

基于有限元强度折减法的边坡在不同工况下的安全状态分析

张雪娇¹, 夏振尧² (1. 三峡大学水利与环境学院, 湖北宜昌 443002; 2. 三峡大学土木与建筑学院, 湖北宜昌 443002)

摘要 使用 ANSYS 软件, 对边坡进行二维建模, 采用二维有限元强度折减法对不同工况下边坡的进行安全稳定性分析。当有限元计算的数值不再收敛时, 边坡处于临界状态, 此时的折减系数(F_s 值)即作为边坡稳定安全系数 K 。计算得出各种工况下的安全稳定系数, 进而对边坡的稳定情况做进一步分析。结果采用有限元强度折减法求得的边坡安全系数与传统的刚体极限平衡法求出的结果近似。

关键词 工况; 有限元强度折减; 安全系数

中图分类号 S274 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)08-311-02

Strength Reduction Finite Element Analysis of Slope Safety Status in Different Conditions

ZHANG Xue-jiao¹, XIA Zhen-yao² (1. College of Hydraulic and Environmental Engineering, China Three Gorges University, Yichang, Hubei 443002; 2. College of Civil Engineering and Architecture, China Three Gorges University, Yichang, Hubei 443002)

Abstract Using ANSYS software, slope-dimensional modeling, safety and stability analysis was conducted on slope under difference condition by using two-dimensional finite element strength reduction. Using strength reduction, when the value is no longer FEM convergence, the slope is in critical condition at this time reduction factor (value) that as a safety factor of slope K . Security and stability coefficient under various conditions were calculated, and thus the stability of the slope was further analyzed. The results show that the results of the finite element strength reduction factor of safety obtained with the traditional limit equilibrium method obtained are approximately similar.

Key words Working conditions; Strength reduction FEM; Safety factor

边坡稳定性分析是岩土工程和岩体力学研究中十分重要的一个内容, 目前边坡稳定性分析方法的研究发展迅速, 其原有的研究成果不断完善, 且又有新的理论和方法引入, 使边坡稳定性研究进入了前所未有的阶段^[1-4]。通常人们采用安全系数来评价其稳定性状态, 其原理简单, 物理意义明确, 至今仍为边坡稳定性分析中最重要的指标和概念。严格地说来安全系数是基于极限平衡分析方法的一种评价指标, 数值模拟方法则是与极限平衡分析方法并行的一种分析方法, 数值模拟方法侧重于岩土体应力-应变及破坏机理的分析, 在早期的边坡稳定性分析中这二者是不存在交汇点的。基于数值模拟技术的强度折减法的出现改变了这一局面, 成为联系这 2 种分析思想的纽带。

目前, 边坡稳定性分析方法主要有两种, 即基于刚体极限平衡理论的传统计算方法和有限单元法。与传统极限平衡法相比, 有限元法不需要作出任何假定, 而且能够得到土坡位移变化情况以及土体的塑性变形发展情况, 这些数据对指导施工非常重要。因此, 有限元法近年来在工程中的应用取得了快速发展^[5-7]。

1 有限元强度折减法

强度折减法中边坡稳定的安全系数被定义为: 使边坡刚好达到临界状态时, 对岩、土体的抗剪强度进行折减的程度, 即安全系数为岩土体的实际抗剪强度与临界破坏时的折减后剪切强度的比值。强度折减法的要点是利用以下 2 个公式来调整岩土体的强度指标 c 和 φ ,

$$c' = \frac{c}{F_s} \quad (1)$$

$$\varphi' = \frac{\tan\varphi}{F_s} \quad (2)$$

式中: c —土体的黏聚力; φ —土体的内摩擦角; F_s —折减系数。

将土体的抗剪强度指标 c 和 φ 用折减系数 F_s 按(1)、(2)式进行折减, 然后用折减后的抗剪强度 c 指标和 φ 代替原来的抗剪强度指标 c 和 φ , 直至坡体达到临界状态, 坡体达到临界状态时的 F_s 值即作为边坡稳定安全系数 K ^[8]。

2 工程实例分析

2.1 工程概况 边坡位于金沙江上游一坝址建设区内, 为顺层崩滑堆积体, 早期的滑移崩塌方向为拉哇沟方向; 堆积体前缘在拉哇沟内高程为 2 710 m 左右, 临金沙江侧堆积体边界最低高程为 2 825 m 左右, 后缘高程为 3 300 m 左右, 呈不规则的长舌状, 沿拉哇沟方向长度为 700~850 m, 垂直拉哇沟方向长度为 620~110 m, 平面面积为 0.65 km², 体积约 2 720 万 m³, 最大厚度约 75 m, 平均厚度约 42 m。

