

○ 東京大学 工学部 (学) 作藤尚次
 東京大学 地震研究所 (正) 伯野元正
 三井建設(株) 吉田 仁

1. はじめに

大地震時には、大都市のライフラインの機能障害は単なる生活機能の麻痺だけでなく、火災・パニック等の二次災害を引き起こす重大な要因になる可能性がある⁽¹⁾。しかも二次災害が拡大するものは地震発生後ほぼ一日程度の時間内のみならず、一方従来の地震における経験では、ライフライン被害の復旧はそれ以上の時間を要するから、ライフライン施設のある部分は大地震を受けてなお「生き残り」、その機能を失ったことが望ましいと考えられる。そこでライフラインを設計する側の立場に立って、機能信頼度の向上を図る上での問題点になると思われる点をいくつか考察してみよう。

2. ライフライン設計上の問題点

(1) 直列要素の理論

ライフラインネットワークをモデル化して考える場合、信頼性の解析の基本となるのは、図-1に示したような線状構造をもつ直列要素(いくつかのリンクと節点の直列結合によって作られる)である。線に沿ってS軸をとると、この構造物の破壊はS軸上での非正常の期待値 $\lambda(s)$ をもつポワソン過程である。このとき、構造全体($0 \leq s \leq L$)の信頼性 R は、 $R = \exp[-\int_0^L \lambda(s) ds]$ で与えられる。但し $\lambda(s)$ は地震条件・入力地震動等の函数である確率変数である。今 L が十分大であるとし、 $\lambda = \int_0^L \lambda(s) ds$ が大量の試行に当たってはほぼ一定として、 λ の確率密度分布の第一近似が正規分布 $f_X(x) = N(m_X, \sigma_X^2)$ であるものとする。このとき λ の真分布 $g_X(x)$ が、 $g_X(x) = f_X(x) \cdot P(x)$ 、(但し、 $P(x)$ は、 $x \leq 0$ で0、 $x > 0$ で1のあまり大きく変動しない関数であるような補正函数)と表わされるものとすれば、 R は正似似的対数正規分布し、その期待値は、 $E[R] = \exp[-m_X + \frac{1}{2}\sigma_X^2] \cdot \int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_X} \exp\left[-\frac{1}{2}\left\{\frac{x - (m_X + \sigma_X^2)}{\sigma_X}\right\}^2\right] P(x) dx \dots \textcircled{1}$ となる。 $E[R]$ を増減する要素は、 $L(m_X, \sigma_X^2 \leq L)$ 、 m_X 、 σ_X^2 が変化するが、それと同様に λ の寄与も小さいといえる。①式から言えるように λ は地震条件のS軸上での分布を、入力地震動の不確かさ等が強く反映される量であり、人為的な操作を加え難い。このことは、「長延長線状構造物」を「地震に直接耐えさせて作る」ことの不合理を示し、二重管構造・域内共同管の利用の有利さを結論づけるものである。

$$R = \exp\left[-\int_0^L \lambda(s) ds\right]$$

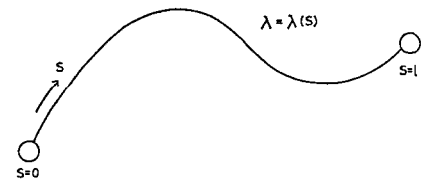


図-1

(2) 節点機能信頼度の影響

各種のライフラインシステムは相互に機能上の連関をもちながら稼働しており、機能障害は異種システム間で伝播する。しかも、この障害はネットワークの節点施設に生ずるため、これらの施設は構造上の破壊がなくとも所要の機能を果たさなくなる恐れがある。この問題を図-2のモデルで考えた。節点を共有する二つのシステムが存在するものとし、その節点機能は両方の間で、1. 独立、2. 一方が他方に依存、3. 相互依存、の三つのレベルの関係がありうると考える。節点信頼度の解析は、1・2のレベルでは既存の各手続

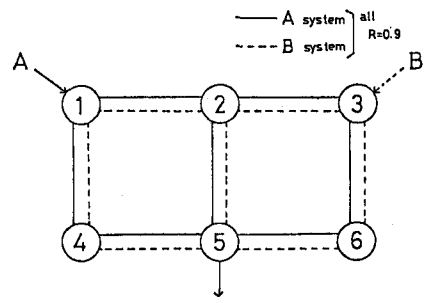


図-2

(SPP法など)に解法が可能であるが、3レベルではリンクの破壊の有無(連結・非連結)と節点機能の有無とが独立事象でないため、計算が複雑になる。ニニは、乱数を与えてリンクの連結状態をシミュレートし、節点の状態によって節点連結マトリクスをつくり直すという操作を繰り返すことにより正解を得た。その結果を表-1に示す。

