

I-610

構成要素の破壊確率特性を考慮した大規模ライフラインシステムの地震時信頼性

大阪ガス(株) 正員 清水謙司
 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. まえがき: 本研究では、ライフラインシステムの地震時信頼性を、そのネットワークを構成する要素の破壊確率特性を考慮して、より高い確度で解析する手法を提案する。まず、構成要素の破壊確率特性を定義する。次に、その構成要素の破壊確率特性を用いてシステム全体の地震時信頼性を解析する手法について説明する。最後に、この手法を実際の大規模ライフラインシステムに適用する。

2. 構成要素の破壊確率特性: 解析の対象としているライフラインシステムが、地中埋設ガス導管網であることから、システムを構成している要素の破壊を支配する変量としてひずみを考える。そして、地震時に構成要素に生じるひずみを、地震の規模と地震断層からの距離および地盤特性などで評価し、これが破壊基準ひずみを超えると破壊すると考える。すなわち、地震時ひずみ ε を構成要素への荷重を表す量、破壊基準ひずみ ε^* を構成要素の強度を表す量と考える。これらは、実際には確定値ではなく、ばらつきを持つことから、信頼性理論の考え方に基いて破壊確率特性を定義する。

地震時ひずみ ε にだけ、ばらつきを与えた場合の破壊確率特性を定義する手法を図1を用いて説明する。地震時に構成要素に生じるひずみ ε を、ガス導管耐震設計指針と最大加速度の距離減衰式を用いて表すと、距離減衰特性を有し基準値のまわりでばらつく。破壊基準ひずみ ε^* とすると、構成要素は地震時ひずみ ε がそれを上回るとき破壊することになる。従って、マグニチュード M の地震における地震断層が構成要素から距離 r_1 の地点にある場合、ここでの破壊確率 $p_f(M, r_1)$ は、図1(a)の斜線で示す部分の面積に相当する。このように、それぞれの距離における破壊確率を求めると、図1(b)のように地震断層からの距離と構成要素の破壊確率の関係が定義できる。また、破壊基準ひずみ ε^* のばらつきを考慮しても、同様に距離と破壊確率の関係を定義することができる。

3. システムの地震時信頼性解析手法: 地震発生機構の不確定性を考慮するために、本研究では地震断層の発生すると考えられる二次元的な拡がりをも潜在的断層発生域と定義し、この潜在的断層発生域の内部で地震断層が生じるものとする。

また、構成要素に対して、地震断層からの距離と破壊確率の関係を離散化し、破壊確率を持つ影響距離という概念を導入する。これは構成要素の破壊確率が p となるときの地震断層からの距離として定義される。各構成要素は破壊確率に対応した複数の影響距離を持つ。また、破壊確率を持つ影響距離に対して、それを半径とする球体を定義し、これを破壊確率を持つ影響圏¹⁾と定義する。従って、1つの構成要素に対して複数の影響圏が存在することになる。そして、破壊確率 p の影響圏の内側で地震断層が発生すると、破壊確率 p でその構成要素は破壊する。また影響圏が潜在的断層発生域と交わってできる影響域も、それぞれの影響圏に対応した破壊確率を持つことになる。これらの関係を図2に示す。

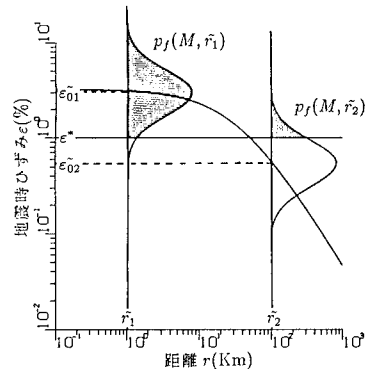


図1(a) 地震断層からの距離の違いによる構成要素の破壊確率

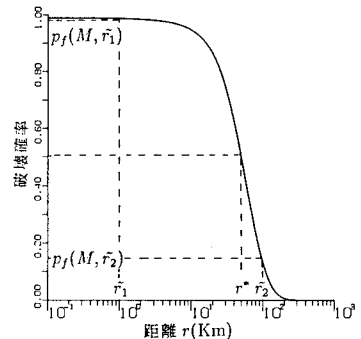


図1(b) 地震断層からの距離と破壊確率の関係

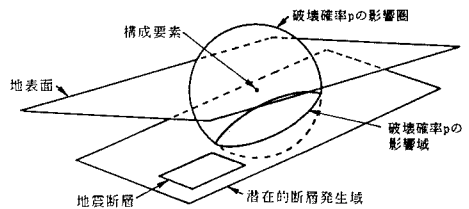


図2 影響圏、潜在的断層発生域、地震断層、影響域の関係

各構成要素の影響域によって、潜在的断層発生域はいくつかの領域に分割される。いま、潜在的断層発生域が影響域によって N 個の領域に分割され、 i 番目の領域の面積を A_i 、信頼性指標を I_i であるとする。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しており、信頼性指標 I_i はこの信頼性の評価基準を満足する確率として定義される。また、計算を簡略化するために、潜在的断層発生域上に評価点²⁾を等密度に分布させ、各領域の面積 A_i をその領域に含まれる評価点の数で代用する。これらを用いるとシステムの信頼度 R は次式のように表現される。

