

被害情報の逐次推定に基づくライフラインの保全性能の変化

香川大学大学院 学生員 ○松崎 達也
香川大学工学部 フェロー会員 野田 茂

1. はじめに

21世紀には都市化がより一層進み、ライフラインは規模の拡大と複雑化を加速させるであろう。その結果、地震時には多大な被害が予想される。早期に初動体制を確立し、二次災害や被害の拡大を如何に防ぐかが重要となってくる。

本研究では、震災時に正確かつ早期に意思決定を行う判断材料とするため、モンテカルロフィルタを用いた逐次の被害推定モデル、システム信頼度の同定モデルを展開し、簡単な数値計算例によって方法論の有用性を確認する。時々刻々変化する被害箇所数、システム信頼度などの挙動を分析することにより、地震時緊急対応における適用可能性を検討する。

2. モンテカルロフィルタを用いた被害推定

ここで取り扱う状態量、ノイズは非正規分布に従うため、被害推定に当たってはモンテカルロフィルタ¹⁾を適用する。

状態方程式を式(1)、観測方程式を式(2)に示す。

$$x_{in} = x_{in-1} + w_{in} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$y_{in} = \frac{l_{in}}{L_i} x_{in} + v_{in} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 x_{in} 、 y_{in} はネットワークを形成するリンク i の第 n 時間ステップにおける被害箇所数、確認被害数、 l_{in} は同時点における調査済距離、 L_i はリンク長である。 w_{in} 、 v_{in} はシステムノイズ、観測ノイズである。

第 n 時間ステップまでの調査済距離、確認被害数を用いれば、モンテカルロフィルタから、未調査区間における被害数を推定することが可能となる。

3. 保全行動とシステム信頼度の同定

被害発見と同時になされる保全行動(リンク i の保全率 μ_i)により、被害修復過程の推移を概略的に捉えることができる。ここでは、第 n 時間ステップにおける未保全残存被害箇所数を次式の z_{in} で表す。

$$z_{in} = x_{in} - \mu_i \cdot H(x_{in}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 $H(\epsilon)$ はヘビサイドの単位ステップ関数である。需給ノード間の連結性を機能評価指標とし、タイセットを用いて第 n 時間ステップにおけるシステム信頼度を式(4)により近似的に算出する。ただし、リンクの破壊は独立に生起するポアソン過程に従うと仮定する。

$$p_n = 1 - \prod_{j=1}^N (1 - \prod_{i \in K_j} e^{-z_{in}}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

上式において、 N は需給端連結パス数、 K_j はパス j を構成しているリンクの集合を表す。

4. 数値計算結果および考察

対象としたネットワークは阪神水道企業団の施設である。総ノード数は52(供給, 需要ノードはそれぞれ3, 19), 総リンク数は59である。このネットワークに5本の連結管を配置すると、図-1のネットワークモデルとなる。図中、点線、太線は連結管で、それぞれ無向リンクと有向リンクを意味する。また、□、○は供給ノード、需要ノードである。各リンクの被害率は阪神・淡路大震災時の被害データを加味して決定した。なお、保全完了時には非破壊確率1のリンクになると仮定している。

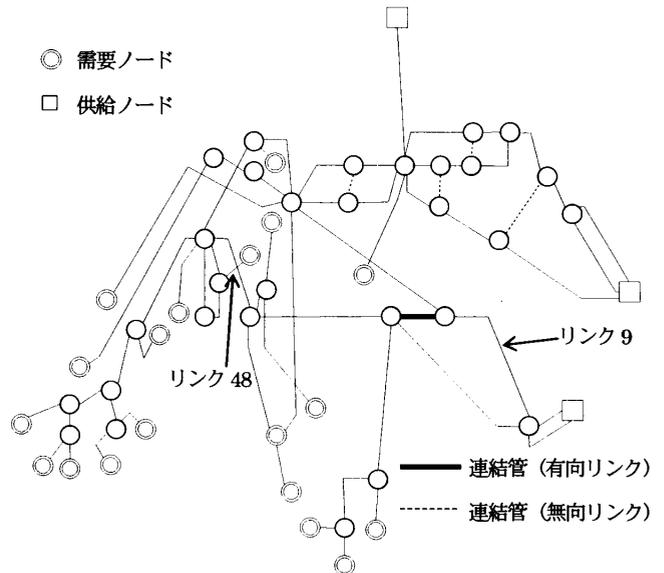


図-1 対象としたネットワークモデル

単位時間ステップは1日とする。被災ネットワークは各リンクの被害率、単位時間ステップ当たりの調査率に基づきシミュレートし、標準正規乱数を付加して各リンクの観測被害数を確定した。

図-2には、リンク9、48における被害箇所数の推定結果 x_n 、時々刻々調査して得られる確認被害データ y_n 、被害箇所数の真値($y_n - v_n$)、保全実施時において残存している被害箇所数の推定値を示す。図-3は連結管導入の有無に伴うシステム信頼度の時系列変化である。

図-2(a)を見ると、初期段階では多少の推定誤差を伴うが、時間ステップの経過とともにバラツキが減少し、推定被害箇所数は真の被害箇所数に漸近していることがわかる。未保全残存被害箇所数も時間とともに減少し、

最終的には約30日で0となっている。同図(b)では、初期推定期間に推定被害数の減少が見られるが、これはこの期間に観測データが得られなかったためである。しかし、被害確認に伴う観測データの蓄積により、推定被害数は増加し、早い段階で真値へと漸近している。未保全被害数は図(a)と同様に推移し、約55日で保全が完了している。

