

路基膨胀土判别和分类的属性测度模型

文畅平, 何永延

(邵阳学院 城市建设系, 湖南 邵阳 422000)

摘要: 将属性数学理论应用于膨胀土的综合评判中, 建立路基膨胀土判别与分类的属性测度模型. 首先根据《公路路基设计规范》对膨胀土的评判要求, 结合高速公路路基膨胀土的判别与分类实践, 提出用于膨胀土综合评判的评价指标. 然后根据属性数学理论构造单指标属性测度函数, 以属性测度函数计算单指标属性测度, 以客观性权重对指标进行赋权以计算多指标综合属性测度, 以该综合属性测度对膨胀土的膨胀等级进行判别. 最后以置信度准则进行膨胀土胀缩等级的属性识别. 实例研究表明, 该模型的评价结果与《公路路基设计规范》评判法、模糊综合评判法的评价结果基本一致.

关键词: 路基; 膨胀土; 判别与分类; 属性测度; 属性识别

中图分类号: TU443

文献标识码: A

文章编号: 1009-640X(2008)01-0073-05

Attribute measurement model for identification and classification of expansive soil in highway subgrade

WEN Chang-ping, HE Yong-yan

(Urban Construction Department of Shaoyang University, Shaoyang 422000, China)

Abstract: Aiming at expansive soil judgment in expressway roadbed, the attribute measurement model based on attribute mathematics theory is developed. Firstly, according to the study results of relevant experts and scholars and the requirements to assess expansive soil, appraising indices for judging expansive soil are proposed; Secondly, attribute measurement functions are constructed to calculate attribute measurement of single index and synthetic attribute measurement that is used to recognize the expansibility of expansive soil; finally, the expansibility of expansive soil is recognized by the confidence criterion. In an example study, the recognition results based on objective weight meet the Specifications for Design of Highway Subgrades and are agreeable to those of fuzzy synthetic evaluation method.

Key words: roadbed; expansive soil; judgment and classification; attribute measurement; attribute recognition

膨胀土是一种特殊粘性土, 湿胀干缩和反复湿胀干缩是其主要特征. 在膨胀土地区进行路基工程建设,

收稿日期: 2007-04-19

基金项目: 湖南省科技计划项目(编号: 05FJ4031)

作者简介: 文畅平(1965-), 男, 湖南邵阳人, 副教授, 硕士, 主要从事岩土工程和路基路面工程的教学和科研工作.

E-mail: urbanwen@163.com

识别膨胀土并对膨胀土进行分类是一项十分重要的工作. 目前, 膨胀土判别和分类的方法主要采用灰色聚类法^[1,2]、灰关联分析法^[3]、模糊综合评判法^[4-6]、物元分析法^[7]及人工神经网络法^[8,9]等综合判别法. 本文基于属性数学理论^[10-14], 提出膨胀土综合评价的属性测度模型, 并用于高速公路路基膨胀土的判别和分类, 评价结果与模糊综合评判法等的评价结果相比较, 以验证该模型的合理性、可行性和可靠性.

1 路基膨胀土综合评判的属性测度模型

以多指标对膨胀土进行判别可以归纳为综合评价问题: 设 X 为评价对象空间, 其评价对象 x_i ($i=1, 2, \dots, n$) 有 m 个被评价指标 I_j ($j=1, 2, \dots, m$). 对于 x_i 的每个指标 I_j 的测量值 t_{ij} , 都有 p 个评价等级 C_k ($k=1, 2, \dots, p$), 这样就可以确定 t_{ij} 的等级, 并对 x_i 进行综合评价, 以确定其等级.

以属性数学理论建立膨胀土判别与分类的属性测度模型, 可分为单指标属性测度分析、多指标综合属性测度分析和属性识别分析.

对于单指标 I_j 的测量值 t_{ij} , 具有属性 C_k 的属性测度 $\mu_{xjk} = \mu(t_{ij} \in C_k)$ 的确定方法是建立其属性测度函数, 以表示 I_j 的测量值 t_{ij} 变化时, 属性测度 $\mu_{xjk} = \mu(t_{ij} \in C_k)$ 的变化情况.

属性测度函数的建立及单指标属性测度函数 $\mu_{ijk}(t)$ 的计算见文献[15].

由单指标属性测度及评价指标的权重, 就可计算得到评价对象的综合属性测度

$$\mu_{xk} = \mu(x_i \in C_k) = \sum_{j=1}^m w_j \mu_{xjk}$$

式中: w_j 为第 j 个指标 I_j 的权重, 满足 $w_j \geq 0$, $\sum_{j=1}^m w_j = 1$.

