

京都大学工学部 正員 古田 均
 京都大学工学部 正員 白石 成人
 大阪市役所 正員 川村 幸男

1. まえがき 橋梁構造物個々の安全性を評価するには、その架設中の安全性評価が重要である。このことは、過去の橋梁事故の多くが架設中に発生していることから明らかである。架設中に事故が多いのは、架設に関与する不確定要因が十分に把握できていない、さらにはその影響を定量的な形で安全性評価に紐づけることが困難であるにめと考えられる。本研究は、架設に起因する不確定要因を明確にし、架設に伴う特殊性を十分に考慮した上で、その影響を構造物の安全性評価へ定量的な形で導入する方法について考察したものである。設計者や現場技術者の経験・工学的判断に基づく定性的な情報を有益なものとし、計測値等の定量的な情報と組合せて総合的な評価を行なうことを目的とし、ファジィ推論を用いたエキスパートシステムの概念に基づく安全性評価法を提案する。その際、不確定要因の影響を2通りの計算式を用いて考慮し、両者の安全性評価法への適用性について比較検討を行なっている。さらに、安全性評価形式としては、架設に伴う特殊性を考え、安全性の経時的な進捗評価が行なえるモニタリングシステム的な形式を目標としている。

2. ファジィ推論を用いた安全性評価法¹⁾ ファジィ推論は、通常の数学論理における推論形式を基に、命題判断(情報評価)に含まれる曖昧さを考慮した上で、直観的に妥当であろうと判断される結論を導き出すものである。本研究の安全性評価法においては、架設中の構造物に関する安全性評価項目 X と Y について、あらかじめ経験・工学的判断に基づき、「もし X の安全性が F ならば Y の安全性は G であろう」、すなわち「 X is $F \rightarrow Y$ is G 」なる条件命題を設定しておき、架設中の X の安全性評価 F' から Y の安全性評価 G を推論する。この操作を

順次各評価項目について進めていき、最終的に架設構造物の総合的な安全性を評価する。その時、 X 、 Y の評価 F' 、 G に言語変数²⁾を用いることにより、定性的な情報判断の定量的な扱いが可能となる。本研究の安全性評価システムの具体的な構成をFig. 1に示す。初めにデータベースとして各架設段階での安全性評価項目、例えば、 X_i =(キャンパに異常なし)、 X_j =(施工精度に問題なし)等に関する安全性評価 F 、 G による推論評価の関係を設定しておく。この安全性評価関係を基にして、評価時点における各評価項目より構築される推論機構(例えばFig. 2)の末端項目に目視等による情報を入力し、ファジィ推論関係に基づく演算を行うことにより、架設中の安全性が求められることになる。

いま、 X_i を末端入力評価項目とすると、 X_i の安全性評価が F' (安全性が大変大きい)ならば、 X_j の評価 G は X_i と X_j の条件下、(データベース) X_i is F (大さ) $\rightarrow X_j$ is G (大さ) (入力評価) $\Rightarrow X_i$ is F' (大変大さ)

(出力評価) X_j is G (大変大さ)

というように、(大変大さ)と直観的に納得のいく結論として推論される。具体的な計算方法は、 F 、 F' 、 G 、 G' の言語変数評価による帰属度関数を μ_F 、 $\mu_{F'}$ 、 μ_G 、 $\mu_{G'}$ とすると、

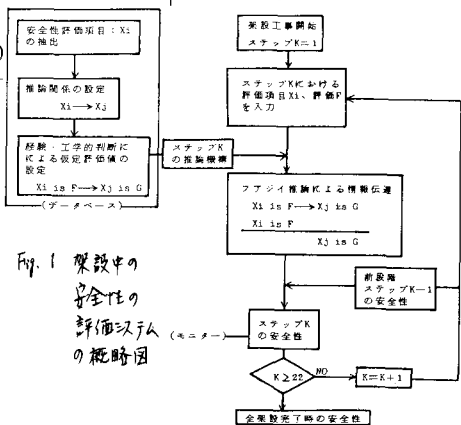
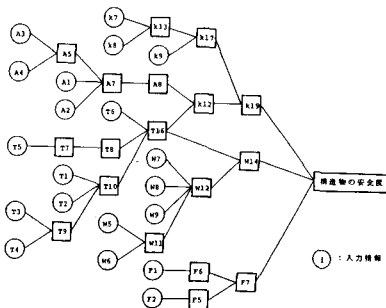


Fig. 1 架設中の安全性の評価システムの概略図



$$X_i \text{ is } F \rightarrow X_j \text{ is } G \Rightarrow R_c = F \times G = \int [\mu_F(u) \wedge \mu_G(v)] / (u, v)$$

$$X_i \text{ is } F' \Rightarrow \mu_{F'}(u)$$

$$X_j \text{ is } G' \Leftarrow \mu_{G'}(v) = \mu_{F'}(u) \cdot R_c \quad (1)$$

ここに、 $\times$ は直積、 $\wedge$ は $\min$ 、 $\circ$ はファジィ合成、 R_c は Mandani によるファジィ関係を表す。ファジィ関係の定義式は R_c 以外にもいくつか提案されている。ここでは、 R_c 以外に次式の R_s についても計算を更行し、不確定要因の影響を考慮する上での有効性について比較検討をする。

$$R_s = F \times V \Rightarrow U \times G = \int [\mu_F(u) \rightarrow \mu_G(v)] / (u, v) \quad (2)$$

$$\text{ここで、} \mu_F(u) \rightarrow \mu_G(v) = \begin{cases} 1 & : \mu_F(u) \leq \mu_G(v) \\ 0 & : \mu_F(u) > \mu_G(v) \end{cases} \quad (2)$$

