

I-611 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向上

京都大学防災研究所 正員 佐藤忠信

大阪ガス(株) 正員 清水謙司

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向上計画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、汎用小型机上計算機で立案する手法を提案する。基本となるのは、影響圏と潜在的断層発生域の概念を用いた地震時信頼性解析手法^{1),2)}である。まず、ネットワークの構成要素の破壊確率特性を考慮した構成要素の耐震性向上について考察する。次に、システムの信頼性向上計画に関する構成要素の重要度評価について考察する。最後に本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. 構成要素の耐震性向上: 本研究では、地震によって構成要素に生じるひずみが破壊基準ひずみより大きくなる確率を、構成要素の破壊確率と定義する。埋設管の地震時ひずみ ε をガス導管耐震設計指針に基づき算定し、加速度の距離減衰式を用いると、地震時ひずみ ε が距離減衰式で表現される。すなわち、地震のマグニチュード M 、構成要素から地震断層までの距離 r 、地盤特性や構成要素の材料・形状特性を表すパラメータ $C_k(k=1,2,\dots)$ を用いると、

$$\varepsilon = \varepsilon(M, r, C_k) \quad (1)$$

と表せる。この埋設管の地震時ひずみ ε は構成要素への地震荷重を表す量と考えることができる。また、破壊基準ひずみ ε^* は構成要素の強度を表す量と考えることができる。従って、 $\varepsilon \geq \varepsilon^*$ となる確率を構成要素の破壊確率とすることができる。

いま、構成要素の耐震性の向上を、構成要素の強度を表す量である破壊基準ひずみのレベルの向上と考える。構成要素の地震時ひずみ ε を算定する際の各変量のばらつきを考慮し、地震断層からの距離と破壊確率の関係を求める場合、破壊基準ひずみの向上が、この関係にどのような変化を及ぼすか図1で考察する。構成要素の地震時ひずみ ε は、距離減衰式である基準値のまわりでばらついている。そして破壊基準ひずみが ε_1^* である場合には、 $\varepsilon \geq \varepsilon_1^*$ となる確率が破壊確率である。しかし、いま破壊基準ひずみを ε_1^* から ε_2^* へと向上させると、破壊確率は $\varepsilon \geq \varepsilon_2^*$ となる確率として定義され、図2のようになる。このように破壊基準ひずみを向上させることにより、地震断層からの距離と破壊確率の関係が変化し、各距離における破壊確率が低下することになる。

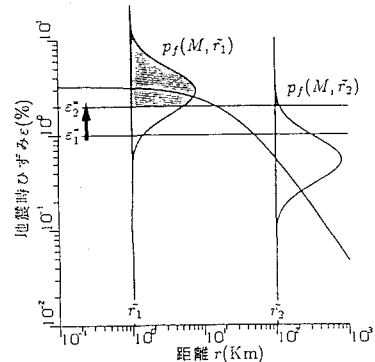


図1 破壊基準ひずみの向上による破壊確率の低下

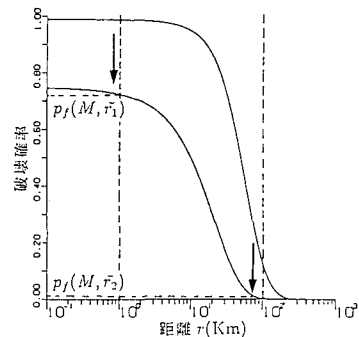


図2 破壊基準ひずみの向上による距離と破壊確率の関係

3. 構成要素の信頼性向上に関する重要度評価: 各構成要素の耐震性向上に関しては予算などの制約があり、この制約条件を満足しながら効率よく信頼性を向上させるためには、信頼性向上に関する要素の重要度を評価する必要がある。そこで、1つの要素の破壊基準ひずみだけを、ある割合向上させたときのシステム全体の信頼度の向上量を、その構成要素の信頼性向上に関する指標として構成要素の重要度評価を行う。また、各構成要素の破壊基準ひずみの向上率を制約条件とし、信頼性向上に関する重要度評価が行えるアルゴリズムを構築した。制約条件を考慮して重要度評価をおこなうのは、システムの信頼度の向上量とネットワークを構成する各要素の強度向上率の関係が線形ではなく、破壊基準ひずみの強度向上率すなわち制約条件の違いにより、構成要素の信頼性向上に関する重要度評価が異なるためである。本研究では信頼性向上の重要度評価は、総当たり

