

不同植被类型根系提高浅层滑坡土体抗剪强度的试验研究

杨永红¹,王成华²,刘淑珍²,肖清华¹

(1. 西南交通大学土木工程学院,成都 610031;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、扭黄茅草地、车桑子灌木林地和桉树林地四种不同植被类型、不同深度土壤在天然含水量情况下的直剪试验,研究了植被类型对非饱和土抗剪强度的影响。结果表明,植被具有提高非饱和土抗剪强度的作用,黏聚力增加较大,内摩擦角增加相对较小;土层越深,土壤抗剪强度提高的程度越小。

关键词:根系;非饱和土;植被;抗剪强度

中图分类号: TU432;P642.22

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)02-0233-03

Experimental Research on Improving Shear Strength of Soil in Surface Landslide by Root System of Different Vegetation Type

YANG Yong-hong¹, WANG Cheng-hua², LIU Shu-zhen², XIAO Qing-hua¹

(1. School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China)

Abstract: It is analyzed that the impacts of vegetation type on shear strength of unsaturated soil through direct shearing tests for unsaturated soil of different depth and various vegetation types which consist of bare soil, tanglehead grassplot, switch sorrel shrubbery and eucalyptus holt under natural moisture contents. 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 the deeper of soil layer, the smaller of the extent of shearing strength improved.

Key words: root system; unsaturated soil; vegetation; shear strength

我国是一个滑坡灾害比较严重的国家,在西部山区滑坡灾害尤为严重。随着山区经济建设的发展,人类对自然资源开发规模不断扩大,开发强度不断加剧,破坏环境的行为未得到有效的控制,造成了自然生态环境的破坏和退化,致使滑坡灾害的发生和危害呈现逐年增加的趋势,直接威胁山区群众的人身安全,是制约山区社会、经济发展的因素之一^[1~4]。因此,滑坡灾害的防治成为城镇建设、资源开发、山区发展中的重要课题。

滑坡按滑动体的厚度大体上可以分为浅层滑坡和深层滑坡两种类型,深层滑坡与浅层滑坡相比其滑坡体方量大,深层滑坡通常属于大型滑坡,但发生的频率与浅层滑坡相比要少得多,浅层滑坡的滑坡体方量小,但发生频率大,分布面积广^[5]。

传统的浅层滑坡治理是采用工程措施。与植被护坡措施相比,工程措施具有能较准确地进行定量设计计算、防治效果明显等优点,但同时也具有耐久性差、防治成本高、破坏原有植被、景观效果差等缺点^[6,7]。

植被措施具有防治成本低、景观效果和环境效益明显等突出优点,在越来越注重保护生态环境、人与自然和谐相处的今天,植被措施正逐步成为国内外普遍使用的浅层滑坡治理技术。

由于边坡类型、植被类型、以及地质、土壤、气候、水分条

件的时空变化均影响植被的固土护坡功能和效果,使得植被措施不可能象土木工程措施那样有固定的标准件,也使得植被固土护坡效果缺乏可测性和可控性,因此,目前植被护坡应用还基本限制在定性和经验的发展阶段,理论研究落后于工程实践^[8],对植物根系提高土壤抗剪强度的定量研究很少。人们还不能用严密的科学理论来描述植物护坡的原理,还不能对植物护坡的效果作准确的定量分析。

为探讨乔、灌、草等不同植被对提高土壤抗剪强度作用的大小,从而为植被固土护坡提供依据。本文作者在野外取裸地、扭黄茅草地、车桑子灌木林地和桉树林地的土样,在室内通过直接剪切试验就植被类型对土壤抗剪强度的影响进行了研究。

1 试验材料与方法

1.1 实验土样

土样取自中科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、扭黄茅草地、车桑子灌木林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年没有耕种,基本没有任何植被;扭黄茅为天然草地,草地植株平均高度40~50 cm,车桑子为4年前人工种植,平均高度为1.2~1.5 m;桉树林为8年前人工种植,现已成林,植株平均高度为6~8 m,平均胸径为12~15 cm。分别

