

基于模糊理论的加筋土挡墙灾后风险评估

刘欣¹, 黄华华^{1,2*}, 魏友良¹

(1.重庆交通大学 土木工程学院, 重庆市 400074; 2.重庆中设工程设计股份有限公司)

摘要: 为了对加筋土挡墙灾后风险进行有效评估, 该文提出了 AHP-模糊综合评估法。该方法将层次分析法和模糊理论相结合, 以加筋土挡墙破坏特征为基础, 建立了反映加筋土挡墙灾后风险状况的多层次指标体系, 并利用模糊理论构建了多级模糊评估模型对指标体系进行风险等级评估。鉴于传统 1~9 标度系统的缺陷, 该文提出了采用一致性检验效果更好的 $\ln(9e/9) \sim \ln(17e/1)$ 标度系统构造判断矩阵。在得到加筋土挡墙灾后风险等级的基础上, 提出以 70 分为界, 对评估系统进行顺向筛查, 核实风险较大的指标。最后通过相关的工程实例, 证明了该风险评估方法具有一定的实用性。

关键词: 加筋土挡墙; 风险评估; 层次分析法; 模糊理论; 标度系统; 顺向筛查

土工合成材料加筋土挡墙作为一种新型挡土结构于 20 世纪 80 年代由法国工程师 Henri Vidal 提出。该结构通过在填土中铺设水平土工合成材料筋材形成加筋土, 利用筋材与土体之间的相互摩擦、等效围压机理来达到限制土体变形、增强土体强度、提高地基承载力和边坡稳定性的目的。加筋土挡墙以其造价低、施工方便快捷、耐久性好以及其柔性材料所具有的对填土变形的良好适应性等优点而得到广泛关注和研究。尤其在中国地震灾害频发的西部山区, 加筋土挡墙所具备的柔性抗震吸能能力, 使其在交通、城建等多个领域得到迅速推广。但在实际工程中, 由于加筋材料的力学性能、筋土作用机理等都比较复杂, 再加上工程施工以及后期维护时的不确定性导致西部山区大量加筋土挡墙在灾后存在安全风险。而目前中国对加筋土挡墙的灾后风险评估仍没有明确的方法和标准, 还停留在对重力式挡墙进行安全评价的内容, 主要是进行挡墙的外部检测、强度检测以及墙后取土进行土工试验, 再结合专家的工程经验判断加筋土挡墙结构的安全状况。由于评估内容缺乏针对性、专家评估的主观性以及影响加筋土挡墙结构安全因素的复杂性, 导致评估结果往往存在偏差。鉴于挡墙结构安全分析的多指标量值的测定较困难, 该文综合考虑加筋土挡墙灾后的结构安全风险和环境影响风险, 采用模糊数学原理建

立加筋土挡墙灾后风险多层次模糊综合评估模型, 定量分析处理原本难以测量的定性问题, 排除主观因素干扰, 给出合理、有效的评估结果, 从而科学地指导加筋土挡墙的维护加固工作。

1 加筋土挡墙灾后风险评估指标体系建立

以科学性、系统性、实用性为原则, 依据相关规范对加筋土挡墙结构设计、施工以及安全评价的规定, 并结合加筋土挡墙的常见破坏特征, 建立针对加筋土挡墙灾后风险评估的指标体系。风险评估主要从结构安全风险和环境影响风险两个环节进行, 其中结构安全风险评估主要包括加筋土挡墙的表现状况、内部状况、排水系统 3 个方面, 环境影响风险评估主要包括结构物所处区域的水文地质、使用环境、结构物破坏造成损失 3 个方面。具体评估指标的选取主要考虑加筋土挡墙的常见破坏特征和评估指标的可操作性。指标体系见表 1。

1.1 表现状况

加筋土挡墙结构的墙面破坏形式主要包括: 墙身及墙顶开裂, 局部沉陷或凸起, 蜂窝麻面, 面板发生错动沉降进而引起填土材料的外流, 以及墙面发生倾斜

收稿日期: 2018-04-19

基金项目: 重庆市研究生科研创新项目(编号: CYB15110)

