

Study on the Influence of Plant Root System on the Shear Strength Parameters of Soil

Huibo Wen, Guangqing Yang

China Merchants Chongqing Communications Technology Research & Design Institute CO., LTD, Chongqing, 400067, China

Abstract: In order to study the effect of grass-slope protection on slope protection, shear strength parameters of plant root soils were simulated by finite element numerical simulation software. The shear strength parameters of soil materials and the variation of material parameters under the influence of various factors were calculated. The conclusion is as follows: A root system in soil will increase the shear strength of the material; when the soil has a root system, as the length of the root system increases, the cohesion and internal friction angle of the material increase gradually; The increase of the density of root distribution in the body increases the cohesion force and the internal friction angle. In the soil, the inclination angle of the root system only affects the cohesion of the root, and has no effect on the size of the internal friction angle. With the increase of the tilt angle of the root system, the cohesion gradually decreases. According to the degree of soil looseness, suitable plant planting should be selected to give full play to plant slope protection.

Keywords: Seeding slope stabilization; Numerical simulation; Plant roots; Soil shear strength

植物根系对土体抗剪强度参数影响数值模拟研究

温辉波, 杨光清

招商局重庆交通科研设计院有限公司, 重庆, 中国, 400067

摘要: 为了研究植草护坡固坡效应, 通过有限元数值模拟软件对有植物根系土体进行抗剪强度参数进行模拟, 计算得出土体材料的抗剪强度参数以及多种不同因素影响下的材料参数变化规律, 结论如下: 植物根系将增加土体的抗剪强度; 土体强度随植物根系长度、植物根系分布密度增大而增大; 而土体里根系的倾斜角度只对其粘聚力有影响, 对内摩擦角基本无影响, 随着根系倾斜角度的增加, 其粘聚力逐渐降低; 根据土体松散程度, 选择合适植物种植, 充分发挥植物护坡作用。

关键词: 植草护坡; 数值模拟; 植物根系; 土体抗剪强度。

1 引言

随着我国西部地区的不断开发, 其各种工程建设中难免出现开挖边坡, 为了维持开挖边坡的稳定性, 往往会采取支挡措施, 同时为了工程的美观以及环境问题, 边坡生态防护工程成为了社会的热点^[1-4]。边坡生态防护对于防止水土流失、保持边坡稳定和公路畅通、保护生态平衡等有着极其重要的意义。它的生态效应主要体现在以下五个方面:

- (1) 恢复被破坏的生态环境功能;
- (2) 保持水土功能;
- (3) 调解净化空气, 降低环境污染功能;
- (4) 降低噪声的功能;
- (5) 改善通行视觉条件。

有学者研究发现^[5-6], 植物根系在土中形成的根-

土复合体, 主要的力学特性有抗剪强度、弹性模量等, 而影响其参数的因素有土体材料自身参数、植物自身因素等。植物根系护坡的加固原理主要分为以下两个方面, 第一方面来源于根系的力学效应, 另一方面来源于茎叶的水文效应, 通过以上两方面共同作用来提高边坡的稳定性。二十世纪末, 一些学者针对草本植物和木本植物^[7-8], 研究不同植物根系的加固效应, 研究结果发现: 草本植物根系在土体中的作用与加筋土相似, 而木本植物根系产生的作用与锚杆相似。随着人们对生态的进一步认识, 越来越重视利用植物进行土壤侵蚀控制和边坡土体加固, 进而使植物防护在边坡治理中得到广泛的认可。

本文通过探讨草本植物根系与土形成根-土复合体材料强度参数以及在不同影响因素下参数的变化规律, 为边坡生态防护工程中针对不同类型土体选择不

同护坡植物提供一定的参考价值。

2 计算模型

2.1 材料参数的选取

通过大型岩土有限元软件 MIDAS-GTS NX 进行建立相关的模型，模型建立前首先应对相关参数进行选取。根据大量的研究成果^[9-10]，并结合实际工程，建立生态型植草护坡以及根-土复合体模型计算参数，其中土体地质参数详见表 1，植物根系材料的数值模拟参数具体如表 2 所示。