置信度准则: 设评价集 (C_1, C_2, \dots, C_k) 为有序集, $C_1 > C_2 > \dots > C_k$, λ 为置信度, $0.5 < \lambda \leq 1$. 如果 $k_0 = \min\{k : \sum_{l=1}^k \mu_{xl} \geq \lambda, 1 \leq k \leq n\}$ 或 $k_0 = n - \min\{k : \sum_{l=0}^k \mu_{xn-l} \geq \lambda, 0 \leq k \leq n-1\}$, 则认为 x_i 属于 C_{k_0} 级别或 C_{k_0} 类.

2 路基膨胀土的判别和分类

2.1 评价因子与评判标准

根据文献[16-19], 用 5 个指标对膨胀土进行综合评判: 粒径小于等于 0.002 mm 的粘粒含量 (I_1)、液限 (I_2)、塑性指数 (I_3)、自由膨胀率 (I_4) 和胀缩总率 (I_5). 并将膨胀土的胀缩分为 3 个等级: 弱 (C_1)、中 (C_2)、强 (C_3). 其判别指标与分级标准见表 1.

表 1 膨胀土的评价指标及分级标准

Tab. 1 Indices and classification criterion for assessing expansive soil

评 定 级 别	指 标 特 征 值				
	粒径小于等于 0.002 mm 的粘粒含量 / %	液限 / %	塑性指数 / %	自由膨胀率 / %	胀缩总率 / %
弱	<35	40 ~ 50	20 ~ 25	40 ~ 65	0.7 ~ 2.0
中	35 ~ 50	50 ~ 60	25 ~ 35	65 ~ 90	2.0 ~ 4.0
强	>50	>60	>35	>90	>4.0

邵阳地区是湖南膨胀土分布的典型地区之一, 潭邵高速公路全长 217.763 km, 穿越膨胀土区域达 22 km. 对 15 个土样, 按表 1 中的 5 个指标进行检测, 检测结果见表 2.

表 2 土样的指标实测值

Tab. 2 Test data of expansive soil samples

样 本	指 标 特 征 值				
	粒径小于等于 0.002 mm 的粘粒含量/ %	液限/ %	塑性指数/ %	自由膨胀率/ %	胀缩总率/ %
1	28.7	56.7	27.5	54.3	12.8
2	30.4	50.0	20.5	41.4	1.6
3	38.7	49.3	14.2	38.7	1.0
4	41.0	51.0	25.8	40.0	1.3
5	22.1	44.7	24.3	39.5	2.5
6	22.5	47.7	18.9	42.5	10.0
7	9.0	44.3	13.3	50.6	0.4
8	29.0	57.4	27.8	55.0	29.0
9	32.0	52.7	21.6	43.6	32.0
10	40.0	51.0	14.7	40.0	40.0
11	41.0	51.0	25.8	40.0	41.0
12	24.0	48.6	26.4	42.9	24.0
13	23.0	48.7	19.3	43.4	23.0
14	49.0	69.4	35.4	41.0	49.0
15	8.0	39.4	11.8	45.0	8.0

2.2 单指标属性测度函数

根据表 1 的数据和单指标属性测度函数计算式^[15], 构造单指标属性测度函数,

$$\mu_{i11}(t) = \begin{cases} 1, & t < 27.5 \\ \frac{42.5-t}{15}, & 27.5 \leq t \leq 42.5 \\ 0, & t > 42.5, \end{cases} \quad \mu_{i12}(t) = \begin{cases} 0, & t < 27.5 \\ \frac{t-27.5}{15}, & 27.5 \leq t \leq 42.5 \\ \frac{57.5-t}{15}, & 42.5 < t \leq 57.5 \\ 0, & t > 57.5, \end{cases} \quad \mu_{i13}(t) = \begin{cases} 0, & t < 42.5 \\ \frac{t-42.5}{15}, & 42.5 \leq t \leq 57.5 \\ 1, & t > 57.5; \end{cases}$$

$$\mu_{i21}(t) = \begin{cases} 1, & t < 45 \\ \frac{55-t}{10}, & 45 \leq t \leq 55 \\ 0, & t > 55, \end{cases} \quad \mu_{i22}(t) = \begin{cases} 0, & t < 45 \\ \frac{t-45}{10}, & 45 \leq t \leq 55 \\ \frac{65-t}{10}, & 55 < t \leq 65 \\ 0, & t > 65, \end{cases} \quad \mu_{i23}(t) = \begin{cases} 0, & t < 55 \\ \frac{t-55}{10}, & 55 \leq t \leq 65 \\ 1, & t > 65; \end{cases}$$

