

灰土强度影响因素研究

Research on the principal factors in strength of the lime-loess

韩晓雷¹, 郅彬¹, 郭志勇²

(1. 西安建筑科技大学 土木工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 西安科技学院 基础部, 陕西 西安 710054)

中图分类号: TU 472 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2002)05-0667-03

作者简介: 韩晓雷(1957-), 男, 陕西兴平人, 副教授, 长期从事岩土工程教学和研究。

1 前言*

石灰是一种资源极为广泛的廉价建筑材料, 用其改善和增强土的性能, 早已被人们所熟知, 并取得了许多工程技术成果和良好的经济效益。目前灰土除大量用于处理湿陷性黄土地基以外, 还被广泛用来处理其他非饱和土和杂填土。

从 20 世纪 60 年代起, 国内外学者就对石灰加固土的机理和石灰与土之间的微观反应机理进行了大量研究, 并取得了一些重要成果。尽管如此, 但有关灰土的工程力学性质研究仍远落后于工程实践, 工程中灰土设计参数的选取仍依赖于实践经验。此外, 在对工程中的灰土垫层进行质量检测时, 屡屡出现配比大的灰土其强度小于较小配比灰土的情况, 对其的施工质量评定难以进行。本文基于这一现状, 通过了较长持续时间的室内试验研究, 分析了不同含水率、不同配合比的灰土强度随时间变化的性质, 得出了一些规律。并从微观机理入手, 对灰土的强度变化作了一定的理论解释, 还对灰土的强度理论及灰土的工程应用问题进行了探讨。

2 室内试验

2.1 试验材料

室内试验所用土料取自西安建筑科技大学新建的食堂基坑, 为全扰动新近堆积黄土, 其主要物理性质指标见表 1, 试验所用的石灰为新鲜的消解石灰。

表 1 试验用土的物理性质指标

Table 1 The physical index of soil tested

比重 d_s	液限 $w_L / \%$	塑限 $w_P / \%$	塑性指数 I_P
2.71	32.4	18.8	13.4

2.2 试样制备

(1) 各配比灰土最优含水率及最大干密度确定

鉴于关于灰土的试验目前尚无国家规范可依, 本文试验所用的击实灰土试样均参照文献[1]制备, 正式试样制备以前, 先通过室内击实试验确定各不同配比

灰土的最优含水率和最大干密度。将土在室内风干, 再将碾碎的土和消解的石灰过 5 mm 筛, 按灰比土为 1:9、2:8 和 3:7 三种比例配制灰土(其中 1:9 的配比是考虑了工程实际中 2:8 灰土常常拌灰量不足的现状而设立的), 并按设计的不同含水率加水、拌匀, 静置 24 h 后用击实仪按文献[1]击实, 以确定其最优含水率和最大干密度。试验所用的击实仪为南实处型击实仪, 室内试验结果如表 2 和图 1 所示。

表 2 灰土击实试验结果

Table 2 The results of compaction test for lime-loess

土样	$w / \%$	$\rho_d / (g \cdot cm^{-3})$
1:9 灰土	16.2	1.584
	18.0	1.598
	19.2	1.608
	20.2	1.610
	21.3	1.597
2:8 灰土	19.0	1.535
	21.2	1.542
	22.0	1.547
	23.1	1.556
	24.0	1.547
	24.8	1.537
3:7 灰土	18.9	1.410
	21.1	1.431
	22.9	1.465
	24.1	1.474
	24.8	1.470
	26.0	1.431

根据试验结果确定出 1:9 灰土的最优含水率为 20%, 最大干密度为 $1.610 g/cm^3$; 2:8 灰土的最优含水率为 23%, 最大干密度为 $1.556 g/cm^3$; 3:7 灰土的最优含水率为 24%, 最大干密度为 $1.474 g/cm^3$ 。

从击实试验结果可以得知, 在三种配比的灰土中, 含水率的变化对 3:7 灰土的干密度影响最大。当含水率比其最优含水率低 3% 时, 3:7 灰土的干密度将比其

* 收稿日期: 2002-01-14

表 3 无侧限抗压强度试验结果

Table 3 The results of unconfined compression tests

试样 龄期	1: 9 灰土无侧限抗压强度/kPa			2: 8 灰土无侧限抗压强度/kPa				3: 7 灰土无侧限抗压强度/kPa		
	第 1 组 ($w = 18\%$)	第 2 组 ($w = 20\%$)	第 3 组 ($w = 22\%$)	第 1 组 ($w = 19\%$)	第 2 组 ($w = 21\%$)	第 3 组 ($w = 23\%$)	第 4 组 ($w = 25\%$)	第 1 组 ($w = 22\%$)	第 2 组 ($w = 24\%$)	第 3 组 ($w = 26\%$)
10 d	891	1092	851	761	758	795	690	768	823	637
20 d	1115	1321	982	925	959	998	866	914	880	813
30 d	1335	1451	1097	1279	1149	994	966	1153	995	890
3 个月	2421	2526	2190	1790	1788	1788	1741	1452	1460	1339
6 个月	3483	3552	3081	2934	3574	3516	3155	2761	2623	2278
9 个月	4124	4202	3620	3934	4122	5001	3655	3567	3579	2574

