

土壤含水量减少对提高浅表层滑坡稳定性的影响

杨永红¹, 刘淑珍², 王成华²

(1. 成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室, 成都 610059;

2. 中国科学院 成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

摘 要:通过对裸地和桉树林地两种土壤在不同土壤含水量、不同深度的非饱和土的直剪试验,研究了含水量变化对提高边坡稳定性的影响。结果表明,随着含水量的增加,非饱和土的黏聚力和内摩擦角均减小,黏聚力有较大变化而内摩擦角变化较小;植被水文作用能有效的减少土壤含水量,具有提高非饱和土抗剪强度的作用,从而能提高边坡稳定性和防治坡面水土流失。

关键词:含水量;非饱和土;抗剪强度;植被护坡

中图分类号:P642.22

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2007)05-0290-03

Impacts of Decrease of Soil Moisture Content on Stability of Shallow and Surface Landslide

YANG Yong-hong¹, LIU Shu-zhen², WANG Cheng-hua²

(1. National Special Laboratory of Geological Hazards and Geo-environment Protection, Chengdu University, Chengdu 610059; 2. Chengdu Mountain Hazards and Environment Institute of Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

Abstract: It is analyzed that the impacts of soil moisture content on stability of landslide through direct shearing tests for unsaturated soil of various vegetation types of bare land and eucalyptus land, different soil moisture contents and different-depth unsaturated soil. The results show that the cohesion of unsaturated soil changes greatly, and the friction angle changes a little with soil moisture content. It is also shown that vegetation hydrological action can decrease soil moisture content, improve shear strength of unsaturated soil, which therefore provides a basis that vegetation can improve stability of landslide, prevention and control of soil and water loss on slopes.

Key words: water content; unsaturated soil; shear strength; vegetation maintaining slope stability

传统的浅表层滑坡灾害防治大多采用工程措施,从早期的地表和地下排水、减重和反压、抗滑挡土墙和抗滑桩、浆砌片石到后来的锚杆、锚索、灌浆、喷射混凝土等^[1~3]。采用工程措施护坡^[3],在初期防护效果很好,作用显著,能确保边坡稳定。但随着时间的推移,混凝土逐步老化,钢筋锈蚀加剧,从而导致防护工程的强度降低、防护效果越来越差。

植被可通过改变土壤水分情况及发挥根系加筋作用和根系锚固作用,提高土壤的抗剪强度,起到固土护坡的作用,从而有效地防治坡面水土流失。在植被生长初期,植被的固土护坡效果非常弱,但随着植被的生长,植被的固土护坡作用越来越强。植被在发挥固土护坡作用的同时还发挥改良土壤和改善生态环境的作用。因此植被固土护坡是近年来在国内外比较流行的浅表层滑坡灾害防治技术^[2],但其固土护坡机理和定量作用研究较少。

为探讨土壤含水量对提高土壤抗剪强度和边坡稳定作用的大小,从而为植被固土护坡机理研究和植被护坡工程设

计提供依据,本文作者在野外取裸地和桉树林地的土样,在室内通过直接剪切试验就含水量的变化对土壤抗剪强度的影响进行了研究。

1 试验方案

1.1 实验土料

土样取自中国科学院东川泥石流观测站(地处云南省昆明市东川区蒋家沟),裸地和桉树林地处于同一斜坡上,土壤和地质情况基本相同。裸地连续10 a没有耕种,基本没有任何植被,桉树林为8 a前人工种植,现已成林,植株平均高度为6~8 m,平均直径为12~15 cm。分别在裸地和桉树林地选取典型样地,在每一块样地内挖3个平均深度为1.4 m的平行土壤剖面。根据土壤剖面的自然层次将其分为3个层次,用自制的20 cm×20 cm×20 cm的取样器在土壤剖面的每一层取土样,共计取18个土样。用环刀法测定每一层次的含水量,每一层次土样的基本物理性质见表1。

收稿日期:2006-2006206205

基金项目:重大基础项目前期研究(2004CCAO3600)

