

攻玉社短期大学	正員	大野 春 雄
武蔵工業大学	正員	星 谷 勝
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、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ために、実用性が低下している。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^{1)・2)}を簡略化した実用的予測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. 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¹⁾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選んだものである。以下、本予測モデルを概説する（図-1参照）。

被害復旧サブモデル 被害復旧サブモデルは予測対象地域を500m×500mの方眼に切った国土地理院基準分割四次メッシュごとに配置し、各メッシュ内の物理的被害に対する復旧件数を各時刻tごとに求めるものである。

供給支障率サブモデル このサブモデルは、ネットワークの連結性を数値解析的に求めるのではなく、総合被害指数 Dgt から供給支障率 p_t を式(1)より直接求めるものである。

$$p_t = \alpha \cdot A \cdot Dgt \quad (1)$$

ここで、 A は Dgt と p_t との関係を示す直線の傾き（供給支障係数）であるが、これらについては後述する。なお、 α は補正係数であり、事例対象都市の規模などの地域特性を考慮するためのものである。

総合被害指数 物理的被害が供給機能に影響する度合は、その被害の特性により左右される。ライフラインネットワーク上における被害の分布状況（被害の集中と分散）は供給機能に大きく影響するし、また、ノード被害とリンク被害では供給機能に与える影響の度合は異なるであろう。そのほか、供給ソース系の重要ノードやリンクについても考慮しなくてはならない。以上のことから、式(2)の関係をを用いて総合した被害指数を求め、これを総合被害指数 Dgt とすることにした。

$$Dgt = St \cdot (\beta \cdot Dnt + Dlt) \quad : \quad \beta \text{は重み係数} (\beta \geq 1) \quad (2)$$

ここで、 St は被害分布指数、 Dnt はノード被害率、 Dlt はリンク被害率、添字 t は時刻である。

エキスパートによる供給支障係数 物理的被害と供給支障率との関係を示す直線の傾きである供給支障係数 A は、エキスパートの経験的判断に基づいて求めることにする。供給支障率に影響する要因には、被害特性のほかにライフラインのネットワーク特性が挙げられる。したがって、ノード数 X_1 、リ

ンク数 X_2 、全ノードに対する特殊ノードの占める割合 X_3 などのネットワーク特性を示す諸要因と供給支障係数 A との関係を式(3)で与えるものとする。

$$A = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \cdots + b_n X_n \quad (3)$$

エキスパートの経験的判断の抽出には、配水計画担当者などの水道事業実務者に供給支障を想定してもらう内容のアンケート調査を実施する。この調査では、各営業所管内の実際の上水道管網に対して数段階の被害規模を設定した被害を与え、各総合被害指数における供給支障世帯数を経験的知識を基にした判断により回答をしてもらう。各総合被害指数と得られた供給支障率から最小自乗法により原点を通る直線の傾きを算出する。これが式(3)の目的変数の値(A)となる。式(3)の説明変数となるネットワークの各特性要因の値は、アンケート調査時の上水道管網のネットワークモデルより求める。これらのデータをもとに重回帰分析を行い、 $b_0, b_1, \dots, b_n$ の偏回帰係数を求める。

このようにして偏回帰係数が求まれば、対象都市のネットワーク特性値を与えることにより、その都市の供給支障係数 A は式(3)より求められる。したがって、ネットワークの連結性を解析することなく、供給支障率を式(1)より求めることができる。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 Dg_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 Dg_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。

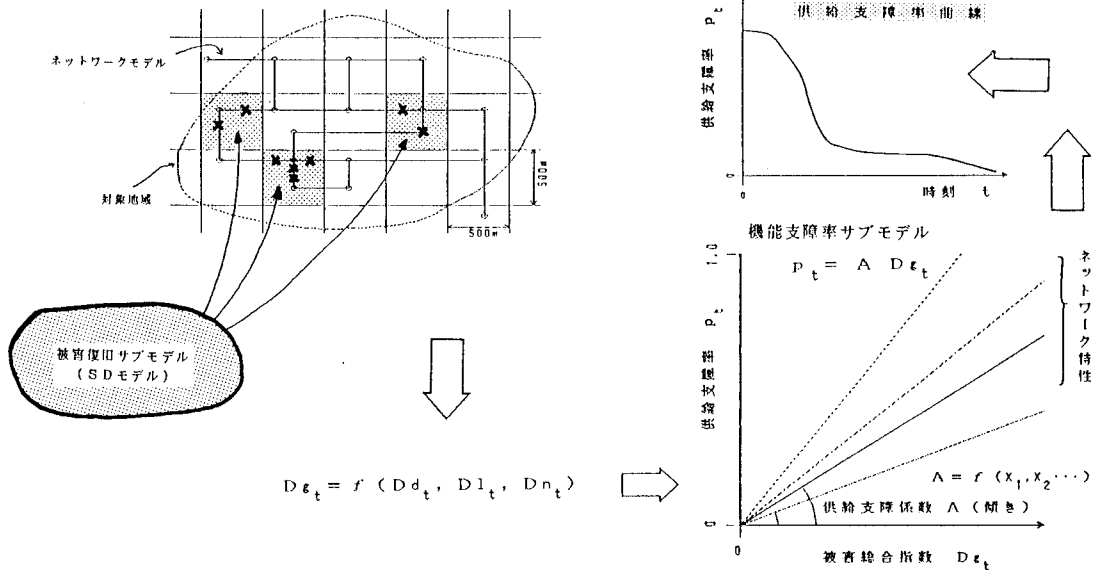


図-1 上水道機能の実用的予測モデルの全体構成

3. 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