

异常温度作用对粉质黏土抗剪性能的影响^{*}

黄明奎, 马璐

(重庆交通大学 土木工程学院, 重庆 400074)

摘 要:异常气候对粉质黏土抗剪性能有重要影响,通过对重庆市典型粉质黏土进行异常温度下力学性能研究,分析了异常温度作用下土体抗剪性能的变化规律。结果表明,高温及其持续作用可增强土体的抗剪强度,黏聚力对抗剪性能的影响大于内摩擦角,当高温作用达到一定时间后,内摩擦角则呈现出弱化抗剪性能的作用;黏聚力在各温度作用下,随作用时间的增加而增大,当作用时间超过48 h后,在10~50℃温度范围内,温度的变化对土体黏聚力的影响不显著,超过50℃以后,黏聚力随温度的增加而增大,当作用时间超过7 d后黏聚力则增加明显;内摩擦角随温度作用时间的增加而增大,当作用时间超过12 h后,在10~40℃范围内,温度影响不显著,超过40℃后,内摩擦角随温度增加有小幅减小。

关键词:异常温度;粉质黏土;黏聚力;内摩擦角

中图分类号:P642.11 文献标识码:A 文章编号:1673-0836(2018)03-0678-05

Shear Properties Changes of Silty Clay due to Unusual Temperature Action

Huang Mingkui, Ma Lu

(College of Civil Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, P.R. China)

Abstract: Unusual climate has an important effect on the shear performance of silty clay. Studies for unusual temperature action on silty clay in Chongqing area were carried out, and the variations of shear performance of soil acted by unusual temperature were analyzed. The results show that high temperature and its duration can enhance the shear strength of silty clay. The cohesion has greater effect on shear strength than the internal friction angle, and the internal friction angle presents a weakening the effects of shear strength after the time of temperature action reaches a certain limit. In various environment temperature, the cohesion increases with increasing of temperature action time. When the time persist beyond 48 h, the temperature can seldom influence the cohesive strength of silty clay in the 10~50℃, and after 50℃ or more the cohesion increases with the increase of temperature. When the action time of temperature last longer than 7 days, the cohesion increases markedly. The internal friction angle increases with increasing of temperature action time. When time persists beyond 12 h, the temperature can seldom influence the internal friction angle of silty clay in the 10~40℃, and after 40℃ or more the internal friction angle of silty clay slightly reduced with increasing of temperature action time.

Keywords: unusual temperature; silty clay; cohesive strength; internal friction angle

^{*} 收稿日期:2017-11-01(修改稿)
作者简介:黄明奎(1975-),男,四川隆昌人,博士,教授,主要从事岩土工程、地下工程等领域的教学与科研工作。
E-mail:hmksmile@163.com
基金项目:重庆市教委基金项目(2019501129)

0 引言

近年来,随着全球气候变暖,异常气候频发,由于异常气候引起的滑坡、崩塌、地面沉降等地质灾害已逐渐引起国内外广大学者的关注。分析灾害原因,多数是由于对岩土体在异常气候条件下力学特性的认识不足,导致在工程设计、施工乃至管养过程中对异常气候考虑不足引起的。岩土体是岩土工程领域研究的主要对象,由于受到地质构造运动、赋存的地质、气候环境、人类的工程活动等因素的影响,其各种力学参数的分析始终是工程与学术界分析的重要基础^[1-2],并且在常规气候条件下目前已取得了丰富的研究成果。冷伍明等^[3]根据影响土工参数不确定性的主要影响因素建立了土工参数的随机模型,获得了土工参数空间变异系数的综合计算式;吴玉财等^[4]根据深圳某软基处理现场实测数据,结合室内试验结果,得到了淤泥等软基和残积土变形参数的取值指标试验方法;葛雪廉等^[5]通过土工试验及现场试验结果的对比,研究了不同取样方法对黏性土物理力学指标的影响,并探讨了其原因;张荣等^[6]以三峡库区滑坡带土为研究对象,分析了不同含水率下土体抗剪强度特性,得到了不同含水率对 c, φ 的影响。以上所有针对岩土体力学性质的研究主要体现在地质环境、试验方法、取样手段以及人类工程活动等因素的影响方面,而在气候异常作用对岩土体工程性质影响的研究方面尚不够系统深入。随着近年来异常气候频发导致的地质灾害的大量出现,引发了广大学者对气候变化的广泛关注,虽然在低温环境下目前岩土体力学性质已得到了系统的研究,如张泽等^[7]分析了冻融循环对土体结构演化影响及工程性质改变机理;王永忠等^[8]结合 2008 年我国南方极端冰雪灾害,分析了冻融作用对南方粉质黏土物理力学性质的影响,得到了冻融作用使土体抗剪强度减小、无侧限抗压强度在冻融 10 次后基本丧失的结论;但针对我国南方气候变化,特别是异常气候条件下岩土体力学性质还缺乏系统深入研究。因此,本文结合重庆市的极端气候特点,以重庆市大足区粉质黏土为研究对象,开展异常气候条件(特别是极端温度)下岩土体抗剪性能研究,探讨极端温度对岩土体抗剪性能等方面的影响,研究结果对当前

