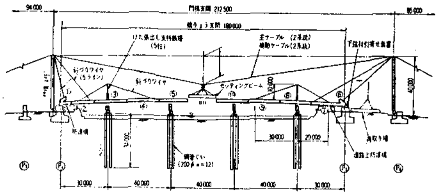
架設中の安全性評価へのファジィ推論の適用に関する基礎的考察

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
大阪市　正員　川村　幸男

1．まえがき　過去の橋梁事故の多くは架設中に発生している。これは、架設に関与する不確定要因の把握が不十分であり、その影響を定量的な形で考慮した橋梁架設中の安全性評価を行なうことが困難であるためと思われる。本研究は、架設に起因する不確定要因を明確にし、その影響を架設中の安全性評価へ定量的な形で導入する方法について考究する。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計測値等の定量的な情報と組み合わせ総合的な評価を行なうこと目的とし、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。さらに、架設に伴う特殊性を考慮し、経時的な追跡評価を行なうために、安全性評価モニターシステムの構築を試みる。

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し、曖昧な情報や知識を用いてある妥当と判断される結論を引き出そうとするものである。本研究の安全性評価法は、安全性評価項目XとYにおいて、あらかじめ経験・工学的判断を基に、「もしXの安全性が下ならばYの安全度はGであろう」、すなわち「X is F ⟶ Y is G」を決定しておき、架設中のXの安全性評価F′からXとYの推論関係の条件下でYの安全性G′を推論し、最終的に架設構造物の安全性を推論評価する。その際、Xの評価F′に言語変数[2)]を用いることにより定性的な情報の定量的な扱いが可能となる。



REFERENCE(3)

Fig. 1 下弦材架設要領図

安全性評価システムの具体的な構成をFig. 2に示す。初めに、データベースとして架設工事各段階で、安全性評価項目を、たとえばX_i（キャンバに異常なし）、X_j（施工精度に問題なし）とすると、X_i, X_jの安全性評価F, Gによる推論評価関係を設定しておく。そして、架設中の安全性は評価時点における各評価項目より構築される推論評価機構（たとえばFig. 3）の末端入力評価項目の安全性を目視等により評価し、つぎのファジィ推論関係に基づく演算を実行することで求められる。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′（安全性は大変大きい）ならば、

（データベース）　X_i is F（大きい）⟶ X_j is G（大きい）
（入力評価）⟹　X_i is F′（大変大きい）
（出力評価）⟸　X_j is G′（大変大きい）

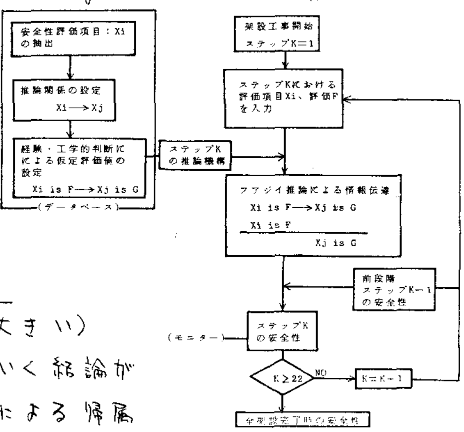


Fig.2 架設中の安全性評価数値計算モデル

X_jの安全性がG′（大変大きい）と直観的に納得のいく結論が得られる。ここで、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、

Naruhito SHIRAISHI , Hitoshi FURUTA , Yukio KAWAMURA

$$(X_i \text{ is } F) \longrightarrow (X_j \text{ is } G) \quad \Longrightarrow \quad R_c = F \times G = \int_{U \times V} \mu_F(u) \wedge \mu_G(v) / (u, v)$$

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

$$(X_j \text{ is } G') \quad \Longleftarrow \quad \mu_{G'}(v) = \mu_{F'}(u) \circ R_c \qquad (1)$$

ここでR_cはファジィ関係を表わし、∘はファジィ合成（Min－Max演算）を表わす。式(1)よりX_jの安全性が（X_i is F）⟶（X_j is G）の条件下でG'と定量的に帰属度関数として評価される。この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（$X_j \to X_k$）への入力評価となる。この操作はFig.3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まで行なわれる。以上の計算をFig.2の手順に従い、全ての入力項目について実行し、評価時点の情報による総合的な安全性評価が求められる。

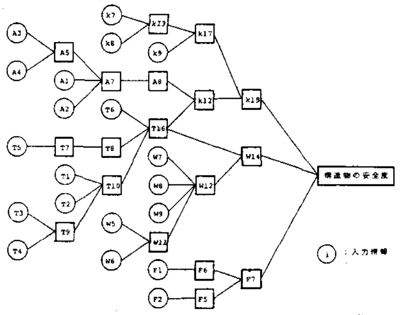


Fig.3 安全性評価項目-推論機構（Step1-第1ブロック 施工前）

3、数値計算例[3)]

Fig.1に示す、橋梁上部工下弦材架設中の安全性評価に対して、数値計算を行なった。下弦材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モデル入力評価を行なった。Fig.5に示す計算結果は、Fig.1の下弦材第3ブロック"架設時"（Step 8）以降に強風が発生したため、評価項目の設定条件が"安全性は（大変大きい）～（多少大きい）"の場合に、ケーブル・ワイヤ関係の項目評価を"安全性は（普通）"であると小さめに評価した計算例である。第3ブロック"架設前"のStep7までは構造物の安全性が、帰属度関数のu=1（構造物は安全である）付近で大きなグレード値をとり、"安全性は（大変大きい）"と評価されている。第8～17，18～22ステップと架設進行に伴ない安全性が下がっていることがわかる。これは帰属度関数の代表値をファジィ積分[4)]で決定した値が0.8～0.7となっていることからも明らかである。

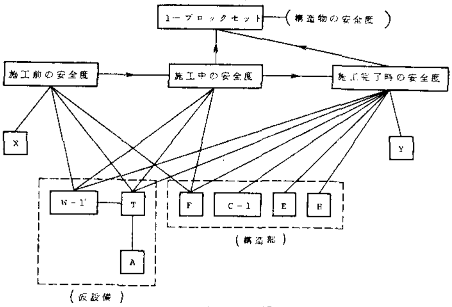


Fig.4 架設中の安全性評価システム-ダイヤグラム

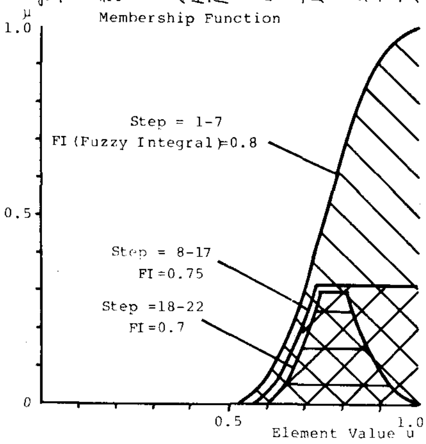


Fig.5 安全性評価計算結果の帰属度関数

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なえる。

参考文献）(1)水本雅晴:「Fuzzy論理と近似的推論」数理科学,No.200,1980 (2)D.I.Blockley:「Predicting the likelihood of Structural Failures」Proc.ICE,vol.59,1975 (3)石山勝郎,他:「鏡川大橋の架設工事」土木施工vol.21,No.12,1980 (4)C.V.Negoita,浅居喜代治:「ファジィ積分と評価」あいまいシステム入門,オーム社