

石川 果 正会員 〇沢田博司
東北大学工学部 正会員 佐武正雄
同上 正会員 浅野照雄

1. まえがき

都市におけるガス・水道等のライフラインシステムの耐震信頼性を評価することは、耐震対策を講ずる上で重要なことである。従来、SSSP法¹⁾・モンテカルロ法²⁾など幾つかの手法が提案されてはいるが、計算時間・精度といった点に本問題があると思われる。本文は、適用には条件があるが、前述の手法に比べ計算時間の短かい「状態確率」を用いた手法により、仙台市ガス中庄Aラインを対象として流量を考慮した機能評価を行った結果を述べるものである。

2. 解析方法

2.1 連結確率の評価

ガス・水道等のライフラインの機能評価として連結確率を求める方法が二三提案されているが、本文では、以下に述べる状態確率を用いた解析を行った。

まず、ライフラインシステムをノードとリンクから成るネットワークシステムにモデル化し、リンクの残存確率を求める。その結果、考えられる破壊状態の起こる確率（ここでは状態確率と呼ぶ）を全ての場合について求める。それぞれの状態は、インフラとアウトフラと結ぶタイセットをつくり、タイセットのある状態確率の和が連結確率であり、厳密解と一致する。

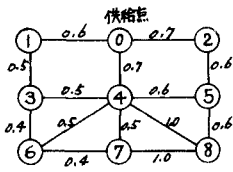
この他に、連結確率を求める方法として、Taleb-Agha ほか³⁾のSSSP法を用いた式¹⁾

$$P\left(\bigcup_{i=1}^N T_i\right) = \sum_{k=1}^N (-1)^{k+1} \sum_{j=1}^{C_k} P_s(\cap T_i : i \in I_j^k) \quad (1)$$

ここで、

N : タイセット数, T_i : ($i=1 \dots N$) タイセット, C_k : 重複係数

による。モンテカルロ法を用いることがある。しかし、Taleb-Agha は、(1)式による方法は、タイセット数が20位超えると精度と云っている。今、これらの手法により、図-1に示した仮想のネットワークを例として解析を行い、供結集と各ノードとの連結確率を表-1に示す。



リンクの数字は残存確率

図-1 仮想のモデル

表-1 連結確率および計算時間

方法	1	2	3	4	5	6	7	8	計算時間
状態確率	0.703	0.815	0.661	0.843	0.789	0.662	0.843	0.843	3秒
SSSP法	0.703	0.815	0.661	0.843	0.789	0.662	0.843	0.843	4分 8秒
モンテカルロ法	1000回	0.685	0.824	0.651	0.843	0.777	0.677	0.843	16秒
	2000回	0.682	0.827	0.665	0.844	0.785	0.685	0.844	32秒

表のからわかるように、(1)式による方法は厳密解であるが、計算時間が最も長い。次いで、モンテカルロ法は、近似解であるが、表に示す程度の近似ならば比較的短かい計算時間である。一方、状態確率による方法は、計算時間が短く、かつ厳密解である。従って、このようなネットワークモデルでは、状態確率による方法が、最もよいとわかる。

2.2 流量を考慮した評価

可能なあらゆるリンクの破壊状態を想定して、供結集と需給集の連結状態を選び出し、それぞれの状態確率を求める³⁾。次に、各状態に対応するノードの圧力を求め、それがノードにおいて必要圧力⁴⁾か否かを判定する。

ノードの信頼性は、連結確率から、そのノードの機能を保持できないケースに対する状態確率を差引いて求められる。即ち、流量を考慮した信頼性 P' は次式で計算される。

$$P' = P - \sum P_i$$

ここで、 P は連結確率、 P_i は圧力が不足するケースの状態確率である。

3. 仙台市ガス中圧Aラインの解析結果

仙台市ガス中圧Aラインを図-2のようなネットワークモデル化を行う。図には、ノードの需要量(ピーク時)も示している。リンクの残存確率はすべて野村らにより得られている⁵⁾。このネットワークに対し、前述の方法により、供給点と需要点の連結確率および流量を考慮した信頼性を求めた。なお、このとき、残存確率が0.95を超えるリンクは10として破壊するリンク数を減らしている。また、ガス圧力は工場が 6 kg/cm^2 、カバナーでは最低 2.5 kg/cm^2 とした。