作者简介: 刘欣, 男, 硕士研究生, E-mail: 190048867@qq.com

* 通信作者: 黄华华, 男, 教授级高工, E-mail: 298820456@qq.com

表 1 加筋土挡墙灾后风险评估指标体系

评估环节	评估项目	评估指标
结构安全风险 A_1	表观状况 B_1	墙身外观检测 C_1 ;墙顶外观检测 C_2 ;面板错动沉降检测 C_3 ;墙面倾斜检测 C_4
	内部状况 B_2	筋材变形滑移 C_5 ;土体压实度 C_6 ;土体强度 C_7 ;墙身强度 C_8 ;地基类型 C_9
	排水系统 B_3	填土内部排水 C_{10} ;路面排水 C_{11} ;坡脚排水 C_{12}
环境影响风险 A_2	水文地质 B_4	地区降雨状况 C_{13} ;地下水状况 C_{14} ;地质灾害频率 C_{15}
	使用环境 B_5	车流量 C_{16} ;荷载组成 C_{17}
	破坏损失 B_6	人身安全损失 C_{18} ;经济损失 C_{19} ;社会影响 C_{20}

等。总体外观上,JTJ 035—1991《公路加筋土工程施工技术规范》规定:墙面板应光洁无破损、平顺美观,板缝均匀,线形顺适,沉降缝上下贯通顺直,取弃土位置合理。结构开裂方面,应根据裂缝发展方向、缝宽等信息判断开裂原因,受力裂缝需及时处理。墙面倾斜度方面,JTG F80/1—2004《公路工程质量检验评定标准》规定:对于垂直的墙体,向外倾斜不超过墙体高度的 0.5%且不大于 5 cm,向内倾斜不超过墙体高度的 1%且不大于 10 cm。面板错动沉降引起填土材料的外流会导致路堤不均匀沉降、承载能力降低,对加筋土挡墙结构的安全有较大的影响,应重点关注。

1.2 内部状况

内部状况的评估主要包括:筋材变形滑移、土体的压实度和强度、墙身混凝土强度、地基类型。其中,筋材在土体中的破坏模式主要为筋材变形过大被拉断和筋材与土体发生相对滑移。对于贴有应变片的加筋土挡墙,可通过测定筋材的实际应变值判断其变形滑移情况;对于未设置监测系统的挡墙,可通过观测挡墙与其他构造物连接部位的筋材变形滑移情况并结合墙身倾斜、填土沉降等现象进行综合判断。对墙背填土的要求包括:符合设计文件要求的压实度、强度、水稳定性等,均可通过土工试验进行评价。地基类型影响地基承载能力,若承载能力不足,可能导致路堤出现不均匀沉降、挡墙前端地面拱起等现象,影响挡墙的外部稳定性。

1.3 排水系统

挡墙的排水系统包括:填土内部排水系统、路面排水系统和坡脚排水系统。排水系统是否能有效发挥作用将直接影响加筋土挡墙的安全状况,可通过排水系统设置的完整性、规范性以及后期的维护情况对其进行评价。

1.4 水文地质

水文地质的评估指标主要包括:当地的降雨状况、

地下水状况以及当地发生地质灾害的频率。不利的降雨及地下水情况将影响墙背填土材料的强度、稳定性以及土体与筋材的摩擦力,对加筋土挡墙结构的安全形成潜在风险。此外,地质灾害对挡墙的整体稳定性有较大影响,因此当地发生地质灾害的频率是对挡墙进行风险评估的指标之一。

1.5 使用环境

加筋土挡墙使用环境的评估主要包括车流量和荷载组成的调查,将调查结果与设计文件进行对比。过大的车流量以及过多的超载现象可能造成路面结构的破坏,导致雨水下渗,影响土体的强度和筋土之间的摩擦力,从而影响加筋土挡墙结构的稳定性。

