

文章编号: 1000-7598-(2008)02-442-04

高速公路边坡植草护坡的根固效应试验研究

扈 萍¹, 宋修广², 吴登高³

(1. 同济大学 地下建筑与工程系, 上海 200092; 2. 山东大学 土建与水利学院, 济南 250061;
3. 山东菏泽通达交通工程监理有限公司, 山东 菏泽 274000)

摘 要: 针对目前国内植草护坡这一高速公路边坡防护措施, 分析了植草护坡的加固机制, 对根系护坡的锚固效应进行了试验研究。基于室内直剪试验结果, 分析了根系含量对土体抗剪强度指标 c 、 ϕ 的影响, 建立了植草护坡的根系锚固效应公式, 可为边坡绿化的设计和施工提供一定的借鉴意义。

关键词: 植草护坡; 直剪试验; 根系含量; 土壤抗剪强度

中图分类号: TU 411.3

文献标识码: A

Experimental research on reinforcement mechanism of expressway slope protection with greensward

HU Ping¹, SONG Xiu-guang², WU Deng-gao³

(1. Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. College of Civil and Hydraulic Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China; 3. Heze Tongda Traffic Engineering Supervision Corporation Limited, Heze 274000, China)

Abstract: Aiming at the measure of expressway slope protection with greensward in China at present, the reinforcement mechanism is analyzed; and the reinforcement effect is studied experimentally. Based on the direct shear test results, the effect of roots content on the two indices of soil shear strength (c , ϕ) is studied; and the reinforcement effect formula of roots is deduced so as to use for reference in the design and construction of slope virescence.

Key words: slope protection with greensward; direct shear test; roots content; soil shear strength

1 引 言

在高速公路建设中, 有大量的路堑开挖, 破坏了原有植被, 造成大量的裸露土坡和岩石边坡, 引起严重的水土流失和生态环境失衡^[1]。植被护坡作为高速公路边坡的重要防护措施, 一方面通过根系与土壤间的附着力, 对坡面起浅层加固作用, 可有效防止土壤流失。另一方面, 茎叶覆盖坡面, 能缓解雨水的直接冲击及风对坡面的吹蚀, 减少径流量和降低流速, 还可以起到改善公路景观、美化路容的作用^[2]。

植草的土质边坡和破碎岩石边坡, 根系对边坡的锚固与加筋作用, 是维持坡面浅层稳定性的关键。开展植物根系护坡锚固效应的研究可用于分析边坡的浅层稳定性, 为边坡绿化植物品种和草种数量的选择提供理论依据。本文选取马尼拉草的草根为实验室试验对象, 进行了高速公路边坡植草防护的锚固效应分析, 对根固土层以增加土层抗剪强度这一作用机制进行了定量研究。

2 植草护坡机制及其研究现状

对植草边坡来说, 根系在土壤中错综盘结, 使土体在其延伸范围内成为土与草根的复合材料, 草根可视为带预应力的三维加筋材料。根据摩尔-库仑强度理论, 这种加筋为根土复合层提供了附加黏聚力 Δc , 增加了土体的黏聚力 c 值。另外, 草根的张拉限制了土体的侧向变形使 σ_3 增加到 σ_3' , 在 σ_1 不变的情况下使最大剪应力减小, 这两种作用使土体的抗剪强度提高, 如图 1 所示^[3]。

代全厚 (1998 年) 等^[4]通过对嫩江大堤护坡植物根系及土壤抗剪强度的测定分析, 发现同一地段土壤的抗剪强度表土层大于底土层, 植物根系有较强的固持土壤功能, 土壤稳定性与植物根量关系密切, 根量大, 其抗剪强度就大, 土体的抗剪强度 τ 与根量 X 呈显著的正相关, 其回归关系: $\tau = 0.008 8 + 0.264 X (r = 0.981 4)$ ^[4,5]。郝彤琦等 (2000 年)^[6]由花米草土壤根系复合体原型结构试样直剪试验得知: 复合体抗剪强度 τ 与法向正压力 σ 的关系符合库

仑定律, 且 τ 随含根量 M_r 的增加而提高。

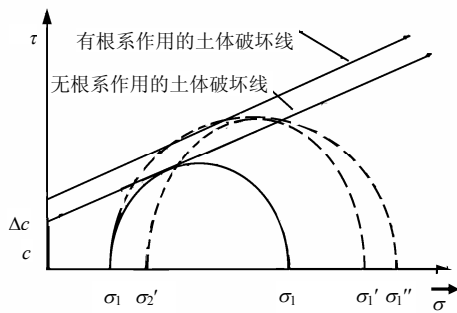


图1 根系对土体的加筋作用

Fig.1 the reinforced effect of roots on soil

尽管国内目前对于根系提高边坡土体抗剪强度的研究已经有所开展, 但大多数结论未能明确地将土的抗剪强度指标黏聚力 c 与内摩擦角 ϕ 区分开来进行研究。根系能够影响土壤抗剪强度的因素与这两个指标之间若存在某种定量关系, 就可在边坡绿化的数值计算中进行模型的参数赋值来分析边坡的稳定性。本文通过试验, 分别研究了根系对 c 、 ϕ 的影响, 推求了根系锚固效应公式。

