

京都大学大学院 学生員 橋本 光行

京都大学工学部 正 員 白石 成人

京都大学工学部 正 員 古田 均

1. まえがき

現在、既存橋梁のかなりのものが修繕や架け替えを必要としており、その維持管理は重要な課題となりつつある。しかしながら、橋梁の補修・補強には多額の費用が必要であり、一度に多くの橋梁の修繕あるいは架け替えを行うことは不可能である。合理的な維持管理システムを作り上げるには、これら橋梁の損傷度あるいは健全度を適確に把握する必要がある。ところがこの健全度評価は、十分なデータが少ないことや、損傷メカニズムが複雑なために決して容易ではない。本研究では、この健全性解析に代替案の総合評価法である多基準分析¹⁾とファジィ理論を組み込むことによって定性的な情報を導入することを試み、より明確でしかも実状に即した評価手法を提案する。

2. ファジィ多基準分析の健全度評価への適用

橋梁の健全度評価を行うにあたっては、沈下量・ひびわれ幅等の諸量以外に、技術者の直感や経験に基づく主観的で定性的な情報を利用することが有用である。健全度に影響を及ぼす各要因の表わす内容を、「損傷がある」「損傷がない」といったように確定的な形で評価することは非常に困難であるために、「損傷が大きい」「損傷が小さい」といったような幅の広い表現で評価することを考える。いま、損傷の大きさの程度を①

Very small(Vs) ② Small(S) ③ Medium(M) ④ Large(L) ⑤ Very large(VL)といった5つの単語で表わし、これらをファ

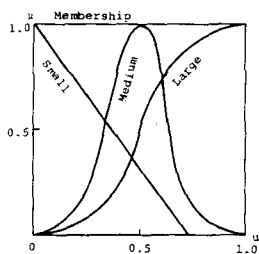


Fig.1 Membership functions of linguistic variables

と、例えばS,M,L,を Fig.1 で示されるようなメンバーシップ関数で表すことができる。

この損傷に関する言葉による評価から次のインパクト行列 $\tilde{P}$ を作成する。

$$\tilde{P} = \begin{bmatrix} \tilde{P}_{11} & \cdots & \tilde{P}_{1J} \\ \vdots & & \vdots \\ \tilde{P}_{I1} & \cdots & \tilde{P}_{IJ} \end{bmatrix} \quad (1)$$

ただし、 $\tilde{P}_{ij}$ は橋梁 i の評価項目 j に関する損傷度ランクを表わす。さらに、各評価項目に対しその重要度を表わすウエイト W を設定する。

$$W = [W_1 \cdots W_j \cdots W_J] \quad (2)$$

ただし、 W_j は評価項目 j のウエイトで、 I, J はそれぞれ構造物の数、評価項目数である。 W はファジィ数量化理論第2類²⁾を用いた解析によって得られる各評価項目のレンジを基に決定する。(W はファジィ量ではなく、通常の数値である。)

このようにして得られる情報 $\tilde{P}, W$ を用いて各橋梁の損傷度の大小を表わす指標として、次式で定義する Fuzzy Concordance Index $\tilde{d}_{ii}$ を考える。

$$\tilde{d}_{ii} = \sum_j \{ W_j \cdot \frac{\tilde{P}_{ij} - \tilde{P}_{i'j}}{\max(\tilde{P}_{ij} - \tilde{P}_{i'j})} \} \quad (3)$$

ただし、 $D_{ii} = \{ j | \tilde{P}_{ij} \gg \tilde{P}_{i'j} \}$: 損傷の大小関係を表わす。上式は、 $\tilde{P}_{ij}, \tilde{P}_{i'j}$ がファジィ量であるために単純な四則演算では計算できないので、拡張原理³⁾を用いて次のように定義する。

いま、 $\tilde{x}_i (i=1, \dots, n)$ が実軸上のファジィ集合であり、それぞれメンバーシップ関数 $\mu_{\tilde{x}_i} (i=1, \dots, n)$ で特性づけられているとき、実軸上のファジィ集合 $y = f(\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n)$ のメンバーシップ関数は次のように与えられる。

$$\mu_{\tilde{y}}(t) = \max \min(\mu_{\tilde{x}_1}(s), \dots, \mu_{\tilde{x}_n}(s)) \quad (4)$$

このようにして計算される $\tilde{d}_{ii}$ は橋梁 i が橋梁 i' に対してどの程度危険(健全でない)かを示す指標であり、ファジィ量となる。この $\tilde{d}_{ii}$ を任意の2つの橋梁に対して計算し、最終的に Fuzzy Discordance Dominance Index $\tilde{D}_i$ を求める。

$$\tilde{D}_i = \sum \tilde{d}_{ii} - \sum \tilde{d}_{i'i} \quad (5)$$

この $\tilde{D}_i$ は I 個の橋梁の中で橋梁 i の相対的な損傷、あるいは健全の度合いを表わす指標である。また (5) 式の四則演算も (3) 式同様に拡張原理に従うものとする。このようにして得られるファジィ集合 $\tilde{D}_i$ をより実際に評価するために半順序関係⁴⁾を導入する。すなわち、ファジィ集合 $\tilde{D}_i, \tilde{D}_j$ に対して半順序関係を次のように定める。

$$\tilde{D}_i \leq \tilde{D}_j \leftrightarrow \max(\tilde{D}_i, \tilde{D}_j) = \tilde{D}_j \text{ and } \min(\tilde{D}_i, \tilde{D}_j) = \tilde{D}_i$$

