

武蔵工業大学 正会員 星谷 暁

武蔵工業大学 学生員・宮崎 正敏

1. まえがき

1977年のサンフェルナンド地震以来、地震時におけるライフラインの信頼性が注目されるようになってきた。ここでライフラインの研究をふり返してみると、地震時の予測問題では地震発生時点までを対象として、統計又は確率手法を用いた個々のライフラインの信頼性や被害予測が数多く行なわれている。しかし、地震後の機能をいち早く回復しなければならない都市にとって重要である復旧・救援過程の研究はほとんど行なわれていないのが現状である。そこで、本研究は「ライフラインの地震災害における復旧予測モデル」⁽¹⁾に基づき、東京都(仮称)上水道システムに対して想定地震による被害予測と地震後の構造的・機能的復旧について、モンテカルロ・シミュレーション法により予測及び検討を行なった。

2. システム全体の復旧過程 $S(t)$

システム全体の時刻 $t=iat$ における復旧過程を、本研究では次のように定義する。

$$S(iat) = \min [1, S(iat), 2S(iat), \dots, NS(iat)] \quad (1)$$

$$S(iat) = \sum_{j=1}^N n_j \cdot S(iat) / \sum_{j=1}^N n_j \quad (2)$$

(1)式は N 個のリンクがなるシステム全体の復旧状態がもっとも遅れているリンクの復旧状態に等しいとしている。これは安全側の予測を採用したことになり非常に保守的な評価方法である。(2)式はシステムを構成している要素がどれだけ回復しているかを表すものであり、平均的な傾向を見る場合に適した評価方法である。

3. 機能評価 $A(t)$

機能評価の指標を「給水人口」と考え、(3)式を定義する。

$$A(t) = \frac{\sum_{j=1}^N w_j \cdot S(t)}{\sum_{j=1}^N w_j} \quad (3)$$

= 地震後時刻 t でサービスを受けている人口 / 全給水人口

u ; 浄水場と連結しているリンク数, N ; リンク総数, $w_{k,j}$; リンクの給水区域内の給水人口

4. 東京都上水道システムのモデル化

モデル化は送水管、配水幹線(管径 800 ~ 2700 mm)をリンク、その接合点(給水場、ポンプ場等)をノードとし、浄水場を水の供給点としたネットワークシステムを考えた。これを Fig. 1 に示す。さらにリンクからは管径の小さい配水本管が枝分かれして各需要家に水を供給している。つまり、リンク自身それぞれ給水区域をもっている。ただし送水管はその機能的特性から直接に給水区域はもたない。ここでモデル化に際して次のような仮定条件を設けた。

- i) 取水・導水・ノードの被害は考慮しない。
- ii) 地震発生時、少なくとも浄水場からは水は供給される。
- iii) 浄水場の施設容量は考慮しない。

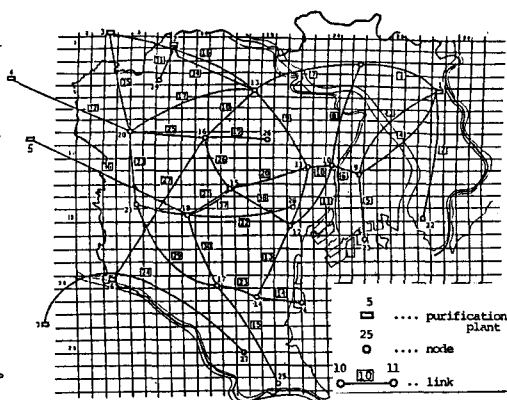


Fig. 1 WATER SUPPLY PIPELINE SYSTEM IN THE CITY OF TOKYO

5. 被害予測 $m\pi(o)$

本研究での $m\pi(o)$ は地震発生時に各リンクの構造的被害が平常時に比べて、どの程度のレベルまで低下するかを表わし、算定としては東京都防災会議より発表された報告書資料⁽²⁾による。これに基づいて、地震は「関東大震災」

級の地震を想定し、想定地震動による区部の平均被害率をまず設定した。そして1kmメッシュの地盤危険度マップと液状化危険度マップからの補正係数で平均被害率を増減することにより被害箇所数を求める。

$$E_{mj} = \sum_k (D \cdot C_{mj} \cdot V_{mj} \cdot Q_{mj}) \quad (4)$$

ここで E_{mj} :被害箇所数 D :平均被害箇所数 C_{mj} :地盤危険度係数 V_{mj} :液状化危険度係数 Q_{mj} :管長とする。次に管の被害の発生が通常ポアソン過程に従うものとするれば m 番目の信頼性確率 r_{mj} は(5)より

$$r_{mj} = \exp(-E_{mj}) \quad (5)$$

また m 番目リンクが地震発生時で状態 S_e をとる確率 $mR(0)$ は、 S_e と被害を受けない個数 x とが線形関係であると考えれば

$$mR(0) = \text{Prob} [Nm(l - \frac{1}{2}) / (M-1) \leq x \leq Nm(l + \frac{1}{2}) / (M-1)] \\ = \sum_{x=\text{domain}} \sum_m (x / Nm) \quad (6)$$

