

I-222

橋梁診断エキスパートシステムの開発

阪神高速道路公団 正会員 ○ 杉江 功
 神戸大学工学部 正会員 宮本 文穂
 神戸大学工学部 正会員 西村 昭
 兵庫県土木部 正会員 梶谷義昭

1. まえがき

本研究は、近年各方面で急速に導入されつつあるエキスパートシステムの手法を適用した橋梁診断システムの開発を行ったものである。その際、専門技術者による橋梁診断に含まれる主観的あいまいさを、アンケート調査結果に基づいて設定し、システム内に組込んだ。また、開発した診断システムを検証するため、架設後50年余を経て架替えの決定した RC-T 桁橋に適用するとともに、同橋に対する現場試験結果と比較した例について示す。なお、システム構築用言語としては、人工知能用言語 Prolog を用いている。

2. 推論の流れ

推論は、耐用性の診断を最終目標として、床版と主桁に分けて行っている。主な流れとしては、まず、橋梁諸元や目視点検結果から耐用性等の上位項目（表3参照）を診断する際の指標となる下位項目について前向き推論が行われる。この推論によって、専門家に対するアンケート調査結果に基づいて得られている基本確率¹⁾を各々の項目に割り当てる。後向き推論では、この基本確率を演算・統合して上位項目に対する診断を行う。最後に、耐用性をその下位項目である耐久性、耐荷性より診断し、その結果を出力する。

3. あいまいな知識の取扱い

橋梁診断における知識や情報に付随するあいまいさをどの様に取り扱うかは、システム構築上の大きな問題である。本システムでは、確実性測度の効率的な演算を主な目的として、Dempster & Shafer 理論²⁾における基本確率を用いてこの問題に対処している。ファジー集合論における帰属度とは、ある要素がファジー集合に属する度合を表したものであるから、Dempster & Shafer 理論においては上界確率がこれと同値であると考えられる。今、図1の様に $\mu = f(x)$ で表される帰属度関数が与えられたとし、横軸に $dx=1/(n-1)$ 毎に要素を n

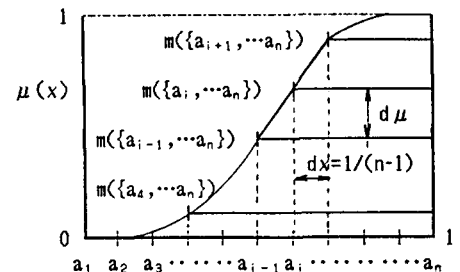


図1 帰属度関数と基本確率の関係

個 $(a_1, a_2, \dots, a_n)$ 設ける。ここで、基本確率として、図の様に焦点要素 a_i から a_n の間に閉じ込められた基本確率 $m(\{a_i, \dots, a_n\}) (i=1, 2, \dots, n)$ が存在すると考える。上述の様に、ある要素 $a_i [x=(i-1) \cdot dx] (i=1, 2, \dots, n)$ における帰属度 $\mu_{a_i} = f((i-1) \cdot dx)$ は、同要素の上界確率に等しいので、基本確率 $m(\{a_i, \dots, a_n\})$ は帰属度関数 $\mu = f(x)$ における a_{i-1} から a_i まで ($x=(i-2) \cdot dx$ から $x=(i-1) \cdot dx$ まで) の増分 $d\mu$ として次式で表される。

$$\begin{aligned} m(\{a_i, \dots, a_n\}) &= d\mu = f((i-1) \cdot dx) - f((i-2) \cdot dx) \\ &= f((i-2) \cdot dx + dx) - f((i-2) \cdot dx) \end{aligned} \quad (1)$$

この様に定義すると、基本確率と帰属度関数は基本的に同じ性質を有し、帰属度関数が求まれば、式(1)より基本確率を求める事ができ、逆に基本確率においては、上界値曲線が帰属度関数を表す事になる。基本確率利用の利点は、上界値曲線（帰属度関数）を関数形ではなく、有限個の基本確率で規定できる事であり、これによって演算効率を高める事ができる。本システムでは、 $n=3$ とし、6つの基本確率¹⁾で橋梁の状態を表している。なお、基本確率の演算、評価値及び確実性測度算出の詳細については、講演当日述べる予定である。