3 植草护坡根固效应试验研究

根系使土体抗剪强度的提高与根的分形态、含量、强度以及土体性质等因素均有关系。对直径为 1 mm 左右的草的须根来说, 土中的根量在提高程度上起了决定性作用。本试验以植物根系含量作为主要影响因素, 推求其对土体抗剪强度指标 c 、 ϕ 的影响。根系含量可以用两种方法来表示: 根土体积比 (%) 或单位体积土含根量 (kg/m^3)。

3.1 试验方案的确定

本次试验取样地点选在济南市南外环大涧沟高速公路收费站西 50 m 处植草边坡。该处土质情况较好, 坡面覆盖生长茂密的马尼拉草。选取植草较密的草皮, 去掉土层上面茎叶, 挖取大块带根黏性土若干。相同地点同时挖取大块不带根土若干。试验测得带根土的湿密度为 $1.89 \text{ g}/\text{cm}^3$, 不带根原状土的含水率 $\omega_1 = 20.4\%$, 把根从土中取出, 并测量剩余土的含水率 $\omega_2 = 20.1\%$ 。因 ω_1 和 ω_2 相差不大, 故可直接在采集回来的不带根土中掺加不同数量的根来制作试样。

马尼拉草根的 90% 都分布在地表以下 0~30 mm 的土层内, 根土体积比大约在 1%~8% 范围内, 故取地表以下 0~30 mm 的带根土层作为研究对象, 人为掺加草根的方法制作根土体积比分别为 3%, 4%, 5%, 6%, 7% 的 5 组试样, 把不带根土也做成一组 4 个土样 (无需掺加草根), 对这 6

组试样进行室内直剪试验, 测其 c 、 ϕ 值。

3.2 试验成果分析

把上述试验所得不同根系含量情况下的剪切强度线绘在同一张图上, 如图 2 所示。可以看出, (1) 6 条强度线都是随着法向荷载 p 的增大, 土的抗剪强度 τ 不断增大, 并且 p 与 τ 基本呈线性关系, 表明抗剪强度与剪切面上的法向压力 σ 仍然成正比, 加筋后的土体仍然符合摩尔-库仑定律, 即 $\tau = c + \sigma \tan \phi$, 其中剪切强度线在 y 轴上的截距 c 为土的黏聚力, ϕ 为土的内摩擦角。(2) 随着根系含量的增加, 强度线不断上移且右端抬高, 表明黏聚力 c 和内摩擦角 ϕ 都有提高。当根土体积比从 0 增加到 7% 时, ϕ 从 22.4° 增加到 26.7° , 增长幅度不大, 而 c 从 10.0 kPa 增加到 33.8 kPa, 增长较大。这是由于当根土复合体的含根量增加时, 根系的黏聚力随之显著增大, 即 c 值明显增加。但对 ϕ 来说, 虽然根的总目增多, 可是根系与土粒间的接触面积增加并不多, 故 ϕ 值变化不大。因此, 根系含量对土体抗剪强度提高主要体现在黏聚力 c 上。

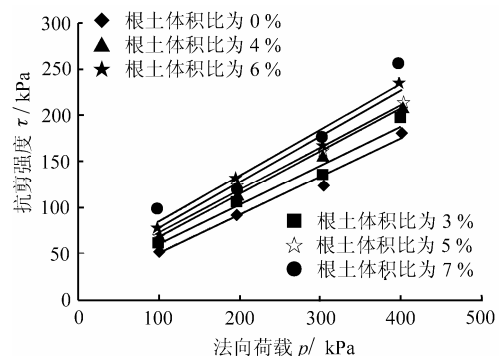


图2 各种根系含量情况下土的剪切强度线

Fig.2 Shear failure lines with different roots contents

3.3 试验中尚存在的问题

(1) 本试验把含根土看作均质化的复合体, 没有考虑根和土之间的相互作用, 只考虑了根系含量这一因素。

(2) 为了定量地控制根系含量, 在试验中忽略了根的走向和角度等因素, 采取了人为添加的方法, 破坏了根系原有的生长形态。

(3) 采用了失去生命力的干根来代替有生命力的活根, 这也会使试验结果产生一定误差。

综合分析, 本试验结果是较为保守的, 试验所测抗剪强度应为下限值。

3.4 锚固效应强度公式的建立

假定根系含量对内摩擦角 ϕ 的影响忽略不计, 只研究对黏聚力 c 的影响。采用单位体积土含根量

V_r 作为衡量指标, 推求 V_r 与由于根系作用产生的附加黏聚力 Δc 的关系式: $\Delta c = f(V_r)$ 。以每立方米土含根量 V_r 为 x 轴, 以 Δc 为 y 轴绘图如图 3 所示。