$$\mu_{i31}(t) = \begin{cases} 1, & t < 22.5 \\ \frac{27.5-t}{5}, & 22.5 \leq t \leq 27.5 \\ 0, & t > 27.5, \end{cases} \quad \mu_{i32}(t) = \begin{cases} 0, & t < 22.5 \\ \frac{t-22.5}{5}, & 22.5 \leq t \leq 27.5 \\ 1, & 27.5 < t < 32.5 \\ \frac{37.5-t}{5}, & 32.5 \leq t \leq 37.5 \\ 0, & t > 37.5, \end{cases} \quad \mu_{i33}(t) = \begin{cases} 0, & t < 32.5 \\ \frac{t-32.5}{5}, & 32.5 \leq t \leq 37.5 \\ 1, & t > 37.5; \end{cases}$$

$$\mu_{i41}(t) = \begin{cases} 1, & t < 52.5 \\ \frac{77.5-t}{25}, & 52.5 \leq t \leq 77.5 \\ 0, & t > 77.5, \end{cases} \quad \mu_{i42}(t) = \begin{cases} 0, & t < 52.5 \\ \frac{t-52.5}{25}, & 52.5 \leq t \leq 77.5 \\ \frac{92.5-t}{25}, & 77.5 < t \leq 92.5 \\ 0, & t > 92.5, \end{cases} \quad \mu_{i43}(t) = \begin{cases} 0, & t < 77.5 \\ \frac{t-77.5}{25}, & 77.5 \leq t \leq 92.5 \\ 1, & t > 92.5; \end{cases}$$

$$\mu_{s1}(t) = \begin{cases} 1, & t < 1.35 \\ \frac{2.65-t}{1.3}, & 1.35 \leq t \leq 2.65 \\ 0, & t > 2.65, \end{cases} \quad \mu_{s2}(t) = \begin{cases} 0, & t < 1.35 \\ \frac{t-1.35}{1.3}, & 1.35 \leq t \leq 2.65 \\ 1, & 2.65 < t < 3.35 \\ \frac{4.65-t}{1.3}, & 3.35 \leq t \leq 4.65 \\ 0, & t > 4.65, \end{cases} \quad \mu_{s3}(t) = \begin{cases} 0, & t < 3.35 \\ \frac{t-32.5}{1.3}, & 3.35 \leq t \leq 4.65 \\ 1, & t > 4.65. \end{cases}$$

2.3 评判过程

第 1 步 计算单指标属性测度

根据表 2 中的样本数据及单指标属性测度函数,计算单指标属性测度.以样本 1 为例,计算结果见表 3.

表 3 样本 1 的属性测度

Tab.3 Attribute measures of the first sample

项 目	指 标 特 征 值					属 性 测 度
	粒径小于等于 0.002 mm 的粘粒含量/ %	液 限	塑性指数/ %	自由膨胀率/ %	胀缩总率/ %	
测 量 值	28.7	56.7	27.5	54.3	12.8	
评 价 弱	0.920	0	0	0.928	0	0.370
评 价 中	0.080	0.830	1	0.072	0	0.396
评 价 强	0	0.170	0	0	1	0.234

第 2 步 确定各指标 I_j 的权重 w_j

w_j 采用客观性权重^[20],即利用向量的夹角余弦,构造出各评价指标的权重.计算方法见文献[15].计算得到评价指标的客观性权重为 $\omega_j = (0.202 \ 0.240 \ 0.211 \ 0.243 \ 0.104)$.

第 3 步 计算综合属性测度和进行属性识别

计算得到综合属性测度 μ_{sk} (见表 4),进行属性识别.取 $\lambda = 0.5$,得到各样本的属性综合评价结果,并与模糊评判法评价结果和《公路路基设计规范》评判法的评判结果进行了比较.

