

浅层滑坡生物治理中的乔木根系抗拉实验研究

杨永红¹, 刘淑珍², 王成华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:通过对野外选取的合欢根系的抗拉试验, 及在合欢林地的抗拉拔实验, 研究了根系的最大抗拉强度和抗拉拔强度。结果表明, 根系最大抗拉强度与根系直径成指数函数关系, 最大抗拉力与根系直径成正相关关系, 根系抗拉拔力可以和根系直径、根长、土壤容重建立回归方程, 从而可以求得根系与周围土体之间的静摩擦系数。

关键词: 根系; 抗拉强度; 抗拉拔强度; 抗拉力

中图分类号: TU432; P642. 22

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)02-0132-03

A Study of Tensile Strength Tests of Arborous Species Root System in Forest Engineering Technique of Shallow Landslide

YANG Yongzhong¹, LIU Shuzhen², WANG Chenghua², XIAO Qinghua¹

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

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

Abstract: A study was conducted, through tensile tests of Albazzia roots culled from the fields as well as ant2drawing strength of these root systems in the Albazzia lands, in an effort to give insights into the maximum tensile strength and ant2drawing strength of the root systems. Results indicated that the maximum tensile strength of root system is in an exponential relation with the diameter of root system while the maximum tensile strength is positively correlative with the diameter of root system. Ant2drawing force of root system together with root diameter, length, and soil bulk density are folded into a regression equation in an attempt to figure out the static friction coefficient between root system and its ambient soil.

Key words: root system; tensile strength; ant2drawing strength; tensile force

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^[1~4]。

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^[5], 对植物根系提高土壤抗剪强度的作用和根系的锚固作用研究很少。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。

乔木在固土护坡过程中主要是发挥根系的锚固作用。探讨乔木根系锚固作用的大小, 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。本文作者在野外取合欢乔木的根样, 在室内通过抗拉力试验就根系抗剪强度进行了实验研究; 在合欢林地, 对合欢根系进行了抗拉拔实验。

1 实验方案

供室内实验的合欢根系取自所选择的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)林地, 合欢林为 8 年前人工种植, 现已成林, 植株平均高度为 4~5 m, 平均直径为 7~8 cm。选择使用刻度弹簧拉力计, 测定根系拉断时的最大抗拉力, 由于根系与一般的刚性材料断裂的方式不一样, 根系断裂时断裂面很不平齐, 很难确定根系断裂面的直径, 因此用游标卡尺测定根系的平均直径作为根系被拉断时的断裂面直径, 每试样重复 10~18 次。用下列公式计算根系的抗拉强度^[6]:

$$P = 4F / \pi D^2 \quad (1)$$

式中: P))) 根系抗拉强度、 F))) 最大拉力、 D))) 拉断处根系直径。

在上述所选择的合欢林地和桉树林地选择不同直径的根系, 使用刻度弹簧拉力计, 测定根系被拉出土体时的最大抗拉力, 用游标卡尺测定根系的平均直径作为根系的直径。

* 收稿日期: 2006-02-09

基金项目: 重大基础项目前期研究(2004CCA03600)

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。

2 实验结果

合欢和桉树根系室内抗拉强度实验结果见表 1, 野外抗拉拔强度结果见表 2。

表 1 合欢根系抗拉强度结果

直径/mm	最大抗拉力/kg	最大抗拉强度/MPa
0.97	13.96	185.13
1.21	15.58	132.78
1.57	17.95	90.87
1.95	18.17	59.62
2.34	19.15	43.64
2.72	20.04	33.80
3.13	21.07	26.84
3.51	21.34	21.61
3.97	22.98	18.19
4.25	23.62	16.32
4.96	24.52	12.44
5.42	25.54	10.85
6.34	26.47	8.22
6.95	31.79	8.21
7.37	33.71	7.74
8.47	36.72	6.39
9.59	38.97	5.29
11.12	41.24	4.16
12.45	43.87	3.53
平均	26.14	36.61

表 2 合欢根系抗拉拔强度

直径/mm	根长/cm	抗拉拔力/kg	抗拉拔强度/MPa
1.84	77	2.34	8.62
2.25	81	3.27	8.06
2.47	85	3.64	7.44
3.08	91	5.22	6.87
3.65	92	6.88	6.44
4.08	92	7.56	5.67
4.77	90	8.64	4.74
5.24	94	9.57	4.35
5.53	99	11.82	4.82
5.87	103	13.67	4.95
6.15	109	15.82	5.22
6.48	114	17.04	5.06
6.75	116	20.15	5.52
7.18	122	22.07	5.34
7.55	127	26.94	5.90
8.14	125	26.87	5.06
9.62	128	30.16	4.07
10.96	132	41.27	4.29
11.47	130	42.26	4.01
平均		16.59	5.60

