

植被对边坡浅层稳定的影响

鄢朝勇¹, 叶建军¹, 韦书勇²

(1. 襄樊学院土木系, 湖北 襄樊 441035; 2. 三峡大学后勤集团, 湖北 宜昌 443002)

摘 要: 通过总结前人研究成果, 从水文和力学效应两个方面全面地探讨了植物对边坡浅层稳定的影响, 揭示植物对边坡稳定贡献最大的是根系对土壤的加筋作用, 对边坡稳定的破坏主要是植物(尤其是树木)承受的风载荷。对于植物根系对边坡浅层稳定, 用较大篇幅进行了较为深入地探讨, 即分析了植物根系空间分布、植物根的强度、带根土块强度规律, 并从能量的角度探讨了植物的根对边坡的影响。

关键词: 植被; 边坡; 稳定; 影响

中图分类号: S157. 433

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)01-0024-05

Influence of Vegetation on Slope Shallow Stability

YAN Chao-yong¹, YE Jian-jun¹, WEI Shu-yong²

(1. Department of Civil Engineering, Xiangfan University, Xiangfan, Hubei 441035;

2. Logistics Group of China Three Gorges University, Yichang, Hubei 443002, China)

Abstract: By summarizing research results done by predecessor— mostly by foreigners, the influence of vegetation on slope shallow stability is discussed respectively in two ways: hydrological mechanism and mechanical mechanism. And the conclusion is that the biggest contribution which vegetation makes to slope stability is root reinforcement to slope soil, and the primary detrimental influence on slope stability associated with vegetation appears to be windthrowing. As far as the protective role of root on shallow stability of slope is concerned, the author probes into it with many words, which includes introducing root spatial morphology, root strength, strength of soil with root, and finally discusses it in terms of energy.

Key words: vegetation; slope; stability; influence

植物对边坡的影响是巨大的, 概括地说有两个方面: (1) 对土壤侵蚀的影响; (2) 对边坡土体稳定的影响。植物对边坡土壤侵蚀的影响是水土保持工程学的基本问题, 已经有大量的研究。本文将主要讨论第 2 个问题, 即植物(特别是植物的根)对边坡稳定的影响(主要是浅层稳定)。这一问题的讨论有助于人们对边坡植被护坡机理的深入理解。

1 边坡上植被对边坡浅层稳定影响的总结

边坡的破坏按破坏面的深度可以分为深层破坏和浅层破坏。考虑到植物的根系的影响范围, 本文把边坡土体深 2 m 以内的破坏称为浅层破坏。本节通过总结国内外在该领域的研究成果, 系统讨论植物对浅层破坏的影响。

许多学者证实植物对边坡的有加固作用。Greenway (1987) 较好地总结了植物对边坡的影响。植被对边坡的作用可概括为根系的力学效应和植被的水文效应。

对边坡稳定影响最大的是根系对土壤的加筋作用。大量实验证明: 沙土中含有少量的根纤维就能显著提高沙土的抗剪强度(Gray and Ohashi, 1983; Mather and Gray, 1990)。这也被大量实验室和现场实验所证实(Endo and Tsuruta, 1969; Waldron, 1977; Ziemer, 1981; Riestenberg and Sovonick – Dunford, 1983; Riestenberg, 1994; Nilaweera, 1994)。本文将对这一问题作较为深入的探讨。

植物对边坡稳定的破坏主要是: 在大风或急流中, 植物(尤其是树木)承受的载荷(Nolan, 1984; Tschantz and Weaver, 1988)。极端情况时, 如树木被急流冲倒, 大树被连根拔起等, 对于边坡的破坏是很大的, 有时直接导致边坡失稳, 特别是对小堤坝, 破坏将是毁灭性的。

