

# 香根草应用于铁路边坡防护的力学研究

张栋<sup>1</sup>, 王炳龙

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 200331)

**摘要:** 针对目前较少研究香根草在边坡防护的力学作用的情况, 通过香根草力学试验, 测定、分析香根草的力学指标, 定量检验香根草在边坡防护中的力学作用。通过试验分析发现, 香根草护坡可以提高土的黏聚力和内摩擦角, 从而提高土的抗剪强度, 进而增加土壤稳定性。香根草根系必须达到一定密度, 抗剪强度才能提高, 从而发挥边坡防护的作用。

**关键词:** 铁路边坡; 香根草; 强度试验; 抗剪强度

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2006)06-0094-03

中图分类号: U216

## Mechanics Research on Vetiver Grass in Railway Side Slope Protection

ZHANG Dong-liang, WANG Bing-long

(Key Laboratory for Highway and Traffic Engineering of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200331, China)

**Abstract:** In view of a few mechanics researches on vetiver grass applied in railway side slope protection, mechanics functions of vetiver grass were investigated through a test for vetiver grass and an analysis of the mechanics index. Vetiver grass is found to increase adhesion and internal friction angle, enhance shear strength and improve soil stability. The test shows that only if the density of vetiver root system reaches to a certain value, shear strength can be enhanced significantly, which implies a great role of vetiver grass in railway side slope protection.

**Keywords:** rail way side slope; vetiver grass; strength test; shear strength

## 1 引言

香根草因其力学性能优良、耐酸碱、生态适应性强等特点, 已经广泛应用在公路、堤坝、铁路边坡<sup>[1-4]</sup>。目前, 针对香根草已经在全国各地开展了大量试验。但是对于香根草固坡的试验, 多出于检验香根草适应性的目的<sup>[5-6]</sup>, 香根草根系抗剪试验研究较少, 因而香根草与土相互作用机理, 一直停留在植物根系与土相互作用的理论阶段。

土壤稳定性与土的黏着力、内摩擦力关系密切, 抗剪强度是内摩擦力和黏聚力之和, 故土壤的抗剪强度能较好地反映其稳定性。不同地段的土壤机械位移性能有差异, 同一地段不同层次的土壤抗剪性能也存在差异, 造成了土壤稳定性的差异, 并呈现出一定的规律性。通过对研究区各植物地类不同土层抗剪强度的测定表明, 表层土的抗剪性能较好, 稳定性大, 不易被外营力位移破坏。故可以从土壤的抗剪性能方面分析不同地区香根草的固土护坡效果。

本文通过在铁路边坡进行香根草力学试验, 根据所得数据, 对香根草固坡进行力学分析, 计算在香根

草作用下, 浅层坡面增加的抗剪强度, 从而量化香根草增加土体强度的程度。

## 2 香根草固坡原理

香根草边坡植物防护的作用具体体现在以下几个方面。

(1) 整体绿篱作用。香根草长势挺立、茎秆粗壮、坚硬、挺直、沿着斜坡等高线种植 4 个月左右就可长成茂密的活篱笆。可明显减缓坡面径流速度, 有效地缓解坡面径流侵蚀。有研究表明, 与裸露土地相比较, 香根草能将地面径流减少的比例高达 73%, 被侵蚀土壤量降低的比例高达 98%。成绿篱后无需特别管理, 即可稳定边坡, 固着土壤, 且适应条件恶劣地区的铁路边坡防护。

(2) 根系作用。香根草的根系生长快、分蘖多、根系垂直生长于土壤。根系生长深度大是它的显著特征, 一年之间一般可深入土壤大于 2 m, 而且根系非常强大, 能紧紧地黏住土壤颗粒, 减少水土流失, 防止径流及其冲刷边坡的病害发生。根系纵向深扎穿入土层, 形成一道地下屏障, 可起到良好的加固作用。

试验资料表明,其抗拉强度为 75 MPa。大量的根系增强了土壤的剪切力,增强了土体的黏附力,对土壤发挥类似于“钢筋”的作用,因而提高了边坡土壤的稳固性。

(3) 叶片蒸腾作用。由于香根草具有强大而深扎的网状根系,茂密而长大的茎秆和叶子形成绿篱,有效地减少土壤的水分蒸发,从而有助于增强边坡的稳定性。

香根草固坡的最主要的部分是根系,香根草通过根与土相互作用,根系数量多成网状而深扎,与土壤接触面积大,通过抗张力、摩擦力和黏附作用等而对土壤发挥像钢筋似的增强作用,同时香根草根系扎得很深,最高可达地表下 5~6 m,因而不仅可有效防护土壤表层,而且可控制浅层土体的位移。

