

(137) 実務者の経験的判断を取り入れたライフライン機能的支障予測方法

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
武蔵工業大学 学生員 國井 芳直

1. はじめに

現在都市地区において、人口、行財政機能、その他中枢施設などが高度に集積するに至り都市機能を維持するためのライフラインシステムも高密度化し、多様化している。昭和61年3月神奈川県地方における降雪により電力施設が被害を受け電力システムの停止のみならず上水道システムや通信システム等の他のライフラインシステムにも多大な影響を与え市民生活に重大な支障をきたした。このようにライフラインシステムが地震等により大規模な被害を受けると社会的、経済的影響は計り知れないものがある。このような現状においてライフラインシステムの地震時における構造的、機能的信頼性を検討することは社会的、経済的に有益なことと考えられる。ライフラインの機能的支障に関する研究は過去に多数なされているが、他システムとの相互連鎖性等を考慮するために、モデル自体も複雑化し、一般に機能的支障の予測を行う上で多くのデータや計算時間を必要とする。モデル化を行なうに当たり、想定される状況を限定したり多くの仮定を取り入れており得られた結果が必ずしも適切な予測をしているとは限らないなど、実際に行政担当者や事業者を利用されにくい面を持っている。そこで本研究では水道事業実務者にアンケートを行ない経験的知識を取り入れることにより数値的な取扱に向かない情報から得られた機能的支障想定と水道管網図より作成したネットワークモデルから得られる情報(ここで示すノード数、リンク数、 n 示数など)との関係を多変量解析法を用いて導き、震後の上水道システムに関して実務者レベルでも逐次対応の機能的支障予測が容易に行えるよう簡略化を試みた。

2. 本モデルの意義

今までの機能的支障予測モデル^{1), 2)}は都市の集中化、複雑化にともないライフラインシステムの相互連鎖性、ネットワークの連結性等を考慮するためモデル自体も複雑化し、また、物理的制約(パソコン上での取扱のためメモリーなどの限界がある)を受けるために、多くの仮定を設けるなどを行っている。実際に解析を行おうとすると各システムについて多種多量のデータを必要とし、計算時間も長く(パソコンレベル)なるため行政担当者や意志決定者には取扱いが複雑なものとなっている。また得られた結果が実際の現象を適切に予測しているとは限らない。本研究では1つのライフラインシステムに注目し実務者(配水計画などの担当者)の経験的な知識を基にした判断をアンケートにより集約し、実際のライフラインシステムの状況と遊離しないようなモデルを目指す。この機能的支障予測モデルを用いることにより防災計画の一指標である地震時のライフラインシステムの機能的支障を把握することができる。また震災後の復旧対策においても逐次情報を考慮できる復旧戦略に関する検討が可能となると判断できる。

3. 研究方法

神奈川県企業庁水道局が管轄する神奈川県下13の営業所の内、世帯数が少なくネットワークが小規模な箱根営業所を除く12営業所を対象として、以下に示す項目の分析を行った。

◇上水道管網構造計測：管網図をもとに $\phi 400 \sim 1000 \text{mm}$ を対象とするネットワークモデルを作成した。図A～Lにネットワーク図を示す。このモデルを無向性でノードやリンクに重みを持たないトポロジグラフとみなして構造計測を行い上水道システムにおけるネットワークの構造に関する情報を得る。表1に得られたデータを示す。各計測項目について以下に説明する。

