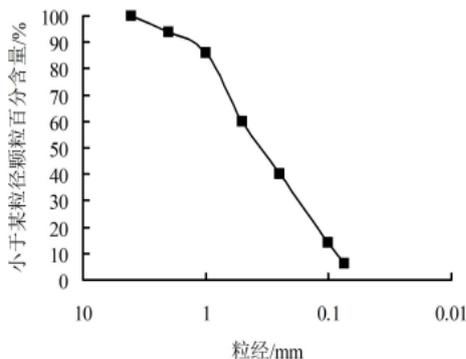


图1 钢渣粒径分布曲线

本试验使用土壤采用粉质黏土重塑土,在105℃的温度条件下烘干并碾碎后,进行人工筛分。钢渣的粒径均在4mm以下,其中1mm以下的粒径占80%以上,粒径配比如图1所示,化学性质由表1所示。

1.2 试样制备与试验方法

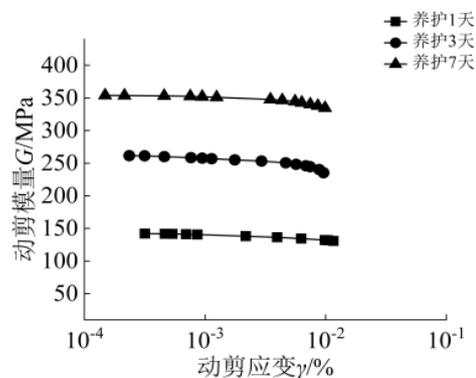
实验设定钢渣和粉煤灰的含量占总固体质量的20%,根据《道路用钢渣》(GB/T 25824-2010)^[10]及《水泥胶砂强度检验方法(ISO法)》(GB/T 17671-2021)^[11],道路工程中地基的养护时间为7天,本试验探究土体的小动力应变特性,为满足实际需要,设定养护时间为1天、3天、7天。

制备 $\phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$ 试样,根据击实实验发现钢渣、粉质黏土和粉煤灰混合材料的最佳含水率为18%;首先将钢渣、粉煤灰、水按比例称量后混合均匀,然后放入使用三瓣模具分层击实,并放入养护室恒温养护。设定钢渣和粉煤灰的比例即渣灰比分别为8:2,6:4。设定不同的养护龄期,拟定施加围压分别为150kPa,养护龄期分别为1天,3天,7天。共计6组试样。

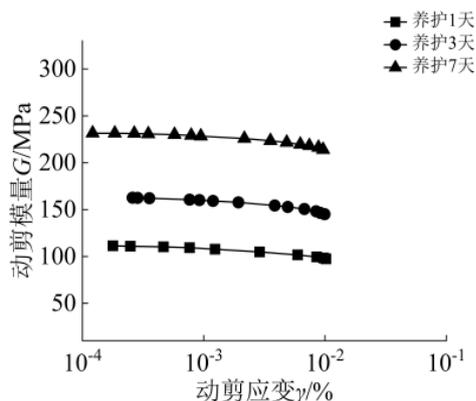
2 试验结果分析

动剪切模量: 养护龄期对动剪模量的影响。

图2是钢渣粉煤灰粉质黏土混合土在渣灰比分别为8:2和6:4时,150kPa围压条件下,对不同养护龄期(1天、3天、7天)时,动剪模量随动剪应变的变化关系曲线。钢渣粉煤灰混合土的动剪模量随养护龄期的增长而增长。养护龄由1天3天时,动剪模量的增长幅度高于由3天增长至7天时的试验结果值。此项试验结果表明,将钢渣和粉煤灰联合用作地基处理材料时,因为钢渣粉煤灰的水化反应较慢,1天和3天时生成的胶凝物质不足,早期会出现强度偏低的现象,但经过7天的养护后,钢渣粉煤灰水化反应生成了足够的凝胶物质,对粉质黏土骨架进行良好的填充加固。



