

## 上水道システムの地震時機能支障予測法の簡略化

武蔵工業大学	正員	星 谷 勝
攻玉社短期大学	正員	大 野 春 雄
福山大学	正員	○ 千 葉 利 晃

1. まえがき

ライフラインの供給機能評価を行うためのシミュレーションモデルには、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。このようなモデルは現実的な評価をするために複雑になり、供給機能評価のシミュレーションを行う上で多くの入力データや多大な計算時間を必要とする。このために、これらのモデルの実用性は低下している。複雑な計算過程を必要とする理由は、物理的被害と供給機能低下の関係を求めるためである。本研究は、この部分に対してエキスパートの経験的判断に基づく経験法則を導入し、著者らによる既往の機能評価モデル<sup>1), 2)</sup>を改良して、簡略化した実用モデルの作成を目指したものである。今回は、上水道システムを対象としたモデル構築の考え方を提案する。

2. 既往の機能評価モデルの問題点と簡略化

被害復旧予測および供給機能評価に関する研究においては、システムが複雑であるため現象を的確に表現できるモデルが望まれている。システムダイナミクス(SD)手法は、現実のシステムに複雑に影響する非線形関係の諸要因を比較的自由に扱うことができるため、諸要因の因果関係が決定されれば、モデル構造の構築は柔軟に行える特徴がある。著者らによるSD手法を利用した既往の機能評価モデルは、複雑なこれらのシステムの復旧過程におけるシステム間の相互影響の考慮、ネットワークの連結性、復旧戦略などをモデルに組み込んでいるため、より実際の供給機能の評価を行うことができる。したがって、実際の復旧計画、被害軽減対策などの地震防災計画における有効な計画指標の導出を目標とした、機能評価シミュレーションモデルの構築という当初の目的は達成できたものと思われる。

しかしながら、著者らによる既往の機能評価モデルだけでなく他の研究においても、ネットワークの連結性や管網解析による方法を主体とした被害時の供給機能を評価するモデルが多い。このような複雑できめ細かい機能評価モデルでは、使用する際に入力データの準備に手間がかかり、かつ計算の中身を理解しにくい欠点がある。SD手法を利用した著者らの機能評価モデルも、供給施設などのノードと送配水管などの供給経路(リンク)における構造物の物理的被害の減少過程をモデル化した構造的復旧モデルと、供給経路の連結性が失われることによる供給機能の低下や停止が復旧する過程をモデル化した機能的復旧モデルの2つのサブモデルを組み合わせて全体系を構築している。機能的復旧モデルでは、平常時ネットワークモデルのノードを要素とする連結行列を求めておき、構造的復旧モデルで計算された復旧完了指標により、各時間ごとにブール代数演算による可到達行列(ネットワークの連結性)を求めるようになっていく。この可到達行列を求めるのに多大の計算時間を必要とする。

精緻さと精密さとは必ずしも比例するとは限らず、機能評価モデルで何をどの程度の精度で出力するかによって、マクロ的なモデルからミクロ的なものまで、いろいろなモデルが考えられよう。そこで、今までの複雑な機能評価モデルを検討し直し、現実的な因果関係を導入して簡略化ルールで置き換え、あるいは改良してマクロ的評価モデルを構築することを本研究の目的とした。今回提案する簡略化モデルは、エキスパートの経験的判断に基づく経験法則を導入し、この機能的復旧モデルを省略、すなわち、ネットワークの連結性を求める可到達行列演算を省略し、計算時間を大幅に短縮することを目指すものである。また、このモデルは実際のなもので、防災計画立案の基礎情報が出力できるとともに、教育訓練用にも役立つものであることを目的としている。

