

扦插措施根系固土的力学增强效应分析

熊光城¹, 谢晓靛¹, 陈鹏^{2,3}, 马瑞雪¹, 万艳雷¹, 冯晶红^{2*}, 颜丹¹, 唐强¹, 刘裕如¹

(1. 长江勘测规划设计研究有限责任公司, 湖北武汉 430010; 2. 湖北工业大学土木建筑与环境学院, 湖北武汉 430068; 3. 中交第二公路勘察设计研究院有限公司, 湖北武汉 430058)

摘要 为了量化分析扦插措施根系对边坡稳定性的贡献, 采用固结不排水三轴剪切试验研究不含根土体及根-土复合体的抗剪强度, 并使用数显土壤紧实度仪对边坡的紧实度进行测量, 分析新生根系对边坡紧实度的影响。结果表明: 加根土体的强度和抗变形能力增强。扦插措施新生根系能有效提高土体的黏聚力, 其对内摩擦角的影响不明显, 而对边坡土壤紧实度的改善作用显著。

关键词 扦插措施; 根-土复合体; 紧实度

中图分类号 S181 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)04-0199-02

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.04.051



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Mechanical Enhancement Effect Analysis of Root System by Cutting Measures on Reinforcing Soil

XIONG Guang-cheng¹, XIE Xiao-liang¹, CHEN Peng^{2,3} et al (1. Yangtze River Survey, Planning, Design and Research Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430010; 2. School of Civil Engineering, Architecture and Environment, Wuhan, Hubei 430068; 3. CCCC Second Highway Survey, Design and Research Institute Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430058)

Abstract In order to make a quantitative analysis of the contribution of root system by cutting measures on the slope stability, consolidated and undrained triaxial compression test was conducted to study the shear strength of soil without roots and root-soil complex. The compactness of the slope was measured by using digital soil compactness meter. And the influences of new root system on the compactness of slope were analyzed. The results showed that the strength and deformation resistance of soil with roots were enhanced. New root system by cutting measures could effectively improve the cohesion of soil, and had no obvious influence on the internal friction angle. New root system by cutting measures had a significant improvement effect on the soil compactness of slope.

Key words Cutting measures; Soil-root complex; Compactness

植物根系对边坡稳定性的影响在于植物根系能与土体颗粒发生相互接触、穿插和缠绕等现象, 形成一种天然的根-土复合体, 进而改变了边坡土壤性质^[1-2]。植物根系能增强坡体的稳定性, 取决于根-土复合体的强度^[3-5]。目前大量研究通过直剪和三轴剪切试验对根系的抗剪强度进行评价, 主要包括根系放置方式^[6]、含根量^[7]、植物品种^[8-9]、坡度^[10]等因素对根-土复合体抗剪强度的影响。

扦插措施是边坡治理, 特别是土壤生物工程中常用的技术方法。新生根系的生长和分布特征除了受土壤理化特性的影响外, 还与其扦插角度、长度、直径及密度等有直接的关系^[11]。这些施工方法将影响根系体积占试样体积的百分比(统称含根率), 进而对根-土复合体的抗剪强度产生一定的影响。笔者利用固结不排水三轴剪切试验及紧实度试验, 对扦插措施中根-土复合体固土的力学增强效应进行分析, 旨在为扦插措施在边坡中的应用提供一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料与仪器 供试根系材料取自武汉市湖北工业大学校区实验基地人工设置的人工边坡, 坡长 40 m, 高 1 m, 坡度约 45°。在人工边坡利用旱柳(*Salix matsudana*)新鲜活枝构建扦插措施, 待植物生长 1 年后, 收集 0~10 cm 土层的根系, 经分析根系平均直径为(4.19 ± 0.71) mm。同时, 收集