表 1. 土体材料参数

材料	弹性模量 (MPa)	泊松比	粘聚力 (kPa)	内摩擦角 (°)	重度 (kN/m ³)
土体	12	0.32	19	28	18

表 2. 植物根系材料参数

材料	弹性模量 (MPa)	泊松比	直径(mm)	密度(t/mm ³)
根	11	0.32	26	1.8×10 ⁻⁹

2.2 有限元模型建立

本文通过有限元软件将根-土复合体模型视为二维平面应变，并将模型中的土体材料理想的弹塑性模型以及摩尔库伦破坏准则。具体的模型简化图如图 1 所示：

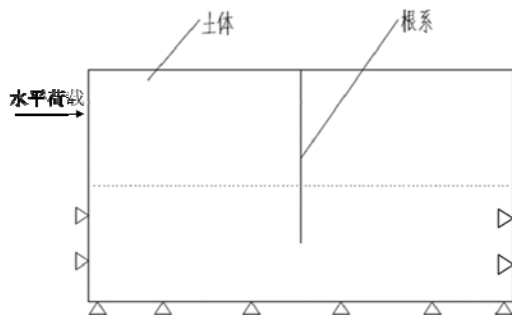


图 1. 模型简图

根据模型简图在有限元软件中建立相应的根-土复合体模型，并按照 0.1m 的网格尺寸对模型进行相应的网格划分，具体网格划分图如图 2 所示：

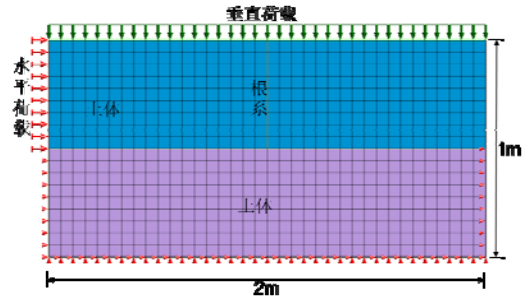


图 2. 模型尺寸及网格划分

2.3 边界及荷载

对于有限元根-土复合体模型的边界条件如图 2 所示，即约束模型底部的水平向和竖直向的位移，对于模型下半部分两侧只约束其水平向位移。对于模型的荷载施加，主要分为水平荷载和上部荷载，水平荷载为模拟直剪试验施加的水平向荷载，而上部荷载即为直剪试验中模拟的垂直向荷载，具体荷载值与试验方案保持相同。

2.4 数值模拟试验方案

为探究不同根系分布因素对根系加固土体的参数影响，涉及到根系加固土体的抗剪强度、弹性模量等，本次模拟计算只考虑其抗剪强度参数，所以本次数值模拟试验方案进行以下的设定：

表 3. 数值模拟试验方案

方案编号	1	2~6	7~11	12~16
备注	对比方案	不同根系长度	不同根系分布密度	不同根系倾斜角度
		0.5m	20%	0°
方案内容	无根系	0.6m	40%	15°
		0.7m	60%	30°
		0.8m	80%	45°
		0.9m	100%	60°

注：对于试验方案 7~16 的根系长度均为 0.7m，试验方案 7~11 的根系倾角为 0°，试验方案 12~16 的根系分布密度为 20%。

3 根-土复合体模型抗剪强度结果

3.1 根系长度的影响

通过有限元数值模拟，对土体及有根系的根-土复合体模型进行抗剪强度参数的计算，根据计算结果

整理可得表 4，得到其根-土复合模型植物根系长度对内摩擦角和粘聚力增量的影响。

表 4. 不同根系长度下根-土复合模型计算结果

	φ (°)	$\Delta\varphi$	c (kPa)	Δc
无根系	27.92	-	18.87	-
根系长 0.5m	28.01	0.09	19.5	0.63
根系长 0.6m	28.05	0.13	19.78	0.91
根系长 0.7m	28.16	0.24	20.06	1.19
根系长 0.8m	28.22	0.30	20.46	1.59
根系长 0.9m	28.31	0.39	20.75	1.88

图 3 为根系长度与根-土复合体内摩擦角增量的关系曲线，图 4 为根系长度与根-土复合体粘聚力增量的关系曲线。由图 3 和图 4 可知，当土体有植物根系时，内摩擦角增量都为正数，即植物根系将增加土体的内摩擦角；同时随着植物根系长度的增加，其内摩擦角也逐渐增大，并且其内摩擦角的增量呈非线性增加；其根-土复合体粘聚力增量也为正数，且逐渐增加，即植物根系将增加土体的粘聚力；同时随着植物根系长度的增加，其粘聚力增量也逐渐增大，其内摩擦角的增量呈近视线性增加。

