

基于MIDAS关于膨胀土边坡降雨入渗稳定性研究

李雨梵 李文杰 李懿芳

西华大学 四川成都 610039

摘要: 降雨入渗对边坡稳定性有消极的影响, 会引发滑坡等地质灾害, 造成巨大的生命财产损失。本文采用Midas-GTS NX有限元软件建立数值分析模型, 采用不同强度持续降雨对边坡稳定性进行分析, 观测边坡不同降水工况下的安全系数、位移、孔隙水压力的变化情况。研究成果为提高膨胀土边坡稳定性提供借鉴, 为工程的边坡防护措施提供理论依据。
关键词: 边坡稳定性; 降雨入渗; MIDAS软件

Research on rainfall infiltration stability of expansive soil slope based on MIDAS

Yufan Li, Wenjie Li, Yifang Li

Xihua University, Chengdu 610039, China

Abstract: Rainfall infiltration has a negative effect on slope stability, which will lead to landslide and other geological disasters, resulting in huge loss of life and property. In this paper, Midas-GTS NX finite element software is used to establish a numerical analysis model, and continuous rainfall of different intensification is used to analyze the stability of the slope, and the changes of safety factor, displacement and pore water pressure of the slope under different precipitation conditions are observed. The research results provide reference and practical guidance for improving the stability of expansive soil slope, and provide theoretical basis for slope protection measures in engineering.
Keywords: Slope stability; Rainfall infiltration; MIDAS software

2022年5月26日, 福建省龙岩市武平县出现集中强降雨天气, 导致当地多个乡镇出现道路积水、滑坡、塌方等现象, 其中, 武平县十方镇过程雨量达到近200毫米, 造成十方镇中和行政村的三个自然村交通、供电中断, 部分区域通信中断, 同时村内也因山体滑坡, 导致一处厂房及一处民房倒塌, 共造成8人死亡。^[1]

由此可见, 在大暴雨的气象条件下保证膨胀土边坡稳定性是一个急切需要解决的问题。

1 膨胀土边坡特性

膨胀土边坡破坏机理

膨胀土的公路路基边坡在施工完成后, 如果没有对坡面及时采取防护措施, 就会受大气环境的影响, 在干旱时节, 膨胀土边坡坡面由于长期没有得到水分供给, 边坡表面会干缩开裂形成细小裂纹, 细小裂纹进一步扩展变成贯穿坡面的裂缝; 在连续降雨时节, 上述形成的贯穿坡面的裂缝就成了边坡坡体吸水的通道, 增大坡体的饱和重度和含水量, 并且减小坡体的抗剪强度指标值, 侵蚀边坡, 当侵蚀积累到一定程度就会产生滑坡、崩塌等现象。^[2]

2 非饱和土降雨入渗特点

非饱和土降雨入渗的过程就是边坡土体从非饱和状态逐渐向饱和状态转变的一个过程。开始降雨时, 边坡土体大

部分还处于非饱和状态, 土体的渗透性较高, 此时降雨对土体的入渗强度取决于降雨强度, 若降雨强度较大, 一部分降雨会形成地表径流流走, 并在边坡土体表面区域形成饱和区, 渗透性也因此降低。^[3]

3 数值分析

3.1 参数设置

边坡计算模型参数见图1。

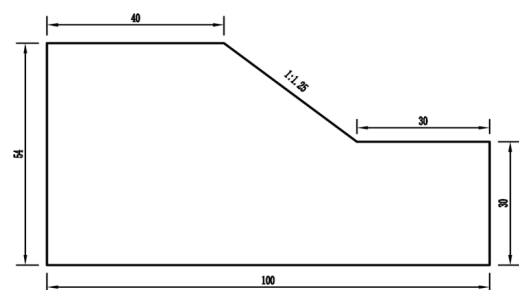


图1 边坡模型尺寸参数 (m)

表1 边坡参数

弹性模量 (kN/m ²)	泊松比	容重 (kN/m ³)	粘聚力 (kN/m ²)	内摩擦角 (°)
3500	0.23	21	20	20

3.2 模型建立

边坡土体遵循摩尔-库伦破坏准则。模型建立流程包括：

1. 导入CAD模型；
2. 添加材料和属性（部分如表1所示）；
3. 网格划分模型（坡面以及靠近坡面的部分网格尺寸取1m，其余部分均取3m）；
4. 设置初始水头（左侧初始水头为10m，右侧初始水头为5m）；
5. 赋予自重静力荷载；
6. 设置边界位移约束
7. 设置降雨强度，设置上部的降雨强度分别为5mm/h、10mm/h、15mm/h、20mm/h以及25mm/h五个工况，降雨历时为72h；
8. 计算求解，在不同的降雨强度条件下计算膨胀土边坡的安全系数、变形位移、孔隙水压，分析它们的变化规律。

