コンクリート工学年次論文報告集　10-3　1988

論　文

[2014]　コンクリート橋診断システム構築におけるアンケート調査の利用

正会員　宮本　文穂（神戸大学工学部）
正会員　西村　　昭（神戸大学工学部）
正会員○山口　裕史（日本道路公団）
本間　一郎（(株)太陽神戸銀行）

1．はじめに

コンクリート橋の維持管理の基本フロー「調査」→「診断」→「補修・補強」において、「診断」という行為は、「損傷程度（健全度）は？」「余寿命はあと何年？」「あと10年もたすための処置は？」という、橋梁管理者の最も関心のある点に明確な回答を準備することであると位置づけられる。本研究は、これらの出力が可能なマン・マシン高次診断システム（エキスパートシステム）の構築を目指す上で必要となる知識ベースの構築に橋梁診断の専門家、橋梁管理者、検査技術者への広範なアンケート調査結果を利用する手法を検討するものである。本研究では、まず一般的な橋梁診断過程「検査結果」→「損傷度の指標」→「橋梁の状態（耐用性：耐荷力、余寿命）の推定」という変換過程には検査者、専門家等の主観的あいまいさが存在することを認めた上で、これらの抽出、定量化をアンケートの分析結果を利用して実行し、エキスパートシステムの知識ベースへ移植することを試みた。ここでは、このようなシステム構築の核となる知識ベースの作成において、知識の表現にDempster & Shafer 理論における基本確率[1]を用いた。

2．知識ベースの構築（知識の表現法）と最終診断結果の評価法

従来より、橋梁診断過程に内在する主観的あいまいさは、ファジー集合論における帰属度関数として表現されているが、これをエキスパートシステムの知識ベースに組込む場合、本研究で対象とする比較的小規模のシステムでは帰属度関数間の演算が複雑であるため、演算効率が悪く検討の余地を残していた[2]。この問題を解決するため、本研究では、知識ベースの知識表現に、Dempster & Shafer 理論における基本確率の考え方を導入し、これによって主観的あいまいさを取扱うことにした。

本研究で開発するコンクリート橋診断エキスパートシステムでは、目視状況,環境等下位情報から順次上位の項目についての評価を行っていき、最終的に橋梁全体の耐用性を評価する手順を設定した。これらの評価に必要な下位情報に対する知識は基本確率の形式で記述し、知識ベースに保存する。基本確率の要素は、danger,moderate,safeの３要素とこれらの中間値の２要素の計５要素を設定した。後者の２要素は前者３要素間をより詳細に評価するために設けたものである。実際に構築した知識ベース内では、以下のような記述形式としている。

[データ項目名,<橋梁の状態>,<基本確率>,オプション]　　　(1)

ここで、＜ ＞内は複数の要素のリストであり、オプションはこの知識を選択した場合に次に新しい質問等の特別な動作が必要な場合に用いるものである。

これらの知識は、コンクリート橋の診断を行なう際に知識ベースより検索され、これらの知識を基に診断が行なわれることとなる。診断はこの知識を次式に示すDempsterの結合則を用いて行なう。

$$m(A_k)=\frac{\displaystyle\sum_{A_{1i}\cap A_{2j}=A_k} m_1(A_{1i})\cdot m_2(A_{2j})}{1-\displaystyle\sum_{A_{1i}\cap A_{2j}=\phi} m_1(A_{1i})\cdot m_2(A_{2j})}\quad (但し、A_k\neq\phi) \tag{2}$$

また、最終的な判定（診断）は、次式で与えられる評価値 $M(a_i)$ で出力される。

$$M(a_i)=\sum_{a_i\in A_k}\frac{m(A_k)}{N(A_k)}\quad (i=1,2,\cdots n) \tag{3}$$

ここに、$m(A_k)$：集合A_kに対する基本確率，

$N(A_k)$：集合A_kの要素数

さらに、質量の大きい基本確率が広い範囲を移動できるほどあいまいな状態と考えられることから、この評価に対する相対的な不確実性（Fuzziness） F は次式で与えられるものとする。

$$F=\sum_{A_k} m(A_k)\cdot s(A_k)=\sum_{A_k} m(A_k)\cdot[\{N(A_k)-1\}\cdot dx]$$
$$=\sum_{A_k} m(A_k)\cdot[\{N(A_k)-1\}/(n-1)] \tag{4}$$