* 收稿日期:2006-04-26

基金项目:重大基础项目前期研究(2004CCAO3600)

作者简介:杨永红(1973-),男,博士研究生,现从事边坡工程加固与防护研究。

在上述 4 种不同植被类型区选取典型样地,在每一块样地内挖 3 个平均深度为 1.4 m 的平行的土壤剖面。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 36 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。

表 1 试验土样基本物理性质

植被	剖面号	土样层次	深度/cm	天然含水量/%	密度/ 10 ³ (kg·m ⁻³)	2 mm 土颗粒含量/%
裸地	裸 1	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
	裸 2	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
	裸 3	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
	草 1	第一层	0~48	14.7	1.54	33.96
		第二层	48~114	6.1	1.59	29.72
		第三层	114~142	4.7	1.65	19.11
扭黄茅草地	草 2	第一层	0~58	14.1	1.49	26.11
		第二层	58~128	5.2	1.53	24.07
		第三层	128~149	4.6	1.59	22.15
	草 3	第一层	0~48	13.8	1.41	32.85
		第二层	48~116	8.7	1.48	28.69
		第三层	116~155	5.6	1.52	21.23
	灌 1	第一层	0~49	13.7	1.28	37.21
		第二层	49~112	5.9	1.39	31.25
		第三层	112~147	4.4	1.47	28.41
车桑子灌木林地	灌 2	第一层	0~49	10.2	1.25	37.43
		第二层	49~149	8.2	1.33	33.21
		第三层	149~159	6.3	1.36	30.15
	灌 3	第一层	0~60	13.7	1.26	40.22
		第二层	60~98	6.9	1.30	35.32
		第三层	98~125	2.7	1.46	33.52
	林 1	第一层	0~31	16.2	1.27	27.70
		第二层	31~92	5.9	1.40	27.04
		第三层	92~119	4.6	1.48	15.21
桉树林地	林 2	第一层	0~36	13.6	1.19	27.03
		第二层	36~98	11.7	1.38	22.21
		第三层	98~126	5.6	1.50	19.21
	林 3	第一层	0~39	15.1	1.28	25.13
		第二层	39~102	7.1	1.42	22.17
		第三层	102~137	5.2	1.51	21.03

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 Z 型应变控制式直剪仪。

1.3 试样制备

由于样地的土壤为砾石土,本次试验用所取土样中过筛得到的 2 mm 土颗粒进行重塑制样,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。做土样时严格按照试验规程,严格控制土样的含水量,使土样的含水量等于其天然含水量,根据目标含水量计算出该土样需要增加或减少的水分的重量。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。

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,用剪应力 (kPa) 和相应的垂直压力 (kPa),依据库仑公式:

= c + tan (1)

可以计算出每个试样的黏聚力 C(kPa) 和内摩擦角 (°)。不同植被在不同的土壤剖面深度的黏聚力 C、内摩擦角 见表 2、表 3。

表 2 不同植被条件沿土壤剖面土体黏聚力 kPa

土样层次	草地	灌木林地	桉树	裸地
第一层	36.1	45.1	38.3	28.2
第二层	48.1	56.2	50.3	41.7
第三层	54.5	59.5	55.6	51.3

表 3 不同植被条件沿土壤剖面土体内摩擦角 °

土样层次	草地	灌木林地	桉树	裸地
第一层	25.5	29.3	26.3	22.9
第二层	29.8	33.8	31.3	28.6
第三层	32.5	35.8	33.8	31.9

2 根系提高土壤抗剪强度的理论分析

有根系的土体与无根系的土体相比较,含根系土体的抗剪强度是土体和根系两种材料综合起作用的结果,根系土体中根系作用的发挥类似于加筋土中的筋才的作用,从而使根系土的工程力学性能明显提高。

