

I-518 地震時上水道機能の復旧予測モデル

地産トナリ(株) 正員 石飛 洋三
 攻玉社短期大学 正員 大野 春雄
 武蔵工業大学 正員 星谷 勝

1. はじめに： ライフラインの供給機能の復旧シミュレーションにはネットワークの連結性や管網流量解析などの複雑な計算過程を組み込んだものが多い。複雑な計算過程を必要とする理由は、物理的被害とその結果がもたらす供給機能低下の関係を求めるためである。本研究では、著者らによ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モデルの作成を目指したものである。この場合には、当然ながらノード間の水頭差やバルブ操作などを考慮した実務者の判断が反映されるので、ネットワーク連結性解析による従来のシミュレーションよりも予測精度が向上するものと考えられる。ここでは、本予測モデルを用いた神奈川県水道局藤沢事務所管内における事例解析の検討結果について示す。

2. 上水道機能の復旧予測モデル： 本復旧予測モデルは、物理的被害の復旧過程を求める被害復旧サブモデル（Damage Restoration Model: 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（Supply Interruption Model: 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る。これは、管径が400mm以上の上水道管網や浄水場、配水所などの重要施設における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、この復旧過程の予測には、復旧戦略の指標を組み込んでいる。供給支障率サブモデルは、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。具体的には、対象システムを担当する水道事業実務者に質問調査を行い、被害を与えたシステムに対して、経験的判断により機能的支障を推定してもらい、得られたデータをもとに物理的被害と機能支障の関係を回帰分析で求めるものである。図-1に予測モデルの全体構成を示す。まず、システムの初期被害分布を与える。この時刻 $t=0$ における物理的被害の件数をもとに、被害復旧サブモデルで復旧戦略を考慮しながら各時刻の物理的被害の復旧を求める。次に、得られた物理的被害を入力値として、供給支障サブモデルで各時刻の機能支障率を求める。このようにして、逐次供給機能の復旧過程を求めることができる。なお、モデルの詳細は文献3)を参照して頂きたい。

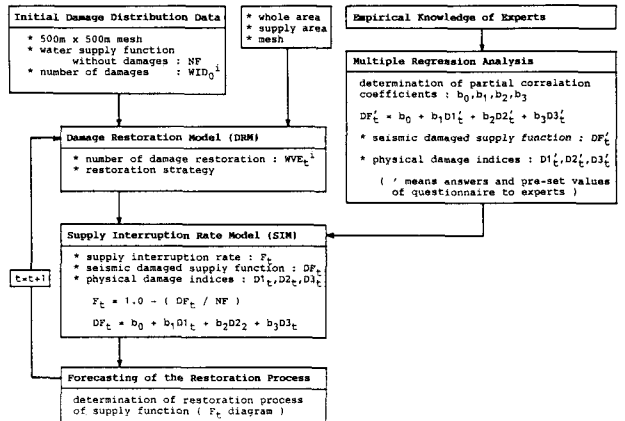


図-1 復旧予測モデルの全体構成

図-1に予測モデルの全体構成を示す。まず、システムの初期被害分布を与える。この時刻 $t=0$ における物理的被害の件数をもとに、被害復旧サブモデルで復旧戦略を考慮しながら各時刻の物理的被害の復旧を求める。次に、得られた物理的被害を入力値として、供給支障サブモデルで各時刻の機能支障率を求める。このようにして、逐次供給機能の復旧過程を求めることができる。なお、モデルの詳細は文献3)を参照して頂きたい。

1) 上水道ネットワークおよび被害の表現方法：従来の研究では、システムをネットワークモデルで表現し、被害時のネットワークの連結性や管網解析により、システムの供給信頼性を評価している。本研究では、国土地理院基準分割四次メッシュ（500m×500m）を利用し、対象とする上水道管網と各メッシュとの重なりをみて、重なるメッシュにより上水道システムを表現する方法を用いた。これを

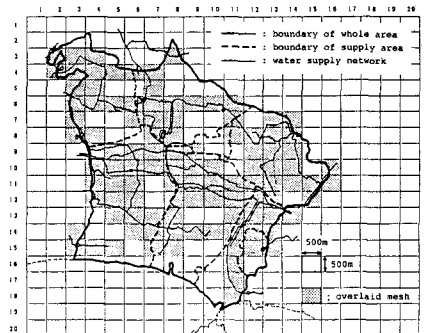


図-2 メッシュ表示モデル（藤沢事務所管内）

ネットワークモデルに代わる上水道システムのメッシュ表示モデルとした。図－2に神奈川県水道局藤沢事務所管内（藤沢市）の浄水場，配水池，ポンプ所および送配水管網の管径 $\phi 400\text{mm}$ 以上を対象としたメッシュ表示モデルを示す。