1.6 破坏损失

加筋土挡墙的破坏损失包括:人身安全损失、经济损失、不利的社会影响 3 个方面。若挡墙结构位于人类活动密集的地区或较重要的交通地段,一旦发生破坏将造成较大的生命财产损失和社会影响时,应对挡土墙进行连续监测直到确定其无安全风险。

2 加筋土挡墙灾后风险模糊综合评估

参照前文提出的加筋土挡墙灾后风险评估指标体系,评估自上而下共分为 3 个层次,采用多层次模糊综合评估方法进行后续工作。

2.1 建立评价因素集

第 1 层次评价因素集: $U=\{A_1,A_2\}$ 。

第 2 层次评价因素集: $A_1=\{B_1,B_2,B_3\}$; $A_2=\{B_4,B_5,B_6\}$ 。

第 3 层次评价因素集: $B_1=\{C_1,C_2,C_3,C_4\}$; $B_2=\{C_5,C_6,C_7,C_8,C_9\}$; $B_3=\{C_{10},C_{11},C_{12}\}$; $B_4=\{C_{13},C_{14},C_{15}\}$; $B_5=\{C_{16},C_{17}\}$; $B_6=\{C_{18},C_{19},C_{20}\}$ 。

2.2 建立权重集

从多层次评估模型的第 2 层开始,对影响上一层

指标的同级指标进行两两指标之间的重要程度对比,直到第 4 层,从而构造判断矩阵 Y :

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & \cdots & y_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{n1} & \cdots & y_{nn} \end{bmatrix}$$

式中: y_{ij} 为指标 i 与指标 j 的重要程度的比值; y_{ji} 为指标 j 与指标 i 的重要程度的比值;且 $y_{ii}=1, y_{ij} * y_{ji}=1$ 。

传统 1~9 标度法在遇到指标较多、规模较大的问题时,所构造的判断矩阵较易产生一致性检验不满足要求,且调整困难的缺陷,该文以典型判断矩阵 Z 为例,比较几种常用标度的一致性,提出 $\ln(9e/9) \sim \ln(17e/1)$ 标度法。该标度所代表的具体含义见表 2;不同标度法下典型判断矩阵的一致性检验结果见表 3。

$$Z = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 1/3 & \cdots & 1/9 \\ 2 & 1 & \cdots & \cdots & 1/8 \\ 3 & 2 & \cdots & \cdots & 1/7 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 9 & 8 & \cdots & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

表 2 矩阵判断标度

标度	含义
$\ln(9e/9)=1$	同样重要
$\ln(10e/8) \approx 1.223$	微小重要
$\ln(11e/7) \approx 1.452$	稍微重要
$\ln(12e/6) \approx 1.693$	更为重要
$\ln(13e/5) \approx 1.956$	明显重要
$\ln(14e/4) \approx 2.253$	十分重要
$\ln(15e/3) \approx 2.609$	强烈重要
$\ln(16e/2) \approx 3.079$	极其重要
$\ln(17e/1) \approx 3.833$	极端重要

表 3 不同标度法所得的 $C.R.$ 值

标度	λ_{\max}	$C.I.$	$C.R.$
1~9	9.101 98	0.050 25	0.034 84
9/9~9/1	9.013 81	0.001 73	0.001 19
10/10~18/2	9.024 52	0.003 01	0.002 07
$9^{0/9} \sim 9^{8/9}$	9.036 63	0.004 58	0.003 15
$\ln(9e/9) \sim \ln(17e/1)$	9.003 86	0.000 48	0.000 33

从表 3 可以看出:对数标度法的一致性最好,指数标度法和分数标度法的一致性次之,1~9 标度法的一致性最差。

2.2.1 权重的确定方法

对于每个判断矩阵,通过根法计算其最大特征值 λ_{\max} 和其对应的特征向量 $W=(w_1, w_2, \dots, w_n)$,直接将判断矩阵 Y 的每一行元素求积,然后开 n 次方得 w_i ,即:

$$w_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n y_{ij}}, i=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

