

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2022.10.051

复合材料改性城市路基土短龄期三轴力学特性

方睿¹, 李犇², 张晨², 钱彪¹, 张芳²

(1.同创工程设计有限公司, 浙江 绍兴 312000; 2.绍兴文理学院, 浙江 绍兴 312000)

摘要:为了探究纳米 MgO 对水泥路基土短龄期下的改性效果, 分别对水泥改性路基土(简称“水泥土”)和 1.5% 掺量纳米 MgO 改性水泥路基土(简称“纳米水泥土”)试样进行不固结不排水(UU)三轴试验。结果表明:(1)水泥土和纳米水泥土试样的偏应力-轴向应变曲线均为软化型曲线, 试样表现为脆性破坏。(2)水泥土和纳米水泥土试样力学特性的提升均对围压的升高具有较好的敏感性。(3)纳米 MgO 的掺入对水泥土试样的峰值应力、残余应力、黏聚力和内摩擦角均具有较好的提升效果。上述结果表明, 掺入纳米 MgO 对水泥土试样进行力学特性改善是可行的, 并且纳米 MgO 主要在于试样结构的改善。

关键词:水泥路基土; 纳米 MgO; 三轴试验; 力学特性

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)10-0204-04

0 引言

随着经济的发展和工程技术的进步, 工程人员在城市道路的路基施工中经常会遇到各类土壤, 其中一些土壤存在着承载力低、刚度小和强度弱等缺陷, 不能满足工程实际的要求, 需要采取一定的改良措施, 如粉质黏土^[1-2]。

粉质黏土作为一种典型的缺陷土, 由于具有低强度和较差的水稳性, 在雨季施工时易发生湿陷现象, 对土区的施工造成严重的危害^[3]。因此, 如何采用一种有效的土体改良措施以避免严重的路基、路面甚至建筑物损坏, 吸引了大量学者的关注^[4]。例如, 马卉等^[5]通过无侧限抗压试验探究了水泥对粉质黏土的改性效果。结果表明, 随着养护龄期的提升, 水泥的掺入能够较好地提升土样的抗压强度和抗冻性能。然而, 随着工程环境的变化, 研究者发现水泥对土样力学特性的改善效果往往不能满足实际工程的需求。如何对水泥粉质黏土进行改性, 从而提升其力学特性成了近年来的研究重点^[6]。朱定华等^[7]通过无侧限抗压试验探究了纤维对水泥粉质黏土的改性效果。结果表明, 纤维对土样的抗压强度具有较好的提升效果。上述文献表明, 掺入合适的材料对水泥粉质黏土进行改性具有较好的可行性, 但很少有

人考虑工作环境和纳米材料对改性效果的影响。在实际工程中, 土体改造层往往被埋在地下, 深度(围压)和改性材料的变化将会对土样的力学特性产生较大影响^[8]。因此, 有必要研究围压和纳米材料对水泥粉质黏土力学特性的影响。

另外, 在路基施工中, 为了尽快满足后续施工和路面应用的要求, 探究短龄期条件下改性土样的力学特性也具有一定的必要性。本文基于上述研究, 在 0.1 MPa、0.2 MPa 和 0.3 MPa 围压下, 对 3 d 养护龄期的水泥土和纳米水泥土进行了一系列三轴 UU 试验, 并探讨了短龄期下, 不同围压和纳米 MgO 对水泥粉质黏土的改性效果, 以期对纳米水泥土运用于实际工程提供参考。

1 试验方案

1.1 试验材料和设备

本试验路基土样取自浙江省绍兴市某路段, 其技术指标见表 1。按《建筑地基基础设计规范》^[9](GB 50007—2011), 其属于粉质黏土, 具体实物见图 1。试验选用 PO32.5 硅酸盐水泥。采用纳米 MgO 作为改性材料, 主要参数指标见表 2。采用图 2 全自动三轴仪, 型号为 TKA-TTS-3S。

表 1 路基土技术指标

最大干密度 ρ_d ($g \cdot cm^{-3}$)	最佳含水率 /%	液限 /%	塑限 /%	塑性指数 I_p
1.81	16	27.5	16.2	11.3

1.2 试样制备与方案

本试验根据《土工试验方法标准》(GB/T 50123—

收稿日期: 2022-01-22

基金项目: 浙江省建设科研项目(2019K171); 绍兴文理学院研究生科研课题(绍学院研(2020)24号)