极端气候环境下地质灾害的气候性诱发机理分析以及工程建设具有重要的意义。

1 重庆市异常温度特征分析

为了分析异常温度对岩土体物理力学性质的影响,基于重庆市 1951~2013 年气候变化资料,选取日、年为气温作用的时间序列,利用百分位法对重庆地区极端气温阈值进行研究,获得了重庆市日、年气温均值和极端高温均值(主要为了突出重庆市高温特征的气候性特点),其结果分别如图 1 和表 1 所示。

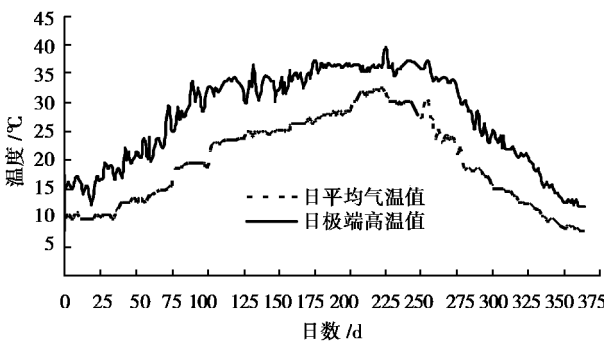


图 1 全年日平均气温及日极端气温
Fig. 1 Average and extreme diurnal temperature in whole years

表 1 1951 年来重庆市日极端气温和日平均气温
Table 1 Average and extreme diurnal temperature in Chongqing since 1951

气温指标	平均 气温 /℃	极端 高温 /℃	极端 低温 /℃	高温 日数 /d	低温 日数 /d
1951~2013 年均值	17.7	44.5	-2.4	10~55	5~46

从图 1 及表 1 中可以看出,自 1951 年以来,不管是日平均气温还是日极端气温,重庆的高温主要发生在 6~9 月份,高温日数占全年高温总数超过 90%。据统计,若以日最高气温超过 35℃作为夏季炎热程度的指标^[9],则重庆每年平均的高温伏旱日数超过 35 d,且高温持时较长,2006 年更是达到 54.43 d,在 8 月 9~15 日甚至出现了罕见的超过 40℃的持续高温酷热天气(其中极端高温达到 44.5℃),为历史同期之最。从日极端气温曲线图可以看出,重庆地区高温出现的时间最早在 3 月

份,而 10 月份也出现过高温事件。重庆是中国的四大“火炉”之一,高温热浪和旱涝灾害是本地区的重要气候性灾害。近年来,高温、酷热等表现出来的异常气候变化特征,已对重庆市自然生态系统和地质灾害发生将产生重要影响。

2 异常温度对粉质黏土抗剪性能的影响

2.1 试样的基本物理力学参数

为了分析异常气温对工程建设中粉质黏土抗剪性能的影响,本试验用土取自重庆市大足区宝顶公路路基下滑带处粉质黏土,现场取 6 组试样进行室内常规物理力学实验。试验结果表明:其天然容重为 20.0 kN/m³,天然含水量为 20.6%,塑限为 16.4%,液限为 30.9%,孔隙比为 0.647,压缩模量为 7.92 MPa,泊松比为 0.35。经土体颗粒分析试验及计算,该土不均匀系数 $C_{uB}=2.85$,颗粒均匀,级配不良。