ここに、$s(A_k)$：集合A_jに対する基本確率の移動可能距離，

$dx=1/(n-1)$：隣合った要素間の距離（最も離れた要素間の距離を1.0とする）

3．あいまいさを持つ知識の獲得

知識ベース構築における知識の合理的獲得法については、技術者等の知識を一連のシステム内の知識ベースとして移植するという観点から、専門家等に対するアンケートが有効であると考えた。その基本概念は、次の通りである。すなわち、多数の専門家等からなる集団を橋梁を診断する一つの主体と考え、その要素である一人一人の解答のばらつきをその主体が下した診断に対するあいまい度とみなすことができるものとする[3]。このときのあいまい度は、橋梁をある判定要因について数値評価した場合の標準偏差で定義できるものとした。アンケート調査の質問項目は、2.で述べたエキスパートシステム構築における推論プロセスと対応させ、各質問項目毎に0〜100点の評価点を記入する形式をとるものとし、特に、25点は danger（ほぼ危険と評価できる要因である）、75点は safe（ほぼ安全と評価できる要因である）、50点は moderate（safeとdangerの中間）というように規定している。アンケート調査結果を各質問項目ごとに集計し、その平均値と標準偏差を得ることによって、各質問項目が示す橋梁の状態を次式のように表現する。

$$\begin{cases}\mu(x)=\exp[-\{(x-x_{ave})/\sigma_L\}^2] & (x\leqq x_{ave})\\ \mu(x)=\exp[-\{(x-x_{ave})/\sigma_R\}^2] & (x\geqq x_{ave})\end{cases} \tag{5}$$

ここに、x_{ave}は平均値、σ_L平均値より左側のデータに対する標準偏差、σ_Rは平均値より右側のデータによる標準偏差である。

ここで、基本確率の要素として a(danger), b(dangerとmoderateの中間), c(moderate), d(moderateとsafeの中間), e(safe)をとり、式(5)と上界確率の対応を正規化し、次のような関係におく。

$$p^*(\{a\})=\mu(25)/\alpha,\ p^*(\{b\})=\mu(37.5)/\alpha,$$
$$p^*(\{c\})=\mu(50)/\alpha,\ p^*(\{d\})=\mu(62.5)/\alpha,$$
$$p^*(\{e\})=\mu(75)/\alpha \tag{6}$$

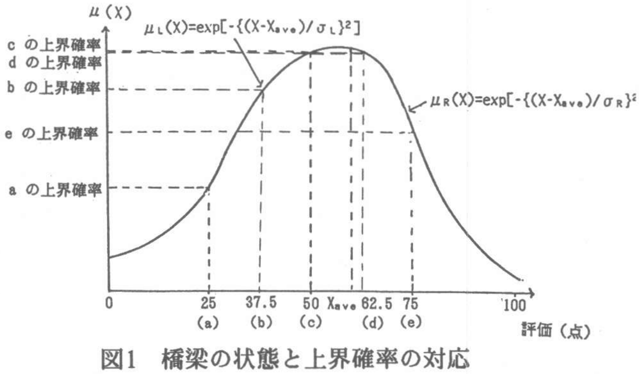

図1　橋梁の状態と上界確率の対応

ここで、α=max{μ(25), μ(37.5), μ(50), μ(62.5), μ(75)}である。

これらの関係を模式的に表したものが図1である。平均値 x_{ave} が75点より大きい場合は safe に対する上界確率を、25点より小さい場合は danger に対する上界確率をそれぞれ1.0とする。ここで m は、( )内の要素を支持する確率である。基本確率の性質より次式が得られる。

