

武蔵工業大学 正会員 星谷 勝

1. 目的

ライフラインが地震災害を受けるとシステム全体の機能が低下し、復旧期間中は都市の平常な活動がとまり直接および間接的な損害を受ける。このことから災害を受けた場合に復旧が完了するまでにどのような経過をたどるかを正確に予測することは大変に重要なことと思われる。そこで先の研究ではライフラインの復旧過程を橋造施設の破壊だけに注目し、橋造施設がどのように復旧されていくかを予測する場合の復旧過程 $S(t)$ とシステムの機能がどのように回復されていくかを予測する場合の復旧過程 $A(t)$ に区別してマルコフ確率過程による予測を試みた。⁽¹⁾⁽²⁾ これは被害を受けたシステムの要素が同時に復旧作業に着手されるものとし、初期被害のレベルが時間の経過とともに順次回復されていく過程を巨視的に予測するものといえる。東京都では震災対策もかなり進み、上水道システムの場合には十分な機材と十分な数の作業員の確保と配置の計画が立案され、復旧の基本方針は主要幹線に対して同時復旧作業を行うことになっている。⁽³⁾ したがって東京都上水道の埋設管システムに対しては少なくとも巨視的には復旧の妥当な予測を行なうことが可能と思われる。

しかし、復旧過程は事前に計画された基本方針の復旧手順にもとづいて不確定要因を併せて進行するものと考えの方が一般的であろう。そして複雑な各種要因とかがわりながら復旧が進む現実⁽⁴⁾⁽⁵⁾ から考えると先の研究⁽¹⁾⁽²⁾ さらに具体的なものへと発展させる必要があると考えた。そこでこの研究ではライフラインの基本システムに対して復旧の基本パターンを提案し、過去の災害における復旧データから得られる情報量に適合できる範囲で巨視的にとらえた復旧の予測理論を誘導するものである。実際のシステムへ適用するには、この基本システムと復旧の基本パターンを組み合わせることによって解析が可能となる。

基本システムは1つの source を有する N 個のリンクから構成される直列システムであり図1に示される。

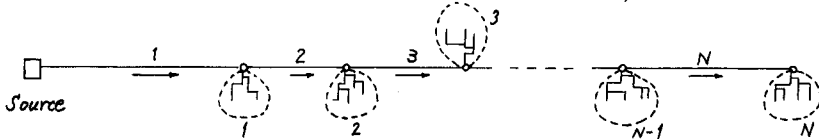


図1 ライフラインの基本システム

図1に於いて各リンクはノードで連結され、ノードからはさらにサブシステムへと連続しているものとする。埋設管システムならばSourceが取水所もしくは浄水場であり、導水管、送水管、配水本管等がリンクを構成し、各ノードからはさらに配水管で構成されるサブシステムへと連結されているシステムに対する基本システムと考えられる。また、道路システムならば、たとえばSourceが高速道路からの出口となり、近接都市へつながる幹線がリンクを構成するものと考えられることができる。

2. 復旧過程の基本パターン

復旧過程の基本パターンAはシステムの復旧をsourceに最も近いリンクから順次復旧していくものである。

Source から中間のノードまでの連結性が回復されると、そのノードに連結されているサブシステムの復旧作業が開始されるものとする。これはシステムの流れに沿って上流から下流へと復旧させていく戦略を基本とする基本パターンである。この復旧過程を示したのが図2である。図2の(1)は各リンクの復旧に要する時間 T_i ($i=1, 2, \dots, N$) と各リンクがsourceまで連結されるのに要する経過時間 W_i ($i=1, 2, \dots, N$) が示されている。順次復旧していくパターンであるが、 T_i は不確定性を考えて確率変数として扱う。したがって W_i も確率変数となり

$$W_i = T_1 + T_2 + \dots + T_i \quad \text{---- (1)}$$

で与えられる。 $T_4 = 0$ となっているが、これはリンク4が無被害であったことを示し、復旧時間が0となっている。それぞれのリンクが source まで連結されるとそのリンクの右端ノードに連結するサブシステムの復旧が開始される。図2の(2)は各サブシステムの復旧に要する時間 T_i ($i=1, 2, \dots, N$)が示されている。 T_i も確率変数として扱う。図2の(3)は機能の復旧過程 $A(t)$ が示されている。 a_i は各サブシステムの重み係数であり、 u_i ($i=1, 2, \dots, N$)は i 番目のサブシステムが source まで連結されるに要する経過時間である。したがって、図2の場合に a_i が上水道の需要家数とすれば、たとえば u_3 時間経過した段階ではサブシステムの1, 2, 4, 3の復旧が機能的に復旧した(給水が再開された)ことになり、復旧の程度は全需要家数に対する比率として $(a_1 + a_2 + a_4 + a_3) / \sum_{i=1}^N a_i$ で表わすことができる。

$$\text{以上より} \quad U_i = W_i + T_i \quad \text{---- (2)} \quad A(t) = \sum_{i=1}^N a_i U(t - u_i) \quad \text{---- (3)}$$

