

文章编号: 1007-2993(2022)06-0507-04

不同含水率高填方黄土抗剪强度试验研究

王弘起¹ 孙杰龙² 李大卫¹ 杨红霞² 宋涛¹

(1. 陕西建工第十三建设有限公司, 陕西延安 716000; 2. 延安大学 建筑工程学院, 陕西延安 716000)

【摘要】 抗剪强度是分析高填方黄土边坡稳定性问题的重要参数, 为探究含水率对高填方黄土抗剪强度的影响, 开展不同含水率(2%、4%、6%、10%、12%、15%、20%、25%)高填方黄土抗剪强度试验。结果表明: 含水率在2%~25%时, 高填方黄土的抗剪强度随含水率的变化呈现先增大而后减小变化规律, 并在含水率为15%时达到峰值; 高填方黄土的内摩擦角和黏聚力会随含水率的增大呈现先增大后减小的变化趋势, 且含水率对黏聚力影响较大; 随着含水率增大, 剪切位移与剪应力曲线斜率逐渐增大, 其中含水率为12%和15%时, 剪切位移和剪应力基本呈线性关系。研究可为高填方黄土边坡稳定性评价提供参考。

【关键词】 高填方; 黄土; 含水率; 抗剪强度

【中图分类号】 TU 411.7

【文献标识码】 A

doi: 10.3969/j.issn.1007-2993.2022.06.015

Experimental Study on Shear Strength of High Fill Loess under Different Moisture Content

Wang Hongqi¹ Sun Jielong² Li Dawei¹ Yang Hongxia² Song Tao¹

(1. SCEGC No.13 Construction Engineering Group Company Ltd., Yan'an 716000, Shaanxi, China; 2. School of Architecture and Civil Engineering, Yan'an University, Yan'an 716000, Shaanxi, China)

【Abstract】 Shear strength of high fill loess is an important parameter to analyze the stability of high fill loess slope. To study the influence of moisture content on the shear strength of high fill loess, the shear strength tests of high fill loess with different moisture content (2%, 4%, 6%, 10%, 12%, 15%, 20%, 25%) were carried out, respectively. The experimental results show that when the moisture content is in the range of 2%~25%, the shear strength of high-filled loess increases first and then decreases with the change of moisture content, and reaches the peak when the moisture content is 15%; with the increase of moisture content, the internal friction angle and cohesion of the high-filled loess firstly increase and then decrease, and the moisture content has a great effect on the cohesion; the slope of shear displacement and shear stress curve increases gradually, when moisture content is 12% and 15%, and the relationship between shear displacement and shear stress is basically linear. The experimental results have certain reference value for the stability evaluation of high fill loess slope.

【Key words】 high fill; loess; moisture content; shear strength

0 引言

黄土丘陵沟壑区最大的生态环境问题是水土流失, 采用工程造地是治理水土流失的一种重要的方法。但因黄土丘陵沟壑区具有特殊的工程环境和地质条件, 工程造地一般选用“平山、填沟”等方法。由于挖填方区高差较大, 此类工程属于典型的湿陷性黄土地区的高填方工程, 且黄土丘陵沟壑区处于半湿润半干旱区的过渡带, 夏季高温多雨, 在雨水作用下高填方黄土力学特性变异较大, 导致高填方边坡稳定性问

题突出。

近年来, 国内外众多学者在黄土力学特性研究方面取得了丰硕的成果^[1-4]。谢永利等^[5]采用离心模型试验对黄土公路路堑边坡不同坡型变形与破坏的发展过程、破坏特征及设计相关参数的确定进行了研究。倪万魁等^[6]、肖东辉等^[7]、董晓宏等^[8]、李国玉等^[9]、王铁行^[10]和宋春霞等^[11]对冻融循环作用下黄土微观结构、孔隙率、强度劣化特性等方面进行了研究。雷胜友等^[12]、王朝阳^[13]和赵淑萍等^[14]基于CT

