

植物对江岸边坡固坡效应及稳定性数值分析

赵志豪*, 丁洋, 孙浩然, 邹荣斌

(长江九江航道处, 江西 九江 332000)

摘要: 本文利用 FLAC^{3D} 数值分析软件, 验证了植物根系在江岸边坡固坡领域的应用, 在根系固土理论的基础上, 进一步研究了根系固土深度及密度对不同角度边坡稳定性影响规律。研究表明: 有植物根系的边坡稳定系数明显大于无根系边坡, 植物根系能够有效提高边坡整体稳定性; 边坡角度越大, 植被固坡稳定系数增量越大, 植物根系固坡效果越好; 边坡稳定系数随粘聚力增量 ΔC 呈非线性增长趋势; 当固土深度超过边坡潜在滑移面时, 稳定系数增量出现较大幅度增加。因此在生态护坡设计中应该考虑边坡坡角及滑移面位置, 确定种植密度及植物种类, 以满足边坡稳定性及生态要求。

关键词: 强度折减法; 边坡坡度; 有限差分法; 生态护坡

中图分类号: U617

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2025) 05—0089—03

随着“共抓大保护、不搞大开发”的长江发展理念的提出, 科学保护长江水域生态环境, 绿色发展长江沿岸经济成为共识。长江沿岸在基础建设过程中产生了大量的裸露边坡, 其中多采用传统加固方式, 破坏了区域生态环境。近年来, 随着生态防护理念的提出, 利用植物根系进行边坡护坡的方法在国内外得到了广泛的应用。大量研究表明, 植物根系能够有效提高边坡稳定性, 增加坡面抵抗雨水侵蚀能力, 减少水土流失, 具有较好的生态效益和护坡效果^[1-3]。Hu X.S. 等^[4]研究发现灌木根系能够有效提高边坡的抗滑力, 根系的整体抗拉强度和侧根数量存在线性关系。ROERING 等^[5]根据植物根系生长特征, 将根系对土体的作用主要分为浅层加筋和深层锚固作用。李雪尔等^[6,7]通过数值模拟方法研究了垂直根系对黄土边坡的锚固效应, 提出了不同角度边坡下的最优种植方案。大量研究结果表明, 植物根系能够

有效提高边坡整体稳定性, 且数值分析方法能够很好地运用于边坡稳定性分析, 但很少用于根系固坡效应研究。

本文在浅根固坡机理的基础上, 结合有限差分强度折减法对不同角度江岸边坡展开研究, 采用 FLAC^{3D} 软件分析不同固坡条件下的边坡稳定性, 从而得出根系固土深度及含根量对不同角度边坡稳定性的影响规律, 为植物护坡在实际长江沿岸边坡工程中的应用提供理论支持。

1 根系固坡数值分析

本文以长江九江航道处管辖水域某在建码头边坡作为案例, 基于快速拉格朗日强度折减法使用 FLAC^{3D} 软件进行数值分析, 将根土复合体及土体视为理想弹塑性材料并采用摩尔-库伦破坏准则。利用 Rhino 6 软件进行建模并划分网格, 坡长固定为 2 m, 坡脚至左侧边界取 1.5 倍的坡高, 坡顶至右端边界的距离为坡高的 2.5

相应的解决方案和应对措施, 保障了施工质量和安全, 还提高了施工效率, 为类似工程的开展提供了宝贵的经验和参考。未来, 我们应继续加强技术创新和施工管理, 不断提升内河航道养护护岸施工的技术水平和工程质量, 为推动我国水运工程事业的持续健康发展贡献力量。

参考文献:

- [1] 马骥, 石岩. 现代化背景下的内河航道高质量发展路径研究[J]. 中国水运, 2024, (23): 17-20.
- [2] 余治均. 促进水运可持续发展的航道维护策略研究[J]. 珠江水运, 2024, (14): 138-140.

