

事故解析へのファジ理論の適用に関する一考察

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
京都大学大学院 学生員 〇川村 幸男

1. まえがき 過去、多くの橋梁事故に対してその事故原因が報告されているが、直接的な原因のみを挙げ、その誘因となる二次的な主観的不確定要因には言及されていないことが多い。本研究では、橋梁事故解析にフォールトシリ-解析(FTA)を導入し、さらにファジ理論を適用することで、設計ミス、解析ミス、施工ミスなどの主観的不確定性の重要性を明らかにする。まず、各不確定要因を言語変数の形で評価し、その総合的評価値をFTAの構造関数を用いて計算する。その際、構造関数の定義をファジ演算を用いることにより簡略化する。このとき、構造安全性は総合的評価値の帰属関数を用いて評価されるが、ここではファジ測度に基づくファジ積分を用いて、その評価を行なう。

2. 橋梁事故解析へのファジ理論の適用 FTAにおける構造関数は一般に、

$$\phi_{\text{AND}}(x) = \prod_{i=1}^n x_i \quad \text{--- (1)} \quad \phi_{\text{OR}}(x) = \prod_{i=1}^n x_i^{\text{def}} 1 - \prod_{i=1}^n (1 - x_i) \quad \text{--- (2)}$$

(x_i は基本事象)と定義される。ところが、上式より頂上事象の状態を直接求めることは論理演算が複雑なために容易ではない。そこで x_i を0と1の2値からなる特性関数とみなし、AND、ORの論理計算にファジ代数で用いられる、hard version²⁾の定義を用いると構造関数式(1)、(2)は、

$$\phi_{\text{AND}}(x) = \bigwedge_{i=1}^n x_i \stackrel{\text{def}}{=} \min_{i=1}^n x_i \quad \text{--- (3)} \quad \phi_{\text{OR}}(x) = \bigvee_{i=1}^n x_i \stackrel{\text{def}}{=} \max_{i=1}^n x_i \quad \text{--- (4)}$$

と簡略化され計算が簡単になる。さて橋梁事故にFTAを適用すると、各基本事象(事故原因)がかなりないまいな形で規定されることが多く、各要因の発生の有無よりも、その要因がどの程度の影響を事故に及ぼしているかが問題となる。事故原因には主観的不確定性が多く含まれており、その影響を評価するために言語変数³⁾を利用する。いま、ある事故原因 F_i の評価値を E_i 、事故原因の大きさを評価を G_i 、その重要度を W_i とすると、

$$E_i = G_i \cap W_i \quad \text{--- (5)} \quad E_i, G_i, W_i: \text{ファジ集合, } \cap: \text{積集合}$$

E_i, G_i, W_i の帰属度関数を $\mu_{E_i}, \mu_{G_i}, \mu_{W_i}$ とすると、 μ_{E_i} は、

$$\mu_{E_i}(u) = \mu_{G_i}(u) \wedge \mu_{W_i}(u) \quad \text{--- (6)}$$

と計算され、頂上事象に対する帰属度関数 μ_{E_i} は、 $\mu_{E_i}(u)$ をFTにより得られた構造関数 ϕ に代入し、

$$\mu_{E_i}(u) = \phi(\mu_{E_i}(u)) \quad \text{--- (7)}$$

と求められる。式(7)より、各要因の影響が評価できる。

3. ファジ積分による評価法 式(7)により得られた総合的評価値 E_i の帰属度関数 μ_{E_i} の評価を菅野⁴⁾⁵⁾により提案された、あいまいな対象を主観的に計量するファジ積分を用いて行なう。積分は確率測度の拡張であるファジ測度⁶⁾を用いて実行され、ファジ分布関数を $H(u)$ とすると、

表-1. 事故原因とその評価例

No.	事故原因	Size		Weight
		Ex1	Ex2	
1	異常な出来事	Vs	V1	V1
2		Vs	Vs	L
3		Vs	Vs	M
4		Vs	Vs	M
5	使用ミス	Vs	Vs	V1
6		Vs	Vs	L
7		Vs	Vs	M
8	維持管理ミス	L	S	L
9		L	S	M
10		S	S	S
11		M	S	S
12	予測不可能な事象	S	V1	L
13		M	L	M
14	解析誤差	V1	S	L
15		L	S	M
16	先例の欠如	L	L	M
17		V1	L	V1
18	設計ミス	V1	L	V1
		V1	L	V1

$H(h)$ と g_h の関係は、

$$H(h) = g_h + H(h_{i-1}) + \lambda \cdot g_{h_i} \cdot H(h_{i-1}), \quad H(h) = g_h \quad (8)$$