3 结果分析

3.1 抗拉实验结果分析

根据表 1, 可以作出合欢根系最大抗拉力和最大抗拉强度随根系直径的分布图, 如图 1 和图 2 所示。

由表 1 可知, 随着合欢根系直径的增大, 最大抗拉力呈增加的趋势, 而抗拉强度呈减少的趋势。将桉树根系直径与抗拉强度进行回归分析, 根系最大抗拉强度与根系直径成指数函数关系, 可以建立回归方程:

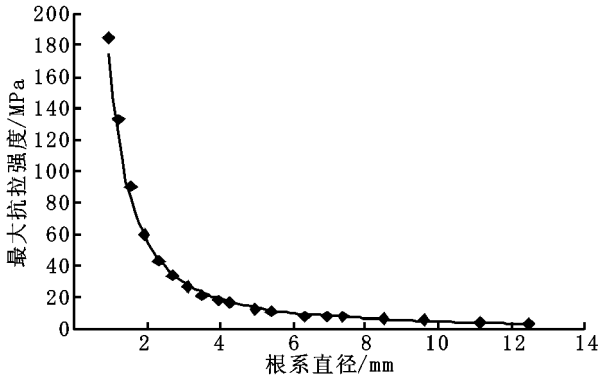


图 1 合欢根系极限抗拉强度与根系直径变化关系图

$$P_{\max} = 166.79D^{-1.5619} \quad R^2 = 0.9761 \quad (2)$$

式中: P_{\max}))) 最大抗拉力; D))) 根系直径。

将合欢根系直径与最大抗拉力进行回归分析可知, 根系最大抗拉力与根系直径成正相关关系, 可以建立回归方程:

$$f_{\max} = 12.596 + 2.6184D \quad R^2 = 0.9824 \quad (3)$$

式中: f_{\max}))) 最大抗拉力; D))) 根系直径。

3.2 抗拉拔实验结果分析

由表 2 可以看出合欢根系直径越大, 抗拉拔力越大, 抗拉拔强度越小。将合欢根系直径、根长、土壤容重(用各土层容重的平均值)与相应的根系抗拉拔力进行回归分析, 可以建立回归方程:

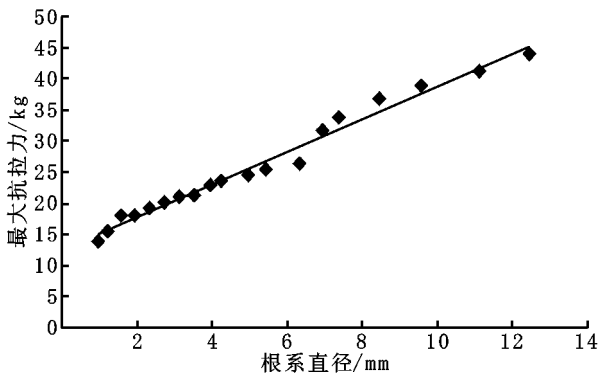


图 2 合欢根系极限抗拉力与根系直径变化关系图

$$f_{\text{拉拔}} = 0.46PD r L^2 \quad R^2 = 0.9939 \quad (4)$$

式中: $f_{\text{拉拔}}$))) 根系的抗拉拔力; D))) 根系直径; r))) 土壤容重; L))) 根长。

将回归方程与公式(8)进行对照, 可以求得合欢根系与周围土体之间的静摩擦系数 L 为 0.92。

4 理论分析

根系自身受剪切或拉断时产生的抗拉强度可达 10~50Mpa, 较之土体颗粒间相对移动所产生的强度大数百倍。因而土体自身破坏往往是在根系折断或抽出之前, 这就造成根在土体中可随最大应力的作用而发生方向改变, 林木根系在土体中受到滑塌等块体移动时的任何剪切、拉伸等, 最终都使根系受到拉应力作用。根系在滑坡体中发挥类似于锚杆的作用, 滑动体产生的下滑推力, 通过与根系的相互作用在根系中形成拉力, 企图将根系从稳固区中拉出, 在稳固区的根系被稳定区土体的自重所压住, 即稳固区的土与根系之间的摩擦阻力阻止根系被拉出, 如果滑动体的下滑推力能够被稳定土体中根和土之间的摩擦力所平衡, 则滑坡体的稳定就得到保障, 如图 3 所示。按公式(5) 计算滑坡的下滑力^[7]

$$F = K W \sin \alpha - W \cos \alpha \tan \varphi - c l \quad (5)$$

式中: F))) 下滑力; f))) 安全系数; W))) 滑体重量; l)))

