

考虑强度弱化后边坡降雨入渗稳定性分析

张焱

钦州市水利局

DOI:10.32629/hwr.v3i8.2330

[摘要] 以某电站厂房后边坡为实例,考虑降雨入渗导致岩体强度弱化后的非饱和流固耦合计算结果表明:将岩体强度定义为饱和度的函数时,非饱和流固耦合的分析结果与实际情况基本相符,更加全面的反映了降雨对边坡稳定性的不利影响。该研究成果对边坡工程实际有一定的指导作用。

[关键词] 降雨入渗; 强度弱化; 非饱和流固耦合; 边坡工程

引言

大量工程实践证明,滑坡灾害大都发生在降雨过后,雨水的入渗不仅增加了边坡的自重,同时岩体的力学参数也受到影响^[1]。周翠英等^[1]对饱水软岩的力学性质进行了研究,通过对华南地区广为分布的红色砂岩、泥岩及黑色炭质泥岩等几种不同类型的典型软岩在不同饱水状态的试验设计和力学性质测试。谭罗荣^[2]分析研究了粘土岩、泥岩等的泥化及开挖暴露后的吸水崩解现象。汤连生等^[3]对水-岩相互作用下的力学与环境效应进行了较为系统的研究。李克钢^[4]对饱和状态下的岩体试件进行剪切试验,绘制出相应的变形和强度曲线,得出饱和状态下岩体的抗剪性能参数。岩体在干燥情况下强度和硬度都符合工程要求,一旦遇水其强度会发生明显的降低,常常导致岩体湿化崩解,给岩土工程带来一系列的安全问题。

以往对边坡在降雨条件下的稳定性问题,都只是考虑了孔隙水压力的影响,并没有考虑到水对岩体弱化(湿化)的影响,本文基于修正后Mohr-Coulomb的准则,采用流固耦合的计算方法,考虑了岩体弱化的影响,分析了实际边坡工程在降雨入渗条件下的稳定性问题。计算结果表明,考虑岩体遇水弱化后的结果更加全面揭示了降雨导致边坡失稳的机理,边坡破坏情况与工程实际相符。

1 岩体遇水弱化

李克钢^[4]的试验结果表明:饱和状态下的抗剪强度与天然状态相比,粘聚力平均下降16.09%,摩擦角平均下降10.0%;李成江^[5]的室内试验结果表明单轴抗压强度和弹性模量与含水率基本呈线性关系,杨太华^[6]采用抗压强度、弹性模量弱化方程计算了不同含水率下的抗压强度、弹性模量,结果与试验数据相差较小,能较好的描述岩体遇水的弱化作用。

$$\begin{cases} \sigma_c = c_0 - A(w - w_0) \\ E = E_0 - B(w - w_0) \end{cases} \quad (1)$$

沈细中^[7]等将材料参数定义为饱和度的函数,以此来描述土体的湿化过程;以小浪库岸1#滑坡体为例,考虑材料参数随着水位变化而变化的实际情况,计算并评价了材料参数

随着库水位动态变化对库岸稳定性分析精度的影响。本文认为修正后的M-C破坏准则已经考虑到了岩体中水的力学效应,但是还未考虑到水的物理化学作用。

李克钢^[5]采用的试件上盘为粉质泥岩,下盘为砂岩,与本文选取的工程实例岩层情况较为相近,因此,本文采用文献^[6]的弱化规律(粘聚力平均下降16.09%,摩擦角平均下降10.0%),依据李成江^[6]的线性关系来描述岩体强度与饱和度的近似关系,来考虑岩体因降雨入渗后强度弱化对边坡的影响。

2 数值计算分析

计算模型依托某电站厂房后边坡,边坡高134m,公路以下边坡坡度为1:0.6,公路以上边坡坡度为1:0.75(网格模型、材料分区及监测点分布如图1),计算参数如表1,其中假设岩体在降雨前处于干燥状态,坡积土渗透系数为 5×10^{-6} m/s,其他岩体为 8.29×10^{-7} m/s。该边坡开挖后采用预应力锚索支护,但是由于连降暴雨,导致多处坡脚破坏,威胁到厂房安全。本文计算以降雨强度为降雨边界条件,不考虑降雨形成的地表积水,其中暴雨过程如图2:

表1 材料计算参数

岩体名称	天然容重	抗剪断强度		弹性模量	泊松比
	kN/m ³	f	C(MPa)	E(GPa)	μ
坡积土	18	0.42	0.05	0.03	0.32
强风化砂岩	21	0.48	0.05	1.4	0.3
弱风化砂岩	25.9	0.6	0.6	8.0	0.26
弱风化泥岩	25	0.5	0.3	3.0	0.28