$$
\begin{aligned}
&m(\{a\})+m(\{a,b\})+m(\{a,b,c\})+m(\{a,b,c,d\})+m(\{a,b,c,d,e\})=P^*(\{a\})\\
&m(\{b\})+m(\{a,b\})+m(\{b,c\})+m(\{a,b,c\})+m(\{b,c,d\})\\
&\qquad +m(\{a,b,c,d\})+m(\{b,c,d,e\})+m(\{a,b,c,d,e\})=P^*(\{b\})\\
&m(\{c\})+m(\{b,c\})+m(\{c,d\})+m(\{a,b,c\})+m(\{b,c,d\})+m(\{c,d,e\})\\
&\qquad +m(\{a,b,c,d\})+m(\{b,c,d,e\})+m(\{a,b,c,d,e\})=P^*(\{c\})\\
&m(\{d\})+m(\{c,d\})+m(\{d,e\})+m(\{b,c,d\})+m(\{c,d,e\})\\
&\qquad +m(\{a,b,c,d\})+m(\{b,c,d,e\})+m(\{a,b,c,d,e\})=P^*(\{d\})\\
&m(\{e\})+m(\{d,e\})+m(\{c,d,e\})+m(\{b,c,d,e\})+m(\{a,b,c,d,e\})=P^*(\{e\})\\
&m(\{a\})+m(\{b\})+m(\{c\})+m(\{d\})+m(\{e\})+m(\{a,b\})+m(\{b,c\})\\
&\qquad +m(\{c,d\})+m(\{d,e\})+m(\{a,b,c\})+m(\{b,c,d\})+m(\{c,d,e\})\\
&\qquad\qquad +m(\{a,b,c,d\})+m(\{b,c,d,e\})+m(\{a,b,c,d,e\})=1.0
\end{aligned}
\tag{7}
$$

また、各々の基本確率は、0.0～1.0の実数でなければならないので、式(7)より、次式の条件が成立する：

$$
\begin{aligned}
&\max\{0,P^*(\{a\})+P^*(\{e\})-1.0\}\leqq m(\{a,b,c,d,e\})\\
&\qquad \leqq \min\{P^*(\{a\}),P^*(\{b\}),P^*(\{c\}),P^*(\{d\}),P^*(\{e\}),\\
&\qquad\qquad (P^*(\{a\})+P^*(\{b\})+P^*(\{c\})+P^*(\{d\})+P^*(\{e\})-1.0)/4.0\}
\end{aligned}
\tag{8}
$$

ここで、基本確率m({a,b,c,d,e})は、あいまい量が最大になるように、式(8)で与えられる値の最大値をとるものとする。

基本確率m({a,b,c,d,e})が決定されると、式(7)より次式の関係が成立する：

$$
\begin{aligned}
&m(\{a\})+m(\{a,b\})+m(\{a,b,c\})+m(\{a,b,c,d\})=P^*(\{a\})-m(\{a,b,c,d,e\})=P_{a1}\\
&m(\{b\})+m(\{a,b\})+m(\{b,c\})+m(\{a,b,c\})\\
&\qquad +m(\{b,c,d\})+m(\{a,b,c,d\})+m(\{b,c,d,e\})=P^*(\{b\})-m(\{a,b,c,d,e\})=P_{b1}\\
&m(\{c\})+m(\{b,c\})+m(\{c,d\})+m(\{a,b,c\})+m(\{b,c,d\})+m(\{c,d,e\})\\
&\qquad +m(\{a,b,c,d\})+m(\{b,c,d,e\})=P^*(\{c\})-m(\{a,b,c,d,e\})=P_{c1}\\
&m(\{d\})+m(\{c,d\})+m(\{d,e\})+m(\{b,c,d\})+m(\{c,d,e\})\\
&\qquad +m(\{a,b,c,d\})+m(\{b,c,d,e\})=P^*(\{d\})-m(\{a,b,c,d,e\})=P_{d1}\\
&m(\{e\})+m(\{d,e\})+m(\{c,d,e\})+m(\{b,c,d,e\})=P^*(\{e\})-m(\{a,b,c,d,e\})=P_{e1}\\
&m(\{a\})+m(\{b\})+m(\{c\})+m(\{d\})+m(\{e\})+m(\{a,b\})+m(\{b,c\})+m(\{c,d\})\\
&\qquad +m(\{d,e\})+m(\{a,b,c\})+m(\{b,c,d\})+m(\{c,d,e\})\\
&\qquad\qquad +m(\{a,b,c,d\})+m(\{b,c,d,e\})=1.0-m(\{a,b,c,d,e\})=P_{11}
\end{aligned}
\tag{9}
$$

ここで、m({a,b,c,d,e})の場合と同様に、m({a,b,c,d})及びm({b,c,d,e})についても次式の関係が成立する：

$$
\begin{aligned}
&\max\{0,P_{a1}+P_{d1}-P_{11}\}\leqq m(\{a,b,c,d\})\\
&\qquad \leqq \min\{P_{a1},P_{b1},P_{c1},P_{d1},(P_{a1}+P_{b1}+P_{c1}+P_{d1}+P_{e1}-P_{11})/3.0\}\\
&\max\{0,P_{b1}+P_{e1}-P_{11}\}\leqq m(\{b,c,d,e\})\\
&\qquad \leqq \min\{P_{b1},P_{c1},P_{d1},P_{e1},(P_{a1}+P_{b1}+P_{c1}+P_{d1}+P_{e1}-P_{11})/3.0\}
\end{aligned}
\tag{10}
$$