作者简介: 方睿(1979—), 男, 本科, 高级工程师, 从事道路与桥梁工程工作。



图1 路基土样

表2 纳米 MgO 技术指标

颗粒大小 /nm	密度 /($g \cdot m^{-3}$)	熔点 / $^{\circ}C$	沸点 / $^{\circ}C$	纯度 /%
15 ~ 20	3.58	2 850	3 600	99.8



图2 全自动三轴仪

2019),采用三瓣饱和器,制作高度 $H = 80 \text{ mm}$ 、直径 $D = 39.1 \text{ mm}$ 的三轴试样。制样完成后,将所有试样放置在恒温($20^{\circ}C$)、恒湿(95%)的养护箱中标准养护3d。试样养护完成后,进行UU三轴试验^[10]。试验的具体方案见表3。表3中,试样的含水率和水泥含量均为干土质量分数、纳米MgO含量为水泥的质量分数。试样破坏前后特征见图3和图4。

表3 试验方案

组别	含水率 /%	水泥含量 /%	MgO 含量 /%	养护龄期 /d	围压 /MPa
水泥土			0		0.1
纳米水泥土	22	20	1.5	3	0.2
					0.3

2 试验结果及其分析

2.1 偏应力 - 轴向应变曲线

图5分别显示了水泥土和纳米水泥土试样的偏应力 - 轴向应变曲线(以下简称“ $q-\epsilon$ 曲线”)。由图可知,不同试样 $q-\epsilon$ 曲线均为软化型曲线,且曲线的



图3 破坏前试样



图4 破坏后试样

数学特征分别为:过原点、曲线外凸、存在极值点及渐近线。该结果表明,水泥土和纳米水泥土试样的破坏特征均为脆性破坏。据 ASTM D2850—15 相关规定,当 $q-\epsilon$ 曲线存在明显峰值时,最大轴向应变的取值应大于峰值应力下应变的 3% ~ 5%^[11]。在本研究中,最大轴向应变为 10%。

2.2 峰值应力和残余应力

对不同试样的峰值应力和残余应力进行量化分析,将能较好地描述试样在有侧限条件下的轴向抗压强度和试样破坏后抵抗外部荷载的能力(简称“抗破坏力”)。由图5相关数据可得水泥土和纳米水泥土试样的峰值应力 q_p 和残余应力 q_r 图(见图6)。由图6可知,随着围压的升高,与 0.1 MPa 相比,0.3 MPa 围压下,水泥土和纳米水泥土试样的峰值应力增加幅度分别为 63%和 59%,残余应力的增加幅度分别为 125%和 115%。此外,当围压一定时,与水泥土相比,纳米水泥土试样的峰值应力和残余应力的增加幅度分别为 11% ~ 18%和 9% ~ 32%。上述结果表明,水泥土和纳米水泥土试样承载力和抗破坏力的提升对围压的升高具有较好的敏感性。而对比水泥土试样,随着纳米 MgO 的掺入,水泥土试样的承载力和抗破坏力均有较好的提升。