堆积体分布高程为 2 710~3 240 m, 呈半椭圆状, 下部宽约 850 m。堆积体东侧为小山脊, 多处见灰岩基岩露头; 堆积后缘为斜坡, 地形坡度为 30°~35°, 地表为崩坡积层覆盖; 堆积体西侧(临金沙江侧)最低高程在 2 825 m 以上, 高程 2 825 m 以下, 临金沙江地形坡度为 32°~39°, 局部见陡坎, 基岩裸露。岩层岩性为上段为大理岩组(Ptxnb), 下段为片麻岩组(Ptxna), 岩层产状为轴向 NNW, 320°左右。

表 1 物理力学参数取值

地质体	c /kPa	φ (°)
堆积区	55	28.0
山脊	800	28.8
堆积Ⅲ区	55	28.0
出露基岩	600	35.0
全风化层	80	29.0
外围表层	150	33.0
片麻岩层	水上	850
	水下	765
基岩	1 250	47.7

2.2 主要分析计算过程

(1) 首先利用 ANSYS 软件建立二维边坡模型,如图 1 所示。边坡约束条件采用模型侧边和底边均为法向约束,其他面自由。模型重力方向为 Y 方向,坡向为 X 方向。

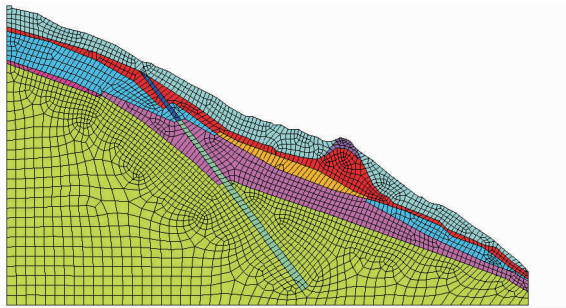


图 1 坡面二维计算模型

(2) 采用完全牛顿迭代法(Full-N-R),设置位移收敛条件。文中以位移计算不收敛为边坡失稳的判断依据。从折减系数 $F_s = 1.0$ 开始计算,每次增加 0.1 对 c 和 φ 进行折减,当分析中出现不收敛或收敛困难,塑性区域明显集中且可能产生贯通的塑性滑动带时,判定上一次计算的折减系数为边坡的安全系数。

(3) 计算工况说明。根据背景资料计算堆积体 I 区的稳定情况,边坡 c 、 φ 的取值为: c 取值 55 kPa, φ 取值 28.0° 。拉勉堆积体边坡进行稳定分析时,模拟以下 3 种计算工况:

- ① 工况:天然边坡在自重荷载 + 地下水位 + 暴雨条件下的稳定情况;
- ② 工况:开挖(未加固)边坡在自重荷载 + 地下水位 + 暴雨条件下的稳定情况;
- ③ 工况:加固边坡在自重荷载 + 地下水位 + 暴雨条件下的稳定情况。