植物对边坡的作用

水文效应	对边坡稳定影响
1、植物枝叶拦截雨水, 减少雨水的土壤入渗量	好
2、植物根、茎和凋落物增加地面粗糙度和土壤入渗性	坏
3、植物的蒸腾作用使土壤丧失水分, 减少土壤孔隙水压力	好
4、蒸腾作用会造成土壤干裂, 增加土壤的入渗能力	坏
力学效应	对边坡稳定影响
1、根系对土壤的加筋作用, 增加土体抗剪能力	好
2、深根能深入到下层坚硬土层, 对上层土层起到锚固、支撑作用	好
3、植物自重增加边坡土体载荷, 产生沿滑动面法向和切向分量	好/ 坏
4、植物躯干传递风载荷等给土体	坏
5、根系将约束地表土颗粒, 增加粗糙度, 减轻土壤流失	好

植物的自重对于边坡的稳定作用是好是坏要根据具体边坡状况而定。边坡的坡度、滑动面的位置和形状、内摩擦角等都会改变其作用性质。因此, 具体到某一特定边坡, 需

* 收稿日期: 2006-02-13
作者简介: 鄢朝勇(1956–), 湖北襄阳人, 教授, 土木工程专业学科带头人, 发表论文 30 余篇; 责任作者: 叶建军(1974–), 湖北英山人, 讲师, 研究方向: 城市及工程建设生态环境, 发表论文 20 余篇, 获得专利 6 项。

要做具体的力学分析才能知道植物自重究竟起到何种作用。
植物对边坡的破坏作用可以通过以下的措施加以克服或减小:

- (1) 选择根茎比(即根的质量与植物躯干质量的比率)大的植物,如灌木。
- (2) 选择枝条柔软的物种,减少风载荷对土体影响。如杨树、柳树。
- (3) 定期对树木进行修剪,增加根茎比,减小植物地面植物量和迎风面积。

2 植物砍伐后对边坡的影响

植物的存在有助于边坡的稳定,那么,边坡植物的清除或损坏就会对边坡稳定造成破坏。Bishop and Steven(1964)对美国 Alaska(阿拉斯加)东南部森林砍伐区进行了研究,他们发现,皆伐的山地无论是滑坡次数还是滑坡面积都比砍伐前大幅度提高(见图 2.1;图 2.2)。他们认为植物根系的破坏和逐渐腐烂是造成滑坡频发的原因。随后一些学者(Wu, 1976; Megahan and Kidd, 1972; O'Loughlin, 1974; Swanston, 1974)也证实了这一观点。