最大干密度降低 2.92%；含水率比其最优含水率高 2% 时，3: 7 灰土的干密度也将比其最大干密度降低 2.92%。对 2: 8 灰土，当含水率比其最优含水率低 3.9% 时，干密度比其最大干密度降低 1.35%；含水率比其最优含水率高 1.7% 时，干密度比其最大干密度降低 1.22%。对 1: 9 灰土，当含水率比其最优含水率低 4.0% 时，干密度比其最大干密度降低 1.61%；含水率比其最优含水率高 1.1% 时，干密度比其最大干密度降低 0.81%。总体而言，当含水率高于其最优含水率时，土的击实质量下降幅度大，3: 7 灰土压实质量受含水率变化影响最大，这一点应在工程实践中予以充分重视。

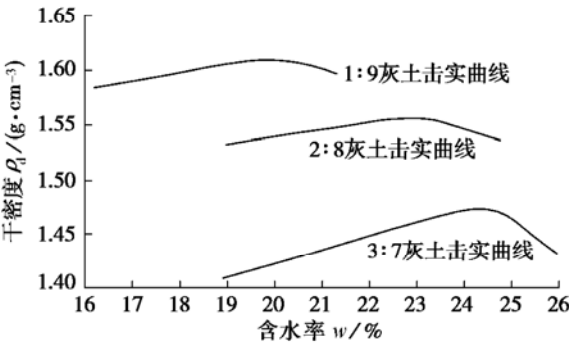


图 1 灰土的击实试验曲线

Fig. 1 The relationship between dry density and moisture content of lime-loess

(2) 试样的制备及试验方法

为了较客观地反应实际工程施工中灰土拌灰量大小不一、含水率或高或低、压实质量好坏不同的现实，使室内试验结果可用于指导工程实际，本试验的试样分别对 1: 9 灰土、2: 8 灰土和 3: 7 灰土在不同的含水状态下按前述击实方法制成备用，试验时将土样削成直径 40 mm、高 80 mm 的标准试件，其中 3 组 1: 9 灰土制备试样采用的含水率分别为 18%、20% 和 22%；4 组 2: 8 灰土试样采用的含水率分别为 19%、21%、23% 和 25%；3 组 3: 7 灰土试样采用的含水率分别为 22%、24% 和 26%。每组试样各制备 18 件，共制备试样 180

件。制好的试样放入密封塑料桶中进行存放，分别在试样制备后 10 d、20 d、30 d、3 个月、6 个月和 9 个月时从各组中任取 3 件，进行无侧限抗压强度试验。

3 试验结果与分析

对 3 种配比的灰土所进行的 10 d、20 d、30 d、3 个月、6 个月和 9 个月的无侧限抗压强度试验结果见表 3，图 2 为 1: 9 灰土、2: 8 灰土和 3: 7 灰土的无侧限抗压强度随试样龄期的变化曲线。最优含水状态下夯实灰土的无侧限抗压强度的比较见图 3。

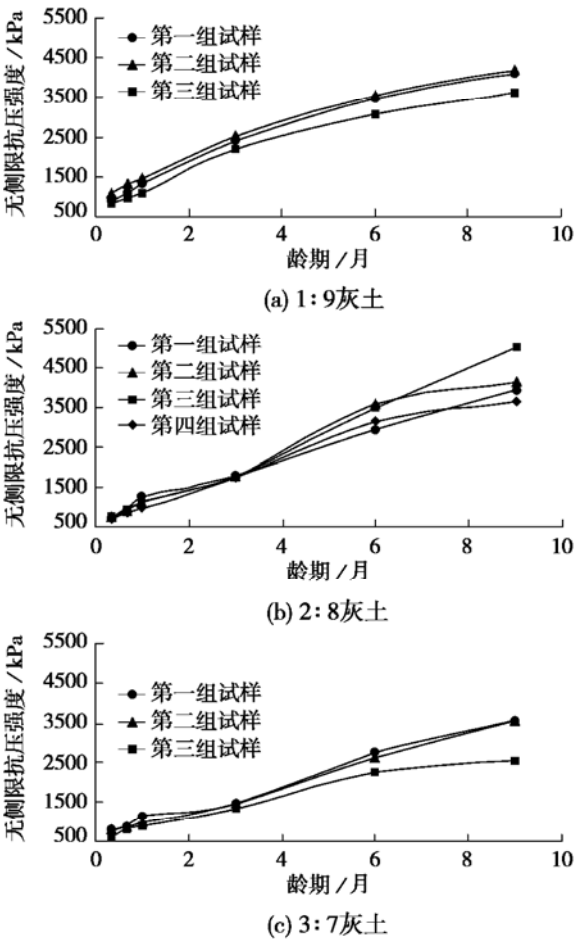


图 2 灰土强度曲线

Fig. 2 The strength-time relationship

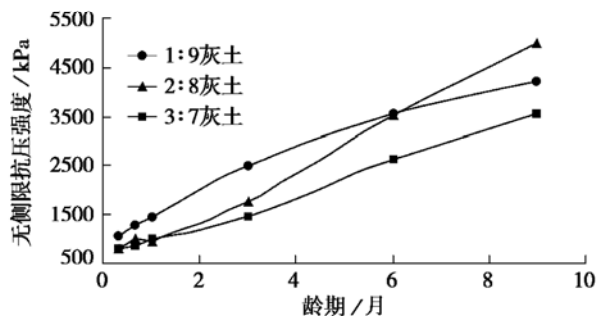


图3 各配比中的最密实灰土强度比较

Fig. 3 The comparison between strengths of different lime-loess with maximum dry density