上式の条件で m({a,b,c,d})及びm({b,c,d,e})が最大値をとるように設定する。m({a,b,c,d})及

び$m(\{b,c,d,e\})$が設定されれば式(9)より次式が成り立つ。

$$
\begin{aligned}
&m(\{a\})+m(\{a,b\})+m(\{a,b,c\})=P_{a1}-m(\{a,b,c,d\})=P_{a2}\\
&m(\{b\})+m(\{a,b\})+m(\{b,c\})+m(\{a,b,c\})+m(\{b,c,d\})\\
&\qquad\qquad=P_{b1}-m(\{a,b,c,d\})-m(\{b,c,d,e\})=P_{b2}\\
&m(\{c\})+m(\{b,c\})+m(\{c,d\})+m(\{a,b,c\})+m(\{b,c,d\})+m(\{c,d,e\})\\
&\qquad\qquad=P_{c1}-m(\{a,b,c,d\})-m(\{b,c,d,e\})=P_{c2}\\
&m(\{d\})+m(\{c,d\})+m(\{d,e\})+m(\{b,c,d\})+m(\{c,d,e\})\\
&\qquad\qquad=P_{d1}-m(\{a,b,c,d\})-m(\{b,c,d,e\})=P_{d2}\\
&m(\{e\})+m(\{d,e\})+m(\{c,d,e\})=P_{e1}-m(\{b,c,d,e\})=P_{e2}\\
&m(\{a\})+m(\{b\})+m(\{c\})+m(\{d\})+m(\{e\})+m(\{a,b\})+m(\{b,c\})\\
&\qquad+m(\{c,d\})+m(\{d,e\})+m(\{a,b,c\})+m(\{b,c,d\})+m(\{c,d,e\})\\
&\qquad\qquad=P_{11}-m(\{a,b,c,d\})-m(\{b,c,d,e\})=P_{12}
\end{aligned}
\tag{11}
$$

ここで、$m(\{a,b,c\}),m(\{b,c,d\})$及び$m(\{c,d,e\})$について次式の関係が成立する：

$$
\begin{aligned}
&\max\{0,P_{a2}+P_{c2}-P_{12}\}\leqq m(\{a,b,c\})\\
&\qquad\leqq\min\{P_{a2},P_{b2},P_{c2},(P_{a2}+P_{b2}+P_{c2}+P_{d2}+P_{e2}-P_{12})/2.0\}\\
&\max\{0,P_{b2}+P_{d2}-P_{12}\}\leqq m(\{b,c,d\})\\
&\qquad\leqq\min\{P_{b2},P_{c2},P_{d2},(P_{a2}+P_{b2}+P_{c2}+P_{d2}+P_{e2}-P_{12})/2.0\}\\
&\max\{0,P_{c2}+P_{e2}-P_{12}\}\leqq m(\{c,d,e\})\\
&\qquad\leqq\min\{P_{c2},P_{d2},P_{e2},(P_{a2}+P_{b2}+P_{c2}+P_{d2}+P_{e2}-P_{12})/2.0\}
\end{aligned}
\tag{12}
$$

上式の条件で $m(\{a,b,c\}),m(\{b,c,d\})$及び$m(\{c,d,e\})$が最大値をとるように設定する。$m(\{a,b,c\}),m(\{b,c,d\})$及び$m(\{c,d,e\})$が設定されると式(11)より次式が成り立つ。

$$
\begin{aligned}
&m(\{a\})+m(\{a,b\})=P_{a2}-m(\{a,b,c\})=P_{a3}\\
&m(\{b\})+m(\{a,b\})+m(\{b,c\})=P_{b2}-m(\{a,b,c\})-m(\{b,c,d\})=P_{b3}\\
&m(\{c\})+m(\{b,c\})+m(\{c,d\})=P_{c2}-m(\{a,b,c\})-m(\{b,c,d\})-m(\{c,d,e\})=P_{c3}\\
&m(\{d\})+m(\{c,d\})+m(\{d,e\})=P_{d2}-m(\{b,c,d\})-m(\{c,d,e\})=P_{d3}\\
&m(\{e\})+m(\{d,e\})=P_{e2}-m(\{c,d,e\})=P_{e3}\\
&m(\{a\})+m(\{b\})+m(\{c\})+m(\{d\})+m(\{e\})+m(\{a,b\})+m(\{b,c\})+m(\{c,d\})+m(\{d,e\})\\
&\qquad\qquad=P_{12}-m(\{a,b,c\})-m(\{b,c,d\})-m(\{c,d,e\})=P_{13}
\end{aligned}
\tag{13}
$$