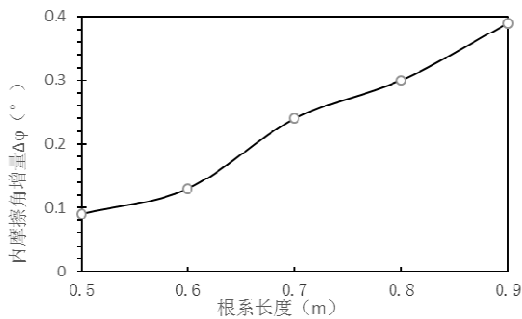


图 3. 根系长度与内摩擦角增量的关系曲线

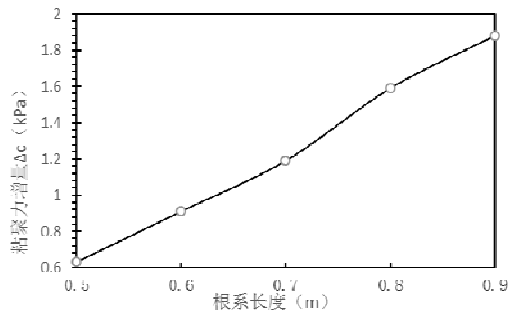


图 4. 根系长度与粘聚力增量的关系曲线

3.2 根系分布密度的影响

根据计算结果整理可得表 5，得到其植物根系分布密度对内摩擦角和粘聚力增量的影响。

表 5. 不同根系分布密度下根-土复合模型计算结果

	φ (°)	$\Delta\varphi$	c (kPa)	Δc
无根系	27.92	-	18.87	-
根系分布密度 20%	28.08	0.16	19.55	0.68
根系分布密度 40%	28.20	0.28	19.83	0.96
根系分布密度 60%	28.35	0.43	20.14	1.27
根系分布密度 80%	28.51	0.59	20.33	1.46
根系分布密度 100%	28.81	0.89	20.66	1.79

图 5 为根系分布密度与根-土复合体内摩擦角增量的关系曲线，图 6 为根系分布密度与根-土复合体粘聚力增量的关系曲线。由表 5、图 5 和图 6 可知，当土体有植物根系时，内摩擦角增量都为正数，即植物根系将增加土体的内摩擦角；同时随着植物根系分布密度的增加，其内摩擦角也逐渐增大；并且其粘聚力增量都为正数，且逐渐增加，即植物根系将增加土体的粘聚力，并且其内摩擦角的增量呈非线性增加；同时随着植物根系分布密度的增加，其粘聚力增量也逐渐增大，其内摩擦角的增量呈近视线性增加。

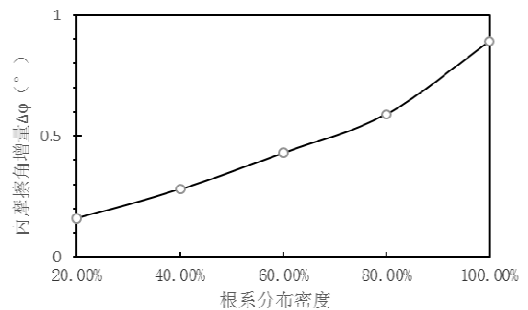


图 5. 根系分布密度与内摩擦角增量的关系曲线

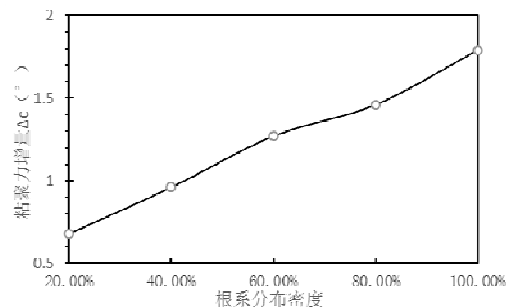


图 6. 根系密度与粘聚力增量的关系曲线

图 8.根系倾斜角度与粘聚力增量的关系曲线

3.3 根系倾斜角度的影响

表 6. 不同根系倾斜角度下根-土复合体模型计算结果

	φ (°)	$\Delta\varphi$	c (kPa)	Δc
无根系	27.92		18.87	
根系倾斜角度 0°	28.16	0.24	20.06	1.19
根系倾斜角度 15°	28.16	0.24	19.83	0.96
根系倾斜角度 30°	28.16	0.24	19.65	0.78
根系倾斜角度 45°	28.16	0.24	19.55	0.68
根系倾斜角度 60°	28.16	0.24	19.47	0.60

