

上水道における供給支障率の簡易予測

倉敷市役所 正員 ○請川 健一
 福山大学大学院 岡野 誠吾
 福山大学工学部 正員 千葉 利晃

1. まえがき

上水道の供給支障率は管網解析などの複雑な数値計算を組み込んだものが多いが、星谷らは水道実務経験者の経験的知識を利用した簡易な予測モデルを提案している^{1)・2)}。このモデルは管網解析のような複雑な数値解析を用いないので非常にシンプルなモデルとなっている。しかしながら、実務経験者へのアンケート調査結果（供給支障率あるいは供給率）を用いてモデル化するため、その妥当性は実務経験者の解答に依存する。地震多発地帯の水道局を除き多くの水道局の場合、供給支障率の予測そのものが大変な作業となる。しかしながら一度このモデルを構築しておけば、時々刻々の供給支障率が瞬時に求められるため、被害復旧過程のシミュレーションや防災計画立案あるいは被害復旧対策などに大いに役立つ。本研究は、この予測モデルを福山市上水道管網に適用し、モデル適用上の問題点を検討したものである。

2. 復旧予測モデルの概要

星谷らによって提案されている実用的復旧予測モデルは、物理的被害が直接的な修復作業によって減少して行く過程を求める被害復旧サブモデルと、物理的被害から供給機能の支障率を求める供給支障率予測サブモデルより構成されている。後者の供給支障率予測サブモデルは、次式により表わされている。

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

ここで、 F_t は供給支障率、 $D1_t$ は物理的被害率、 $D2_t$ は被害の広がり具合を表わす被害分散度、および $D3_t$ は重要施設の被害率を表わす。式(1)の偏回帰係数 b_i は、被害状況を与えたシステムに対する水道実務経験者(エキスパート)への機能支障に関するアンケート調査結果をデータとし、重回帰分析を行なって決定する。したがって、ネットワークの連結性などの数値解析的な方法を避け、直接式(1)より供給支障率を求めることができる簡略化モデルとなっている。また、上水道管網は管路あるいは節点が存在するメッシュ（オーバーレイメッシュ）で表現する簡略化管網システムを使用している。詳細は文献(1)、(2)を参照して頂きたい。

3. 福山市上水道システムへの適用例

今回の研究では管網解析を行ない、その解析結果をエキスパートの予測結果とみなして以下の解析を行っている。管径 250mm以上の管網上に被害を与へ、これらの被害パターンごとの供給支障率を管網解析を行って求めた。ここで、供給支障率とは被害時の供給支障戸数の平常時供給戸数との比である。また、供給支障戸数は節点の平常時基本圧力(m)から評価圧力(m)を差し引いた影響度(m)で評価している。基本圧力とは、{平常時の節点水位(m)－節点の地盤高(m)}であり、評価圧力とは{被害時の節点水位(m)－節点の地盤高(m)}である。この各節点の影響度(m)を表-1に示すように、その節点の全給水戸数の給水がカットされるか、半分の戸数が影響を受けるとみなすか、あるいは平常時と同じく水が供給され全く影響がないかに分けて供給支障戸数を求めている。

先に報告した解析³⁾では、福山市上水道管網を主に管径 250mm以上の送配水管で構成される簡易管網モデルで表わして管網解析を行っている。しかしながら、管網のモデル化そのものが難しく、全体を精度良く表現する管網モデルを作成するのは困難である。同じ

表-1 節点の影響度(節点の供給支障戸数)

節点種別	影響度 I_s (m)	各節点での影響給水戸数
一般節点	$I_s \geq 20$	影響なし
	$10 \leq I_s < 20$	1/2の戸数が影響を受ける
	$I_s < 10$	全戸数が影響を受ける
加圧節点	$I_s \geq 5$	影響なし
	$0 \leq I_s < 5$	1/2の戸数が影響を受ける
	$I_s < 0$	全戸数が影響を受ける

節点あるいは管路に被害を与へ全管網を用いて管網解析を行なった結果と、先に報告した上水道の簡易管網モデルを用いて行なった管網解析結果を比較すると、表-2のようになる。この表よりわかるように、全管網を用いた解析結果と簡易モデルを用いた結果ではかなり支障率に差がある場合がある。これは、管網は非常に複雑に連結されたネットワーク構造を

