

## 含根量与土壤抗剪强度增加值关系的试验研究

杨永红<sup>1</sup>, 刘淑珍<sup>3</sup>, 王成华<sup>3</sup>, 肖清华<sup>2</sup>

(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. 西南交通大学土木工程学院, 成都 610031; 3. 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、车桑子灌木林地不同深度土壤在天然含水量情况下的直剪试验, 及对车桑子根系沿垂直方向的分布情况的调查, 研究了含根量对非饱和土抗剪强度的影响。结果表明, 植物根系具有提高非饱和土抗剪强度的作用, 含根量沿垂直方向呈指数函数规律分布, 黏聚力和内摩擦角沿垂直方向的增加值均与含根量成正相关关系。

**关键词:** 含根量; 非饱和土; 根系; 抗剪强度

中图分类号: TU432; S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)03-0287-02

## Experimental Research on the Relation Between Increasing Value of Shearing Strength with Root System

YANG Yong-hong<sup>1</sup>, LIU Shu-zhen<sup>3</sup>, WANG Cheng-hua<sup>3</sup>, XIAO Qing-hua<sup>2</sup>

(1. National Specialty Laboratory of Geohazard Prevention and Geo-environment Protection Chengdu, 610059;

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

3. 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 root weight 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 and switch sorrel shrubbery under natural moisture contents and through the investigation of root system distributing along vertical profile. The results show that root system can increase shearing strength of unsaturated soil and that root weight is distributing according to exponential function. It is also shown that the relationship between root system and increasing value of friction angle and cohesion along vertical profile is positive relative.

**Key words:** root weight; unsaturated soil; root system; shear strength

植被护坡是利用植物根系固土作用稳定浅层边坡的一种新技术, 同传统的土木工程相比, 植被护坡在发挥其护坡作用的同时, 具有土木工程措施所无法比拟的优点, 一方面能够迅速恢复由于人类工程建设所破坏的生态环境, 保持生态间的平衡, 美化景观, 净化空气。另一方面, 植被护坡造价低, 经济性较工程措施护坡优越<sup>[1-4]</sup>。

目前, 植被护坡应用还处于定性和经验发展阶段, 理论研究落后于工程实践<sup>[5]</sup>。随着植被护坡的不断推广应用, 植被固土护坡的定量作用研究成为很迫切的研究课题。

探讨根系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, 具有重要的理论意义和实践意义。灌木因具有地下根系发达, 地上部分树身重量轻, 风的阻力小等特点而成为植被护坡首选的植被类型。本文作者在野外取裸地和车桑子灌木林地的土样, 在野外对车桑子根系分布特征进行调查, 在室内通过直接剪切试验就根系对土壤抗剪强度的定量影响进行了研究。

### 1 试验方案及结果

#### 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), 裸地和车桑子灌木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, 车桑子灌木林地 5 年前人工种植, 现已成林, 植株平均高度为 1.3~1.6 m。分别在裸地和车桑子灌木林地选取典型样地, 在每一块样地内挖 3 个平均深度为 1.4 m 的平行的土壤剖面。沿土壤垂直剖面每 20 cm 用自制的 20 cm×20 cm×20 cm 的取样器取土样, 共计取 42 个土样。用环刀法测定每个土样的含水量, 用游标卡尺测定根系直径, 对每个土样的根系按 0~2 mm、2~5 mm、5~10 mm 三个径级进行分类, 用电子天平测定每一径级根系的重量, 车桑子含根量垂直剖面分布特征见表 1。

#### 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

由于样地区的土壤为砾石土, 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。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质量。