	R _{A2}	R _{A3}	R _{A4}	R _{A5}	R _{A6}	R _{B1}	R _{B2}	R _{B3}	R _{B5}	R _{B6}
(1)	979	960	979	976	956	960	979	959	976	979
(2)	935	905	947	929	906	960	979	959	976	979
(3)	923	910	911	924	895	910	923	895	924	911

表-1

(3) ネットワークの許容最大流量

単線のライフラインシステムは輸送方法が複雑で、しかも流量配分のコントロールが更困難らしいことが多いため、ニニは最も単純に最小カット法を用いて許容最大流量を推定することとした。無向グラフを考え、 $C=[C_{ij}]$ を流量マトリクス(但し $C_{ij}=C_{ji}$ は節点 i, j 間のリンクの許容流量)とする。入出力がゼロもない節点の個数を m 個とすると、 $0 \leq m \leq 2^n - 1$ の整数 m を2進法で表示し、その i 桁目を $a_i (=1 \text{ or } 0)$ としたときのパクトル $a = \{a_i\}$ (m 桁)で節点を λ カ側と出力側に組合わせている。 $\{a_i\}$ を組合せのパターンベクトルと呼び、 $b_i = 1 - a_i$ をも考えれば組合せ m に対するカットは、内積 $b^T a$ で与えられる。また、 C_{ij} と a_i とを工夫することにより、様々な流量シミュレーションが可能である。大地震発生後の都市の交通規制に容量上のデータを与える着目^(注2)、東京都の道路網にこの手法を応用することを試みた。計画容量27m以上の道路と、他県に面する道路から成るネットワークを図3のように9つのブロック分けし、ブロック内のネットワークに112木造家屋被害危険度の値と、宮城県沖地震の被害状況を参考として破壊確率を仮定し、断面間の最小カットの期待値を求めて、ブロックをリンク化した。その結果を図4に示す。この全体ネットワークへの入力は、種々の交通規制戦略によって変わってくるものもあり、ニニはこれ以上触れない。

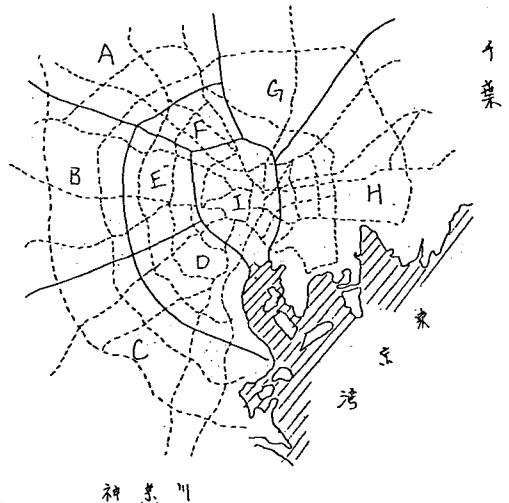


図-3

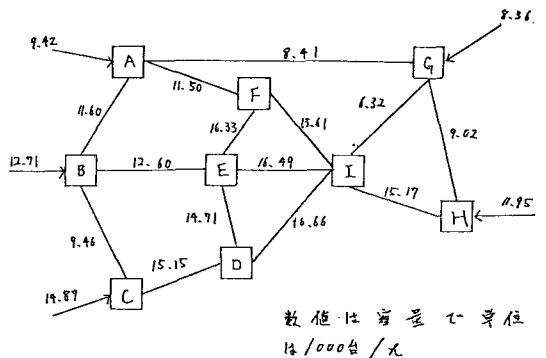


図-4

3. まとめ

現在とニニ(1), (2), (3)の問題点は別々に扱っている段階であるが、将来はこれらを統合し、かつ都市の総合的な基幹施設の計画・設計へ適用させる方向にもつていくことが必要であると考えられる。

(注1) ニニは図4に示す、第16回地震工学研究発表会^(注2)、より詳細に発表の予定(4月25日現在)である。

(注2) 東京都防衛会議「東京都地域防災計画 震災編(昭和50年修正)」P.179~180