3.1 干密度和含水率对强度的影响

对于同一配比的灰土,其干密度的大小无疑对灰土强度有很大影响,当同一配比的灰土土样干密度最大时,其最大抗压强度亦最大。但通过图2可以发现,击实时的含水率对灰土的强度,特别是后期强度影响甚大,尤其是含水率高于最优含水率时。以3:7灰土的强度试验为例,含水率为22%一组灰土的平均干密度为 1.450 g/cm^3 ,含水率为26%一组灰土的平均干密度为 1.431 g/cm^3 ,两组样干密度差别并非很大,但其强度值尤其是后期强度值却相差甚远,前者9个月的无侧限抗压强度为3567 kPa,后者仅为2574 kPa。其他两种配比的灰土也显示出相同的规律性。对此可以作如下分析:含水率低于最优含水率时,分子间的电场力阻碍了土颗粒的相互靠近,影响了土的压实密度因而也影响了土的强度;而当含水率高于最优含水率时,孔压及多余水分的存在影响了土的压实密度,同时多余水分又在土颗粒周围形成较厚的水化膜;在相同的干密度情况下,吸着水膜愈薄,颗粒间的联结强度愈高,土颗粒不易发生相对移动;吸着水膜愈厚,颗粒间的联结强度相对愈低,土颗粒就愈易发生相对移动^[2]。

3.2 含灰量及龄期对灰土强度的影响

实验结果显示,各种配比的灰土强度均随着龄期而增大,但并非随着含灰量的增加而增大。从早期强度(3个月以前)强度看,3种配比灰土的强度对比是:1:9灰土>2:8灰土>3:7灰土(在灰、土颗粒没有充分胶结以前,密实程度起决定性影响)。3个月以后,2:8灰土强度增加非常显著,且从图3可以看出,9个月后的强度发展潜力仍很大。3种配比灰土的后期强度对比是:2:8灰土>1:9灰土>3:7灰土。文献[3]也得出

了类似的结果。

产生上述结果是因为石灰中的活性成分(CaO , MgO , Ca(OH)_2)与水和土中的碳酸盐发生胶凝反应并产生碳酸化作用,使土的强度提高。当石灰含量较小时活性氧化钙浓度不够,水化反应不充分,生成颗粒之间的结晶联结少,因而强度较低;当石灰含量过多时,过多的石灰无法和土中水反应而降低了颗粒之间的联结强度,因而强度减小;另外,熟石灰与水接触后,产生大量的 Ca^{2+} 与吸附在土颗粒周围的阳离子发生离子交换,使土颗粒的双电层变薄而改变土颗粒的带电状态,使黏土微粒团聚成为较大的颗粒并相互胶合,从而提高凝聚力及抗压强度。当石灰含量过多时,石灰水化形成一层包裹在土颗粒外面的微晶或非晶 Ca(OH)_2 的膜,这层膜阻碍了土颗粒的接触,使抗压强度降低。由于制样量有限,对更长龄期的灰土强度研究未能进行是本文的一个缺憾。另外,各种配比灰土在其不同龄期的水解性是灰土工程应用特性的另一个关键所在,有待进一步探讨。

4 结 论

(1) 灰土的干密度对灰土的强度有很大影响,此外施工时的含水率对灰土的强度尤其是长期强度影响很大,在施工中应尽量使灰土的含水率接近其最优含水率,但同时应本着宁低勿高的原则。

(2) 在1:9、2:8和3:7三种配比的灰土中,以2:8灰土的配比最接近最优配灰比,后期强度最大,应在施工、设计中提倡使用,而目前工程应用最为广泛的3:7灰土含灰量偏大,使用时应谨慎。现场施工中由于灰、土的拌和均匀程度比室内试验条件下更差,因而其强度降低程度也将更大。

(3) 对于1:9灰土,传统认识对其有偏差,从实验结果来看,其强度还是相当可观的,在设计、施工中,对于一些非重要项目,可考虑使用。

参考文献:

- [1] GB/T 50123—1999, 土工试验方法标准[S].
- [2] 杨志强, 郭见扬. 石灰处理土的物理力学性质及其微观机理的研究[J]. 岩土力学, 1991, 12(3): 11–23.
- [3] 董玉文, 张伯平, 唐林. 黄土灰土的击实性与抗剪性试验研究[J]. 西北水资与水工程, 2001, 12(1): 62–64.