

草及灌木根系对不同土质边坡稳定性影响分析

陈怿昞¹,孙树林^{1,2},王恩喜¹,刘博¹,刘俊¹,李方³

(1. 河海大学 地球科学与工程学院,江苏 南京 211100;2. 河海大学 水文水资源与水利工程
科学国家重点实验室,江苏 南京 210098;3. 南京工程高等职业学校 地质工程系,江苏 南京 210035)

摘要:通过建立土边坡有限元模型,运用强度折减法,针对砂、粘土两种土质边坡及有无降雨情况,分析植被根系对不同土质边坡稳定性的影响。结果表明:植被根系能有效的提高边坡的安全系数;坡角的变化不影响植被根系对边坡安全系数的提高;在降雨条件下,边坡稳定性会有一定程度的降低,但植被根系仍能提高边坡的安全系数。

关键词:强度折减法;草根系;灌木根系;砂土边坡;粘土边坡;安全系数

中图分类号:TU43

文献标识码:A

Effect Analysis of Grass and Shrub Roots on Stability of Different Soil Slopes

CHEN Yiyang¹, SUN Shulin^{1,2}, WANG Enxi¹, LIU Bo¹, LIU Jun¹, LI Fang³

(1. School of Earth Science and Engineering, Hohai University, Jiangsu Nanjing, 211000, China; 2. State Key Laboratory of Hydrology Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Jiangsu Nanjing, 210098, China; 3. Department of Geologic Engineering, Jiangsu Province Nanjing Engineering Vocational College, Jiangsu Nanjing, 210035, China)

Abstract: In this paper, considering the effect of vegetation roots changes along with the depth of soil slope, establish finite element model, using the strength reduction method, focus on clay soil two kinds of soil slope and whether rain or not, to analyze the effects of different vegetation roots on the soil slope stability. The results showed that the vegetation roots can improve the safety coefficient of slope effectively; change of slope angle does not affect the raising of vegetation on the slope safety coefficient of slope; in the rainfall condition, the stability will be reduced to a certain extent, but the roots still can improve the relative safety coefficient of slope.

Key words: strength reduction method; grass roots; shrub roots; sandy soil slope; clayey soil slope; safety factor

由于降雨和植被的破坏而产生的滑坡在频频发生。^[1-2]为了能更好地了解植被根系如何提高边坡稳定性,很多学者对此展开了研究。GENT^[2]发现当根系直径小于0.9 mm,边坡的抗拉强度有显著的提高,而当根系直径大于1.0 mm,则影响不大;BAETS^[3]研究发现提高根系的密度及长度密度在对抗集中水流侵蚀时的作用比提高植被覆盖率作用更明显;周群华^[4]发现当根系分布在边坡的中上部且数量多时,能更好的提高边坡的稳定性;YAN Z X^[5]发现在浅层边坡植被通过与土体之间的摩擦力对提高土体的抗剪强度起到了非

常重要的作用。本文通过建立有限元二维模型,旨在分析不同种类植被的根系,不同边坡的几何形状(不同坡角)以及降雨情况共同作用对边坡稳定性的影响。

1 模型的建立

1.1 概化模型的建立

图1为某土边坡的概化模型,假设边坡面为线性。

本文中模型坡高 H 固定为10 m,坡角 α 从 18°

收稿日期:2016-04-26

基金项目:国家重点实验室开放研究基金资助项目(2005408911);留学回国人员科研基金资助项目(20071108);江苏省环境保护厅项目(201029)。

作者简介:陈怿昞(1994-),男,江西新余人,硕士,主要研究方向为环境地质工程。

表 1 砂、粘土力学参数表

Tab. 1 Mechanical parameters of sand and clay

力学参数	$\gamma_{unsat}/\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	$\gamma_{sat}/\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	$k_x/\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$	$k_y/\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$	E/kPa	μ	c/kPa	$\phi/^\circ$
粘土	16.0	18.0	1.000	1.000	10 000	0.350	2.0	24
砂土	17.0	20.0	0.001	0.001	15 000	0.300	1.0	30

