

飛鳥建設(株) 構造技術部 正 近久博志 正 藤原雅博  
 飛鳥建設(株) 構造技術部 正 荒井幸夫 正〇筒井雅行

1. はじめに

トンネルにおける一連の施工管理の中でも、トンネル構造物に異常が認められる場合に実施すべき対策工の選定は、その最終的な意志決定が現場技術者個人の経験に委ねられているという傾向が強い。筆者らは、この問題を取り上げ、現場での対策工選定の信頼性を向上させるため、「トンネルの対策工選定エキスパートシステム(E S)」の開発を目指した研究を進めてきた。本報告は、対策工選定過程に存在する現場技術者の判断の不確実性に対するファジィ理論の適用性について検討したものである。なお、トンネルの計測管理システムの内容と対策工選定E Sの全体構成については、文献1)、2)を参照されたい。

2. システムの構成

図-1は、トンネルの計測管理システム(以下MASTと呼ぶ)におけるデータの流れを示したものである。MASTは、大型のホストコンピュータやEWS上で運用される統計解析、FEMおよび逆解析などの解析プログラム群と、現場計測管理手法に基づいてパソコン上で運用されるソフト群から成っている。また、収集された調査・設計・施工・計測に関するデータは、トンネルデータベースによって一元管理されている。

トンネルの対策工選定E Sは、他のプログラム群と同様に、MASTの中で運用されるサブシステムとして位置付けられている。図-2には、本システムの全体構成を示す。対策工選定に関する知識システムは、データベースに蓄積されている過去の施工実績を分析した結果や現場技術者の知識を取り込んで構築される。また、この知識システムは、技術者の判断の不確実性を表せるように、ファジィ推論システムとした。

3. ファジィ推論の導入

本研究では、現場技術者の知識を対策工選定支援システムに取り込むために、ファジィ推論の導入について検討した。ファジィ理論について、その詳細は文献3)などに譲り、ここでは簡略に述べておく。ファジィ集合Aは、全体集合Uの中で境界がぼやけた集合のことで、全体集合の要素uがAに属する度合いを帰属度といい、[0,1]の値で表現する。Aは、メンバシップ関数 $\mu_A(u)$ を用いて、

$$A = \int_U \mu_A(u)/u$$

と表す。なお、図-3には、ファジィ集合の基本的な演算概念を示した。

ファジィ制御やエキスパートシステムでは、ファジィ集合

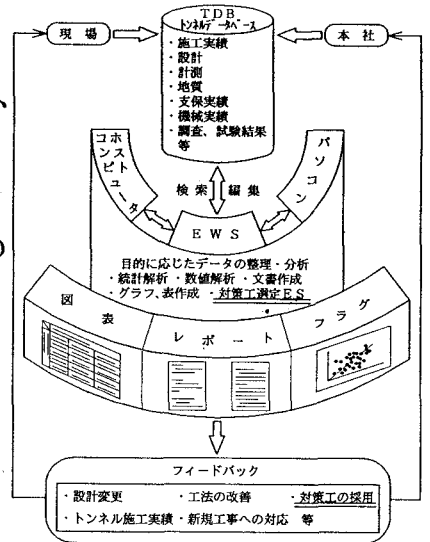


図-1 MASTにおけるデータの流れ

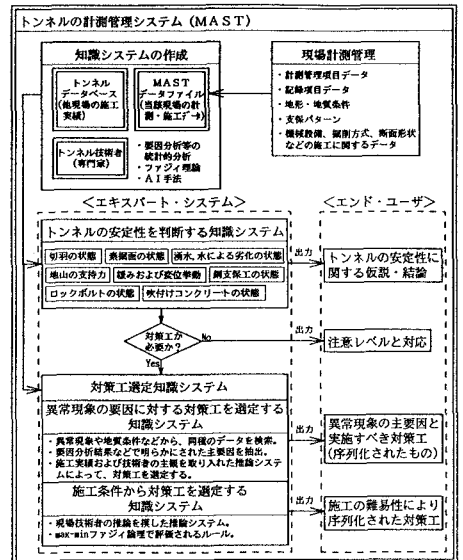


図-2 対策工選定E Sの全体構成

論を基礎において考案された次のようなファジィ推論が用いられる。

(知識) If  $x_1$  is  $A_1$  and  $x_2$  is  $A_2$  then  $y$  is  $B$

(事実)  $x_1$  is  $A'_1$  and  $x_2$  is  $A'_2$

(結論)  $y$  is  $B'$

対策工選定知識システムに当てはめると、 $x_1, x_2$  は異常現象やその要因となるものなどを、 $y$  は採用すべき対策工を表す。また、 $A, A'$  は異常の程度などを表すファジィ集合で、 $B, B'$  は、ある対策工を実施すべき度合いを表すファジィ集合である。

