

V-166

ファジィ理論に基づいたコンクリート構造物の劣化診断の考え方

早稲田大学 理工学部 正員 関 博 東電設計(株) 第二土木本部 正 員○金子雄一
東京電機大学 理工学部 正員 松井邦人 東京電機大学 理工学部 学生員 洲鎌靖之
東電設計(株) 技術開発本部 正員 松島 学

1. はじめに

構造物の劣化診断は、一般に、目視による外観調査によって行われる。しかし、目視調査結果から構造物の劣化レベルを定量的に求めることは、技術的に困難な問題である。本研究では、目視調査のような主観的に判断される区分をファジィ集合¹⁾で表現し、それに基づく構造物の劣化診断の方法を提案する。

2. 対象構造物

対象構造物としては、図1に示すくい式栈橋のRCスラブを選んだ。図1より明らかに、このスラブはH.W.L.より上に位置しており、環境条件としては、飛沫帯にあると区別される。

3. ファジィ理論によるRC構造物の劣化評価

『劣化防止・補修マニュアル（案）』（沿岸開発技術開発センター）に準じて、目視による外観調査からの劣化の判定は、表1のように設定した。

これらの各項目の判定区分は、定性的に表現されるもので、その区分の境界は明確なものではなく、その設定根拠についてもあいまいなものである。本研究では、このようなあいまいな分類の各境界をファジィ集合として表現する。区間 $[0.0, 5.0]$ を10等分して、判断区分の全体集合を式(1)のように定義した。

$$C_N = \{0.0, 0.5, 1.0, \dots, 4.5, 5.0\} \quad (1)$$

表1で定義された分類項目ごとの劣化レベルをファジィ集合 X_{ik} で表現し、図2.a, b, c, とした。ここで、 X_{ik} の帰属度関数は $\mu_{X_{ik}}$

表2 重要度係数

X_{1k}	X_{1k}	X_{2k}	X_{3k}
W_i	0.8	0.5	1.0

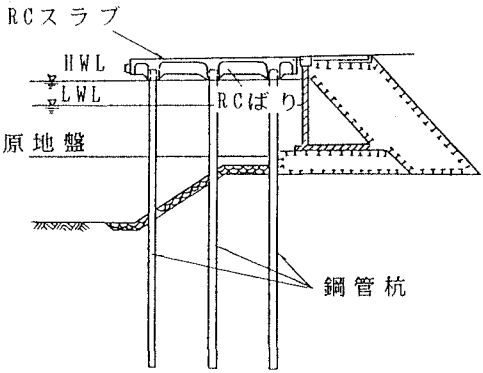


図1 対象の栈橋の外観

表1 劣化の判定基準

劣化度 レベル	スラブの劣化度の分類項目 X_{ik}		
	鉄筋の腐食 X_{1k}	ひびわれ X_{2k}	剝離・剝落 X_{3k}
0	なし (A0)	なし (B0)	なし (C1)
I	コンクリート表面に点錆が見られる。(A1)	一部にひびわれ、あるいは帯状またはゲル状滲出物が見られる。(B1)	
II	一部に錆汁が見られる。(A2)	ひびわれ、あるいは帯状またはゲル状滲出物が数箇所見られる。(B2)	一部に浮きが見られる。(C2)
III	錆汁多し。鉄筋腐肉が広範囲に認められる。(A3)	ひびわれ多し。網目状あるいは錆汁をともなうひびわれを含む。(B3)	一部に剝離が見られる。(C3)
IV	浮き錆多し。鉄筋表面の大部分あるいは全周にわたる腐食が広範囲に認められる。(A4)	網目状のひびわれ等が全域にわたって多数見られる。(B4)	剝離・剝落多し。(一区画面積の4割程度以上) (C4)
V	浮き錆著しい。鉄筋断面積の有意な減少が全域にわたっている。(A5)		剝離・剝落多し。(一区画面積の4割程度以上) (C5)

(c_n) ($c_n \in C_N$)と表せる。構造物の各劣化レベルの帰属度関数 $\mu_{xj}(c_n)$ は、図2.dとした。また、コンクリート構造物の劣化に及ぼす各分類項目の影響度合は各項目ごとに異なることが考えられる。ここでは、これらの重みを分類項目ごとに重要度係数 w_i として、表2のように[0,1]の値を与えた。