から求めることができる。本研究では $M=11$ として $mR(0)$ を算出した。その結果から $mS(0) = S_e$ の期待値を求めマップを作成した。(Fig.2)

6. 復旧予測

東京都の送配水管の復旧基本方針および過去の地震災害時における復旧の流れ等を調査・検討した結果、復旧予測を行なうに際して以下の前提に基づいて復旧が進められるとした。

i) 復旧率は地震後の経過時間 t のみに依存する。

ii) 各リンクは同時に復旧が開始される。

復旧率は東京都水道局が行なったケーススタディ⁽³⁾を参考として推定した。

7. 解析結果及び検討

誘導された予測モデルを用いて東京都上水道システムの $mS(t)$, $S(t)$, $A(t)$ について、 $mS(t)$ が互いに独立に復旧する場合(タイプ1)と、完全に相関して復旧する場合(タイプ2)に対してモンテカルロ・シミュレーション法により予測を行なった。Fig.3はタイプ1, タイプ2, の $A(t)$, $S(t)$ の平均値を示したものである。地震発生直後、 $A(t)$ の状態は約1%とかなりワレレベルの低下が見られるが、構造的復旧に伴ない約10日で90%の状態に回復し、約20日でほぼ復旧は完了すると予測された。また、5日目

で曲線の傾きが急に変化しているがこれは、構造的復旧が5~8日で完了するリンクが多く、それより浄水場との連結が増大することなどが考えられる。Fig.4はタイプ1の場合の各リンクの平均復旧日数を表わしたもので、危険度の高いリンクの復旧に時間がかかっている。以上、東京都上水道システムについて解析を行なったが、今後の課題として、理論解による検証・モデル化の再検討・機能評価へのシステムの特性の組み込み等が考えられ、これらを解決していくことによりさらに現実のシステムに近いモデル化が行なわれるものと期待している。

8. 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」, 土木学会論文報告集, 第308号, 1981.4
- (2) 東京防災会議, 「東京都における地震被害の想定に内する報告書」, 1978.5
- (3) 東京都水道局, 「東京都水道局震災対策一平防計画及び応急対策-(昭和53~57年度)」, 1973.3
- (4) 片山, 増井, 磯山, 「1978年宮城県沖地震による都市供給施設の被害と復旧」, 東京大学生産技術研究所, 1979.10

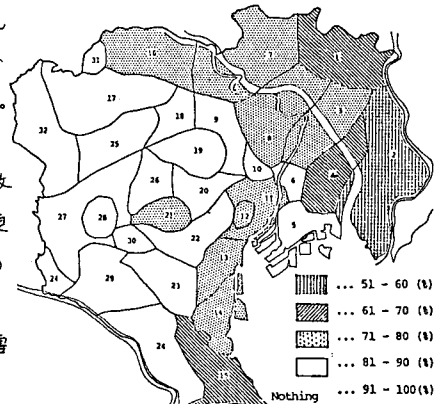


Fig. 2 EXPECTATION OF $mS(0)$

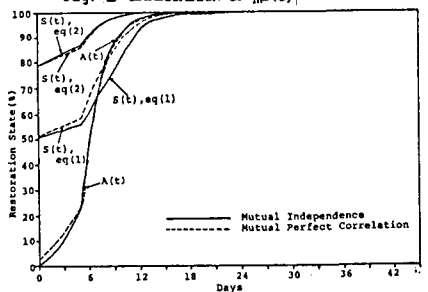


Fig. 3 EXPECTATIONS OF $S(t)$ AND $A(t)$

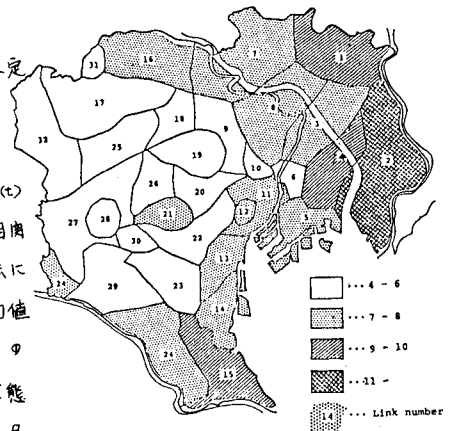


Fig. 4 RESTORATION DAYS IN EACH LINK