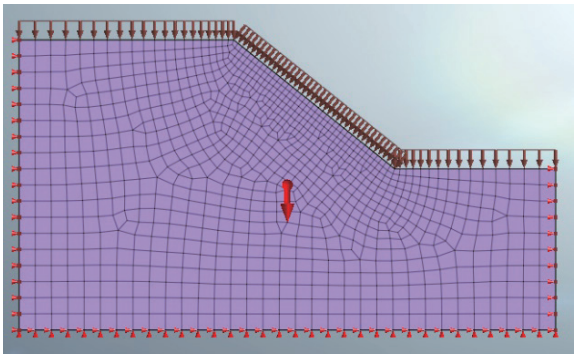


图2 边坡计算模型

4 计算结果与分析

4.1 边坡稳定性计算结果与分析

在不同的降雨强度下分析边坡稳定性，求解得到的安全系数如表2所示，趋势图如图3所示。

随着降雨强度增大，边坡稳定性降低。安全系数是坡体的抗滑力与下滑力的比值，当增大降雨强度时，土体容重增大，导致坡体下滑力增大，安全系数减小。

根据分析结果，可以对此边坡沿线道路设置预警系统。当降雨强度大于15mm/h就要特别注意，继续增加的降雨强度会使边坡安全系数迅速下降，大大增大边坡滑坡造成人员伤亡的危险，可以根据降雨强度预警，采取交通临时管制措施等，也可以根据后文采取边坡防护措施。

表2 不同降雨强度的安全系数计算结果

降雨强度 (mm/h)	降雨时间 (h)	安全系数
5	72	1.241
10	72	1.226
15	72	1.215
20	72	1.200
25	72	1.176

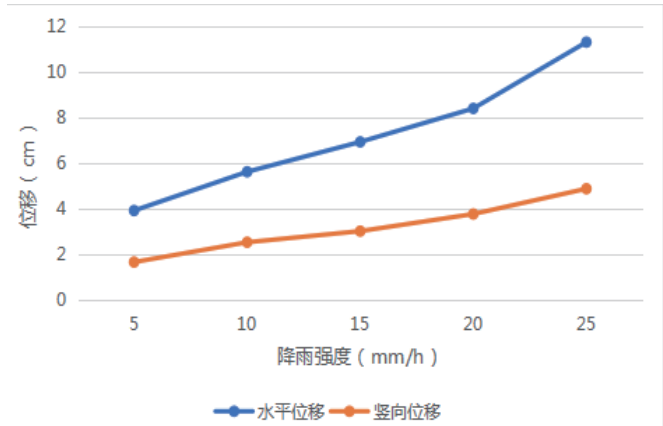


图3 不同降雨强度下的安全系数变化

4.2 位移结果及分析

72h不同降雨强度的降雨入渗的边坡最大变形结果结果如表3、图4所示，随着降雨强度的增大，最大位移值也逐渐增大。图5和图6表面坡体的膨胀土膨胀变形大，表面的位移量较大，最大位移出现在坡脚处，该处极可能成为坡体滑动的始滑点。滑坡的土体主要发生水平方向的位移，这是因为滑坡具有典型的推移式特点。

由此可以针对边坡进行工程防护，采用混凝土护坡或植被护坡。混凝土护坡使用较为方面，耐久性较好，强度较大，特别是要在坡脚加强防护。采用植物护坡可以增加植被的面积，减少地表径流与降雨入渗，植物复杂的根系能够极大的增加边坡的稳定性。

表3 不同降雨强度的最大位移计算结果

降雨强度 (mm/h)	水平位移 (cm)	竖向位移 (cm)
5	3.932	1.674
10	5.633	2.544
15	6.942	3.031
20	8.409	3.781
25	11.315	4.890

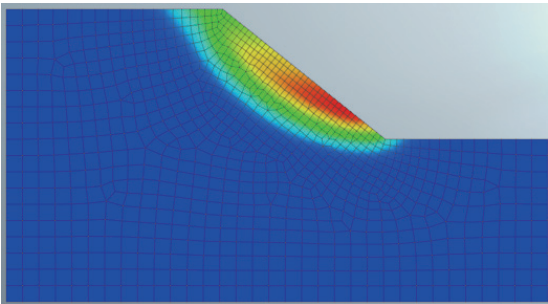


图4 降雨强度为20mm/h时的x（水平）方向位移图

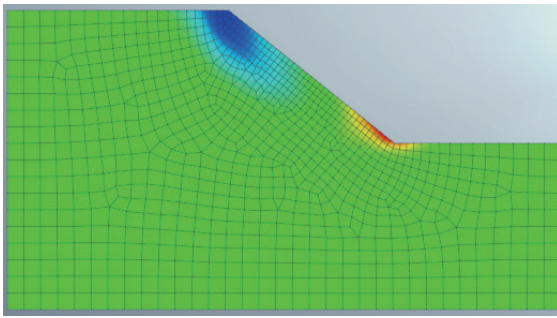
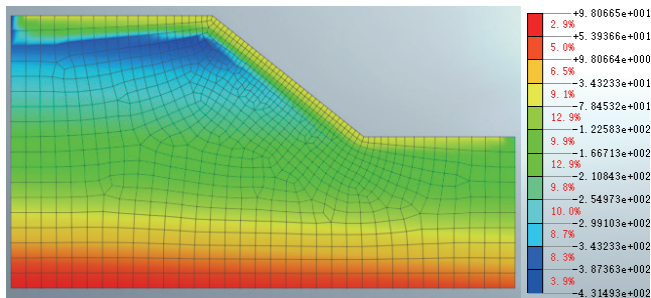