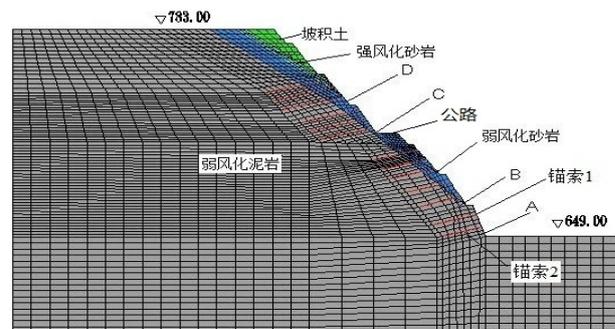


图1 计算模型及监测点分布图

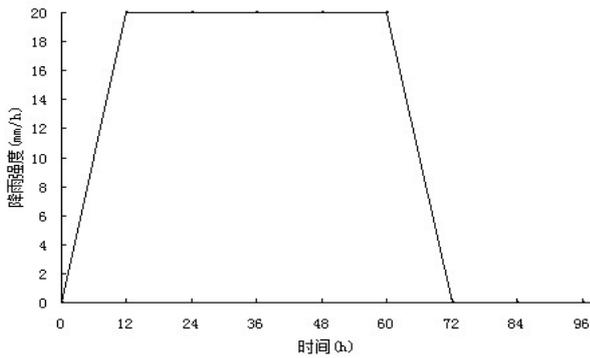
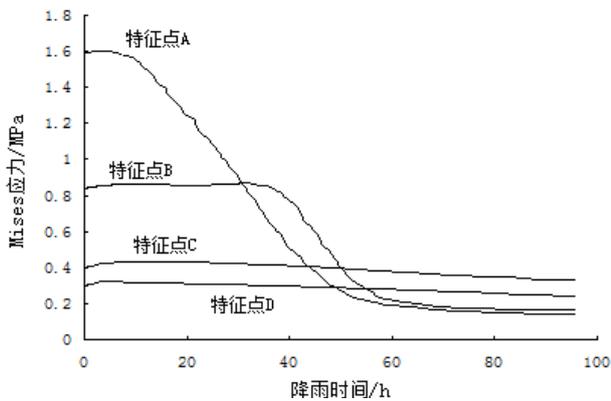


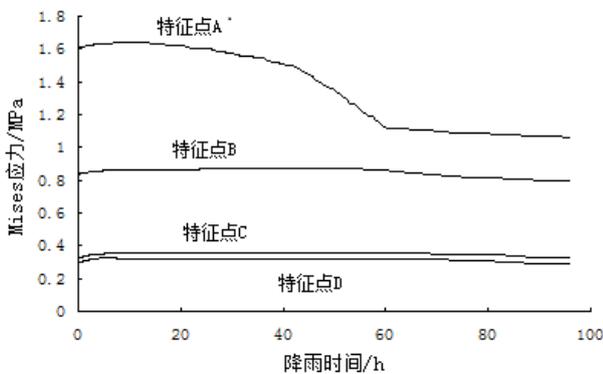
图2 降雨强度时间历程曲线图

3 结果分析

分别计算了考虑弱化与未考虑弱化降雨后边坡稳定性情况。图3为监测点等效应力时间历程图, 等效应力反映了复杂应力状态下受剪程度, 由于降雨入渗的影响, 边坡的含水量增加, 容重增大, 边坡浅层部位剪力增加, 单元屈服破坏后, 应力重新调整, 剪应力开始变小。图4-a为为降雨前边坡屈服区分布图, 图4-b、图4-c分别为降雨后屈服区分布图 (b未考虑弱化, c考虑弱化), 从图中可以看出, 由于降雨入渗的影响, 边坡浅层部位剪应力增加, 边坡浅层更容易先发生塑性破坏, 并由坡趾沿坡面逐渐向坡顶延伸。考虑岩体强度弱化后, 屈服区明显扩大, 且坡脚锚索加固处的岩体已经完全屈服。