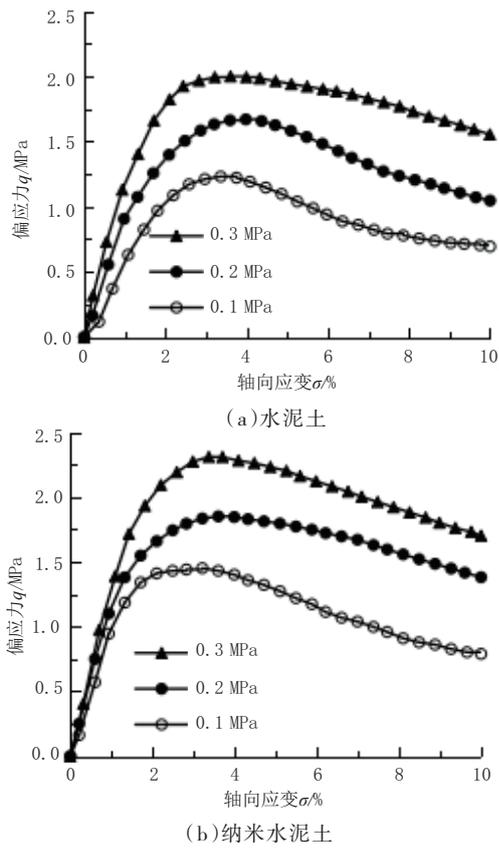


图5 水泥土和纳米水泥土试样的 $q-\varepsilon$ 曲线

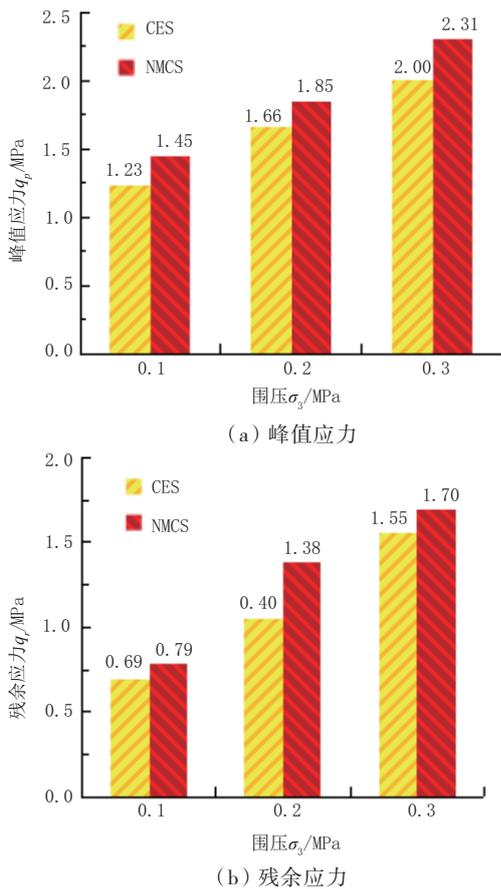


图6 不同试样峰值应力和残余应力

2.3 强度曲线

为了绘制不同试样的强度包线,并得出其强度参数^[8]。本文以法向应力为横坐标,以剪应力为纵坐标,在横坐标上以 $(\sigma_1+\sigma_3)/2$ 为圆心、 $(\sigma_1-\sigma_3)/2$ 为半径绘制极限应力图(见图7)。由图7可求出试样的强度参数 c 、 ϕ (见表4)。

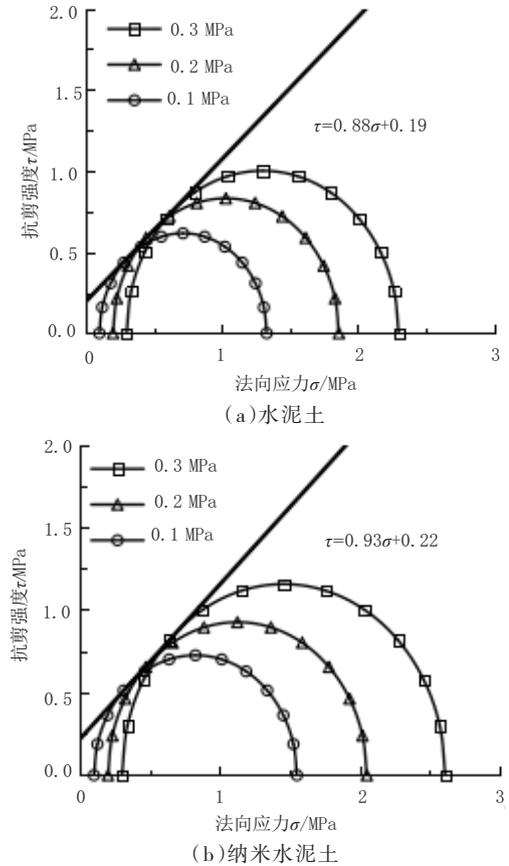


图7 水泥土和纳米水泥土试样的摩尔包络图

表4 抗剪强度参数

组别	强度公式	c /MPa	ϕ /($^\circ$)
水泥土	$\tau = 0.88\sigma + 0.19$	0.19	41.2
纳米水泥土	$\tau = 0.93\sigma + 0.22$	0.22	43.1

由图7和表4可知,水泥土和纳米水泥土试样的黏聚力 c 分别为 0.19 MPa 和 0.22 MPa,内摩擦角 ϕ 分别为 41.2° 和 43.1° 。与水泥土试样相比,纳米水泥土试样的 c 和 ϕ 值的增加幅度分别为 16% 和 5%。该结果表明,纳米 MgO 的掺入对水泥土试样的抗剪强度具有较好的提升效果。其与 Wang 等^[12]的试验结果基本相符,他们分别通过直剪和无侧限试验探究了纳米 MgO 对滨海软土的改性效果。结果表明,纳米 MgO 的掺入对水泥改性滨海软土的力学特性具有较好的改性效果,且主要原因为,纳米 MgO 的掺入会起到促进水泥水化反应和孔隙填充的作用。