其中对于开挖状态,采用建立开挖模型方法实现。对于加抗滑桩状态,采用建立抗滑桩模型方法实现。对于锚固状态,采用施加顺锚固方向力实现。

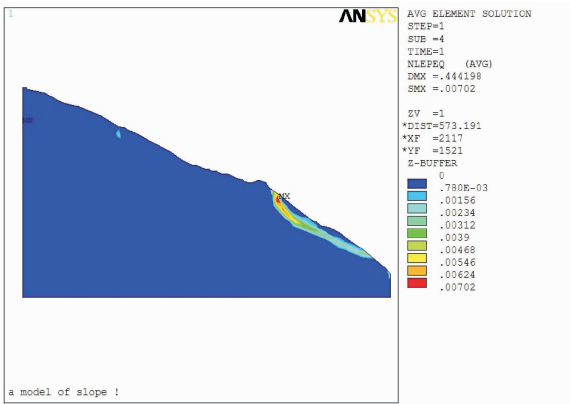


图 2 工况①堆积体边坡塑性区

根据结果分析在工况①状态下,其安全系数为 1.227;在工况②状态下,其安全系数为 1.090;在工况③状态下,其安全系数为 1.591。

2.3 计算结果及分析 使用 ANSYS 软件,对边坡进行二维建模,采用强度折减法进行稳定性分析。边坡在工况①、②、

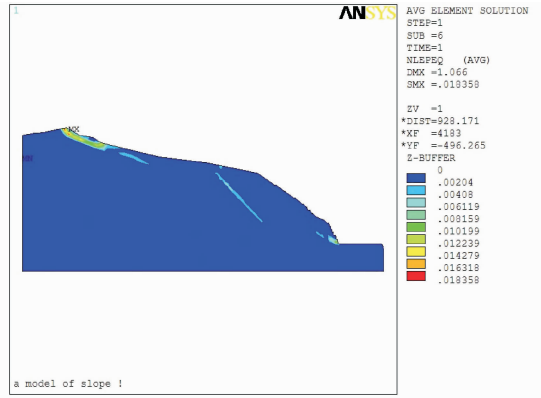


图 3 工况②堆积体边坡塑性区

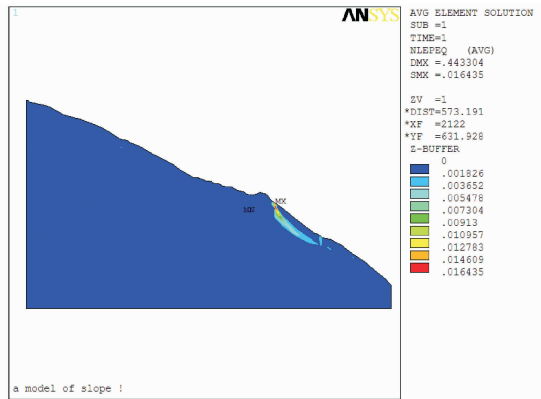


图 4 工况③堆积体边坡塑性区

③下的安全系数与刚体极限平衡法算得的结果一致。同时考虑不同工况下边坡的安全性,采用建模的方法对抗滑桩进行模拟,节点荷载施加的方法对锚索进行模拟,二维有限元强度折减法计算通过边坡临界状态的塑性区分布图对比计算分析。得出边坡在 3 种工况下安全系数均大于 1,边坡在天然状态下安全系数为 1.227,开挖下为 1.090,加固作用下为 1.591;边坡在天然、开挖、加固状态下,安全系数变化规律性较为明显,加固边坡稳定性最好,天然边坡次之;开挖未加固边坡表现出的稳定性较差。

3 结语

(1) 采用 ANSYS 的大型通用有限元软件,使模型建立更加精准^[4],从而保证了计算结果的准确性。而且非线性有限元强度折减系数法除了可以计算出塑性区内的位移、应力、应变等以外,还能反映塑性区内的扩张趋势。

(2) 有限元强度折减不需要做出任何假定,就能计算出安全系数,在某种程度上来说他克服了传统的极限平衡法的缺陷。有限元强度折减法不仅考虑了土体位移、应力和应变的作用,得到应力、应变之间的关系图,而且计算模型也满足了力的平衡方程。

(3) 在计算边坡的稳定安全系数上,无疑有限元强度折减法开辟了另一条计算途径。其计算结果与刚体极限平衡法的计算结果几乎相同,可以应用于工程实际。

(下转第 314 页)

1.4 农机农艺结合 机插秧技术推广中,育秧是关键环节,它与常规育秧相比,具有播种密度大、标准化程度高等特点。农机部门主动联系农业部门,县农技站专门派出农业技术专家,在育秧环节、秧苗管理、水稻病虫害防治等环节上严把质量关。2009年在小岗村进行的机插秧百亩示范片和水稻新品种示范片活动中,由农技站负责机插秧育秧,苗情管理和病虫害防治,农机站负责土地平整、灌水、协调机具和栽插工作,当年取得很好的示范效果,群众反应很好。农机农艺相结合,对机械化技术推广应用起到一定促进作用。

2 技术服务措施

2.1 农机部门督促插秧机厂家搞好售后服务 每年年初,在机插秧开始之前,农机部门主动联系插秧机生产厂家,对全县的插秧机进行检查维修,确保插秧机能够正常作业,不耽误农时。同时,在农忙季节备足零配件,保证插秧机配件供应,并提供上门服务。

2.2 农机推广技术员提供技术服务 在全县范围内,选派农机技术人员到机插秧厂家培训学习,使他们成为技术骨干,为凤阳县插秧机使用维护提供技术保证。全县共成立9支技术服务队伍,每个机插秧季节都深入乡村,奔波在田间地头随时提供技术服务,每年服务农户达500次之多。