土壤并带回实验室, 使用 TSZ30-2.0 型台式三轴仪全自动操作固结不排水三轴剪切试验。

1.2 试验方法 将收集的土壤依据 SL 237—1999 土工试验规程^[12]进行试验土柱制备, 用于测定土壤抗剪强度相关的参数。试验土柱直径 39.1 mm, 高 80.0 mm, 根据土壤饱和度计算公式和常规物理力学性质指标, 设定试验土柱的干密度为 1.45 g/cm³, 含水率为 35%, 从而得出每个试验土柱的质量为 180.5 g。将土壤平均分成 5 份, 依次加入击实器内击实处理。为了模拟不同含根率(根系体积占试样体积的百分比)对根-土复合体强度的影响, 以混合放置的方式将含根率分别为 8%、15%、20%、25%、35% 的根系放置于试样内。围压分别设定为 100、200、300 kPa, 加载速率为 0.05 mm/min, 对试验土柱开展固结不排水三轴剪切试验。

1.3 土壤紧实度调查 在裸露边坡及扦插边坡分别选取 9 个点, 并使用 SC900 数显土壤紧实度仪测量土壤紧实度。

1.4 数据处理 试验数据使用 Excel 2013 软件制表; 使用 Origin 2017 软件绘图; 采用 SPSS 22.0 统计软件进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 主应力差与轴向应变的关系 不含根土体(含根率为 0)和不同含根率的试验土柱在围压分别为 100、200、300 kPa 条件下的主应力差-轴向应变关系如图 1 所示。从图 1 可以看出, 不含根土体与不同含根率试验土柱的主应力差随轴向应变的变化趋势基本一致。与不含根土体相比, 不同含根率试验土柱的主应力差增加较多。当改变围压时, 随着围压的增大, 主应力差增大, 即增大围压能有效提高土体的强度; 当

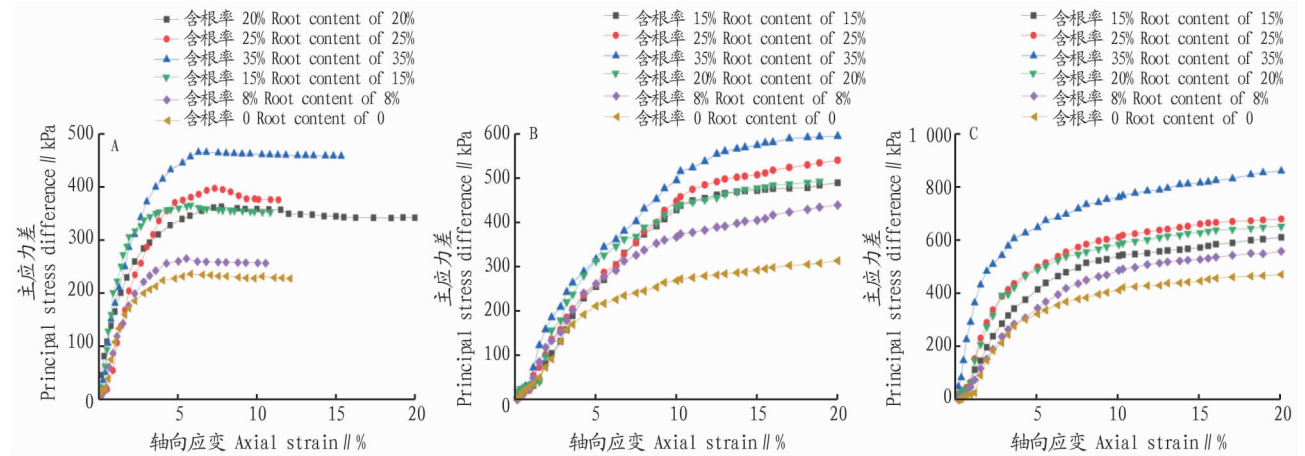
基金项目 水利部珠江河口动力及伴生过程调控重点实验室研究基金项目([2017]KJ08)。

作者简介 熊光城(1987—), 男, 湖北黄冈人, 工程师, 从事水环境水生态治理方面的研究。*通信作者, 讲师, 硕士, 从事边坡生态防护、河道生态治理方面的研究。

收稿日期 2021-06-18; **修回日期** 2021-06-29

含根率增加时,不同含根率试验土柱与不含根土体的主应力差逐渐增大。当轴向应变达到 19%时,不同含根率试验土柱主应力差较不含根土体明显增大,表明当土体达到一定的轴向应变时,根-土复合体的强度才能发挥作用。当主应力差相

