

I-209 震後の上水道機能復旧予測システムの敏感度解析

攻玉社工科短期大学 正員 大野春雄
武蔵工業大学工学部 正員 星谷 勝

1. はじめに

震後のライフラインの復旧対策や被害軽減対策などの地震防災計画を策定するためには、被害時の供給機能を予測することが不可欠である。供給機能の予測計算は、ネットワーク解析や管網解析などの手法を用いるがシステムが複雑になると大規模な計算を施さなければならず、実用的とはいえない。そこで、ライフラインシステムの本質をゆがめずに、しかも許容される精度内で簡略なシミュレーションを実行し、計画策定等の実務に必要な出力が得られる実用性を向上させた手法が必要となってくる。本研究では、著者らによる上水道システムに関する既往の機能評価モデル^{1), 2)}における物理的被害と機能支障の関係を求める解析過程を水道事業実務者の経験的判断に基づく経験法則に置き換え、簡略化した実用的な予測システムの提案をする。上水道機能の復旧予測システムの構築の考え方と方法の詳細は文献3), 4)に譲り、ここでは、本予測手法を用いた神奈川県水道局藤沢事務所管内、茅ヶ崎事務所および広島県福山市水道局管内における事例解析により構築した各予測モデルを示し、敏感度解析によりシステムの特性について検討する。

2. 上水道機能の復旧予測システムの概要

本予測システムは、物理的被害の復旧過程を求める被害復旧サブモデル（DRM）および物理的被害から供給機能の支障率を求める供給支障サブモデル（SIM）により構成される。被害復旧サブモデルは、システムダイナミックス手法を用いたモデルであり、物理的被害が直接的な修復作業によって減少していく過程を求めるものである。供給支障率サブモデルは、物理的被害と供給支障の関係を示すものである。物理的被害の状況は、被害復旧サブモデルの復旧完了指標 WRC_t ¹⁾を用いて、物理的被害率 $D1_t$ 、物理的被害分散度 $D2_t$ および重要施設被害率 $D3_t$ により示し、供給支障の程度は、水道事業実務者に対する質問調査により、対象システムに物理的被害を与えたときの供給機能を給水量または給水戸数（水栓数）で推定してもらい求める。これら両者の関係を重回帰分析で求めたもので、物理的被害と機能支障の関係をエキスパートの経験的判断に基づいて求めることによりネットワークの連結性等の数値解析的な方法をby-passするモデルである。このサブモデルが各事例解析で異なる。各事例解析によって構築した復旧予測システムの神奈川県水道局藤沢事務所管内の供給支障率サブモデル（SIM）、神奈川県水道局茅ヶ崎事務所管内のSIMおよび広島県福山市水道局管内のSIMを枠線内に示す。

（1）式では、重要施設被害率 $D3_t$ に掛かるパラメータが負になっているこれは重要施設被害に送水管被害を含めていることが考えられる。すなわち送水管には供給エリアを通過するだけで、そのエリアの供給機能に関係しない場合もあるためである。（2）式では、 $D2$ にかかる偏回帰係数 b_2 が負値になったため、 $D2$ の説明変数を削除して回帰した。これは茅ヶ崎市水道システムのネットワークが高次のリダンダンシーを持ち、多くの迂回路を有していることと線形回帰の単純性の相乗効果と考えられる。（3）式では、被害時の供給機能の入手方法として、管網解析により予測給水量を得ている。地震被害を余り考えていない水道局では、エキスパートの経験的判断の抽出することが困難であるため、代替方法として管網解析を用いた。

3. 復旧予測システムの敏感度解析

ここでは、本予測システムに対する数種の初期入力データを用意し、復旧予測のシミュレーション計算により本システムの敏感度解析を行う。藤沢型供給支障率サブモデルを用いた。ここでのシミュレーション計算には、（1）式に示した供給支障サブモデルを用い、各初期入力データにより復旧過程の計算を行った。図1（a）～（d）に各ケースのシミュレーション結果を示す。縦軸に供給支障率 F_t 、横軸に時刻 t をとり復旧曲線を示

- | | |
|---|-----|
| a. 藤沢型供給支障率サブモデル（重相関係数 $R=0.969$ ） | |
| $F_t = -0.020 + 4.263 D1_t + 7.370 D2_t - 1.860 D3_t$ | (1) |
| b. 茅ヶ崎型供給支障率サブモデル（重相関係数 $R=0.884$ ） | |
| $F_t = 1.004 D1_t + 2.172 D3_t$ | (2) |
| c. 福山型供給支障率サブモデル（重相関係数 $R=0.906$ ） | |
| $F_t = 0.029 + 3.916 D1_t + 2.829 D2_t + 0.536 D3_t$ | (3) |

す。復旧曲線の線種の違い(実線, 破線および一点鎖線)はシミュレーションケース設定の違いを示し, 図の下側に対応する初期データ種(DAMAGE, WE, RS, WTN)を示している。