2.2 试验方案及结果处理

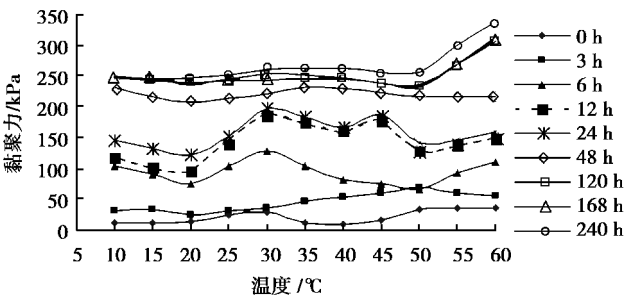
相对于平均气温的变化,气候极端高温更直接影响人类社会,是造成气候灾害的直接因素^[11]。为了分析异常温度对粉质黏土抗剪性能的影响,考虑到重庆地区自 1951 年以来,其高温极值均不低于 10℃,而不超过 60℃。因此,在试验过程中初始温度设定为 10℃,以后以 5℃为温度差递增,最高温度为 60℃。同时,每档温度分别考虑持续作用 3、6、12、24、48、120、168 和 240 h,然后在相应的试验温度条件下,分别在 100、200、300、400 kPa 的围压下开展不固结不排水剪切实验,以获取土样的抗剪强度参数。在试验过程中,考虑重庆市高温湿热的气候特点,在每种工况试验中将土体的相对湿度设定为 88% RH。

试验结果通过摩尔圆获得剪应力 τ 和法向应力 σ ,然后以剪应力 τ 为纵坐标,以法向应力 σ 为横坐标,在二维 $\tau-\sigma$ 应力平面上以点 $((\sigma_1-\sigma_3)/2,0)$ 为圆心,以 $(\sigma_1-\sigma_3)/2$ 为半径,绘制不同围岩下粉质黏土的破坏应力图,并最终确定摩尔破坏应力圆的包线。以此包络线确定试验粉质黏土的内摩擦角 φ (即摩尔破坏包线与 σ 轴的倾角),以及黏聚力 c (即摩尔破坏包线与 τ 轴的截距)。

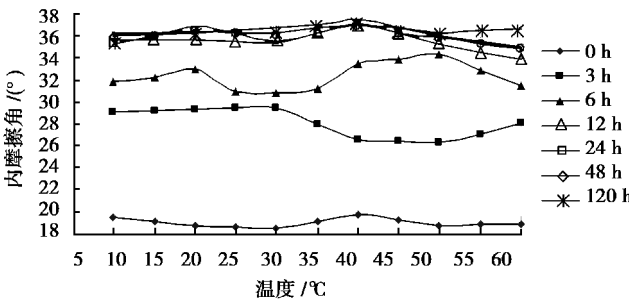
2.3 试验结果分析

决定岩土体的抗剪强度的因素较多,但为了实际工程中应用的方便,目前应用最多的是只考虑黏聚力和内摩擦角两个参数的摩尔-库伦强度准则。因此,本文仅考虑异常温度对岩土体黏聚力和内摩擦角的影响,以分析异常温度对岩土体抗剪性能的影响。

图 2(a)和(b)给出了不同作用时间下的粉质黏土内摩擦角和黏聚力随温度的变化关系。由图可知,在温度相同的条件下,随着作用时间的增加,粉质黏土的黏聚力增大。但在相同的温度作用时间条件下,在 10~50℃范围内时,低持时作用下黏聚力随温度变化波动较大,但高持时作用时,黏聚力变化趋于稳定,温度超过 50℃以后,黏聚力随温度的增加而增大,当作用时间超过 7 d 后,则增加显著,增幅达到 19.8%。内摩擦角在各温度作用下,随作用时间的增加而增大,当作用时间超过 12 h 后,在 10~40℃范围内时,温度对内摩擦角的影响不显著,当超过 40℃后,随着温度的增加,内摩擦角有小幅减小。



(a) 黏聚力与温度的变化关系



(b) 摩擦角与温度的变化关系

图 2 不同作用时间下抗剪性能与温度的变化关系

Fig. 2 Relationship between shear properties and temperature under various action time