- [3] 孔令竹. 水利工程河道治理护岸防护施工工艺[J]. 中国高新科技, 2024, (06): 132-134.

- [4] 汪昕. 航道整治护岸工程施工工艺要点探析[J]. 工程技术研究, 2021, 6(14): 120-121.

- [5] 杨广霖. 京杭运河江苏段绿色现代航运综合整治工程施工组织设计研究[J]. 中国水运, 2024, 24(22): 68-70.

- [6] 何雅玲, 胡翔. 港口航道护岸工程中的软基处理施工技术[J]. 中国水运, 2022, (09): 115-117.

- [7] 陈向阳, 方勇. 港口航道护岸工程中的软基处理施工工艺[J]. 珠江水运, 2021, (16): 29-30.

倍,模型总高为坡高的3倍^[8]。采用四边形网格划分,网格大小为0.5m,以30°边坡为例,计算网格模型如图1所示。约束模型两侧z方向位移,底面xyz方向位移,坡表设置为自由面。边坡土体模拟参数为 $\gamma=17\text{ kN/m}^3$, $c=0$, $\varphi=18^\circ$ 。模拟过程均不考虑渗流作用影响。

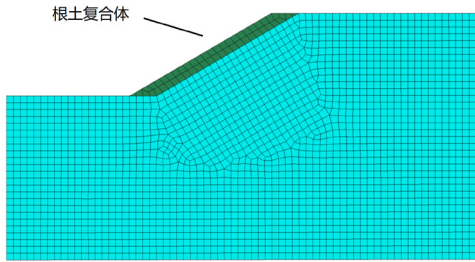


图1 斜坡面植物护坡计算模型

为了研究植物根系在不同坡度下的护坡效果,算例考虑了含根量和根系影响深度分别在20°、30°、40°下的护坡效应,得出不同坡度下,植物根系的固土效应。根据傅海峰等^[9]通过数值模拟研究发现,全坡面植物防护和斜坡面植物防护计算得到的稳定系数相差不大,因此,仅在坡面设置植物防护。

2 结果分析

2.1 含根量(粘聚力)对边坡稳定性作用

研究表明^[10],植物根系能够提高边坡浅层土体的抗剪强度,主要表现在粘聚力 c 的增加,随着土体的含根量增加,粘聚力 c 也随之增大;当土体的含根量超过最优含根量时,根土复合体的抗剪强度将会下降。因此本文以粘聚力增量 ΔC 作为含根量在合理区间增加的表现特征参数,取最优含根量时,土体粘聚力增量为10 kPa。本文取 ΔC 为0~10 kPa,根系固土深度分别为0.5 m、1 m、1.5 m。当取护坡深度 $H_R=1\text{ m}$,提高土体含根量时,对不同坡度下的模型进行计算。不同角度边坡在不同含根量固坡作用下的稳定系数计算结果如图2、图3所示。

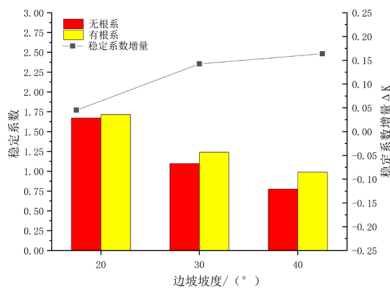


图2 稳定系数变化与边坡坡度的关系

图2-图3可以看出:有植物根系的边坡稳定

系数明显大于无根系边坡,边坡稳定系数增量为0.045~0.164,可见植物根系很好地提高了根土复合体的抗剪强度,提高了边坡表层土的稳定性。边坡角度越大,边坡稳定性越低,有植被边坡稳定系数增量越大,说明植物根系对坡角较大的边坡加固效果更加明显。坡表根土复合体的粘聚力随着含根量的增加而增加,随着粘聚力增量 ΔC 的增加,边坡稳定系数增量呈增加趋势,但是这种增加趋势是逐渐递减的,当含根量达到一定程度时,稳定系数增量 ΔK 几乎不变,此时含根量的增加对边坡稳定性的提高没有明显作用。

