

神戸大学工学部

正員 西村 昭, 藤井 学

神戸大学大学院自然科学研究科

正員 宮本文徳

(株)三菱重工業

正員 小笠 勝

## 1. まえがき

構造物の健全度診断等に対してファジー集合論を適用する場合、主観的不確定性の数学的表現方法である帰属度関数の決定が重要な問題点として挙げられる。本研究は、構造診断において、検査結果から健全度診断を行うプロセスにおける主観的不確定性を分類し、これらも積極的に取り入れる帰属度関数の、より現実的かつ合理的な決定を試みたものである。

## 2. 不確定要因の抽出、分類

構造診断の現状は、過去の研究や技術的経験あるいは直観に基づき、損傷程度及び原因で決定している部分が多く、それらを定量的に把握するには至っていないと言える。この原因としては、構造診断にまつ様々な不確定性に挙げることが出来る。すなわち、図1の分類のように、主に検査、測定結果のばらつきに關与する作用荷重のランダム性、材料強度の非破壊試験結果のばらつき、載荷試験結果のばらつき率に代表されるような確率統計論的に扱ひ得る客観的不確定性と、人間の過誤や社会的、政治的風土あるいは技術者の性格といった、ランダムな現象として扱うことの出来ない主観的不確定性がある<sup>1)</sup>。ここでは、構造診断に關与する主観的不確定性も、

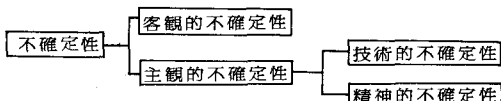


図1 不確定性の分類

さらに技術的不確定性と精神的不確定性に分類するものとする。ここで、技術的不確定性とは、検査、測定方法、構造解析モデル、損傷、劣化の相互作用等によつて生ずる

識不足や対象の複雑性等に起因するものとし、測定技術や解析手法の向上あるいは経験の蓄積などにより、あるいは小さくあるいは無くすることが可能な不確定性とする。一方、精神的不確定性は、技術者の性格、生活背景や評価者としての経験や才能等、人間本来の主観に起因するものとし、分析を遠くからというといったものはあっても完全に無くなる性質のものである不確定性とする。

## 3. 主観的不確定要因の帰属度関数への導入

構造診断へのファジー集合論の適用に際して、上記のように分類した主観的不確定性の数学的表現方法である帰属度関数の合理的な決定法を、図2に示す構造診断の基本的流れに沿って検討する。すなわち、より多くの技術的不確定性も、帰属度関数決定のためのパラメータとして導入することにより、より柔軟な帰属度関数の決定を試みる。さらに、主観に基づく評価結果には、評価者自身の精神的な不確定性が存在すると考え、構造物の管理者や評価者の上司あるいは専門の権威者らの上位階層者が評価結果を真の評価値に近づくように修正して理解するプロセスについても検討を加える。

検査者が構造物に対して非破壊的検査あるいは載荷試験を行い、得られる量は確率論的に扱ひ得る検査結果の集合 $X$ となる。これより健全度評価を行う場合、剛性低下率や材料強度の低下率といった特性値(健全度の指標となるパラメータ)の集合 $Y$ への変換が写像を利用して実行される。

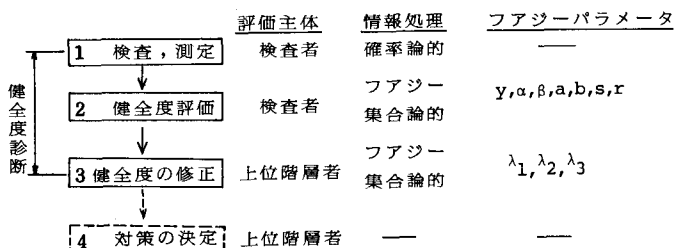


図2 健全度診断のフロー

この過程で、前述のような種々の技術的不確定性が存在し、ファジー関係 $R_1$ として帰属度関数 $\mu_{R_1}(x,y), x \in X, y \in Y$ で特性づけられる。ここで、帰属度関数 $\mu_{R_1}(x,y)$ が $\pi$ 関数<sup>2)</sup>に適用した次式で表わされるものとする、

$$\mu_{R_1}(x,y) = \alpha \cdot \pi(y; f(x) + \beta - a, f(x) + \beta, f(x) + \beta + b) \quad (1)$$