由图 3 拟合可得到下述关系式:

$$\Delta c = 0.495 2V_r - 5.465 5 \quad (1)$$

相关系数 R^2 为 0.992 根系加筋后土的黏聚力为

$$c = c_0 + 0.495 2V_r - 5.465 5 \quad (2)$$

式 (2) 表明 Δc 与根系含量呈明显的正比关系, 随着根系含量的增大而增大。

由上述拟合公式可以发现, 黏聚力并非在任何情况下都随根量增多而增加, 如当每立方米土含根量小于 11.0 kg/m^3 时, 黏聚力增量 Δc 出现了负值。这表明, 此时土壤黏聚力会因为根系的加入而减小, 而这与实际情况是不符的, 根本原因是试验中人为参加草根的做法破坏了原来土的天然形态, 导致实测抗剪强度减小, 这与 2.3 中结论相符合。

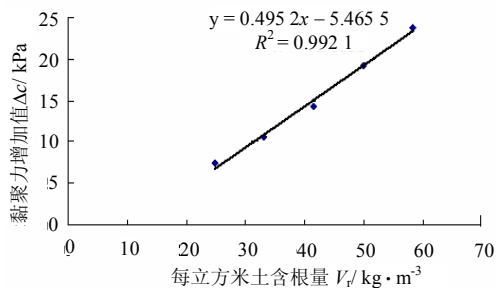


图 3 根系含量与黏聚力增加值关系图
Fig.3 Relationship between roots content and cohesion increment of soil

根据试验结果可以建立一般情况下黏聚力的增加值为

$$\Delta c = kV_r - b \quad (3)$$

式中: k 、 b 为强度影响系数, 由根系特性决定。可得根系锚固效应强度公式:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi = (c_0 + kV_r - b) + \sigma \tan \phi \quad (4)$$

式 (4) 表明, 土壤的抗剪强度与根系含量成正比, 这与代全厚等提出的关于土体的抗剪强度与根量呈正相关性这一理论是一致的, 与 Endo 和 Tsuruto (1969 年) 由现场原位试验所得的土的抗剪强度的增加与单位体积土中根的重量成正比这一结论^[7]也一致。由根系锚固效应强度公式可以推求边坡绿化后表层土壤的抗剪强度。反之, 若已知边坡抵抗雨水冲刷等外部荷载所需达到的表层土壤抗剪强度, 便可依据根系锚固效应强度公式并结合生物根系特性来选择边坡绿化的植物品种和草种数量。

4 结 论

植草护坡对增强边坡稳定以及改善公路景观有重要意义。本文在分析其锚固机制的基础上, 对根系含量与土体抗剪强度的关系进行了大量的试验研究, 得出以下结论:

(1) 当土壤-根系复合体的含根量、体积密度和含水率一定时, 其抗剪强度 τ 与法向压力 σ 成线性关系, 符合库仑定律。

(2) 当复合体的体积密度和含水率一定时, 抗剪强度指标 c 也与含根量成正相关, 而 ϕ 与含根量关系不大。

目前对于根系护坡力学机制的理论探索尚处于起步阶段, 关于根系护坡力学效应的试验和应用研究方面还不够完善, 也是本课题的后续研究工作。

参 考 文 献

- [1] 许文年, 王铁桥, 叶建军. 岩石边坡护坡绿化技术应用研究[J]. 水利水电技术, 2002, 33(7): 35-36.
XU Wen-nian, WANG Tie-qiao, YE Jian-jun. Study on application of greening technology for rock slope protection[J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2002, 33(7): 35-36.
- [2] 路瑞娥. 公路边坡植草防护技术浅谈[J]. 内蒙古公路与运输, 2002, (3): 47-48.
LU Rui-er. A talk on protecting technique for grass-growing [J]. *Highways and Transportation in Inner Mongolia*, 2002, (3): 47-48.
- [3] 张俊云. 厚层基材喷射植被护坡技术研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2001.
- [4] 代全厚, 张力, 刘艳军, 等. 嫩江大堤植物根系固土护堤功能研究[J]. 中国水土保持, 1998,(12): 36-38.
DAI Quan-hou, ZHANG Li, LIU Yan-jun, XU Xiao-hong. Study of dyke protection by soil solidification of plant root system in Nenjiang River[J]. *Soil and Water Conservation in China*, 1998,(12): 36-38.
- [5] 刘定辉, 李勇. 植物根系提高土壤抗侵蚀性机制研究[J]. 水土保持学报, 2003,(9): 34-37.
LIU Ding-hui, LI Yong. Mechanism of plant roots improving resistance of soil to concentrated flow erosion [J]. *Journal of Soil Water Conservation*, 2003, (9): 34-37.
- [6] 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]. 广东农机, 2002, (1): 12-14.
HAO Tong-qi, XIE Xiao-yan, HONG Tian-sheng. Experiment study on the shear strength of soil root composite[J]. *Guangdong Agricultural Machinery*, 2002, (1): 12-14.
- [7] ENDO T, TSURUTA T. The effect of the tree's roots upon the shear strength of soil [R]. [s.l.]: Hokkaido Branch, Forest Experiment Station, 1969.