

文章编号: 1005-0523(2003)05-0042-04

植物根的存在对边坡稳定性的作用

封金财, 王建华

(上海交通大学 建筑工程与力学学院, 上海 200240)

摘要:总结了国内外在植物根对边坡稳定方面的研究成果, 详细介绍了根的分布特征、强度特征, 根加筋后土的强度变化以及植物加筋土边坡的稳定性; 并提出了植物固坡技术研究领域存在的问题和发展前景。

关 键 词:植物; 浅位滑坡; 根的面积比率; 生物量集度; 边坡稳定性

中图分类号: TU1

文献标识码: A

1 土中根的含量

土中根的含量不同, 根对土的加筋作用的效果不同, 从而植物对边坡稳定性的影响程度就不同^[2]. 根是随着深度增加在土中的含量越来越少的. 衡量根在土中的含量的一个常用的指标是“根的面积比率”(简记为 RAR), 它指的是在一个土层断面上(水平断面或垂直断面)根的截面面积占总断面面积的比率. 根的面积比率是深度的函数. Shields 和 Gray 1993 年在美国加利福尼亚洲萨克拉门托河的砂质堤岸上测得接骨木灌木丛的 RAR 随深度变化的曲线如图 1 所示^[3]:

由图 1 可见, 随着深度的增加 RAR 迅速减小, 到 1.2 m 以下时根的含量已经很小; 在水平断面上 RAR 一直很小, 这表明大部分根是水平伸展的侧根. 我们最关心的是临界滑动面上的根的面积比率 RAR, 通常这个临界滑动面是平行于坡面的. 实际中测量 RAR 用的是“纵剖面墙法”.

还有一种衡量土中根的含量方法就是“根的生物量集度”^[4], 即单位体积土中根的质量, 它和 RAR 存在一定的转化关系.

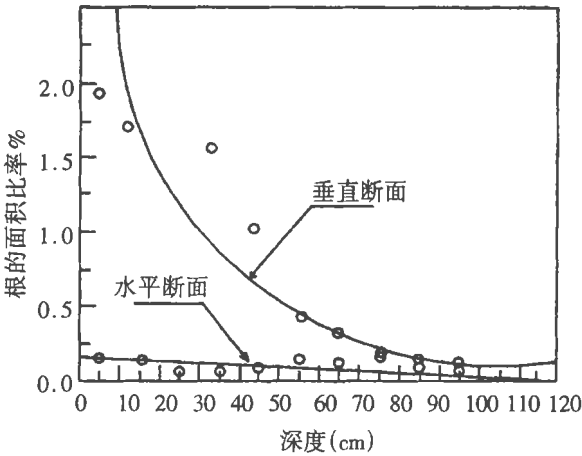


图 1 砂质堤岸上接骨木根的面积比率随深度变化曲线

2 根的强度

在各种专业技术文献中报道的植物的根的强度差别很大, 这种差别主要是由植物品种、生长环境、季节、根的直径、根的生长方位以及测试方法(测量风干的根还是湿根)等等造成的^[5]. 然而从众多的根的强度的数据中可以发现一个规律, 这就是: 根的强度可以达到 70 MPa, 一般位于 10—40 MPa 之间, 针叶状树木的根比落叶乔木的根强度低, 灌木的根的强度并不比乔木的根的强度低, 这为在

收稿日期: 2003-05-25

作者简介: 封金财(1970—), 男, 上海交通大学硕士, 主要从事植物固坡方面的研究与技术工作.

堤岸边坡采用灌木固坡提供了依据.

而且植物的根的强度一般随着直径的增大而减小^[6,7]. 细小的根对土的抗剪强度的提高具有较大的贡献,这是由于细根不但具有较高的抗拉强度,而且由于比同样 RAR 的粗根具有较大的表面面积,所以和土之间的摩擦力较大,抵抗拉脱的能力强,抗拉强度和直径之间存在如下的关系:

$$T_r = nD^m \tag{1}$$

其中: T_r = 根的抗拉强度(MPa);
 D = 根的直径(mm);
 n, m = 对于给定树种的经验系数.

由于根的增加作用提高了边坡的稳定性,相反地,由于伐木、火灾、移植等原因造成植物移走时,根会慢慢腐烂,强度降低,造成边坡稳定性降低. 根的强度随时间的变化有如下关系^[8]:

$$T_n = T_{r0} e^{-bt} \tag{2}$$

其中: T_{r0} = 从活树上取样测得的根的强度;
 T_n = 伐木后经过时间 t 后根的强度;
 b = 根的腐败概率;
 t = 伐木后到检测根的强度之间的时间.