ここで、$m(\{a,b\}),m(\{b,c\}),m(\{c,d\})$及び$m(\{d,e\})$について次式の関係が成立する：

$$
\begin{aligned}
&\max\{0,P_{a3}+P_{b3}-P_{13}\}\leqq m(\{a,b\})\leqq\min\{P_{a3},P_{b3},(P_{a3}+P_{b3}+P_{c3}+P_{d3}+P_{e3}-P_{13})\}\\
&\max\{0,P_{b3}+P_{c3}-P_{13}\}\leqq m(\{b,c\})\leqq\min\{P_{b3},P_{c3},(P_{a3}+P_{b3}+P_{c3}+P_{d3}+P_{e3}-P_{13})\}\\
&\max\{0,P_{c3}+P_{d3}-P_{13}\}\leqq m(\{c,d\})\leqq\min\{P_{c3},P_{d3},(P_{a3}+P_{b3}+P_{c3}+P_{d3}+P_{e3}-P_{13})\}\\
&\max\{0,P_{d3}+P_{e3}-P_{13}\}\leqq m(\{d,e\})\leqq\min\{P_{d3},P_{e3},(P_{a3}+P_{b3}+P_{c3}+P_{d3}+P_{e3}-P_{13})\}
\end{aligned}
\tag{14}
$$

上式の条件で $m(\{a,b\}),m(\{b,c\}),m(\{c,d\})$及び$m(\{d,e\})$が最大値をとるように設定する。そして最後に$m(\{a\}),m(\{b\}),m(\{c\}),m(\{d\})$及び$m(\{e\})$は次式により得られる。

$$
\begin{aligned}
&m(\{a\})=P_{a3}-m(\{a,b\})\\
&m(\{b\})=P_{b3}-m(\{a,b\})-m(\{b,c\})\\
&m(\{c\})=P_{c3}-m(\{b,c\})-m(\{c,d\})\\
&m(\{d\})=P_{d3}-m(\{c,d\})-m(\{d,e\})\\
&m(\{e\})=P_{e3}-m(\{d,e\})
\end{aligned}
\tag{15}
$$

本研究では、実際に橋梁管理、設計等に携わる技術者に対し、知識収集のためのアンケート調査を回答者との対面調査の形で行なった。これは、主催者側の意志を確実に回答者に伝えることと、回答者の疲れによる無責任な回答を防止することを目的としている。回答者の構成は図2に示すようになっている。このアンケートは橋梁の状態を網羅し、床版,主桁両方を併せて400の状態に対する質問となっている。この結果と評価演算の結果の一部を表1に示す。

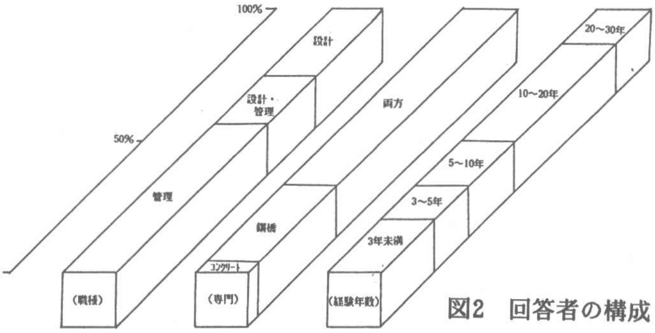

図2　回答者の構成

表1　アンケート調査結果の一例

①床版についての評価
質問 1：床版スパン2m以下,設計示方書:大正8年または大正15年,1等橋（現在の設計荷重の約50%）
質問 2：床版厚の不足が5cm以上10cm未満
質問 3：路面にひびわれもしくは陥没箇所がある
質問 4：1方向ひびわれでひびわれは少ない,最大ひびわれ幅0.5mm
質問 5：路線交通量多い,大型車通行量多い
②主桁についての評価
質問 6：曲げひびわれ多く,最大ひびわれ幅0.3mm程度
質問 7：曲げひびわれ部に遊離石灰かなり発生，コンクリートの欠落なし
質問 8：寒冷地、排水管なし
質問 9：海岸部等の腐食環境にあり、曲げひびわれの最大ひびわれ幅0.3mm
質問10：曲げひびわれ部から少し錆汁が出ている