表 6 为不同根系倾斜角度下根-土复合体模型计算结果，图 7 为根系倾斜角度与内摩擦角增量的关系曲线，图 8 为根系倾斜角度与粘聚力增量的关系曲线。由结果可知，当土体有植物根系（根-土复合体），其倾斜角度不同时，内摩擦角增量都为正数，即有植物根系相对于无根系将增加土体的内摩擦角；同时随着植物根系倾斜角度的增加，其内摩擦角保持不变，即植物根系的倾斜角度对土体的内摩擦角不产生任何影响；而粘聚力增量都为正数，即植物根系将增加土体的粘聚力；但是随着植物根系倾斜角度的增加，其粘聚力增量逐渐减小，并且其粘聚力增量呈非线性减小。

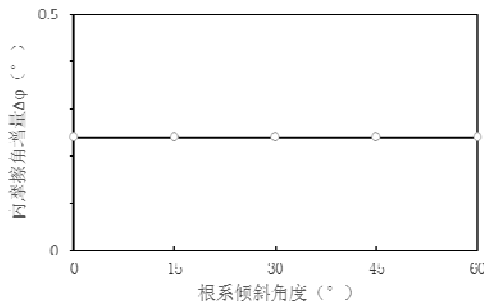
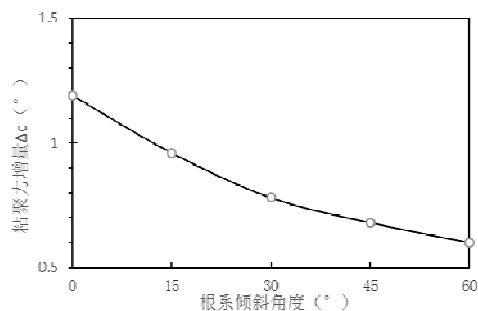