同时,不同含根率试验土柱的轴向应变小于不含根土体,且主应力差随着含根率的升高而增加,表明加根土(即不同含根率试验土柱)的强度和抗变形能力增强。这与陈鹏^[13]研究结果相一致。



注:A.围压 100 kPa;B.围压 200 kPa;C.围压 300 kPa

Note: A. Confining pressure of 100 kPa; B. Confining pressure of 200 kPa; C. Confining pressure of 300 kPa

图 1 试样主应力差与轴向应变的相关曲线

Fig.1 Correlation curve between principal stress difference and axial strain of test samples

2.2 抗剪强度参数对比 试验土柱黏聚力(c)和内摩擦角(φ)由三轴剪切试验摩尔圆及强度包线应用软件绘制的摩尔应力圆及不同围压下破坏应力圆的包络线而得到,计算结果如表 1 所示。

表 1 不同含根率试验土柱抗剪强度参数

Table 1 The shear strength parameters of test soil column with different root content

含根率 Root content %	黏聚力(c) Cohesive force kPa	黏聚力 增量(Δc) Increment of cohesive force//kPa	内摩擦 角(φ) Internal friction angle//°	内摩擦角 增量($\Delta\varphi$) Increment of internal friction angle //°
0	25.50	—	32.1	—
8	27.36	1.86	32.4	0.3
15	29.08	3.58	32.5	0.4
20	31.43	5.93	32.7	0.6
25	33.96	8.46	32.8	0.7
35	37.89	12.39	33.0	0.9

由表 1 可知,与不含根土体(含根率为 0)相比,含根土的内摩擦角表现出一定的增长,但整体上变化不大,这与其他研究^[3,10]有类似的结果。含根率越高,含根土黏聚力越大。当含根率为 8%时,含根土黏聚力与不含根土体相比仅提高 1.86 kPa;当含根率为 35%时,含根土黏聚力与不含根土体相比增加 12.39 kPa。这表明土体黏聚力的提高受含根率的影响,含根率增加,土体的黏聚力相应提高,进而土体的抗剪强度增强。这与前人的研究结果^[14-15]相一致,即土壤的黏聚力与根系的黏聚力作用机理不同,前者来自土壤颗粒之间的摩擦作用,后者则与土体颗粒相互接触、穿插和缠绕力相关,故后者的弹性模量远大于前者的弹性模量,使得抗拉强度远大于前者,因而当前者因剪切发生破坏时,根-土复合体

一起抵抗变形,从而增强了土体的抗剪强度。

2.3 边坡紧实度分析 边坡土壤抵抗外力的压实及破碎能力很大程度上取决于边坡土壤紧实度。研究表明,土壤紧实度与土壤崩解速率呈极显著负相关^[16-18]。由图 2 可知,裸露边坡土壤紧实度为 56.59 Pa,扦插边坡土壤紧实度为 220.48 Pa,可见扦插边坡比裸露边坡提高 163.89 Pa。ANOVA 方差分析表明,仅生长 1 年后扦插措施新生根系对边坡土壤紧实度的改善作用显著($P < 0.001$)。

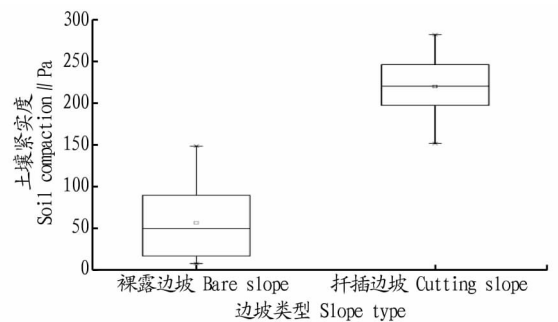


图 2 裸露边坡与扦插边坡土壤紧实度的比较

Fig.2 Soil compactness comparison between bare slope and cutting slope

3 结论

通过固结不排水三轴剪切试验研究了一年生扦插措施根-土复合体重塑的强度特性,并在原位人工边坡对其紧实度进行调查,得出以下主要结论:

(1) 不含根土体与不同含根率试验土柱的主应力差随轴向应变的变化曲线类似。在相同的主应力差条件下,含根土的轴向应变比不含根土体要小。含根率越高,主应力差越大,表明含根土能够有效增强土体强度和抗变形能力。

(下转第 208 页)

茶产业快速持续有序发展。

4.4 积极配套优惠政策 落实土地流转扶持政策,鼓励各种市场主体通过土地流转、入股、股份合作经营等多种形式参与茶产业基地建设,鼓励龙头企业进行规模化、产业化经营。积极配套“三农”资金优惠扶持政策,引导社会资本参与茶产业发展,扶持相关企业攻坚克难。开发落实茶产业政策性保险产品,保障茶产业人员的利益和抵抗风险的能力。

4.5 创新发展模式,促进三产融合 促进农村一二三产业融合发展,通过土地流转、经营权入股龙头企业和作价出资入股专业合作社等发展模式,使土地集中连片,实现茶叶规模化种植、标准化生产。这不仅可以为龙头企业和农民专业合作社发展提供物质条件,而且农民通过多元化的土地经营方式,在分享农业全产业链利润的同时拓展财产性收入来源。继续巩固现有的“公司+基地+合作社+农户”“农户种植、企业指导、片区统一管理”等模式,以现有的成熟经营模式为主导,坚持政府引导、企业带动、科技推动、市场经营、突出效益的原则,以乡村振兴为目的,生态产业体系建设为重点,农民增收为目标,结合实际,积极探索拓展其他适合本地发展的经营模式。在当前乡村振兴规划上,进一步挖掘茶文化价值,因地制宜,打造一批茶文化和民族风情深度融合的特色村镇,开发相关旅游产品^[11],大力发展乡村旅游,通过与生态、景观建设相结合,形成集“茶基地建设+精深加工+观光旅游+贸易流通”为一体的产业发展区^[12],通过田园环境与自身产业有机结合的形式,实现一二三产业融合发展,变资源优势为富民产业优势。

5 结语

枞归绿茶适生区范围广、土地资源丰富、劳动力充足,发

展茶产业能够把适生区丰富的资源条件利用起来,在乡村振兴战略的引导下,抓住契机,加大发展力度,尽快让丝绵茶产业成为助推乡村振兴和群众致富的支柱产业,通过产业发展实现乡村振兴^[13]。这不仅是持续巩固拓展脱贫攻坚成果,也是加快实现产业兴旺、生态宜居新格局的有效举措^[14],而且为进一步助推“两山理念”实践、构建长江生态屏障、维护国家生态安全作出积极贡献^[15]。