变化至 35°。将考虑砂土及粘土两种土质边坡情况,其力学性质见表 1。

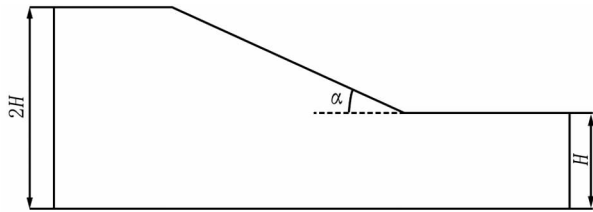


图 1 边坡概化模型

Fig. 1 Generalized model of slope

1.2 边界条件

边坡的下边界为既不能产生水平位移也不能产生竖直位移的固定边界,边坡的侧边界为智能产生竖直位移的固定边界,同时将边界尽量远离边坡,从而减小边界条件对模型产生的影响。

1.3 植被根系作用的设置

根据 WU T H^[6]的研究结果,植被根系对边坡的加固作用主要是通过其根系对边坡土层产生了一个附加的凝聚力 C_R ,附加的凝聚力通过(1)式计算得出。

$$C_R = t_R (\cos\theta \tan\varphi + \sin\theta) \quad (1)$$

其中 t_R 是土体的平均抗拉强度; θ 是土体的剪切角。本文将植被的作用通过附加的凝聚力 C_R 运用于模型中。根据 WU T H 的研究结果绘图,如图 2 所示,在边坡表面两种植物均能提供 2 kPa

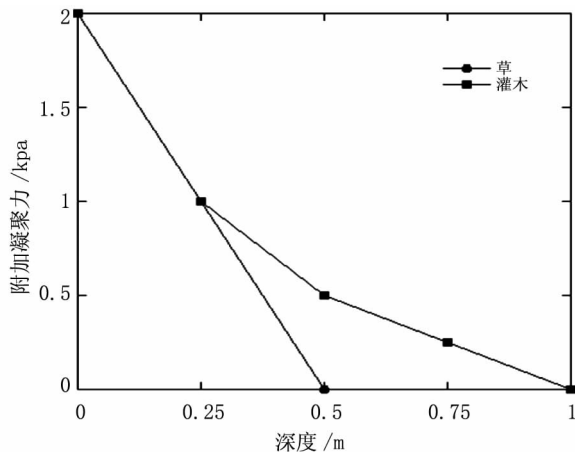


图 2 植被根系附加凝聚力随深度变化图

Fig. 2 Additional cohesion of vegetation roots changes with depth

的附加凝聚力,并且随着深度的增加而减小。草的根系在 0.5 m 处产生的附加凝聚力降为 0;而灌木的根系在 1 m 处产生的附加凝聚力降为 0。

由于附加凝聚力 C_R 会随着深度的增加而减小,本文的模型对边坡的表层进行更细微的划分,来更好地反映出这种变化,并对其进行网格划分,如图 3 所示。

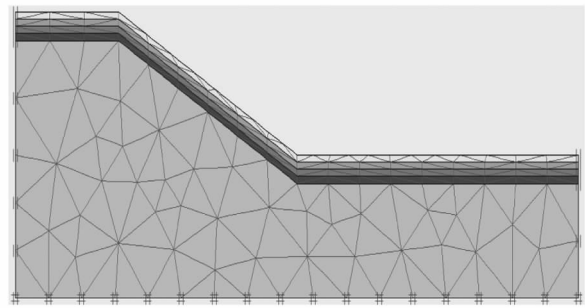


图 3 模型网格图

Fig. 3 Grid of model

1.4 初始条件

初始条件的模拟即为初始应力条件的模拟,初始应力状态分为初始孔隙水应力和初始自重应力。由于边坡面不是水平面,初始自重应力的模拟要在计算过程中模拟,在计算过程中将 $\Sigma Mweight$ 设为 1,即可以在第一步计算过程中加载自重应力。

