

不同配比水泥黄土强度的试验研究

刘红玫^{1,2,3}, 高 鹏^{1,2}

(1. 甘肃省地震局(中国地震局黄土地震工程重点实验室), 甘肃 兰州 730000;
2. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000; 3. 甘肃省岩土防灾工程技术研究中心, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 以临夏地区黄土为研究对象, 通过对水泥黄土无侧限抗压强度和抗剪强度的试验研究, 分析了水泥掺量和养护龄期对水泥黄土无侧限抗压强度及抗剪强度的影响。实验结果表明: 水泥黄土的强度随水泥掺入量的增加而增大; 随养护龄期的增加而增大; 黄土抗剪强度随水泥掺量的增加而增大。

关键词: 水泥黄土; 无侧限抗压强度; 抗剪强度; 试验研究

中图分类号: TU411.7 文献标志码: A 文章编号: 1000-0844(2013)增刊-0139-04
DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2013.增刊.0139

Test Research on the Strength of Cement Loess of Different Ratio

LIU Hong-mei^{1,2,3}, GAO Peng^{1,2}

(1. Key Laboratory of Loess Earthquake Engineering, CEA, Lanzhou Gansu 730000, China;
2. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou Gansu 730000, China;
3. Geotechnical Disaster Prevention Engineering Technology Research Center of Gansu Province, Lanzhou Gansu 730000, China)

Abstract: Through unconfined compressive strength tests on cement loess, the influences of cement content and curing age on the unconfined compressive strength of cement loess were analyzed in this paper, by using the loess in Linxia area of Gansu Province as study object. The test results showed that the strength of cement loess increased with the increases of cement content and cement curing age.

Key words: cement loess; unconfined compressive strength; shear strength; test research

0 引言

黄土在我国有着广泛地分布, 但由于黄土的大孔隙、弱胶结, 使得其抗剪强度较低。在黄土地区进行工程建设时, 常常需要对地基、路基、坝体等进行处理。

由于水泥黄土具有材料来源广泛、施工便捷、价格低廉、性能良好等特点, 近些年被广泛应用于黄土地区的地基加固处理、基坑支护、高等级公路建设、铁路建设等大量的土木工程建设中。水泥土的性质既不同于天然土和人工土, 也不同于混凝土。它不仅具有土的一些特性, 同时也具有混凝土的某些性质^[1]。黄土通过添加水泥而形成的水泥黄土极大地

改善了黄土的物理力学性质。水泥在吸取土的水分后, 产生凝结、硬化, 形成水泥骨架并包裹土颗粒, 在土体中形成大量的纤维状结晶, 并不断延伸充填到土体孔隙中, 形成网状结构, 增加了土体的强度^[2]。

无侧限抗压强度是工程中所关注的重要指标之一。本项研究针对临夏某工地黄土地带黄土加入不同掺量水泥后的水泥黄土特性进行三轴试验研究, 主要探讨水泥掺入量和养护龄期对水泥黄土无侧限抗压强度的影响模式, 同时进行了不同水泥掺量黄土的抗剪强度试验研究, 为此类场地的工程施工提供参考。

收稿日期: 2013-02-22
基金项目: 甘肃省地震局实验室基金(2011066)
作者简介: 刘红玫(1971—), 女(汉族), 甘肃敦煌人, 高级工程师, 从事岩土力学研究。

1 无侧限抗压强度试验

试验用的原状土取自甘肃临夏县东北部某工地,为典型的黄土台塬地区,地表下 4 m 处,属典型的马兰黄土。其主要性能指标如表 1 所示:

表 1 土样主要物理性质指标

取样深度/m	密度/(g·cm ⁻³)	含水率/%	液限/%	塑限/%	颗粒组成/%		
					粘粒	粉粒	砂粒
4	1.436	13.3	26.8	15.3	18.3	72.8	8.1

将现场取得的土样风干、碾碎,过 2 mm 的筛,形成制备试验用的土料。将土样制备成高 100 mm、直径 50 mm 的圆柱样。锤击法采用人为锤击密实,这种方法效率高,得到的强度值偏大,但由于人为锤击不均匀,造成强度离散性大。静压法能使土样受力均匀,得到的强度值离散性小^[3]。本次试验选用静压法进行土样的重塑。测定其含水率,换算干土质量,按一定的掺入比称风干土和水泥量,为便于比较,统一按照天然黄土的最优含水率(16.5%)加水拌和均匀。考虑到施工现场的具体条件,重塑土样的压实度选为 0.93。

试验选用普通 425# 硅酸盐水泥。水泥土所加水泥的多少用水泥掺入比 α 表示:

$$\alpha = \frac{m_c}{m_s} \times 100\%$$

其中: m_c 为掺入水泥的质量; m_s 为干土的质量。

选用四种不同水泥掺量进行配比,其中 α 分别为:3%、7%、10%、12%。试样尺寸为 $\varphi 50\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ 的圆柱体。试样养护按照相关规范进行,养护龄期分别为 7 天、14 天和 28 天。