次に、各分類項目の判定結果から構造物の各劣化レベルのファジィ期待値を求める手法について説明する。分類項目の判定結果 $\mu_{xik}(c_n)$ と重要度係数 w_i を用いて構造物の劣化レベルのファジィ集合 $\mu_R(c_n)$ は式(2)のように求められるものと定義した。

$$\mu_R(c_n) = \bigvee_{i=1}^3 w_i \cdot \mu_{xik}(c_n) \quad (2)$$

本研究では、 $\mu_R(c_n)$ の評価尺度として λ -ファジィ測度を用いる。 λ -ファジィ測度は λ をパラメータとして式(3)のように表される。

$$\begin{aligned} g\lambda(F_1) &= g_1 & m=1 & \quad (3) \\ g\lambda(F_m) &= g_m + g\lambda(F_{m-1}) & m>1 & \\ & + \lambda \cdot g_m \cdot g\lambda(F_{m-1}) & (-1 < \lambda < \infty, m=1 \sim 11) & \end{aligned}$$

ただし、 $F_m = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ で、 C_N の部分集合である。また、 g_m はファジィ密度($0.0 < g_m < 1.0$)であり、式(4)で表される。

$$g_m = \alpha \cdot \mu_R(c_m) \quad (4)$$

ただし、 α は g_m を正規化するための定数で、パラメータ λ を与えた後に、式(5)で求められるものである。

$$\begin{aligned} 1 &= \sum_{m=1}^{11} g_m & \lambda=0 & \\ \lambda^{-1} \left[\prod_{m=1}^{11} (1 + \lambda \cdot g_m) - 1 \right] & & \lambda \neq 0 & \end{aligned} \quad (5)$$

式(5)は λ と g_m の制約式であり、 λ をパラメータとして F_m を重複する度合を表す尺度である。

劣化評価は、各評価区分の帰属度関数を被積分関数とするファジィ積分によって行う。各劣化レベルの帰属度関数 $\mu_{xj}(c_n)$ を $\mu_R(c_n)$ より式(5)から求めた $g\lambda(F_m)$ で積分するもので、 $\mu_{xj}(c_n)$ の大きい順番に並び替えると、各劣化レベル j のファジィ期待値 $FI(j)$ は式(6)で表される。

$$FI(j) = \bigvee_{m=1}^{11} [\mu_{xj}(c_m^{(j)}) \wedge g\lambda(F_m^{(j)})] \quad (6)$$

ここで、 $F_m^{(j)} = \{c_1^{(j)}, c_2^{(j)}, c_3^{(j)}, \dots, c_m^{(j)}\}$ は、 $\mu_{xj}(c_n)$ の大きさの順番に合わせて、各劣化レベル j ごとに並び換えたものである。このファジィ期待値が大きいほど、その劣化ランクに属していることを意味する。

4. まとめ

劣化レベルをファジィ集合によって表現し、ファジィ積分により主観的な判断を含んだ劣化診断手法を提案した。本手法により、目視調査における判断基準のような、境界があいまいな区分を定量的に評価することが可能となると考えられる。
参考文献：1) L.A.Zadeh Fuzzy Sets, Information and Control, 8, 3, 338~353, 1965

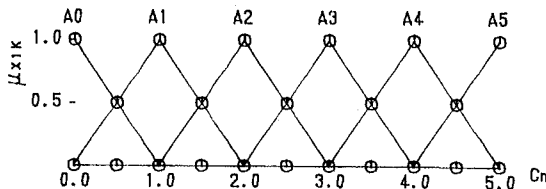


図2.a 鉄筋の腐食の帰属度関数($\mu_{x1k}(c_n)$)

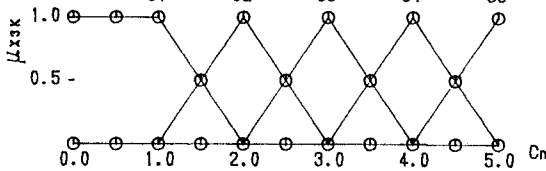


図2.c 剝離の帰属度関数($\mu_{x3k}(c_n)$)

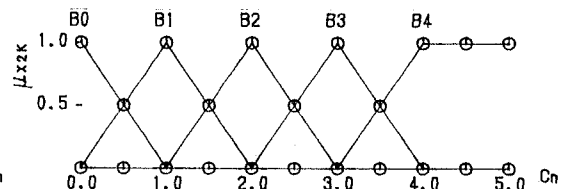


図2.b ひびわれの帰属度関数($\mu_{x2k}(c_n)$)

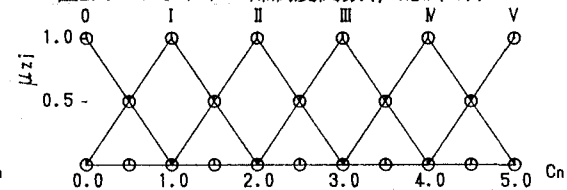


図2.d 劣化レベルの帰属度関数 $\mu_{xj}(c_n)$