判断矩阵 Y 的最大特征值 λ_{\max} 可由下列公式近似得到,其中 $(YW)_i$ 表示 YW 的第 i 个分量。

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(YW)_i}{w_i} \quad (2)$$

对判断矩阵 A 进行一致性检验,用一致性指标 $C.I.$ 衡量其不一致程度,并引入各阶矩阵的随机指标 $R.I.$,两者的比值称为一致性比率 $C.R.$ 。

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad (4)$$

当 $C.R. < 0.10$ 时,则认为判断矩阵 Y 的一致性较好,否则应对判断矩阵进行修正,直到满足一致性检验的标准。若判断矩阵一致性良好,则对特征向量 W 进行归一化得到权重向量 W' 。

2.2.2 权重集的确定

邀请专家对各层同级指标之间的重要程度进行评价,按照表 2 给出的标度系统构造判断矩阵 Y ,并进行一致性检验,得到各层权重集 W ,归一化计算得到权重向量 W' ,见表 4。

2.3 建立评判集

建立加筋土挡墙灾后风险评估评语集 $M=\{\text{一级,二级,三级,四级,五级}\}$ 。为了方便直观地反映各指标的风险状况,分别进行评分,并对各风险等级进行决策划分,见表 5。

2.4 评判矩阵的确定

参照前文提出的评语集,邀请专家对加筋土挡墙灾后风险评估体系中的指标层进行评分,得到各因素的评判集,再将指标下各因素的评判集作为行向量组成矩阵,得到该指标的评判矩阵:

$$\begin{aligned} R_{11} &= (R_{C1} \ R_{C2} \ R_{C3} \ R_{C4})^T; \\ R_{12} &= (R_{C5} \ R_{C6} \ R_{C7} \ R_{C8} \ R_{C9})^T; \\ R_{13} &= (R_{C10} \ R_{C11} \ R_{C12})^T; \\ R_{21} &= (R_{C13} \ R_{C14} \ R_{C15})^T; \\ R_{22} &= (R_{C16} \ R_{C17})^T; \\ R_{23} &= (R_{C18} \ R_{C19} \ R_{C20})^T. \end{aligned}$$

表 4 各层判断矩阵及其计算结果

判断矩阵	一致性检验	权重向量
$Y = \begin{bmatrix} 1 & 1.956 \\ 0.511 & 1 \end{bmatrix}$	通过	$W' = (0.662 \quad 0.338)$
$Y_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0.818 & 1.452 \\ 1.223 & 1 & 1.693 \\ 0.689 & 0.591 & 1 \end{bmatrix}$	通过	$W'_1 = (0.344 \quad 0.415 \quad 0.241)$
$Y_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1.693 & 2.253 \\ 0.591 & 1 & 1.452 \\ 0.444 & 0.689 & 1 \end{bmatrix}$	通过	$W'_2 = (0.490 \quad 0.298 \quad 0.212)$
$Y_{11} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0.689 & 0.511 \\ 1 & 1 & 0.689 & 0.511 \\ 1.452 & 1.452 & 1 & 0.818 \\ 1.956 & 1.956 & 1.223 & 1 \end{bmatrix}$	通过	$W'_{11} = (0.190 \quad 0.190 \quad 0.257 \quad 0.363)$
$Y_{12} = \begin{bmatrix} 1 & 1.452 & 1.223 & 1.956 & 2.609 \\ 0.689 & 1 & 0.689 & 1.452 & 1.693 \\ 0.818 & 1.452 & 1 & 1.223 & 1.452 \\ 0.511 & 0.689 & 0.818 & 1 & 1.223 \\ 0.383 & 0.591 & 0.689 & 0.818 & 1 \end{bmatrix}$	通过	$W'_{12} = (0.298 \quad 0.198 \quad 0.222 \quad 0.156 \quad 0.126)$
$Y_{13} = \begin{bmatrix} 1 & 1.693 & 2.609 \\ 0.591 & 1 & 1.452 \\ 0.383 & 0.689 & 1 \end{bmatrix}$	通过	$W'_{13} = (0.508 \quad 0.294 \quad 0.198)$
$Y_{21} = \begin{bmatrix} 1 & 0.444 & 0.325 \\ 2.253 & 1 & 0.689 \\ 3.079 & 1.452 & 1 \end{bmatrix}$	通过	$W'_{21} = (0.158 \quad 0.348 \quad 0.494)$
$Y_{22} = \begin{bmatrix} 1 & 0.591 \\ 1.693 & 1 \end{bmatrix}$	通过	$W'_{22} = (0.371 \quad 0.629)$
$Y_{23} = \begin{bmatrix} 1 & 2.253 & 1.452 \\ 0.444 & 1 & 0.591 \\ 0.689 & 1.693 & 1 \end{bmatrix}$	通过	$W'_{23} = (0.512 \quad 0.168 \quad 0.320)$