3 根/纤维对土壤的加筋作用

3.1 受力平衡模型

根纤维提高土的抗剪强度主要是通过根土接触面的摩擦力把土中的剪应力转换成根的拉应力来实现的^[8,9],这个过程可图示如下:

假设根的表面受有足够的摩擦力和约束力使根不至于被拉出,则当土中有剪应力发生时,根的错动位移使根伸长从而使根内产生拉力 T_R , T_R 的沿剪切面切线方向的分力可直接抵抗剪切变形, T_R 沿法线方向的分力可增加剪切面上的正应力,于是,根土复合体抗剪强度的增长为:

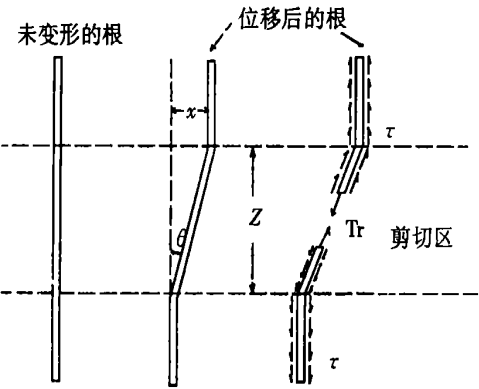


图 2 受力平衡模型机理分析图

$$\Delta s = t_R [\sin \theta + \cos \theta \tan \phi] \tag{3}$$

其中: Δs = 抗剪强度增量;
 ϕ = 土的内摩擦角;
 θ = 剪切区的剪切变形的角度;
 t_R = 每单位面积土中根产生的拉力

计算根土复合体抗剪强度的增长 Δs 需要计算根的平均抗拉强度和根的面积比(A_R/A).

$$t_R = T_R (A_R/A) \tag{4}$$

而 $(A_R/A) = \sum n_i a_i / A \tag{5}$

其中: n_i = 直径为第 i 级的根的数量;
 a_i = 直径为第 i 级的根的平均截面面积.

考虑根的抗拉强度是随直径变化的,所以根的平均抗拉强度可以由下式决定:

$$T_R = \frac{\sum T_i n_i a_i}{\sum n_i a_i} \tag{6}$$

其中: T_i = 直径为第 i 级的根的强度.
于是有:

$$\Delta s = T_R (A_R/A) [\sin \theta + \cos \theta \tan \phi] \tag{7}$$

括号中的值 $[\sin \theta + \cos \theta \tan \phi]$ 对于常见的土的 θ 值和 ϕ 值,变化不大, Wu et al. 建议^[10]对该项以一个平均值 1.2 代替,所以公式(7)简化为:

$$\Delta s = 1.2 T_R (A_R/A) \tag{8}$$

故,平均抗剪强度的提高值 Δs 完全依赖于根的平均抗拉强度 T_R 和根的面积比(A_R/A).

3.2 室内试验和现场试验结果

土中根的存在引起的土的抗剪强度增量可用上面的受力平衡模型中的方法来预估,这一结果也通过加筋($L=4.9\text{ cm}$, $D=1.75\text{ mm}$ 的茅草根)的无粘聚力的砂质土的室内实验得到的应力—应变关系曲线图 3 和根土复合体的破坏包线图 4 得到证实^[11,12].

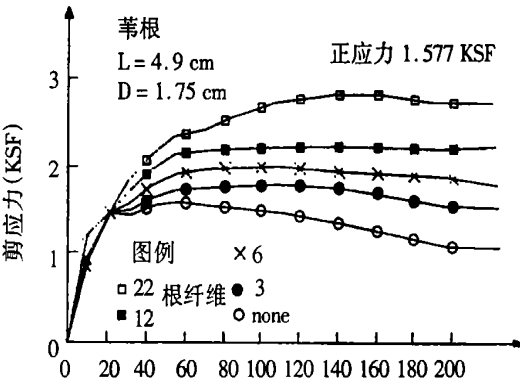


图 3 植物根加筋后土的剪切曲线

在图 4 中的应力—应变关系曲线中可以看到,土加筋后不但抗剪强度提高了,而且在密实土中,

峰值后的应力软化现象减弱了;而加筋砂土的破坏包线呈双线性,开始部分较陡,然后向下折并平行于无根加筋的砂土的破坏包线.破坏包线的第二部分外推与坐标轴相交,就得到一个“似粘聚力”,在无粘聚力的干砂土中加筋后得到的这个“似粘聚力”就是根加筋后土的抗剪强度的增量 Δs ,也称之为“根粘聚力”(简记为 C_R)室内直剪和三轴实验均显示 Δs 或 C_R 与根的面积比 RAR 成正比.这一结果和由受力平衡模型得到的 Δs 结论式(8)一致.

