

文章编号:1671-8879(2007)05-0020-04

二灰黄土力学性能试验

张玉芬¹, 张志权¹, 赵桂娟², 雷胜友³

(1. 长安大学 建筑工程学院, 陕西 西安 710061; 2. 西安科技大学 建筑与土木工程学院,
陕西 西安 710054; 3. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064)

摘要:为了给二灰黄土在道路工程中的广泛应用提供理论参考,进行了二灰黄土三轴剪切和直接剪切试验,分析了二灰黄土的力学性能。通过三轴剪切试验测得不同围压下二灰黄土的应力-应变曲线、峰值强度、残余强度、弹性模量和抗剪强度等力学指标;通过直接剪切试验测得不同含水质量分数、不同压实度下二灰黄土的凝聚力和内摩擦角。研究结果表明:二灰黄土峰值强度、残余强度和峰值应变与围压基本上呈直线关系,其破坏过程可以用损伤的概念来解释;凝聚力和内摩擦角与压实度呈线性增长关系;凝聚力与含水质量分数呈非线性关系;内摩擦角与含水质量分数呈线性降低关系。

关键词:道路工程;二灰黄土;力学性能;三轴试验;直剪试验

中图分类号:U416.212 **文献标志码:**A

Test on mechanical properties of lime-fly-ash loess

ZHANG Yu-fen¹, ZHANG Zhi-quan¹, ZHAO Gui-juan², LEI Sheng-you³

(1. School of Civil Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, Shaanxi, China; 2. School of Architecture and Civil Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, Shaanxi, China;
3. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: In order to offer theory reference for the widely use of lime-fly-ash loess in highway engineering, the triaxial and direct-shear tests are performed on lime-fly-ash loess to analyze its mechanical properties. The stress-straining curve, peak strength, remnant strength, elastic modulus and shearing strength of lime-fly-ash loess under different ambient pressures are measured through triaxial shearing test. By direct-shear tests with different water contents, the compaction degrees of lime-fly-ash loess, the cohesion and internal friction angle are measured. The results indicate that the peak strength, remnant strength and peak straining have straight line relationship with ambient pressure. Its destruction procedure can be explained with impairment. It shows that the linear increasing relation between cohesion and internal friction angle, nonlinear relation between cohesion and water content, and the linear decreasing relation between internal friction angle and water content. 3 tabs, 8 figs, 10 refs.

Key words: road engineering; lime-fly-ash loess; mechanical properties; triaxial test; direct-shear test

收稿日期:2006-10-09

基金项目:地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室开放基金项目(GZ2005-03)

作者简介:张玉芬(1977-),女,辽宁鞍山人,讲师,博士研究生,E-mail: yf23227@163.com.

0 引言

黄土在中国分布很广,工程性质也比较特殊。石灰作为一种资源极为广泛的廉价材料,用其稳定黄土已有数千年的历史,国内外学者对石灰加固土的机理、石灰与土之间的微观反应机理和石灰土的力学特性进行了大量研究。韩晓雷等研究了石灰土强度影响因素^[1];张洪亮等分析了石灰土的应力-应变关系,建立了石灰土的经验本构模型^[2]。粉煤灰是发电厂燃烧细煤粉所产生的渣滓,是一种具有潜在火山灰活性的物质。二灰黄土则是利用粉煤灰、石灰与黄土混合作为回填土的一种新型材料,在道路工程中得到一定的使用。关于二灰黄土强度形成机理,惠会清、张小平等都进行过深入分析与研究^[3-6],但二灰黄土力学性能的研究尚未见报道。本文拟进行二灰黄土的三轴剪切和直接剪切试验,研究分析二灰黄土的力学性能,其研究成果可为二灰黄土的广泛应用提供理论参考。

1 试验材料

试验所用土料取自陕西潼关,为全扰动新近堆积黄土,土质均匀,土体疏松,其主要物理性质指标见表1;粉煤灰采用湖北襄樊天健实业有限公司的一级粉煤灰,其主要物理性质指标见表2;试验所用的石灰为新鲜的消解石灰,干燥且活性强。本次试验采用的石灰、粉煤灰和黄土的体积比按1:2:7配制,通过击实试验确定二灰黄土的最大干密度为1.57 g/cm³,最佳含水质量分数为23.5%。