時間経過とともに真値へ漸近しているものの、最終的に推定値と真値は一致しない。これは、非負の整数よりなる非正規確率変数として、被害数を計算上与えたためである。

初期段階においてはあまり保全による効果が現れないが、時間ステップの経過に伴い、被災箇所は修理され、保全完了リンクが現れるようになる。従って図-3に見られるように、システム信頼度は多段階にわたり経時変化する。

連結管はシステム信頼度の向上に欠かせない。連結管を含むことにより、需給ノード間における連結パス数が増加するようになる。タイセット計算を行うと、連結管の導入により、需給ノード間の連結パス数は234から1517と増加している。供給ノード1から需要端に至る連結パス数は145から1368に増える。その結果、図-1の

ネットワーク形態を反映し、他の供給ノードに比して供給ノード1からのシステム信頼度が保全に伴ってより顕著に時間変化している。

図より、供給ノード付近の連結管の本数やその配置位置、連結管が有向リンクであるか無向リンクであるかがシステム信頼度や需給ノード間連結パス数に大きく影響していることがわかる。被災リンクの修復に伴う保全性能はこれらの要因に左右される。

5. おわりに

地震後の緊急時における意志決定の判断材料とするため、物理的側面として被害推定手法を、機能的側面としてシステム信頼度の推定手法を検討した結果、その妥当性を確認することができた。今後は、文献2)のように、意思決定を実現する数理的アルゴリズムを開発することが課題である。

参考文献

- 1) 北川源四郎：モンテカルロ・フィルタおよび平滑化について、統計数理, Vol.44, No.1, pp.133-142, 1996年。
- 2) 能島暢呂, 杉戸真太, 金澤伸治：被害情報の逐次処理による地震時緊急対応の意志決定, 土木学会論文集, No.982/I-56, 129-142, 2001年7月。

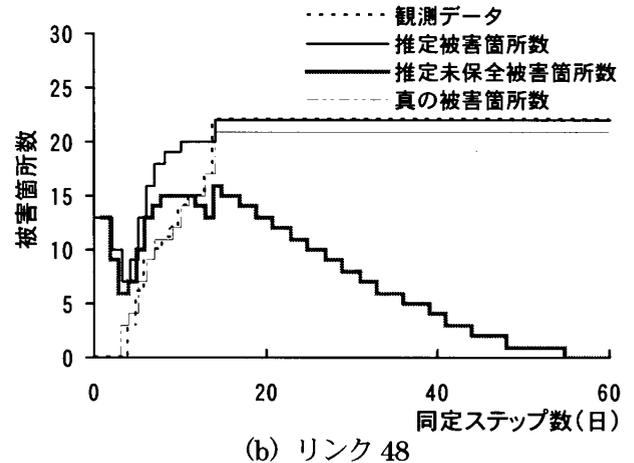
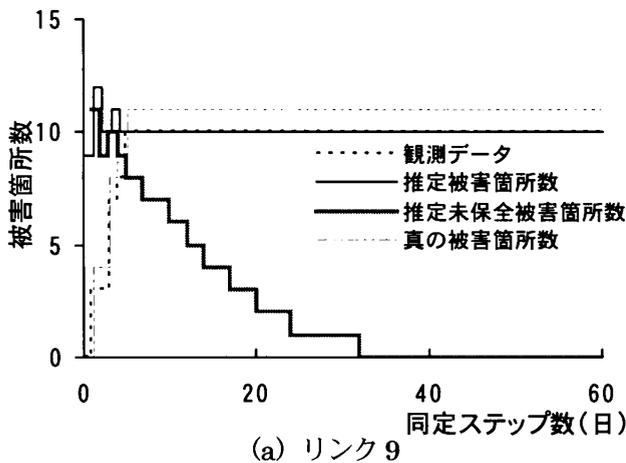


図-2 被害数の時系列変化

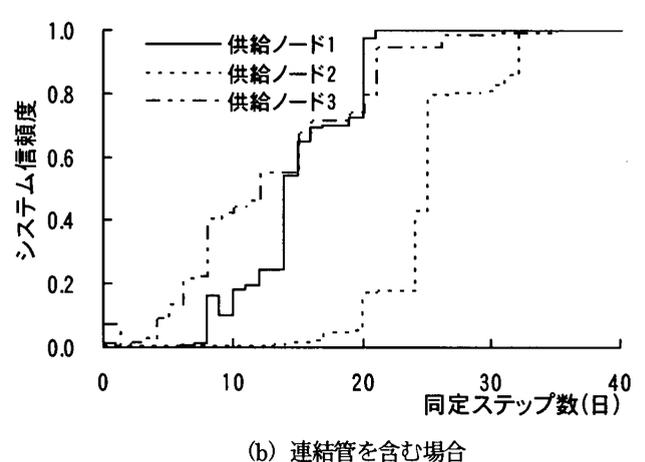
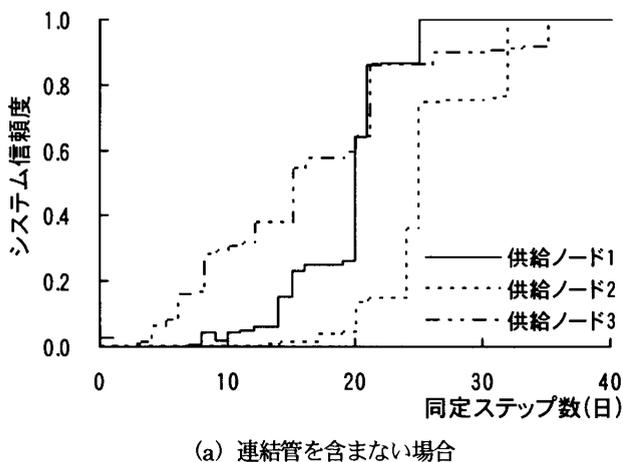


図-3 システム信頼度の時系列変化