

大日本コンサルタント 正員 ○山端 祐子  
埼玉大学 正員 川上 英二

### 1. 序文

1978年の宮城県沖地震などの過去の震害例を見てもわかるように、ライフラインは必ずといってよいほど地震被害を受けているが、この被害は都市部において特に大きく問題とされている。この原因として、都市生活がライフラインに強く依存しているという理由の他に、ライフラインの規模が拡大するに伴い脆弱さが増大しているという理由もあるように思われる。

本研究では、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りの破壊箇所数の期待値を表わす「被害率」と、システムの機能の達成の程度を表わす「供給率」という2つのパラメータに着目した。そして、都市及びシステムの規模の変化に伴うシステムの安全性の変化を検討することを試みた。

### 2. システムの被害率、供給率の定義

システムの被害及び機能復旧に関して設定した基本的な仮定は次の通りである。

①システムをリンクとノードから成るネットワークと考え、システムの破壊はリンクの破壊により生じ、供給源の破壊は起こらないものとする。

②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、また、破壊の発生はどれも互いに独立である。

③被害率 = 1リンクまたは単位長さ当りの破壊箇所数の期待値 … (1)

④供給源からのルートが破壊していない部分の集合を“連結している”部分と呼ぶ。そして供給率を次式で定義する。

供給率 = 供給源と連結している部分の長さ（供給長さ）／リンクの全長 … (2)

例えば図-1に示すシステムに対してX印の箇所での破壊が生じた場合には図中の実線部分が連結している部分であり、図-1(b)の様な場合は破壊が生じていても供給率は100%ということになる。

### 3. 地震直後の連結性から調べた被害率と供給率との関係

まず最初は、長さLの1本の線システムが表わされ、一端が供給源であるシステムを考えた。このシステムに破壊がN個生じた場合には、その中の供給源に近い順からi番目 ( $1 \leq i \leq N$ ) の破壊の位置の確率密度関数  $P_{xi}(x_i)$  は

$$P_{xi}(x_i) = \frac{N!}{(N-i)!(i-1)!} \cdot \frac{1}{L^N} \cdot x_i^{i-1} \cdot (L-x_i)^{N-i} \quad \dots (3)$$

で求められる。図-2は、全破壊箇所数が5箇所の場合の1番目から5番目までの破壊の位置の確率密度関数を供給源からの距離を横軸にヒリ表わしたものである。但し、システムの全長  $L=1$  とした。このモデルの場合、供給源から1番目の破壊までの区間が連結しており機能

している区間であるから、1番目の破壊位置の確率密度関数が供給率の密度関数であると考えられる。(システムの全長を1と置くと供給率と供給長さは等しくなる。) 次に破壊箇所数を変化させ、図-3にはそれぞれの場

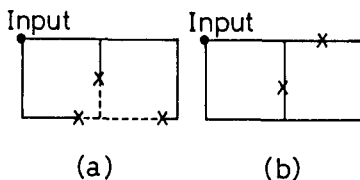


図-1 供給率の定義

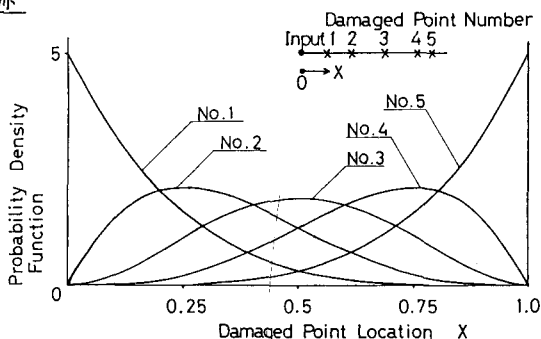


図-2 直線システムにおける破壊の位置の確率密度関数

合の供給率の密度関数とその期待値を連ねたものを示してある。

同様にして、直線状のシステムの間接点に供給節点がある場合、トリー状のシステムの場合、閉曲線システムの場合に対して供給率の確率密度関数、期待値、分散を算定した。図-4には供給率の期待値を被害率の関数として示してある。