質問	平均	標準偏差	基本確率														
			a	b	c	d	e	a,b	b,c	c,d	d,e	a,b,c	b,c,d	c,d,e	a,b,c,d	b,c,d,e	a,b,c,d,e
1	48.5	25.149 29.027	0.0	0.0	0.131	0.0	0.0	0.0	0.133	0.0	0.0	0.0	0.215	0.0	0.190	0.0	0.331
2	25.227	27.707 18.103	0.178	0.0	0.0	0.0	0.0	0.372	0.0	0.0	0.0	0.286	0.0	0.0	0.124	0.0	0.040
3	47.619	22.616 29.590	0.0	0.0	0.100	0.0	0.0	0.0	0.244	0.0	0.0	0.0	0.092	0.0	0.330	0.0	0.233
4	56.667	19.847 20.757	0.0	0.0	0.0	0.017	0.0	0.0	0.0	0.519	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.358	0.106
5	54.737	26.393 18.816	0.0	0.0	0.023	0.0	0.0	0.0	0.0	0.386	0.0	0.0	0.0	0.131	0.0	0.373	0.088
6	38.095	23.393 13.638	0.0	0.227	0.0	0.0	0.0	0.0	0.375	0.0	0.0	0.061	0.0	0.0	0.254	0.0	0.083
7	40.455	25.544 12.902	0.0	0.084	0.0	0.0	0.0	0.0	0.416	0.0	0.0	0.0	0.249	0.0	0.082	0.0	0.169
8	42.105	27.873 19.317	0.0	0.023	0.0	0.0	0.0	0.0	0.357	0.0	0.0	0.0	0.136	0.0	0.220	0.0	0.263
9	36.136	12.863 14.820	0.0	0.425	0.0	0.0	0.0	0.258	0.0	0.0	0.0	0.301	0.0	0.0	0.015	0.0	0.0
10	54.348	22.287 17.308	0.0	0.0	0.068	0.0	0.0	0.0	0.0	0.480	0.0	0.0	0.0	0.038	0.0	0.353	0.060

（標準偏差の上段は σ_R ,下段は σ_L を表わす）

4．知識ベースのコンクリート橋診断への利用

以上のようにして構築された知識ベースに基づき実際の橋梁の曲げひびわれについての診断を行なった例を以下に示す。。

ここで、曲げひびわれは図3により評価されるものとする。最下層が橋梁の状態（条件）であり、その一つ上位に位置する要因に対して条件のマッチする基本確率が知識ベースより割り当てられる。そしてこれら５つの基本確率を統合して、曲げひびわれを評価する。例として以下の３種類の曲げひびわれの状態について評価を行なう。

①ひびわれがかなり多く発生、最大ひびわれ幅0.5mm程度で付近に遊離石灰がかなり発生している。曲げひびわれ部にコンクリートの欠落はないものの錆汁が少し発生している。架設環境は寒冷地の海岸地区であり、凍結融解作用を受け易く、鉄筋が腐食しやすい環境

