

I-344

ファジィ階層化手法を利用した鋼橋損傷要因の階層化について

（株）栗本鐵工所 正会員 串田守可

（株）栗本鐵工所 正会員 徳山貴信

神戸大学工学部 正会員 宮本文穂

1. はじめに

橋梁に発生する損傷は多くの要因の複合によって生じ、損傷発生による橋梁諸機能への影響は非常に複雑な関連性を有しているが、すべての損傷メカニズムを完全に解明し定量的に把握することは現状において困難である。しかし、経験豊富な橋梁技術者は、自身の頭脳の中で、これまでの技術的経験から、既に独自の損傷評価システムを概念的に構築していると考えられる。本研究においては、アンケート調査¹⁾を利用して、専門家の経験的知識を抽出し、これらをファジィ階層化手法の適用によって整理・統合することにより、鋼橋損傷要因の階層構造モデルを構築することを試みた。

2. 階層構造モデル作成の概要

階層構造モデルの作成概念図を図1に示す。まず、階層構造モデル（多層階有向グラフ）の接点となる、損傷に関連する要因を文献より選定する。次に、アンケート調査により、要因相互の関連性の強弱を数値化する。ここでは、FSM (Fuzzy Structural Modeling) 法²⁾を適用し、要因 i, j 間の関係の強さを帰属度 $\mu_r(s_i, s_j)$ として値域 $[0, 1]$ で与え、全要因についてのファジィマトリクスモデル M を作成した。これを基に数種の有向グラフを作成し、パースの簡潔性、文献との一致性に留意して最適な有向グラフの選択（階層構造モデルの確定）を行なった。

3. 上層階層要因間の関連性

階層構造モデル要因の選定に先立ち、最上層階層要因間の関連性について検討を行なった。あらかじめ、耐用性を頂点とした上層階層要因間の関連性を決定しておくことにより、最終的な目的としている橋梁の耐用性評価を意識した階層構造モデルを構築しようとするものである。図2に、決定した上層階層要因関連ツリーを示す。

4. 階層構造モデル要因の選定

文献調査等より選定した階層構造モデル要因名を表1に示す。対象とする橋梁は、塗装を施した上路形式のプレートガーダー橋とし、それ以外の形式に固有な要因は削除した。さらに、美観・供用性に関する要因（色彩、周辺環境への影響性 etc）、使用性には関係するが、直接耐荷力などに影響を及ぼさない要因（異常音、騒音 etc）についても対象外とした。

5. アンケート調査

本研究の目的に適合したアンケート調査として、① 橋梁診断に関する専門家集団の全体的傾向を把握し、知識の整

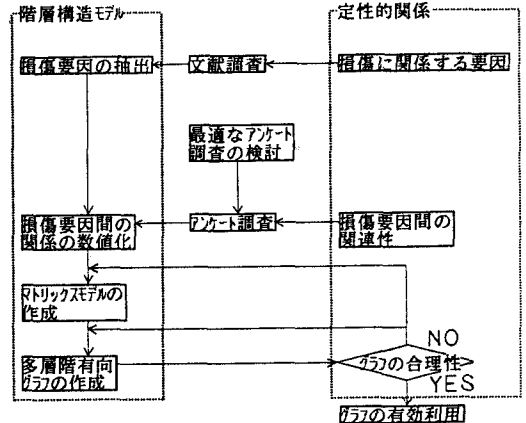


図1 階層構造モデルの作成概念図

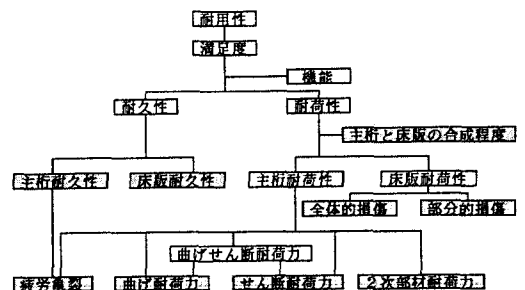


図2 上層階層要因関連ツリー

理・統合を行なうために、集団あるいはその集団を代表する特定グループを対象とする。② 専門家個人個人の知識を抽出して定量化するために、少数のパートを対象に複数回実施する等が考えられる。前者からは、個人間の判断のバラツキに起因する集団としての主観的あいまいさが、後者からは、複数回のアンケート調査を通して個人内の主観的あいまいさが抽出できる。今回は後者のアンケート調査（少数の回答者に対して複数回調査）を実施することにより、個人の経験的知識の抽出を試みた。