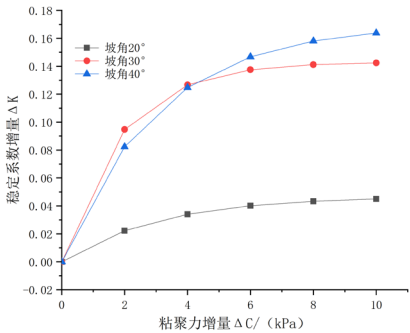


图3 稳定系数增量变化与粘聚力增量的关系

2.2 根系固土深度对边坡稳定性作用

如图4~7所示,随着根系固土深度的增加,边坡稳定系数也随之增加,随着粘聚力增量 ΔC 的增加,这种增长趋势是递减的,稳定系数曲线逐渐趋于水平。随着坡度的增加,固土深度的增加对边坡稳定系数的提升也逐渐减弱,稳定系数增量 ΔK 随固土深度 H_R 的增加呈非线性增长趋势,当固土深度从0.5 m增加至1.0 m时,稳定系数增量出现较大幅度增加。这是由于浅根系仅仅作用于表层土体,当根系固土深度超过滑移面时,可以提高边坡土体抗剪强度,从而大幅度提高边坡稳定系数。因此,在实际边坡生态防护工程设计中应该根据边坡坡角,确定最优种植密度以及固土深度,使得以最小的经济成本满足工程的稳定性要求和生态要求。