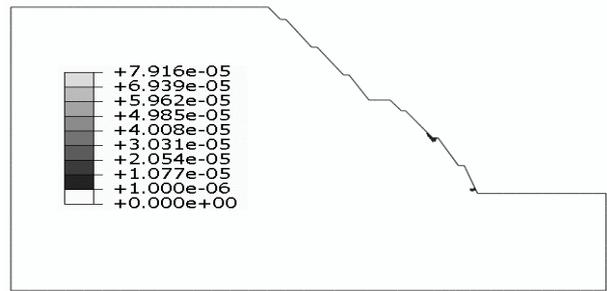


A 考虑弱化

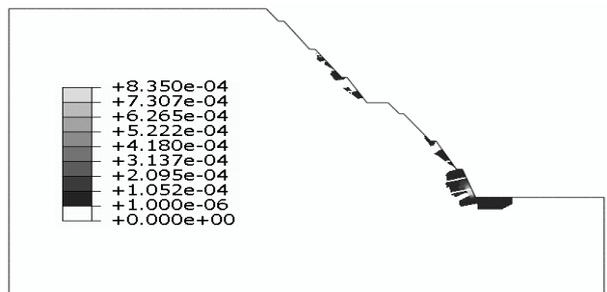


B 未考虑弱化

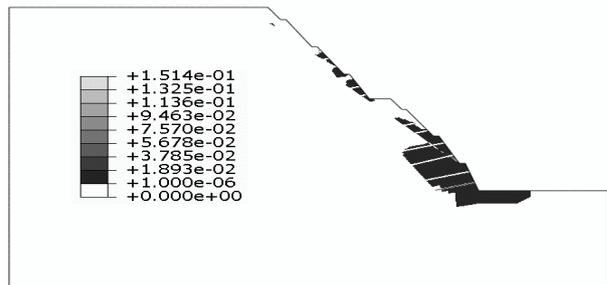
图3 监测点Mises应力时间历程图



A 降雨前



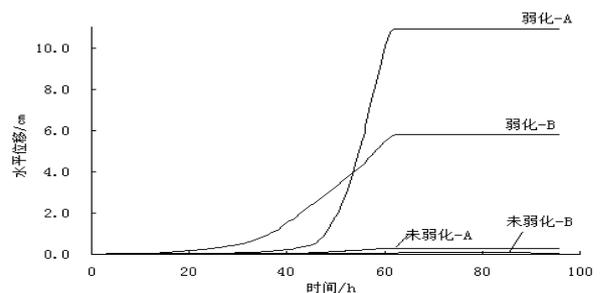
B 未考虑弱化



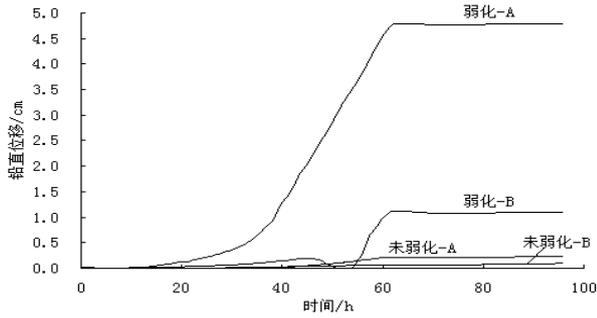
C 考虑弱化

图4 边坡屈服区分布图

图5-a、图5-b为监测点A、B水平及铅直位移时间历程图, 从图中可以看出, 未考虑岩体弱化时, 各监测点的位移均很小只有毫米级。当考虑弱化的影响后, 监测点的位移达到10个厘米, 从图中可以看出无论是边坡的水平位移还是铅直位移与降雨过程基本一致, 随着降雨强度的逐渐增加, 位移也逐渐增大, 在降雨后期, 随着降雨强度的减弱, 位移也趋于稳定; 考虑弱化时, 各监测点的水平位移始终大于竖直位移, 此变化规律表明边坡整体有偏向临空面方向运动, 边坡有失稳滑坡的危险。



A 水平位移



B 铅直位移

图5 监测点位移时间历程图

图6为降雨过程中锚索应力时间历程图,由于降雨的入渗,边坡含水量增加,容重增大,使得坡趾处剪应力增大,锚索拉应力增大。其中未考虑岩体弱化时,锚索的拉应力比考虑弱化后的小。考虑岩体弱化后锚索1已经失效(拉应力达到抗拉极限490MPa)。当锚索失效后,边坡内部岩体应力重新调整,导致该处岩体屈服区扩大,这与图4-c相一致,也与工程实际情况相符。