作者简介:杨永红(1973—),男,湖南娄底人,博士后,主要从事地质灾害防治研究。

1.2 试验装置

本次试验所用的剪切仪为南京土壤仪器厂生产的 ZJ 型应变控制式直剪仪。

1.3 试样制备

由于样地土壤为砾石土,试验用所取土样中过筛得到的 ≤2 mm 土壤颗粒进行重塑制样,试样的高度为 2 cm,直径为 5.05 cm,按不同含水量将每个土样分为 5 组,每 18 个土样为一组,共 90 个土样。各组土样的含水量分为天然含水量、饱和含水量和 3 个中间含水量。天然含水量与饱和含水量因土样的不同而不同,为便于对比分析,各试样的 3 个中间含水量均取相同的值。做土样时严格按照试验规程,严格控制土样的含水量,根据目标含水量计算出该土样需要增加或减少的水分质量。如果试样需要增加水分,用专用注射器将所需增加的水分离滴入该试样;如果试样需要减少水分,可使试样进行自然水分流失,使其含水量达到规定的设计值。

1.4 剪切垂直压力

剪切时用 50 kPa, 100 kPa, 150 kPa, 200 kPa 四种垂直压力,量力环率定系数分别为 1.862, 1.706, 1.799, 1.799。

表 1 试验土样基本物理性质

| 植被剖面号 | 土样层次 | 深度/ cm | 特征 | 天然 | 密度/ | ≤2 mm |
|-------|------|-----------|------|-----------|--------------------------|-------------|
| | | | | 含水量/ % | (t· m ⁻³) | 土颗粒 构成/% |
| 裸地 | 第一层 | 0~65 | | 9.48 | 1.34 | 28.61 |
| | 第二层 | 65~109 | | 3.85 | 1.45 | 21.27 |
| | 第三层 | 109~159 | | 3.96 | 1.44 | 11.32 |
| | 第一层 | 0~54 | | 9.62 | 1.35 | 33.88 |
| | 第二层 | 54~117 | | 4.68 | 1.42 | 23.89 |
| | 第三层 | 117~172 | | 4.08 | 1.39 | 12.88 |
| | 第一层 | 0~49 | | 10.65 | 1.25 | 32.15 |
| | 第二层 | 49~119 | | 3.63 | 1.34 | 29.01 |
| | 第三层 | 119~179 | | 3.92 | 1.32 | 11.86 |
| 桉树林地 | 第一层 | 0~29 | 根多 | 11.48 | 1.19 | 30.59 |
| | 第二层 | 29~89 | 根少 | 5.06 | 1.37 | 36.48 |
| | 第三层 | 89~127 | 基本无根 | 2.87 | 1.48 | 31.94 |
| | 第一层 | 0~28 | 根多 | 10.07 | 1.24 | 35.25 |
| | 第二层 | 28~92 | 根少 | 7.62 | 1.43 | 36.86 |
| | 第三层 | 92~119 | 根很少 | 2.26 | 1.54 | 35.79 |
| | 第一层 | 0~37 | 根多 | 12.91 | 1.21 | 31.54 |
| | 第二层 | 37~87 | 根少 | 4.69 | 1.41 | 35.68 |
| | 第三层 | 87~123 | 基本无根 | 3.17 | 1.52 | 32.09 |

1.5 计算方法

对每一个试样进行剪切后,可以得到 4 个不同垂直压力下的剪应力,对剪应力 τ (kPa)和相应的垂直压力 σ (kPa),应用库仑公式:

$$\tau = C + \sigma \tan \varphi \tag{1}$$

可以计算出每个试样的黏聚力 C (kPa)和内摩擦角 φ (°),分别取对数,可以得到 $\lg C$ 和 $\lg \varphi$ 。

2 结果分析

对于某一植被类型土壤剖面的不同层次,用同一层次 3 个平行样的抗剪强度参数值的平均值作为该植被类型下该层次的抗剪强度参数值,如用裸 1、裸 2、裸 3 三个土壤剖面的第一层土样的抗剪强度参数值的平均值作为裸地第一层的抗剪强度参数值。不同植被条件下、不同层次土壤的黏聚

力 C 、内摩擦角见表 2 和表 3。

表 2 和表 3 的结果表明,随着含水量的增加,裸地和桉树林地重塑土的抗剪强度参数值均减少;不同土壤层次在相同含水量情况下,其抗剪强度参数值也不相同。对抗剪强度参数值和含水量进行相关分析,可得知抗剪强度参数值与含水量呈线性关系。

对裸地:

第一层 $\lg C = 1.65 - 0.024\omega$ $\lg \varphi = 1.55 - 0.016\omega$

第二层 $\lg C = 1.72 - 0.023\omega$ $\lg \varphi = 1.59 - 0.014\omega$

第三层 $\lg C = 1.76 - 0.020\omega$ $\lg \varphi = 1.61 - 0.013\omega$

对桉树林地

第一层 $\lg C = 1.84 - 0.027\omega$ $\lg \varphi = 1.59 - 0.014\omega$

第二层 $\lg C = 1.90 - 0.022\omega$ $\lg \varphi = 1.60 - 0.013\omega$

第三层 $\lg C = 1.94 - 0.019\omega$ $\lg \varphi = 1.62 - 0.010\omega$

上述关系式中, $\lg C$ 和 $\lg \varphi$ 分别为黏聚力 C (kPa)、内摩擦角 φ (°)的对数值, ω 为含水量(%)。

表 2 裸地土样直剪试验结果

| 土样层次 | 含水量/% | 饱和度/% | C/kPa | φ (°) |
|------|-------|-------|-------|---------------|
| 第一层 | 9.92 | 42.4 | 26.6 | 22.9 |
| | 14 | 59.8 | 21.1 | 22.6 |
| | 18 | 76.9 | 14.8 | 20.1 |
| | 22 | 94.0 | 16.6 | 15.2 |
| | 23.4 | 100 | 11.1 | 14.6 |
| 第二层 | 4.05 | 16.3 | 39.5 | 31.6 |
| | 14 | 56.5 | 29.8 | 27.3 |
| | 18 | 72.6 | 17.9 | 23.3 |
| | 22 | 88.7 | 15.2 | 17.2 |
| | 24.8 | 100 | 14.2 | 16.7 |
| 第三层 | 3.98 | 15.5 | 45.9 | 34.3 |
| | 14 | 54.5 | 36.9 | 27.4 |
| | 18 | 70.0 | 21.7 | 25.5 |
| | 22 | 85.6 | 19.6 | 18.8 |
| | 25.7 | 100 | 17.1 | 18.2 |

表 3 桉树林地土样直剪试验结果

| 土样层次 | 含水量/% | 饱和度/% | C/kPa | φ (°) |
|------|-------|-------|-------|---------------|
| 第一层 | 11.48 | 43.0 | 32.4 | 25.70 |
| | 14 | 52.4 | 28.2 | 23.99 |
| | 18 | 67.4 | 27.5 | 22.39 |
| | 22 | 82.4 | 16.6 | 20.42 |
| | 26.7 | 100 | 13.2 | 15.14 |
| 第二层 | 5.79 | 20.5 | 59.1 | 32.1 |
| | 14 | 49.6 | 35.1 | 28.8 |
| | 18 | 63.8 | 31.4 | 23.6 |
| | 22 | 78.0 | 29.4 | 22.9 |
| | 28.2 | 100 | 17.4 | 16.7 |
| 第三层 | 2.77 | 9.5 | 78.5 | 37.5 |
| | 14 | 48.1 | 50.6 | 31.4 |
| | 18 | 61.9 | 41.5 | 27.2 |
| | 22 | 75.6 | 28.4 | 26.7 |
| | 29.1 | 100 | 28.2 | 19.9 |

3 理论分析

据研究,植被通过改变土壤的水分、发挥根系的锚固作用和加筋作用来提高土壤的抗剪强度和边坡稳定性的效果

是比较明显的^[4]。

3.1 植被改变土壤水分作用

植被通过降雨截留作用来改变土壤的水分情况,减少土壤持水量。植被通过林冠截留、林下截留和枯枝落叶层截留来减少降雨的土壤入渗量,从而减少土壤中的含水量。降落到林地上的雨滴受到林冠的阻挡,一部分被吸附或存留在树枝、树叶上,通过蒸发作用回到大气中;一部分存留于树干表面,亦通过蒸发作用回到大气中,还有一部分被树干和树枝吸收^[4]。经林冠截留后降落到林下的雨滴被林下植被再一次截留,林下植被降雨截留过程类似于林冠截留过程。经林冠和林下植被截留过后的雨滴降落到地面后,被地面的枯枝落叶层再一次吸收,被枯枝落叶层吸收的水分一部分蒸发到大气中,一部分存留于枯枝落叶层中。

林地除把上述 3 次截留的水分蒸发到大气中外,还把林木根系从土壤中吸收的水分通过林木的蒸腾作用由林木的叶片气孔散发到大气中^[4]。蒸腾作用的不断进行,将一部分土壤水分散发到大气中,减少土壤持水量,从而能有效地阻止水分浸入深层土壤,达到提高土壤抗剪强度的目的。

