

大阪ガス（株） 正員 藤田裕介
 京都大学防災研究所 正員 土岐憲三
 京都大学防災研究所 正員 佐藤忠信

1. 概説 地震時信頼性解析をする際、地盤条件や経験式に含まれる不確定性を考慮しなければならない。本研究では、不確定性をファジィ理論を用いて処理し、ライフラインの地震時信頼性解析を行う手法を開発した。

2. ファジィ理論 ファジィ集合とは要素がその集合に属しているか属していないかが不明瞭な集合で、要素と帰属度、つまりその要素が集合に属する度合いの間の関係を示す帰属度関数で規定される。しかし帰属度関数の合理的な決定法が確立されておらず、本研究では三角形帰属度関数を用い、また統計値と対応させるため頂点の値に平均値を、両裾に標準偏差を用いて設定した。いまファジィ集合の一つであるファジィ数の演算は α レベル集合を用いて行い、分解原理を用いて α レベル集合をファジィ数に復元する¹⁾。但しファジィ数 A の α レベル集合とは $A_\alpha = [a_1^{(\alpha)}, a_2^{(\alpha)}]$ というある区間で表される集合である（図1）。

3. ファジィ理論をとりいれた地震時信頼性解析法 ネットワークの地震時信頼性解析を行う際、影響圏の概念を用いるものがある²⁾。本研究で解析対象にしているのは地中埋設ガス導管網だから、その破壊を規定する変量として地震時に発生するひずみを考える。構成要素に発生する地震時ひずみ ε を地震の規模、地震断層からの距離および地盤特性で表し、破壊基準ひずみを越えたとその構成要素は破壊するとする。これより破壊の限界を示す距離が求まりそれを影響距離とする。構成要素を中心に影響距離を半径とする球体を影響圏と定義する。また地震断層の発生する位置を2次元的な面で推定し、その面を潜在的断層発生域と定義する。そして影響圏と潜在的断層発生域が交わってできる領域を影響域として図2にこれらの関係を図示する。

本研究では、ガス導管網の供給点から需要点までの連結性を信頼性の評価基準とする。潜在的断層発生域上に評価点を等分布させる。いま潜在的断層発生域が影響域によって N 個の領域に区分されているとし、 i 番目の領域に含まれる評価点数を N_i 、信頼性指標を I_i とする。ここで信頼性指標 I_i は領域 i で断層が生じた場合、信頼性評価基準を満足すれば1、しなければ0をとる。信頼度は

$$R = \sum_{i=1}^N I_i \cdot N_i / \sum_{i=1}^N N_i \quad (1)$$

と表される。

しかし影響距離を求める際、ガス導管耐震設計指針や最大加速度距離減衰式を用いたが、表層地盤の固有周期を算出する際せん断弾性波速度を経験式から求めており、また単位震度あたりの応答速度は安全側で評価したものである。そして距離減衰式自体が既往の強震記録を重回帰分析したものであるからその不確定性を考慮しなければならない。本研究ではその不確定性を確率論的ではなく、ファジィ理論を用いて処理をする。表層地盤の固有周期、単位震度あたりの応答速度そして最大加速度の帰属度関数を平均値と標準偏差を用いて設定する。ファジィ演算を行い影響距離に帰属度関数を与える。影響距離が曖昧になると、影響域の境界も曖昧になるので、曖昧な小領域が作成される。いま、影響距離について α というレベルを設定すれば2つの影響距離 $r_{i1}^{(\alpha)}$ と $r_{i2}^{(\alpha)}$ が全ての構成要素に対して定義できる。図3に影響距離の帰属度関数と曖昧な影響域について示す。まず全ての構成要素について $r_{i1}^{(\alpha)}$ のみを用いて潜在的断層発生域上に影響域を作成する。そして(1)式よりネットワークの信頼性を計算し、それを $R_1^{(\alpha)}$ とする。次に同様に $r_{i2}^{(\alpha)}$ のみを用いて $R_2^{(\alpha)}$ を求める。そこで信頼度の α レベル集合は

$$R_\alpha = [R_1^{(\alpha)}, R_2^{(\alpha)}] = \left[\sum_{i=1}^N I_{i1}^{(\alpha)} \cdot N_{i1}^{(\alpha)} / \sum_{i=1}^N N_{i1}^{(\alpha)}, \sum_{i=1}^N I_{i2}^{(\alpha)} \cdot N_{i2}^{(\alpha)} / \sum_{i=1}^N N_{i2}^{(\alpha)} \right] \quad (2)$$