- ・ノード数：ノードとは浄水場、配水池、管路網の分岐点、端点等である。
- ・リンク数：リンクとはノード間を結ぶ管路をさす。

- ・ n 示数 : 全ノードに対して特殊なノードの占める割合である。

$$n \text{ 示数} = \frac{(\text{浄水場} + \text{配水池}) \text{ の数}}{\text{ノード数}}$$

- ・ 閉路数 μ : ノードとリンクにより構成される閉路の中で最小構成単位の閉路の数

$$\mu = m - n + p$$

m : リンク数 n : ノード数 p : グラフ数

- ・ 階数 : ネットワーク中の最速ノード間の最短経路における通過リンク数

- ・ α 示数 : 完全グラフが持つ閉路に対する閉路数の比

$$\alpha \text{ 示数} = \frac{m - n + p}{\frac{n(n-1)}{2} - (n-1)}$$

- ・ γ 示数 : 完全グラフが持つリンク数に対する比

$$\gamma \text{ 示数} = \frac{m}{\frac{n(n-1)}{2}}$$

なお、示数³⁾は計量地理学の α 示数、 γ 示数等で慣用的に用いられている用語である。また、浄水場、配水池等は対象とする営業所管内に存在するもののみである。

◇実務者に対する機能的支障想定アンケートおよび結果： $\phi 150\text{mm}$ 以上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被害を与えた。各営業所管内の被害件数を $\phi 150\text{mm}$ 以上の総管延長で割ったものを被害率(件/km)とした。水道管の被害により供給を受けられなくなる世帯数を水道事業実務者の経験的知識をもとにした判断により求める。このとき供給支障世帯数を平常時の供給世帯数で割ったものを支障率(%)とする。各営業所ごとに構造的被害率(件/Km)と機能的支障率(%)の関係を図A～Lのように回帰直線を求め、この直線の傾き($\tan \theta$)を営業所管内の機能支障に関する特性値とする。各営業所ごとにアンケートより得られた結果を表2に示す。

◇簡略モデル化：上水道管網構造計測により得られた各項目から変数選択を行い、それを説明変数とし機能的支障に関するアンケートの結果である傾き($\tan \theta$)を目的変数として重回帰分析を行い回帰式を得る。

4. 機能支障予測の簡略化モデル

ネットワークモデルの構造計測により得られた諸値とアンケートで求めた各営業所の構造的被害率と機能的支障率の関係を表す傾き($\tan \theta$)との関係を求めるために(1)式に示す重回帰モデルを設定し、パラメータ推定を行った。(2)式に得られた簡略化モデル式を示す。表2に予測結果をまとめた。

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 \dots \dots \dots (1) \quad \therefore Y: \text{傾き}(\tan \theta), \quad X_1: \text{リンク数}, \quad X_2: n \text{ 示数}$$

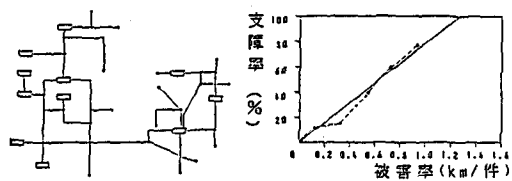
$$\hat{Y} = 0.872 - 0.006 X_1 + 0.486 X_2 \dots \dots (2)$$

$$\text{寄与率 } R^2 = 0.759 \quad \text{分散比 } F_0 = 14.17 > F_{0.01}(0.01) = 8.20$$

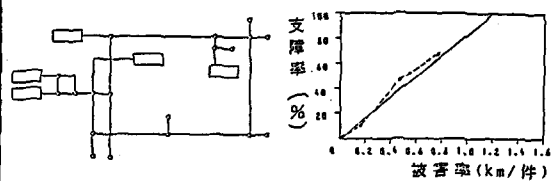
この簡略化モデル式はn示数が大きくなると傾き($\tan \theta$)も大きくなり逆にリンク数が多くなると傾きが小さくなる。これは、n示数が浄水場や配水池等の割合を示すことから、機能支障を起こす可能性を示す要因であり、リンク数はシステムの冗長化傾向を示す要因と考えられることから、このモデル式は工学的判断か