$f(x)$ は、理論+過去の実験等により明らかにされている法則に基づいて決定される関数(図3参照)、また $\alpha, \beta, a, b$ は検査者により主観的に決定されるパラメータとみなすことができ、図4に示すように、それぞれ次の性質を表わすものと考えられる。すなわち、 $\alpha$ は帰属度関数のピークの高さを表わし、検査結果 $x$ と特性値 $y$ との関係も $y=f(x)$ と置くことについての自信の程度を表わす。 $\beta$ は、帰属度関数のピークが $y=f(x)$ からずれる大きさを表わすもので、主

に検査や解析手法あるいは精度に起因する不確定性の大きさを表わす。 $a, b$ は、ファジー関係 $R_1$ のあいまいさの程度、すなわち、帰属度関数のばらつきの大きさを表わす。

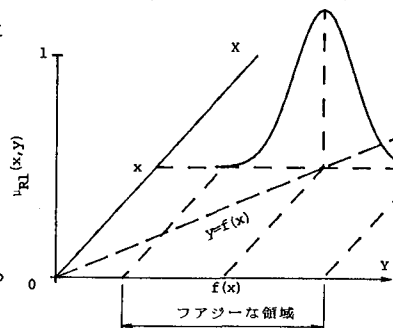


図3 ファジー関係の考え方

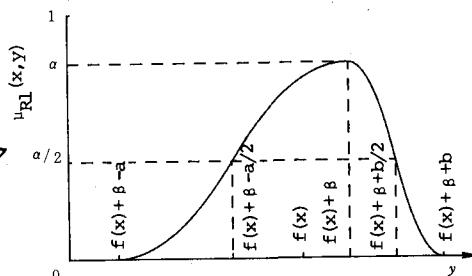


図4 あいまいパラメータ( $\alpha, \beta, a, b$ )

次に、特性値から健全度を評価する場合、健全度の規定が、現状では「構造物が所定の機能と達成し得る程度」と抽象的表現とならざるを得ず、ファジーなものであると考えられる。ここで、健全度ファジー集合、 $S \in$  区間 $[0,1]$ で次式のように定義し、

$$S = \{s | s \in [0,1]\}, \quad (s=0,1 \text{ は、機械機能を全達成(ない)か、故障状態}) \quad (2)$$

特性値の集合、 $Y$ との間に次式で表わされる帰属度関数 $\mu_{R_2}(y,s)$ を用いたファジー関係 $R_2$ で関連づける。

$$\mu_{R_2}(y,s) = \pi(s; f(y) - g(y), f(y), f(y) + g(y)) \quad (3)$$

ここで考慮される主観的不確定性は次の2つである。すなわち、①特性値の重要度：特性値、 $Y$ と健全度、 $S$ がファジー関係で表わされる場合の関数 $s=f(y)$ に関するあいまいさ(図5参照)、②特性値の確度：健全度レベルに応じて変化する評価の正確さを帰属度関数のばらつきの程度 $r=g(y)$ として表わしたものの(図6参照)。

以上の2段階のファジー関係のファジー合成、 $R=R_1 \cdot R_2$ より、検査結果(確率分布)から健全度の可能性分布を求めることができる。

以上のような評価結果を上位階層者が検査者の精神的な不確定性を考慮して修正する場合、平均値や分散に対応する量 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ で考慮する方法が考えられる。なお、これらの具体例は講演当日発表する予定である。

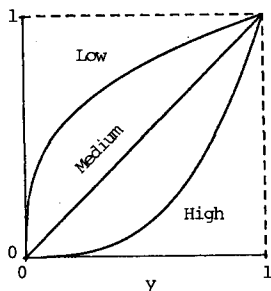


図5 特性値の重要度

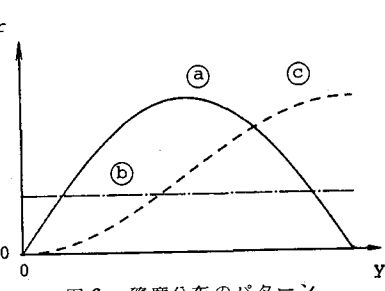


図6 確度分布のパターン

#### 4. あとがき

本手法により、不確定性の大きさを表わすパラメータを自由に決定でき、主観的不確定性の存在しない場合について、ファジー集合論の特殊な場合として同様の評価が可能となる。

参考文献 1) Brown, G.B.: A Fuzzy Safety Measure, Proc. of ASCE, EM5, 1979, 10 2) 水本: 最近のファジー集合理論, 数理科誌, 1975, 5