

可拓学在膨胀土胀缩等级评判中的应用

Application of extension method to the evaluation of the grade of shrinkage and expansion for the expansive soil

汪明武^{1,2}, 金菊良¹, 李 丽³

(1. 合肥工业大学 土木建筑工程学院, 安徽 合肥 230009; 2. 京都大学 防灾研究所, 日本 京都 611-0011; 3. 合肥工业大学 资源与环境工程学院, 安徽 合肥 230009)

中图分类号: P 624. 13 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2003)06-0754-04

作者简介: 汪明武(1972-), 男, 安徽歙县人, 副教授, 2000年在南京大学获博士学位, 现在日本京都大学进行博士后研究。主要从事城市环境岩土工程、岩土地震工程和防灾工程的教学和科研工作。

0 引言*

我国膨胀土分布很广, 膨胀土具有显著的吸水膨胀、失水收缩和对环境变化敏感的特性, 易使土体稳定性受到破坏。工程实践表明, 对膨胀土漏判将埋下隐患, 给工程活动带来危害, 反之, 如将普通土误判为膨胀土或对其胀缩等级判别有误, 则造成巨大经济损失, 故对膨胀土胀缩等级的分类研究显得极为重要, 一直受到工程界的重视, 它也是治理膨胀土的首要任务^[1-4]。

目前, 膨胀土胀缩等级的分类问题还没得到很好解决, 因膨胀土的胀缩等级受诸多因素影响与控制, 且随时间地点而变异。国内对于膨胀土胀缩等级的判别大多采用单个或少数几个判别指标进行判别的传统方法, 如风干含水率分类法^[5]、塑性图分类法^[11]等, 但由于影响膨胀土胀缩的因素多, 且这些指标在获取时具有一定的片面性、随机性和不确定性, 故上述方法不能全面地反映膨胀土特性, 有时甚至会出现误判, 且不同方法常得出矛盾的结论, 故而人们引入模糊数学判别法来弥补以上缺陷, 采用了多指标判别模型, 如灰色聚类法、关联度方法等^[6-9], 避免了用单因子判别的缺陷, 但模糊数学或灰色关联度法在分析过程中评价指标采用了某一确定值, 但实际为区间值, 对不同胀缩等级区别也不能具体反映。另外, 近年来, 人们尝试用神经网络的“反向传播”模型来反映膨胀土的胀缩性同其物理力学试验指标之间的非线性关系, 克服了传统的统计回归方法隐含着判别因子同胀缩性之间存在着某种确定性关系的假定, 但知识获取也是一件不容易的事, 故该法有一定的适用范围和局限性。因此, 膨胀土是复杂的土体, 影响和控制胀缩性及其危害的诸多因素是相互联系、相互依存、相互作用的, 被评价膨胀土对象具有随机性和模糊性以及在不同条件下的可变性, 故膨胀土胀缩等级评价问题实质上是个不相容问

题, 其评价不仅需要从多个指标综合考虑, 且应解决在一个标准作综合评定时, 各单项指标评定等级出现相互矛盾的问题, 即把单项指标评定结果的不相容性转化为相容性是关键。近年来发展起来的可拓学就是用形式化的工具, 从定性和定量两个角度去研究解决矛盾问题的规律和方法, 在许多领域得到成功应用^[10, 11], 此也为膨胀土胀缩等级的综合评价分析提供了新的途径。本文试图以可拓论为基础, 建立膨胀土胀缩等级可拓综合评价模型, 以期从另一角度探求膨胀土胀缩等级综合分析方法。

1 可拓论简介

可拓学(Extensics)始于不相容问题的转化规律与解决方法的研究, 以论文“可拓集合与不相容问题”的发表作为诞生标志, 现已发展到可拓信息、可拓控制、可拓系统、可拓逻辑和可拓工程方法等众多分支^[10-12]。可拓学以物元为逻辑细胞, 以物元理论和可拓集合理论为理论基石, 提出了解决矛盾问题的形式化方法, 将事物的质与量作为一个整体来考虑, 把解决矛盾问题的过程量化, 创立物元和可拓集合两个新概念来描述事物的属性及其转化, 以及不具有某种性质的事物向具有某种性质的事物的转化的过程。物元定义为: 给定事物的名称 N , 它关于特征 C 的量值为 V , 以有序三元组 $R = (\text{事物}, \text{特征}, \text{量值}) = (N, C, V)$ 作为描述事物的基本元, 简称物元, 不同的物体可以具有相同的特征元, 用同征物元表示。物元具有可拓性, 此为人们解决矛盾问题而进行的平行性、整体性和变通性的思维活动提供了可行的工具。可拓集合是解决

