

ファジー理論を用いた岩盤の評価法

神戸大学工学部 正 ○ 清水則一 正 桜井春輔

1. まえがき

岩盤構造物の建設において、現場計測の重要性は広く認識されているが、比較的大規模かつ重要な構造物に対して実施されることが多く、小規模構造物、例えば径の小さい導水トンネルなどに対しては現場計測は行われないこともある。そのような場合、技術者は坑内観察などから、経験に基づき岩盤の性状を評価しているのが実状であろう。このような技術者の経験的な判断は主観的であるとされ、これまで、岩盤工学の方法論の中で取り上げられることが少なかった。しかし、著者らは、十分な実績によって裏付けられた技術者の経験や主観は工学上有用であり、積極的に利用すべきであるという立場から、ファジー理論を用いて岩盤分類を構成する方法を提案している¹⁾。本報告はその具体例を示すものである。なお、ファジー理論とは、人間の主観に係わるあいまいさを数学的に表現するために提案されたファジー集合²⁾及びこれを基礎とする理論の総称である。

2. ファジー岩盤分類の具体例

著者らは先に、ファジー理論を用いて技術者の主観を取り入れることのできる岩盤分類を構成し、これをファジー岩盤分類と名付けた¹⁾。ここでは、ファジー岩盤分類の具体例として RMR システム³⁾を参考にし、トンネルの岩盤分類を以下の手順に従って作成する⁴⁾。

- (1) 分類要因の判定区分の設定—[ア]ファジー岩盤分類の分類要因 $X_i (i=1, 2, \dots, 6)$ に RMR システムと同じものを用いる。[イ]分類要因の判定区分は表—1 のように設定する。それらの帰属度関数は、判定区分 I, II, III, IV, V に対して標準関数を用い、図—1 のように定める。なお、ここでは全体集合を $\{c_i \mid c_i = 1.0 + 0.5 \cdot (i-1), i=1, 2, \dots, 9\}$ とする。 c_i の値は岩盤の性状の良い悪いを表すものとする。すなわち、1.0 及び 5.0 はそれぞれ岩盤の性状が最も悪い及び良いという両極を、また、中間の値は両極の中間の性状を表す。
- (2) 分類要因の重要度の設定—重要度係数 W_{ik} は、RMR システムの評点を参考に与える。ここでは、簡単のために重要度係数は各分類要因において一定として、 $i=1, 2, \dots, 6$ に対してそれぞれ、0.5, 0.7, 0.7, 1.0, 0.5, 0.4 を与える。

- (3) 岩盤の総合評価—[ア]ファジー集合としての“対象岩盤”の帰属度関数 μ_R を次式によって定める。

$$\mu_R(c_n) = \bigvee_{k=1}^V (W_k/W) \mu_{xk}(c_n) \quad [W = \bigvee_{k=1}^V W_k, W_k = \sum_{i=1}^6 W_{ik} \delta(k, k_i)] \quad (1)$$

ただし、 μ_{xk} は分類要因 X_i の判定区分 k の帰属度関数である。また、 $\delta(k, k_i)$ は $k=k_i$ のとき 1, $k \neq k_i$ のとき 0 とする。なお、 k_i は分類要因 X_i の判定結果の区分番号 (I, II, III, IV, V のいずれか) である。[イ] μ_R を用いて λ -ファジー測度求める。[ウ] 岩盤の評価区分は“I. 非常によい”, “II. 良い”, “III. 普通”, “IV. 悪い”, “V. 非常に悪い”の5段階とする。これらをファジー集合 $Z_j (j=1, 2, 3, 4, 5)$ と定義する。な

Norikazu Shimizu and Shunsuke Sakurai

お、帰属度関数 μ_{zj} は図-1と同じものを用いる。[I]岩盤の総合的な評価をファジー積分⁵⁾によって行う。

$$FI(j) = f \mu_{zj} \circ g_{\lambda} = \bigvee_{i=1}^q [\mu_{zj}(c_i^{(j)}) \wedge g_{\lambda}(F_i^{(j)})] \quad (j=1,2,\dots,5) \quad (2)$$