表1 试验用土的物理性质指标

颗粒相对密度	塑性指数	液限/ %		塑限/ %		颗粒组成/ %	
		%	%	%	%	>0.05 mm	<0.005 mm
2.713	11.2	29.2	18.0	15.0	66.0	18.0	

表2 试验用粉煤灰的物理性质指标

表观密度/ (g·cm ⁻³)	最大干密度/ (g·cm ⁻³)	最佳含水质量 分数/ %	主要化学成分/ %			
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
2.17	1.15	34.5	61.2	22.5	5.0	0.7

2 三轴试验

按照文献[7],试验用二灰黄土的压实度取95%,含水质量分数取最佳含水质量分数23.5%。试件用试模成型后养生90 d进行试验,设备采用江苏南京土壤仪器厂生产的TSZ30-2.0型台式三轴仪,试验方法采用三轴固结排水剪,固结时间3 h,

剪切速率为0.002 4 mm/min,围压分别取0.1、0.2、0.3 MPa。

二灰黄土三轴试验($\sigma_1 - \sigma_3$)- ϵ 曲线见图1(其中, σ_1 为大主应力; σ_3 为小主应力; ϵ 为轴向应变)。由图1可看出:从开始加载直到破坏峰值剪应力的85%(左右)以下,应力-应变曲线基本呈线性,之后便呈现较大的非线性。当荷载超过峰值后,应力随应变的增加而降低,曲线上出现反弯点。随着应变的进一步增加,应力降低的幅度减缓,最后接近于水平状态,即“残余强度”阶段。围压对于应力-应变曲线的形状有较大影响。当围压较小时,应力-应变曲线呈典型的驼峰形软化曲线,破坏模式为脆性破坏;随着围压的增大,破坏模式逐渐变为塑性破坏,应力-应变曲线向硬化型转变。二灰黄土应力-应变曲线和水泥土相类似,应力-应变曲线的直线段几乎重合^[8]。这说明,二灰黄土应力-应变曲线直线段的弹性模量基本不随围压的不同而改变。在实际工程应用中,当二灰黄土所受到的剪应力小于峰值剪应力的85%时,尽管随着路基深度的增加围压一直在增大,但可近似认为它的弹性模量不变^[9]。若取峰值应力的50%所对应的割线模量作为二灰黄土直线段的弹性模量 E ,经过计算得 $E \approx 75$ MPa。

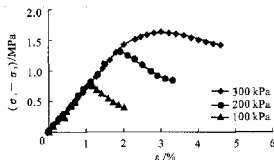


图1 ($\sigma_1 - \sigma_3$)- ϵ 关系曲线

分析图1的应力-应变曲线,发现它和混凝土、岩石的应力-应变曲线极为类似,因此可仿混凝土或岩石,用损伤的概念来解释其破坏过程^[10]。当荷载较小时,几乎没有损伤出现,二灰黄土类似纯弹性材料,因而($\sigma_1 - \sigma_3$)- ϵ 曲线近似于直线;当荷载继续增加,新的损伤出现,即试件内部微裂纹出现,试件有效承载面积减小,即试件宏观弹性模量逐渐减小,应力-应变曲线表现为凸形,即变形速度加快;当荷载接近破坏荷载时,损伤较大,微裂纹互相连接,即试件内部有宏观裂缝出现。随宏观裂缝的继续发展,试件承载能力下降,应力-应变曲线开始下降。最终由于裂缝处摩擦力以及围压的作用,尽管应变不断增加,但应力基本保持不变,即达残余强度。试验所测不同围压下二灰黄土的峰值强度、残余强度和峰值应变见表3。

表3 不同围压条件下的强度

围压/MPa	峰值强度/MPa	残余强度/MPa	峰值应变/%
0.1	0.77	0.42	1.15
0.2	1.30	0.85	0.85
0.3	1.64	1.43	3.09

