

III-388

ファジー理論を用いた
トンネル切羽観察結果の一評価法

神戸大学工学部 正〇清水則一
同 正 桜井春輔

1. はしがき

ファジー理論とは、あいまいな概念や人間の持つ主観性を表現する目的で考案されたファジー集合を基礎とする数理モデル理論の総称である。地盤工学、特に、トンネル工学においては、力学を代表とする客観的に明確な理論だけでは解決することが困難な多くの問題があり、ファジー理論はこれらの分野で有効な方法となる可能性を有している。著者は、このことに注目し、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)~3)}。

一方、トンネルの分野では、観測施工が取り入れられ、観察・計測を重要視している。特に、切羽観察は容易に行えることから、日常の必須作業となっている。しかし、観察結果が質的なことや、その評価に技術者の主観が介入することから、一般的な評価法を作成することは困難とされている。本報告では実際の観察結果に基づき、ファジー理論を利用した切羽観察結果の一評価法を作成する。

2. ファジー理論を用いた切羽観察結果の評価法の作成

切羽観察の評価結果は、施工すべき支保パターンと対応するものでなくてはならないが、ここでは、研究の第一段階として「掘削後トンネルに異状が生じるか否かを判定できる」ということに限定した評価法を作成する。図-1に評価法の一般的な作成手順を示す。ここでは、具体的な例を取り（Aトンネル：神戸層群に掘削された上半半径約3.5mの馬蹄形トンネル）評価法を作成する。

[1] まず、切羽観察項目を設定する。Aトンネルの観察項目及び判定区分は表-1のとうりである（文献4）参考）。ただし、Aトンネルでは何れの切羽、また、何れの観察項目においても区分4の判定結果がないため、ここでは判定区分として、1,2,3のみを設定する。

[2] 観察項目の判定区分の境界はあいまいであると考えられるので、評価区分を区間[0,1]で定義されるファジー集合として表現する。これらの帰属度関数を図-2に示す。

[3] 地山の評価区分（地山等級）を”Ⅰ．良い”，”Ⅱ．普通”，”Ⅲ．悪い”の三段階とし、これらをファジー集合として定義する。帰属度関数は判定区分と同じものを用いる（図-2）。

[4] 評価結果に及ぼす観察項目の影響程度を考慮して、各観察項目の重要度係数を設定する。

[5] ファジー積分を利用して切羽観察結果の評価を行う。なお、この演算は、著者の提案しているファジー岩盤分類^{1)~3)}と同じである。すなわち、評価結果は対象とする切羽が[3]で定義した地山等級Ⅰ，Ⅱ，Ⅲにそれぞれ属する程度（ファジー期待度）として求められる。たとえば、ある切羽に対して評価

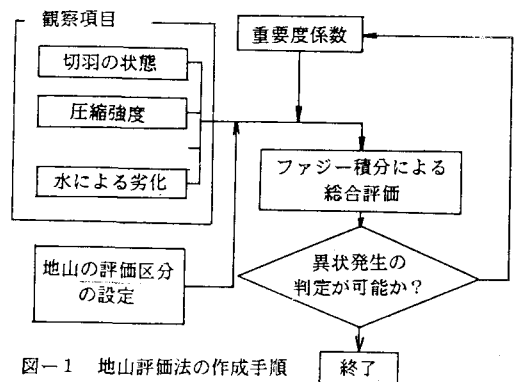


図-1 地山評価法の作成手順

表-1 観察項目と判定区分

		判定区分			
		1	2	3	4 (除外)
観察項目	1 切羽の状態	1. 安定	2. 前面から岩塊が抜け落ちる	3. 前面の押し出しを生じる	4. 前面は自立せず崩れあるいは流出
	2 圧縮強度	1. $qc \geq 1000 \text{ kgf/cm}^2$ (ハンマー打撃は返る)	2. $1000 > qc \geq 200$ (ハンマー打撃でくだける)	3. $200 > qc \geq 50$ (軽い打撃でくだける)	4. $50 \text{ kgf/cm}^2 > qc$ (ハンマーで先強いのこむ)
	3 風化変質	1. なし・健全	2. 岩目に沿って変色強度やや低下	3. 全体に変色、強度相当に低下	4. 土砂状、粘土状、破砕、当初より未固結
	4 割れ目の総数	1. 間隔 $d \geq 1 \text{ m}$	2. $1 \text{ m} > d \geq 20 \text{ cm}$	3. $20 \text{ cm} > d \geq 5 \text{ cm}$	4. $5 \text{ cm} > d$ 破砕当初より未固結
	5 割れ目の状態	1. 密着	2. 部分的に開口	3. 開口	4. 粘土をはさむ当初より未固結
	6 水による劣化	1. なし	2. ゆるみを生ず	3. 軟弱化	4. 崩壊・流出