表 5 风险水平分级

等级	得分 Q	特征值 ζ	决策准则
1 级	>90	90	正常维护
2 级	$80 \sim 90$	80	加强监测
3 级	$60 \sim 80$	65	连续监测,小修
4 级	$40 \sim 60$	50	限速限载,加固
5 级	<40	30	中断交通,重建

在此基础上,根据评价模型 $K_{ij} = W'_{ij} * R_{ij}$ 计算第 2 层次指标的评估结果 K_{ij} ,归一化计算得到其单因素的评判集 K'_{ij} ,将其作为行向量组成矩阵,得到第 2

层次因素集的评判矩阵:

$$R_1 = (K'_{11} \quad K'_{12} \quad K'_{13})^T;$$

$$R_2 = (K'_{21} \quad K'_{22} \quad K'_{23})^T。$$

同理,根据评价模型 $K_i = W'_i * R_i$ 得到第 1 层次指标的评估结果 K_i ,归一化计算得到其评判集 K'_i ,将其作为行向量组成矩阵,得到第 1 层次因素集的评判矩阵:

$$R = (K'_1 \quad K'_2)^T$$

2.5 得分评价

根据评价模型 $K = W' * R$ 和归一化计算,最终得到加筋土挡墙灾后风险评估各风险级的权重因子集

K' 。结合表 5 中给出的各风险级的特征分数进行最终得分计算:

$$Q = \zeta_1 k_1 + \zeta_2 k_2 + \zeta_3 k_3 + \zeta_4 k_4 + \zeta_5 k_5 \quad (5)$$

考虑到影响加筋土挡墙灾后风险评估结果的因素较多,为了简化计算同时又能快速准确找出导致其风险评估结果较差的指标,进而采取针对性的决策措施,可采用顺向设限筛查法进行处理,即先对整个评估系统进行得分评价,若得分 >70 ,则认为系统风险较低,筛查结束;若得分 <70 ,则认为系统存在风险,继续对其下一层子系统进行得分评价,直至筛查到第 4 层指标层得到评分 <60 的指标,及时对其制定针对性的应对措施。

3 实例分析

云南省昭通市鲁甸县用于某一级公路路基的加筋土挡墙,高度 8.5 m,长度 60 m,加筋方案采用顶部满铺土工格栅,中部加短格栅,墙体混凝土材料设计强度为 C40。2014 年 8 月 3 日,当地发生 6.5 级地震,加筋土挡墙位于震中地区,同年 9 月当地主管部门组织专家对其进行灾后风险评估。

参照该文建立的评语集,邀请专家结合现场调查结果对评估体系指标层进行评分得到评判矩阵 R_{ij} :

$$R_{11} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.3 & 0.5 & 0.2 \\ 0 & 0 & 0.4 & 0.6 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.3 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0 \end{bmatrix};$$

$$R_{12} = \begin{bmatrix} 0 & 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 \\ 0.1 & 0.5 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.8 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0.5 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0.3 & 0.6 & 0.1 & 0 \end{bmatrix};$$

$$R_{13} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.3 & 0.6 & 0.1 \\ 0 & 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0.4 & 0.5 & 0 \end{bmatrix};$$

$$R_{21} = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.1 & 0.5 & 0.4 \end{bmatrix};$$

$$R_{22} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0.6 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$R_{23} = \begin{bmatrix} 0.8 & 0.2 & 0 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.6 & 0.1 & 0 & 0 \end{bmatrix}。$$