\* 收稿日期: 2006-05-25

作者简介: 杨永红(1973-), 男, 博士后, 研究方向: 地质灾害防治。

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,各土样的天然含水量见表 2。

表 1 车桑子含根量垂直分布特征

土层深度 cm	0~ 2 mm (g·1000 cm <sup>-3</sup> )	占 0~ 2 mm 总根量/% (g·1000 cm <sup>-3</sup> )	2~ 5 mm 总根量/% (g·1000 cm <sup>-3</sup> )	占 2~ 5 mm 总根量/% (g·1000 cm <sup>-3</sup> )	5~ 10 mm 总根量/% (g·1000 cm <sup>-3</sup> )	占 5~ 10 mm 总根量/%
0~ 20	4.8	34.29	4.9	25.93	3.2	40.51
20~ 40	3.1	22.14	4.1	21.69	2.1	26.58
40~ 60	2.8	20.00	3.8	20.11	0.9	11.39
60~ 80	1.1	7.86	2.1	11.11	1.1	13.92
80~ 100	0.9	6.43	1.5	7.94	0	0
100~ 120	0.8	5.71	1.6	8.47	0.6	7.59
120~ 140	0.5	3.57	0.9	4.76	0	0
合 计	14.0		18.9		7.9	

表 2 不同土样天然含水量情况

土样层次	土层深度	天然含水量/%	
		裸地	车桑子灌木林地
第一层	0~ 20	9.48	10.92
第二层	20~ 40	6.75	9.76
第三层	40~ 60	4.29	6.24
第四层	60~ 80	3.85	5.33
第五层	80~ 100	3.97	3.15
第六层	100~ 120	3.46	2.68
第七层	120~ 140	3.67	2.94

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  $\tau$ (kPa)和相应的垂直压力  $\sigma$ (kPa),依据库仑公式:

$$\tau=c+\sigma(\tan)\varphi \tag{1}$$

可以计算出每个试样的黏聚力  $C$ (kpa)和内摩擦角  $\varphi$ (°)。

对于某一植被类型的土壤剖面的不同层次,用同一层次三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,如用三个裸地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  $\varphi$  见表 2 和表 3。

表 3 裸地土样直剪试验结果

土样层次	土层深度/cm	含水量/%	$C$ /kPa	$\varphi$ /°
第一层	0~ 20	9.48	29.2	21.62
第二层	20~ 40	6.75	30.9	20.23
第三层	40~ 60	4.29	30.6	23.65
第四层	60~ 80	3.85	37.8	25.62
第五层	80~ 100	3.97	43.6	25.31
第六层	100~ 120	3.46	50.7	27.63
第七层	120~ 140	3.67	51.7	29.88

2 结果分析

对表 1 中 0~ 2 mm 径级含根量的垂直剖面变化(图 1)与土层深度作相关分析可知,0~ 2 mm 径级含根量与土层深度呈指数函数关系,函数关系式为

$$R_w=5.6358e^{-1.8981Z} \tag{2}$$

式中: $R_w$ ——含根量, $Z$ ——土层深度。

表 4 车桑子灌木林地土样直剪试验结果

土样层次	土层深度/cm	含水量/%	$C$ /kPa	$\varphi$ /°
第一层	0~ 20	10.92	38.8	29.91
第二层	20~ 40	9.76	39.9	28.31
第三层	40~ 60	6.24	40.2	30.72
第四层	60~ 80	5.33	45.3	31.96
第五层	80~ 100	3.15	50.7	32.18
第六层	100~ 120	2.68	57.6	34.18
第七层	120~ 140	2.94	57.8	35.39

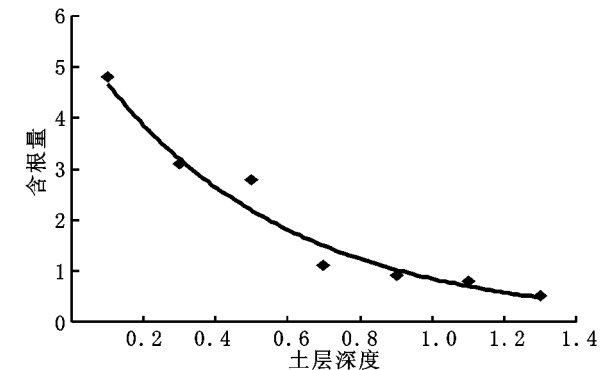


图 1 0~ 2 mm 径级含根量垂直剖面变化特征曲线

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  $\Delta C$ 、内摩擦角差值  $\Delta\varphi$  表示。根据表 3 和表 4 可以计算出不同裸地土样和车桑子灌木林地土样在不同的土壤剖面深度的黏聚力差值  $\Delta C$  和内摩擦角差值  $\Delta\varphi$ ,见表 5。

