

冗長性指数による水道システム改良対策の評価

攻玉社工科短期大学環境建設学科 ○正会員 山本欣弥
 武蔵工業大学工学部都市基盤工学科 正会員 星谷 勝
 攻玉社工科短期大学環境建設学科 フェロー 大野春雄

1. はじめに

本研究では、ライフライン等の工学システムの冗長性を定量的に数値で表し、その値の変化によって「地震リスクの軽減対策」の効果の評価を行う。工学システムの持つ冗長性を物理的に表すために、著者ら^{1),2)}は、Shannon の情報エントロピーを用いて定義した冗長性指数 R_E を、提案している。そして、上水道システムモデルを用いた計算例により、その有効性を検討している。ここでは、解析対象として、1995 年兵庫県南部地震で大きな被害を受けた神戸市水道の、東灘区、灘区、中央区、兵庫区および長田区の低層配水地区の主要配水管路網を用いて、神戸市水道局が行っている配水システム改良対策の効果を検討する。

2. 冗長性の定量化

上水道システムの冗長性は、次式で定義される冗長性指数 R_E によって、受給ノードごとに求められる。

$$R_E = H_{D|D} / \log_2(m) = \frac{\{-\sum_{i=1}^{m-1} P_{D_i|D} \log_2 P_{D_i|D} - P_{D_F|D} \log_2 P_{D_F|D}\}}{\log_2(m)} \quad (1)$$

式(1)中の $D_i: i=0 \sim m-1$ は、 m 本あるリンクのなかで、任意の i 個のみが破壊してシステムの機能が維持されている事象である。また、 D_F は、システムの機能が破壊した状態の事象である。そして、式(1)の分子である $H_{D|D}$ は、システムに何らかの被害が発生する事象 D の条件下で、事象 $D_1 \sim D_F$ の部分集合の条件付エントロピーである。 R_E は、0 から 1 の値をとり、0 のとき冗長性が最小、1 のとき最大であることを示す。

また、システム全体の冗長性と、システムのある特定の範囲の冗長性を、それぞれ次式で定義される R_{ES} および R_{EES} によって定義する。

$$R_{ES} = \sum \frac{w_j}{\sum w_j} R_{Ej} \quad (2), \quad R_{EES} = \sum \frac{w_{Ej}}{\sum w_{Ej}} R_{EEj} \quad (3)$$

ここで、 R_{Ej} : 受給ノード j における冗長性指数 R_E 、 w_j : 受給ノード j のシステム内における重み、 R_{EES} : システム内の着目する特定の範囲の冗長性、 R_{EEj} : 着目する範囲に位置する受給ノード j における冗長性指数 R_E 、 w_{Ej} : 受給ノード j の着目する範囲内における重み。

3. 解析用上水道モデル

神戸市水道一般平面図（平成 12 年 4 月）³⁾を参考にして、解析用上水道ネットワークモデルを作成した。6 箇所の配水池を起点とした神戸市の市街地の低層地区に水を供給する主要配水管路網である。モデル上では、主要配水管をリンクで表し、リンクにのみ被害が生じるものと仮定した。また、小口径配水管によって構成される下層ネットワークと主要配水管との接続点、および配水起点である配水池をノードとして表している。そして、配水池を供給ノードとし、それ以外のノードを、給水エリアを持つ受給ノードであるとした。モデルの簡略化のため、六甲アイランドおよびポートアイランドの配水管管路網は含めていない。

神戸市水道局では大規模送水管を、都市部のある平地部を縦断する形で設ける計画を立て、現在その一部分の工事が着工されている。この新規送水管路により、阪神地区からの水の受給を確実なものにする計画である。また、新規送水管路は、既設の送水管路のバックアップ機能、と、さらに、緊急時の応急給水のための貯水機能、配水管への直接配水、などの機能を有している。

キーワード：冗長性指数、ライフライン、情報エントロピー、リスクマネジメント、神戸市水道

連絡先：東京都品川区西五反田 5-14-2 攻玉社工科短期大学環境建設学科 Tel.03-3493-5671 Fax.03-3495-4071

送水経路を新規に設置し、震災時の供給源を確保することは、地震リスクの軽減対策にあたる。新規送水管の機能をモデル上では、新規送水管の近くに位置する現状の R_E の値が低い受給ノードに直接給水を行う、原則として、新規送水管は配水池との連結され、その際、配水池から出ているリンクへ直接配水を行う、と表現して解析を行う。

