

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、かなりの橋梁構造物が補修、あるいは架替を必要としていることはよく認識されているところである。このような状況においては、構造物の健全度を合理的に、しかも定量的な形で評価する手法を確立することが急務である。しかしながら、この健全度は損傷メカニズムが複雑で、種々の要因に関連しているために、明確な形で評価することが非常に困難である。構造物の健全度を正確に評価し、維持補修のための有益な資料を得るためには、定性的および定量的な情報を論理的かつ整合性をもちた形で統合化できる手法論も確立する必要があると考えられる。本研究では、この要件を満たす可能性のある手法としてファジ理論に注目し、主観的不確定性の影響を健全度評価に反映させ、より信頼性の高い実質的な評価を得ることを試みる。

2. ファジ理論の健全度評価への応用 健全度の評価手順の概略図をFig. 1に示す。構造物の健全度には極めて多数の要因が影響を及ぼすと考えられるが、本研究では議論を簡便にするために対象を鋼橋に限り、代表的な要因のみについて考える。²⁾ ニニでは、27項目の要因を挙げ、これらの要因の間に何らかの関係があるものをすべて直線で結び、健全度評価を頂上点にもつ健全度評価グラフを作成し、各要因とその関連を階層的な形で表現する。³⁾

この各要因の評価には言語変数を用いる。これはある程度、経験・直感等に基づいて判断しなければならない要因が存在するためである。この言語変数はZadeh⁴⁾によって提案されたものであり、あいまいな事象を取り扱うのに有効である。いま、各要因の表す内容を、「損傷がある」「損傷がない」といったように明確に表現するのではなく、「損傷が大きい(large)」「損傷が小さい(small)」といった幅の広い表現で評価することを考える。これらのlarge, small等をファジ集合と規定し、各値のその集合に属する程度(grade)を考えると、例えば、Fig. 2で示されるような帰属度関数で表すことができる。

つぎに、言語変数で与えられた情報は、入力点から頂上点まで伝達されるが、その時、各評価に対して重みを考慮する。最終的な結果は、頂上点で帰属度関数の形で得られるが、ニニではこれをパターン認識の手法を用いて解釈する。これは、「健全」「多少健全」「危険」といったような典型的なパターンに帰属度関数を数値還元、最終的に得られた帰属度関数がこれらのパターンにどれだけ近似しているかというニニにより健全度評価を行うものである。いま、典型的なパターンを各帰属度関数を $\tilde{m}_i(u)$ ($i=1, \dots$) とし、得られた帰属度関数を $m_j(u)$ とすると、その近似度 d_{ij} は、