表 5 裸地和灌木林地抗剪强度差值对比表

土样层次	$C$ /kPa	$\varphi$ /°
第一层	9.6	8.29
第二层	9	8.08
第三层	9.6	7.07
第四层	7.5	6.34
第五层	7.1	6.87
第六层	6.9	6.55
第七层	6.1	5.51

对每一层土样  $\Delta C$  和  $\Delta\varphi$  与含根量  $R_w$  和土层深度  $Z$  作相关分析,可知  $\Delta C$  和  $\Delta\varphi$  与  $R_w$  成正相关关系,相关关系式见式(3)和式(4), $\Delta C$  和  $\Delta\varphi$  与  $Z$  成负相关关系,相关关系式见式(5)和式(6)

$$\Delta C=0.8097R_w+6.3519 \tag{3}$$

$$\Delta\varphi=0.5434R_w+5.8718 \tag{4}$$

$$\Delta C=10.121-3.0714Z \tag{5}$$

$$\Delta\varphi=8.4086-2.0714Z \tag{6}$$

3 结 论

本文通过对裸地和车桑子灌木林地沿土壤剖面不通层次在天然含水量条件下的直剪试验和对车桑子灌木林地根系的调查,研究了土层深度、含根量与抗剪强度增加值的关系,得出主要结论如下:

(1) 不同土层的含根量随土层深度的增加而减少,0~ 2 mm 径级的含根量沿垂直剖面方向呈指数函数分布。

(2) 灌木林地较之裸地,黏聚力  $C$  值和内摩擦角  $\varphi$  值均有增加, $C$  值增加的幅度相对较大,而  $\varphi$  值增加的幅度相对较小。

(下转第 291 页)

量不到 1%<sup>[9]</sup>。因此,宜将区内公园、草坪、苗圃、公路绿化带等改造成良好的入渗场地来接纳雨水径流;通过多种途径,将城区有些不透水地面转换成透水地面,诸如在人行道上铺设透水方砖,步行道以下设置回填沙石、砾料的渗沟、渗井等可以很好地增加入渗量,减低暴雨径流的流速、流量,延长滞留时间<sup>[5]</sup>。

4 杨凌区雨水资源开发利用的保障机制

为了实现杨凌区雨水资源开发利用的稳定持续发展,必须做好以下几个方面的保障工作:

4.1 强化制度建设

从国外发达国家雨水利用的经验看,雨水利用要真正实现有效开展,要先制定一系列有关雨水利用的法律法规,用制度约束保证雨水资源利用的实施。因此,应尽快因地制宜制订雨水利用的规章制度,做到有规可循,强制性要求无论是工业、商业还是居民小区,均要设计雨水利用设施。

4.2 政策引导,统一管理

雨水利用是环保产业,示范区应给予各种环保优惠政策,通过各种优惠政策和利益机制调动开发商和企事业单位的积极性,推动我区雨水利用的快速发展。雨水利用涉及到气象、地质、水利、城市建设等问题,具体实施时要与城市建设、市政管理、节水、建筑设计、环保和园林等许多部门进行合作。为实现水资源的可持续利用,必须有一个统一的强有力的领导组织,负责统一协调和管理,落实雨水利用的实施效果。

4.3 加强理论研究

雨水利用在全国尚属起步阶段,科研整体比较滞后。尽管杨凌示范区拥有雨水发展的科技优势,但专家目前研究、应用的方向一直面向缺水地区的农村,还不能完全满足杨凌雨水利用的客观要求。要真正实现科学的收集和利用雨水,尤其要达到国外雨水利用的产业化和集成化,应加大利用我参考文献:

[ 1 ] 水利部农村水利司农水处. 雨水蓄积利用技术与实践[ M ]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.  
[ 2 ] 刘小勇, 吴普特. 雨水资源集蓄利用研究综述[ J ]. 自然资源学报, 2000, 15( 2 ): 189– 193.  
[ 3 ] 宋进喜. 西安市雨水资源化及其利用的探索[ J ]. 水土保持学报, 2002, 16(9): 102– 105.  
[ 4 ] 胡世勤. 浅议城市雨水利用在我国的发展前景[ J ]. 中国建设教育, 2006, ( 6 ): 59.  
[ 5 ] 成六三, 等. 从产业化谈雨水资源利用及发展概况[ J ]. 绿色中国, 2004, ( 24 ): 33– 34.  
[ 6 ] 左强等. 农业水资源利用与管理[ M ]. 北京: 高等教育出版社, 2000.  
[ 7 ] 曹永强, 等. 雨水资源综合利用研究[ J ]. 中国农村水利水电, 2004, ( 11 ): 45– 46.  
[ 8 ] 车武. 城市雨水的现状与发展[ J ]. 长江流域资源与环境, 1999, ( 1 ): 12.  
[ 9 ] 孟玉. 城市雨水综合利用[ J ]. 中国资源综合利用, 2006, ( 6 ): 23.  
[ 10 ] 薛辉. 雨水积蓄利用技术应用于实践[ J ]. 山西水利, 2006, ( 4 ): 34.  
[ 11 ] 贾瑛. 我国城市公用事业民营化问题探讨[ J ]. 软科学, 2004, ( 3 ): 70.

( 上接第 288 页 )

(3) 从灌木林地沿垂直剖面提高土壤的抗剪强度的程度来看,  $\Delta C$  和  $\Delta \varphi$  与土层深度呈负相关关系。

(4) 从灌木林地沿垂直剖面的含根量与提高土壤的抗剪

参考文献:

[ 1 ] 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.  
[ 2 ] 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.  
[ 3 ] 王可钧, 李焯芬. 植物固坡的力学简析[ J ]. 岩石力学与工程学报, 1998, 17( 6 ): 687– 691.  
[ 4 ] 朱清科, 陈丽华, 张东升, 等. 贡嘎山森林生态系统根系固土力学机制研究[ J ]. 北京林业大学学报, 2002, 24( 7 ): 64– 67.  
[ 5 ] 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.

区的科研优势,把杨凌雨水资源化因地制宜地做专项、持续性理论研究。

4.4 扩大利用试点

利用示范区整体人员素质高,易于接受新技术的特点,在高新技术开发区、新建住宅小区和学校优先推广雨水利用技术,对现有雨水排放方式进行技术改造;利用学校教学基地的优势进行潜移默化的教育,使广大学生树立雨水利用的意识;大胆借鉴国外城市建筑的雨水利用基础设施,以及管理雨水资源的各种手段,积极把雨水资源产业化,将成功的试点经验借助于有全国影响的农业科技博览会在全国宣传、推广。

4.5 引入市场机制

在各小区物业管理部门引入市场机制,对达到一定规模出水量的小区给予相应的奖励,并鼓励将剩余水量可以进行市场交易,形成雨水利用的良性发展。为有效解决雨水利用系统的资金问题,可以采取创新机制。山西省在雨水利用上采取的“政府补助,群众自办;多元筹资,承包经营;产权改制,盘活资金;定点帮扶,对口支援;财政贴息,金融扶持”等五种资金投入机制可做有效参考<sup>[10]</sup>。另外,也可大胆借鉴国际上流行的 BOT(建设–运营–移交)、TOT(移交–运营–移交)<sup>[11]</sup>等筹资方式,使资产的投入–产出进入良性循环和自动滚动发展的轨道。

5 小 结

随着全国人民环保意识的增强,雨水利用是大势所趋,这一点已被西方发达国家所证实。结合杨凌地区的气候、降雨、水文地质、地形地貌等特点,杨凌示范区今后 10 年雨水资源化利用的指导思想应该是:以解决城区水资源短缺为主要目标,提高农村蓄水能力为辅,分类指导,市场运作,统筹兼顾,整体推进,为西部中、小城市雨水资源利用和广大农村发展集雨工程作出示范。

强度的程度来看,灌木提高土壤抗剪强度的程度与含根量呈正相关关系。