对风险评估体系进行 1 级综合评价:

$$K'_{11} = (0 \quad 0.274 \quad 0.392 \quad 0.296 \quad 0.038);$$

$$K'_{12} = (0.042 \quad 0.479 \quad 0.374 \quad 0.105 \quad 0);$$

$$K'_{13} = (0 \quad 0.255 \quad 0.290 \quad 0.404 \quad 0.051);$$

$$K'_{21} = (0.133 \quad 0.287 \quad 0.135 \quad 0.247 \quad 0.198);$$

$$K'_{22} = (0.437 \quad 0.526 \quad 0.037 \quad 0 \quad 0);$$

$$K'_{23} = (0.640 \quad 0.311 \quad 0.049 \quad 0 \quad 0)。$$

对风险评估体系进行 2 级综合评价:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0.274 & 0.392 & 0.296 & 0.038 \\ 0.042 & 0.479 & 0.374 & 0.105 & 0 \\ 0 & 0.255 & 0.290 & 0.404 & 0.051 \end{bmatrix};$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.133 & 0.287 & 0.135 & 0.247 & 0.198 \\ 0.437 & 0.526 & 0.037 & 0 & 0 \\ 0.640 & 0.311 & 0.049 & 0 & 0 \end{bmatrix}。$$

$$K'_1 = (0.017 \quad 0.354 \quad 0.360 \quad 0.244 \quad 0.025);$$

$$K'_2 = (0.331 \quad 0.363 \quad 0.088 \quad 0.121 \quad 0.097)。$$

对风险评估体系进行 3 级综合评价:

$$R = \begin{bmatrix} 0.017 & 0.354 & 0.360 & 0.244 & 0.025 \\ 0.331 & 0.363 & 0.088 & 0.121 & 0.097 \end{bmatrix}。$$

$$K' = (0.123 \quad 0.357 \quad 0.268 \quad 0.203 \quad 0.049)。$$

最后,加筋土挡墙灾后风险评估得分:

$$Q = 0.123 \times 90 + 0.357 \times 80 + 0.268 \times 65 + 0.203 \times 50 + 0.049 \times 30 = 68.67 < 70。$$

说明该加筋土挡墙灾后存在一定安全风险,需要对其子系统进行得分评价,通过计算得到加筋土挡墙灾后风险评估子系统得分见表 6。

表 6 风险评估子系统得分

子系统名称	得分
结构安全风险	66.20 < 70
环境影响风险	73.51 > 70

由表 6 可知,应进一步对结构安全风险的子系统进行评分,具体评分结果见表 7。

表 7 结构安全风险子系统得分

子系统名称	得分
表观状况	63.34 < 70
内部状况	71.66 > 70
排水系统	60.98 < 70

由表 7 可知:应进一步对表观状况和排水系统所包含的指标进行评分,具体评分结果见表 8。

结合该加筋土挡墙灾后风险评估得分和需要评估

表 8 需要评估的指标得分

子系统名称	指标	得分
表观状况	墙身外观检测	50.50<60
	墙顶外观检测	56.00<60
	面板错动沉陷检测	69.50>60
	墙面倾斜检测	69.50>60
排水系统	填土内部排水	52.5<60
	路面排水	77.00>60
	坡脚排水	59.00<60

指标的得分结果,分析得出结论:该加筋土挡墙灾后风险评估等级为 3 级,即具有一定风险,需要对墙身外观、墙顶外观、填土内部排水和坡脚排水检测中存在的问题进行处理,并对该挡墙进行连续监测。

