

冗長性指数を用いた上水道ネットワークの復旧戦略の検討

攻玉社工科短期大学 正会員 山本 欣弥
鹿島技術研究所 正会員 永田 茂

1. はじめに

都市施設の耐震性を高くして、被害の発生を最小限に食い止めることは重要な対策ではあるが、技術的にも経済的にも限界がある。1995年の兵庫県南部地震では、大きな被害を受けた水道施設が、完全復旧に約2.5ヶ月を要し^{1),2)}、住民に多大な影響を与えている。住民への影響を軽減するためには、停止した機能を速やかに回復することが重要である。地震による被害を全て予測することは困難であるが、あらかじめ適切な復旧戦略を検討しておくことは、地震に対する備えとして必要である。

上水道システムの復旧には、ネットワーク形状および被害特性、地域特性、復旧資機材および作業人員等のさまざまな要因が影響する。さらに、地震は不確定要因を持つため、確率事象として取り扱う必要がある。そこで、本研究では、一つの考えとして冗長性指数³⁾に着目し、ネットワーク形状および被害特性を考慮した復旧戦略を検討する。

2. 冗長性指数を用いた復旧の考え方

復旧戦略の検討を行うために上水道システムを解析用ネットワークにモデル化する。主要な配水管等をリンクとし、浄水場、配水池等のソースを供給ノード、下層の小口径配水管路網を簡略化して給水量あるいは給水人口を持つ受給ノードとする。冗長性指数は、受給ノードごとに算出する。

冗長性指数は、情報エントロピーを用いて次式で定義される³⁾。

$$R_E = H_{D|D} / \log_2(m)$$

$$= \frac{\{-\sum_{i=1}^{m-1} P_{D_i|D} \log_2 P_{D_i|D} - P_{D_F|D} \log_2 P_{D_F|D}\}}{\log_2(m)} \quad (1)$$

ここで、分子は、被害の発生事象 D の条件下で、少なくとも1本以上のリンクが破壊する事象の部分集合の条件付情報エントロピーである。また、分母は、

$H_{D|D}$ の最大値である。したがって、 R_E は、0 から 1 の間の値をとるように基準化されており、その値が0のとき冗長性が最小となり、1のとき最大になる。

冗長性が大きいということは、ネットワークのリンクが被害を受けても、供給ノードと受給ノードとがリンクによって連結されている度合いが大きいことを意味する。このことから、冗長性指数の大きい受給ノードにつながるリンクを優先して復旧した場合、効率的に復旧作業が行えるものと考えられる。

3. 計算例

神戸市水道局の低層配水地区の一つを解析対象として⁴⁾、主要配水管路網をモデル化して数値計算を行う(図-1、表-1)。数値計算には、次の仮定を設ける。同時に複数のリンクの復旧作業は行わない。

配水池側から順次復旧する。受給ノードは供給ノードと連結されれば所定の給水量を得られる。

数値計算例(図-2)は、修理する被害箇所数が最小になるようにリンクを選択し、復旧する戦略である。数値計算例(図-3)は、冗長性指数の値が大きいノードを優先して復旧する戦略である。リンクの復旧順序は、それぞれ図中に示す。

計算結果より求めた復旧曲線を、図-4に示す。横軸は、数値計算例 1 ですべてのノードが配水池と連結した日数を基準とした復旧率である。縦軸は、上水道システム全体の給水量を基準とした給水率である。数値計算例 1 は、給水率が復旧評価の目安として描いた破線に沿って軽いS時曲線を描き、ほぼ一様に上昇している。一方、数値計算例 2 は、上に凸状の曲線を描いており、復旧の中期段階での給水率の立ち上がりが早い。しかし、給水率が85%を超えるあたりから、数値計算例 1 の値に越されて、完全復旧(給水率100%)までに時間がかかっている。しかし、給水率90%程度までを復旧の評価対象とするならば、数値計算例 2 が優れているといえる。