从表3可看出,随着围压的增大,峰值强度、残余强度和峰值应变均增大,基本上呈直线关系。根据莫尔破坏准则则做莫尔强度包络线(图2)。由图2可看出,当围压为0.1~0.3 MPa时,包络线为直线,且与破坏应力圆相切。由图2可得出凝聚力 $c=0.151$ MPa,内摩擦角 $\varphi=38.7^\circ$ 。

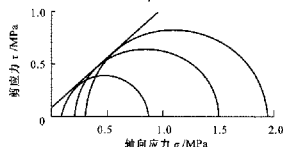


图2 二灰黄土上抗剪强度曲线

3 直剪试验

按照文献[7]¹²,试验用二灰黄土共制备5种不同含水质量分数 w 的试样,分别为20.5%、22%、23.5%、25%和26.5%,每种含水质量分数的试样又分别制成压实度 k 为85%、90%、95%和100%的4种试样。

3.1 试验土体凝聚力

从图3、图4可看出,当含水质量分数小于(大于)最佳含水质量分数时,凝聚力随含水质量分数增加而增大(迅速减小);压实度越大,土体的凝聚力越大。当压实度为85%时,含水质量分数为20.5%~26.5%,凝聚力为0.022~0.058 MPa;当压实度为100%时,含水质量分数变化同前,而凝聚力的变化

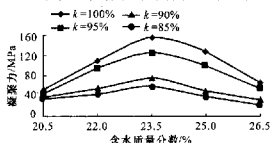


图3 凝聚力与含水质量分数的关系

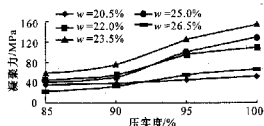


图4 凝聚力与压实度的关系

却为0.052~0.155 MPa。从工程实践考虑,要得到较高的凝聚力,则既要控制含水质量分数在最佳含水质量分数附近,又要提高压实度。

3.2 试验土体内摩擦角

由图5、图6可看出,同一压实度下,随着含水质量分数的增加,内摩擦角逐渐减小。当含水质量分数小于(大于)最佳含水质量分数时,这种减小比较缓慢(迅速)。随着压实度的增大,内摩擦角增大;随着含水质量分数的增加,内摩擦角受压实度的影响越来越强。当含水质量分数较低时(20.5%),内摩擦角为35.9°~38.2°,相对变化为6.4%;而当含水质量分数较高时(26.5%),内摩擦角则为30.5°~34.1°,即相对变化为11.8%。这表明,在工程实践中,控制含水质量分数使之低于最佳含水质量分数比提高压实度更经济合理。

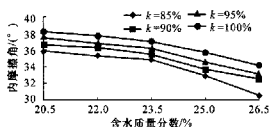


图5 内摩擦角与含水质量分数的关系

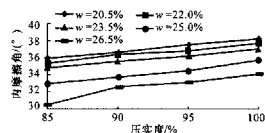


图6 内摩擦角与压实度的关系

3.3 凝聚力、内摩擦角与含水质量分数的关系

在某一压实度下,凝聚力随含水质量分数变化呈现一定的曲线(近似抛物线)变化关系,且在最佳含水质量分数附近达到峰值;内摩擦角随着含水质量分数的增加逐渐减小,也呈现出一定的变化关系。文献[10]对石灰粉煤灰稳定类基层的压实度有具体要求,细粒土的压实度 $k \geq 95\%$,因此考虑压实度 $k=95\%$ 的情况,提出经验计算公式为

$$\varphi = -794w^2 + 399w + 9.5 \quad (1)$$

$$c = -77778w^2 + 36722w - 4214 \quad (2)$$

式中: φ 为内摩擦角; c 为凝聚力; w 为含水质量分数($w=20.5\% \sim 26.5\%$)。

用上述公式拟合的曲线与试验曲线相比较,见图7、图8,由比较图可看出计算值与试验值较接近。具体计算值与试验值的误差也较小,凝聚力误差最大为5%,内摩擦角误差最大为1%。

