

武蔵工業大学 正会員 星谷 勝
産業能率大学 正会員 ○ 大野 春雄
国土建設研究所 正会員 山本 欣弥

1. はじめに

ライフラインシステムは、その機能とシステム構成より相互間に関連性をもっていることから、災害時の被害波及の連鎖性を高めている。ライフライン全体の機能評価や二次被害の防止策などの防災性の検討を進めようと、この連鎖性の周知は非常に重要であると考えられる。既に著者らは、ライフライン機能の相互連鎖性について定性的なモデルを求めた¹⁾。本研究では、この定性的モデルに基づいてシステム間の相互連鎖性を考慮した機能評価モデルを構築し、ライフラインの機能を定量的に求めようと試みた。ここでは、特に重要な役割をもつ電力システムと上水道システムを対象として System Dynamics (S.D.) 手法を用いたモデル全体を表現した。なお、構造的な地震被害の復旧過程は既に発表した確率モデルを用いた。S.D. はシステムに対する入力と出力との動的関係とシミュレーションによって求め、実際システムへ改善策を抽出する方法がある。レベルとストックの2つの量によってシステムの状態を示すことができ、非常に便利である。また、数学的には、微分方程式で記述される。ここでは、簡単な数値計算例によってこの機能評価モデルの検討を行い、モデルの特性、問題点および改善点について考察を加える。

2. 機能評価モデル

ライフラインはエネルギーの製造過程から末端需要家への供給レベルを取り上げると非常に広域なネットワークを構成している。この広域な面的なつながりは各ライフラインごとに互に違いがある。ここで対象とする電力システムと上水道システムでは、特にその差は大きい。この点は地震被害エリアとの対応を考える上で重要になってくる。そこで、モデルの基本構造は幹線網レベルと支線網レベルの大きく2つに分けて対応した。電力システムでは幹線網と発電所から一次変電所、配電用変電所までのネットワークとして、支線網は配電用変電所から末端需要家までとした。上水道システムでは、同様に浄水場から配水施設までの幹線網、配水施設から末端需要家までを支線網とした。なお、ライフラインの供給網は幹線網レベルと単一あるいは複数の支線網レベルによって形成される。このモデルにおける相互連鎖の考慮は、①電力システムから上水道システムへの影響として電力供給機能の低下(停電)による浄水場および配水施設のポンプ動作停止からの上水供給機能の低下(断水)、②上水道システムから電力システムへの影響として上水供給機能低下(断水)による発電所冷却水の不足からの発電機能の低下、である。

機能評価モデルのフローダイアグラムを図-1に示す。各諸量は平常状態を100として、0から100の値とする。モデルの状態方程式は(1)式に示す。(1)式より、E11は電力システムの幹線網の発電量を表わす。この一次変化率は幹線網の発電率A11と供給率A12との差に比例する。E12, E22はそれぞれ幹線網と支線網の供給量を表わし同様である。W11は上水道システム、幹線網の浄水量を表わす。この一次変化率は幹線網の浄水率B11と供給率B12および漏水率B14との差に比例する。W12, W22はそれぞれ幹線網と支線網の供給量を表わし、一次変化率は(1)式で求められる。ここで、A13;

$$\begin{bmatrix} \frac{dE11}{dt} \\ \frac{dE12}{dt} \\ \frac{dE22}{dt} \\ \frac{dW11}{dt} \\ \frac{dW12}{dt} \\ \frac{dW22}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A11(t) \cdot WA(t)/100 - A12(t) \\ A12(t) - A13(t) \\ A22(t) - A23(t) \\ B11(t) - B12(t) \cdot EB2(t)/100 - B14(t) \\ B21(t) \cdot EB2(t)/100 - B13(t) \\ B22(t) - B23(t) \end{bmatrix} \quad (1)$$

電力幹線網の配電率, A22; 支線網の配電率, A23; 電力需要率, B13; 上水道幹線網の配電率, B22; 支線網の配電率, B23; 上水道需要率, WA; 上水道から電力への影響度, EB1, EB2; 電力から上水道への影響度, CE; 給電コントロール, CW; 浄水コントロール, EC; 電力幹線網への供給量E12が支線網に与える影響度, WC; 上水道幹線網への供給量W12が支線網に与える影響度, WL; 漏水コントロール, RR; 漏水係数, なる。ここでは、個々の変数の定式は省略する。RE1, RE2, RW1, RW2 (図-2; 電力, W; 上水, I; 幹線, 2; 支線) は、被害の復旧過程を示すもの。幹線網、支線網に対応するネットワークモデルからの確率モデルによる復旧予測(復旧曲線)である(図-2)。