的に構成要素すべてについて信頼性向上に関する重要度評価をしている。

4. 大規模ライフライン網の信頼性向上計画: 本研究で開発した信頼性向上計画立案のアルゴリズムを、実際の大規模ライフライン網へ適用する。解析の対象としたネットワークは、湘南地区の中圧 A ガス導管網であり、需要点としては、湘南地区の第 6,7 L ブロック内の中圧 A 導管網と中圧 B 導管網の接続点 9 点の場合を考えている。信頼性の評価基準は、湘南地区ブロックの中圧 A 導管網へガスを供給している高圧ガス導管との接続点 4 点から、設定している需要点への連結性を考える。このネットワークモデルを図 3 に示す。また構成要素の破壊確率特性としては、構成要素への荷重を表す量と考えられる地震時に構成要素に生じる地震時ひずみ ϵ にだけ、ばらつきを与えた場合を考える。潜在的断層発生域は、1923 年の関東地震の断層モデルを用いることとし、解析の対象とする地震のマグニチュードは、関東地震程度の地震を対象として 7.8 とした。構成要素の強度向上に関する制約条件としては、破壊基準ひずみを 10% ずつ向上する場合と、50% ずつ向上する場合の 2 通りを考えた。

表 1 は構成要素の改善率を 10% とした場合の信頼性向上に関する重要度評価の表であり、重要度は各改善ステップで左側の要素ほど高い。10 回の改善ステップまでをとり、各改善ステップでは信頼性向上に関する重要度の最も高い要素 1 つだけを 10% 改善した。図 4 が改善ステップごとのシステムの信頼度の向上曲線である。表 2 は、構成要素の改善率を 50% とした場合の信頼性向上に関する重要度評価の結果である。図 5 は改善率を 50% とするときの信頼度向上曲線である。この場合、改善ステップが 10 回では約 95% の信頼度を得る。

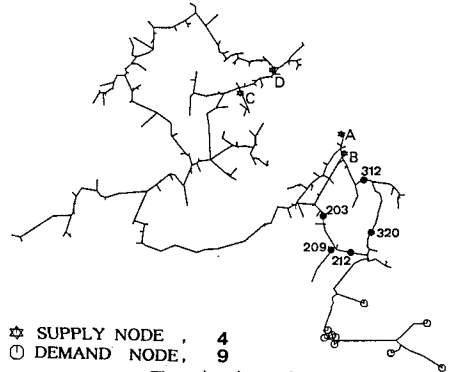


図 3 ネットワーク

表 1 改善ステップごとの重要度評価の結果

改善ステップ	重要度の高い構成要素									
1	212	203	209	312	320	306	309	313	221	
2	212	203	209	312	320	306	309	313	221	
3	203	212	209	312	320	306	309	313	221	
4	212	203	209	312	320	306	309	313	221	
5	203	212	209	312	320	306	309	313	221	
6	212	209	203	312	320	306	309	313	221	
7	209	203	212	312	320	306	309	313	221	
8	203	212	209	312	320	306	309	313	221	
9	203	212	209	312	320	306	309	313	221	
10	212	209	203	312	320	306	309	313	221	

表 2 改善ステップごとの重要度評価の結果

改善ステップ	重要度の高い構成要素									
1	212	203	209	312	320	306	309	313	221	
2	203	209	212	312	320	306	309	313	221	
3	209	212	203	312	320	306	309	313	221	
4	212	203	209	312	320	306	309	313	221	
5	203	209	212	312	320	306	309	313	221	
6	209	212	203	312	320	306	309	313	221	
7	212	203	209	312	320	306	309	313	221	
8	203	209	212	312	320	306	309	313	221	
9	203	209	212	312	320	306	309	313	221	
10	209	203	212	312	320	306	309	313	221	

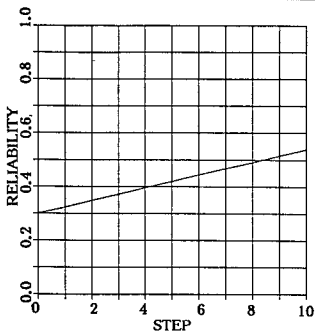


図 4 改善ステップとシステムの信頼度の関係

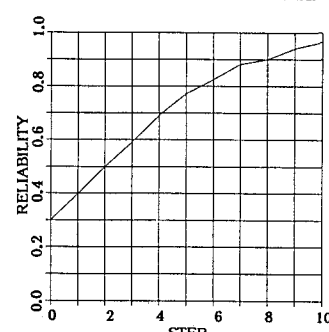


図 5 改善ステップとシステムの信頼度の関係

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) 清水, 土岐, 佐藤: 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に関する研究, 土木学会第 46 回年次学術講演会投稿中, 平成 3 年