3.2 土壤水分对抗剪强度的作用

Bishop 等在 1960 年提出了非饱和土抗剪强度的有效应力公式^[5]

$$\tau_f = c + (\sigma - u_a) \tan \varphi + x(u_a - u_w) \tan \varphi \quad (2)$$

式中: τ_f ——极限抗剪强度(kPa); C ——黏聚力(kPa); σ ——剪切面上法向压应力(kPa); φ ——内摩擦角($^\circ$); u_w ——孔隙水压力(kPa); u_a ——孔隙气压力(kPa); x ——取决于饱和度和土类、干湿循环以及加载和吸力的应力参数,其值界于 0 和 1 之间,当饱和度为 1 时, $x=1$, 当饱和度为 0 时, $x=0$ 。

Fredlund 等在 1978 年提出了非饱和土抗剪强度公式^[6]

$$\tau_f = c + (\sigma - u_a) \tan \varphi + x(u_a - u_w) \tan \varphi_0 \quad (3)$$

式中: φ_0 ——抗剪强度随基质吸力而变化的内摩擦角($^\circ$); $(u_a - u_w)$ ——基质吸力(kPa)。

由(2)式和(3)式可知,非饱和土的抗剪强度由第一项真黏聚力、第二项摩擦强度、第三项表观黏聚力组成。

黏聚力由真黏聚力和表观黏聚力组成^[6],真黏聚力是由于地质年代长期压力作用而形成的,比较稳定;表观黏聚力是由基质吸力和负孔隙压力所产生的,当含水量发生变化时,基质吸力和负孔隙压力也发生变化,表观黏聚力也相应发生变化,当含水量增大时,吸力减少,表观黏聚力相应减少。因此,随着含水量的增加,真黏聚力基本不变而表观黏聚力减少,总黏聚力相应减少。

内摩擦角由有效压力和土颗粒间所产生的摩擦力而形

成,内摩擦角由两部分构成^[6],即

$$\varphi = \varphi_0 + \Delta\varphi \quad (4)$$

式中: φ_0 ——基本内摩擦角($^\circ$); $\Delta\varphi$ ——实际内摩擦角与基本内摩擦角的差值($^\circ$)。只取决于土的颗粒大小和级配,对于某一固定土壤,其值保持不变, $\Delta\varphi$ 则随含水量的变化而变化,含水量增大时,土颗粒之间的结合水膜变厚,水溶液的电质浓度降低,胶粒间距离增大,土颗粒间连结强度降低,从而土颗粒之间的摩擦强度降低,在外部有效压力不变的情况下,内摩擦角相应减少。

4 结 论

植被的变化对非饱和土的抗剪强度有影响,这一点在岩土工程界和生态工程学界已有共识,但对含水量及植被的变化对抗剪强度和边坡稳定性影响程度的研究还不多^[7,8]。

本文通过对不同植被和不同层次的土样在不同含水量条件下的直剪试验,研究了饱和度、土层深度、植被类型与抗剪强度的关系,主要结论如下:

(1)非饱和砾石土黏聚力 C 值和内摩擦角 φ 值均随饱和度的增大而减少, C 值减少的幅度相对较大,而 φ 值减少的幅度相对较小。

(2)裸地含水量变化对抗剪强度的影响比按树林地含水量变化对抗剪强度的影响大。

(3)土层越深,含水量变化对抗剪强度的影响越小。

参考文献:

- [1] 殷跃平. 中国滑坡防治工程理论与实践[J]. 水文地质工程地质, 1998, 25(1): 5-9.
- [2] 杨永兵, 施斌, 杨卫东, 等. 边坡治理中的植物固坡法[J]. 水文地质工程地质, 2002, 29(1): 64-67.
- [3] 周德培, 张俊云. 植被护坡工程技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003. 4-5, 62-63.
- [4] 王治国, 张云龙, 刘徐师, 等. 林业生态工程学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000. 111-112.
- [5] Fredlund, Rahardio. 非饱和土土力学[M]. 陈仲颐译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997. 256-278.
- [6] 卢肇钧, 张惠明, 陈建华, 等. 非饱和土的抗剪强度与膨胀压力[J]. 岩土工程学报, 1992, 14(3): 1-8.
- [6] 李鹏, 赵忠, 李占斌, 等. 植被根系与生态环境相互作用机制研究进展[J]. 西北林学院学报, 2002, 17(2): 26-32.
- [7] 刘建军. 林木根系生态研究综述[J]. 西北林学院学报, 1998, 13(3): 74-78.