3 结 语

(1)水泥土和纳米水泥土试样的 $q-\varepsilon$ 曲线均为软化型曲线,其数学特征为:过原点、曲线外凸、存在极值点及渐近线。该结果表明,水泥土和纳米水泥土试样的破坏特征均表现为脆性破坏。

(2)当围压一定时,与水泥土试样相比,纳米水泥土试样的峰值应力、残余应力、黏聚力和内摩擦角的增加幅度分别为 11%~18%、9%~32%、16%和 5%。该结果表明,纳米 MgO 的掺入对水泥土试样的承载力、抗破坏力和抗剪强度均具有较好的提升效果。另外,水泥土和纳米水泥土试样力学特性的提升对围压的升高均具有较好的敏感性。

本研究通过 UU 三轴试验,探讨了不同围压和短龄期下,纳米 MgO 对水泥土试样的改性效果。结果表明,纳米 MgO 的掺入对水泥土试样的力学特性均具有较好的改性效果。然而,本研究只考虑了 UU 三轴条件下,单一掺量及短龄期条件下试样的力学特性,对于不同试验条件和掺量的影响有待进一步讨论。

参考文献:

[1] 吴瑞潜,汤有志,林群仙,等.绍兴重塑粉质黏土抗剪强度特性的试

验研究[J].绍兴文理学院学报(自然科学),2020,40(1):9-14.

[2] Yao K, Li N, Wang W, et al. Generalized hyperbolic formula capturing curing period effect on strength and stiffness of cemented clay [J]. Construction & Building Materials, 2019, 199: 63-71.

[3] 张卫兵,蒋佳莉.干湿循环下重塑粉质黏土压缩性劣化规律研究[J].建筑科学,2020,36(5):75-82.

[4] 武欣慧,王海龙,申向东.基于静三轴试验的水泥改善粉质黏土工程特征的试验研究[J].中国科技论文,2015,10(13):1583-1587.

[5] 马卉,张志良,岳丰田,等.水泥改良粉质黏土的冻土强度变化规律[J].科学技术与工程,2018,18(17):291-296.

[6] 邓林飞,阮波.聚丙烯纤维水泥粉质黏土三轴压缩试验研究[J].铁道科学与工程学报,2019,16(5):1201-1206.

[7] 朱定华,董磊平,何峰,等.聚苯乙烯纤维轻质混合土的抗压强度特性[J].南京工业大学学报(自然科学版),2010,32(2):53-57.

[8] Wang W, Zhang C, Liu Y, et al. Investigation on the Triaxial Mechanical Characteristics of Cement-Treated Subgrade Soil Admixed with Polypropylene Fiber[J]. Applied Sciences, 2019, 9(21):9214557.

[9] GB 50007—2011,建筑地基基础设计规范[S].

[10] GB/T 50123—2019,土工试验方法标准[S].

[11] ASTM. Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils [S]. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2015.

[12] Wang W, Li Y, Li N, et al. Strength properties of nano-MgO and cement stabilized coastal silty clay subjected to sulfuric acid attack [J]. Marine Georesources & Geotechnology, 2019: 1-10.

(上接第 197 页)

通大学,2011.

[30] 周一凡,周坚华.基于绿化三维量的城市生态环境评价系统[J].中国园林,2001(5):78-80.

[31] 董小林,潘望,宋赅,等.基于全寿命周期理论的公路项目环境成本分析[J].中国公路学报,2014,27(10):109-114.

[32] 韩广志,李宇轩,唐忠国,等.基于熵值法的高速公路生态景观评价——以广西南友高速公路为例[J].广西林业科学,2020,49(2):218-222.

[33] 杨桦楠,李金路,高柳威,等.基于生态效益定量分析的公路边坡生态防护技术经济评价[J].中国水土保持,2020(3):66-68.

[41] 张正一,王朝辉,张廉,等.中国绿色公路建设与评估技术[J].长安大学学报(自然科学版),2018,38(5):76-86.

[42] 周述明.成都市城市街道绿化景观评价及其环境效益研究[D].成都:四川农业大学,2003.

[43] 袁黎,温丰涛,陆键.二级公路绿化评价方法的研究[J].公路工程,2010,35(2):118-121,137.

[44] 曾伟,赵建雄,王朝辉,等.绿色公路评估现状与发展[J].筑路机械与施工机械化,2016,33(11):29-33.

[45] 鲁敏,张月华.沈阳城市绿化植物综合评价分级选择[J].中国园林,2003(7):66-69.