* 基金项目: 安徽省自然科学基金资助项目(01045409, 01045102); 教育部优秀青年资助计划(教人司[2002]350)项目; 安徽省优秀青年科技基金项目
收稿日期: 2002-11-09

矛盾问题的定量化工具, 定义如下: 设论域为 U , 若对 U 中任一元素 $u, u \in U$, 都有一实数 $K(u) \in (-\infty, +\infty)$ 与之对应, 则称 $A = \{(u, y) | u \in U, y = K(u) \in (-\infty, +\infty)\}$ 为论域 U 上的一个可拓集合, 其中 y 为 A 的关联函数, $K(u)$ 为 u 关于 A 的关联度, 它能体现“既是又非”的临界概念, 且在类内可区分不同层次, 从而可描述“是变为非, 非变为是”的事物可变性过程。

可见, 可拓学从新的角度来认识现实世界, 它以物元为基础建立物元模型来描述矛盾问题, 以物元可拓性为依据, 以物元变换作为解决矛盾问题的手段, 并在可拓集合中, 通过建立关联函数对事物的量变和质变过程进行定量描述, 即利用可拓域和零界元素对事物的量变和质变进行量化的描述。它可描述事物的可变性, 把是与非的定性描述发展为定量描述, 也为解决膨胀土胀缩等级的评判问题提供了一个新的途径。

2 膨胀土胀缩等级可拓综合评价模型

2.1 基本原理

基于可拓论的识别和综合评价的基本原理: 把描述或评价的对象、各特征和对象关于特征的量值组成一个整体——物元来研究, 用可拓集合的关联函数值——关联度的大小来描述各种特征参数与所研究的对象的从属关系, 从而把属于或不属于的定性描述扩展为定量描述。膨胀土胀缩等级可拓综合评价具体步骤为: ①确定膨胀土胀缩等级评判的评价指标和类别等级标准, 以建立衡量条件集 $M = \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$, 其中 $M_i = (C_i, V_i)$ 为特征元, V_i 为特征 C_i 的量值域; ②建立关联函数 K_i 和确定权系数以计算待判膨胀土物元实测数据对各特征元相应类别 N_j 的综合关联函数值; ③按与各等级集合的关联度大小进行比较来评定等级, 操作流程见图 1。

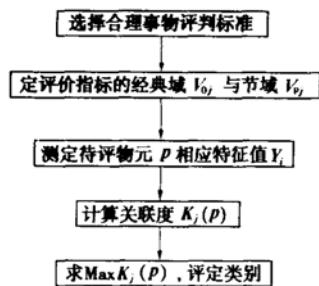


图 1 可拓评判方法流程图

Fig. 1 Flowchart of the extension evaluation method

2.2 膨胀土胀缩等级评判可拓集合

设 N 为 $N_1, N_2, \dots, N_j, \dots, N_m$ 事物(膨胀土胀缩等级)的全体, C_i 为事物 N 的第 i 个特征(评价指标), V_{ij}

为事物 N_j 关于指标 C_i 的量值, 则膨胀土胀缩等级可拓评判的 m 个同征物元 R_j 为

$$R_j = (N_j, C_i, V_{ij}) = \begin{pmatrix} N_j & C_1 & V_{1j} \\ N_2 & C_2 & V_{2j} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ N_m & C_n & V_{nj} \end{pmatrix}, j = 1, 2, \dots, m.$$

待评物元 R_p 可表示为

$$R_p = \begin{pmatrix} p & C_1 & V_{1p} \\ \vdots & C_2 & V_{2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & C_n & V_{np} \end{pmatrix}, p = 1, 2, 3, \dots.$$

