

基于模糊信息优化的土坡稳定性评价

杨连生

(武汉大学水利水电学院,湖北 武汉 430072)

摘要:根据原始数据与信息,采用模糊信息优化理论中的信息分配方法,通过分析土坡稳定问题中的不确定信息,对7个可测因素和1个不可测因素进行模糊信息优化处理,建立了各因素间的模糊关系,并用二级模糊近似推论方法综合分析了各因素的影响,按计算出的土坡稳定性各级隶属度对土坡稳定性进行了评价,其结果与实际情况相符。

关键词:土坡稳定性;信息分配;模糊信息优化;模糊关系

中图分类号: P642.22; O159

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2002)05-0008-03

工程活动中,常会遇到土坡稳定问题.土坡不稳定,或导致工程失事,或影响工程进度,或危及人员生命安全.关于其稳定性评价,国外介绍的方法多为力学算法,国内则强调在工程地质分析的基础上进行力学计算.土坡的稳定,涉及其组成物质、地下水、地震动力作用等诸多因素,这些因素和土坡稳定性之间存在着模糊的不确定关系,土坡稳定性本身也是一个模糊概念.基于此,本文试图通过该问题中的不确定信息,采用模糊信息优化理论中的一维信息分配方法,对7个可测因素和1个不可测因素进行模糊信息处理,并用二级模糊近似推论求出土坡稳定性各级隶属度值,以此为依据,对土坡稳定性做出评价。

1 模糊信息优化的基本理论

1.1 一维信息分配原理

信息分配法是求取模糊关系的诸多方法中较为简单直观的一种,本文使用一维信息分配法来确定模糊关系,其基本思想如下:

设 $U \triangleq \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ (1)

$V \triangleq \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ (2)

分别为所要研究的原因和结果论域,其中 $u_1, u_2, \dots, u_m, v_1, v_2, \dots, v_n$ 为论域元素,一个论域可用有限个离散点来表示,对于论域 U, V 的离散点,统计样本不一定刚好和它们中的某一个一样,如果把离散点看做控制点,统计样本看做信息,则统计样本将会对不同的控制点有不同的贡献.分别累加控制点上从所有统计样本得到的信息,将获得原始信息分布

矩阵.现在以元素 u_i, v_j 作为行列构成信息矩阵 $Q_{m \times n}$,它记录了 U 在 V 轴上的可能性分布,每个原始信息数据提供了一个单位信息,按一定的形式分配给相邻的控制点.分配计算公式为

$$q_{ij} = 1 - \frac{|u - u_i|}{\Delta u_i} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

式中: u_i 为基础变量各档次的量级; u 为基础变量原始信息的统计样本观测值; Δu_i 为基础变量各档次的步距, $\Delta u_i = u_{i+1} - u_i$; q_{ij} 是构成信息矩阵的元素,信息矩阵经正规化后得到模糊关系矩阵。

对多组原始数据进行模糊处理时,将 Q 矩阵的对应元素叠加,构成原始信息分布矩阵:

$$Q_{ij} = \sum_{k=1}^n q_{ij}^{[k]} \quad (4)$$

式中: k 为原始数据的编号。

1.2 模糊近似推论

对于自变量论域 U 和因变量论域 V 有式(1)及(2).设 A_i, B_i 分别为论域 U, V 的模糊子集,其模糊关系为 R ,则推论模型可表示如下:

$$B_i = A_i \cdot R \quad (5)$$

式中:“ $\cdot$ ”表示运算规则或合成方法. A_i 可采用专家打分或统计分析求得。

1.3 模糊识别

经过模糊近似推论得到模糊子集形式的结果 (B_i),即可选取其中可能性最大值进行识别,若精度要求较高,还可采用信息集中的方法得到单值预测结果,以期获得更好的识别效果。

2 土坡稳定性的分类及评价指标

根据现有实际资料及特点,将土坡稳定性分为4类(表1).

将影响土坡稳定性的因素设为7个可测因素论域,分别为粘聚力 c ;内摩擦角 φ ;坡角 α ;坡高 h ;地下水渗透力与滑动方向夹角 β ;地震动加速度 a ;土坡结构类型 T .另设土坡稳定性论域 S 为不可测因素论域, $S \triangleq \{s_1, s_2, s_3, s_4\} = \{I, II, III, IV\}$.

3 影响因素各指标与土坡稳定性的模糊关系

现根据50组原始数据资料,分别建立有关模糊关系.