4. 診断結果の一例

兵庫県内にある「前野橋（4主桁RCT桁橋、昭和6年架設）」が、道路線形改良により架替えられる機会に本診断システムを適用した結果について概説する。

表1は、システム起動後の初期入力データである橋梁諸元等を示している。また、表2は「前野橋」のRC床版の前向き推論過程における、システムとユーザの会話の一例を示したものである。本システムでは、対象橋梁に見られる何等かの異常について質問を行い、その損傷度を診断するという流れに従っている。ここでは、ハンチ沿いのひびわれが主な異常としてユーザから回答されている。質問には、単岐あるいは多岐選択のメニュー方式を多く取入れ、例えば、床版のひびわれは「ほぼ一方方向」で、全体的な状況はシステムから与えられたメニュー（状況1～8）に従って「状況3」を選択している。

次に後向き推論の主な結果を表4に示す。

表4によれば、「前野橋」は、なおかなり健全な部類に入る橋梁である事が推察される（表4のsafe, mode.の数値参照）。特に、路面状態や損傷に関する項目は、目視で得られる情報を基に推論するものであり、そのdangerの評価値が「0.1」を下回るなど、同橋に対するアンケート調査の結果¹⁾に良く符合している。これに対して、「設計」など目視からは判断し難い様な項目は、橋齢や示方書等から間接的に推論するしかなく、

「前野橋」が旧示方書で設計された老朽橋である事により、目視からは健全であっても、評価はsafe, moderate, dangerにあまり差がなく、しかもdangerの値が「0.2」を越える結果となっている。このような影響は、「耐久性」にも影響し、僅かではあるが「耐荷性」に比べて、dangerが高く、moderateが低くなっている。「床版耐用性」は、ほぼmoderateであると推察され、別に実施したアンケートの結果¹⁾より若干厳しい診断結果となっている。しかし、逆にdangerの評価値は「0.0」となり、fuzzinessも「0.1」以下と低いことから、少なくとも「前野橋」は耐用性が大きく減退している事はないという診断を、システムは下したものと考える事ができる。

5. あとがき

本診断システムは、エキスパートシステムとしての初期段階にあり、その診断は、一般に厳しい側の判定を下す様に設定したが、今後のより広い知識の蓄積等による知識ベースの充実によって、より正確な診断が下せる様に改良していく必要がある。しかし、エキスパートシステムの初期段階としては、安全側に余裕を持たせたという点で、本診断システムが意志決定のための支援システムという役割は十分果たすものと考えられる。

参考文献 1) 山口、宮本、西村、杉江、前田：橋梁診断エキスパートシステムにおける主観的あいまいさの取扱いに関する一考察、土木学会第42回年次学術講演会論文集 V、1987.9 2) 石塚 満：Dempster & Shaferの確率理論、電子通信学会誌、Vol.66、No.9、pp.900～903、1983.9

表1 初期入力データ

橋梁名	前野橋	属 地 条 件	田園地区 寒冷地区 幹線道路
橋長	45.8m	路面上のひびわれ、陥没	無し
橋幅員	5.5m	路面の平坦性	ほとんど平坦
主桁本数	4本	交通量	多い
床版スパン	1.7m	高欄	かなり大きな高欄
床版厚	20cm	橋桁	無し
形式	単桁RC橋	豆板、ポップアウト	一部で発生
設計示方書等級	大正15年2等橋		

表2 システムとユーザの会話の一例

システムからの質問および推論内容	ユーザからの回答
設計荷重を現行示方書に換算すれば5～8ton程度である ポップアウトは施工不良が原因 床版の異状？ 最も悪い床版のひびわれ性状？ その全体的な状況？ 通行軌跡の位置？ 通行軌跡が床版スパン中央付近にある場合は床版にとって不利である 最大ひびわれ幅は？ 補修の必要有り 同様な床版の全体にしめる割合？ ハンチ沿いのひびわれの状況？ ひびわれの原因の提示 （高欄の影響、橋桁のない事による主桁の不等沈下、鉄筋の曲げ上げ不適） 最大ひびわれ幅？ ひびわれ幅は許容範囲内である 錆汁の発生は？	ハンチ沿いのひびわれ ほぼ一方方向 状況3（図4、13参照） 床版スパン中央付近 1.0mm 約半数 遊離石灰無し、コンクリートの欠落無し 0.2mm 発生していない

表3 後向き推論結果の一例

判 定 項 目	safe	mode.	dang.	fuzz.
設 計	0.327	0.452	0.220	0.464
路 面 状 態	0.483	0.483	0.033	0.550
最も悪い床版	0.279	0.667	0.055	0.303
ハンチ沿いのひびわれ	0.379	0.554	0.067	0.488
床版耐荷性	0.195	0.799	0.006	0.163
耐 久 性	0.200	0.760	0.039	0.234
床版耐用性	0.083	0.916	0.000	0.068