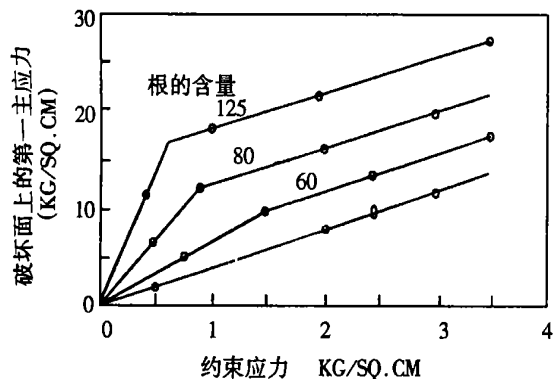


图4 植物加筋后土的破坏包线

Endo 和 Tsuruto^[13] 1969 年做的现场原位试验也得到了类似的结论^[13]:土的抗剪强度的增加与单位体积土中根的重量 ρ_R 成正比.理论预测结果和现场试验结果的一致说明了理论基本上是符合实际的.

4 边坡稳定分析

4.1 无限滑动面模型

所谓的无限滑动面模型适合用于分析滑动面平行于坡面的浅位滑坡^[14],它对于容易发生浅层滑脱的砂质边坡适用.植物方法加固边坡主要是防止浅位滑坡的发生,故也可以采用无限滑动面模型分析其稳定性.在稳定性分析中必须考虑地下水的影响,地下水的存在,不仅增加了土中的剪应力,还减小了土的抗剪强度,地下水的流动或渗流会在边坡中产生不稳定的应力,特别是渗流方向朝向坡面时,会对边坡稳定造成严重威胁.

用无限滑动面模型分析的边坡安全系数是边坡滑动体的垂直深度 H 、渗流方向与水平方向的夹角 θ 的函数,有如下的关系存在:

$$F = A[\tan \phi / \tan \beta] + B[(C + C_R) / \gamma H] \quad (9)$$

$$A = [1 - \gamma_w / \cos^2 \beta] \quad (10)$$

$$B = [1 / \cos^2 \beta \tan \beta] \quad (11)$$

$$\gamma_w = \{ \gamma_w / \gamma \} [1 / (1 + \tan \beta \tan \theta)] \quad (12)$$

4.2 植物根的加筋效果分析

4.2.1 无根加筋时边坡的稳定性

在上面的公式(9)中,如果土中无根,则 $C_R = 0$, (一般砂土边坡 $C = 0$) 公式(9)变为:

$$F = A[\tan \phi / \tan \beta] \quad (13)$$

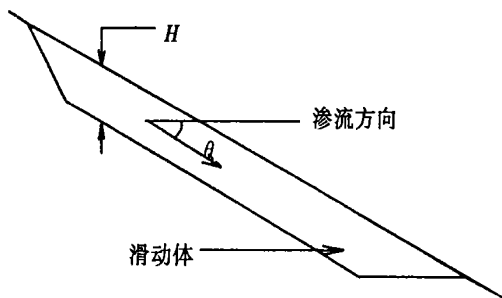


图5 无限滑动面模型

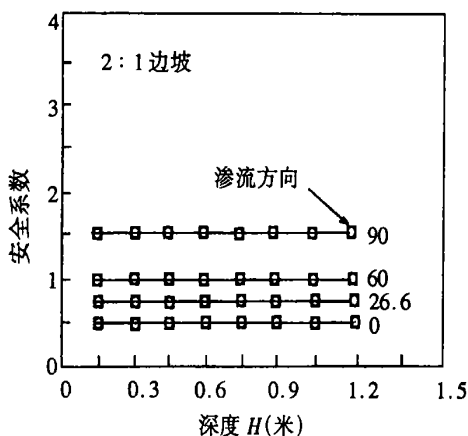


图6 无加筋时边坡的安全系数

编程计算,对于坡度为2:1,内摩擦角为 34° ,不受外荷载($q_0 = 0$)的砂质边坡($C = 0$),可以计算出各种渗流方向下的安全系数,结果如图6所示.

由式(13)可见,安全系数不受深度的影响,这在图中也可以看出.另外,平行于坡面方向的渗流已经不能使边坡稳定($F < 1$), $\theta = 90^\circ$ 时相当于无渗流的干坡.