ただし、 $\max, \min$ 演算も拡張原理に従う。(6)

もしファジィ集合で規定されたFuzzy Discordance Dominance Index に対して、ファジィ不等式 $\tilde{D}_i \leq \tilde{D}_j$ が成立するときには、橋梁*i*は橋梁*j*よりも損傷は少ない、すなわち健全度が高いという評価を下すことができるが、このような不等式が成立しないときには、橋梁の健全度は同程度であるとししか評価できない。

3. 数値計算例

橋梁の損傷度調査項目として上部構造・支承部・下部構造・取り付け部に注目し、次の9項目を考える。①上部構造 ②支承部 ③下部構造 ④取り付け部 ⑤N>25の深さ ⑥液状化 ⑦沈下 ⑧架設年 ⑨設計示方書

Table 2 は比較的安全性の低いと考えられている10橋に対する各評価項目 ($j=1, \dots, 9$) の言語変数を用いた5段階評価のインパクト行列を示す。またウェイトとしては、ファジィ数量化理論によって得られた数値を用いた。(Table 2) これらの情報

を基に前節で述べた計算により、健全度評価値 $\tilde{D}_i$ がFig.2で示されるようなファジィ集合として得られた。(ただし紙面の都合上、10橋中5橋についてのみ評価を行う。)これらのファジィ評価値 $\tilde{D}_i$ の半順序構造を図式化するとFig.3のようになる。すなわち従来のConcordance Analysisでは、健全度は橋梁No. ⑩③⑨②⑥の順に低くなっていくという結果が得られているが、半順序構造を考えると、橋梁②⑦に関しては優劣つけ難いことがわかる。

Table 1 Impact matrix

$i \setminus j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	L	S	L	Vs	S	S	S	S	S
2	Vl	M	L	Vs	M	M	M	M	M
3	Vs	M	Vs	L	M	S	M	S	M
4	M	L	L	S	Vs	Vs	Vs	Vs	Vs
5	Vs	Vs	Vl	S	S	Vs	S	Vs	S
6	Vl	L	Vs	M	Vl	Vl	Vl	Vl	Vl
7	S	L	Vs	Vs	M	S	Vs	S	Vs
8	Vl	S	M	Vs	L	Vl	L	M	L
9	L	Vl	L	Vs	S	S	S	S	S
10	M	Vs	Vl	Vs	S	M	M	S	Vs

Table 2 Weighting of damage factors

j	W_j
1	0.001
2	0.858
3	0.119
4	0.001
5	0.184
6	0.015
7	0.001
8	0.465
9	1.0

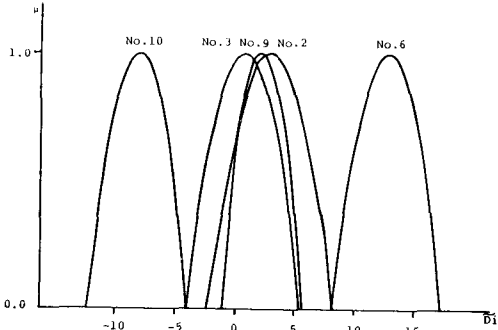


Fig.2 Fuzzy discordance dominance indices

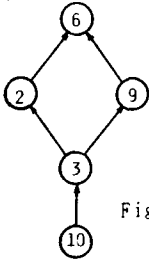


Fig.3 Total evaluation of structural integrity

4. あとがき

本研究では、橋梁の健全度評価において、多岐にわたる数多くの要因の影響を総合的に評価するためにConcordance Analysisを適用し、さらに技術者の経験や直感に基づくあいまいな情報を反映させるために、ファジィ理論を組み合わせたFuzzy Concordance Analysisを提案した。半順序構造として健全度を捉えることにより、より柔軟なしかも実際の健全度の順位付けあるいはグループ分けが可能となり、より信頼性の高い評価が得られる。

《参考文献》

- 1)P.Nijkamp:Theory and Application of Environmental Economics;North-Holland(1977)
- 2)和多田, 田中, 浅居:ファジィ数量化理論Ⅱ類, 行動計量学, 第9巻, 第2号(1982)
- 3)D.Dubois&H.Prade:Fuzzy Real Algebra:Some Results;Fuzzy Sets and Systems,Vol.2(1979)
- 4)田中, 和多田, 浅居:ファジィ集合による多属性代替案の評価, システムと制御, Vol.27(1983)
- 5)白石, 古田, 橋本:構造物の健全度評価へのファジィ数量化理論の応用, 第39回構造工学シンポジウム論文集(1984)