

I-537

単純なライフラインの形状と一对の需給点間の連結確率との関係

埼玉大学工学部 正会員 川上 英二

1. 序文

ライフラインシステムは非常に多くの要素から構成されているため、解析方法の改良および近年の計算機の能力の飛躍的な増大にも拘らず、末端施設までのすべての要素を考慮して機能支障の解析を行うことは困難である。このため、システムを高次(幹線)施設と、低次(末端)施設とに分離し、高次施設に対してはネットワーク解析を行うが、低次施設に対しては、物理的な被害率と機能的な支障率とを簡単な関数で直接に関係付けるなど、解析に際しての単純化を行う必要がある。

著者は、参考文献1)2)において、システムの物理的な破壊の程度を表わす値として、1つのリンクまたは単位長さ当たりの破壊箇所数の期待値を表わす「被害率」と、システムがどの程度機能するかを示す「供給率(連結確率)」という2つのパラメーターに着目した。そして、特に、上水道または電力システムなどのように、供給地点と需要地点とが明確に分離されているようなシステムを対象として、いくつかの基本的な形状をしたシステムに対するこれら2つのパラメーターの地震直後および復旧期間中における関係を求めた。そして、都市およびシステムの形状または規模の変化に伴うシステムの安全性の変化を明らかにした。本研究においては、さらに、道路交通・通信システムなどのように、供給地点、需要地点の区別ができず、どの地点も、これらのいずれにもなりうるようなシステムを対象にして、検討を行った。

2. 解析の仮定

機能的な支障としては、単純化のため、まず、システムの連結性のみに着目し、この連結性と物理的な被害との関係がシステムの形状および規模によりどのように変化するかを検討した。この連結性の基準はライフラインの安全性を考えるための第1段階であると考えられる。設定した基本的な仮定は次のとおりである。

① システムをリンクからなるネットワークと考え、供給点(インプット)および需要点(アウトプット)はそれぞれ1つとし、それらの位置は、ネットワーク上に独立、一様、ランダムに発生するものとする。需要点、供給点は破壊しないものとする。

② システムの破壊はリンク上の破壊により生ずるものとする。破壊の発生確率は、ネットワーク中のどの場所においても等しく一様であり、また、発生する破壊はどれも互いに独立である。また、破壊箇所は点とみなし得る。

③ 被害率とは物理的な被害の程度を示し、次のように定義する。

$$(\text{被害率}) = (1 \text{ リンクまたは単位長さ当たりの破壊箇所数})$$

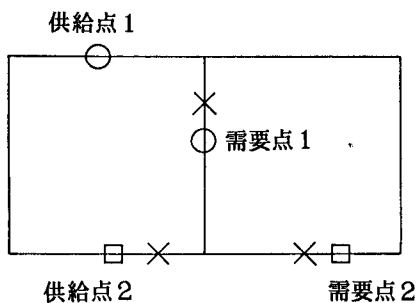


図-1 連結の定義 (X:破壊箇所)



図-2 直線システム

④ 供給点と需要点と(今後、需給点とも呼ぶ)を結ぶどの経路(パス)上にも一つ以上の破壊が存在している場合には連結していないとし、破壊が存在していない経路がひとつでもある場合には連結していると仮定する。例えば、図-1 に示すシステムに対してX印の箇所で破壊が生じた場合には、供給点1と需要点1とは連結(機能)しておらず、供給点2と需要点2とは連結していることになる。そして、連結確率を次のように定義する。

$$(\text{連結確率}) = (\text{需給点が連結している確率})$$

以上の仮定のうちのいくつかは拡張することが可能であるものと考えられる。しかし、本論文ではシステムの形状および規模の影響に主に注目しているため、いたずらに仮定を複雑にすると本質を見失うおそれがあると考え、最も基本的であると考えられる仮定を設定している。

3. 直線システム

(1) 需給点間距離の確率密度関数

まず、図-2 に示すような長さ L の直線システムを考え、この上に、1点の供給点と1点の需要点とを、独立、一様、ランダムに想定した場合、需給点間距離 X の確率密度関数 $f_X(x)$ は、

$$f_X(x) = \frac{2}{L} - \frac{2}{L^2} x$$

である。供給点と需要点とが直線システム上に、独立、一様、ランダムに発生した場合、これらの2点間の距離は短い場合ほど多く、距離の増加と共に線形的に減少する事がわかる。

(2) 連結確率

(1)で述べたように定めた供給点および需要点を有する全長 L の直線システム上に、独立、一様、ランダムな N 個の破壊が生ずる場合に、需給点間が連結しているか否かを考える。需給点間距離 $X=x$ で、連結している確率 $f_X(x, N)$ は、 N 個の破壊のすべてが需給点の外側(図-2 中の $L-x$ の区間)に生ずる場合であり、

$$f_X(x, N) = \frac{2}{L} \left(1 - \frac{x}{L}\right)^{N+1}$$

また、連結確率 $P(N)$ は次式で与えられる。

$$P(N) = \frac{2}{N+2}$$

4. その他のシステム

基本的なネットワークモデルとして直線システムの他に、円形システム、人形システムを考えて、需給点間の距離の分布、地震直後における被害率と連結確率との関係、連結している需給点間の距離の分布等を解析的に算定する方法を展開した。また、多数回のシミュレーションを行うことにより、理論解の確認を行うと共に、碁盤目(格子)状システムに対しては近似解を算定した。さらに、システムの形状または規模が変化するに伴いこの両者の関係がどのように変化するかを検討した。

参考文献

- 1) 川上英二：単純なライフラインネットワークの被害率と供給率との関係について，土木学会論文報告集，第344号，1984.
- 2) Kawakami, H.: Earthquake physical damage and functional serviceability of lifeline network models, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.19, 1990.