4.3 土层中有根时边坡的稳定性

在公式(9)中土的加筋效果 C_R 可由实验室或现场剪切实验测得:由“纵剖面墙法”测得根的单位面积比 RAR ,和根的强度就可得到 C_R 随深度 H 变化的关系,从而可得出不同深度处不同渗流方向的安全系数,如下图所示:

由图7可见,根的存在大大提高了浅层土层($H < 1\text{m}$)的稳定性,甚至对于有渗流的情况也是如此,在深度大于1m时,根的加筋作用逐渐减弱直至消失——安全系数和上面计算的没有加筋时的趋于

相同,这一方面是由于随着深度的增加根的单位面积比 RAR 减小,另一方面,随着深度的增加粘聚力对总抗剪强度的贡献减小。

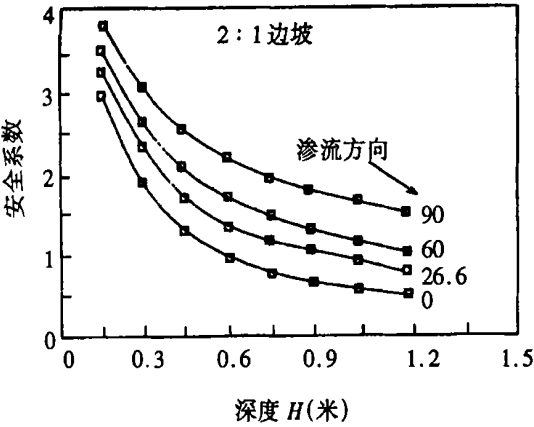


图 7 有根加筋时边坡的安全系数

参考文献:

[1] Donald, H. Gray. Influence of Vegetation on the Stability of Slopes. Proceedings of the international conference held at the University Museum, Oxford. 29—30 September 1994.

[2] H. M. Schiechl and R. Stern. Ground Bioengineering Techniques for Slope Protection and Erosion Control. John Wiley & Sons, Inc.

[3] Shields, F. D. and D. H. Gray (1993). Effects of Woody Vegetation on the structural Integrity of Sandy Levees. Water Resources Bulletin 28(5):917—931.

[4] Bohm, W. (1979). Methods of Studying Root Systems. Ecological Services No. 33, Berlin; Springer—Verlag.

[5] Nilaweera, N. S. (1994) Influence of Hardwood Roots on Soil Shear Strength and Slope Stability in Southern Thailand . Ph.

D Dissertation, Asian Institute of Technology, Bangkok.

[6] Tumanina, V. I. (1965) On the Strength of Tree Roots. Bulletin Moscow Society Naturalists 70(5):36—45.

[7] Wu, T. H., W. P. Mckinell, and D. N. Swanston (1979) Strength of Tree Roots and Landslides on Prince of Walse Island. Alaska. Canadian Geotechnical Journal 16(1):19—33.

[8] Hathaway, R. L. and D. Penny (1975), Root Strength in Some Populus and Sedix Clones. New Zealand Journal of Botany 13:333—344.

[9] Waldron, L. J. (1977). The Shear Resistance of Root-permeated Homogeneous and Stratified Soil. Soil Science Society of American Proceedings 41:843—849.

[10] Shewbridge, S. E. and N. Sitar (1990) Deformation Based Model for Reinforced Sand in Direct Shear. Journal of Geotechnical Engineering (ASCE) 116(GT7):1153—1157.

[11] Wu, T. H., R. M. Macomber, R. T. Erb, and P. E. Beal (1988a) Study of soil-root interactions. Journal of Geotechnical Engineering (ASCE) 114(GT12):1351—1375.

[12] Gray, D. H. and Ohashi, H. (1983). Mechanics of Fiber Reinforcement in Sand. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 109, No. 3.

[13] Reistenberg, M. H. and Sovonick Dunford, S. (1983). The Role of Woody Vegetation on Stabilizing Slopes in the Cincinnati Area. Geologic Soc. of America Bulletin. Vol. 94, pp 504—518.

[14] Endo, T. and Tsuruta, T. (1969) The Effect of Trees Roots Upon the Shearing Strength of Soil. Annual Report of the Hokkaido Branch. Tokyo Forest Experiment Station. Volume 18.

[15] 松冈元, 著, 罗汀, 姚仰平, 编译. 土力学[M]. 中国水利水电出版社.

Influence of the Roots on the Slope Stability

FENG Jin-cai, WANG Jian-hua

(Civil Engineering and Mechanics School, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: Having reviewed the findings in the scope of vegetation and slope stability, the distribution of the roots, the law of the root strength and the role of the roots in increasing the soil shear strength were introduced in this paper. The relation of roots and slope stability are discussed then. In the end, the problems and the prospect in this field are proposed.

Key words: vegetation; shallow-seated slope; root area ratio; root biomass concentration; slope stability