

建設省 土木研究所 地震防災部 正会員 岩 崎 敏男
 建設省 土木研究所 地震防災部 正会員 大日方 尚巳
 パシフィック・コンサルタンツ(株) 正会員 〇 林 亜紀夫

はじめに

上水道管網等 ライフラインシステムの地震時供給信頼性を検討する手段としてモンテカルロシミュレーションによる連結確率計算から有効な情報を得ることが多い。シミュレーション解析によってシステムの信頼性が不十分と判断した場合にはこれを改善するための具体的な方策が必要となる。この点に関して3種類の視点から解析を行い、問題となるリンク(管路)を指摘し、数値としての“リンク重要度”を算出する手法を提案したい。リンク重要度は例えば耐震化工事の順位づけとして利用できると考えられる。

1. リンク重要度の計算手法

供給の“要点”は次の3つであると考え、各々の要点に対応する重要度計算手法を用意した。

- 要点①: すべての需要点(ノード)にまんべんなく供給する。(手法①に対応)
 要点②: 避難地等の給水拠点となる重要ノードに確実に供給する。(手法②に対応)
 要点③: 震後の復旧を能率良く行い、給水待ちを最小におさえる。(手法③に対応)

☆手法①: 手法①は比較的少ない計算量によって連結信頼性解析と同じ原理に従ったリンク評価をしようとしたものである。連結信頼性解析のために行うモンテカルロシミュレーションにおいて発生させる破断パターンについて次のような探索を行い、式1)によって手法①重要度指数 $I_{①i}$ を求める。

- 探索ⅰ: パターンにおいて破断と設定したリンク i を連結し直すことによって導通するノード j を探し、その回数を N_{ij} とする。
 探索ⅱ: 供給点から需要ノード j に至る基本ルート上に破断リンクがあるかどうかを探し、複数個ある場合には等分して N_{ij} に加える。(基本ルートとは流量係数 L_f^2 の和が最小となるルートである)

$$I_{①i} = \sum_{j=1}^n \frac{N_{ij}}{\sum_{i=1}^m N_{ij}} \cdot W_j \quad \text{--- 1)}$$

W_j : ノードの重み係数 (Ex. 人口)
 m : リンクの総数 i : リンク番号
 n : ノードの総数 j : ノード番号

☆手法②: システム内に重要ノードを設定し、このノードに供給するためのルートを次の3つの観点から探索する。

- 観点a: ルートの延長が最小となるルート
- 観点b: 復旧工数の合計が最小となるルート
- 観点c: 流量係数 L_f^2 の和が最小となるルート (r : 管径, L : 管長)

それぞれのルート上にあるリンクにノードの重み係数 W_j をかけ、式2)によって手法②重要度指数 $I_{②i}$ を集計する。

$$I_{②i} = P_{fi} \cdot \sum_{j=1}^n N_{ij} \cdot W_j \quad \text{--- 2)}$$

P_{fi} : リンク i の破断確率
 N_{ij} : リンク i がノード j に連結するルート上にある回数

☆手法③: すべてのリンクに予定復旧工数 L_c を設定し、各需要ノード毎に復旧工数最小となるルートを求めるとシステムをツリー形状に整理できる。次に供給点から順に復旧し、連結されたノードの需要量と復旧工数の関係をまとめると図3のようになる。復旧の順が分岐にさしかかった際には式3)による復旧能率係数 R_c の大きい方を選んで復旧する。

$$R_c = \sum_{j=1}^n W_j \cdot \frac{1}{\sum_{k=1}^{m_j} L_{j-k}} \quad \text{--- 3)}$$

n : 着目するリンク以降の全ノード数
 L_{j-k} : 既に復旧されたノードと j 番目需要ノードを結ぶ k 番目のリンクの復旧工数

m_j : 既に復旧されたノードと j 番目需要ノードを結ぶ全リンクの数, W_j : j ノードの需要量

図3に例示した復旧率-工数曲線より上の部分 (∇) の面積が供給待ち延べ需要量 (人口) として理解できる。従って手法③重要度指数 $I_{③i}$ は式4) により供給待ち延べ需要量の減少量として求められる。

$$I_{③i} = \left(W - \frac{E_{ib} + E_{ia}}{2} \right) \cdot L_i \quad \text{--- 4)}$$