2.3 确定经典域和节域

设 R_{0j} 为同征物元 R_j 的同征物元体, 则经典域为

$$R_{0i} = \begin{pmatrix} N & N_1 & N_2 & \dots & N_m \\ C & V_1 & V_2 & \dots & V_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} N & N_1 & N_2 & \dots & N_m \\ C_1 & \langle a_{11}, b_{11} \rangle & \langle a_{12}, b_{12} \rangle & \dots & \langle a_{1m}, b_{1m} \rangle \\ C_2 & \langle a_{21}, b_{21} \rangle & \langle a_{22}, b_{22} \rangle & \dots & \langle a_{2m}, b_{2m} \rangle \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ C_n & \langle a_{n1}, b_{n1} \rangle & \langle a_{n2}, b_{n2} \rangle & \dots & \langle a_{nm}, b_{nm} \rangle \end{pmatrix},$$

$V_{ij} \langle a_{ij}, b_{ij} \rangle$ 为 N_j 关于特征 C_i 所规定的量值范围, 则相应评价指标的节域 R_p 可定义如下:

$$R_p = \begin{pmatrix} p & C_1 & V_{1d} \\ \vdots & C_2 & V_{2d} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & C_n & V_{nd} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p & C_1 & \langle a_{1d}, b_{1d} \rangle \\ \vdots & C_2 & \langle a_{2d}, b_{2d} \rangle \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & C_n & \langle a_{nd}, b_{nd} \rangle \end{pmatrix}.$$

2.4 计算待评膨胀土 $R(p)$ 对膨胀土胀缩等级 j 的关联度

$$K_j(p) = \sum_{i=1}^n \lambda K_j(v_i), \sum_{i=1}^n \lambda = 1. \quad (1)$$

$$K_j(v_i) = \begin{cases} \frac{\rho(v_i, V_{ij})}{\rho(v_i, V_{ip}) - \rho(v_i, V_{ij})}, & \rho(v_i, V_{ij}) \neq \rho(v_i, V_{ip}), \\ -\rho(v_i, V_{ij}) - 1, & \rho(v_i, V_{ij}) = \rho(v_i, V_{ip}). \end{cases} \quad (2)$$

$$\rho(v_i, \langle a, b \rangle) = \left| v_i - \frac{a+b}{2} \right| - \frac{b-a}{2}. \quad (3)$$

式中 $K_j(p)$ 为待评膨胀土 $R(p)$ 对膨胀土胀缩等级 j 的关联度; λ 为权系数 ($i = 1, 2, \dots, n$); $K_j(v_i)$ 为待评膨胀土特征 v_i 对膨胀土胀缩等级 j 的关联度; $\rho(v_i, V)$ 为 v_i 同 V 的距。

2.5 评定膨胀土胀缩等级和计算级别特征变量值

待评膨胀土的胀缩等级属于何类别, 由式(1)~(3)计算关联度值, 若其与某等级的关联度值越大, 则它与某等级集合的符合程度就愈佳, 即可按下准则来确定,

表1 膨胀土胀缩等级可拓综合评价结果及对比

Table 1 Results from extension synthesis assessment for the grade of shrinkage and expansion of expansive soil

| $K_j(p)$ | $j=1$ | $j=2$ | $j=3$ | $j=4$ | $\text{Max}K_j(p)$ | j^0 | j^* | 文献[8] |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------------------|-------|-------|-------|
| $p=1$ | 0.063 | 0.007 | -0.218 | -0.400 | 0.063 | 1 | 1.73 | I |
| $p=2$ | -0.234 | 0.015 | 0.002 | -0.317 | 0.015 | 2 | 2.32 | II |
| $p=3$ | -0.374 | 0.100 | 0.189 | -0.250 | 0.189 | 3 | 2.84 | III |
| $p=4$ | -0.179 | -0.109 | 0.032 | -0.273 | 0.032 | 3 | 2.37 | II |
| $p=5$ | 0.213 | -0.101 | -0.274 | -0.437 | 0.213 | 1 | 1.58 | I |
| $p=6$ | -0.117 | 0.147 | -0.106 | -0.371 | 0.147 | 2 | 2.01 | II |
| $p=7$ | -0.402 | -0.124 | -0.015 | -0.149 | -0.015 | 3 | 2.97 | III |
| $p=8$ | -0.640 | -0.508 | -0.202 | 0.693 | 0.693 | 4 | 3.63 | IV |
| $p=9$ | -0.568 | -0.402 | -0.099 | 0.221 | 0.221 | 4 | 3.44 | IV |
| $p=10$ | -0.368 | -0.103 | 0.172 | -0.201 | 0.172 | 3 | 2.90 | III |
| $p=11$ | -0.181 | -0.147 | -0.210 | -0.250 | -0.147 | 2 | 1.86 | II |
| $p=12$ | 0.032 | -0.028 | -0.249 | -0.424 | 0.323 | 1 | 1.73 | I |
| $p=13$ | 0.422 | -0.192 | -0.338 | -0.467 | 0.422 | 1 | 1.41 | I |
| $p=14$ | -0.419 | -0.203 | -0.213 | -0.061 | -0.061 | 4 | 3.18 | III |
| $p=15$ | -0.733 | -0.646 | -0.463 | 0.188 | 0.188 | 4 | 3.65 | IV |