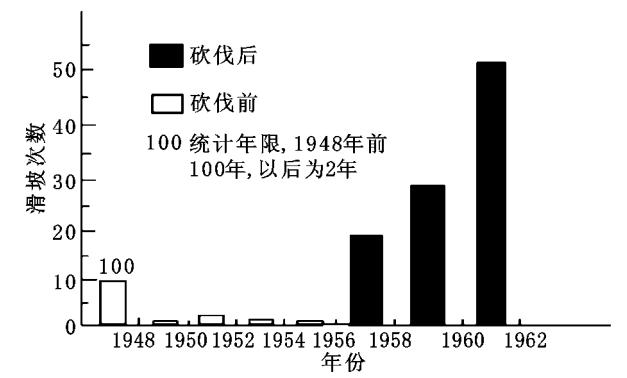


图 1 滑坡次数随时间变化图

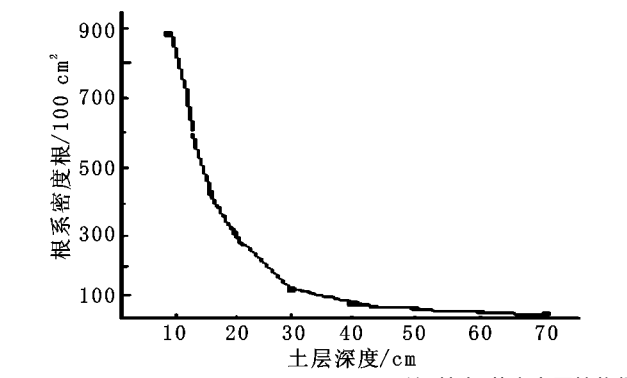


图 3 根系根数随深度变化图

3.1.2 木本植物根系的分布

- (1) 木本植物根系的形态。木本植物的根系一般有三种形态:水平根型(plateroot)、散生根型(heartroot)和主直根型(Taproot)。他们分别对应图 5 中的 A、B、C。主直根型是由明显直立的主根和诸多侧根组成,主根发达,近乎垂直向下生长,深入土层可以 3~5 m。其中细小的吸收根不是带有根毛,就是带有真菌感染的短根,即所谓菌根。松、栎属主直根型。散生根型没有明显的主根,它是由若干原生和次生的根大致以根颈为中心,向地下各方向作辐射状生长,并在此基础上发展成空间呈网状的吸收根群。槭、冷杉、杉木属此根型。水平根型是由水平生长的固着根和繁多的链状细根

地质条件差的边坡,如软弱基岩上的边坡,对植被的破坏非常敏感。在这种坡地上筑路、砍伐树木会引发滑坡、泥石流等严重地质灾害。其结果很可能是形成完全裸露的岩石边坡。

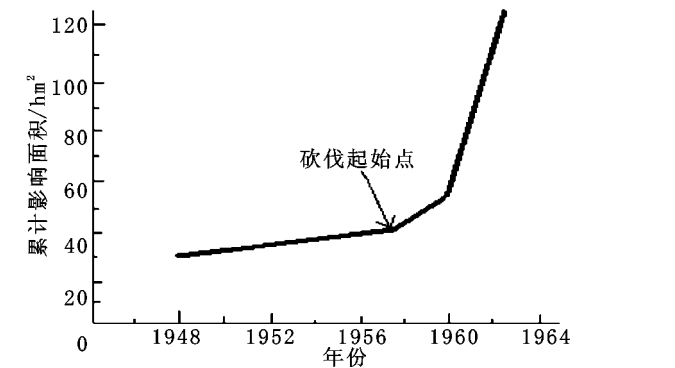


图 2 累计滑坡面积随时间变化图

3 植物的根

植物的根系有助于提高土体的强度。其数值的大小取决于根的强度、根系在土壤中的空间分布、土壤-根系相互作用。而根系的分布和强度又取决于树种、土壤等环境条件。本节将对这些问题作一些探讨。

3.1 植物根系的空间分布

3.1.1 草本植物根系的空间分布

草本植物的根系一般为直径小于 1 mm 的须根。总根数的 90% 主要分布在 0~30 cm 的土层以内,30~70 cm 约占 8%,而 70 cm 以下仅占总根数的 2%(周德培,张俊云,2003)。如图 3 所示。根量的分布规律也相似,总根量的 86% 分布在 0~30 cm,30~70 cm 的土层中只有 8%,70~150 cm 土层仅有 6%。如图 4 所示。草本植物根系的分布特征决定了它对土体影响范围,即只能影响深 30 cm 以内的土体。由于草本植物一般很浓密,因此,非常适合用来控制地表土壤侵蚀。

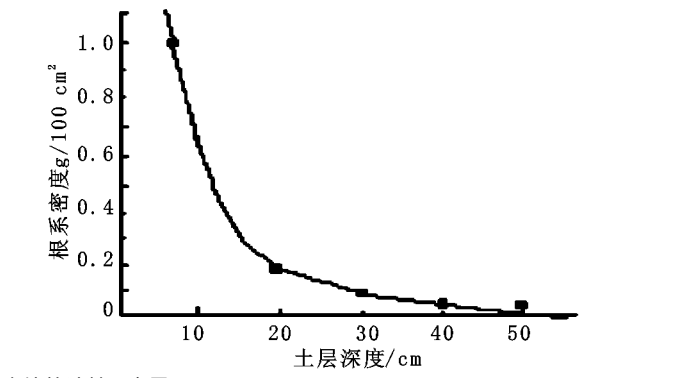


图 4 根系质量随深度变化图

群组成。其主根不发达,侧根或不定根发达,并向四周扩展,长度远远超过一般主根。水平根型根系多分布在土壤表层,一般在 20~30 cm 的土层里,刺槐、悬铃木、云杉、铁杉和一些耐水湿的树种属此根型(周德培,张俊云,2003)。