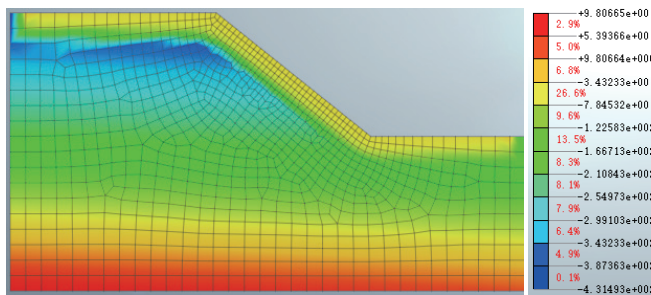
图5 降雨强度为20mm/h时的y(竖直)方向位移图

4.3 孔隙水压结果及分析

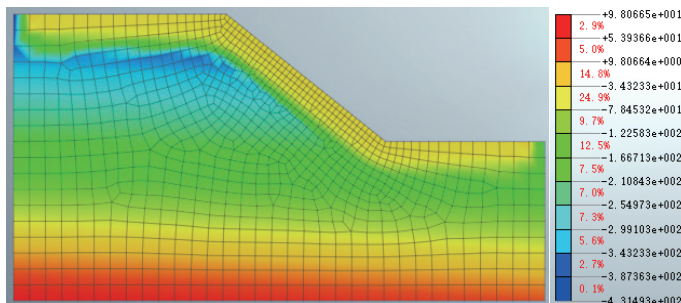
随着降雨强度增大,非饱和土边坡负孔隙水压正在慢慢下降。在土体未达到饱和状态前,孔隙压力由孔隙水压和孔隙气压力组成,孔隙气压力与孔隙水压力的差值称为基质吸力,当孔隙压力增大,基质吸力会减小,基质吸力减小则会使土体强度显著降低,从而降低土体抵抗变形与破坏的能力,导致边坡稳定性降低。



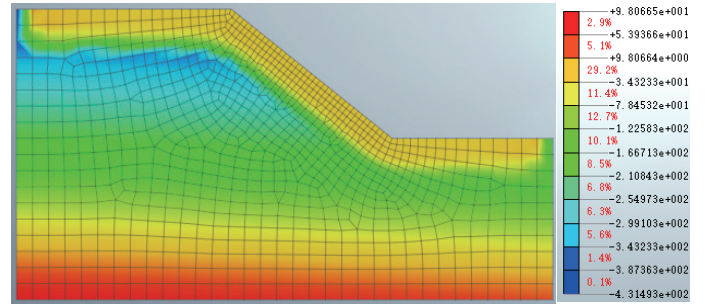
(a) 5mm/h



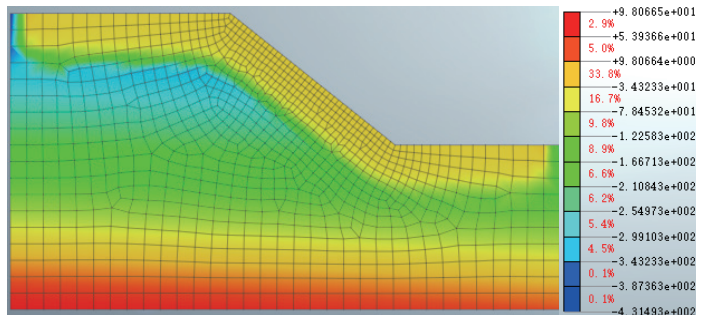
(b) 10mm/h



(c) 15mm/h



(d) 20mm/h



(e) 25mm/h

图6 (a) - (e) 为在不同降雨强度下的孔隙水压力

结论

(1) 边坡安全系数随着降雨强度的增大而减小,归根结底问题出在由于自重产生的下滑力增大,因此通过削坡减载可以加强边坡稳定性;

(2) 随着降雨强度的增大,坡体位移值也逐渐增大,且最大位移值出现在坡脚处,应加强坡脚处加固措施;

(3) 降雨强度增大,孔隙水压增大,基质吸力增大,土体强度减小,边坡稳定性降低,应及时处理积水,采取合理的排水措施。

(4) 膨胀土边坡由于膨胀-收缩-再膨胀的变化而产生的裂隙为降雨入渗提供了通道,因此降雨是膨胀土边坡破坏很重要的诱因,要注意坡面的防护,可以从植被防护与工程防护两方面进行。

参考文献:

- [1] 李袁辉, 李为展, 王治康. 冲在最前, 筑起红土地上的抗洪救援“堡垒” [J]. 安全与健康, 2022 (07): 44-46.
- [2] 李星. 公路膨胀土路基的沉降和边坡稳定性研究 [J]. 工程建设与设计, 2022 (02): 25-28.
- [3] 张庆海, 马令辉, 武立华, 李宁. 基于ABAQUS的降雨入渗作用下边坡稳定性分析 [J]. 绥化学院学报, 2023 (06): 149-152.