根系在土体中生长时,根系向四周土体产生轴向压力,使四周的土体容重增大,从而使土体的黏聚力、内摩擦角增加;土体中的任何颗粒与根表接触,无论是以边相接,还是以面相接,较之土粒,根周的表面是以面与土壤接触为主,根面(主要是根表面)总是凹凸不平,加之叉根、根节及根毛(根表皮细胞的突起物,直径约 5~15 μm,长约 5~10 mm)众多,大大增加了根和土之间的接触面积。同时,因根周土壤在根系膨压作用下,容重增加,使根和土之间的接触更加紧密,对增大根和土之间的摩擦力有利。根系在生长过程中会分泌一些化学物质,主要包括低分子分泌物如有机酸、糖类、氨基酸和高分子分泌物如黏胶、外酶等,有些植物的根系还有根瘤菌或根菌,这些物质与土壤发生化学反应,有利于土壤颗粒的胶结。根系周围大量的毛根和须根对其周围的土粒有缠绕、串连固结的作用,使土粒紧密地附着在根系的四周。根系表面上存在大量的根毛,根毛的直径和长度要比主根小得多,根毛增加了根土之间的接触,起到固结和缠绕周围土体的作用。根系周围土壤存在大量的菌根,菌根同根毛一样,有增加根土界面联系、固结土体的作用。这些因素有利于提高土壤抗剪强度^[9]。

3 试验结果与分析

植物根系在提高土壤抗剪强度方面的作用,是指在相同垂直剖面深度范围的根系土壤与无根系土壤抗剪强度的差值,用黏聚力差值 C、内摩擦角差值 表示。不同植被在不同的土壤剖面深度的黏聚力差值 C、内摩擦角差值 见表 4、表 5。

从表 4 和表 5 可以看出,草地、灌木林地和桉树林地土壤和裸地土壤相比,其抗剪强度 C 值和 值都有明显增加,C 值增加较大,增加率(相对于相同层次裸地)从 6.24%~

59.83 % , 值增加相对较小 , 增加率 (相对于相同层次裸地) 从 1.88 % ~ 27.95 % 。 从不同植被类型的增加率来看 , 呈现灌木林地 > 桉树 > 草地的规律。 对同一植被类型、不同土层深度而言 , C 值和 ϕ 值的增加量和增加率均呈现第一层 > 第二层 > 第三层的规律。

表 4 不同植被条件土壤剖面土体黏聚力增加值 (相对于裸地) kPa

土样层次	草 地		灌木林地		桉 树	
	C /kPa	增加率/ %	C /kPa	增加率/ %	C /kPa	增加率/ %
第一层	7.9	28.01	16.9	59.93	10.1	35.82
第二层	6.4	15.35	14.5	34.77	8.6	20.62
第三层	3.2	6.24	8.2	15.98	4.3	8.38

4 结 论

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 , 研究了土层深度、植被类型与抗剪强度参考文献 :

[1] 唐邦兴,王成华,崔鹏,等.大陆山地灾害与环境保育研究进展与展望[A].海峡两岸山地灾害环境保育研究[C].成都:四川科学技术出版社,1998.29-37.

[2] 刘红帅,薄景山,穆谷波,等.滑坡位移动态预测-以中里滑坡为例[J].灾害学,2002,17(4),38-41.

[3] 王文俊.三峡库区干流崩塌、滑坡的发育特征及危险性分析[J].灾害学,2002,17(4),54-59.

[4] 韩恒悦,李昭淑,常星源.陕西佛坪、宁陕“6·9”山地灾害考察研究[J].灾害学,2004,19(2),78-82.

[5] 李铁军,李晓华.植被固坡机制研究[J].水土保持科技情报,2004,(2):1-3.

[6] 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.

[7] 刘天林,脱军弟,李秉强,等.新原调整公路雁门关隧道出口段滑坡勘察及治理[J].灾害学,2002,17(4):46-51.

[8] 郭小平,朱金兆,周心澄,等.植被护坡技术及其应用[J].中国水土保持科学,2004,2(4):112-116.

[9] 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,2000.110-111.