表1 ネットワーク構造計測結果

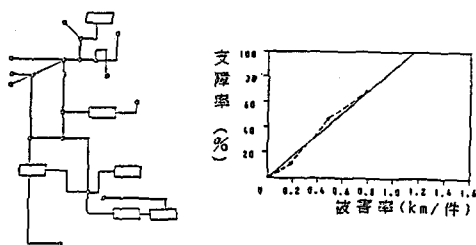
営業所	地域	ノード数	リンク数	n 示数	閉路数	階数	α 示数	γ 示数
厚木	A	39	40	0.282	2	14	0.00285	0.05398
伊勢原	B	24	25	0.208	2	8	0.00791	0.09058
鎌倉	C	24	25	0.250	2	9	0.00791	0.09058
相模原	D	28	26	0.071	0	9	0.0	0.06878
相模原南	E	22	24	0.0	3	7	0.01429	0.10390
湘南台	F	25	26	0.0	2	10	0.00725	0.08667
逗子	G	21	23	0.381	3	8	0.01579	0.10952
茅ヶ崎	H	42	45	0.119	4	16	0.00488	0.05222
平塚	I	9	8	0.444	0	5	0.0	0.22222
津久井	J	48	56	0.083	9	13	0.00833	0.04965
藤沢	K	46	54	0.152	9	12	0.00909	0.05217
大和	L	37	40	0.051	4	11	0.00635	0.08006