初始孔隙水应力的模拟则是通过模拟地下水位线来自动生成地下孔隙水应力。

1.5 计算方法及失稳判据

有限元强度折减法是一种用来计算边坡稳定系数及确定滑坡面的方法。首先给定一对凝聚力 c 和内摩擦角 ψ ,将其应用在有限单元中,得到边坡的应力应变分布特征,再给出一个折减系数 F ,根据下面的公式(2)计算,将新得到的凝聚力和内摩擦角带入有限单元中分析,不断增加折减系数 F ,使得边坡趋于极限平衡状态,当边坡处于极限平衡状态,这时的折减系数就是边坡的安全系数^[7-9]。

$$c' = \frac{c}{F}, \tan\varphi' = \frac{\tan\varphi}{F} \quad (2)$$

有限元强度折减法边坡失稳判定以特征部位位移的突变性、塑性区的贯通性、数值计算的收敛性为准则^[10]。

2 结果分析

2.1 植物根系对边坡安全系数的影响

(1)相同坡角不同植被根系对安全系数的影响

两种植物根系对不同土边坡的影响就是对边坡表层土体增加了一个附加的凝聚力 C_R , C_R 能增强土体的抗剪强度,从而提高边坡的安全系数。

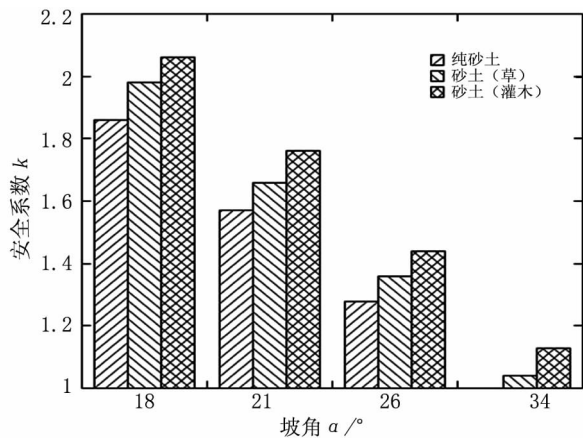


图4 植被根系对砂土边坡安全系数的影响

Fig.4 Effect of vegetation roots on sandy slope safety factor

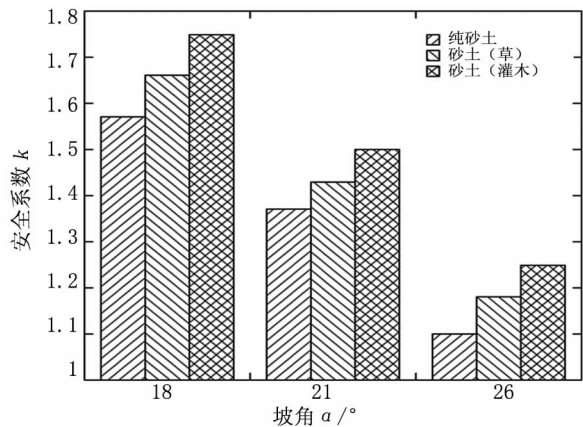


图5 植被根系对粘土边坡安全系数的影响

Fig.5 Effect of vegetation roots on clay slope safety factor

从图4、图5中可以看出,草或灌木等植被的存在,对边坡的安全系数有比较明显的提高。在18°草砂土边坡中,安全系数提高了6.45%;在18°灌木砂土边坡中,安全系数提高了10.76%。而且图中结果显示,在坡角相同的条件下,灌木根系对边坡稳定性的增强效果更明显。粘土边坡结果图也能得到相同的结论。

(2)不同坡角相同植物根系对安全系数的影响

在排除边坡的土体岩性的情况下,植被的存在能提高边坡的安全系数。如图6所示,不论坡角如何变化,植被都能对边坡的安全系数有一个明显的提高。而且从图中可以得出,植被的存在能增大边坡处于极限平衡状态下坡角的大小。

