

神戸大学工学部 正 員 宮本 文純

神戸大学工学部 正 員 西村 昭

神戸大学大学院 学生員 小笠 勝

その他の共同研究者：藤井 学，斎藤 功 神戸大工

1. まえがき

本研究は、RC床版の損傷形式に対応する因子の分類、寄与をあいまい量とし、あいまい集合論を適用して損傷形式を考慮した損傷度の判定を行い、補修、補強の要否の判定のみならず、補修、補強方法の指針としようとするものである。

2. 判定因子の分類

過去の研究¹⁾において、室内モデル床版及び実橋切り出し床版に関する実験によって、判定因子を抽出・定量化し、これら判定因子の実橋床版への適用性の検討がなされた。それらにおいては、確定的な因子については5段階評価を、信頼はできるものの詳細判定を行なうには不十分な因子については3段階評価が行なわれた。これらの判定ランクと損傷状態との対応を表-1に示し、これに基づいた、各判定因子別の損傷度判定結果を室内実験床版及び実橋床版について表-2に示す。

3. 判定方法

RC床版の損傷形式は多様であるが、実橋床版で観察される主要な損傷形式は、曲げ剛性低下のために使用限界に影響する全体的な損傷、及び、ひびわれ面でのせん断伝達能の低下として現われる部分的な損傷の2形式に大別される。そこで、以下の損傷度の判定は、全体的損傷及び部分的損傷の2形式に着目する。

損傷形式を考慮した損傷度の判定方法として、各損傷形式に寄与する各因子の分類及びその程度をあいまい量として扱い、ファジィ積分及びファジィ集合論²⁾の適用を試みた。

3.1 損傷形式に対応した各判定因子の重み決定

それぞれの損傷形式に対応した各判定因子の重み決定の計算手順を次に述べる。まず、過去に行われた室内実験床版の全体的・部分的損傷度(w_T, w_L)がそれぞれ既知であるとする。次に、室内実験床版の各判定因子別の損傷度に、各判定因子に対する重みを考慮し、ファジィ積分により損傷度(d_T, d_L)を算出する。これより既知の損傷度(w)とファジィ積分による損傷度(d)との誤差(J)が最小となるように各判定因子に対する重み(α_{iT}, α_{iL})を繰り返し計算により決定した結果を表-3に示す。

3.2 和集合による総合判定

損傷度判定のアルゴリズムを次に示す：

- ① 実橋測定より得られた各判定因子の損傷ランクを帰属度関数で表現する。図-1に各損傷ランクに対応するファジィ集合(A_i)の帰属度関

表-1 判定基準の位置づけ

評価 段階数	判定 ランク	状 態
5	5	床版の機能が十分に期待できる状態
	4	ひびわれが発生しているものの床版の機能が期待できる状態
	3	損傷が進み、床版としての機能が低下している状態
	2	損傷が更に進み著しく床版の機能が低下している状態
	1	ひびわれ密度が限界に達し床版の機能をすでに果さない状態
3	3	床版としての機能が十分に期待できる状態
	2	損傷が進み床版としての機能が低下している状態
	1	床版の機能をすでに果さない状態

表-2 因子別判定結果

判定因子	5段階評価				3段階評価	
	ひびわれ 密度	卓越 振動数	ひびわれ 挙動	位相差	応答加速 分布	応答加速 分布
モデル1	5	5	5	3	3	3
モデル2	3	3	1	2	1	1
モデル3	1	2	1	1	1	1
モデル4作成後	4	5	3	3	3	3
モデル4補修前	4	3	3	2	2	2
モデル5作成後	3	5	2	2	2	2
モデル5補修前	3	3	2	1	1	1
Y 橋	2	3	2	2	2	2
I 橋	3	4	3	2	2	2
TM 橋	3	3	3	2	2	2
T橋-1	3	1	3	1	2	2
T橋-2	4	3	4	2	2	2
T橋-3	3	3	3	2	2	2
T橋-4	3	3	3	2	3	3

表-3 判定因子に対する重み

判定因子	全体的	部分的
ひびわれ密度	0.24	0.1
卓越振動数	0.66	0
ひびわれ挙動	0	0.45
位相差	0.1	0.24
応答加速分布	0.1	0.21

数を示す。

- ② 3.1で求めた重み(α_i)を A_i に乘じる。

$$B_i = \alpha_i \times A_i \quad \text{--- (1)}$$

- ③ 各判定因子に対するファジィ集合(B_i)の和集合(B)を求める。ここで、和集合を次のように定義する。

$$\begin{cases} B = \sum B_i = B_1 + B_2 + \dots + B_n \\ B_m + B_n = \sum_{j=0}^1 \{(\mu_{mj} + \mu_{nj} - \mu_{mj} \times \mu_{nj}) \mid u_j\} \end{cases} \quad \text{--- (2)}$$