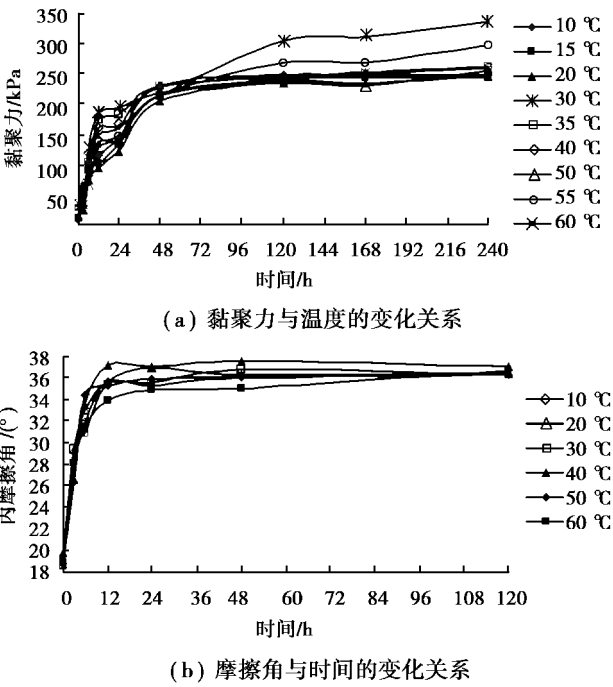


图3 不同温度下抗剪性能与作用时间的变化关系

Fig. 3 Relationship between shear properties and action time under various temperature

图3(a)和(b)给出了不同温度下粉质黏土黏聚力、内摩擦角与作用时间的关系。由图可知,在各温度作用条件下,随着作用时间的增加,粉质黏土的黏聚力逐渐增大,在12 h内呈现出线性增长的趋势,12~24 h则表现出不同程度的屈服平台,随后又随作用时间的增加开始呈非线性增长,当超过72 h后,温度在10~50 ℃范围内,黏聚力随作用时间趋于稳定,而超过50 ℃,黏聚力则增加幅度较大。内摩擦角同黏聚力的变化类似,在12 h内,变化呈现出线性增长的趋势,超过12 h,各温度作用下,粉质黏土的内摩擦角变化较为平缓,并有小幅降低。

以上通过黏聚力和内摩擦角分析了不同温度作用以及不同作用时间对粉质黏土抗剪性能的影响,说明高温持续作用对岩土体的抗剪性能具有一定的增强作用。其中,对于本文研究的此类粉质黏土,黏聚力对抗剪性能的影响大于内摩擦角,当高温作用达到一定时间后,内摩擦角则呈现出弱化抗剪性能的作用。

岩土体的黏聚力主要由分子力、结构颗粒间的胶结力及颗粒与水的毛细力等组成,而内摩擦角则与土体的密度、粒径级配、颗粒的矿物成分以及颗

粒的形状密切相关。因此,在异常气候作用下,岩土体的结构、颗粒间的排列关系等将改变,进而影响岩土体的抗剪性能。通过图3可以明显地发现,试样在正温作用中,随着作用时间的推移,试样中自由水分逐渐蒸发,造成土颗粒重新排列并紧密接触,进而引起土颗粒(特别是黏粒)之间的距离减小而引起颗粒间引力增加,黏聚力增大。另一方面,由于颗粒的紧密接触造成土颗粒间的接触点增多,再加上自有水的蒸发干燥作用,有利于颗粒间摩擦作用的发挥,导致土体内摩擦角的增大。当温度超过50 ℃后,持续的高温作用引起土颗粒开裂破碎,细粒土(特别是黏粒)含量增大,导致颗粒间的引力和胶结力增强,致使试样黏聚力增大。温度越高,作用时间越长,这种细化作用越大,土体的黏聚力增加越大。同时,在持续高温的细化作用下,土颗粒趋于均匀,颗粒间的摩擦作用效应减弱,内摩擦角降低。

事实上,异常温度在实际工程中不是单独作用的,通常与其他异常气候(如降雨)相伴而生。虽然高温持续作用可增强岩土体的抗剪性能,使岩土工程稳定性提高,但如果和其他异常气候(如降雨)结合,则可能触发各种各样的地质灾害效应,并且地质灾害的大小、方式和程度与降雨前的温度作用有着密切的关系^[12]。因此,异常气候已成为当前地质灾害发生的一个重要的、具有普适性的影响因素,工程建设应对异常气候引起重视。

3 结论

通过研究异常气候(特别是极端温度)对重庆地区粉质黏土抗剪性能的影响,初步得到如下结论:

- (1)在正温作用环境下,温度升高及温度持续作用时间的增加,可增强粉质黏土的抗剪性能,提高正温环境下岩土工程的稳定性。
- (2)在温度相同的条件下,粉质黏土的黏聚力随着作用时间的增加而增大,但在相同的温度作用时间条件下,在10~50 ℃范围内时,低持时作用下黏聚力随温度变化波动较大,高持时作用则趋于稳定,温度超过50 ℃以后,黏聚力随温度的增加而增大,当作用时间超过7 d后增加明显,增幅达到19.8%。内摩擦角在各温度作用下,随作用时间的