3.1 建立土的粘聚力、内摩擦角、坡角、坡高以及地震动加速度与土坡稳定性的模糊关系

本文在第1部分已详细介绍了有关信息分配的原理,现仅举一例,以说明该方法的使用.根据式(1)和式(2),考察土的内摩擦角,它与土坡稳定性之间有两个论域: $\Phi \triangleq \{\varphi_i \mid i = 1, 2, \dots, 10\} = \{2, 7, 12, 17, 22, 27, 32, 37, 42, 47\}$, $S \triangleq \{s_1, s_2, s_3, s_4\} = \{I, II, III, IV\}$.

注意, φ_i 为基础变量各档次的量级,亦称控制点,它的选择对模糊关系的影响极大,需经反复试算而确定,这里经试算后,将其分为10档,步距 $\Delta = 5$.

设有原始数据 (φ_i, s_j) , 分配给 q_{ij} 的信息按式(3)计算.如原始数据(8, III), 则 $\varphi_i = \varphi_2 = 7$; $\varphi_{i+1} = \varphi_3 = 12$, 从而得: $q_{2,3} = 1 - \frac{|8-7|}{5} = 0.8$, $q_{3,3} = 1 - \frac{|8-12|}{5} = 0.2$.

按此方法,将原始50组资料进行模糊处理后,依式(4)将 Q 矩阵中的对应元素叠加,并作正规化处理,以 φ_i, s_j 作为行列构成信息矩阵 $Q_{10 \times 4}$, 便得到 Φ, S 的模糊关系 $R_{\varphi,s}$ (见表2).同理,仿此方法步骤依次得到粘聚力、坡角、坡高以及地震动加速度与土坡稳定性 S 的模糊关系 $R_{c,s}, R_{\alpha,s}, R_h,s, R_a,s$ (不一一例举).

表1 土坡稳定性分类

稳定等级	土坡物质组成与结构特征	地貌特征	地震作用下的滑坡情况	地下水渗透力与滑动方向夹角
稳定(I)	均质土坡	坡角小于30°,坡脚无切割	7~9度及以上地震不会发生滑坡	方向相反
次稳定(II)	泥岩互层,且岩层倾向坡内	坡角小于30°,坡脚切割轻微	9度以上地震可能会发生局部滑坡或坍塌	钝角
不稳定(III)	砂泥互层,岩层倾向坡外,倾角10°~18°	坡角30°~45°,坡高较高,坡脚切割轻微	7~8度地震发生小型滑坡,9度以上地震可能会发生大滑坡	锐角
极不稳定(IV)	粘性土层,倾向坡外,倾角18°~30°	坡角大于45°,坡高很大,坡脚切割强烈	地震作用下发生大规模滑坡,滑距大	方向相同

表2 模糊关系 $R_{\varphi,s}$

$\varphi/(^\circ)$	I (s_1)	II (s_2)	III (s_3)	IV (s_4)
2	0	0	0	1.00
7	0	0	0.19	0.055
12	0	0.09	0.51	0.735
17	0	0.49	1.00	0.32
22	0	0.07	0.86	0.372
27	0.55	0.32	0.35	0.163
32	0.36	1.00	0.48	0
37	0.80	0.19	0.49	0
42	1.00	0	0	0
47	0.60	0	0	0

3.2 关于地下水渗透力方向、土坡结构类型与土坡稳定性的隶属度子集

地下水渗透力方向及土坡结构类型对土坡稳定性影响很大,但这两种指标难以用上述办法定量,故根据实际情况由专家评值(表3,表4).

表3 地下水渗透力方向与土坡稳定性的隶属子集

渗透力与滑动方向夹角 $\beta/(^\circ)$	I (s_1)	II (s_2)	III (s_3)	IV (s_4)
0~22.5	0	0	0.8	0.9
22.5~45	0	0.2	0.7	0.9
45~67.5	0.3	0.4	0.6	0.6
67.5~90	0.5	0.5	0.5	0.5
>90	0.8	0.6	0.3	0.1

表4 土坡结构类型与土坡稳定性的隶属子集

结构类型 (T)	I (s_1)	II (s_2)	III (s_3)	IV (s_4)
T_1	1.0	0.6	0.2	0
T_2	0.5	0.9	0.4	0.2
T_3	0.2	0.4	0.9	0.6
T_4	0	0	0.6	1.0

4 实例

上述50组原始资料建立的模糊关系,即可用来对土坡的稳定性进行分析评价.表5为一待评价土坡的参数.根据公式(5),现先以单因素 φ 推论土坡稳定性各级的隶属度.

表5 某土坡参数

c/MPa	$\varphi/(\circ)$	$\alpha/(\circ)$	h/m	$\beta/(\circ)$	$a/(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$	T
0.2	2	43	160	0	0.125	T_1

关于式(5)中 A_i 的求法,本文采用下列方式^[5].