### 3 含香根草系土的强度试验

#### 3.1 场地概况

为了使含香根草系土的强度试验具有代表性,选取 3 个铁路边坡试验段:(1) 浙赣绕行线;(2) 皖赣线芜湖市地区;(3) 宁启线海安县地区。土质如表 1 所示。

表 1 试验区土质状况

项目	浙赣绕行线	皖赣线芜湖市地区	宁启线海安县地区
容重/( $\text{g cm}^{-3}$ )	1.53	1.81	1.81
含水量/%	30.86	25.40	25.40
比重	2.70	2.75	2.75
压缩系数/MPa	0.43	0.83	0.83
压缩模量/MPa	5.29	2.20	2.20
孔隙比	1.31	0.91	0.91
土的分类	灰色砂质粉土	褐红色黏土	粉砂

#### 3.2 试样描述

(1) 浙赣绕行线。采集土样时,分层取土,采用环刀法取土。

第 1 层:坡面下 8 cm,每根平均直径 0.2 cm,面积 0.031  $\text{cm}^2$ ,共 118 根,面积 3.705  $\text{cm}^2$ ,5 个环刀面积 150  $\text{cm}^2$ ,含茎率 2.47%。

第 2 层:坡面下 20 cm,共 62 根,面积 1.947  $\text{cm}^2$ ,5 个环刀面积 150  $\text{cm}^2$ ,含茎率 1.30%。

(2) 皖赣线芜湖市地区。根据现场根部的情况在采集土样时只取 2 层,分层取土,采用环刀法取土。

第 1 层:坡面下 10 cm,每根平均直径 0.2 cm,面积 0.0314  $\text{cm}^2$ ,共 175 根,面积 5.495  $\text{cm}^2$ ,5 个环刀面积 150  $\text{cm}^2$ ,含茎率 3.66%。

第 2 层:坡面下 20 cm,共 32 根,面积 1.005  $\text{cm}^2$ ,5 个环刀面积 150  $\text{cm}^2$ ,含茎率 0.67%。

(3) 宁启线海安县地区。采集土样时,分层取土,采用环刀法取土。

第 1 层:坡面下 11 cm,每根平均直径 0.2 cm,面积 0.031  $\text{cm}^2$ ,共 35 根,面积 1.099  $\text{cm}^2$ ,4 个环刀面积 120  $\text{cm}^2$ ,含茎率 0.92%。

第 2 层:坡面下 17 cm,共 26 根,面积 0.816  $\text{cm}^2$ ,4 个环刀面积 120  $\text{cm}^2$ ,含茎率 0.68%。

第 3 层:坡面下 26 cm,共 16 根,面积 0.502  $\text{cm}^2$ ,含茎率 0.42%。

第 4 层:坡面下 70 cm,共 9 根,面积 0.283  $\text{cm}^2$ ,含茎率 0.24%。

#### 3.3 试验结果

(1) 各层土样的强度值。从表 2 可以看出,香根草可以增加土体的黏聚力和内摩擦角,随着含茎率的提高,土的黏聚力和内摩擦角增加,从而起到植物边坡防护的作用。对于不同的土质,香根草都能增加土体的黏聚力和内摩擦角,证明香根草对于黏土边坡、砂质粉土边坡、粉砂边坡都具有良好的防护效果。

表 2 各层土样强度

线路	土类	原状土强度	含香根系土强度 (=含茎率)	
浙赣线	灰色砂质粉土	$c = 1.0 \text{ kPa}$ $= 27.0^\circ$	第 1 层	$= 2.47\%$
			$c = 8.0 \text{ kPa}$	$= 36.0^\circ$
			第 2 层	$= 1.30\%$
			$c = 7.0 \text{ kPa}$	$= 34.0^\circ$
皖赣线	褐红色黏土	$c = 14.5 \text{ kPa}$ $= 30.5^\circ$	第 1 层	$= 3.66\%$
			$c = 24.0 \text{ kPa}$	$= 39.0^\circ$
			第 2 层	$= 0.67\%$
			$c = 19.0 \text{ kPa}$	$= 30.5^\circ$
宁启线	粉砂	$c = 4.0 \text{ kPa}$ $= 27.5^\circ$	第 1 层	$= 0.92\%$
			$c = 10.0 \text{ kPa}$	$= 29.0^\circ$
			第 2 层	$= 0.68\%$
			$c = 13.0 \text{ kPa}$	$= 24.5^\circ$
			第 3 层	$= 0.42\%$
			$c = 6.0 \text{ kPa}$	$= 25.5^\circ$
			第 4 层	$= 0.24\%$
			$c = 4.0 \text{ kPa}$	$= 28.0^\circ$

注:  $c$  为土体黏聚力;  $\phi$  为内摩擦角;  $\sigma$  为含茎率。

(2) 各层土的剪切位移变形量(mm),如图 1,2 所示。

图 1—2 显示,在不同垂直压力作用下,土体发生剪切破坏,含香根草的土体相对原土体的剪切位移量大,说明在香根草作用下的土壤抗剪切位移的能力增强,从而提高了边坡的稳定性。