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

4. 大規模ライフラインシステムへの適用: 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 3 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³⁾を考える。構成要素の破壊確率特性は、以下の 4 ケースを考える。

- (i) ばらつきを考慮せず、構成要素の破壊確率が 0 か 1 の 2 値の場合
 - (ii) 加速度の距離減衰式のばらつきのみを考慮する場合
 - (iii) 地震時ひずみの算定に関するばらつきを考慮する場合
 - (iv) 地震時ひずみと破壊基準ひずみのばらつきを考慮する場合
- ネットワークの信頼度とマグニチュードの関係を図 4 に示す。また、システムが信頼性の評価基準を満足する確率は、潜在的断層発生域上で分布し、システム全体の信頼性のばらつきと考えることができる。マグニチュード 6.8 を想定し破壊確率特性 (iii) を考えた場合、図 5(a) のように、信頼性指標の分布からシステムの信頼性の確率

密度が得られる。この図の重心に対応する信頼性の値がシステムの信頼度となる。図 5(b) はシステムの信頼性がある値をとるとき、その値以上となる確率、すなわち超過確率を表した図である。このシステムの信頼性が R_0 を上まわっている確率は、システムの信頼性 R_0 が保証される確率、すなわち安全率である。図 6 は構成要素の破壊確率特性として (iii) を用いた場合の、システムの信頼性がある値以上となる確率、すなわちシステムの信頼性の安全率を表した図である。

参考文献: 1) 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
2) T.Sato・K.Toki・H.Hamada: A Method for Analyzing Seismic Reliability of Realistic Large Lifeline Networks, 第 8 回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.2115-2120, 1990 年 12 月 3) 金森博雄・安藤雅孝: 関東大地震の断層モデル, 関東大地震 50 周年論文集, pp.89-101, 1973 年

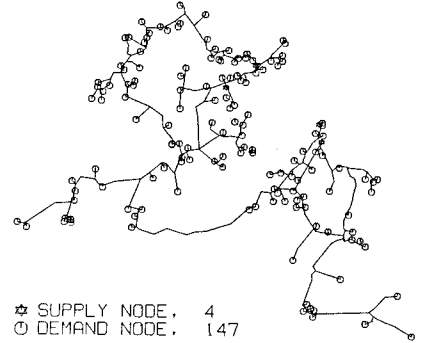


図 3 信頼性評価基準が中圧 A 管と B 管の接続点のときのネットワーク

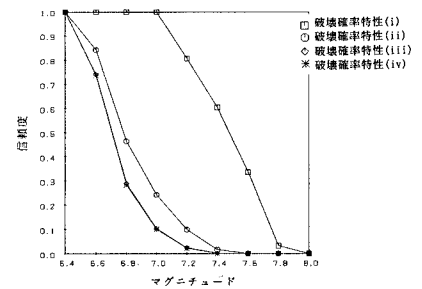


図 4 信頼性評価基準が中圧 A 管と B 管の接続点のときのマグニチュードと信頼度

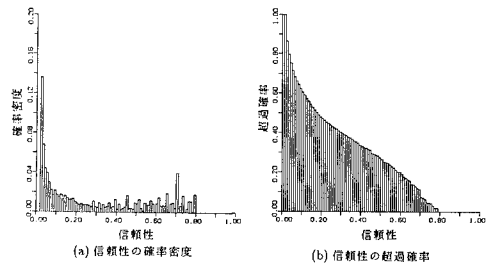


図 5 システムの信頼性の分布

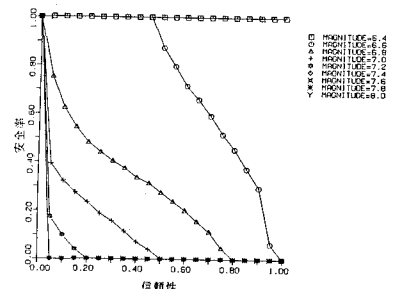


図 6 信頼性評価基準が中圧 A 管と B 管の接続点のときの信頼性と安全率