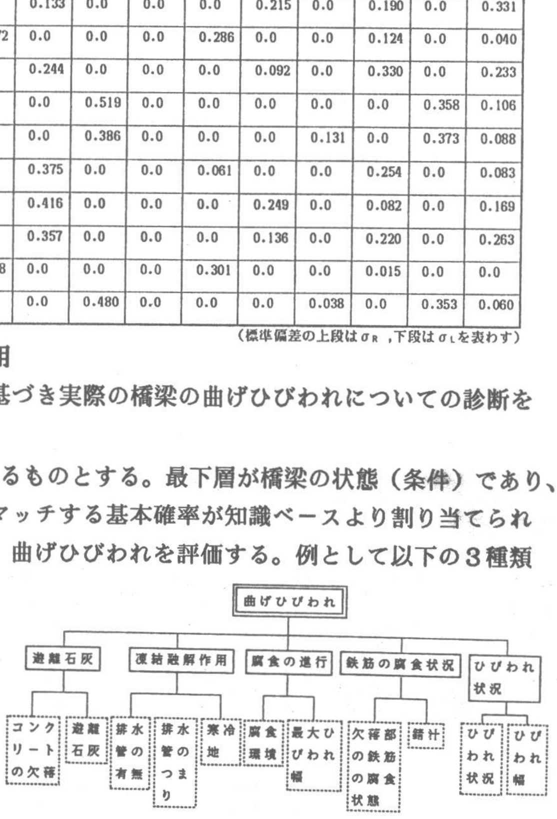

図3　曲げひびわれの評価ツリー

にある。

②ひびわれが多く発生、最大ひびわれ幅0.3mm程度であり、その他の条件は①と同様である。

③ひびわれは少なく、最大ひびわれ幅0.1mm程度で遊離石灰はあまり発生していない。曲げひびわれ部にコンクリートの欠落はないものの錆汁が少し発生している。架設環境は寒冷地の海岸地区であり、凍結融解作用を受け易く、鉄筋が腐食しやすい環境にある。

これらの状態に対する評価結果を式(3)で表わされる評価値の形で示すと表2のようになる。①の状態では、環境的には最悪の状態であり、ひびわれ幅もやや大きい状態であるため評価はdangerとmoderateの中間でややdangerよりと評価されている。これに較べ、②の状態では、①と同じ環境条件でひびわれ幅を変えたものであり、moderateよりやや低いといった評価となっている。環境も最悪であり、最大ひびわれ幅0.3mmは補修を必要としないひびわれ幅[4]を越えており、dangerの方に評価が引かれるのは当然と言える。③の状態では、①,②の状態と環境は同じにして、ひびわれ幅と遊離石灰の状況を変化させ、ほぼ健全な状態を想定したものである。ひびわれの状態だけを考えれば、safeの評価を下しても良いように思われるが、評価はsafeとmoderateの中間でややmoderateよりの評価となっている。この評価は、最悪の環境を入力することにより構造物の劣化のしやすさを考慮していることに起因しているものと考えられる。

表2　曲げひびわれの評価結果

状態	評価値					あいまい度
	a	b	c	d	e	
①	0.144	0.856	0.0	0.0	0.0	0.004
②	0.0	0.429	0.568	0.003	0.0	0.037
③	0.0	0.001	0.285	0.690	0.024	0.047

以上の例のように、知識ベースに蓄積された知識を結合することにより現状のみではなく、将来の劣化のしやすさをも考慮した評価が可能となっていることがわかる。

5. 結論

本研究は、「コンクリート橋耐用性診断エキスパートシステム」の開発を念頭に置き、橋梁診断に存在する主観的あいまいさの抽出方法とその取扱い手法について検討したものである。

以下に得られた主な結果と問題点を列挙する。

①橋梁診断における専門家等の知識の主観的あいまいさの取扱い法としては、Dempster & Shafer理論における基本確率として表現し、これらの知識を統合して評価を行なうことが可能である。

②診断における知識は、技術者集団からのアンケートによって定量化して知識ベース内に組込む手法を提案した。これにより専門家以外の人間が迷う事なくエキスパートシステムの知識ベースを構築することを可能としている。しかし、今回のアンケートでは、基本確率の要素となるsafe、moderate、danger 等を式(6)に示す点数に固定し、各々に定性的表現の規定を与えているが、これらの表現や固定した点数（25,37.5,50,62.5,75）の正当性については、なお検討の余地がある。

③橋梁診断における技術者等の主観的あいまいさを上述のように表現し、これらのデータを基にコンクリート橋の桁の曲げひびわれを想定し評価を行なった結果、ほぼ妥当な評価を行なうことが可能であることがわかった。

参考文献 [1]石塚:Dempster & Shaferの確率理論、電子通信学会誌、Vol.66、No.9、1983.9.[2]西村、藤井、宮本、富田:橋梁診断における主観的あいまいさの取り扱い、建設工学研究所　研究報告、第28号、1986.12. [3]宮本、西村、山口:コンクリート橋の安全性評価における主観的あいまいさの取扱い,構造物の安全性および信頼性(Vol.1),(社)日本材料学会,1987.12. [4](社)日本コンクリート工学協会:コンクリートのひびわれ調査・補修指針、1980