#### 4. システムの規模の成長に伴う被害率-供給率の関係の変化

複雑なネットワークシステムの場合には、多数回のシミュレーションに基づき近似解を算定した。図-5は84個のリンクから構成されるシステムに対して、各被害率における供給率の密度関数の概略の形及びその期待値を示してある。供給率が0%付近と100%付近に2つのピークが存在し、この2つのピークは余り位置を変えずに被害率の増加に伴い前者のピークは成長し、後者のピークは減衰する。供給率0%付近のピークは供給源に直接接続する様なリンクの破壊に伴い発生しており、被害率が小さくとも供給率が著しく小さくなる危険性が無視できないことを示している。この結果は、供給源近傍のリンクの安全性がシステムの安全性に著しい影響を及ぼすことがしばしばあることを示しているものと考えられる。

図-6は、図中に示す様にシステムが成長してネットワークが複雑になった場合、被害率と供給率の期待値との関係がどのように変化するかを示した図である。どのシステムも一見類似した傾向を示しているが、詳細に見てみると、システムのネットワークの複雑さによってこの傾向は異なっている。つまり、システムが複雑になる程、ある限界以下の被害率に対する供給率は相対的に大きく、ある限界以上の被害率での供給率は相対的に小さいことがわかる。以上のことより、複雑なネットワークシステムは、被害率が小さい場合は単純なシステムと比べ相対的に機能上安全だが、被害率が増加するに伴い、機能上の信頼性が逆に著しく低下する可能性のあることが示された。

#### 参考文献

川上：少数種類の構造物からなるライフラインシステムの耐震性の評価，土木学会論文報告集，1981-8。

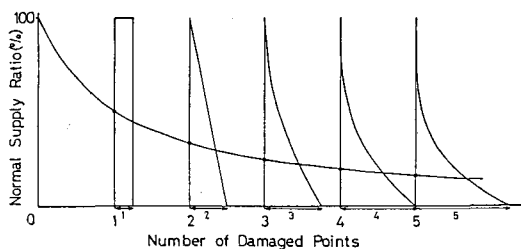


図-3 システム内の破壊箇所数と供給率の密度関数、期待値との関係

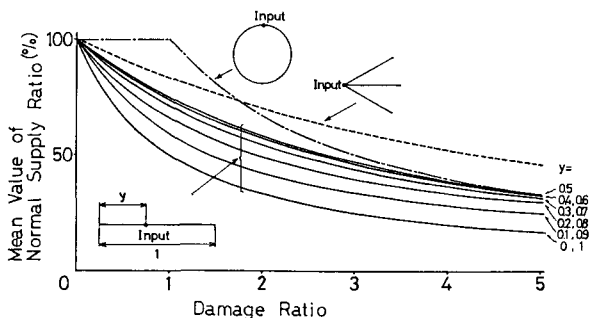


図-4 被害率と供給率の期待値との関係

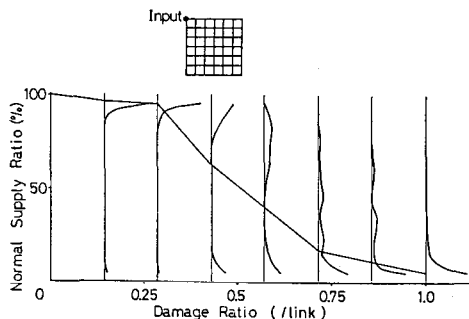


図-5 被害率と供給率との関係

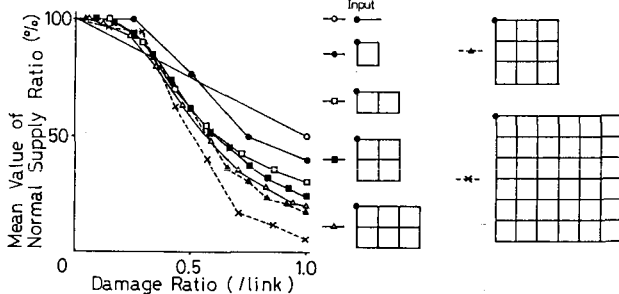


図-6 システムの成長に伴う

被害率-供給率の関係の変化