

I-203

実大規模ライフラインシステムの地震時信頼性解析

熊谷組（株） 正員 濱田尚人

京都大学防災研究所 正員 土岐憲三 佐藤忠信

1. ネットワークの地震時信頼性解析法：ノードならびにリンクを構成する要素の破壊レベルを支配する変量を Y とすれば、 Y は断層からの最短距離 r 、地震のマグニチュード M 、地盤や要素の特性を支配するパラメータ C_k の関数として、次式のような距離減衰則で与えることが可能である。

$$Y = F(r, M, C_k) \quad (k = 1, 2, 3 \cdots) \quad (1)$$

いま、要素の破壊に対する許容レベルとして Y^* が与えられれば式 (1) から逆に要素が破壊に到る臨界の距離 r^* が得られる。

$$r^* = F^{-1}(Y^*, M, C_k) \quad (k = 1, 2, 3 \cdots) \quad (2)$$

この距離を限界震源域距離、これを半径とする球を影響圏として定義する。この影響圏の概念を用いて、ネットワーク全体の損傷状態数が構成要素数の2乗に比例するアルゴリズム¹⁾が開発されている。この解析法では、2次元的な広がりを持つ潜在的断層発生域を想定し、地震断層はこの発生域内において等確率に発生している。断層と影響圏が交わる領域内ではライフラインの構成要素が破壊した状態になる。この時の円の半径を、限界震源域距離と定義する。各構成要素の影響域を描くと、いくつかの領域に潜在的断層発生域が区分され、それぞれの領域がネットワークの異なる損傷状態に対応する。潜在的断層発生域は影響域によって複数の領域に区分されるが、この区分された領域のことを、小領域と名づける。いま i 番目の小領域の面積を A_i 、ネットワークの信頼性基準を示す指標を I_i とする。信頼性 $R(G|m)$ はネットワークが安全である小領域の面積の総和を潜在的断層発生域の面積で除することによって表現できる。すなわち信頼性 $R(G|m)$ は次式のように表現できる。

$$R(G|m) = \left\{ \sum_{i=1}^N I_i \cdot A_i \right\} / \sum_{i=1}^N A_i \quad (3)$$

なお、本研究においては $D.F.S$ アルゴリズム²⁾を用い、供給点から対象とする需要点に対し結合性が確保されることを信頼性基準とし指標 I_i の値を決定している。

2. ネットワーク信頼性計算の高速化：(1) 信頼性計算プログラムのベクトル化 本研究においては、従来の信頼性計算プログラムをベクトル計算機向きにチューニングし大幅な効率改善を行い、ライフラインシステムの構成要素が数千単位のものについて、その地震時信頼性解析を実質的に可能とした。表-1に従来プログラムとチューニングを行ったベクトル化プログラムのマグニチュード 6.6, 6.8, 7.0 について後に述べる湘南地区のネットワークに対し実行した計算時間の比較、及び次節で述べる選点法による計算時間の比較を示した。(2) 選点法によるネットワーク信頼性計算法新しく開発した選点法は、潜在的断層発生域上に分布させた評価点の座標上に、地震断層が発生した場合、ネットワーク構成要素の損傷状態を調べ信頼性解析を行っている。前出表-1に選点法による新プログラムと厳密解を求めるプログラムの計算時間の比較を行った。尚、用いた計算機は、汎用型計算機は FACOM-M780 を使用し、ベクトル計算機は、FACOM-VP400E を使用した。

3. 実大規模ライフラインシステムへの適用：(1) 湘南地区のガス管網への適用 湘南地区のネットワークを図-1に示すように1765個のノードと1764個のリンクで構成されるネットワークにモデル化した。潜在的断層発生域としては1923年の関東地震の仮想断層域を考え、ベクトル化した信頼性解析プログラムにより湘南地区のガス管網の地震時信頼性の厳密解を求めた。ガスの需要量は各需要ノードにより異なっている。そのため、需要ノードでのガスの需要量に着目してこのノードを5つのレベルに分け、信頼性の基準を各レベルにおける需要ノードのすべてに対し、6つのいずれかの供給ノードからガスを供給できることとし、図-2に本節での解析結果を示した。(3) 仮想的ネットワークモデルへの適用 東京圏におけるガス管網から、一部

分を取り出しそのネットワーク特性を参考にして、構成要素数約2万個の仮想的ネットワークモデルを構築し、図-3にこのネットワークを示す。このネットワークは、9024個のノードと10498個のリンクで構成される、きわめて大きなネットワークであり、実大規模のガス管網モデルであると言える。信頼性基準をこの仮想的ネットワークの46ヶ所の供給ノードから、2144カ所の需要ノードの全てに対しガスが供給される事として、地震時信頼性解析を行い、図-4にこの解析結果を示す。

表-1 信頼性計算の従来アルゴリズムと新アルゴリズムのCPU時間の比較

マグニチュード		6.6	6.8	7.0
破壊可能性ノード数		10	39	136
厳密解を求める アルゴリズム	汎用型計算機	130.92sec	2956.49sec	10800sec以上
	ベクトル計算機	23.86sec	169.97sec	315.99sec
近似解による 新アルゴリズム		10.41sec	32.73sec	58.83sec



図-1 湘南地区のガス管網



図-3 仮想的ネットワークモデル

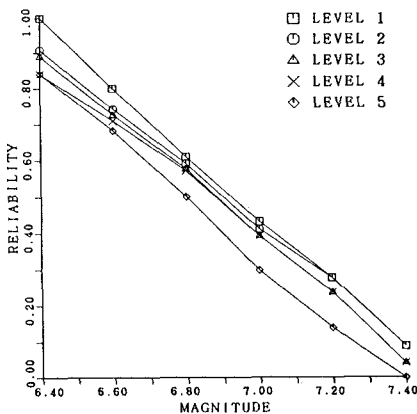


図-2 各需要点レベルにおける信頼性比較

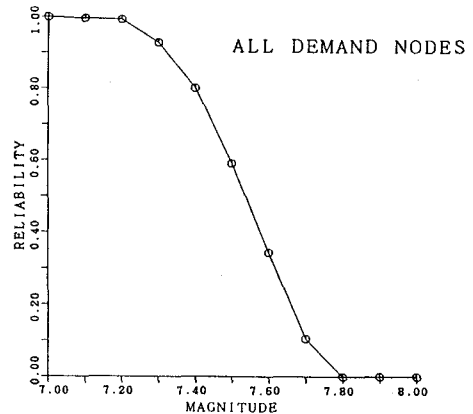


図-4 全ての需要点対象の地震時信頼性解析

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, Vo16, No.2, pp.51-72,1982.
- 2) S. Even : Graph Algorithms, pp.55-68, 1979.