

文章编号: 1001— 411X (2000) 04— 0078— 03

滩涂土壤与植物根系复合体 抗剪强度的试验研究

郝彤琦, 谢小妍, 洪添胜

(华南农业大学工程技术学院, 广东 广州 510642)

摘要: 运用工程力学基本理论和土力学试验方法, 剖析植物根系在增强松软饱和滩涂土壤抗剪强度中的作用机理。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。并提出土壤中草根的作用与钢筋混凝土结构中的钢筋类似, 参照钢筋混凝土结构抗剪承载力公式, 总结出复合体单位面积上的受剪承载力与含根量之间的关系公式为 $\tau=\tau_0+0.14M_rf_c$, 公式表明根系与土壤之间的摩擦力和凝聚力会提高土壤的抗剪强度, 有利于滩涂机械行走机构的支承与推进。

关键词: 土壤-根系复合体(SRC); 抗剪强度; 抗拉力; 含根量; 钢筋混凝土
中图分类号: S233.1 文献标识码: A

我国海涂辽阔, 发展滩涂牧草种植业具有广阔的前景。据报道许多沿海滩涂适宜种植从美国引进的名为互生花大米草(*Spartina alterniflora* 简称花米草)的优质牧草^[1]。但沿海滩涂海泥松软且深, 承载力很低, 作业机械通过性差, 影响花米草收获的机械化。关于根系茂密且松软饱和海滩的机械行走方式, 洪添胜等^[2]提出采用步行船式行走机构的仿生行走方式并获实用新型专利。而茂密的植物根系与松软饱和土壤复合体的抗剪强度对行走机构的支承与推进, 则是土壤-机器系统力学研究中有待深入探讨的问题。目前国内外有关土壤-根系复合体抗剪强度的研究, 大多数以固土护坡和抗水蚀能力为目的^[3]。本文运用工程力学基础理论和土壤力学试验方法, 研究土壤-根系复合体抗剪强度, 剖析植物根系在增强松软饱和性土壤抗剪强度中的作用机理, 为进一步研制利用植物根系提高支承和推进性能的滩涂行走机构提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

采集的样本是成熟时期花米草的茎、叶和根系与土壤(海泥)复合体, 取样地点在广东省珠海市西区沿海滩涂。土壤、毛根、主根、茎和叶的 w (水)分别为 113.5%、262%、220%、366%、272%, 土壤平均相对密度为 2.7; 土壤颗粒分析结果见表 1。

为反映材料的力学特性, 在测定时对净根进行冲洗和抹干浮水处理, 对其他试件未作任何预处理。

表 1 土壤颗粒分析表	
Tab. 1 Analytic result of soil granule	
D (颗粒)	w (颗粒)
granule diameter/mm	granule amount/%
> 2.000	0.0
$2.000 \sim 0.500$	0.3
$0.500 \sim 0.250$	0.3
$0.250 \sim 0.100$	0.3
$0.100 \sim 0.050$	3.2
$0.050 \sim 0.005$	48.7
< 0.005	47.1
< 0.002	29.6

1.2 试验方法

D (毛根)=0.60~1.16 mm。样品自野外采回, 轻轻冲去泥土, 擦干水分, 即作测定。因毛根拉力强度变化很大, 目前尚无适宜的拉力仪。笔者参照文献[4]制作了简易毛根拉力测定装置(图 1)。测定时, 用夹子夹住毛根两端, 记录根系拉断时砝码重量及滴管加水刻度即可得出拉力值。滴管可加水 25 g, 加水速度 1 g/s, 本装置的测定范围 0.25~10 N。主根、茎、叶的拉力均采用弹簧秤测定(弹簧秤在使用前经标定)。毛根、主根和茎的直径及叶宽用游标卡尺量出, 重复 2 次。土壤-根系复合体抗剪强度的测定按土工试验规程进行常规直剪试验, 在样品中分层取样。试验后用清水将根洗净、擦干, 采用以下公式计算含根量:

$$M_r=R/G \quad (1)$$

式中的 M_r 为复合体含根量(g/g), R 为复合体含草根质量(g), G 为复合体质量(g)。

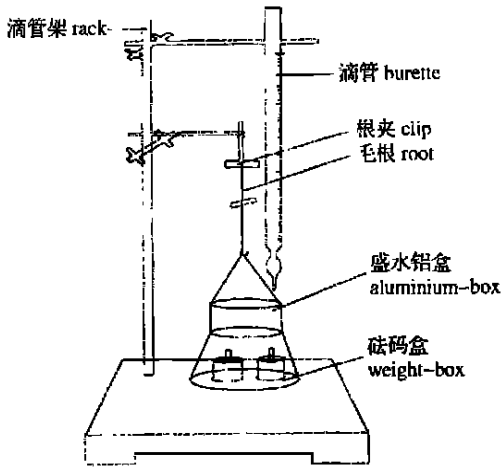


图 1 毛根拉力测定装置
Fig. 1 Root stress determination device

2 结果与分析

2.1 花米草根、茎、叶的力学特性

试验结果表明, 根(茎、叶)的抗拉力随根系截面面积的增加而提高. 其抗拉力可参照钢筋混凝土结构中钢筋抗拉力的计算方法计算:

$$F_r = A_r f_r \tag{2}$$

式中的 F_r 为根(茎、叶)抗拉力(N), A_r 为根(茎、叶)截面面积(mm^2), f_r 为根(茎、叶)的抗拉强度(kPa). 根据试验结果算出抗拉强度平均值: 毛根 $f_{r1} = 4\,821.9\text{ kPa}$, 主根 $f_{r2} = 1\,382.2\text{ kPa}$, 茎 $f_{r3} = 1\,851.5\text{ kPa}$, 叶 $f_{r4} = 4\,844.1\text{ kPa}$.

虽然茎和叶的抗拉强度并不影响土壤的抗剪承载力, 但当机构行走时压倒部分草茎和叶, 交错排列在土壤表面上, 如同给土壤表面加了一层“钢筋网”, 分散集中应力, 间接提高了土壤承载力, 该有利的影响可作为安全储备.

2.2 复合体抗剪强度的组成

土壤-根系复合体的含根量、密度和含水量一定时, 其抗剪强度 τ 符合库仑定律:

$$\tau = \sigma \tan \varphi + c \tag{3}$$

该式形式上与粘性土抗剪强度的表达形式相同, 但其物理意义有些不同. 对粘性土而言, 其抗剪强度包括: ①由土颗粒的表面摩擦力以及颗粒间的嵌入和连锁作用产生的咬合力组成的内摩擦力; ②由原始粘聚力、固化粘聚力和毛细粘聚力组成的内聚力^[3]. 而在土壤-根系复合体中, 由于根系的存在, 使其复合体中的摩擦力分量比土的摩擦力分量要大. 同时, 土中存在的根系将大大增加土的抗拉强度, 与粘性土中仅存在范德华力和库仑力的效果差异较大. 因此,

土中根系含量增多, 将使其复合体的抗剪强度增大.

2.3 含根土壤与无根土壤的力学特性比较

笔者对含根土壤与无根土壤的抗剪强度做了比较和分析, 进行了含根量对提高土壤抗剪强度的试验研究. 结果显示在相同正应力作用下, 含根土壤的抗剪强度与无根土壤的抗剪强度相比, 均有较大提高(图 2), 含根土壤与无根土壤的 τ - σ 关系可用下列方程描述.

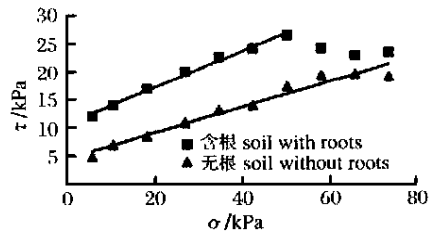


图 2 含根土壤与无根土壤 τ - σ 关系曲线
Fig. 2 τ - σ relations of soil with and without roots

含根土壤: $\tau = \sigma \tan 17.75^\circ + 10.87$, (4)

(4)式适用范围 $\sigma < 50\text{ kPa}$.

无根土壤: $\tau_0 = \sigma \tan 12.11^\circ + 4.69$. (5)

式中的 τ 、 τ_0 分别为含根土壤与无根土壤抗剪强度(kPa), σ 为土壤正压应力(kPa). 式(4)和(5)相关系数 r 分别为 0.992 5 和 0.922 2.

如同钢筋混凝土结构一样, 当正压力在一定范围内时, 对提高钢筋混凝土结构抗剪强度是有利的, 而一旦超出某个范围时, 则变为不利因素. 从图 2 中我们也可以看出复合体所受到的正压力 $\sigma < 50\text{ kPa}$ 时, 剪应力 τ 随着正应力 σ 的增加而提高; 但 $\sigma > 50\text{ kPa}$ 时, 剪应力 τ 则有所降低, 说明正压力对土壤抗剪强度的影响成为不利因素. 尤其对于本试验这种高含水量的试件, 正应力过大, 会发生土体受压变形过大而破坏.