2.3 农技部门提供水稻田间管理和病虫害防治技术服务 在机插秧育秧时节,农业技术员负责秧苗田间管理、病虫害防治的技术指导,保证机插秧每个环节都有技术人员保驾护航,使农户用得放心,生产安心。

3 存在问题 从几年来水稻机插秧技术推广工作来看,主要存在以下问题:

(1)技术应用不到位。现阶段,凤阳县主要是软盘育秧,育秧环节较繁杂,农民朋友们知识层次差异较大,掌握技术熟练程度参差不齐,且长期习惯于粗放种植模式,育秧不能按照规范要求操作,影响秧苗质量,机插秧达不到农艺要求,加之管理不到位,影响机插水稻进一步高产。

(2)技术服务不配套。随着插秧面积的扩大和插秧机数量增加,技术服务跟不上的矛盾日益突出。新机手维护保养水平不高,使用后的插秧机清洗、保养、保管工作存在严重不足,易导致部件损坏和丢失,影响机械使用寿命;操作不熟练,机具调整不当,严重影响机插秧质量。

(3)水利条件的制约。水稻机插秧技术对田水要求较为严格,即浅水灌溉,旱能灌、涝能排。而现阶段凤阳县水利资源缺乏,农田灌溉多采用集中供水方式,因此机插秧在水管理条件上不能得到很好保证。

(4)田块条件的限制。目前,凤阳县农户土地分散,田块不集中而且面积不大;水稻田基础设施较差,有的乡连机耕道路都没有,这些在一定程度上影响了机插秧技术的推广使用。

4 几点建议

(1)发展商品化供秧,提高技术应用的到位率。随着凤阳县机插秧社会化服务的逐步展开,充分利用农机合作社、家庭农场、育秧工厂等条件进行标准化作业的时机已经成熟。现阶段凤阳县已有8家育秧工厂,每年能保证4000~6000 hm²机插秧秧苗,但这还不能满足生产需要,应进一步加强育秧工厂建设,以保证秧苗达到壮秧标准。

(2)加强新机手培训,提高服务质量。目前,凤阳县还没有专业的插秧机维修网点,应本着“强化县级,充实乡级,发展村级”的模式加快服务网络建设;加强农机推广队伍建设和培训,打造一支技术过硬、能打胜仗的农机推广队伍;切实加强插秧机手操作能力培训,做好插秧机售后服务,解决机手后顾之忧。

(3)加大农业基础设施建设。政府继续加大涉农资金投入,引导加快土地流转、土地治理工作,建立健全农田机耕道路和农田管网、沟渠;保障农技推广经费投入,改善基层农技推广办公条件和设施,为机械化作业提供保障。

(4)加强管理。结合凤阳县土地治理项目实施,对有条件的区域,采用统一品种、统一育秧、统一插秧、统一施肥、统一植保、统一田管,“六统一”方式进行生产管理,既能解决生产技术问题,又能解决机插秧管水难的问题。2014年,凤阳县小溪河镇齐郢村土地治理后,经大户流转200 hm²土地,通过企户结合,已经基本做到了“六个统一”,效果很好,因此值得推广。

参考文献

[1] 凤阳农机化网.//www.ahnjh.gov.cn/subarea/cnfy/list.asp? class_id = 669.

(上接第312页)

参考文献

- [1] 李建林,王乐华,刘杰,等.岩石边坡工程[M].北京:中国水利水电出版社,2006.
- [2] 郑颖人,龚晓南.岩土塑性力学基础[M].北京:中国建筑工业出版社,1987.
- [3] 周云,艾明建,李幼华.梯级水电站间水库调节效益偿付方法研究[J].水力发电,2000(3):7-10.
- [4] 陈祖煜.土质边坡稳定分析:原理·方法·程序[M].北京:中国水利水

电出版社,2003.

- [5] 郑颖人,陈祖煜,王恭先,等.边坡与滑坡工程治理[M].北京:人民交通出版社,2007.
- [6] 郑颖人,赵尚毅,时卫民.边坡稳定分析的一些进展[J].地下空间,2001(4):262-271.
- [7] 曾亚武,田伟明.边坡稳定性分析的有限元法与极限平衡法的结合[J].岩石力学与工程学报,2005(S2):5355-5359.
- [8] 郑颖人,赵尚毅.有限元强度折减法在土坡与岩坡中的应用[J].岩石力学与工程学报,2004(19):3381-3388.