W : 全需要量, L_i : リンク i の復旧工数
 E_{ib}, E_{ia} : リンク i 開通前後の復旧量

2. 計算結果

S市の上水道管網を例題としてモデル化し、各々のリンク重要度を求めた結果を以下に示す。このケーススタディにおいては1000回のパターンを発生させて連結確率計算と手法①解析を行った。

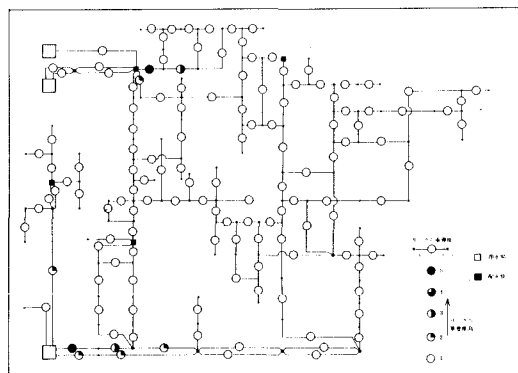


図1 手法①による各リンクの重要度評価

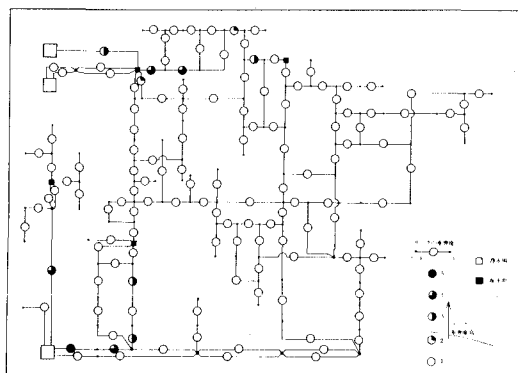


図2 手法②による各リンクの重要度評価

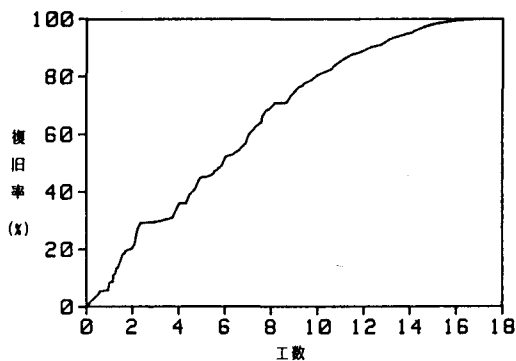


図3 手法③による復旧率-工数曲線

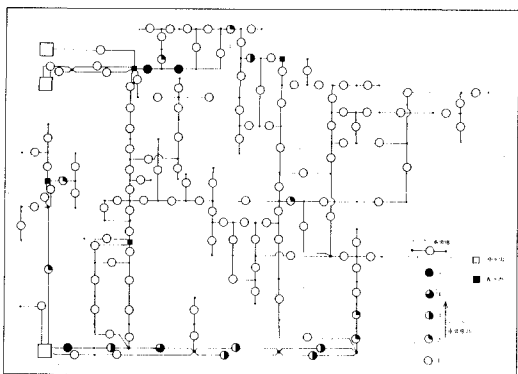


図4 手法③による各リンクの重要度評価

まとめ

上水道管網のように特定の供給点があるシステムについて、3つの要点ごとにリンク重要度を評価できることがわかった。この結果として得られる重要度が高いリンクから順に敷設替え、複線化、ループ化等の補強対策を段階的に実施するのが能率的であると考えられる。今後の課題としては3手法による結果を適当な配分で集計し、リンクの総合評価値を得ることが考えられる。