6. Fuzzy法を利用した階層構造モデルの作成

アンケート調査結果を質問項目ごとに整理し、各質問項目が示す状態を指数関数で表現することにより、Fuzzy集合論の帰属度関数 $\mu(X)$ と対応させた。さらに、回答の選択肢に対応する帰属度を図3に示すようにDempster&Shafer理論³⁾における上界確率と対応させて考え、焦点要素となる基本確率 $m(i)$ を算出した。ここで求めた基本確率は、

半可動確率質量であり、移動距離と基本確率の積の総和を、あいまい度(Fuzziness)と定義した。また要因相互の2項間の関連性の強さ $a(i, j)$ を代表値と称し、各基本確率の0.0点からのモーメントの総和とした。こうして作成した要因間のFuzzyマトリックスを、次の3条件、①あいまい非反射律、②あいまい非対称律、③あいまい半推移律が成立するように修正した後、境界値 P （関係の有無の境界となる値）と、あいまい構造パラメータ s （2項間に関係がないという集合への帰属度を制御する変数）を種々変化させ、複数個の有向グラフを作成した。ここで、グラフ自体の合理性に問題がある場合、あいまい度の大きい要因間の代表値を回答者に確認したうえで修正し、再度、作成した有向グラフの中から最適なものを選択した。図3 帰属度関数と上界確率

7. あとがき
本研究では、アンケート調査を利用して抽出した専門家の経験的知識を、内在する主観的あいまいさを認めた上で数値化した。そして、得られたFuzzyマトリックスモデルにFSM法を適用することにより鋼橋損傷要因に関する柔軟な階層構造モデルの構築を可能とした。

参考文献

- 1) 宮本他：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，コンクリート工学年次論文報告集，1988.10
- 2) 田崎：あいまい理論による社会システムの構造化，別冊・数理科学，pp.140～153，1988.10
- 3) 石塚：Dempster&Shaferの確率理論，電子通信学会誌，Vol. 66, No. 9, 1983.9

表1 階層構造モデル要因名

NO	要因名	NO	要因名
1	主桁耐久性	41	面外曲げ作用
2	曲げ耐力	42	構造詳細
3	せん断耐力	43	構造部位
4	2次部材耐力	44	鋼材特性
5	疲労劣化	45	塗装種類
6	局部座屈	46	道路条件
7	主桁と床版の合成程度	47	橋脚
8	特性変形・降伏	48	自然環境条件
9	腐食	49	社会環境条件
10	振動	50	構造条件
11	全体的断面欠損	51	立地条件
12	部分的断面欠損	52	交通量
13	たわみの増大	53	超過重量車
14	剛性低下	54	軸荷重の通行軌跡
15	塗膜の劣化	55	線形
16	高力ボルトの緩み・折損	56	災害
17	支保の損傷	57	スクッドの損傷
18	伸縮継手及び周辺の損傷	58	基礎・下部工変状
19	舗装の変状	59	適用示方書
20	排水装置及び周辺の損傷	60	橋格
21	橋面湛水	61	設計不良
22	漏水	62	製作不良
23	腐食性ガス	63	現場施工不良
24	海塩粒子	64	床版耐久性
25	砂・泥・ごみの堆積	65	床版の全体的損傷
26	溶接による欠陥	66	床版の部分的損傷
27	溶接による変形	67	コンクリート表層の損傷
28	初期たわみ	68	鉄筋の腐食
29	残留応力	69	主鉄筋の断面減少
30	活荷重応力の占める割合	70	主鉄筋の付着力の減少
31	活荷重応力の変動幅	71	コンクリート強度・弾性係数の低下
32	車道部材の荷重	72	板け落ち
33	載荷繰り返し回数	73	部分的な亀裂ひびわれ
34	軸荷重による衝撃荷重	74	貫通ひびわれ
35	主桁剛性	75	2方向ひびわれ
36	2次部材剛性	76	1方向ひびわれ
37	荷重分配作用	77	ハンチに当たったひびわれ
38	応力集中	78	床版厚
39	切り欠き	79	床版支間
40	2次応力		

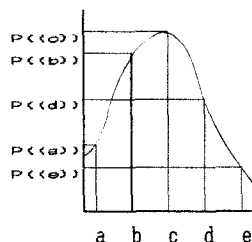


図3 帰属度関数と上界確率