植物根系的形态不仅取决于植物的种类,也决定于外界条件。地下水水位、土层深度、土层结构和土壤营养状况都会对植物根系的形状产生影响。周培德等(2003)对这一问题作了详细的论述。在土壤浅薄的边坡上,植物根系都会长成扁平的水平根型。此外,植物的栽种方法也会影响根系形态。

- (2) 木本植物根系的空间分布。由于根系对氧气的需求,大部分树根都趋向于集中在土壤表层,一般地,树木对土

壤的影响范围在 1.5 m 以内, Patric 等(1965) 在一片火炬松林中做实验证明, 80% ~ 90% 的树根集中在 0.9 m 以内的土层里; 接近地表的树根大部分为水平根, 而 0.9 m 以下的则基本为竖根。Watson and O’loughlin(1985, 1990) 通过对一棵树龄为 25 年的辐射松现场挖掘, 发现, 该树的主要水平根最大延伸距离达 10.4 m, 而竖根的最大延伸达 3.10 m, 但平均深度为 2.4 m。Shields and Gray(1993) 在 Sacramento 河河堤上进行现场实验, 并把树根沿深度的分布用函数图象, 表示如图 6, (水平平面是指平行于河堤坡面, 垂直平面指垂直于河堤坡面。)

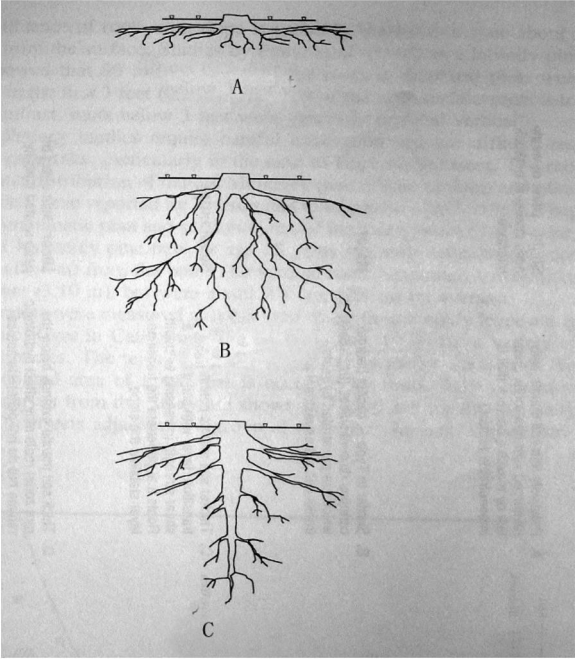


图 5 根系形态图

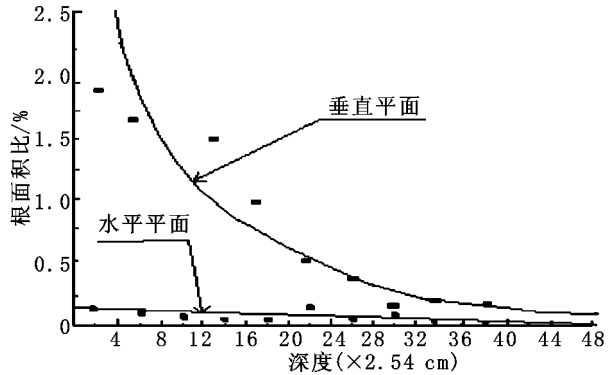


图 6 根系沿深度分布函数图

树根水平方向的延伸距离一般很大, 经验表明: 树根水平方向至少延伸距离为 1.5 倍树冠半径。Kozlowski(1971) 发现, 长在沙质土壤上的白杨树根可以水平延伸 65 m, 而长在沙地上的树龄为 10 年的松树的水平根的平均水平延伸距离, 则是平均树高的 7 倍; 同样树龄是果树, 生长在黏土上水平延伸只有 1.5 倍的树冠半径, 而长在沙土上达到 3 倍树冠半径, 长在沃土上达 22 倍树冠半径。这说明了土壤条件对根生长的影响是巨大的。