$$K_{j0}(p) = \text{Max}\{K_1(p), K_2(p), \dots, K_m(p)\}, \quad (4)$$

若 $K_{j0}(p) = \text{Max}K_j(p)$, $j = 1, 2, \dots, m$, 则评定 p 属于等级 j 。为在等级内可区分不同层次, 实现描述事物的可变性过程, 本文利用待评膨胀土物元判定的级别特征值 j^* 来表示 j^* 可解释如下, 例如若某个膨胀土待评物元判定的等级 j_0 为 3, 而相应的级别特征值 j^* 为 3.68, 则表示 p 属于第三类偏向第四类(严格说来应属于 3.68 类), 从而 j^* 中可反映待评物元偏向另一类的具体程度。级别变量特征值 j^* 可按式(5)计算求得,

$$j^* = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{K}_i(p)}{\sum_{j=1}^m j \cdot \bar{K}_j(p)}, \quad (5)$$

相应的级别变量特征值可按式(6)计算求得

$$\bar{K}_j(p) = \frac{K_j(p) - \text{Min}K_j(p)}{\text{Max}K_j(p) - \text{Min}K_j(p)}, \quad (6)$$

式中 j^* 为待评膨胀土物元判定的级别特征值。

3 实例

笔者选用文献[8]的数据作为实例, 实例中对膨胀

土类别评判过程中选用了易于测定的液限 $W_L(C_1)$ 、胀缩总率 $e_{ts}(C_2)$ 、塑性指数 $I_p(C_3)$ 、天然含水率 $w(C_4)$ 、自由膨胀率 $F_s(C_5)$ 作为评价指标, 将膨胀土胀缩等级分为四级, 即极高 I (N_1)、高 II (N_2)、中 III (N_3)、低 IV (N_4), 各等级评价标准详见参考文献[6, 8], 则膨胀土胀缩等级可拓综合评价的同征物元体 R_{0i} 和节域 R_p 可描述如下:

$$R_{0i} = \begin{bmatrix} N & N_1 & N_2 & N_3 & N_4 \\ C_1 & [55, 100] & [50, 55] & [45, 50] & [40, 45] \\ C_2 & [6, 100] & [4, 6] & [2, 4] & [0, 2] \\ C_3 & [35, 100] & [25, 35] & [18, 25] & [0, 18] \\ C_4 & [0, 15] & [15, 25] & [25, 35] & [35, 100] \\ C_5 & [85, 200] & [70, 85] & [55, 70] & [40, 55] \end{bmatrix},$$

$$R_p = \begin{bmatrix} p & C_1 & [40, 100] \\ \vdots & C_2 & [0, 100] \\ \vdots & C_3 & [0, 100] \\ \vdots & C_4 & [0, 100] \\ \vdots & C_5 & [40, 200] \end{bmatrix}, \text{ 由文献[8]的膨胀土实测}$$

数据可构成待评同征物元体 R 为

$$R = \begin{bmatrix} p & p_1 & p_2 & p_3 & p_4 & p_5 & p_6 & p_7 & p_8 & p_9 & p_{10} & p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} & p_{15} \\ C_1 & 60 & 50 & 47 & 57 & 66 & 57 & 44 & 43 & 42 & 47 & 44 & 55 & 63 & 53 & 41 \\ C_2 & 7 & 5 & 4 & 6 & 7 & 5 & 4 & 1.4 & 3.3 & 5 & 4.5 & 6 & 8 & 4.2 & 0.65 \\ C_3 & 36 & 36 & 24 & 25 & 35 & 29 & 23 & 16 & 21 & 27 & 38 & 38 & 42 & 18.5 & 13 \\ C_4 & 20 & 27 & 29 & 33 & 14 & 20 & 24 & 44 & 44 & 37 & 14 & 14.7 & 10 & 40 & 44 \\ C_5 & 80 & 66 & 70 & 61 & 83 & 74 & 74 & 56 & 53 & 59 & 88 & 88 & 84 & 41.5 & 51 \end{bmatrix},$$