$$d_{ij} = \int_0^1 |\tilde{m}_i(u) - m_j(u)| du \quad (1)$$

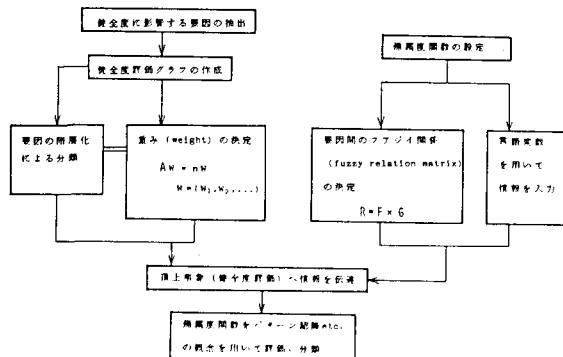


Fig. 1 健全度評価の手順

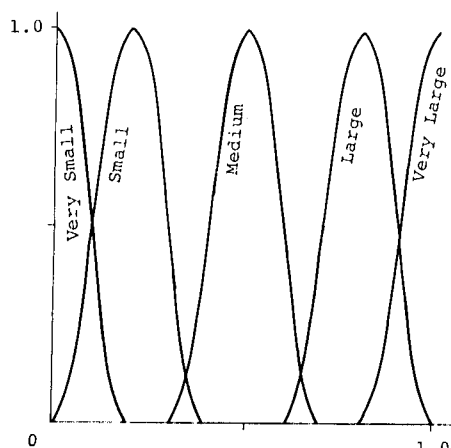


Fig. 2 言語変数の帰属度関数

で定義され、二の値をもってどのパターンに分類できるかを判別する。

以上の手順により、帰属度関数の形といった概念で、より信頼度の高い総合的健康度評価が可能になると思われる。

3. 数値計算例

言語変数 Very small, Small, Medium, Very large などに対応する帰属度関数は、本例では、計算等の簡略化のために Fig. 2 に示すような5種の関数を用い、実際の構造物の調査を想定して、13工の入力点へこれらの関数をいろいろ組み合わせて入力した。本例では、Fig. 3 (a)~(d) に示すような帰属度関数形状頂上点で得られ、二の総合的健康度をパターン認識の概念を用いて判定した。二の判定のために、健康度を“非常に健全”“健全”“まあ健全”“危険”“非常に危険”という5種の典型的なパターンに分類し、それぞれの帰属度関数を与えた。得られた4種の帰属度関数が、どの典型的なパターンに近似しているかという相対的な値をそれぞれ $V(1) \sim V(5)$ で示す。二の値が小さいほど、各健康度パターンに近い特性を示している。解釈でき、帰属度関数の形状の類似度という、より多くの情報を用いて健康度の分類が可能になる。

まず、Fig. 3 (a)~(c) の example はそれぞれの入力情報をすべて Very small, Medium, Very large としたときの例である。(a)は構造物がほとんど損傷を受けていない場合の例であり、 $V(1)$ が最も小さく、また (c) はかなり損傷を受けている場合であり、 $V(5)$ が最も小さく、また (d) は実際の調査を想定して、ランダムに情報を入力した例を示す。これは $V(4)$ が最も小さいので、“危険”という健康度評価を行うことができる。

以上のように、頂上点で得られた帰属度関数を用いて、健康度を5段階ぐらいに分類して評価することが実際のところと思われる。

4. あとがき

数値計算例から、次のような結果が得られた。
1) 本方法は工学的判断を健康度評価に導入するのに有効である。
2) 言語変数を用いることにより、主観的な評価を観測データや実験結果に融合させることができる。
3) パターン認識の考え方は構造物の健康度を分類するのに非常に有効である。本研究では、計算の簡便さのために言語変数に簡単な帰属度関数を設定したが、本方法を実際の構造物に適用するには、キャリブレーション等を通して二の帰属度関数の合理的な形を決定する必要がある。二の決定には、数値化理論等を用いて得られる結果などが必要資料となると考えられる。

<参考文献>

- 1) 国土交通省研究開発、“道路橋の基礎研究”、理工図書
- 2) 白石、石田、杉本、研究開発工学シンポジウム、43 (1983)
- 3) 橋本、白石、石田、小笠原年度関西学術年次学術講演会
- 4) L.A. Zadeh, Information Sciences, 8, p199 (1975)

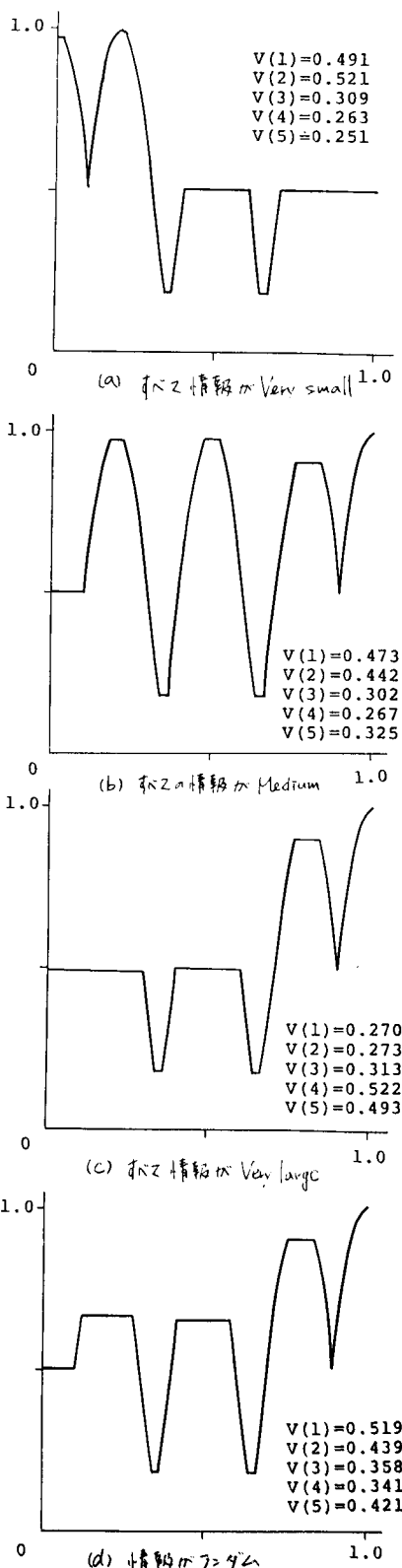


Fig. 3 総合的健康評価と二の帰属度関数