基金项目: 陕西省自然科学基金计划(2019JQ-832); 陕西省教育厅一般专项科学研究计划(20JK0985); 延安大学博士科研启动项目(YDBK2018-25)

作者简介: 王弘起, 男, 1976年生, 汉族, 江西吉安人, 学士, 高级工程师。研究方向: 岩土工程。E-mail: 407814120@qq.com

通讯作者: 孙杰龙, 男, 1989年生, 汉族, 陕西宜川人, 博士, 副教授。主要研究领域: 岩土与地下工程。E-mail: sunjielong@126.com

实时试验对黄土微结构变化、应力-应变及冻结损伤进行了分析。

在前人研究的基础上^[15-19],本文以延安新区高填方黄土边坡为工程背景,开展不同含水率下高填方黄土力学特性试验研究,探究含水率对高填方黄土力学特性的影响,为黄土沟壑区高填方黄土边坡的安全运行和长期稳定性评价提供科学依据。

1 试验方案

在延安新区 B4-06、B4-25 高填方场地取样,该场地北高南低,坡比为 1:1.5,原始地貌为黄土梁峁沟壑区,经大面积平山造地施工后形成现状场地,绝大部分位于填方区,最大填方厚度约 60 m,仅局部位于挖方区,最大挖方厚度约 30 m。现场取样后按照《土工试验方法标准》(GB T50123—2019)制成含水率分别为 2%、4%、6%、10%、12%、15%、20% 和 25% 的试样,在制样过程中控制试样密度为 1.667 g/cm³,如图 1 所示。



图 1 试样

试样制备完成后,采用 DSJ-3 型应变控制式直剪仪(见图 2)开展剪切试验,剪切速率为 0.8 mm/min,法向应力分别为 50 kPa、100 kPa、200 kPa 和 400 kPa。



图 2 DSJ-3 型应变控制式直剪仪

2 试验结果分析

根据试验结果,绘制不同含水率下剪应力与法向应力关系曲线,如图 3 所示。对图 3 中不同含水率下剪应力与法向应力关系曲线进行线性拟合,得到不同含水率下高填方黄土黏聚力和内摩擦角,见表 1。

2.1 不同含水率下抗剪强度变化规律

不同含水率下高填方黄土抗剪强度变化规律如图 4 所示。

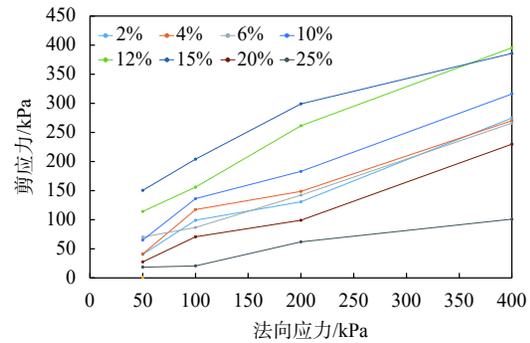


图 3 不同含水率法向应力与剪应力关系

表 1 不同含水率下高填方黄土抗剪强度试验结果

含水率/%	法向应力/kPa				黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)
	50	100	200	400		
2	40.43	98.92	130.58	274.68	16.71	32.50
4	41.24	117.53	148.48	270.12	31.38	31.07
6	70.11	86.60	142.28	265.99	34.70	32.37
10	65.30	136.09	182.83	316.17	48.35	34.06
12	114.10	156.02	261.19	395.21	80.57	38.86
15	150.53	204.14	298.94	385.60	80.41	39.79
20	27.49	70.79	98.98	229.57	18.56	24.17
25	18.56	20.62	61.86	101.04	3.86	13.98