4 结语

针对加筋土挡墙灾后风险评估工作中存在的问题,提出了 AHP—模糊综合评估法。该方法将层次分析法和模糊理论相结合,以加筋土挡墙的破坏特征和评估指标的可操作性为基础,建立了反映加筋土挡墙灾后风险情况的指标体系,并利用模糊理论构建了多级模糊评估模型对指标体系进行风险等级评估。具体评估过程中,针对 1~9 标度系统的缺陷,提出了采用一致性检验效果更好的 $\ln(9e/9) \sim \ln(17e/1)$ 标度系

统构造判断矩阵。在得到加筋土挡墙灾后风险等级的基础上,提出以 70 分为界,对评估系统进行顺向筛查,核实风险较大的指标,以利于制定针对性的决策措施。最后根据相关的工程实例,证明了该风险评估方法具有一定的实用性。

参考文献:

[1] 刘华北,汪磊,王春海,等.土工合成材料加筋土挡墙筋材内力分析[J].工程力学,2017(2).
[2] 王建,姚令侃,陈强.汶川地震路堤成灾模式及土工格栅加筋变形控制研究[J].岩石力学与工程学报,2010(S1).
[3] 谢季坚,刘承平.模糊数学方法及其应用[M].武汉:华中科技大学出版社,2006.
[4] 贺彩峰.既有重力式挡土墙安全评估体系研究[D].天津大学硕士学位论文,2014.
[5] JTJ 035—1991 公路加筋土工程施工技术规范[S].
[6] JTJ F80/1—2004 公路工程质量检验评定标准[S].
[7] 陈华,房锐,赵有明.公路加筋土挡墙灾害及整治措施研究[J].公路,2009(12).
[8] JTJ F10—2006 公路路基施工技术规范[S].
[9] 沈波,艾翠玲.我国山区公路排水问题及水毁调查分析[J].公路交通科技,2010(10).
[10] 马世国,韩同春,徐日庆.强降雨和初始地下水对浅层边坡稳定的综合影响[J].中南大学学报:自然科学版,2014(3).
[11] 王成皿,王中文.基于规范法的加筋土挡墙边坡加固稳定性计算研究[J].中外公路,2017(2).

投稿须知

1. 征稿范围:国内外公路概况;国外公路考察见闻;公路路线设计;路基路面工程;桥梁与隧道工程;材料试验与应用;交通工程与管理;公路景观与环保等。
2. 稿件要求:① 请提供 word 文档。文稿以 6 000 字左右为佳;② 投寄本刊的稿件,直接发至 E-mail:zhong-waigonglu@163.com(本刊唯一投稿邮箱),本刊审稿周期 1~2 个月。若被采用,本刊将 E-mail 通知作者。3 个月未收到通知,作者可另行处理。请勿一稿多投,否则后果自负;③ 题目应简洁明晰,字数不能多于 20 个中文字;④ 作者单位必须注明邮政编码。第一作者须注明出生年、性别、学历、职称、研究方向、电子信箱和联系电话;⑤ 摘要、关键词。摘要请务必按“研究目的、方法、结果、结论”四要素写。关键词:3~8 个;⑥ 基金项目必须写明基金项目名称和编号;⑦ 图表。图表要与文中相对应,(示例:***如表 1 所示)。图表要有图名和表名。除照片外,其余图均需提供 excel 或 origin 或 cad 源文件。表格采用三线表。所有图、表中的字体为小 5 号或 6 号;⑧ 文后必须要有参考文献。参考文献参考格式如下:[1]期刊:作者姓名(列三位,等(姓在前,名在后)).文章题目[J].刊名,出版年份(期);[2]专著:作者姓名(列三位,等).专著名称[M].版本(第一版不标注).出版地:出版单位,出版年;[3]论文集:作者姓名(列三位,等).题名[C].论文集名,出版年;[4]学位论文:作者姓名.题名[D].单位[硕士(博士)学位论文],年份;[5]专利:专利申请者姓名(列三位,等).题名:国别,专利号[P].公告日期或公开日期[引用日期];[6]技术标准:标准代号 标准名称[S].