滑动面长度;U))) 内摩擦角;c))) 黏聚力。

稳定滑坡体所需的根土之间的摩擦力可按公式(6)计算:

$$f_t = F / [\sin(A+ B) \tan U + \cos(A+ B)] \tag{6}$$

式中:f_t))) 根土之间的摩擦力。

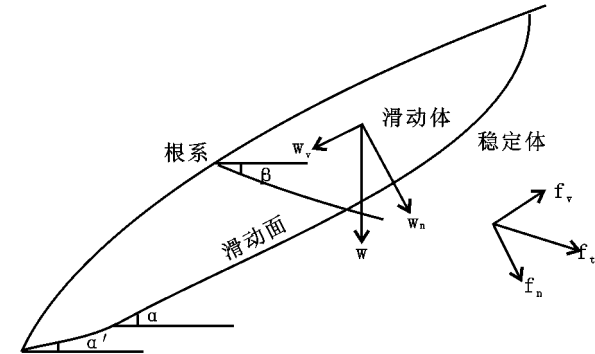


图 3 根系抗滑力系图

根系所提供的抗滑增量可以按以下公式计算,即摩擦力产生的抗滑分量和在滑动面所产生摩擦阻力之和,可用公式(7)表示

$$f = f_n \# \tan U + f_v = f_t [\sin(A+ B) \tan U + \cos(A+ B)] \tag{7}$$

式中:f))) 抗滑增量;f_v))) 摩擦力抗滑分量;f_n # tan U))) 摩擦阻力增量 ;f_t))) 根土之间的摩擦力。

土壤与根系之间的摩擦力分为静摩擦力和滑动摩擦力。

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.
[6] 程洪.草本植物根系网固土原理的力学试验探究[J].水土保持通报,2002,22(5):20- 23.
[7] 蒋忠信.加固滑坡的预应力锚索技术[J].山地研究,1996,14(1):58- 64.
[8] 解明曙.乔灌木根系固坡力学强度的有效范围与最佳组构方式[J].水土保持学报,1990,4(1):17- 24.

(上接第 137 页)

12:00 和午后 16:00~ 18:00,而双峰型蒸腾日变化会在午后 12:00 出现/午休现象。

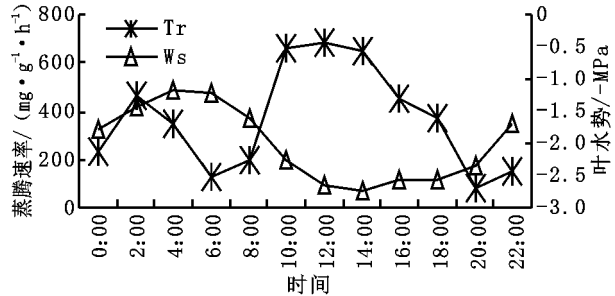


图 7 赖草蒸腾速率与叶水势关系图

参考文献:

[1] 张维江,孙保平,赵廷宁,等.毛乌素沙地南缘赖草生育期蒸腾速率过程线的初步研究[J].水土保持通报,2004,11(3):37- 40.
[2] 王兴鹏,张维江,马轶,等.盐池沙地柠条的蒸腾速率与叶水势关系的初步研究[J].农业科学研究,2005,26(2):43- 47.
[3] 李吉跃,周平,招礼军.干旱胁迫对苗木蒸腾耗水的影响[J].生态学报,2002,22(9):1380- 1385.
[4] 赵萍.宁夏毛乌素沙地 SPAC 系统中水分运移特征的研究[D].北京:北京林业大学,2004.
[5] 韩德儒,杨文斌,杨茂仁.干旱半干旱区沙地灌(乔)木种水分动态关系及其应用[M].北京:中国科学技术出版社,1995.1- 100.

在根系被拉拔初期,根系在土壤中的位移几乎为零,此时,土壤与根系之间的摩擦力为静摩擦力,当根系拉拔力大于某一值时,根系开始发生滑动,根土间的摩擦力有静摩擦力转化为滑动摩擦力,根系开始被拉出,由静摩擦力转为滑动摩擦力时的拉拔力为根系的_{最大抗拉拔力}。根系的_{最大抗拉拔力}可以根据公式(8)进行估算^[8]

$$f = \int_0^L r_s \# r_s \# H \# D \# P \# dH = LPDr_s \frac{1}{2} L^2 \tag{8}$$

式中:L))) 根土之间的静摩擦系数;r_s))) 土的天然容重(kg/cm³);D))) 根系直径(cm);H))) 根在土体中的深度(cm)。由公式(8)可以看出,最大抗拉拔力的影响因素有根系的直径、根系长度、土体容重、根系和土之间的摩擦系数。

5 结 论

本文通过对合欢根系的室内抗拉实验和野外抗拉拔实验,研究了最大抗拉力和最大抗拉强度与根系直径的关系,以及根系的抗拉拔力和抗拉拔强度,得出主要结论如下:

- (1) 合欢根系的_{最大抗拉力}随着根系直径的增加而增加,最大抗拉强度随着根系直径的增加而减少;合欢根系的_{最大抗拉力}与根系直径成正相关关系,最大抗拉强度与根系直径呈指数函数关系。
- (2) 合欢根系抗拉拔力随着根系直径的增加而增加,抗拉拔强度随着根系直径的增加而减少。
- (3) 从相同直径的合欢根系来看,最大抗拉力大于抗拉拔力,最大抗拉强度大于抗拉拔强度。