

エキスパートによる橋梁健全度判定のファジィ性に関する一考察

九州大学大学院 学生員 〇高見秀一
 鋼構造技術センター 正会員 佐竹正行

九州大学工学部 正会員 彦坂 熙
 九州大学工学部 学生員 松浦幹郎

1. 緒 言

わが国の道路の実延長は現在約112万kmに達し、橋長2m以上の橋梁総数は約66万橋にのぼる。道路統計で通常対象とする橋長15m以上のものに限っても約12万橋を数える。このように膨大な橋梁の維持管理を適正かつ効果的に実施するためには、まず専門技術者(エキスパート)の目視点検を主体にして既設橋の損傷度・健全度を早く的確に判定することが必要となる。しかしながら、目視による健全度判定が点検者の経験、知識、主観等による個人差やファジィ性を含むことは避けられない。本研究は、橋梁設計・施工に携わる技術者に対する簡単なアンケート結果に基づき、目視点検のみによる橋梁健全度判定のファジィ性および同判定へのファジィ理論の適用性を考察するものである。ここではコンクリート橋のみを対象とし、アンケート回答は建設コンサルタントおよびPC橋梁会社の技術者56名(平均経験年数17年)から得たものを使用した。

2. 損傷の重要度および橋梁構成要素の重要度に関するファジィ・メンバーシップ関数

本論のファジィ手法による橋梁健全度判定は図-1のフローで実行される。

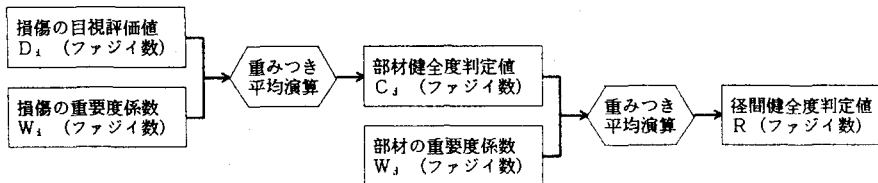


図-1 橋梁健全度判定のフロー

損傷の重要度係数と橋梁構成要素(部材)の重要度係数とは専門技術者へのアンケート調査により定めるが、これらの係数は何れもファジィ数として扱う。建設省の調査¹⁾によれば、コンクリート橋に生じる損傷で特に多いものは表-1の4つである。アンケートでは、回答者にこの4種の損傷が部材に及ぼす重要度 W_i をVI(非常に重要)、I(重要)、M(どちらともいえない)、UI(重要でない)、VUI(全く重要でない)の5つのファジィ言語値で表すことを求めた。損傷の種類ごとに回答の頻度分布を正規化(最大値1.0)して得たメンバーシップ関数を図-2に示す。また、コンクリート橋の構成要素のうち構造的に重要なものを床版、主桁、横桁の3つとし、上と同様に5つの言語値で表した各構成要素の重要度 W_j の回答を求めて整理した結果を図-3に示す。

表-1 コンクリート橋の損傷

損 傷 の 種 類	
1	ひびわれ
2	剝離・鉄筋露出
3	遊離石灰
4	豆板・空洞

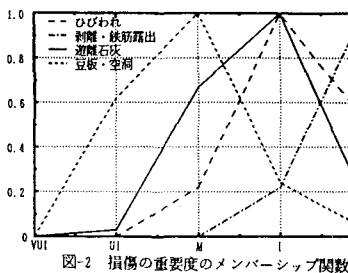


図-2 損傷の重要度のメンバーシップ関数

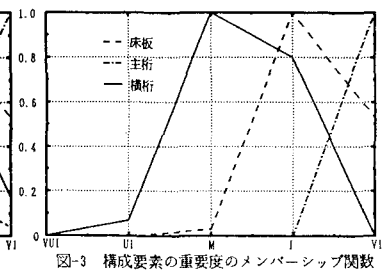


図-3 構成要素の重要度のメンバーシップ関数

3. ファジィ理論による橋梁部材および径間の健全度判定

図-1のフローでは、まず橋梁の点検に当たる技術者が各部材ごとに、表-1の4つの損傷の程度を目視により表-2のI~Vの5段階にランク付けする。表-2には、橋梁部材の健全度を点検者がI~Vの5区分で判定するよう規定している建設省土木研究所の橋梁点検要領²⁾の定義を併記した。この判定区分は点検者の主観等による個人差を含むファジィ数となる。本論では、ファジィ数I~Vに図-4の5つの三角型メ