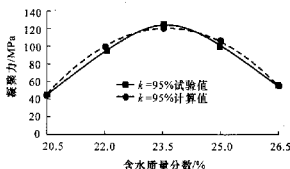


图7 凝聚力与含水质量分数的关系

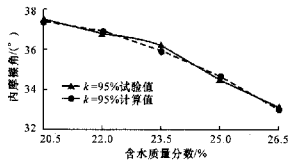


图8 内摩擦角与含水质量分数的关系

4 结 语

(1)当围压较小时,二灰黄土的应力-应变曲线呈典型驼峰形软化曲线,破坏多呈脆性破坏;随围压的增大,应力-应变曲线逐渐向硬化型过渡,破坏向塑性破坏过渡。二灰黄土的应力-应变曲线与混凝土、岩石的变化曲线类似,可用损伤的概念描述其破坏过程。二灰黄土的峰值应变为 $1.0\% \sim 3.0\%$,峰值强度为 $0.7 \sim 1.7$ MPa,残余强度为 $0.4 \sim 1.4$ MPa,内摩擦角为 38.7° ,凝聚力为 0.151 MPa。

(2)二灰黄土凝聚力与含水质量分数和压实度有一定的变化规律,表现为与含水质量分数呈曲线变化关系,且在最佳含水质量分数附近达到最大值,随压实度的增大而增大,基本呈线性增长关系。二灰黄土内摩擦角随着含水质量分数的增加逐渐减小,当含水质量分数小于最佳含水质量分数时,这种减小比较缓慢,而当含水质量分数大于最佳含水质量分数时,这种变化则比较迅速。同时,内摩擦角随着压实度的增大而增大。因此,提高二灰黄土整体稳定性的关键是既要严格控制含水质量分数,又要提高压实度标准。

参考文献:

References:

- [1] 韩晓雷,郭彬,郭志勇.灰土强度影响因素研究[J].岩土工程学报,2002,24(5):667-669.
HAN Xiao-lei, ZHI Bin, GUO Zhi-yong. Research on the principal factors in strength of the lime-loess

[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2002,24(5):667-669.

- [2] 张洪亮,胡长顺,刘保健,等.压实石灰黄土力学特性试验[J].交通运输工程学报,2003,3(4):13-16.
ZHANG Hong-liang, HU Chang-shun, LIU Bao-jian, et al. Mechanical properties experiment of compacted loess-lime [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2003,3(4):13-16.
- [3] 惠会清,胡同康,王新东,石灰、粉煤灰改良膨胀土性质机理[J].长安大学学报:自然科学版,2006,26(2):34-37.
HUI Hui-qing, HU Tong-kang, WANG Xin-dong. Improved mechanism of expansive soils by lime and fly-ash[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2006,26(2):34-37.
- [4] 张小平,俞仲泉.粉煤灰掺石灰混合料的工程性质试验研究成果[J].河海大学学报,1999,27(3):57-62.
ZHANG Xiao-ping, YU Zhong-quan. Experimental study on engineering properties of fly ash-lime mixture[J]. Journal of Hehai University, 1999, 27(3):57-62.
- [5] 张茂花,谢水利,刘保健.湿陷性黄土变形的各向异性及与浸水路径的无关性[J].中国公路学报,2006,19(4):11-16.
ZHANG Mao-hua, XIE Yong-li, LIU Bao-jian. Anisotropy of collapsible loess deformation and independence of deformation and soak paths[J]. China Journal of Highway and Transport, 2006,19(4):11-16.
- [6] 赵可.石灰掺钙渣混合料强度形成机理研究[J].中国公路学报,1999,12(1):7-13.
ZHAO Ke. Research on strength formation mechanism of lime calcium added slag mixture[J]. China Journal of Highway and Transport, 1999,12(1):7-13.
- [7] JTJ 051-93,公路土工试验规程[S].
- [8] 景宏君,张斌.黄土路基强度规律[J].交通运输工程学报,2004,4(2):14-18.
JING Hong-jun, ZHANG Bin. Loess subgrade strength law [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004,4(2):14-18.
- [9] 雷胜友.加筋黄土的三轴试验研究[J].西安公路交通大学学报,2000,20(2):1-5.
LEI Sheng-you. Study on reinforced loess by triaxial tests[J]. Journal of Xi'an Highway University, 2000, 20(2):1-5.
- [10] JTJ 014-97,公路沥青路面设计规范[S].