树根的垂直延伸对边坡稳定有主要贡献。但是只有树根的延伸深度超过滑动面时才是有效的。Tsukamoto and Kusuba(1984) 总结了不同边坡上树根的垂直延伸对边坡稳定的有效性。如图 7 所示, 类型 A 的边坡土层浅薄, 植物根系贯穿土层, 但边坡基岩表面坚硬, 根系不能扎入基岩, 这种

情况下垂直根对边坡稳定贡献不大。新开挖的完整岩石边坡(见前面岩石边坡分类) 上进行喷射植被混凝土绿化属此种类型。类型 B 类似于 A 类型, 但基岩有裂缝, 植物直根可以深入基岩裂隙中, 对边坡稳定起很大作用。在破裂岩石边坡(见前面岩石边坡分类) 上进行喷射植被混凝土绿化属此种类型。类型 C 土层较厚, 在表层土壤和基岩间有过渡层, 过渡层土壤的强度随深度增加而增加, 根系深入到过度层, 起到加固边坡的作用。自然边坡常见这种类型。类型 D 覆土厚, 根系不能延伸到滑动面, 根系对边坡稳定作用不大。这种情况在深厚的黄土高原常见。

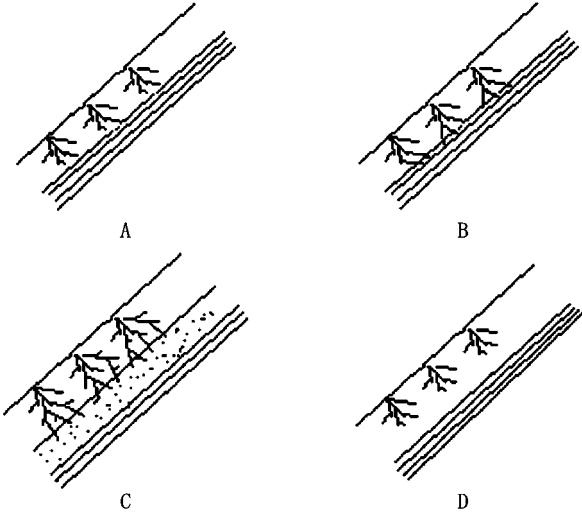


图 7 不同边坡类型上植物根系延伸图

类型 A 和类型 D 中植物根系对边坡的稳定作用最小, 但是, 即使在这两种情况下, 植物根系(特别是水平根) 对边坡土壤表层的加筋作用, 增强了土体的整体性和强度, 仍能减小边坡失稳的可能性。图 8 是刀形山岭, 顶部因修路, 树木被破坏, 造成整个边坡植被和土层大剥离。说明水平根对边坡稳定的作用很大。



图 8 刀形山岭因顶部修路造成坡面大剥离

3.2 树根强度

树根对浅层滑坡的影响较大, 有必要对常见绿化树种的树根强度(抗拉强度) 作深入的探讨。

Greenway(1987) 对影响树根强度的因素作了很好的总结, 树种、生长环境、季节、树根直径以及树根位置都会对树根强度产生影响。Hathaway and Penny(1975) 发现白杨和柳树体内木质素与纤维素的比率随季节的波动是引起树根强度变化的原因。Schiecht(1980) 观察到往上坡方向生长的树根比朝下坡方向长的树根强度大。

一些学者对树根抗拉强度进行了测试。由于影响树根强度的因素很多(如前述的原因, 还包括实验条件), 实验结

果并不确定,只能给出一个大致平均数值。一般地,树根抗拉强度最大可达 70 MPa,但多数树根抗拉强度在 10 MPa 至 40 MPa 之间;针叶树根强度比落叶树根强度低;灌木根强度至少不比树根低——这是一个重要发现,因为用灌木来防止浅层滑坡不仅有效,而且能减少风载对边坡稳定的不良影响。常用的杨柳类树木,其树根强度一般在 14~35 MPa。