增加而增大,当作用时间超过 12 h 后,在 10~40 ℃ 范围内时,温度对内摩擦角的影响不显著,当超过 40 ℃ 后,随着温度的增加,内摩擦角有小幅减小。

(3)高温持续作用对粉质黏土的抗剪性能具有增强作用,黏聚力对抗剪性能的影响大于内摩擦角,当高温作用达到一定时间后,内摩擦角则呈现出弱化抗剪性能的作用。

参考文献(References)

[1] 李夕兵,宫凤强. 岩土力学参数概率分布的推断方法研究综述[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2007,4(1):1-8. (Li Xibing, Gong Fengqiang. A research review of the method to deduce the probability distribution of geotechnical mechanics parameters [J]. Journal of Changsha University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2007,4(1):1-8. (in Chinese))

[2] 路亚妮,李新平,肖家双.单裂隙岩体冻融力学特性试验分析[J].地下空间与工程学报,2014,10(3):593-598,649. (Lu Yani, Li Xinping, Xiao Jiashuang. Experimental analysis on mechanical characteristic of single cracked rock mass under freeze-thaw condition [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering,2014,10(3):593-598,649.(in Chinese))

[3] 冷伍明,赵善锐. 土工参数不确定性的计算分析[J]. 岩土工程学报,1995,17(2):68-74. (Leng Wuming, Zhao Shanrui. Analysis on the uncertainties of soil properties [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1995,17(2):68-74. (in Chinese))

[4] 吴玉财,张惠明. 软土变形参数的实测比较[J]. 铁道建筑,2003(8):42-43. (Wu Yucai, Zhang Huiming. Comparison of test in situation for deformation parameters of soft soil[J]. Railway Engineering, 2003(8):42-43. (in Chinese))

[5] 葛雪廉,叶正强. 取土方法对土的物理力学指标的影响[J]. 江苏建筑,1999(1):39-41. (Ge Xuelian, Ye Zhengqiang. Effect on physical and mechanical index of soil by sampling methods [J]. Jiangsu Construction, 1999(1):39-41. (in Chinese))

[6] 张荣,吴益平,李小伟,等. 不同含水率下滑带土抗剪强度特性研究[J]. 科学技术与工程,2015,15(15):195-199. (Zhang Rong, Wu Yiping, Li Xiaowei, et al.

Research on shear strength of slide zone soil in different water content[J]. Science Technology and Engineering, 2015,15(15):195-199. (in Chinese))

[7] 张泽,马巍,齐吉琳. 冻融循环作用下土体结构演化规律及其工程性质改变机理[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2013,43(6):1904-1914. (Zhang Ze, Ma Wei, Qi Jilin. Structure evolution and mechanism of engineering properties change of soils under effect of freeze-thaw cycle[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2013, 43(6): 1904-1914. (in Chinese))

[8] 王永忠,艾传井,刘雄军. 冻融作用对南方粉质黏土物理力学性质的影响[J]. 地质科技情报,2010,29(5):107-111. (Wang Yongzhong, Ai Chuanjing, Liu Xiongjun. Physical and mechanical properties changes of silty clay in Southern China due to freeze-thaw action [J]. Geological Science and Technology Information, 2010,29(5):107-111. (in Chinese))

[9] 张尚印,张海东,徐祥德,等. 我国东部三市夏季气候特征及原因分析[J]. 高原气象,2005,24(5):829-835. (Zhang Shangyin, Zhang Haidong, Xu Xiangde, et al. Climatic Character and cause analysis of summer high temperature in main cities of East China [J]. Plateau Meteorology, 2005, 24(5): 829-835. (in Chinese))

[10] 黄明奎,马璐. 试论异常气候事件对山区工程建设的影响[J]. 灾害学,2016,31(1):17-21. (Huang Mingkui, Ma Lu. Influences of unusual climate events on mountain project construction [J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(1):17-21. (in Chinese))

[11] 白莹莹,高阳华,张焱,等. 气候变化对重庆高温和旱涝灾害的影响[J]. 气象,2010,36(9):47-54. (Bai Yingying, Gao Yanghua, Zhang Yan, et al. Impact of climate changes on high- temperature drought and flood disasters of Chongqing [J]. Meteorological Monthly, 2010,36(9): 47-54. (in Chinese))

[12] 马璐. 重庆地区极端气候对非饱和土物理力学性能的影响规律研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2015. (Ma Lu. Study on Physical and mechanical properties changes of unsaturated soil due to Extreme Climate in Chongqing area [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2015. (in Chinese))