另外, 如同钢筋混凝土构件中的配筋率会影响其受剪承载力一样, 草根的含量也影响复合体的受剪承载力. 试验结果表明, 复合体的抗剪强度是随含根量的增加而提高.

参照钢筋混凝土构件受剪承载力计算公式^[9], 得出描述复合体抗剪强度 τ 与含根量 M_r 之间的关系:

$$\tau = \tau_0 + 0.14 M_r f_r \tag{6}$$

毛根虽然截面面积小, 但数量较多; 主根截面面积较大, 但数量较少, 所以 f_r 可取毛根 f_{r1} 与主根 f_{r2} 抗剪强度的平均值. 公式(6)的适用范围为 $\sigma < 50\text{ kPa}$. 实测值与公式计算结果见图 3.

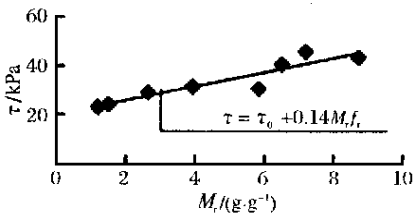


图 3 $\tau-M_r$ 关系图
Fig. 3 $\tau-M_r$ relations

如同钢筋混凝土构件具有较高的抗剪强度是由于钢筋具有较大的抗拉强度, 且与混凝土之间存在着粘结力一样, 当土壤受剪产生滑动时, 根系与土壤之间的摩擦力和茂密根系与土壤之间产生的胶合力就会通过根系受拉来阻止土体滑动, 从而提高了土壤的抗剪强度.

3 结论

- 1) 具有茂密根系的海滩滩涂土壤-根系复合体的抗剪强度 τ 与正压应力 σ 的关系符合库仑定律, 式中 φ 是土粒与根系之间的综合内摩擦角 (17.75°); c 是土粒之间、土粒与根系之间的凝聚力之和 (10.87 kPa).
- 2) 含根土壤的抗剪强度与无根土壤抗剪强度相比有较大提高. 草本植被根系的存在, 将阻止土体受压后沿破坏面的滑动, 从而提高了复合体的抗剪强度. 但当正压力 $\sigma > 50\text{kPa}$ 时, 承载力反而降低, 含

根量几乎不影响复合体的抗剪强度. 另外, 由于草比较茂密, 收获机械行走时, 压倒部分草的茎和叶, 如同在土壤表面铺了一层“钢筋网”, 分散了集中应力, 有利于滩涂机械行走机构的支承与推进.

3) 复合体的抗剪强度 τ 随含根量 M_r 的增加而提高, 可采用公式 (6) 计算单位面积上复合体的抗剪承载力. 总之, 根系增加了土壤的凝聚力、土壤与根系之间的摩擦力, 提高了土壤的抗剪承载力.

参考文献:

[1] 洪添胜, 区颖刚, 罗锡文. 沿海滩涂牧草生产机械化的设想[A]. 伍尚忠. 现代农业发展的战略与对策—海峡两岸农业科技发展研讨会论文集[C]. 广州: 暨南大学出版社, 1997. 269—272.

[2] 洪添胜, 张泰岭, 罗锡文, 等. 步行船式车辆行走稳定性的比较研究[J]. 农业工程学报, 1999, 15(1): 63—68.

[3] 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.

[4] 刘国彬, 蒋定生, 朱显谟. 黄土区草地根系生物力学特性研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(3): 21—28.

[5] 黄文熙. 土的工程性质[M]. 北京: 水利电力出版社, 1983. 39—327.

[6] 中华人民共和国原城乡建设环境保护部. GBJ10—89 混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1991.

Experiment Study on the Shear Strength of Soil-Root Composite

HAO Tong-qi, XIE Xiao-yan, HONG Tian-sheng
(College of Polytechnic, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China)

Abstract: Applying the basic theory of engineering mechanics and experimental method of soil mechanics, the effect of grass roots on shear strength was measured. According to the model tests, the direct shear strength of SRC can be described by Coulomb equation. The shear strength of SRC increased with the amount of roots. Presuming that the action of roots in soil is similar that of steel bars in concrete, and proposed using the fomula for reinforced concrete to calculate the relations formula of SRC shear strength and the amount of root i. e. $\tau=\tau_0+0.14M_r f_r$. The formula showed that the friction force and anchorage stress can prevent the soil from being sheared. The roots can raise the strength of the soil, and contribute to support and advance of the machine.

Key words: soil-root composite(SRC); shear strength; anti-tensile strength; root amount; reinforced concrete

【责任编辑 柴 焰】