树根直径也是影响树根强度的一个重要原因。一些学者 (Turnanina, 1965; Wu, 1976; Burroughs and Thomas, 1977; Nilaweera, 1994) 相继报道了树根强度随树根直径增大而减小的现象。树根抗拉强度与树根直径的关系可用下式表示:

$$T_r = nD^m \quad (1)$$

式中: T_r ——树根抗拉强度; D ——树根直径; n 、 m ——经验常数

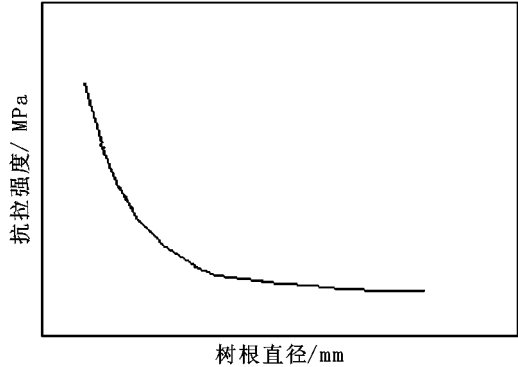


图 9 树根抗拉强度与树根直径关系图

从公式可看出,树根抗拉强度与树根直径是指数关系,一般在 30~90 之间和 -0.76 到 -0.45 之间。图 9 给出树根抗拉强度与树根直径的关系。

一些学者 (Hathaway and Penny, 1975) 对少数几种树根的弹性模量进行了测量,他们先去掉树根的皮,再让其风干,实验前浸泡树根。他们测得的白杨和柳树树根的弹性模量在 9~15 MPa。

4 根对边坡土壤的加筋作用

如上所述,植物的根,特别是树根,强度一般都比较大,植物根抗拉强度远远超过土壤的粘聚力(相当于土壤的抗拉强度),植物的根在边坡土体中的分布就相当于在混凝土中分布了钢筋,大大提高了边坡土体的强度(如抗剪强度)和边坡土体的变形性能。

为定量和形象说明这一问题,笔者设计了一个简单实验,实验条件为标准砂中均匀放置与剪切面垂直的风干芦苇根,直剪。实验结果如下:

从上图可以看出,砂中放入的芦苇根越多,砂土抗剪强度越高,破坏时的剪切位移越大。这说明植物的根对土体的抗剪强度有正贡献。

从能量的角度进一步探讨根对边坡土体安全的影响。为进一步说明植物根对边坡土体的影响,这里选取图 10 中曲线 1 和曲线 5,运用能量的观点讨论直剪实验中的系统能量的消耗和储存。

从图 11 可以看出,带根砂土在剪切实验过程中,破坏时剪切力在剪切位移上所做的功为曲线 $F(X)$ 与直线 AX_1 和 X 轴围成的面积,它等于带根砂土在破坏时消耗和储存的能量。

参考文献:

[1] Gray, D H. Influence of vegetation on the stability of slope[A]. Proceedings, International Conference on Vegetation and Slope, Institution of Civil Engineers[C]. University Museum, Oxford, England, 1994. 1~23.

量。即:

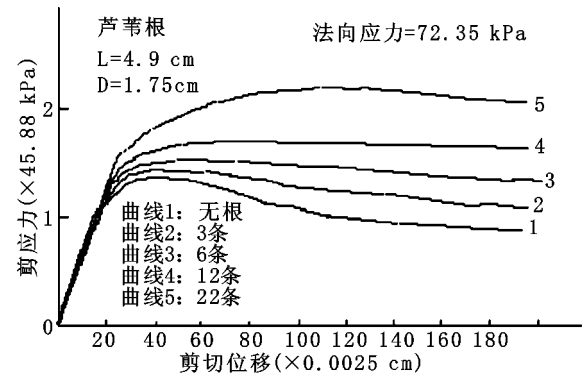


图 10 砂土剪切力于剪切位移关系

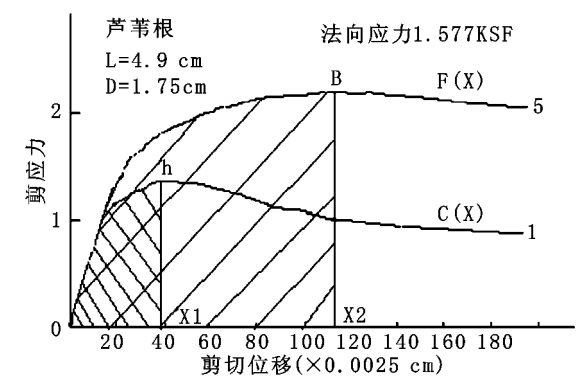


图 11 砂土的剪切实验过程中破坏时消耗的能量

$$W_1 = \int_0^{X_1} F(X) dx$$

而无根砂土在破坏时剪切力在剪切位移上所做的功为曲线 $C(X)$ 与直线 BX_2 和 X 轴围成的面积,它等于消耗和储存在土体中的能量,即:

$$W_2 = \int_0^{X_2} C(X) dx$$

显然 $W_1 > W_2$,这是因为,在带根砂土中,剪切力在剪切位移上所做功的一部分以土体剪切区变形能、土中植物根的变形能等形式储存,另一部分消耗在摩擦发热上;而在无根砂土中,由于没有芦苇根,能量只转化为土体剪切区变形能和摩擦发热上,并且,摩擦发热由于剪切位移的大为缩短,也比带根土体大为减少。

在实际的有植物覆盖的边坡上,土体在重力的分量作用下发生剪切位移,重力的分量充当了剪切力。边坡土体重力的分量在剪切位移上所做的功等于土体势能的减少,它的一部分以土体剪切区变形能、土中植物的根的变形能等形式储存;另一部分消耗在摩擦发热上。有植被覆盖的边坡土体由于植物根的存在,比裸露边坡储存更多能量,大大减少了边坡滑动的动能(破坏能量),在破坏前发生的位移更大,经历的时间更长。这对于预防和规避边坡地质灾害有重要意义。

5 结 语

植物对边坡浅层稳定的影响在绝大多数情况下是有助于边坡稳定的,特别是植物的根,能提高边坡的浅层土体的抗剪能力,使边坡在彻底失稳前,发生的位移更大,经历的时间更大,储存更多能量,更有利于边坡防灾减灾。因此,利用植物,或利用植物与其他护坡结构物对边坡进行防护,是可行的,也符合环保的要求。