3. モデルの検討

簡単なネットワークモデルを作成し地震被害復旧時の性能評価と行い性能評価モデルについて検討する。電力と上水道の相互連鎖を考慮したケースをTYPE A, 考慮しないケースをTYPE Bの2ケースについて解析を行った。また、復旧予測では地震発生時刻を0時、復旧周期は地震発生2時間後とし、

発電所の備蓄冷却水は24時間使用できるものとした。この条件でシミュレーションにより求めた復旧曲線を図-2に示す。幹線網への電力供給量E12, 上水供給量W12と支線網への電力供給量E22, 上水供給量W22と性能を示す量として、それぞれ水と性能評価曲線とした。図-3に示す性能評価曲線の比較より考察する。支線網への性能回復は幹線網への性能回復よりも遅くなっている。これは幹線網への性能が支線網への性能に影響を与えるとしたモデルの特徴を示している。次に、TYPE AとTYPE Bの性能回復の差は2システム間の相互連鎖性を示すものと言える。上水道システムの性能が電力システムの性能に影響する度合よりも電力システムの性能が上水道システムへの性能に与える影響の方が大きいという実現象に合った状況とよく表現している。

4. おわりに 現時点での性能評価モデルはあくまでも実現象の傾向とよりよく反映できるかという点に着目しており、このモデルを用いて事例研究を行うにはまだ、いろいろの問題がある。特にシステム間の影響係数EB1, EB2, WAや幹線網から支線網への影響度となる支線網の地域特性を示す係数EC, WCなどの係数決定の問題が上げられる。

最後に、本研究を進めるにあたり(財)トヨタ財団へ研究助成に対し感謝いたします。

参考文献

- 1) 足谷・大野・山下:「ふたつの理論における性能の相互影響度係数の検討」土木論文集, 第34巻/1-1, 1984.4.
- 2) 足谷・宮崎:「上水道システムの地震被害復旧の簡略予測」土木論文集, 第33巻, 1983.3.

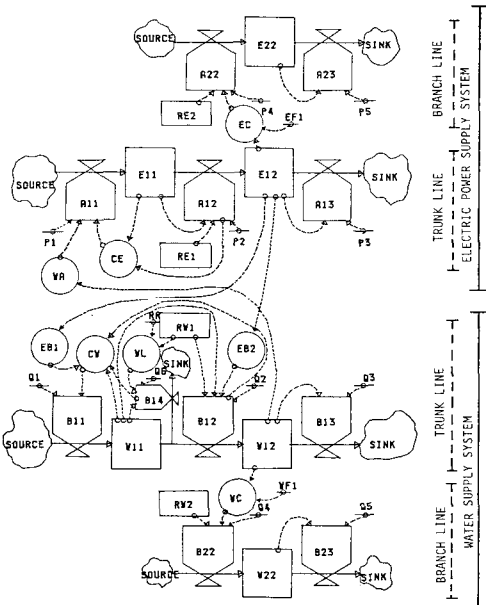


図-1 性能評価モデル(電力システムと上水道システムを対象)

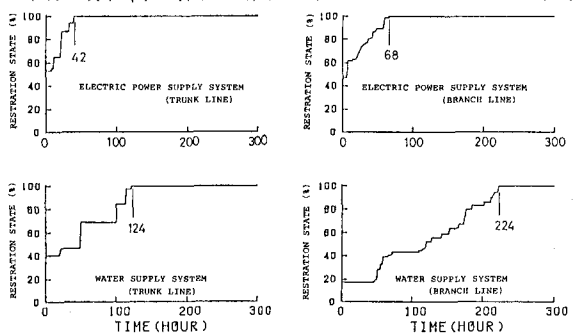


図-2 幹線網と支線網のネットワークモデル復旧曲線

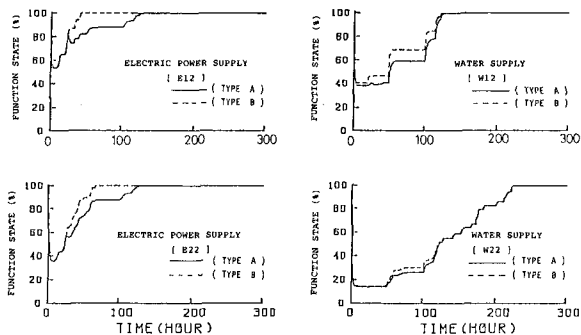


図-3 性能評価曲線の比較 TYPE A: 相互連鎖性を考慮した場合
TYPE B: “と考慮しない場合