基準入力加速度 100 gal , 125 gal , 150 gal とし、その信頼性を図-3に示す。

4. 考察

流量を考慮した場合に信頼性が低下しているが、この傾向は、入力加速度が小さい時ほど顕著である。また、需要量やガス工場から遠い程、機能評価の有無の差は大きくなる。また、需要量の多いノード⑦近辺では連結確率が一定しているが機能評価をした信頼性は、ノード⑦へ近づくにつれて低下する傾向が、 100 gal においてみられる。なお、需要量をピーク時の9割にすると、 100 gal の場合ノード⑤、⑧、⑬~⑭の信頼性があがり、8割の場合、ノード⑤、④があがり、7割で全て連結確率と一致する。

5. あとがき

以上より次のことがわかった。

- 1) 状態確率を用いる方法は、破壊するリンク数が少ないときは機能評価する上で有効である。
- 2) ガスの流量を考慮した信頼性は、単なる連結確率に比べ、供給点から離れるノードで低下が著しい。従って、需要量の低下による影響は同様に端元のノードで最も大きい。

終りに、仙台市ガス局保安課・大沼 進氏には大変お世話になりました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) Talib-Agha, G: Seismic Risk Analysis of Networks, Seismic Design Decision Analysis - Report No.22, MIT, Dept. Civil Eng. Res. Rep. 1995
- 2) 田村, 川上; モンテカルロ法による配管システム信頼性の評価方法, 土木学会論文報告集, 第311号, (1981)
- 3) 沢田, 佐武, 浅野; ガス配管網の流量と圧力信頼性解析, 土木学会土木部研究論文発表会報告集, 1982
- 4) 日本瓦斯協会; 都市ガス配管網, 1962
- 5) 野村, 岸野, 浅野; ガス配管網の地震信頼性解析の考察, 土木学会第6回年次講演会報告集, 1981

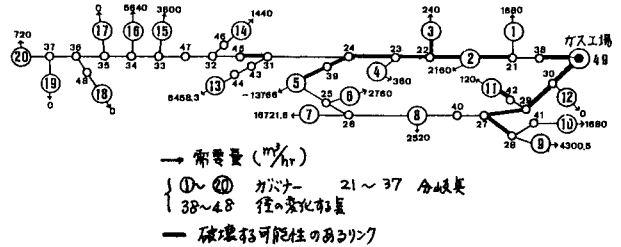


図-2 仙台市ガス中圧Aラインのモデル化と需要量

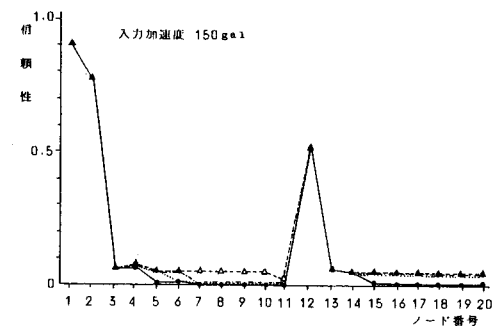
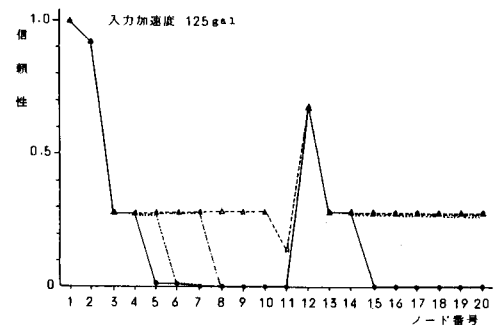
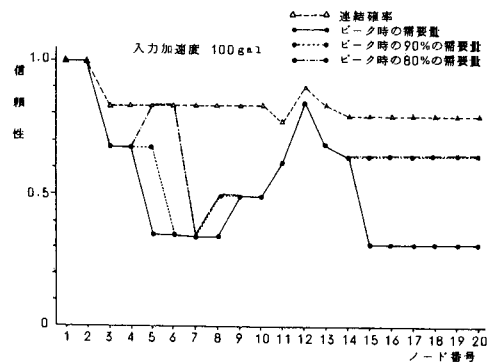


図-3 ノードの信頼性