图 7. 根系倾斜角度与内摩擦角增量的关系曲线



4 根-土复合体模型剪应力结果

对于无根系土体（即原型土体），通过有限元软件 Midas GTS-NX 进行剪切试验模拟计算，结果云图如 9~图 12 所示：

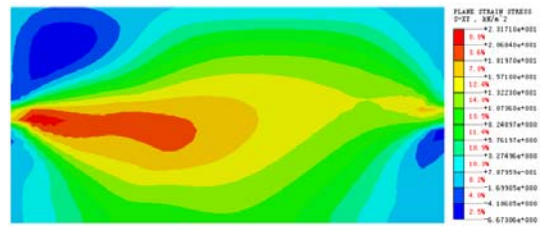


图 9. 无根系试样在垂直应力 10kPa 下的剪应力云图

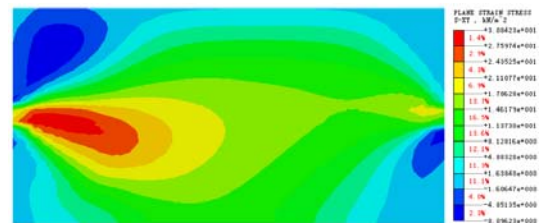


图 10. 无根系试样在垂直应力 20kPa 下的剪应力云图

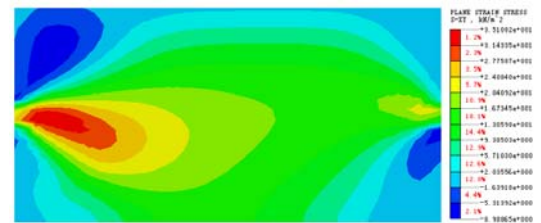


图 11. 无根系试样在垂直应力 30kPa 下的剪应力云图

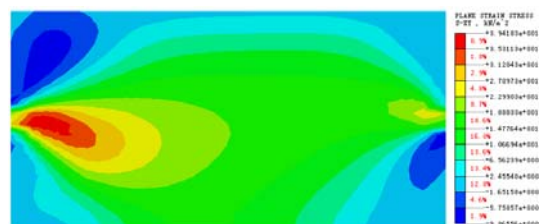


图 12. 无根系试样在垂直应力 40kPa 下的剪应力云图

由无根系试样垂直应力下的剪应力云图可知，随着垂直应力的增加，其最大剪应力逐渐向左侧中部集中，而剪应力云图总体分布基本相同。

鉴于本文篇幅问题以及剪应力分布基本相同，以

下将展示部分方案中垂直应力为 40kPa 下的剪应力云图。

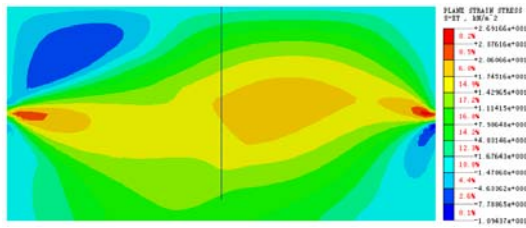


图 13. 根系长 0.9m 的剪应力云图

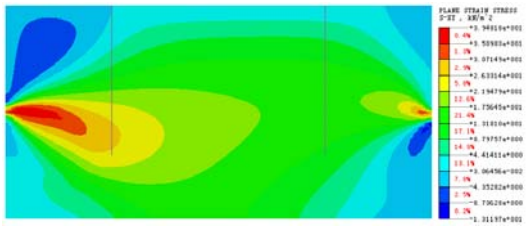


图 14. 根系分布密度为 20% 的剪应力云图

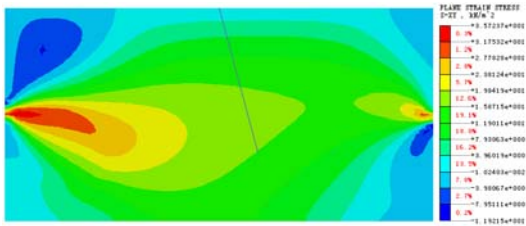


图 15. 根系倾角为 15° 的剪应力云图

由剪应力云图可知，根-土复合体模型的最大剪应力分布基本在相同的位置——左侧中部，并且其剪应力分布基本相同。

5 结论

本章通过有限元数值模拟软件对土体模型及根-土复合体模型计算，探究不同影响因素下根-土复合体的抗剪强度参数并分析其变化规律，得到以下的结论：

- 1) 土体里有根系将增加其材料的抗剪能力；
- 2) 当土体内有根系时，随着根系长度的增加，土体的粘聚力和内摩擦角均呈现逐渐增加的趋势；
- 3) 随着根系分布密度的增加，土体的粘聚力和内摩擦角均呈现增加的趋势；
- 4) 根系的倾斜角度对土体的粘聚力有影响，而对土体的内摩擦角基本无影响；随着根系倾斜角度的增加，其粘聚力逐渐降低；
- 5) 土体及根-土复合体模型在直剪模拟过程中，最大剪应力均出现在左侧中间部分，且所有模型的剪应力分布基本相同。

6) 根据坡体松散程度，选择合适植物，节约，经济效益好，即土体松散，可选择根系长的植物，加密种植；土体相对较为密实，选择根系较短的植物。

References (参考文献)

- [1] 杨亚川,莫永京,王之芳等.土壤-草本植被根系复合体抗水蚀强度与抗剪强度的试验研究[J].中国农业大学学报,1996,1(2):31-38.
 - [2] 杨璞.根土复合体极限荷载的数值计算方法和试验研究[D].北京:清华大学,2008.
 - [3] 肖东升,张涛.边坡土体强度与植被根系作用的研究[J].路基工程,2008,5(1):135-137.
 - [4] 吴进良,闫海燕,李瑶.香根草植物根系固坡影响因素的有限元分析[J].环保前沿,2012,12(5):68-72.
 - [5] 王斌,范茂攀,李永梅等.香根草根系固土拉力的原位测定[J].云南农业大学学报,2012,27(2):257-262.
 - [6] 宋维峰,陈丽华,刘秀萍等.树木根系固土力学机制研究综述[J].浙江林学院学报,2008,25(3):376-381.
 - [7] 刘秀萍,陈丽华,宋维峰.林木根系与黄土复合体的抗剪强度试验研究[J].北京林业大学学报,2006,18(5):67-72.
 - [8] 堪芸,何两辉,向明辉.紫色土坡耕地植物篱的水土保持效应研究[J].水土保持学报,2013,27(2):47-52.
 - [9] 郝彤琦,谢小妍,洪添胜.滩涂土壤与植物根系复合体抗剪强度的试验研究[J].华南农业大学学报,2000,21(4):78-80.
 - [10] 程洪,张新全.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.
- 李煜,刘景森.直接匿名证言方案的实现机制与改进思路[J].河南大学学报,2007,37(2):195-197.