4. 対策工選定支援システムへの適用例

前件部をMASTの計測管理に用いられている内空変位と支保部材の変状の程度、後件部を既施工トンネルの実施例(TDB)から分析される、支保部材の補強としての増しボルトを実施する度合いとした場合の例について述べる。内空変位と支保部材の変状の程度は、図-4に示すように、I安定、II注意、III異常、IV限界の4段階に、また、増しボルトを実施する度合いは、図-5に示すように[0,1]の数値を指標として5段階に分割した。表-1に示すような基本ルールを前述のファジィ分割の組合せの数だけ用意する。

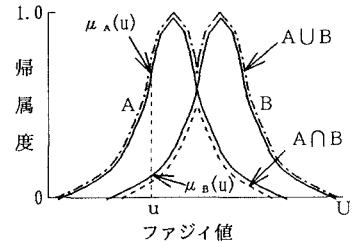


図-3 ファジィ集合A, Bの演算

表-1 推論の基本ルール

基本ルール			$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\omega_i$	
	内空変位	支保部材	対策工			
1	II	II	②	0.55	0.90	0.55
2	II	III	③	0.55	0.38	0.38
3	III	II	④	0.78	0.90	0.78
4	III	III	⑤	0.78	0.38	0.38

内空変位と支保部材の変状が図-6のように観察された区間で次のようなファジィ推論を行う。

- ① 各ルールの前件部の各指標についてメンバシップ関数のmin演算を行う(例えば、図-7)。
- ② 各ルール(i)に対する適合度 $\omega_i$ を、 $\omega_i = \min(\alpha_{A1}, \alpha_{A2})$ により求める(例えば、図-7)。
- ③ 各ルールについて②で求めた適合度( $\omega_i$ )で後件部の頭切りを行う(例えば、図-8)。
- ④ ③の結果をmax合成し、結論とする(図-9)。

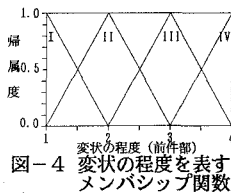


図-4 変状の程度を表すメンバシップ関数

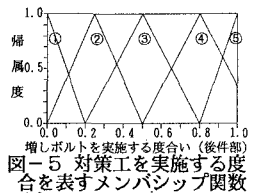


図-5 対策工を実施する度合いを表すメンバシップ関数

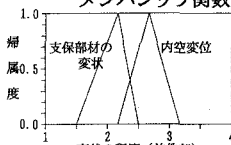


図-6 観測された変状の程度

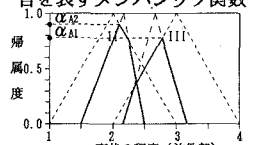


図-7 min演算の一例

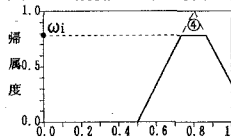


図-8 各ルールの適合度 $\omega_i$ の一例(頭切り法による)

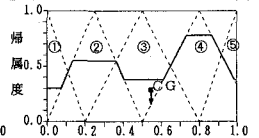


図-9 max合成

上記の手順により、例えば結論のメンバシップ関数の重心(CG)を指標とすると、増しボルトを実施する度合いとし

て、0.542 という結論が得られる。対象となる対策工全てについてこの様な推論を行うことにより、これまで技術者の思考の中で漠然と捉えられていた対策工の比較を、数値で序列化することが可能となる。

5. おわりに

本研究では、トンネルの対策工選定支援システムへのファジィ推論の導入を検討した。ここで用いたファジィ推論は、ルール数の膨張を防ぐとともに、通常、現場技術者が行っている対応に近い推論をモデル化したものと言える。しかし、反面、ここでは比較的明確な判断基準を例に示したものの、図-9でわかるようにファジィなデータからはファジィな結論しか得られないという当然の結果に帰着することにもなる。今後、判断基準の精度を向上させるために、施工実績や現場技術者の判断をさらに調査・分析し、地質条件や施工条件などの様々な状況に対応できるシステムを構築したいと考えている。

参考文献：1)近久、荒井、黒坂、筒井：「トンネルの対策工選定エキスパートシステムに関する基礎的研究」, 第26回土質工学研究発表会, 1991.7. 2)山縣、近久、黒坂、荒井、中原：「トンネル計測管理システムの開発」, とびしま技報/土木, NO.40, 1989.3. 3)寺野、浅居、菅野(編)：「ファジィシステム入門」, オーム社, 1987.