

橋梁の健全度評価におけるファジィ推論の適用性

九州大学大学院 学生員 荒瀬純治 九州大学工学部 正 員 彦坂 熙
川崎製鉄(株) 正 員 児玉浩樹 (株) 構造技術センター 正 員 佐竹正行

1. 緒言

昭和30年代以降に大量に建造されたわが国の多くの橋梁の劣化が問題となりつつある現在、各橋梁を総合的に評価し、妥当な維持・管理の順位付けを行う必要がある。そのために橋梁健全度評価が行われているが、この診断過程には、各種診断基準が整備されつつある現在でも、専門家が長年にわたる経験で培ってきた知識をもとに行う高度な判断に頼らねばならない部分が少なからず存在する。

このような人間の主観的判断の過程において存在するあいまいさを数学的に取り扱うため、1965年に L. A. Zadeh によって提案¹⁾されたファジィ理論を用いて、橋梁健全度評価を行った。本研究の目的は、現在提案されている各種ファジィ手法の特徴を把握し、橋梁の健全度のランク付けを行うことにある。

2. 橋梁健全度評価の簡略モデル化

本研究の目的を達成するために、橋梁健全度評価の過程を簡略化したモデルに関するファジィ理論解析を行うが、簡略化の主なポイントは、次の3点である。

- (1) 各種健全度診断法のうち目視点検の結果のみを用いる (2) コンクリート橋のみを対象とする
- (3) コンクリート橋の構成要素は、床版、主桁、横桁の3つを、損傷の種類は、「ひびわれ」、「剥離・鉄筋露出」、「遊離石灰」、「豆板・空洞」の4つを取り上げ健全度評価の対象とする

また健全度のランクには、建設省土木研究所資料²⁾に基づきⅠ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ(OK)の5段階評価とした。

この5段階の健全度ランクをファジィ値により表現するため、図-1に示すメンバーシップ関数を用いた。

メンバーシップ関数は、5つのランクを並列的に扱い、その各ランクに幅をもたせ、境界を重ね合わせることで、境界のあいまいさを表現するという特徴を有している。なお解析において、この連続関数をX軸上の17個の離散値からなる集合 $X = \{1.00, 1.25, 1.50, \sim, 4.50, 4.75, 5.00\}$ として扱った。

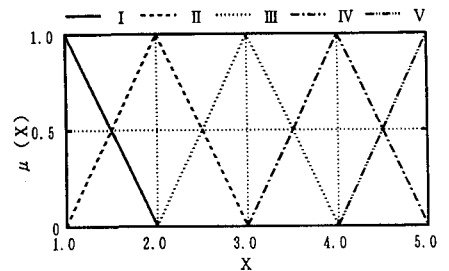


図-1 基本メンバーシップ関数

3. 解析手法

3.1 重要度係数

本研究の橋梁健全度評価で用いる重要度係数は、橋梁関連もしくはコンクリート関連の56人の専門家に対してアンケート調査を実施し、直接アンケートによる数値重要度係数とファジィ数量化理論³⁾により重要度係数を得た。その結果を表-1に示す。

損傷の種類	直接アンケート法	ファジィ数量化理論
ひびわれ	0.78	0.89
剥離・鉄筋露出	1.00	1.00
遊離石灰	0.75	0.76
豆板・空洞	0.54	0.85

構成要素	直接アンケート法	ファジィ数量化理論
床版	0.85	0.90
主桁	1.00	1.00
横桁	0.62	0.86

表-1 重要度係数

3.2 ファジィ理論解析

今回の解析対象モデルは、先に述べた簡略モデルの1つの構成要素に関する部分のみを抽出し、4種の損傷の種類に関する目視点検の結果をもとにそれぞれの重要度係数を加味してその構成要素の総合的な健全度を評価するというものである。

3.3 各種ファジィ手法

3.3.1 ファジィ関係行列

本研究では、一般によく用いられる5種のファジィ関係行列に加えて、ファジィ関係行列を用いない直接

推論法（ここでは重ね合わせ直接推論法と呼ぶことにする）も関係行列を用いた場合と同様の計算過程で行えるようにし、6種のファジィ関係行列を用いた場合について検討した。本研究では、すべてのアイテム間の関係にファジィ関係 $R_{x \rightarrow y}$ を用い、各関係において伝達される情報の差異は、重要度係数を用いて表現することにした。

3.3.2 重要度係数の用い方

節点1, 2に I_1, I_2 という言語値による情報が入力されたとき、節点Aに伝達される情報 I_A を計算する場合、重要度係数 w_1, w_2 の考慮の仕方として、本研究では、6つのCASEを考えた。

3.3.3 メンバースhip関数の判定法

本研究においてメンバースhip関数の健全度ランク判定法として、以下に示す4種について解析を行った。

- ①重心法1 ②重心法2 ③類似度法 ④ファジィ測度, ファジィ積分法

4. 各種手法の比較検討

4.1 ファジィ関係行列

R_z (Modus Ponens), R_l (Lukasiewicz), R_m (Mamdani)を用いた場合の解析結果では、伝えられてきた情報が持つランクの統合形を表すメンバースhip関数の近傍では、値が急激に0にはならず、中間的な値をとる部分が存在する。これは、ある意味では、判定結果の両端に幅を持たせたファジィな解析結果を導ける関係行列だとも言える。

4.2 重要度係数の用い方

R_g を用いた場合も R_m を用いた場合も、CASE 4が、健全度評価のモデル化で重要なピークをはっきりと表現できているので、CASE 4が、重要度係数の最適な用い方であると言える。

他のCASEもそれほど大差はないが、メンバースhip関数のピーク形状をそのまま解析結果へと反映できるCASE 2やCASE 4を用い方の方が、健全度評価への応用には適している。

4.3 健全度ランクの判定法

- (1) メンバースhip関数に複数のピークが存在したり、特徴的なピークが存在しない場合、判定の基準となる諸元の値が近接する可能性が多い場合には、ファジィ積分法に限らず、損失費用最小の概念の持つ意味が、非常に大きくなってくる。その場合、広く社会的影響を考慮した損失関数マトリックスを専門家の意識をモデル化することで、適切に定義すべきであるが、その手法の開発も今後の検討課題である。
- (2) 一般論として、デザイン選定への応用など、人間の平均的な意志をモデル化するような問題に関しては、重心法による判定が、より適当であるが、橋梁の健全度評価など、その社会的責任が大きい問題に関する意志決定では、技術者は常に安全サイドの判定を下してゆくべきなので、重心法による判定は適さず、少しでも危険な影響を与える部分を見逃さないためにも、類似度法、ファジィ積分法を用いるべきである。しかしながら、評価モデルが複雑になり、多種多様な情報の統合形として算出されてくるメンバースhip関数は、凹凸が少なくピーク特性の把握が困難になる場合がある。この様なとき、類似度法による判定も、あまり信頼をおけなくなることも考えられる。

結果的には、いくら複雑な評価モデルであっても、全ての情報を上位へと伝えてゆくのではなく、判定に重要な影響を与える情報だけを選択して上位へと伝えてゆくようなモデルが望まれる。この場合には、類似度法は非常に有効な判定法となり得る。

なお、紙面の都合により実橋梁の判定結果は当日発表する。

《参考文献》

- 1) Zadeh, L. A. : Fuzzy Sets, Inform. Control, 8, 338-353(1965)
- 2) 建設省土木研究所：土木研究所資料 既設橋梁の耐久性評価・向上技術に関する調査 Ⅲ(1988)
- 3) 矢川元基編：ファジィ推論, 163-166, 培風館(1991)