2) 供給支障サブモデル：供給支障サブモデルは，物理的被害と供給支障の関係を求めるものである。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 $^2)$ WRC_t 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 $D3_t$ により示す。供給支障の程度は供給支障率 F_t で示し，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および給水戸数（水栓数）で推定してもらい求める。質問調査の結果をもとに，（1）式に示す重回帰モデルを適用して供給支障サブモデルを求める。すなわち，物理的被害 $D1_t$ ， $D2_t$ ， $D3_t$ で供給機能を説明できるものと仮定する。

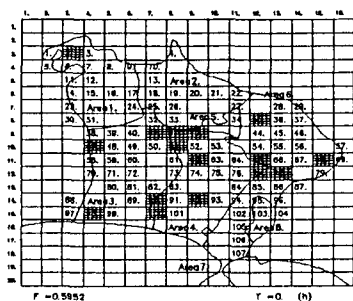
$$F_t = b_0 + b_1 D1_t + b_2 D2_t + b_3 D3_t \quad (1)$$

3. 神奈川県水道局藤沢事務所管内を対象とした事例解析：藤沢市は神奈川県下5番目の人口（33万人）を抱え，市域総面積は69.63 km^2 である。神奈川県水道局藤沢事務所は，藤沢市域の南半部を管内として，藤沢市の中心部分を担当している。また，藤沢事務所は，この管轄地域を8つの供給エリアに分割し管理している。本事例解析では，復旧予測モデルの藤沢型供給支障率サブモデルの構築およびある被害を与えたときの復旧シミュレーション計算例を示す。

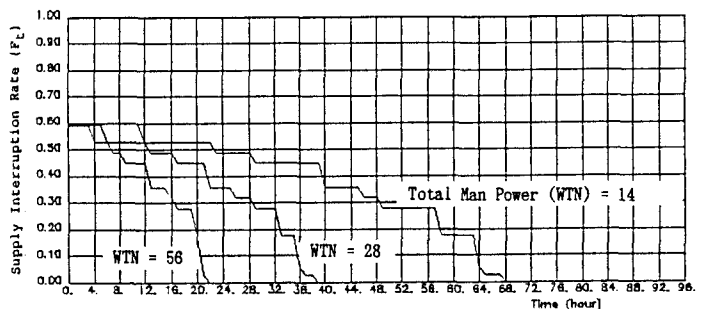
1) 藤沢型供給支障率サブモデル：物理的被害と供給支障の関係を求めるために，神奈川県水道局藤沢事務所の水道事業実務者に対して質問調査を行った。その結果，得られたデータは28被害パターンの28サンプルである。この結果をもとに，重回帰分析により（1）式に示す b_0 ， b_1 ， b_2 ， b_3 のパラメータ推定を行い，藤沢型供給支障サブモデルを求める。この結果を（2）式に示す。重相関係数は $R=0.969$ である。

$$F_t = -0.020 + 4.263 D1_t + 7.370 D2_t - 1.860 D3_t \quad (2)$$

2) 復旧シミュレーション計算例：本復旧予測モデルを用いたシミュレーション計算例を示す。図－3に初期被害分布データ，図－4に計算結果を示す。図－3に示す初期被害分布図には，供給エリア分割およびオーバーレイメッシュ番号を示している。網目で示したメッシュが被害メッシュである。本予測モデルのシステムでは物理的被害の復旧過程を図に示すようなメッシュマップ上に表示され，そのときの地域全体の供給支障率 F_t も示される。供給支障率の復旧シミュレーションでは，被害復旧サブモデルの復旧戦略WR，復旧作業能力WB等の初期値は固定し，総復旧作業人員WTNを変化させたときの結果を図－4に示している。



図－3 初期被害分布データ



図－4 供給支障率の復旧シミュレーション計算例

4. 今後の展開：本復旧予測モデルの詳細な敏感度解析により，水道システムの耐震性に対し具体的な提案を導出した。さらに，将来は多くのシステムに拡張し，システムのタイプごとの汎用性のある予測モデルを作成して行きたい。最後に，研究の討論に参加していただいた福山大学千葉利晃助教授に感謝いたします。また，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藤沢事務所飯岡副技幹に感謝いたします。

注）本研究は星谷が全般的な研究指導を，大野がモデル化と解析を担当し，石飛が計算を担当した。

【参考文献】

- 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：『地震時上水道機能の復旧予測モデル』，文部省科研費重点領域研究，研究代表者佐武正雄『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報告（第2年度）』，平成元年3月