ここに、 u_j = 損傷度に対応した要素 (0~1)

μ_{mj}, μ_{nj} = 集合 B_m, B_n の要素 u_j に対応する帰属度

- ④ 損傷状態を表す言語変数(表-1の5段階評価に対応する)を代表するファジィ集合(C_i)と B との共通度(D_i)を求める。ここに、 D_i を式(3)のように定義する。

$$D_i = \sum_{j=0}^1 \{ \min(\mu_{Bj}, \mu_{Cij}) \}^2 \quad (i=1,2,\dots,5) \quad \text{--- (3)}$$

C_i の帰属度関数の分布を仮定したものを図-2に示す。

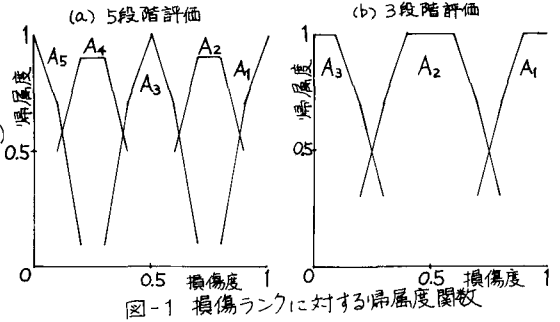


図-1 損傷ランクに対する帰属度関数

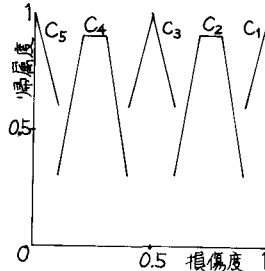


図-2 損傷状態に対する帰属度関数

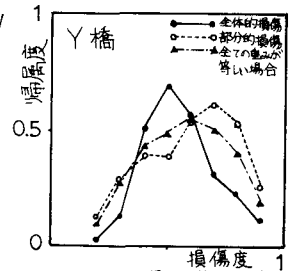


図-3 損傷形式に対する帰属度関数

- ⑤ $D = \max(D_i)$ を与える i を求め、これを総合的な損傷ランクとする。

以上のアルゴリズムに従い計算を行った結果、図-3に一例として、Y橋に対する総合的な帰属度関数(B)を示し、Y橋の場合、部分的損傷が先行していることがわかる。次に、最終結果として得られる損傷度を表-4に示す。これより、今回新たに測定を行ったT橋について見れば、全体的損傷が先行しており、特に、T-1床版については、全体的損傷に対する早急な補強策あるいは打ち換えが必要であることがわかる。

4. あとがき

本研究は、実橋床版の損傷度の判定に、起こり得る損傷形式と対応させた定性的評価法を取り入れようとしたものであり、あいまい集合論による判定結果は、過去の室内モデル床版および実橋床版の評価⁴⁾と比較した場合、ほぼ妥当な結果であると考え、また、損傷形式を考慮することにより、補修、補強方法の選択にあたっての参考となり得ると考える。

参考文献

- 1) 西村昭, 藤井学, 宮本文穂: 道路橋RC床版の健全度判定法に関する研究, 土木学会関西支部 既設の橋造物およびその構成部材の健全度, 耐久性の判定に関するシンポジウム論文集, 1983.2, pp. 99~106
- 2) 浅居喜代治 他: あいまいシステム理論入門, オーム社, 1978.2, pp. 135~144
- 3) D.I. Blockley: Analysis of Structural Failure, Proc. ICE, 1972.2, pp. 51~74
- 4) 西村昭, 宮本文穂, 長谷川敏之: 構造健全度診断におけるファジィ集合の適用, 土木学会第38回年次学術講演会講演概要集第1部, 1983.10

表-4 損傷度判定結果

判定床版	全体的損傷	部分的損傷	全体的損傷が 多い場合
モデル 1	健全(5)	健全(5)	健全(5)
モデル 2	損傷有(3)	劣悪(1)	損傷有(3)
モデル 3	かなり損傷(2)	劣悪(1)	劣悪(1)
モデル4 作成直後	健全(5)	損傷有(3)	健全(5)
モデル4 補修前	損傷有(3)	損傷有(3)	損傷有(3)
モデル5 作成直後	健全(5)	損傷有(3)	損傷有(3)
モデル5 補修前	損傷有(3)	かなり損傷(2)	損傷有(3)
Y 橋	損傷有(3)	かなり損傷(2)	損傷有(3)
I 橋	安全(4)	損傷有(3)	損傷有(3)
TM 橋	損傷有(3)	損傷有(3)	損傷有(3)
T橋 - 1	劣悪(1)	損傷有(3)	損傷有(3)
T橋 - 2	損傷有(3)	安全(4)	損傷有(3)
T橋 - 3	損傷有(3)	損傷有(3)	損傷有(3)
T橋 - 4	損傷有(3)	損傷有(3)	損傷有(3)