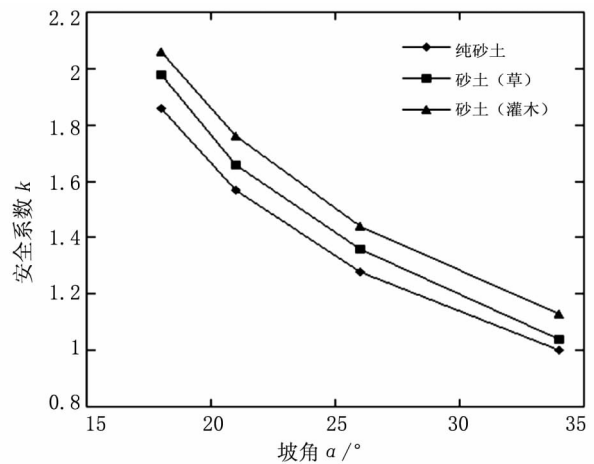
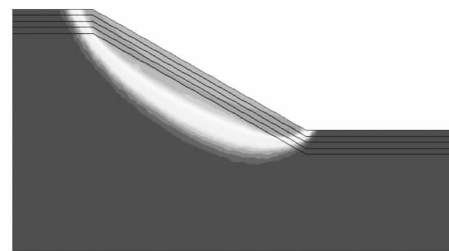


图6 安全系数随坡角变化示意图

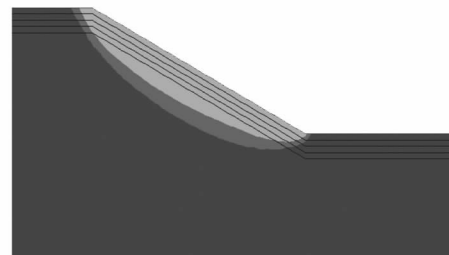
Fig.6 Chang of safety factor with slope angle

2.2 植物根系对边坡变形的影响

植被根系的存在能一定程度的提高边坡的稳定性。如图7所示,可以看出两种边坡变形范围无明显变化,在无植被边坡中最大的变形量可以达到7.6 cm,而在有植被的边坡中最大的变形量只有2.2 cm,减少了71%。结果表明,植被根系能够有效的提高边坡的稳定性。



(a) 无植物存在的边坡位移图



(b) 植物存在的边坡位移图

图7 边坡位移图

Fig.7 Diagram of slope displacement

2.3 根系在降雨情况下对边坡安全系数的影响

降雨会导致土体边坡产生渗流,导致边坡稳定性降低,通过模拟降雨过程来分析降雨过程中植被根系的影响。如图 8 所示,相比较没有降雨的情况下,边坡的安全系数有一定程度的下降。