キーワード 地震, 上水道, ネットワーク, 復旧, 冗長性指数

連絡先 〒141-0031 東京都品川区西五反田5-14-2 攻玉社工科短期大学 TEL 03-3493-5671



図 - 1 解析対象の上水道ネットワークの例



図 - 2 数値計算例

表 - 1 水道ネットワークのノード・リンクデータ

リンク番号	ノード S	ノード E	平均被害箇所数	距離 (km)	ノード番号	給水量 (m ³ /日)
77	54	55	0.362029638	0.780	54	171
78	54	56	1.08798853	1.358	55	599
79	55	58	0.104091851	0.269	56	314
80	55	57	0.179393771	0.508	57	314
81	58	59	0.228430312	0.610	58	456
83	58	61	0.936726194	0.411	59	399
84	59	61	0.433105177	0.728	60	200
85	59	62	0.213072912	0.557	61	285
87	57	60	0.162307644	0.270	62	570
88	60	61	0.427988342	0.607	63	257
89	61	65	1.1574336	1.246	64	314
90	61	63	1.082899044	0.359	65	257
91	63	64	0.186265124	0.223	66	285
92	62	64	0.675412018	0.788	67	200
93	63	66	0.784526693	0.911	68	570
94	64	67	0.687310767	0.652	69	228
95	62	68	2.113159629	1.473	70	570
96	65	66	0.157897257	0.180	71	228
97	66	67	0.539731762	0.613	72	599
98	67	68	0.627218751	0.403	73	599
99	68	69	1.809075172	1.744	74	570
100	66	69	0.838869185	1.014		
101	60	70	0.329718923	0.480		7,670
102	70	71	0.468581639	0.532		
103	65	71	0.409956928	0.443		
104	71	72	0.509888841	0.560		
105	56	57	0.90203797	0.701		
106	69	72	0.258225481	0.311		
107	72	74	0.297607309	0.311		
109	56	73	0.393427242	0.682		
110	70	73	0.452056957	0.789		
111	73	74	0.616629457	0.810		
				21.323		



図 - 3 数値計算例

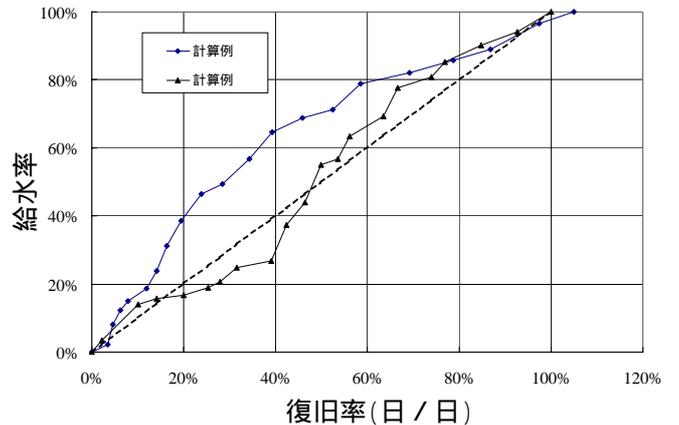


図 - 4 復旧曲線

4. おわりに

上水道システムの復旧戦略と評価方法について検討を行うための試案として、2題の数値計算例を行った。その結果、単純に、最短経路に沿って行う復旧が、必ずしも最適ではないことがわかった。今後は、管路の復旧率、作業人員・資機材の最適配置、復旧作業場所間の移動等の問題を考慮した復旧戦略と、住民の感じる迷惑度等を加味した評価方法の検討を行う予定である。

最後に、解析モデルの作成には神戸市水道局より提供していただいた資料を用いている。また、本研

究は、文部科学省が推進している大都市大震災軽減化特別プロジェクトの一環として行ったものである。

参考文献 1) 社団法人日本水道協会：1995年兵庫県南部地震による水道管路の被害と分析，平成8年5月。2) 神戸市水道局：阪神・淡路大震災 水道復旧の記録，1996.2。3) 山本欣弥，星谷勝，大野春雄：冗長性指数によるライフラインシステムの地震時リスク解析，土木学会論文集，No.682 / -56，pp.373～382，2001年7月。4) 神戸市水道局：神戸市水道一般平面図，平成12年（2000年）4月作成