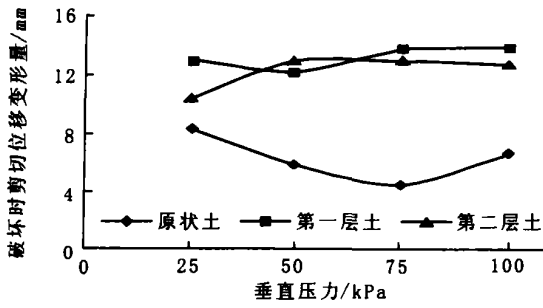


图 1 浙赣绕行线剪切位移变形量图

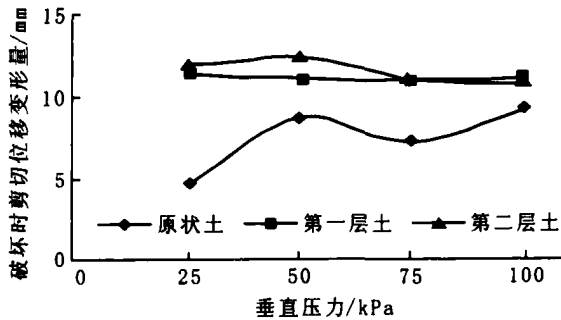


图 2 皖赣线剪切位移变形量

(3) 在植物根系加筋的作用下,土体的抗剪强度增量可写为

$$\Delta c = c + [\tan(\alpha + \beta) - \tan \alpha]$$

式中:  $\alpha$  为土体内摩擦角,可以由土的直剪实验获得。

设  $\sigma$  为 100 kPa,根据表 2 的  $c$  和  $\alpha$ ,计算各层土体的土体抗剪强度增量和增长幅度(见表 3)。

表 3 各层土体抗剪强度增量和增长幅度

铁路边坡 试验段	层号	增/ kPa	增 增长 幅度/ %
浙赣绕行线	第 1 层	28.70	55.25
	第 2 层	22.50	43.00
皖赣线芜湖市 地区	第 1 层	31.57	43.01
	第 2 层	4.50	6.13
宁启线海安县 地区	第 1 层	9.37	2.52
	第 2 层	16.71	4.50
	第 3 层	- 2.36	4.21
	第 4 层	1.11	1.98

通过分析在  $\sigma$  为 100 kPa 的条件下,不同土质土体抗剪强度的增长幅度,比较得出,土体的抗剪强度增量与含茎率相关。含茎率高,抗剪强度增幅大。在浙赣绕行线试验段,含茎率为 2.47%,土体的抗剪强度提高 55.25%。一定含茎率的香根草固土可以起到植物护坡的目的。但含茎率一旦降到一定程度,抗

剪强度的降低,并有可能低于原土体的抗剪强度,不能达到边坡植物防护的目的。分析其原因是香根草根茎增大了雨水入渗率,土的黏聚力和摩擦角减小,从而抗减强度降低。

(4) 试验分析。各层土样的强度值变化表明,试样含茎率变大, $c$  值和  $\alpha$  值随之升高,从而土体的抗剪强度增加。同时从表 2 中可以看出,香根草对于不同的土质,都能起到良好的固土效果。从各层土样的强度值表 3 中,可以得出,含茎率是衡量抗剪强度的重要指标。当含茎率达到一定程度,抗剪强度大幅提高。根据各层土的剪切位移变形量图,可以看出同等垂直压力和发生土体破坏的条件下,含茎率高的土体位移变化量较大,说明香根草根茎与土结合良好,共同移动,增强了抗剪强度。对于铁路边坡来说,增加了边坡浅层防护能力,加大了边坡抗冲刷能力,从而达到防护边坡的作用。同时,当含茎率降到一定程度,抗剪强度不增长,甚至低于原土体的抗剪强度,不能达到边坡植物防护的目的。

### 4 结 论

本文通过香根草试验,检验了植物防护的作用,同时得到如下结论。

- (1) 香根草护坡可以提高土的黏聚力和内摩擦角,提高土的抗剪强度,进而增加防冲刷的能力。
- (2) 香根草对于黏土、砂质粉土、粉砂都具有良好的防护效果。
- (3) 香根草根系达到一定密度,抗剪强度才能提高,才能发挥植物防护的作用。香根草种植早期未达到一定含茎率时,要注意抗剪强度的降低所引起的边坡破坏。

#### [ 参 考 文 献 ]

[1] 潘碧影. 香根草防治公路边坡水土流失试验研究[J]. 江西林业科技, 2005(2): 23.

[2] 彭泽民, 朱玉清, 卢勇. 公路边坡生物防治技术探讨[J]. 中南公路工程, 2004, 29(4): 118—120.

[3] 王文华, 熊元, 孙锐锋, 等. 香根草应用于贵州玉铜高等级公路的护坡效果[J]. 贵州农业科学, 2003, 31(4): 50—52.

[4] 管天保. 香根草在坡面防护工程上的应用[J]. 上海铁道科技, 2002(4): 42—43.

[5] 丁光敏, 林福兴, 施悦忠, 等. 香根草草篱带促进侵蚀劣地生态自我修复初探[J]. 水土保持研究, 2003, 10(2): 116—118.

[6] 柴宗新, 张宁. 推广香根草篱作水土保持措施值得重视的几个问题[J]. 山地学报, 1992, 10(4): 239—241.

(部分参考文献略)