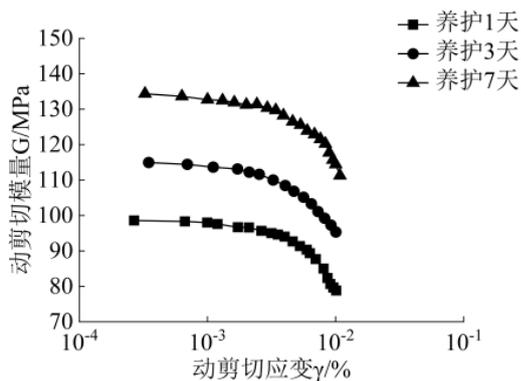
(a) 渣灰比6:4



(b) 渣灰比8:2

图2 含水率18%围压150kPa时的G~γ变化曲线

钢渣粉质黏土混合料的配合比Gs40, 时, 表示钢渣在固体颗粒总质量所占比例为40%, 如图3所示, 养护时间相同, 围压150kPa时, 钢渣含量占土体40%时动剪切模量小于钢渣粉煤灰为6:4时, 钢渣粉煤灰可以替代钢渣用于固化粉质黏土。



(c) Gs40, 150kPa

图3钢渣粉质黏土混合料的 G~γ 变化曲线

3 结论

本文结合钢渣和粉煤灰的理化性质及其作用效果, 采用钢渣和粉煤灰联合处理粉质黏土, 探究其动力特性。利用共振柱试验, 对于钢渣粉煤灰粉质黏土混合料, 得出以下结论:

(1) 在钢渣与粉煤灰二者总量占比为混合土体的20%的前提下, 钢渣粉煤灰混合土在渣灰比为6:4时, 混合土体的动剪模量达到最大值, 阻尼比达到最小值。在渣灰比为6:4时, 土体的小应变动力特性最好, 钢渣粉煤灰混合料对土体的加固效果最为理想。

(2) 在配合比与围压相同时, 动剪切模量随养护龄期的增加而增加, 当养护龄期由1天增长至3天时, 动剪模量的增长幅度高于由3天增长至7天时的试验结果值, 钢渣粉煤灰混合土的小应变动力特性随养护时间增加逐渐改善, 钢渣和粉煤灰的胶凝作用大大提高, 能够较为理想的对粉质黏土骨架进行填充加固。

(3) 与钢渣粉质黏土混合料Gs40的配合比做对比, 钢渣粉煤灰粉质黏土混合料在渣灰比为6:4且养护龄期大于3天时, 其小应变动力特性优于钢渣粉质黏土混合料, 因此钢渣粉煤灰处理地基满足工程标准, 可以抵抗车辆、机械等的震动对地基的破坏。

【参考文献】

[1]高本恒,郝以党,张淑苓,等.钢渣综合利用现状及发展趋势[J].环境工程,2016,34(S1):776-779.

[2]Chan C M, Hamzah N H. The engineering properties of dredged marine soil solidified with activated steel slag[C]// InCIEC 2014:Proceedings of the International Civil and Infrastructure Engineering Conference 2014. Springer Singapore, 2015:427-438.

[3]Ashango A A,Patra N R. Behavior of expansive soil treated with steel slag, rice husk ash, and lime[J].Journal of Materials in Civil Engineering,2016,28(7):601-608.

[4]沈卫国,周明凯,赵青林,等.钢渣粉煤灰路面基层材料的研制[J].武汉理工大学学报,2002,(05):15-18.

[5]谭鹏.钢渣粉煤灰基层的疲劳性能研究[J].中外公路,2006,(1):169-17.

[6]张桂荣,罗紫婧,邵勇.水泥、粉煤灰改良细砂土的工程特性与改良机理[J].水利与建筑工程学报,2019,17(05):128-132.

[7]黄永强,李飞,欧碧峰等.二灰稳定钢渣碎石基层材料沥青路面设计参数研究[J].公路工程,2013,38(01):208-212.

[8]李曙龙,吴晚良,万暑.碱激发粉煤灰水泥稳定再生集料性能的研究[J].公路工程,2020,45(05):197-202+233.

[9]王泽.钢渣粉煤灰混合料稳定粉质黏土的小应变动力特性试验研究[D].沈阳建筑大学,2022.

[10]GB/T 25824-2010《道路用钢渣》(GB/T 25824-2010《Steel Slag for Road Use》).

[11]GB/T 17671-2021《水泥胶砂强度检验方法(ISO法)》(GB/T 17671-2021《Method for Testing the Strength of Cement Mortar (ISO Method)》).