新規送水管路の新設により、解析用上水道モデルの受給ノードの冗長性指数 R_E の値が、どのように変化するかを検討し、地震リスクの軽減の効果を考察する。

図-1 に解析用の神戸市水道モデルを示す。

4. 解析結果

解析結果の一例として、図-2 の東灘低層配水地区（配水地区 A）における結果を図-3 に示す。

配水地区 A では、図-2 中に○印で示してある受給ノード 6、および、リンク 1、2 および 3 が、直接、給・配水を受けている。このため、 R_E の値が低いノードの中で、直接給水を受けるノード 6 の R_E の値が、0.268 から 0.662 に大きく上昇している。しかし、ノード 5 では 0.405 から 0.459 へ、ノード 7 では 0.339 から 0.387 へ、ノード 8 では 0.226 から 0.261 へ、ノード 9 では 0.265 から 0.304 へ、それぞれ R_E の値がわずかに上昇していない。このことから、ノード 5、7、8 および 9 では、あまり冗長性が向上していないことがわかる。これは、配水経路上のリンク 4 の被害発生確率が 0.5721 と、比較的大きな値となっており、この影響によるものと考えられる。

しかし、配水地区 A 全体の冗長性の値 R_{ES} は、0.563 から 0.598 へ上昇しており、新規送水管によって、リスクの軽減効果が表れていることを示している。

5. おわりに

本研究では、上水道システムの地震リスクを低減するための第 1 次的な解の提案を行っている。詳細な解を求めるためには、この結果を踏まえて、必要に応じて流量計算等による厳密な解析を行っていく必要がある。また、本研究では、解析を行うに当り対策費用などの経済的な面を考慮していない。したがって、今後の課題としては、費用対効果の問題つまり損益を考慮した最適化問題を考える必要がある。また、上水道などの公共構造物は、維持管理等を考慮した長期間における対策をとる必要があるため、ライフサイクルコスト（Life Cycle Cost：LCC）の最適化についても考える必要がある。

参考文献

- 1) 星谷勝，山本欣弥：情報エントロピーを用いたシステムの信頼性と冗長性の検討，土木学会論文集，No.654 / -52，pp.355～366，2000 年 7 月。
- 2) 山本欣弥，星谷勝，大野春雄：冗長性指数によるライフラインシステムの地震時リスク解析，土木学会論文集，No.682 / -56，pp.373～382，2001 年 7 月。
- 3) 神戸市水道局：神戸市水道一般平面図，平成 12 年（2000 年）4 月作成。

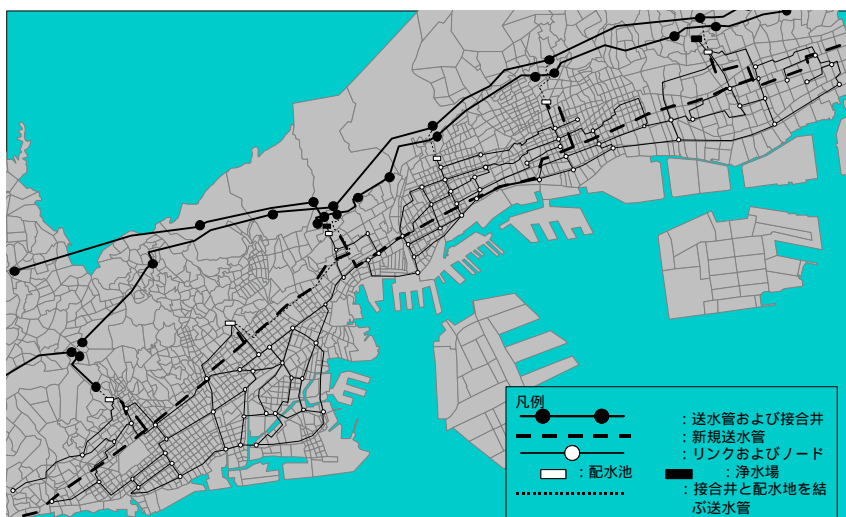


図-1 神戸市水道モデル（低層配水地区）



図-2 配水地区 A（東灘低層配水地区）

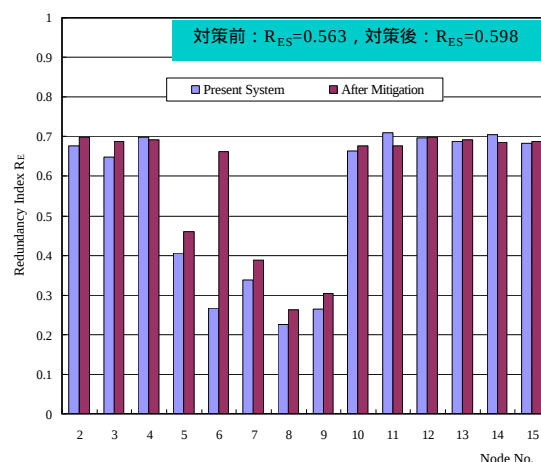


図-3 軽減対策実施前後の冗長性指数 R_E