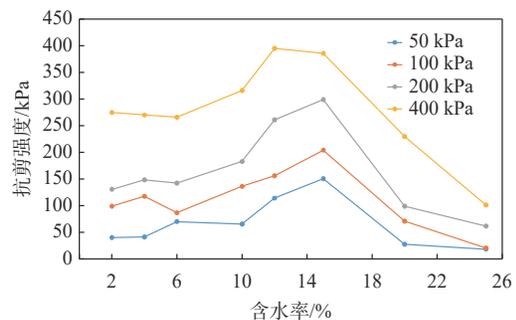


图 4 不同含水率下高填方黄土抗剪强度

由图 4 可知,不同含水率下高填方黄土的抗剪强度呈明显的非线性,当含水率为 2%~10% 时,抗剪强度随含水率逐渐增大;当含水率为 10%~15% 时,抗剪强度迅速增大,其曲线斜率较大,说明在此范围内含水率对高填方压实黄土的抗剪强度影响较大;当含水率为 15%~25%,抗剪强度开始减小。综上所述,含水率为 2%~25% 时,高填方压实黄土的抗剪强度随含水率的变化呈现先增大而后减小变化规律。

2.2 含水率对抗剪强度指标的影响

不同含水率下抗剪强度指标变化规律见图 5。

据图 5(a),含水率在 2%~25% 时内摩擦角的变化范围为 13.98°~39.79°,其随含水率变化增量见表 2。

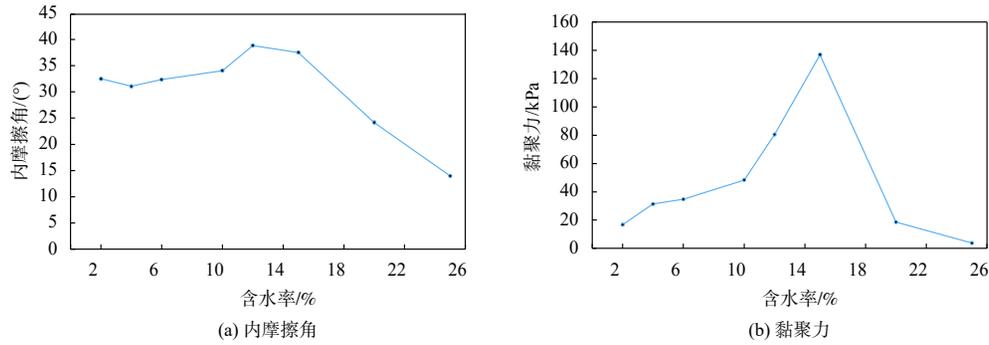


图5 不同含水率下抗剪强度指标

表2 内摩擦角随含水率变化增量

含水率变化范围/%	内摩擦角增量/%
2~4	-3.8
4~6	4.2
6~10	5.2
10~12	14.1
12~15	2.4
15~20	-38.3
20~25	-42.2

由表2可知,含水率为2%~6%时,内摩擦角先小幅减小后增大,这是因为土中含水率较小时,起到了一定的润滑作用,内摩擦角先减小;随着含水率增大土颗粒间的毛细水所引起的表面张力增大,导致作用在土颗粒接触面的作用力增大,从而使内摩擦角增大。含水率为6%~15%时,土颗粒间发生相对滑动时,不仅要克服土颗粒间的摩擦力,还要克服土颗粒间的黏聚力,从而导致土的内摩擦角增大;含水率为15%~25%时,根据有效应力原理,土中的孔隙水压力增大,有效应力减小,导致土颗粒间的作用力减小,内摩擦角随之减小。

由图5(b)可知,含水率在2%~25%时,黏聚力的变化范围为3.86~80.57 kPa,且随含水率增大呈先增大后减小的趋势,其随含水率变化增量见表3。

表3 黏聚力随含水率变化增量

含水率变化范围/%	黏聚力增量/%
2~4	87.8
4~6	10.6
6~10	39.3
10~12	66.6
12~15	66.9
15~20	-86.4
20~25	-79.2