と表わすことができる。

一方、十分な機材と作業員が確保されている場合には主要幹線の同時復旧が可能である。図3は同時復旧の基本パターンBを示したものである。この場合には同時に復旧作業が開始されるから、各リンクが source まで連結されるに要する経過時間 W_i は i 番目リンクよりも source に近い位置にある全てのリンクが復旧することが前提となるから

$$W_i = \max \{T_1, T_2, \dots, T_i\} \quad \text{---- (4)}$$

(2), (3)式は復旧が基本パターンBのときにも成立する。

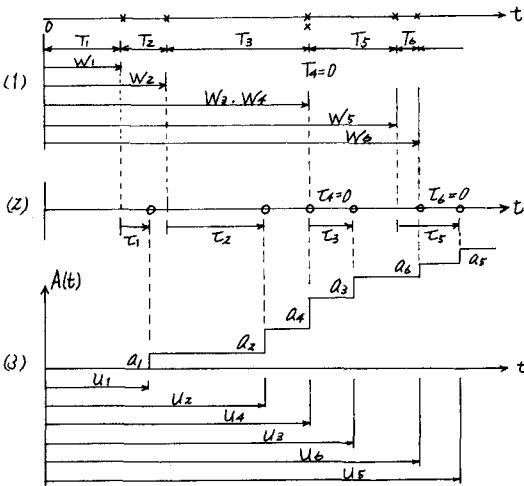


図2 復旧過程の基本パターンA

3. 理論の整理

以上の基本パターンA,Bに対する理論式を整理すると次のようになる。

$$f_{T_i}(x) = e^{-\lambda_i x} \delta(x) + (1 - e^{-\lambda_i x}) f_{T_i/T_i > 0}(x)$$

基本パターンAに対して、 $f_{W_i}(x) = f_{T_1}(x) * f_{T_2}(x) * \dots * f_{T_N}(x)$

基本パターンBに対して、 $f_{W_i}(x) = F_{T_1}(x) F_{T_2}(x) \dots F_{T_N}(x)$, $f_{W_i}(x) = \frac{dF_{W_i}(x)}{dx}$

$$f_{u_i}(x) = \int_0^x f_{W_i}(x-y) f_{T_i}(y) dy$$

$$E[A(t)] = \sum_{i=1}^N a_i \int_0^t f_{u_i}(x) dx$$

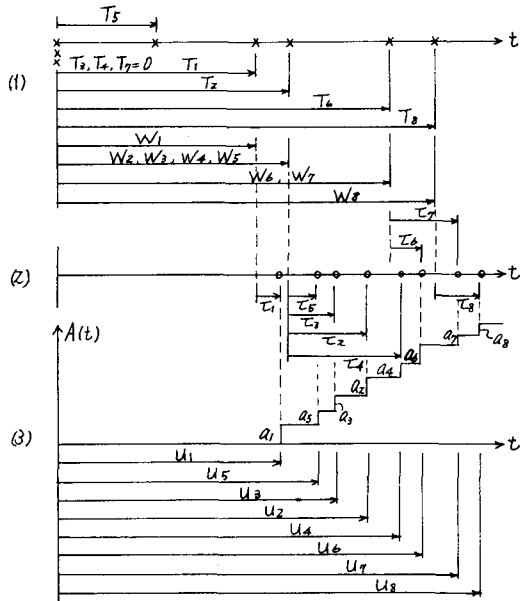


図3 復旧過程の基本パターンB

参考文献 (1) 星谷, 小池, ライフラインの地震災害における

復旧予測モデル, 工不論文報告集 No. 308

(2) M. Hoshiya, Seismic Damage Restoration of Underground

Water Pipeline, US-Japan Seminar, Hawaii

(3) 東京都水道局, 予防計画及び応急対策, 1979. 3

(4) 磯山, 東京大学博士論文 1981. 3

(5) 片山, 増井, 生産研究 33巻1号, 1981年