と表され、分解原理で帰属度関数に復元される。

4. 大規模ガス管網への適用 本研究の地震時信頼性評価手法を、東京ガス(株)の湘南地区中圧A導管網に適用する。中圧A導管網は387個のノードと391個のリンクからなるネットワークモデルとなる。供給点は4点あり、需要点は中圧A導管と中圧B導管の接続点147点を考え、この需要点すべてに供給点から連結されることを、信頼性の評価基準として信頼性を解析する。供給点と需要点を表示したネットワークモデルを図4に示す。また、潜在的断層発生域としては1923年の関東地震の断層域を考える。最大加速度距離減衰式、表層地盤の固有周期そして単位震度あたりの応答速度を個別にファジィ化し、信頼度の帰属度関数を求めた結果を図5に示す。図から明らかなように距離減衰式の曖昧さの影響が最大になっている。また曖昧さの程度をみる指標としてdeviation³⁾があり、マグニチュードを変化させた結果を図6に示す。これからも距離減衰式による曖昧さの影響が最大であることがわかる。

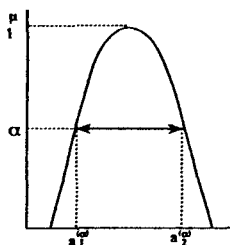


図1 ファジィ数Aの帰属度関数と α レベル集合

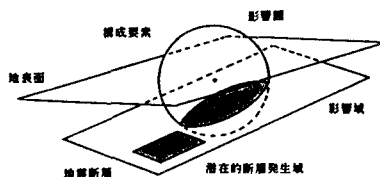


図2 構成要素の影響域の説明図

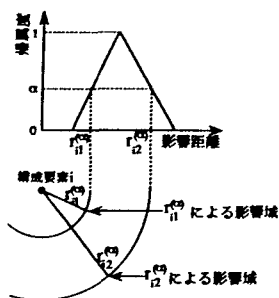


図3 影響距離の帰属度関数と曖昧な影響域

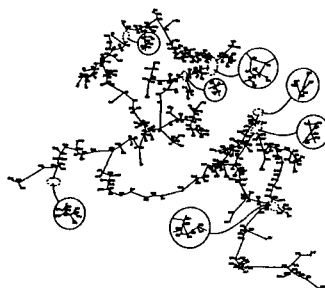


図4 湘南地区のネットワークモデル

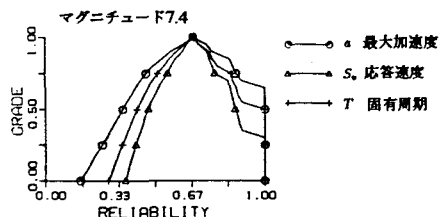


図5 信頼度の帰属度関数

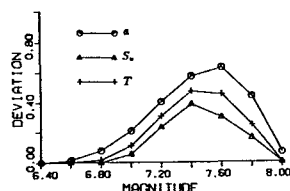


図6 マグニチュードとdeviation

参考文献 1) 菅野道夫・浅居喜代治・寺野寿郎: ファジィシステム入門, オーム社, pp24-35, 1988年 2) Sato T.: Seismic Reliability Analysis of Lifeline Networks Taking into Account Fault Extent and Local Ground Condition, Natural Disaster Science, Vol16, No2, pp.51-72, 1982 3) Arnold Kaufmann・Madan M. Gupta: Introduction To Fuzzy Arithmetic, Van Nostrand Reinhold Company, pp.254-261