X_i と X_j との推論演算より得られた結果 G' は、 X_j からさらに推論される評価項目 X_k との推論評価関係 ($X_j \rightarrow X_k$) への入力評価となる。この演算は Fig. 2 に示すように末端の入力評価が直接構造物の安全性評価に結びつく形で実行される。以上の演算を Fig. 1 の手順に従い全ての入力項目について実行し、各評価時点の情報による総合的な安全性評価が行われる。

3. 数値計算例⁴⁾ Fig. 3 に示す橋梁上部工下弦桁架設中の安全性評価について数値計算を行った。下弦桁各ブロック架設段階ごとに、Fig. 4 に示すような評価システムを考え、各評価時点において言語変数による入力評価も行なった。Fig. 5, 6 に示す計算結果は、Fig. 3 の下弦桁架設工事を 22 ステップに分け、第 3 ブロック“架設時”(Step 8)以降に強風が発生したため、ケーブルワイヤ関係の評価項目を“安全性は(普通)”と小さめに評価したに例である。ただし、他の評価項目は“安全性は(大変大きい)～(まあ大きい)”としている。Fig. 5 がファジィ関係が R_c の場合で、Fig. 6 が R_s の場合である。第 3 ブロック“架設前”の Step 7 までは、 R_c , R_s とともに帰属度関数が $\mu = 1$ (構造物は安全である)付近で大きなグレード進をとり、“安全性は(大変大きい)”と評価されている。Step 8 ～ Step 17, Step 18 ～ Step 22 と架設進行に伴い Fig. 5 では安全性が下がり、Fig. 6 では Step 18 ～ Step 22 にかけて安全性が下がっている。これは、Step 8 以降の強風による影響を R_c の方が R_s よりも敏感に反映していることを示している。このことは、 R_c , R_s による帰属度関数のファジィ積分による評価からも明らかであり、 R_c の方が R_s より不確定要因の影響を安全性評価に反映するのに有効であると思われる。

4. あとがき 本研究より以下の結論が得られた。

1) ファジィ推論の適用により、架設中に伴う特殊性を十分配慮できる安全性評価モニターシステムの開発が可能となった。2) また、架設中の定量的情報だけでなく、経験・工学的判断等の定性的情報を加味した総合的な安全性評価が行えるようになった。参考文献 1) 木本; 数理科学, No. 200, 1980, 2) D. Blockley; Proc. ICE, Vol. 89, 1975

3) Mizumoto & Zimmermann; Fuzzy Sets and Systems, Vol. 8, 1982, 4) 石山他; 土木施工, Vol. 21, 1980

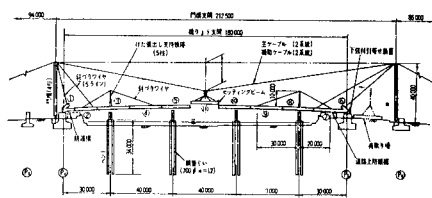
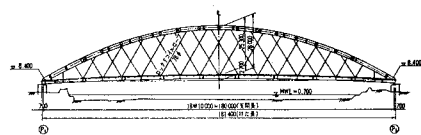


Fig. 3 下弦桁架設要領図 (参考文献 4 による)

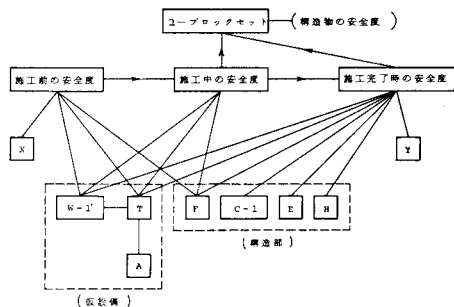


Fig. 4 推論機構図の例

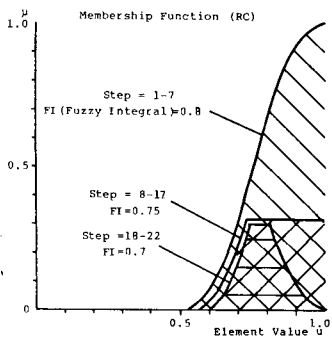


Fig. 5 R_c による数値計算結果

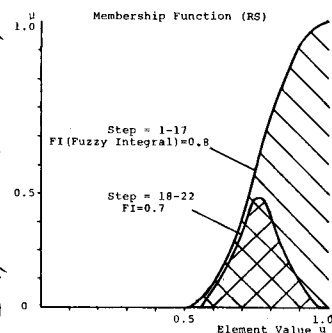


Fig. 6 R_s による数値計算結果