### 3. 実用的予測モデルの概要

本実用的予測モデルは、物理的被害の復旧過程を求める被害復旧サブモデルと、物理的被害から機能支障率を求める供給支障率サブモデルより構成されている。前者のサブモデルはSD手法を用いたモデルであり、著者らの既往の構造的復旧モデル<sup>1)</sup>よりネットワークの連結性解析の部分を除いたものである。浄水場、配水所などのノード施設や送水管、配水管などのリンク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あり、復旧戦略をも組み込めるようになっている。後者のサブモデルが今回提案するモデルである。水道事業実務者（エキスパート）に被害状況を与えたシステムを示し、どの程度の機能的支障を来すかを経験的判断に基づいて推定してもらい、これらのデータより物理的被害と機能支障の関係を求めることにより、ネットワークの連結性や管網解析などの数値解析的な方法を避けたものである。この物理的被害と供給機能支障率との関係は、このようなアンケート調査より得られるデータを用い、ノード数 $X_1$ 、リンク数 $X_2$ などのネットワークの特性を示す諸要因を説明変数として、供給支障係数 $A$ を重回帰分析により求めることにする（図-1）。また、横軸の被害指数はノード被害率 $D_{n_t}$ 、リンク被害率 $D_{l_t}$ や被害の分布特性なども考慮した総合的な被害指数を表すものとする。したがって、図-1に示す直線はネットワーク特性ごとに決まるものである。

この実用的予測モデルにより供給機能を予測する手順は以下の通りである。①被害復旧サブモデルにより、震後の復旧過程における時刻 $t$ の物理的被害件数を求める。②得られた被害件数より総合被害指数 $D_{g_t}$ を算出する。③供給支障率サブモデルにより、総合被害指数 $D_{g_t}$ と供給支障係数 $A$ を用いて供給支障率 $p_t$ を求める。④時刻 $t$ における供給支障率 $p_t$ により供給機能の復旧過程を予測する。

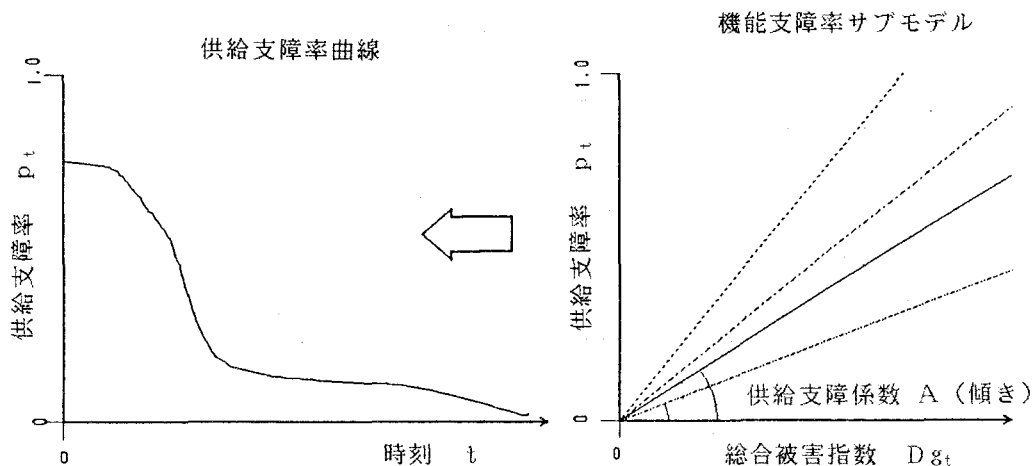


図-1 上水道機能の実用的予測モデル

### 4. あとがき

本研究は、アンケートにより実務者に物理的被害と供給支障の関係を推定してもらい、そこから得られる経験則と供給ネットワークの特性要因の情報を用いて上水道機能の実用的予測モデルを構築する考え方を示したものである。この予測モデルはモデルそのものの簡潔さと、実務者の経験的判断を取り入れることにより、妥当性のある結論を得られるのみならず、計算時間の大幅な短縮が可能であるなどの利点がある。なお、本研究は文部省科学研究補助金（重点領域研究1）により行ったものである。

【参考文献】 1) 星谷・大野：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，1987年10月 2) 星谷・大野・國井：地震時ライフライン定量的機能評価モデルを用いた神奈川県下事例都市におけるシミュレーション，土木学会第41回年次学術講演会，昭和61年11月