设 A_i 为原始信息统计样本的自变量模糊子集, a 为所要探讨其模糊关系的模糊子集的一个元素,则:

当 $a \leq a_{\min}$, $a_{\min} \in A_i$ 时, $A_i = [1, 0, 0, \dots, 0]$ (6)

当 $a \leq a_{\max}$, $a_{\max} \in A_i$ 时, $A_i = [0, 0, 0, \dots, 1]$ (7)

当 $a_{\min} < a < a_{\max}$ 时,

$$A_i = \max\left[0, 1 - \frac{|a - a_i|}{\Delta a_i}\right] \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

式(8)中的 Δa_i 为步距, $\Delta a_i = a_{i+1} - a_i$.

式(6)和式(7)表明,当原始信息元素 a 超出 A_i 的范围时($a \in A_i$),应突出两头元素($a_{\min}$, $a_{\max}$).

由表2可知, $\varphi_{\min} = \varphi_1 = 2$. 又由表5知 $\varphi = 2 = \varphi_{\min}$,故从式(6)可得 $\varphi = [1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]$, “ $\cdot$ ”取普通乘.再由式(5)得到内摩擦角相对于土坡稳定性各级的隶属度:

$$S_\varphi = [1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0.19 & 0.055 \\ 0 & 0.09 & 0.51 & 0.735 \\ 0 & 0.49 & 1.00 & 0.320 \\ 0 & 0.07 & 0.86 & 0.372 \\ 0.55 & 0.32 & 0.35 & 0.163 \\ 0.36 & 1.00 & 0.48 & 0 \\ 0.80 & 0.19 & 0.49 & 0 \\ 1.00 & 0 & 0 & 0 \\ 0.60 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$= [0, 0, 0, 1]$$

同理可得出其它指标对土坡稳定性各级的隶属度如下:

$$S_c = [0, 0.33, 1, 1]$$

$$S_\alpha = [0.14, 0.06, 0.33, 0.77]$$

$$S_h = [0.34, 0.61, 0.44, 0.36]$$

$$S_\beta = [0, 0, 0.56, 1]$$

$$S_a = [0.32, 0.53, 0.85, 0.75]$$

$$S_T = [0, 0, 0.76, 1]$$

以上是利用单因素评价土坡稳定性.为了综合考虑各种因素的影响,必须进行二级模糊近似推论:

$$B^{[2]} = A^{[2]} \cdot R^{[2]} \quad (9)$$

其中 $A^{[2]}$ 是每个单因子的权重,求法很多.这里采用灰色关联度求取,其方法参见文献[3]或有关书籍.

$$A^{[2]} = [0.11, 0.11, 0.21, 0.21, 0.11, 0.11, 0.22]$$

$$R^{[2]} = \begin{bmatrix} S_\varphi \\ S_c \\ S_\alpha \\ S_h \\ S_\beta \\ S_a \\ S_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0.33 & 1 & 1 \\ 0.14 & 0.06 & 0.33 & 0.77 \\ 0.34 & 0.61 & 0.44 & 0.36 \\ 0 & 0 & 0.56 & 1 \\ 0.32 & 0.53 & 0.85 & 0.75 \\ 0 & 0 & 0.76 & 1 \end{bmatrix}$$

由式(9)可得: $B^{[2]} = [0.136, 0.233, 0.594, 0.869]$.

从上述计算出的隶属度可以看出,单因素评价因信息分散而很难对土坡的稳定性做出合理的推论,二级模糊推论则可以较好地解决这一问题,其与稳定性各级隶属度为:0.136/稳定 + 0.233/次稳定 + 0.594/不稳定 + 0.869/极不稳定.显然,本例土坡为极不稳定土坡,与实际情况(该土坡已出现了滑坡)相符.

5 结 语

本文通过从边坡获取的不确定信息,运用模糊信息优化处理技术对土坡稳定性进行了计算分析评价,结果与实际情况相符.实例表明,该方法与常规方法相比较具有简单、快速、可信性强的特点,是边坡稳定分析中的一条新途径.

参考文献:

- [1] 黄崇福,王家鼎.模糊信息优化处理技术及其应用[M].北京:航空航天大学出版社,1995.11~41.
- [2] 王彩华,宋连天.模糊论方法学[M].北京:中国建筑工业出版社,1988.138~153.
- [3] 邓聚龙.灰色预测与决策[M].武汉:华中理工大学出版社,1988.103~108.
- [4] 张倬元,王士天,王兰生.工程地质分析原理[M].北京:地质出版社,1985.257~262.
- [5] 白明洲.地下洞室中裂隙岩体围岩稳定性研究的模糊信息优化处理方法[J].成都理工学院学报,1999(3):291~294.

(收稿日期:2001-08-02 编辑:傅伟群)