ただし、 $\mu_{zj}(c_1^{(j)}) \geq \mu_{zj}(c_2^{(j)}) \geq \dots \geq \mu_{zj}(c_N^{(j)})$ となるように c_i の順番を並びかえている。また、 $F_i^{(j)} = \{c_1^{(j)}, c_2^{(j)}, \dots, c_i^{(j)}\}$ である。

以上のようにして作成したファジー岩盤分類では、分類結果は岩盤の評価区分に対するファジー期待値の分布として求められる。

さて、現行の岩盤分類の大部分においては、分類結果は一つの評点あるいは等級として与えられるので、分類結果において対象岩盤の特徴が平均化される。たとえば、表-2に示す岩盤の場合、分類要因の判定は”良い”側と”悪い”側に分散しているが、RMR=55, Fairと判定される。つまり、RMR システムの判定結果は、分類要因のそれぞれの判定結果を平均したものとなっている。これに対し、本ファジー岩盤分類では、図-2のようなファジー期待値の分布を得る。したがって、ファジー岩盤分類では、分類結果は分類要因の判定結果を直接反映したものとなっており、岩盤の評価において多面的な情報を与える特徴を有するものと考えられる。

3. むすび

本報告では、技術者の主観や思考過程を取り扱うことのできるファジー岩盤分類の具体例と、その特徴の一つを示した。

参考文献 1)清水・桜井,第18回岩盤力学シンポジウム講演論文集,pp.416,1986 2)Zadeh, L.A.,Information and Control,8,pp.338,1965 3)Bieniawski, Z.T., Proc. 3rd ISRM Cong., II-A,pp.27,1974 4)清水・桜井,土木学会論文集(投稿中) 5)菅野,計測自動制御学会論文集,8,2,pp.218,1972

表-1 ファジー岩盤分類の分類要因と判定区分

項目 \ 判定区分	I	II	III	IV	V
X_1 新鮮な岩石の一軸圧縮強度 (Mpa)	非常に大きい (>250)	大きい (100-250)	中程度 (50-100)	小さい (25-50)	非常に小さい (25 <)
X_2 R Q D (%)	非常に良い (90-100)	良い (75-90)	普通 (50-75)	悪い (25-50)	非常に悪い (25 <)
X_3 割れ目間隔 (cm)	非常に広い (>200)	広い (60-200)	中程度 (20-60)	狭い (6-20)	非常に狭い (6 <)
X_4 割れ目状態	非常に良い	良い	普通	悪い	非常に悪い
X_5 湧水状況	乾燥	湿った	ぬれた	滴水	流水
X_6 構造物と割れ目の方向の関係	非常に有利	有利	普通	不利	非常に不利

表-2 例題

分類要因	判定	評点	ファジー岩盤分類のための判定
1 新鮮な岩石の一軸圧縮強度	30 Mpa	4	IV 小さい
2 R Q D	80 %	17	II 良い
3 割れ目間隔	100 cm	15	II 広い
4 割れ目状態	わずかに粗い表面 分離 1mm 以下 わずかに風化	25	II 良い
5 湧水状況	滴水	4	IV 滴水
6 構造物と割れ目の方向の関係	不利	-10	IV 不利
RMR			55
評価			Fair

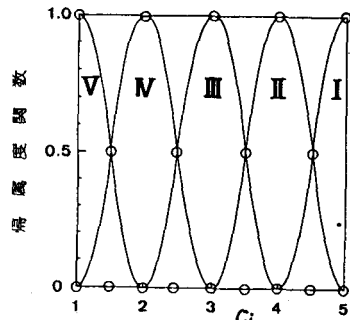


図-1 帰属度関数

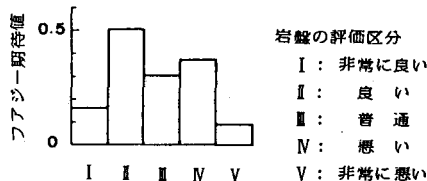


図-2 ファジー岩盤分類の結果
($\lambda=0$ の場合)