図1(a)では, 復旧戦略の差による影響がみられる。重要施設が設置されている供給エリアを優先する復旧方針を取っているもの(RS1)が実線の復旧曲線であり, 被害の多い供給エリアを優先しているもの(RS3)が破線の復旧曲線である。また, 逆に被害の少ない供給エリアから復旧しているもの(RS4)が一点鎖線の復旧曲線である。RS1の戦略とRS4の戦略ではそれらの復旧過程に大差はないが, RS1とRS3では23時間後から36時間後までの状況には大きな差がある。早期に供給機能を復旧させるという目的においては, RS1の戦略が有効であることがいえる。図1(b)では, 復旧作業能力(WE1~WE3)の差による影響がみられる。ここで用いたデータは復旧能力の時間変動パターンを変えている程度であるため, その差は復旧過程に影響を与えていない。復旧作業能力の定式化よりその数値を大きくすれば復旧完了時刻(WRCT)は早くなることはいえる。図1(c)では, 総復旧作業人員(WTN)の差による影響がみられる。WTN=20人が実線の復旧曲線, WTN=40人が破線の復旧曲線であり, 一点鎖線の復旧曲線はWTN=60人である。復旧作業人員を増加させれば復旧完了時刻は早くなることはいえるが, システムが非線形系であるから復旧完了時間と復旧作業人員とは比例していない。図1(d)では初期被害分布(DAMAGE1~DAMAGE3)の差による影響がみられる。初期被害分布の違いは復旧戦略により算出される各供給エリアの配分復旧人員に大きく影響するため, それらの復旧過程における単独の影響をみるには難しが, 被害分散型(DAMAGE3:一点鎖線)の初期供給支障率が高く, 被害集中型(DAMAGE2:破線)の初期供給支障率は低いことがいえる。

なお, 管網解析などを含む従来の評価モデルの出力結果や予備試算結果などを参照して, 本復旧予測システムの敏感度解析の結果は余り差はなく, 少なくとも同等もしくはそれ以上の実用性を保持したモデルであることを確認している。また, モデルの使用時には復旧戦略の配分比率や復旧優先順位は初期被害分布の状況に応じて柔軟に決定し, 復旧過程を予測することが最も重要といえる。

4. おわりに

今後の展開としては, 本復旧予測システムの詳細な敏感度解析を行い, 各水道システムの耐震性に対し具体的な提案を導出したい。さらに, 将来は多くの上水道システムに拡張し, システムのタイプごとの汎用性のある復旧予測システムを構築して行きたい。最後に, 本研究は文部省科研費重点領域研究(1)によるもので, 理論の構築および藤沢市, 茅ヶ崎市の事例解析を星谷と大野が共同で行った。福山市の事例解析で協力していただいた福山大学千葉助教授ならびに質問調査において多大な協力をしていただいた神奈川県企業庁水道局飯岡副技幹に感謝いたします。

- 1) 星谷勝・大野春雄:『震災時ライフラインの相互影響を考慮した復旧過程の機能評価法』, 土木学会論文集第386号, 昭和62年10月
- 2) 大野春雄:博士論文『ライフラインの地震災害の相互影響と機能評価に関する研究』, 武蔵工業大学, 昭和63年3月
- 3) 星谷勝・大野春雄:『震後の上水道機能の復旧予測』, 文部省科研費重点領域研究, 都市供給施設における震害の防止・軽減並びに復旧対策に関する研究(第2年度), 平成元年3月
- 4) 大野春雄・星谷勝:『震災時上水道システムの実用的復旧予測システム』, 土木学会論文集(投稿中)

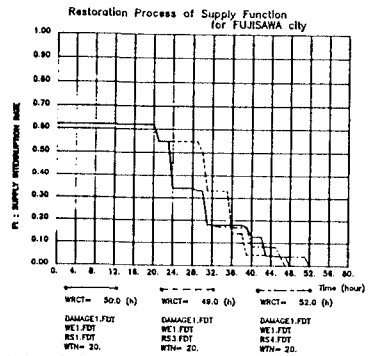


図1(a) 復旧戦略(RS)要因の影響

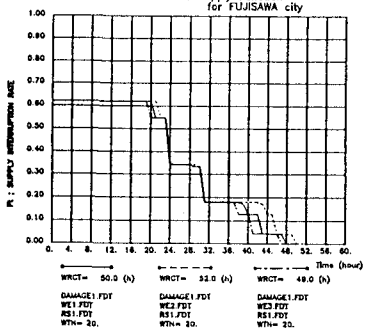


図1(b) 復旧作業能力(WE)要因の影響

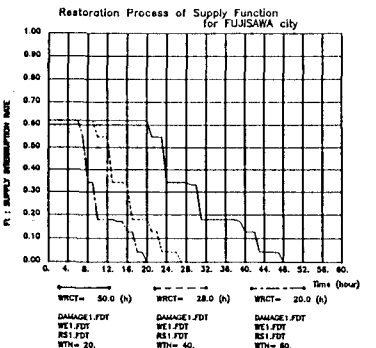


図1(c) 総復旧人員(WTN)要因の影響

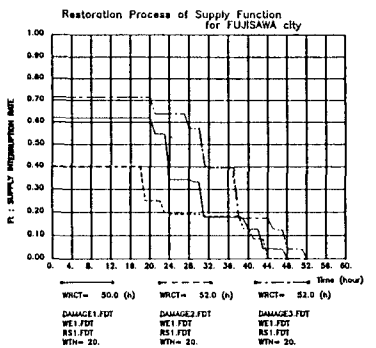


図1(d) 初期被害分布(DAMAGE)要因の影響