- [2] Gray, D H, A T Leiser. Biotechnical Slope Protection and Erosion Control[M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1982.
- [3] Greenway, D R. Vegetation and Slope Stability[A]. In: Slope stability[M]. New York: Wiley, 1987.
- [4] USDA Soil Conservation Service. Chapter 18: Soil bioengineering for upland slope protection and erosion reduction[A]. Part 650, 210- EFH, Engineering Field Handbook[M]. 1992. 53.
- [5] Tschantz, B A, J D Weaver. Tree growth on earth dams : A survey of state policy and practice [M]. Civil Engineering Department, University of Tennessee, 1988. 36.
- [6] Patric, J H, et al. Soil water absorption by mountain and piedmont[J]. Forests Soil Science of America Proceedings, 1965, 29: 303- 308.
- [7] Wu T H. Investigation of landslides on Prince of Wales Island, Alaska[R]. Geotechnical Engineering Report No.5, Department of Civil Engineering , Ohio State University , Columbus Oh, 1976. 94.
- [8] USDA Soil Conservation Service. Predicting Rainfall Erosion Losses: a guide to conservation Planning[A]. USDA Agricultural Handbook # 537[M]. Washington, DC, 1978.
- [9] Rensterberg, M M. Anchoring of thin Colluvium by roots of sugar maple and white ash on hillslope in the Cincinnati [M]. U.S. Geological Survey Bulletin 2059- E, U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 1994.
- [10] Watson, A J, C L O'loughlin. Morphology, strength and biomass of Manuka roots and their influence on slope stability [J]. New Zealand Journal of Forestry Science, 1985, 15(3) : 337- 348.
- [11] Watson, A J, C L O'loughlin. Structural root morphology and biomass of three age classes of Pinus radiata[J]. New Zealand Journal of Forestry Science, 1990, 20(1) : 97- 100.
- [12] Nilaweera, N S. Effects of tree roots on slope stability : the case of Khao Luang Mountain area of Thailand[D]. Bangkok : Asian Institute of Technology, 1994.
- [13] Swanston, D N. Slope stability problems associated with timber[R]. Forest Service General Technical Report PNW- 21, 1974. 14.
- [14] Waldron, L J, S Dakessin. Soil Reinforcement by roots: calculation of increased soil shear resistance from root property [J]. Soil Science, 1981, 132(6): 427- 435.
- [15] Shewbridge, S E, N Sitar. Deformation characteristics of reinforced sand in direct shear[J]. Journal of Geotechnical Engineering(ASCE), 1989, 115(GT8) : 1134- 1147.
- [16] Shewbridge, S E, N. Sitar. Deformation based model for reinforced sand indirect shear[J]. Journal of Geotechnical Engineering(ASCE), 1990, 116(GT7) : 1153- 1157.
- [17] Wu, T H, W P McKinell, D N Swanston. Strength of tree roots and landslide on Prince of Wales Island, Alaska[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1979, 16(1): 19- 33.
- [18] Gray , D H, W F Megahan. Forest vegetation removal and slope stability in the Idaho Batholith[R]. USDA Research Paper INT- 271, Ogden, UT, 1980. 23.
- [19] Wu, T H, R M Macomber, R T Erb, et al. Study of soil-root interaction[J]. Journal of Geotechnical Engineering (ASCE), 1988a, 114(GT 12) : 1351- 1357.
- [20] Wu, T H, P E Beal, C Lan. In-situ shear test of soil-root systems[J]. Journal Geotechnical Engineering (ASCE), 1988b, 114(GT12): 1376- 1394.
- [21] Burroughs, E R, B R Thomas. Declining root strength in Douglas fir after felling as a factor in slope stability[R]. Research Paper INT- 190, International Forest and Range Experiment Station, US Forest Service, Ogden, UT, 1977. 27.
- [22] Endo, T, T Tsuruta. The effect of tree roots upon the shearing strength of soil[R]. Annual Report of the Hokkaido Branch ,Tokyo Forest Experiment Station, 1969, 18: 168- 179.
- [23] Kozlowski, T T. Growth and Development of Trees[M]. New York : Academic Press, 1971. 520.
- [24] Gray, D H, H Ohashi. Mechanics of fiber reinforcement in sands[J]. Journal of Geotechnical Engineering (ASCE), 1983, 109(3) : 335- 353.
- [25] Maher, M, D H Gray. Static response of sands reinforced with randomly distributed fibers[J]. Journal of Geotechnical Engineering (ASCE), 1990, 116(11) : 1661- 77.
- [26] Shields F D. Woody vegetation and riprap stability along the Sacraento River mile 84.5 to 119[J]. Water Resources Bulletin , 1991, 27(3) : 527- 536.
- [27] Shields. F D, D H Gray. Effects of woody vegetation on the structural integrity of sandy levees[J]. Water Resources Bulletin, 1993, 28(5) : 917 - 931.
- [28] Ohm, W. Methods of Studying Roots systems[M]. Ecological service No. 33, Berlin : Springer- Verlag, 1979.
- [29] Hathaway, R L, D Penny. Root strength in some Populus and Salix clones[J]. New Zealand Journal of Botany, 1975, 13: 333- 344.
- [30] 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.