参考文献

- [1] 北京林学院.气象学[M].北京:中国林业出版社,1981:107-146.
- [2] 北京林学院.土壤学[M].北京:中国林业出版社,1982:203-210.
- [3] 湖北省枞阳县地方志编纂委员会.枞阳县志[M].北京:中国大百科全书出版社,1991:88-89.
- [4] 四川省林业学校.林木育种学[M].北京:中国林业出版社,1982:229-245.
- [5] 谢家祐.林业经营管理学[M].北京:中国林业出版社,1995:203-216.
- [6] 朱旗.茶学概论[M].北京:中国农业出版社,2013:86-88.
- [7] 中国树木志编委会.中国主要树种造林技术[M].北京:中国林业出版社,1981:1103-1112.
- [8] 中共中央国务院关于全面推进乡村振兴加快农业农村现代化的意见[N].人民日报,2021-02-22(001).
- [9] 弘扬脱贫攻坚精神 全面推进乡村振兴——习近平总书记在脱贫攻坚总结表彰大会上的重要讲话[R].2021-02-26.
- [10] 魏延安.农村电商:互联网+三农案例与模式[M].北京:电子工业出版社,2017:238-269.
- [11] 李嘉瑞.果品商品学[M].北京:中国农业出版社,1993:1-6.
- [12] 郭淑梅,许爱萍.乡村振兴视角下天津农业生态旅游产业集群化发展路径分析[J].未来与发展,2019,43(2):42-47.
- [13] 高尚宾,徐志宇,靳拓,等.乡村振兴视角下中国生态农业发展分析[J].中国生态农业学报,2019,27(2):163-168.
- [14] 国家发展和改革委员会.中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要[M].北京:人民出版社,2021:1-3.
- [15] 王礼先,王斌瑞,王金兆.林业生态工程学[M].北京:中国林业出版社,1998:230-236.
- [16] 张翔宇,杨平,王磊,等.植被根系对土体抗剪强度影响的试验研究[J].武汉理工大学学报,2012,34(4):113-117.
- [17] 嵇晓雷,杨平,张海亚.根土复合体三轴剪切试验研究[J].科学技术与工程,2016,16(34):270-275.
- [18] 王元战,刘旭菲,张智凯,等.含根量对原状与重塑草根加筋土强度影响的试验研究[J].岩土工程学报,2015,37(8):1405-1410.
- [19] 廖晶晶,罗绪强,罗光杰,等.三种护坡植物根-土复合体抗剪强度比较[J].水土保持通报,2013,33(5):118-122.
- [20] 程鹏,李锦辉,宋磊.生态边坡的水力和力学特性分析:试验研究[J].岩土工程学报,2017,39(10):1901-1907.
- [21] 朱海丽,宋路,李国荣,等.坡度对含根坡体稳定性的影响[J].安徽农业科学,2015,43(23):1-2,5.
- [22] 李益,陶佳.不同扦插方式对旱柳生长特征的影响[J].安徽农业科学,2019,47(20):115-119.
- [23] 南京水利科学研究院.中华人民共和国行业标准 土工试验规程 SL 237—1999[S].北京:中国水利水电出版社,1999.
- [24] 陈鹏.不同土壤生物工程措施植物发展特征及固土效果研究[D].武汉:湖北工业大学,2018.
- [25] 廖晶晶,罗绪强,罗光杰,等.三种护坡植物根-土复合体抗剪强度比较[J].水土保持通报,2013,33(5):118-122.
- [26] 王磊.植被根系土力学机理试验研究[D].南京:南京林业大学,2011.
- [27] 葛畅,刘慧琳,张世文,等.耕作方式和土壤类型对皖北旱作农田土壤紧实度的影响[J].水土保持研究,2018,25(5):89-94.
- [28] 崔晓明,张亚如,张晓军,等.土壤紧实度对花生根系生长和活性变化的影响[J].华北农学报,2016,31(6):131-136.
- [29] 嵇晓雷,杨平,张海亚.根土复合体三轴剪切试验研究[J].科学技术与工程,2016,16(34):270-275.

(上接第200页)

(2) 根系能够有效提高土体的抗剪强度。扦插措施新生根系能有效提高含根土的黏聚力,当含根率为35%时含根土黏聚力增加12.39 kPa。根系对含根土内摩擦角的影响不明显。

(3) 扦插措施新生根系对边坡土壤紧实度的改善作用显著,仅生长1年后裸露边坡的土壤紧实度提高了163.89 Pa。

通过该研究总结了含根率对根-土复合体抗剪强度的影响以及根系生长1年后对边坡紧实度的提高作用。在应用扦插措施时,可通过改变其扦插方式和密度等改变其在土体中的含根率,以达到更高的抗剪强度。该研究结果可为各类生态边坡治理提供理论依据。

参考文献

- [1] 杨亚川,莫永京,王芝芳,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] 朱海丽,宋路,李国荣,等.坡度对含根坡体稳定性的影响[J].安徽农业科学,2015,43(23):1-2,5.
- [3] 程磊,姚磊华,张生旭,等.根系形态对土体强度影响的试验研究[J].自然灾害学报,2018,27(1):40-49.
- [4] 李为萍,史海滨,梁建财,等.基于三轴试验的根土复合体抗剪性能试验研究[J].灌溉排水学报,2013,32(2):128-130.