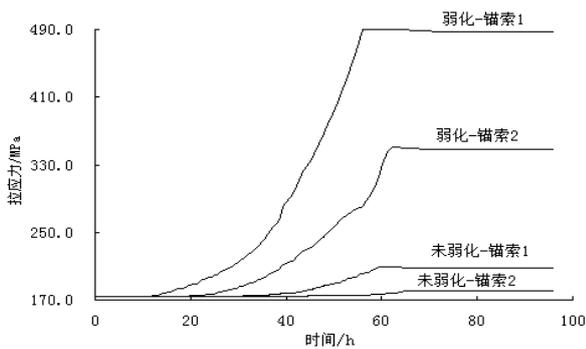
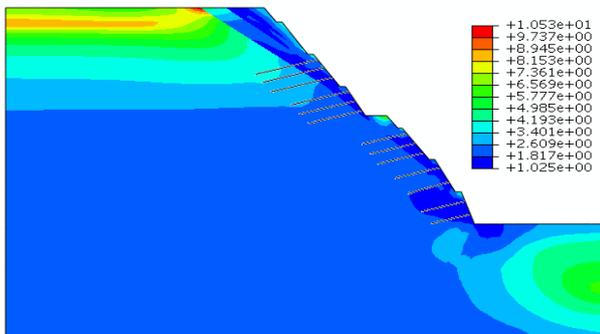


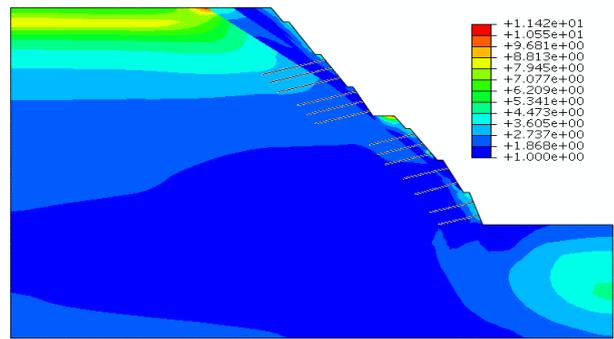
图6 锚索应力时间历程图

4 点安全系数

考虑了孔隙水水压力影响,对强度储备型点安全系数进行了修正。强度储备型点安全系数表示的是该点所处法向应力所能提供的最大抗剪切强度与该点所受剪力之比 K_p (K_p 或者 $K_t \geq 1.0$),若 $K_p = 1.0$ 或 $K_t = 1.0$ 则该点已经破坏。



A 未考虑弱化



B 考虑弱化

图7 点安全系数云图

利用强度储备型点安全系数计算公式计算得到的整体安全系数云图如图7所示。未考虑岩体强度弱化时整体安全度主要分布在1.5~4.2区间,考虑弱化后整体安全度区间为1.2~4.2,特别是在边坡最低处坡脚,点安全系数大致为1.0~1.2,滑坡前缘的点安全系数较未考虑弱化时明显降低,说明滑坡前缘的阻滑作用明显降低,造成坡体应力调整,导致滑坡发生,这与工程中出现的坡脚破坏现象基本一致。

5 结论

5.1降雨入渗时,边坡浅层较容易先发生塑性破坏,并从坡趾沿坡面逐渐向坡顶延伸。因此,要做好坡面防水措施。

5.2当大雨发生时,岩(土)体失稳、破坏并不是完全因为降雨入渗引起的重度增加及孔隙水压力的变化,雨水入渗导致的岩体强度弱化,也影响岩(土)体稳定。

5.3相对于不考虑弱化影响而言,考虑岩体雨水弱化时边坡的安全系数要低。这是由于降雨入渗后,部分岩体力学指标有所降低。说明定义材料参数随饱和度动态变化更能反映雨水入渗对滑坡体安全的影响,更符合实际情况。

【参考文献】

[1]周翠英,邓毅梅,谭祥韶,等.饱水软岩力学性质软化的试验研究与应用[J].岩石力学与工程学报,2005,(1):33-38.
 [2]谭罗荣.关于粘土岩崩解、泥化机理的讨论[J].岩石力学,2001,(1):1-5.
 [3]汤连生,张鹏程,王思敬.水-岩化学作用的岩石宏观力学效应的试验研究[J].岩石力学与工程学报,2002,(21):526-531.
 [4]李克钢,侯克鹏,张成良.饱和状态下岩体抗剪切特性试验研究[J].中南大学学报(自然科学版),2009,(2):538-542.
 [5]李成江.膨胀性围岩力学机制及其隧洞支护效应的数值模拟分析[D].上海:同济大学,1988,(2):73.
 [6]杨太华.水电工程中岩体渗流耦合问题及安全风险分析[M].上海:华东理工大学出版社,2009:53.
 [7]沈细中,杨丈丽,兰雁.小浪底库岸1#滑坡体安全评价[J].岩石力学与工程学报,2011,(3):589-595.