メンバーシップ関数を与える。ともにファジイ数である損傷の目視評価値 D_i (I~V)とその重要度係数 W_i (VI~VII)から、次式のファジイ重みつき平均により各部材の健全度 C_j を判定する。すなわち、

$$\text{構成要素(部材)の健全度 } C_j = \frac{\sum W_i D_i}{\sum W_i} \quad (1)$$

上式のファジイ重みつき平均演算には、Zadeh の拡張原理を用いる。コンクリート橋の構成要素(床版、主桁、横桁)の健全度判定値 C_j とその重要度係数 W_i (VI~VII)から、径間全体の健全度 R を式(1)と同様のファジイ重みつき平均により判定する。ただし、式(1)で算定される健全度 C_j はファジイ数であり、メンバーシップ関数で与えられるので、これを表-2の判定区分I~Vの何れかに非ファジイ化する必要がある。ここでは、 C_j または R と図-4のI~Vの三角型ファジイ数の距離 d を計算し、 d が最小となる判定区分に非ファジイ化した³⁾。

解析例として、19ケースの損傷評価値 D_i および16ケースの部材健全度評価 C_j をそれぞれ56名のエキスパートに示し、アンケート回答により得られた部材健全度および径間健全度の判定値を本ファジイ理論による判定値と比較した結果を表-3、表-4に示す。紙面の都合上、考察は講演当日に譲る。

表-2 損傷度または健全度の判定区分

区分	ファジイ言語値	一般的状況 (建設省・橋梁点検要領案)
I	非常に悪い	損傷が著しく、交通安全確保の支障となる恐れがある。
II	悪い	損傷が大きく、詳細調査を実施し補修するか否かの検討を要する。
III	普通	損傷が認められ、追跡調査を行う必要がある。
IV	良い	損傷が認められ、その程度を記録する必要がある。
V	非常に良い	点検の結果から、損傷は認められない。

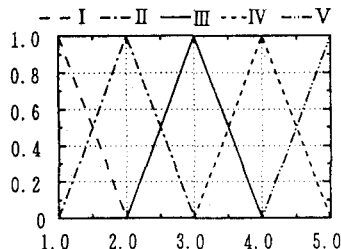


図-4 健全度のメンバーシップ関数

表-3 コンクリート部材健全度の解析例

ケース	損傷評価値 D_i				部材の健全度 C_j	
	ひび	剝離	石灰	豆板	エキスパートの判定値	ファジイ理論判定値
1	III	V	II	IV	III	III
2	II	III	V	III	II	III
3	III	IV	V	IV	III	IV
4	IV	II	IV	III	II	III
5	IV	IV	II	V	IV	IV
6	II	III	IV	V	II	III
7	III	IV	IV	II	III	III
8	II	IV	III	IV	II	III
9	IV	IV	IV	II	IV	IV
10	IV	V	III	IV	IV	IV
11	II	III	IV	IV	II	III
12	V	V	V	II	IV	IV
13	II	II	IV	V	II	III
14	II	IV	V	IV	II	IV
15	III	II	II	IV	II	III
16	IV	III	III	IV	III	III
17	II	IV	III	V	II	III
18	IV	V	II	IV	III	IV
19	II	III	III	IV	II	III

表-4 コンクリート橋健全度の解析例

ケース	部材評価値			径間の健全度 R	
	床版	主桁	横桁	エキスパートの判定値	ファジイ理論判定値
1	II	III	IV	II	III
2	IV	III	II	III	III
3	II	II	V	II	III
4	V	III	IV	III	IV
5	IV	V	III	IV	IV
6	III	II	IV	II	III
7	III	IV	II	III	III
8	IV	III	IV	III	IV
9	V	II	IV	II	III
10	IV	II	III	II	III
11	V	IV	V	IV	V
12	II	V	IV	II	IV
13	III	II	III	II	III
14	III	II	II	II	II
15	V	III	II	III	III
16	III	IV	V	III	IV

〔参考文献〕1)建設省土木研究所：既設橋梁の耐久性評価・向上技術に関する調査研究Ⅲ，昭和63年12月。
2)建設省土木研究所：橋梁点検要領(案)，土木研究所資料 第2651号，昭和63年7月。3)A.B. Tee et al: A fuzzy mathematical approach for bridge condition evaluation, Civ. Eng. Syst., Vol.5, Mar. 1988