2 试验结果及分析

2.1 水泥掺量对无侧限抗压强度的影响

对不同水泥掺入比的试样进行无侧限抗压强度试验,试验曲线如图 1。

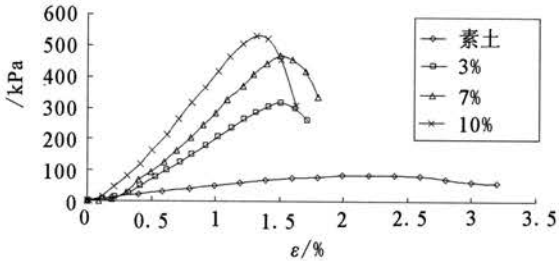


图 1 不同掺量水泥黄土的无侧限抗压强度曲线
Fig. 1 Unconfined compressive strength curves of cement-loess with different content

从图 1 可以看出,同一龄期不同水泥掺量下,应

力曲线变化幅度很大,说明水泥掺量对应力曲线的影响很大。跟素土相比较,水泥黄土曲线直线段斜率变大,所达到的峰值强度提高,破坏时后期下降段越来越陡,同时峰值强度对应的应变减小,材料性能趋于脆性。

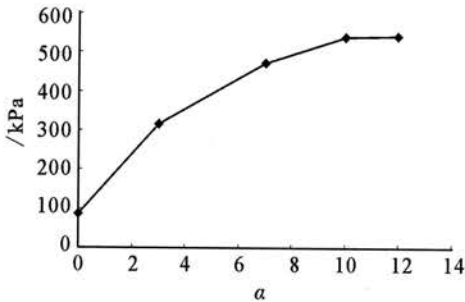


图 2 无侧限抗压强度与水泥掺入比的关系
Fig. 2 The relationship between unconfined compressive strength and cement mixing ratio

图 2 表明,随着黄土中水泥掺入量由 3% 增加到 10%,土的无侧限抗压强度呈上升的趋势,但其上升的速度是不一致的,从图中可以看出,当掺入比为 3%、7%、10% 时,其无侧限抗压强度分别比素土提高了 30%、49.7% 和 50.4%;其中 10% 与 12% 水泥掺入比的土体,其无侧限抗压强度是非常接近的。

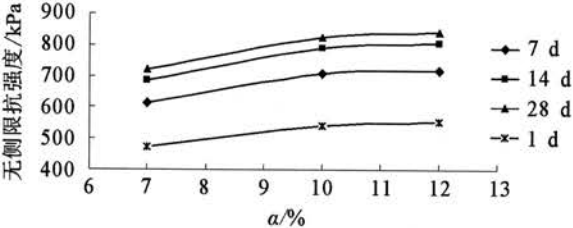


图 3 水泥掺量对无侧限抗压强度的影响
Fig. 3 Influence of cement content on unconfined compressive strength

在不同的养护龄期下,水泥黄土的抗压强度有着相同的规律,随着水泥掺入量的增加而增大(图 3),但每增加单位水泥掺量所引起的强度增量在不同龄期是不相同的。

水泥是无机胶凝材料,它在水泥黄土中起固结黄土,填充孔隙的作用,当其它条件相同,水泥掺量越高,水泥土的无侧限抗压强度也就随之提高。但在实际工程中,当水泥掺入比小于 5% 时,水泥与土的反应过弱,对抗压强度的贡献较小。考虑到工程成本,也不能一味地增加水泥掺入量,一般应选用 7%~15%^[4]。本项研究所涉及的这类场地中,水泥掺入比建议选用 10%。

2.2 养护龄期对水泥黄土无侧限抗压强度的影响

通常,在养护龄期相同的情况下水泥土的无侧

限抗压强度随着水泥掺量的增多而增大,但二者并非线性关系,有些掺量下强度值会出现波动,强度有所下降。以龄期 7 天、14 天、28 天为例:

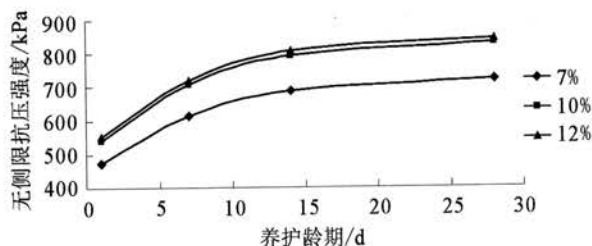


图 4 无侧限抗压强度与养护龄期的关系

Fig. 4 The relationship between unconfined compressive strength and curing age

从图 4 中可以看出,无侧限抗压强度随龄期的增长而提高,但早期和晚期的增长速度不同。早期增长较快,后期仍呈增长趋势,但增长速率减缓。从图中可见,掺入比为 7% 的水泥黄土,14 天养护龄期较 7 天养护龄期其无侧限抗压强度提高了 11.89%;而 28 天养护龄期较 14 天养护龄期的无侧限抗压强度仅提高了 4.8%。

通常水泥掺入比是技术和经济两因素决定的,在水泥土达到规定的强度前提下,尽量取低的水泥掺入比。本试验中 14~28 天养护龄期下,取 10% 的水泥掺入比为最优掺量。