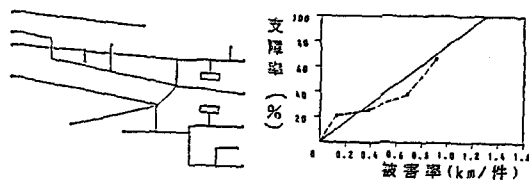
図A



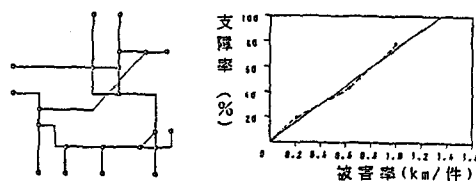
図B



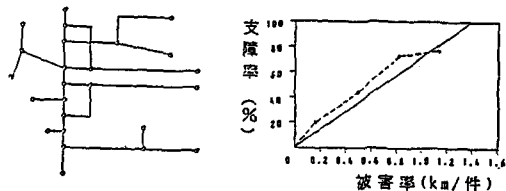
図C



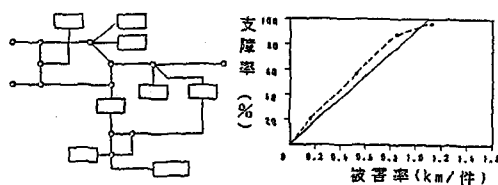
図D



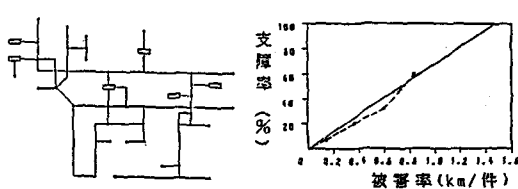
図E



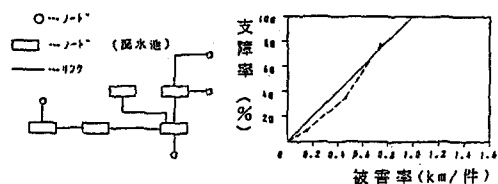
図F



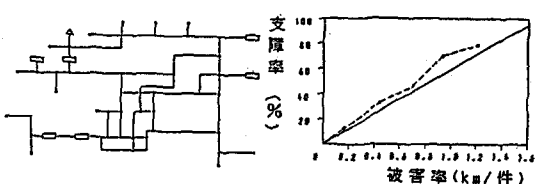
図G



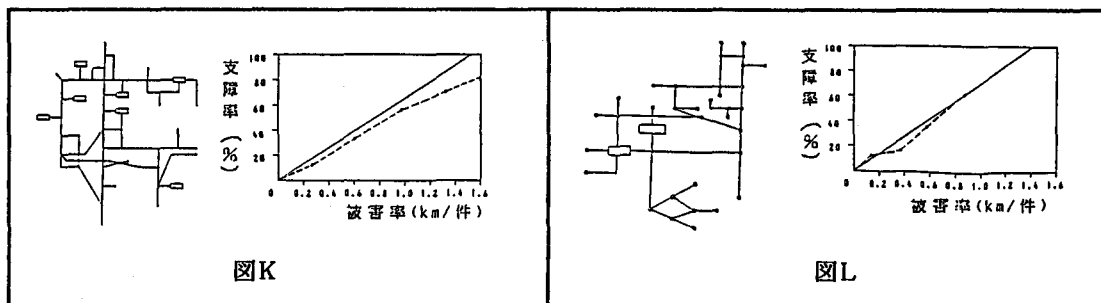
図H



図I



図J



らも妥当であると思われる。また、表1からn示数が大きい営業所は丘陵地など凹凸の激しい地形であり多くの配水池より給水され地域であり、n示数が小さい営業所は平地になり少数の配水池より給水がなされる地域である。リンク数が大きいほど平地となり小さくなるほど丘陵地となる。このように傾き($\tan \theta$)は地形、地理的な要因に大きく影響されることがわかる。ここでは予測された傾き y を用い被害率から機能的支障率を求めることになる。

表2 アンケート結果による傾き($\tan \theta$)および予測傾き

営業所	地域	世帯数	計測傾き	予測傾き	残差
厚木	A	77239	0.81	0.78	0.03
伊勢原	B	23148	0.90	0.83	0.07
鎌倉	C	60546	0.86	0.85	0.11
相模原	D	81393	0.86	0.76	0.10
相模原南	E	72870	0.72	0.73	0.01
湘南台	F	30277	0.73	0.72	0.01
逗子	G	31000	0.88	0.92	0.01
茅ヶ崎	H	71200	0.66	0.67	0.01
津久井	I	14189	1.01	1.04	0.03
平塚	J	91611	0.68	0.59	0.09
藤沢	K	79398	0.50	0.64	0.14
大和	L	81393	0.69	0.67	0.02

5. 簡略化モデルの適用

本モデルを実際に適用するにあたり以下のような条件が必要となる。

- ①対象都市は世帯数 2万戸以上の小・中規模の都市とする。
- ②上水道システムとしては浄水場から配水施設($\phi 150\text{mm}$ までの配水管)を対象とする。
- ③地震の規模は、 $\phi 400\text{mm}$ 以上の水道管に被害が起こる程度とし、地震による被害は管路にのみ起こり浄水場や配水池等のノード施設には起こらないものとする。
- ④地震による構造的被害については既知とする。
- ⑤上水道システムに関する情報として水道管網図($\phi 400\text{mm}$ 以上)が存在する。
- ⑥今回は電力システム等他のライフラインシステムとの相互連鎖性による影響を考慮しない。

6. まとめ

本研究はアンケートによる実務者の経験的知識と管網図より得られる情報との関係を調べ機能的支障予測の簡略化モデルを構築した。このモデルを利用することにより少種類、少数のデータで機能的支障予測が現場でも容易に行える。電力システムの被害による影響を考慮するには電力を使用するポンプ施設等もノード施設として加え更に検討を加えれば電力システムの影響も考慮できるモデルになると考える。神奈川県においても文献 4) で簡易的な機能的支障予測を試みているが、本研究での結果と多少異なり神奈川県の方が傾きが大きめに出ている。これは上水道システムが構造的被害を受けたときの機能的支障に関する定義の違いによるものとする。過去の機能的支障予測モデルは、数式による取扱となるため多くの仮定が入り込み、そのことによりモデルより得られた結果の妥当性も危くしている。そこで数値的表現の難しいエキスパートの経験的知識を取り入れることにより、数値的モデルで脱落した情報を考慮しつつ評価できるようになる。本研究の視点は、復旧対策において現場の状況を逐次組み込んだ復旧戦略(リアルタイム復旧戦略)の必要性から実務者(エキスパート)の経験的判断を基礎とした簡略化機能的支障予測モデルの作成を試みた。今後この様な方向で検討を進めていきたい。

【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，土木学会論文集投稿中
- 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
- 3) 奥野・高森：点と線の世界-ネットワーク分析-，三共出版
- 4) 神奈川県地震被害想定調査報告書(ライフライン)，神奈川県，昭和61年 3月