由表3可知,含水率为2%~15%时,因为土中含水率的增大,土颗粒-水-电系统间的相互作用逐渐增强,从而导致土的黏聚力逐渐增大;当含水率为15%~25%时,因为含水率进一步增大,颗粒间的胶结力逐渐减小,黏聚力随之减小。

综上所述,含水率在2%~25%时,土的内摩擦角和黏聚力会随含水率的增大呈现出先增大后减小的变化趋势;由图5(a)和图5(b)对比可知,黏聚力的增大和减小趋势比内摩擦角更加明显,说明黏聚力对含水率更加敏感。

2.3 不同含水率下剪切位移与剪应力关系

不同含水率下高填方黄土剪切位移与剪应力关系如图6所示。

由图6可知,在同一法向应力作用下,试样含水率为12%和15%时,随着剪切位移增大,剪应力会迅速增大到极限值,整个过程剪切位移和剪应力基本呈线性关系;含水率在2%~15%范围内,随着含水率增大,剪切位移与剪应力曲线斜率逐渐增大;法向应力较小时,不同含水率下剪切位移和剪应力关系曲线较“离散”,而随着法向应力的增大,不同含水率下剪切位移与剪应力曲线逐渐聚集,说明法向应力的大小对剪切位移和剪应力关系有一定影响。

3 结论

(1)含水率在2%~25%时,高填方黄土的抗剪强度随含水率的变化呈先增大而后减小变化规律,并在含水率为15%时达到峰值,因此在高填方黄土边坡支护过程中,合理选择含水率能够有效降低发生滑坡的几率。

(2)含水率在2%~25%时,高填方黄土的内摩擦角和黏聚力会随含水率的增大呈现出先增大后减小的变化趋势,且含水率对黏聚力影响较大。

(3)含水率在2%~15%时,随着含水率增大,剪切位移与剪应力曲线斜率逐渐增大,其中含水率为12%和15%时,剪切位移和剪应力基本呈线性关系;