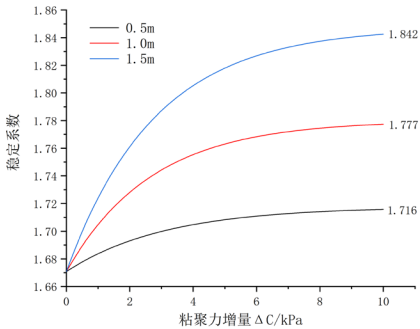


图4 20° 边坡稳定系数变化与 ΔC 的关系

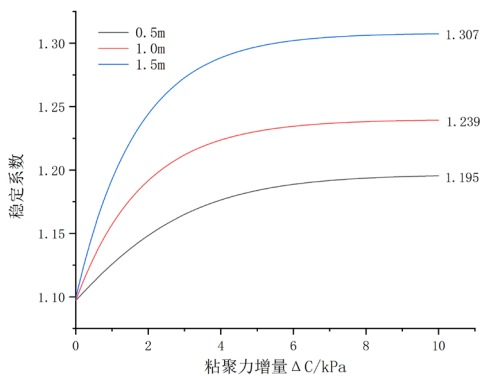


图 5 30° 边坡稳定系数变化与 ΔC 的关系

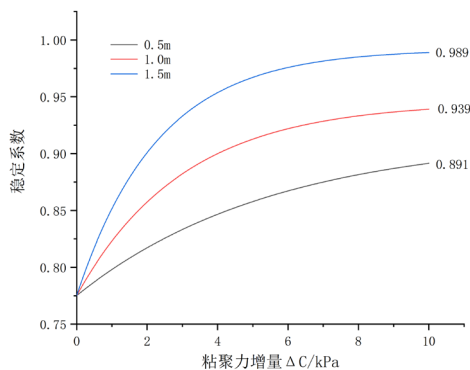


图 6 40° 边坡稳定系数变化与 ΔC 的关系

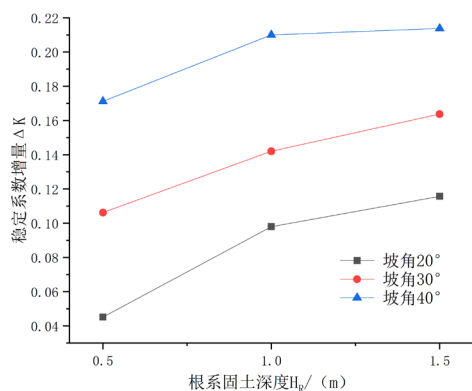


图 7 不同角度边坡 ΔK 与根系固土深度的关系

3 结论

基于有限差分强度折减法对不同角度江岸边坡植物根系固坡效应及稳定性进行了分析,以塑性区贯通及计算不收敛作为判断边坡失稳依据。由于根系分布具有随机性和复杂性,以粘聚力增量 ΔC 作为根土复合体中含根量增加的表现特征参数,在多种工况下对边坡进行了整体稳定性计算。

(1) 浅根对表层土体具有三维加筋作用,形成了类似钢筋混凝土的根土复合体,根系作为筋材,增强了土体间的粘结力和摩擦力,从而提高了根土复合体的抗

剪强度,主要表现在粘聚力的增加。计算结果表明,根系的对表层土的固土作用明显提高了边坡的整体稳定性。

(2) 对于不同角度江岸边坡,边坡稳定系数随着固土深度和粘聚力增量的增加呈非线性增长趋势,逐渐趋于水平。边坡坡角越大,根系固土效应越明显,当固土深度大于滑移面位置,含根量为最佳含根量时,根系固土效应最好。在实际工程中应该尽可能选择根系发达,且根系强度较高的植物。

(3) 本文计算表明,利用有限差分法对植物根系固坡效应进行研究是可行的,但是缺乏实测数据支撑,需要进行进一步的探讨和研究。植物根系对表层土体的影响是多方面的,除了提高土体抗剪强度外,根系可以降低雨水对坡表的侵蚀,降低水土流失,吸收土体水分,分散土体应力,通过根系将应力传递至土体深部,从而提高土体整体抵抗降雨影响能力。为此需要进一步研究雨水侵蚀及孔隙水对根土复合体的作用机理,结合长江上、中、下游江岸边坡工程实例对根系固坡效应进行研究。

参考文献:

- [1] 廖田婷,蒋关鲁,张崇磊,等.考虑水文效应的不同植被根系护坡效果数值分析[J].长江科学院院报,2022,39(09):102-108+117.
- [2] 嵇晓雷,尹鹏.不同生长时间根系对边坡稳定性的影响[J].中南林业科技大学学报,2020,40(12):144-150+178.
- [3] 吴鹏,谢朋成,宋文龙,等.基于根系形态的植物根系力学与固土护坡作用机理[J].东北林业大学学报,2014,42(05):139-142.
- [4] X.S.Hu~(1,2*), G.C.Chen~2, et al. Study on Mechanical Effects of Shrub Roots for Slope Protection[C]//中国力学学会.Computational Mechanics:Proceedings of ISCM2007. 2007:1.
- [5] Roering J, Schmidt M K, Stock D J, et al. Shallow landsliding, root reinforcement, and the spatial distribution of trees in the Oregon Coast Range[J]. Canadian Geotechnical Journal,2003,40(2):237-253.
- [6] 郑力,谢春燕,李岩,等.强度折减法在三种坡度下的植物护坡应用[J].水利水电技术,2017,48(12):138-145.
- [7] 李雪尔,谢春燕,李岩,等.植物根系护坡的有限元数值分析[J].西南师范大学学报(自然科学版),2018,43(02):76-82.
- [8] 郑颖人,赵尚毅,邓楚键,等.有限元极限分析法发展及其在岩土工程中的应用[J].中国工程科学,2006,(12):39-61+112.
- [9] 蒋希雁,何春晓,董捷,等.植物根系对浅层边坡稳定性的影响研究[J].人民黄河,2020,42(08):109-112.
- [10] 李珍玉,欧阳森,肖宏彬,等.植物根系生长形态对膨胀土边坡土体抗剪强度的影响[J].中南大学学报(自然科学版),2022,53(01):181-189.