3 水泥改良黄土抗剪强度的试验研究

土体抗剪强度是指土体抵抗剪切破坏的能力,是土体重要力学指标之一,在土体力学中,采用摩尔—库仑强度准则,用内摩擦角和粘聚力两个指标描述土体的抗剪强度。土体抗剪强度在地基承载力的计算,斜坡稳定性判断及挡土墙土体压力的计算等方面都有着广泛的应用。

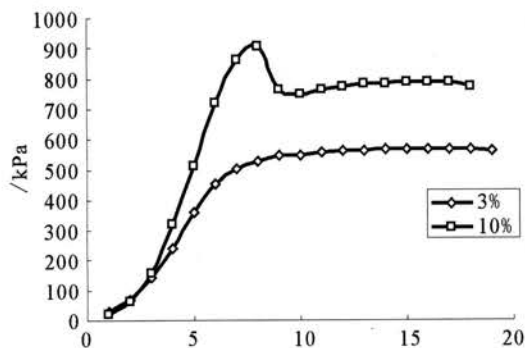


图 5 不同掺量水泥黄土的应力变化曲线

Fig. 5 The stress curves of cement-loess with different content

图 5 所示为围压为 100 kPa 时,3% 和 10% 水泥

掺量黄土的应力曲线。可以看出,二者形状有较明显的差异,在低水泥掺入量下,曲线较平滑,形状与黄土相仿,极限应力状态不明显,取值时可参考 15% 变形时相对应的应力值。但 10% 掺量的曲线则很容易找到其破坏点。随着水泥掺入量的增加,黄土的性状也发生着一系列的改变,破坏呈现脆性的特征。

水泥掺入量对 c 、 φ 值的影响。

我们分别对素土和三种不同水泥掺量的黄土进行了三轴的静强度试验,试验结果如下:

表 2 不同水泥掺量黄土的 c 、 φ 值

水泥掺入比/%	粘聚力/kPa	内摩擦角/(°)
素土	23.62	19
3	41.17	31
7	58.25	37
10	76.19	41

较之素土,加入一定量的水泥后,其粘聚力和内摩擦角都有不同程度的提高,从表中可以看出,添加水泥后对黄土粘聚力的贡献大于其对内摩擦角的贡献。在实际工程中,应当按照工程要求和经济投入的能力选择合适的水泥掺入量。

4 水泥改良黄土强度增加机理浅析

水泥黄土是由水泥、黄土和水经过搅拌、压实和养护而形成的一种新的材料。水泥在黄土当中,起到的物理作用为胶结和填充作用,其胶结作用进一步可转化为骨架作用,从而提高其抗剪强度。

黄土颗粒表面积大,有很强的吸附作用,当遇到水泥水溶液时,土粒表面便吸附溶液中的离子,使土颗粒团聚,有利于凝聚结构的形成。凝聚结构在黄土微结构中表现为团粒,团粒对强度的提高是不言自明的。

水泥对黄土强度的贡献不仅仅是填充胶结作用。从试验结果来看,水泥在黄土中的化学反应是一个较长期的作用。水泥水化时产生的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 与土中的活性物质的硬凝反应,随着龄期的增长,水泥黄土的无侧限抗压强度也是随之增大的,本项试验中 28 天以后强度依旧在增加。

总之,水泥与黄土拌和后,水泥矿物与土中的水分发生一系列的水解和水化反应,这种反应使土粒间的大孔隙被水泥颗粒填充,随着长时间水的扩散作用,形成一种独特的水泥土骨架,整个强度增加的过程是一系列复杂的物理化学反应的综合,是一种土的固有结构与组成的物理改良、水泥硬化、凝结反应的过程。

5 结论

(1) 在土中掺入一定配比的水泥,水泥在吸取土中的水分后产生凝结、硬化,改善了其物理力学性质,提高了密实度,能有效地提高土体的无侧限抗压强度。

(2) 水泥黄土无侧限抗压强度的提高,在其它条件相同的情况下,随着养护龄期的增长,呈明显的增长趋势。但前后期增加的比例是不同。前期大,后期变缓。

(3) 水泥土强度随水泥掺入量的增加而增大,在工程实际应用当中,应当按照工程设计的实际需要并考虑其成本而采用合理的水泥掺入比,以达到较好的效果。建议本项研究所在地区采用 10% 掺入量较为合适。

(4) 与素土相比,水泥土抗剪能力有着明显的提高,结合工程实际,选用合适的掺入量,施工时尽可能地提高其压实度。

(5) 水泥改善黄土的抗剪强度是一系列复杂的物理、化学反应过程,其作用机理有待进一步研究。

参考文献

- [1] 郭红梅,马培贤. 夯实水泥土强度特性的试验研究[J]. 勘察科学技术,2001,(4),27-31.
- [2] 张家柱,陈钊,余金煌. 水泥土性能的试验研究[J]. 岩土工程技术,1999,(3),38-40.
- [3] 钱忻. 改良土无侧限抗压强度试件的制作方法对比[J]. 山西建筑,2012,(4),86-88.
- [4] 冶金工业部建筑研究总院. 建筑地基处理规范(JGJ79—2002)[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.