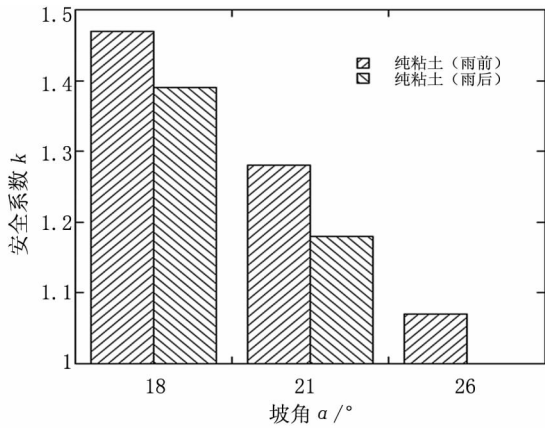


图 8 降雨对边坡安全系数的影响

Fig.8 Effect of rainfall on slope safety factor

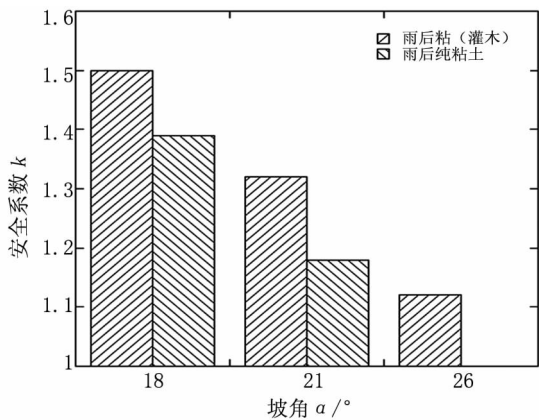


图 9 降雨条件下灌木根系对边坡安全系数的影响

Fig.9 Effect of shrub roots on slope safety factor under rainfall

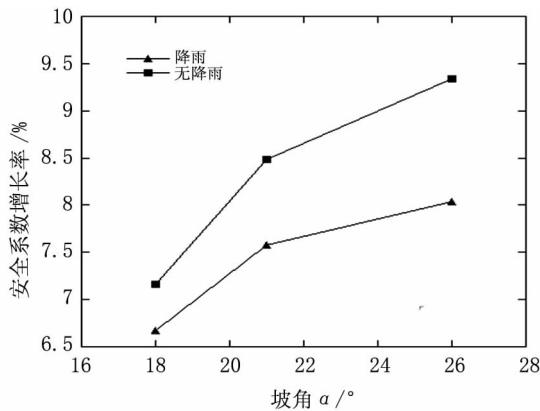


图 10 有无降雨灌木根系对边坡安全系数影响对比图

Fig.10 Comparison of influence of shrub roots on slope safety factor under rainfall or not

从图 9 可以看出,虽然降雨条件会使得边坡稳定性降低,但在同样降雨的情况下,灌木边坡还

是能提高边坡的安全系数,增强边坡的稳定性。

从图 10 可以看出,无论是否降雨,灌木边坡都可提高边坡安全系数,在无降雨条件下灌木根系对安全系数增长率高于降雨条件。从图 10 中还可以得出随着坡角的增大,植被根系对边坡稳定性的增大作用也随之增强。

3 结论

1) 植被对土体边坡产生一个附加的凝聚力 C_R ,从而提高边坡的安全系数,并且增加边坡极限平衡状态下的临界坡角。

2) 植被对安全系数的提高不会随着边坡角度的变化而消失,即对任何边坡角度,植被的存在都能提高边坡的安全系数。

3) 虽然降雨会降低边坡的稳定性,但在降雨的情况下,植被还能一定程度地提高边坡的安全系数。降雨会减弱根系对安全系数的提高作用。

参考文献:

[1] KOKUTSE N K. Analyse Numérique de L' effet Mécanique de la Végétation Sur la Stabilité des Sols en Pente. Université de Lomé [J]. Togo,2003;59.

[2] MARIE GENT, ALEXIA STOKES. The influence of cellulose content on tensile strength in tree roots[J]. Plant and Soil,2005(278):1-9.

[3] BAETS S DE, POESEN J. Effects of grass roots on the erodibility of topsoils during concentrated flow[J]. Geomorphology,2006(76):54-76.

[4] 周群华, 邓卫东. 植物根系固坡的有限元数值模拟分析[J]. 公路,2007,12(12):132-136.

[5] YAN Zhixin, SONG Yun. Preliminary study on interaction between plant frictional root and rock - soil mass [J]. Technological Science,2010,53(7):1938-1942.

[6] WU T H, MCKINELL W P. Strength of tree roots and landslides on Prince of Wales Island, Alaska [J]. Can Geotech,1979,17(5):19-33.

[7] 李佳雨桐, 侍克斌. 基于 PLAXIS 强度折减法的土石坝坝坡稳定性分析[J]. 水利科技与经济,2012,18(8):30-32.

[8] 吴丽君. 有限元强度折减法有关问题研究及工程应用 [D]. 长沙:中南大学,2009.

[9] 何欢, 付成华. 强度折减法在边坡稳定性分析中的应用 [J]. 河北工程大学学报:自然版,2015,32(3):31-33.

[10] 陈丽华, 靳晓光. 有限元强度折减法中边坡三种失效判据的适用性研究[J]. 土木工程学报,2012,45(9):136-146.

(责任编辑 王利君)