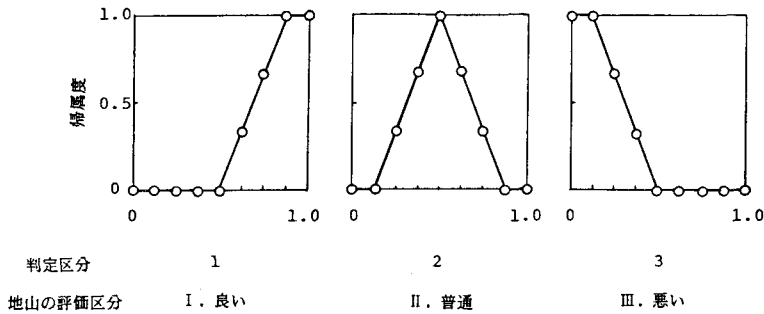


図-2 帰属度関数

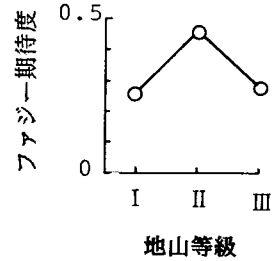


図-3 評価結果の一例

表-2 重要度係数

項目	初期値	最終値
1	1.0	0.3
2	0.6	1.0
3	0.9	0.3
4	0.4	1.0
5	0.4	0.3
6	0.3	0.3

結果は図-3のように求められる。この結果は、観察した切羽近傍は地山等級IIに属する程度が最も大きい(約0.46)が、I, IIIに属する可能性もあることを示している(それぞれ約0.26及び0.28)。

[6] 数断面の切羽観察記録を評価した結果から、掘削後にトンネルの異状が生じたか否かを明確に判断できるまで重要度係数を修正し、[4]~[5]を繰り返す。なお、ここで言う異状とは”吹付けコンクリートのひび割れ”及び”ロックボルトのプレート地山への食い込み”の事である。

上記の方法の中で観察項目、判定区分、地山等級及びそれらの帰属度関数を対象とする地山条件を考慮して設定すれば、本方法は他のトンネルにも適用できる。

3. 評価結果

既に掘削が終了している8断面(上半部)について、2章で示した方法を適用する。表-2に重要度係数の初期値と最終値を、また、図-4に評価結果を示す。同図より、ファジー期待度の分布が右上がりならば異状が発生し(切羽No.3,5,6,7,8)、この分布形は正常な場合(No.1,2,4)とは明らかに異なることが分かる。したがって、評価結果の分布形によって、掘削後異状が生じるかどうか、切羽観察結果から明確に判別される。

4. むすび

本報告では、実際の観察結果に基づき、ファジー理論を利用したトンネル切羽観察結果の一評価法を作成した。本法によれば、切羽観察結果から掘削後異状が生じるかどうか、明確に判別される。この方法をより有効なものとするためには、評価結果と採用すべき最適な支保パターンとを結び付けることが必要である。今後の課題としたい。

最後に、切羽観察記録の資料を作成・提供して頂いた関係者各位に感謝致します。

参考文献 1)清水,桜井: あいまい理論を用いた岩盤分類について, 18回岩盤シンポ, pp.416-420, 1986. 2)同: ファジー理論を用いた岩盤の評価法, 土木学会関西支部講演, III-20, 1986. 3)同: ファジー理論を用いた岩盤分類の構成方法に関する研究, 土木学会論文集III (投稿中) 4)日本鉄道建設公団: NATM設計施工指針(案), pp.109, 1983.

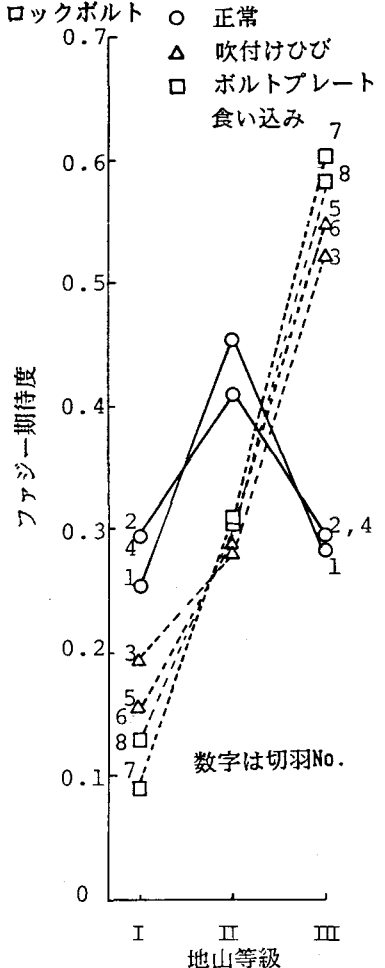


図-4 切羽観察の評価結果