表-2 管網モデルによる支障率(被害率)の比較

No.	被害 パターン	被害件数 通常箇所	被害件数 重要箇所	被害率 全体モデル	被害率 簡易モデル
1	AF-1	1	0	0.0024	0.0030
2	AF-5	0	1	0.0011	0.0004
3	AF-6	1	0	0.0066	0.0075
4	BF-3	2	0	0.0088	0.0071
5	BF-4	2	0	0.0011	0.0
6	BF-5	1	1	0.0584	0.0346
7	BF-6	2	0	0.0035	0.0047
8	CF-1	3	0	0.0011	0.0
9	CF-2	2	1	0.0	0.0015
10	CF-4	3	0	0.0088	0.0071
11	CF-5	3	0	0.0027	0.0037
12	DF-1	4	1	0.1863	0.1938
13	DF-2	2	3	0.0578	0.0244
14	DF-6	3	2	0.0440	0.0112
15	EF-4	4	3	0.0471	0.0175
16	EF-5	7	0	0.0052	0.0169
17	EF-6	3	4	0.2353	0.1418
18	FF-6	6	4	0.2154	0.2289
19	FF-7	8	2	0.0711	0.1026
20	FF-8	5	4	0.0576	0.0609
21	GF-5	9	6	0.3153	0.1372
22	GF-6	11	4	0.4957	0.4868
23	HF-7	13	7	0.3206	0.2392
24	HF-8	12	7	0.4464	0.3867
25	HF-9	15	5	0.5538	0.5320
26	IF-1	19	6	0.1152	0.4495
27	IF-2	17	8	0.5541	0.4086

しているため、単に管径の大きな管のみで管網を表現できないことを示している。したがって、今回は全管網を用いて再度管網計算を行なって式(2)に示す関係式を求めた。29種類の被害パターンを用いており、重相関係数は0.9328であった。

$$F_t = -0.053 + 4.293 \cdot D1_t + 8.888 \cdot D2_t + 2.200 \cdot D3_t \quad (2)$$

一方、簡易管網システムの場合には、

$$F_t = -0.029 + 3.916 \cdot D1_t + 2.329 \cdot D2_t + 0.536 \cdot D3_t \quad (3)$$

であり、重相関係数は0.9061であった。

式(3)は25種類のデータを用いて推定しており、使用した被害パターンにも若干の違いはあるが、同一の被害パターンではD1、D2、D3ともに同一の値となるので、式(2)の結果の方が式(3)によるものより、

被害分散度D2および重要施設被害率D3の影響が大きく出ていることがわかる。また、式(3)のD3の偏回帰係数は0.536と小さくなっているが、D3は重要施設の被害率を表わしているため、全体の管網を用いた式(2)の方が、より妥当性があるものと思われる。ところで、式(2)および式(3)を求める重回帰分析とともに、偏相関係数 b_1 、 b_2 あるいは b_3 が負になったり、重相関係数が低かったりして、良好な重回帰分析が行われない場合がある。特にある点に被害を与えるとその先には水が供給されない、すなわち迂回路が全く存在しない直列結合の管路などに被害があるなど、被害形態が大きく異なる被害パターンが混入されている場合には、重相関係数は非常に小さくなる。また、今回の想定システムでは管路等の重要度の分類を大きく2つに分けているが、実際の場合には同じ管径であっても管路等によって重要度が大きく異なり、単純に2つに分けることに無理があろう。したがって、直列結合成分等は削除節点の給水戸数を別途考慮したり、重要度の分類をもう少し実状にあうように設定するなどの改良が必要であらう。

4. あとがき

今回は、福山市上水道管網についてのみ解析を行なった。他の都市での上水道管網においても検討を行ない、より一般性のある予測式を求める必要がある。また、実際の被害では、被害の程度も問題になろう。今回の研究では、1つの被害はその節点あるいは管路の100%の断水を意味するが、実際の被害では、不完全ながらも使用に耐える程度の極軽微な被害から、今回仮定しているような完全なる被害(100%断水)まで色々である。復旧予測を行う場合、このような被害の程度をどのように考慮すべきか、またどの様に復旧させていくべきか、つまり、適切な復旧戦略をどう設定するかについての検討も今後必要であらう。本研究の機会を与えて頂いた武蔵工業大学星谷勝教授、管網解析プログラムならびにデータを提供頂いた福山市水道局の丸山高司氏に感謝致します。

【参考文献】 1) Hoshiya, et al., Proc. of ICOSAR'89, Vol.1, pp.685-692 2) 大野、星谷、土木学会論文集、No.422/I-14、1990年10月、pp.353-360 3) 千葉、請川、中四支部研究発表会、1990年5月、pp.60-61