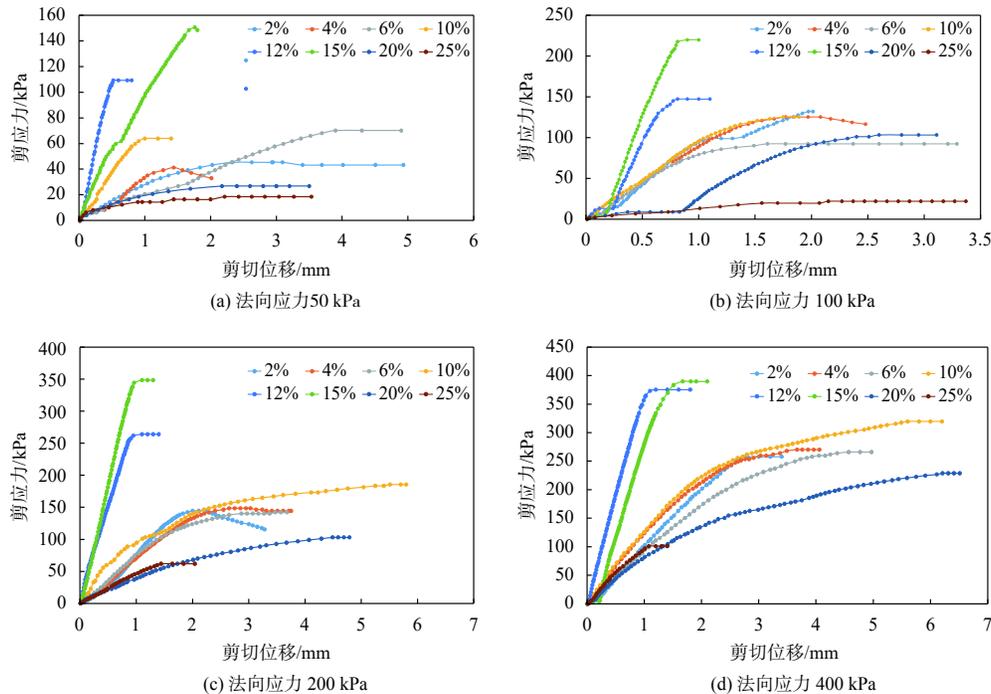


图6 不同含水率下剪切位移与剪应力关系

法向应力的大小会影响剪切位移与剪应力关系曲线的“离散”程度。

参考文献

- [1] 谢定义. 试论我国黄土力学研究中的若干新趋向[J]. *岩土工程学报*, 2001, 23(1): 3-13.
- [2] YUE Z R, WANG T L, MA C, et al. Frost heave control of fine round gravel fillings in deep seasonal frozen regions[J]. *Sciences in Cold and Arid Regions*, 2013, 5(4): 425-432.
- [3] KONRAD J M. Freezing-induced water migration in compacted base-course materials[J]. *Canadian Geotechnical Journal*, 2008, 45(7): 895-909.
- [4] VIKLANDER P. Laboratory study of stone heave in till exposed to freezing and thawing[J]. *Cold Regions Science and Technology*, 1998, 27(2): 141-152.
- [5] 谢永利, 胡晋川, 王文生. 黄土公路路堑边坡稳定性状离心模型试验[J]. *中国公路学报*, 2009, 22(5): 1-7.
- [6] 倪万魁, 师华强. 冻融循环作用对黄土微结构和强度的影响[J]. *冰川冻土*, 2014, 36(4): 922-927.
- [7] 肖东辉, 冯文杰, 张 泽. 冻融循环作用下黄土孔隙率变化规律[J]. *冰川冻土*, 2014, 36(4): 907-912.
- [8] 董晓宏, 张爱军, 连江波, 等. 长期冻融循环引起黄土强度劣化的试验研究[J]. *工程地质学报*, 2010, (6): 887-893.
- [9] 李国玉, 马 巍, 李 宁, 等. 冻融对压实黄土工程地质特性影响的试验研究[J]. *水利与建筑工程学报*, 2010, 8(4): 5-7, 20.
- [10] 王铁行, 罗少锋, 刘小军. 考虑含水率影响的非饱和原状黄土冻融强度试验研究[J]. *岩土力学*, 2010, 31(8): 2378-2382.
- [11] 宋春霞, 齐吉琳, 刘奉银. 冻融作用对兰州黄土力学性质的影响[J]. *岩土力学*, 2008, 29(4): 1077-1086.
- [12] 雷胜友, 唐文栋. 黄土在受力和湿陷过程中微结构变化的CT扫描分析[J]. *岩石力学与工程学报*, 2014, 23(24): 4166-4169.
- [13] 王朝阳, 许 强, 倪万魁. 原状黄土CT试验中应力-应变关系的研究[J]. *岩土力学*, 2010, (2): 387-396.
- [14] 赵淑萍, 马 巍, 郑剑锋, 等. 基于CT单向压缩试验的冻结重塑黄土损伤耗散势研究[J]. *岩土工程学报*, 2012(11): 2019-2025.
- [15] 朱才辉, 李 宁. 黄土高填方地基中暗穴扩展对机场道面变形分析[J]. *岩石力学与工程学报*, 2015, 34(1): 198-206.
- [16] 谷天峰, 王家鼎, 任 权, 等. 循环荷载作用下黄土边坡变形研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2009, 28(S1): 3156-3162.
- [17] 张 杰, 韩同春, 豆红强, 等. 基于降雨入渗分层假定的黄土边坡稳定性分析[J]. *中南大学学报(自然科学版)*, 2014, 45(12): 4355-4361.
- [18] 李 萍, 黄丽娟, 李振江, 等. 甘肃黄土高边坡可靠度研究[J]. *岩土力学*, 2013, 34(3): 811-817.
- [19] 邓龙胜, 范 文. 黄土边坡动力响应的影响效应研究[J]. *工程地质学报*, 2012, 20(4): 483-490.

收稿日期: 2021-07-07