表 4 样本的综合属性测度及评价结果

Tab.4 Results of synthetic attribute measures of the samples and evaluation

土 样	评 价 等 级			属 性 测 度 模 型 评 价 结 果	模 糊 评 判 法 评 价 结 果	文 献 评 价 结 果 ^[16,17]
	弱	中	强			
1	0.411	0.444	0.145	中	弱	中
2	0.821	0.179	0	弱	弱	弱
3	0.746	0.254	0	弱	中	弱
4	0.535	0.465	0	弱	弱	弱
5	0.832	0.168	0	弱	弱	弱
6	0.831	0.065	0	弱	中	弱
7	1.000	0	0	弱	弱	弱
8	0.401	0.438	0.162	中	弱	中
9	0.727	0.273	0	弱	弱	弱
10	0.688	0.312	0	弱	弱	中
11	0.535	0.465	0	弱	弱	中
12	0.645	0.355	0	弱	弱	中
13	0.807	0.089	0.104	弱	弱	弱
14	0.295	0.234	0.471	中	弱	强
15	1	0	0	弱	弱	弱

由表 4 可见,属性识别结果与《公路路基设计规范》评判法、模糊综合评判法的评价结果基本一致.

3 结 语

以属性测度模型对膨胀土进行识别与分类,将复杂的评判过程简化为属性测度的计算,易为工程技术人员接受.实例研究结果表明,属性测度模型评价结果与《公路路基设计规范》评判法、模糊综合评判法的评价结果基本一致.

参 考 文 献:

- [1] 刘松玉. 应用灰色系统理论进行膨胀土分类的尝试[J]. 水文地质工程地质, 1990, (1): 32-34.
- [2] 李玉花, 冯晓腊, 严应征. 灰色聚类法在膨胀土分类中的应用[J]. 岩土力学, 2003, 24(2): 304-306.
- [3] 陈新民, 李生林. 膨胀土判别与分类的灰关连分析法[J]. 岩土力学, 1996, 17(4): 30-34.
- [4] 张欣海. 膨胀土胀缩等级划分的新途径[J]. 地震地质, 1991, 13(2): 126-128.
- [5] 黄 卫, 钟 理, 钱振东. 路基膨胀土胀缩等级的模糊评判[J]. 岩土工程学报, 1999, 21(4): 408-413.
- [6] 郭昱葵, 熊友山, 姚海林, 等. 模糊数学在当宜高速公路膨胀土判别和分类中的应用[J]. 岩土力学, 1999, 20(3): 61-65.
- [7] 王广月, 马华月, 刘 健. 路基膨胀土胀缩等级的物元可拓识别模型[J]. 公路交通科技, 2005, 22(11): 30-33.
- [8] 易顺民, 晏同珍. 膨胀土判别与分类的人工神经网络方法[J]. 地质科技情报, 1995, 14(3): 91-94.
- [9] 傅鹤林, 范臻辉, 刘宝琛. 利用人工神经网络模型判定膨胀土等级[J]. 中国铁道科学, 2002, 23(5): 118-120.
- [10] 程乾生. 属性识别理论模型及其应用[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1997, 33(1): 12-20.
- [11] 程乾生. 属性集和属性综合评价系统[J]. 系统工程理论与实践, 1997, 17(9): 1-8.
- [12] 程乾生. 质量评价的属性数学模型和模糊数学模型[J]. 数理统计与管理, 1997, 16(6): 18-23.
- [13] 程乾生. 属性数学——属性测度和属性统计[J]. 数学的实践与认识, 1998, 28(2): 97-107.
- [14] 程乾生. 属性均值聚类[J]. 系统工程理论与实践, 1998, 23(9): 124-126.
- [15] 文畅平. 黄土边坡稳定性的属性识别模型[J]. 水利水运工程学报, 2007, (2): 10-16.
- [16] JTJ013-95. 公路路基设计规范[S].
- [17] JTG D30-2004. 公路路基设计规范[S].
- [18] 汪双杰, 张留俊, 刘松玉, 等. 高速公路不良地基处理理论与方法[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004: 246-251.
- [19] 李生林. 中国膨胀土工程地质研究[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992: 158-167.
- [20] 庞彦军, 刘开第, 张博文. 综合评价体系客观性权重的确定方法[J]. 系统工程理论与实践, 2001, 21(8): 37-42.

国家科技支撑计划“雨洪资源利用技术研究及应用” 项目进展情况汇报及专家咨询会在长春召开

为总结和评估“十一五”国家科技支撑计划项目“雨洪资源利用技术研究及应用”项目各课题的研究成果,确保项目按期高质量地完成,我院于2008年1月5日在吉林省长春市召开了“雨洪资源利用技术研究及应用”项目2007年度工作进展情况汇报及专家咨询会,陈志恺院士、林学钰院士、刘国纬教授、翁文斌教授、许新宜教授和曹寅白教高等6名咨询专家以及有关单位领导、各课题负责人和主要研究人员等40余人参加了此次会议。

——摘自《南京水利科学研究院网站》(<http://www.nhri.cn>)