

構成要素の破壊確率分布を考慮した
大規模ライフライン系の地震時信頼性解析

京都大学防災研究所 正 員 佐藤忠信 土岐憲三
京都大学大学院 学生員 ○清水謙司

1. 概説 ネットワークを構成する要素の地震時における破壊の不確定性を考慮して、ネットワーク全体の地震時信頼性解析を行った。ネットワーク構成要素に破壊確率分布特性が与えられることから、結果として、ネットワーク全体の信頼性も分布特性を持つことになり、ネットワークの地震時における安全性の評価が的確に行えるようになった。これらを大規模ガス供給ネットワークへ適用し、安全性についての検討を加えた。

2. 構成要素の破壊確率分布特性 ネットワークの地震時信頼性解析のアルゴリズム¹⁾は、構成要素の影響圏と潜在的断層発生域を利用したものである。このアルゴリズムでは、構成要素の影響圏を決定する際に用いる限界震源域距離の計算で、導管の材料特性、形状特性、地盤の諸特性などをパラメータとして取り入れていた²⁾が、それらパラメータのばらつきや不確定性は考慮されておらず、また、最大加速度の距離減衰式や単位震度当りの応答速度の基準値などはそのばらつきを無視していた。こうしたばらつきや不確定性を考慮すると、限界震源域距離は確率密度特性を有したものとなる。実際には、各種パラメータの確率密度関数から解析的に誘導しなければならないが、それらパラメータの多様性や複合性のため厳密に求めることは困難である。そこで、限界震源域距離の確率密度分布を、ある有限区間内で仮定し、これから各要素の破壊確率分布特性を定義した。図1は、構成要素の限界震源域距離が有限区間内で、ベル型の確率密度分布特性を持つ場合である。このとき破壊確率分布特性は図2のようになる。限界震源域距離の確率密度関数 $f(x)$ 、破壊確率分布関数 $F(x)$ には式(1)の関係がある。

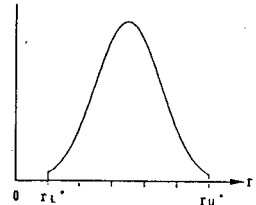


図1 限界震源域距離の確率密度特性

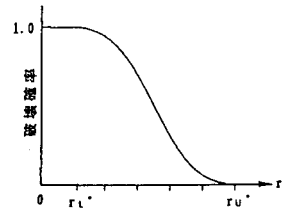


図2 構成要素の破壊確率分布特性

$$F(r) = \int_{r_l}^r f(x) dx \quad (1)$$

3. ネットワークの地震時信頼性解析 ネットワーク G のマグニチュード M の地震時信頼度 $R(G|M)$ は、式(2)で表される。

$$R(G|M) = \left\{ \sum_{i=1}^N I_i \cdot A_i \right\} / \sum_{i=1}^N A_i \quad (2)$$

ここに、 I_i は信頼性指標であり地震時にネットワークが信頼度基準を満足する確率を表す。また A_i は破壊確率を持つ小影響域によって、潜在的断層発生域が分割される各領域の面積を表している。これを図3の例で示す。図3は、2個の構成要素の小影響域を表している。小影響域は、連続量である破壊確率分布特性を、図4のように離散量として取り扱ったときの境界であり、その内部での破壊確率を表す。図3の小影響域がそれぞれ0.2, 0.6の破壊確率を表し、その外側では破壊しないとすると、この小影響域によって分割される各領域では、信頼度基準を満たす確率、すなわち、信頼性指標が異なる値をとる。領域①

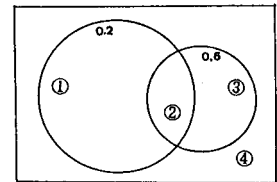


図3 潜在的断層発生域と小影響域

②, ③, ④では、信頼性指標はそれぞれ0.20, 0.12, 0.60, 1.00となる。また、領域①, ②, ③, ④の面積をそれぞれ10, 2, 4, 24であり、ネットワークの信頼度を式(2)を用いて計算すると、77.0(%)となる。

4. 大規模ライフラインへの適用 図5の湘南地区の中圧ガス管網ライフラインシステムを対象として研究を進めた。信頼度基準は、全ての需要点にいずれかの供給点から供給できることとした。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想定し、ネットワーク構成要素の破壊確率分布特性は、図4のように離散化したものを用いた。図6、図7は、マグニチュードが6.1の地震が潜在的断層発生域上でランダムに発生したと仮定したときの、信頼性分布特性と累積分布特性である。また、表1は、このときの信頼性の分布特性を表す指標である。図7から、ネットワークの信頼性がある値以上となる安全率を求めることができる。この場合、信頼性が0.80以上である安全率は約70(%)であることがわかる。

参考文献 1) T.Sato: Seismic Reliability Analysis of Lifeline Networks Taking into Account Fault Extent and Local Ground Conditions, Natural Disaster Science, Vol6, No2, pp51-72, 1982年 2) 日本ガス協会: ガス導管耐震設計指針, 1982年3月

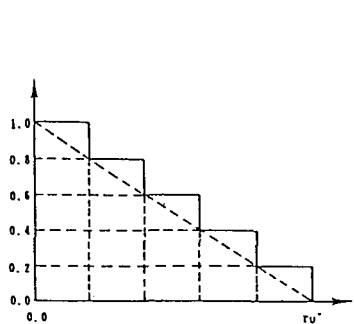


図4 破壊確率分布特性の離散化

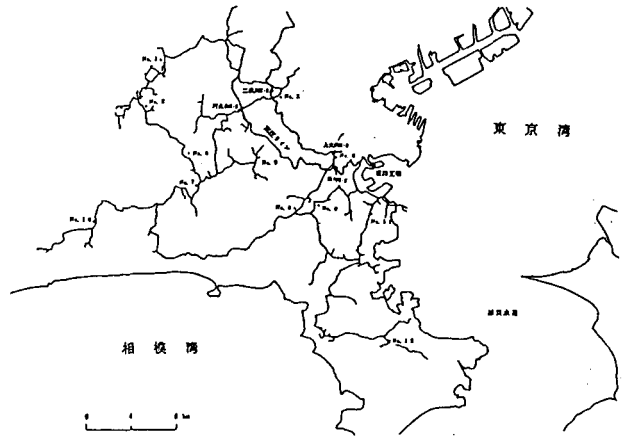


図5 湘南地区の中圧ガス管網

表1 信頼性分布特性を表す指標

信頼度	83.77(%)
分散 [*]	0.627×10^{-1}
標準偏差	0.250
変動係数	0.299

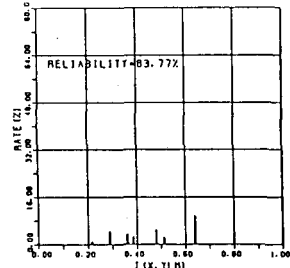


図6 ネットワークの信頼性分布特性

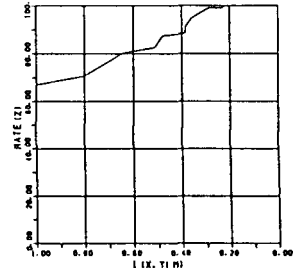


図7 ネットワークの信頼性累積分布特性