(上接第 232 页)

3 结 论

(1) Kostiaikov 入渗公式在描述黑土区土壤水分入渗过程时 , 取得了良好的模拟效果 , 相对误差绝对值小于 10 % 的占 87 % ; 相对误差绝对值小于 5 % 的占 76 % 。 试验表明 Ko-参考文献 :

[1] 张光辉.国外坡面径流分离土壤过程水动力学研究进展[J].水土保持学报,2000,14(3):112-115.

[2] 王全九,王文焰,张江辉.根据畦田水流推进过程水力因素确定 Philip 入渗参数和田面平均糙率[J].水利学报,2005,1(1):125-129.

[3] 王治国,肖娟,魏忠义,等.黄土残源区人工降雨条件下坡耕地水蚀研究. III. 坡耕地小麦休闲期秸秆覆盖的防蚀效应[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(2):13-17.

[4] 吴普特,周佩华.黄土坡面薄层水流侵蚀试验研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1996,2(2):40-45.

[5] 孙景生,康绍忠,崔文军.不同沟灌条件下土壤入渗参数的估算[J].灌溉排水学报,2005,4(8):46-51.

[6] 王治国,肖娟,魏忠义,等.黄土残源区人工降雨条件下坡耕地水蚀研究. III. 坡耕地小麦休闲期秸秆覆盖的防蚀效应[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(2):13-17.

[7] 吴普特,周佩华.黄土坡面薄层水流侵蚀试验研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1996,2(2):40-45.

[8] 宋孝玉,康绍忠,史文娟,等.常武黄土沟壑区不同下垫面条件农田产流产沙规律及其影响因素[J].水土保持学报,2000,14(2):28-30.

[9] 雷廷武,邵明安,李占斌.土壤侵蚀预报模型及其在中国发展的考虑[J].水土保持研究,1999,6(2):162-166.

[10] Brandsma R T, M A Fullen, T J Hocking. Soil conditioner effects on soil structure and erosion[J].Journal of Soil and Water Conservation, 1999, 54(2):485-489.

[11] Aschmann S G, D P Anderson, R J, Croft et al. Using a watershed nutrient dynamics model, WEPP, to address watershed-scale nutrient management challenges[J].Journal of Soil and Water Conservation, 1999,54(4):630-635.

[12] Guy B T, W T Dickinson, R P Rudra. The roles of rainfall and runoff in the sediment transport capacity of in Terrill flow[J]. Trans. ASAE, 1987, 30: 1378-1385.

[13] Kostiaikov, A N. On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and on the necessity of studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration[J]. Trans,com,int,soc,soil sci.,932,6th. Moscow part A,17-21.

的关系 , 得出主要结论如下 :

- (1) 乔、灌、草 3 种植被类型较之裸地 , 黏聚力 C 值和内摩擦角 ϕ 值均有增加 , C 值增加的幅度相对较大 , 而 ϕ 值增加的幅度相对较小 , 乔、灌、草均有提高土壤抗剪强度的作用。
- (2) 从植被沿垂直剖面提高土壤的抗剪强度的程度来看 , 表层植被提高的程度较大 , 随着土层深度的增加 , 抗剪强度提高的程度逐步减少。

表 5 不同植被条件土壤剖面土体内摩擦角增加值 (相对于裸地) °

土样层次	草 地		灌木林地		桉 树	
	ϕ /kPa	增加率/ %	ϕ /kPa	增加率/ %	ϕ /kPa	增加率/ %
第一层	2.6	11.35	6.4	27.95	3.4	14.85
第二层	1.2	4.20	5.2	18.18	2.7	9.44
第三层	0.6	1.88	3.9	12.23	1.9	5.96

- (3) 从植被类型来看 , 灌木提高土壤抗剪强度的程度最大 , 草地提高土壤的抗剪强度的程度最小。

stiaikov 入渗公式在该区有较好的适用性。

(2) 一维圣维南运动方程应用于小面积径流计算时精度很高 , 但在进行野外坡面径流量的预测时 , 不能忽略控制面积的大幅扩大对模型预测精度的影响。空间尺寸的变化对径流量的影响仍需进一步探讨。