权系数的确定参见文献[8]或文献[12]方法,则实例相应的评价结果见表1。由表1结果可见,可拓综合评价结果同模糊数学评判结果基本吻合,且能定量表示属于各级别的程度,以及向另一级别可能转换的程度,同时表明应用可拓论来评价膨胀土胀缩等级是可行的。

4 结 语

膨胀土胀缩等级的评判是一个复杂问题,本文利用可拓论评判思想,建立了多指标膨胀土胀缩等级综合评价模型与方法,并以定量的数值表示评定结果,并在实际工程中得到应用,取得了良好的效果。实例应用表明该方法能较真实地反映实际膨胀土胀缩等级水平,且易于计算机进行规范化评定,能改进传统算法的近似性,排除了人为因素对分析、评定或预测结果的干扰,具有较强的识别评判能力和简便、定量严密的特点,该方法对其他综合评价工作也有一定的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 李生林,秦素娟,薄遵昭,等.中国膨胀土工程地质研究[M].南京:江苏科学技术出版社,1992. 145-170.
- [2] 刘松玉,季鹏,方磊.击实膨胀土的循环膨胀特性研究[J].岩土工程学报,1999,21(1): 9-13.
- [3] 谭罗荣.某些膨胀土的基本性质研究[J].岩土工程学报,1987,9(2): 32-41.
- [4] 刘特洪.工程建设中的膨胀土问题[M].北京:中国建筑工业出版社,1998. 78-93.
- [5] 谭罗荣,张梅英,邵梧敏,等.风干含水量 ω_{65} 用作膨胀土判别分类指标的可行性研究[J].工程地质学报,1994,2(1): 15-26.
- [6] 陈新民,李生林.膨胀土判别与分类的灰色关联分析法[J].岩土力学,1996,17(4): 30-348.
- [7] 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.
- [8] 蔡奕,王宝军,施斌,等. GIS环境下膨胀土胀缩等级的模糊数学评判[J].工程勘察,2002,(2): 1-4.
- [9] 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.
- [10] 蔡文.可拓论及其应用[J].科学通报,1999,44(7): 673-682.
- [11] 蔡文.可拓集合和不相容问题[J].科学探索学报,1983,(1): 83-97.
- [12] 蔡文,杨春燕,林伟初.可拓工程方法[M].北京:科学出版社,2000. 4-9.

2003年城市地下空间岩土工程暨市政管线新技术、新设备交流会在深圳市举行

由建设部信息中心主办的“2003年城市地下空间岩土工程暨市政管线新技术、新设备交流会”于11月6~8日在深圳市举行。应邀到会作报告的有:中国工程院院士黄熙龄研究员(题目是:高层建筑与地基共同作用)、浙江省建协地下工程分会会长史佩栋教授(题目是:深基础工程特殊技术问题)、深圳市建设局总工李荣强博士(题目是:深圳地铁一期工程施工技术报告)、深圳市地铁公司总工陈湘生博士(题目是:冻结法施工中的风险防范)、中科院武汉岩土力学研究所原所长白世伟研究员(题目是:可视化和地基稳定性研究)、同济大学地下空间研究中心副主任束昱教授(题目是:城市地下空间开发利用

及日、法、加拿大等国的有关最新动态)、河海大学环境科学与工程学院副院长朱伟教授(题目是:盾构施工在软弱岩地段的应用)、中煤建设集团副总工张文教授(题目是:(1)地层人工冻结层技术的应用;(2)岩土工程施工中的安全防范措施与案例剖析)、中国地质大学博士潘宝明(题目是:市政管线信息化建设及地下管线探测技术)。

参加会议的有来自全国各地的代表共200余人,大家普遍感到这次会议举办适时,收获很大。代表们还参观了正在紧张施工的深圳地铁盾构工地和暗挖工地,受到陈湘生总工和工地主要负责人的热情接待。

(史佩栋 供稿)