(ただし、 $H(h) \leq H(h_i) \leq \dots \leq H(h_n) = 1$)と定義される。式(8)において $\lambda = 0$ のとき g_h は確率測度と一致する。区間 $[0, 1]$ の値域をもつ関数を $h(h)$ とすると、ファジィ積分は、

$$f_h(h_2) \circ g(\cdot) = \bigvee_{i=1}^n [h_i \wedge H(h_i)] \quad (9)$$

と定義される。物理的には式(9)は h のファジィ期待値と考えられる。ここで、帰属度関数 μ_{E_T} の評価を行なうために、 μ_{E_T} のElement Value u を離散量にとり、 $h(u) = u_i$ と考える。各 u_i の帰属度 $\mu_{E_T}(u_i)$ をファジィ測度 g_{u_i} とすると μ_{E_T} の評価値が式(9)より決定される。

4. 数値計算例 橋梁事故における代表的な事故原因(2次的要因も含む)と、それら各要因の言語変数を用いた評価例を表-1に示す。この表-1を用いて図1のフォールトツリーについて計算した総合的評価値 E_T の帰属度関数 μ_{E_T} を図-2に示す。図-2より帰属度関数が1に近い箇所で大きなグレードをもつEx2の評価例の方がEx1の評価例より破壊が生じやすいことがわかる。この原因はEx-2でVL(Very Large)と評価されている異常な出来事(地震)が生じているためである。図-2で示した μ_{E_T} のファジィ積分による評価を図-3に示す。ここで、 $u=1$ のときに完全な破壊が生じ、0のとき破壊が生じないとしている。式(9)より関数 h と H のMin-Maxをとることで、Ex.1の総合的評価値は0.6、Ex.2は0.75と図より求められる。このことから、Ex-2の方が1に近い値を取り、破壊が生じやすい、すなわち、不確実性が強いことを表わしている。

5. あとがき 本研究より以下の結論が得られた。

- 1) 橋梁事故解析へのFTAの適用において、ファジィ演算を用いて構造関数の論理演算が簡略化される。
- 2) 言語変数を用いることで、主観的不確実性を含んだ事故原因の影響を考慮することが出来る。
- 3) 総合的評価値の帰属度関数をファジィ積分を用いて定量的に評価することが出来る。

参考文献) 1: 井上純一、他 システム制御P vol.20 pp.641-648, 1976. 2: R. Bellman & L. Zadeh, *Management Sci.* vol.17 pp.141-164, 1970. 3: D. Blochley, *Proc. ICE*, vol.59, pp.659-668, 1975. 4: 菅野道夫、計測自動制御学会論文集 vol.19-3 pp.218-226, 1974. 5: C.V. 初沢、浅居重治、あいまいな理論入門、オーム社、pp.14-45, 1978

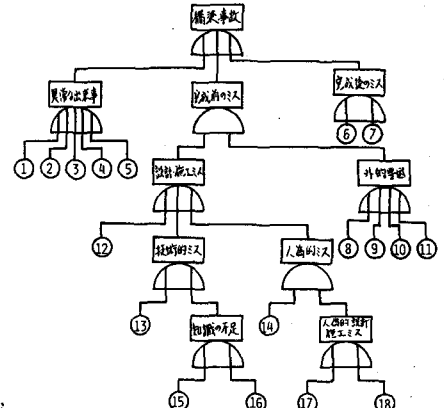


図-1. 橋梁事故に対するフォールトツリーの例
Membership Value μ

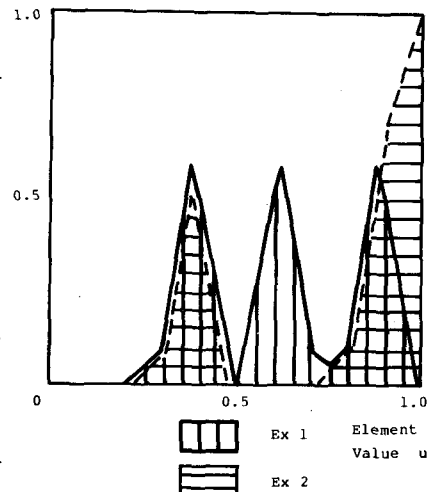


図-2. 総合的評価値 E_T の帰属度関数

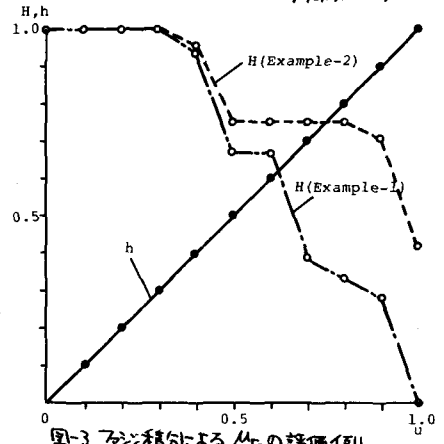


図-3. ファジィ積分による μ_{E_T} の評価例