

武蔵工業大学 土木工学科 正員 星谷 勝

1. 目的 上水道埋設管システムは過去の地震で多大の被害を受けた。個々の被害は軽微であっても、被害箇所・数が多数であるか、または数箇所であっても重要な管路に集中していると長期間にわたって機能低下をもたらすことになる。そこで事前に被害予測をおこない、復旧に関する戦略を確立しておくことが望ましい。この報告は地震災害に際して実行されると思われる幾つかの復旧戦略を想定し、その基本戦略にもとづいて復旧作業が実行された場合のシステムの復旧過程を予測したものである。復旧には不確定要因を伴うものであるから、解析は昨年⁽¹⁾の大会で発表した復旧予測理論を併用している。事例研究では東京都区部の上水道システムの復旧予測を行った。

2. 復旧戦略 1964年の新潟地震、1978年の宮城県沖地震における上水道システムの地震災害の復旧状況を調査してみると、事前に復旧計画があつてそれにしたがつて復旧作業が行われたのではなく、逐次現状の被害と復旧途上のシステムの状態を把握した上で戦略方針を立てながら給水の回復をはかつていったのである。しかし過去には小規模だった都市も中規模、大規模に成長し、それに伴つて生活様式が多様化し、災害に対する住民の意識も高まってきた。したがつて基幹構造であるライフライン施設の災害復旧も事前に最善を期して計画しておくことが要求されると思われる。ここでは復旧戦略方式として(1)集中給水戦略(PR-I)、(2)拡散給水戦略(PR-II)、(3)現状直視戦略(PR-III)を考えた。

(1) PR-I戦略は給水人口の大きなノードや医療機関の集中している地域のノード等を重要拠点に選定して、これらのノードと水源とが直結している経路を啓開路線として最初に復旧させる戦略である。ここでは啓開路線を見出す1手法としてOR手法のウォーシャルフロイド法⁽²⁾を適用して事例研究を解析する。

(2) PR-II戦略は(1)と正反対の考えに基づいている。すなわち地震災害に対する住民意識を重視した戦略であり、限られた水量をできるだけ多くの住民へ給水できるように拡散給水を基本にした復旧戦略である。したがってネットワークを構成する全てのノードがいずれかの路線で水源と連結されるように復旧計画を立てる戦略である。手法としてはMinimum Tree法⁽²⁾を適用した。

(3) PR-III戦略は(1)、(2)の戦略と異なり、地震発生後の被害状況を判断しながら復旧作業を進める戦略である。従来の復旧が現状の被害と断水戸数の解消率とのかみあいでの都度復旧作業が行われてきたとすれば、PR-IIIはいままでの復旧戦略にほぼ近い戦略といえる。この戦略は事前計画によらず、被害状態の回復具合を直視して次の復旧箇所は最も速く、できるだけ多くの水を供給できると考えられるリンクを復旧している方式である。

3. 事例研究 東京都(区部)上水道システムの復旧予測

上水道システムは地震発生時に相当数の被害が発生すると予想される送・配水管を対象としてモデル化し、浄水施設、ポンプ場等のノードの被害は生じないものとした。 $\phi 800\text{mm}$ ～ $\phi 2700\text{mm}$ の送水管、配水幹線をリンクとし、それ以下の $\phi 500\text{mm}$ ～ $\phi 800\text{mm}$ の配水本管はサブシステムとした。また、各浄水場をソースとし、それぞれの配水系を設定し図1のモデルを採用した。また、各ノードに連結したサブシステムの配水本管が各需要家へ水を供給すると考え、サブシステム自体が給水人口を持つと仮定して各々のサブシステムの給水区域を設定した。表1、2はリンク寸法およびサブシステムにはりつく給水人口を示す。初期被害の予測は東京都防災会議の報告書⁽¹⁾にしたがって震度5程度の地震動による平均被害率を設定し、リンクとサブシステムの被害箇所数は 1km^2 メッシュの地盤危険度マップと液状化危険度マップからの補正係数を用いて平均被害率を算出した。復旧予測に

は作業人員、管径、被害箇所数、復旧の困難度、復旧作業の基本パターン（順次復旧または同時復旧⁽¹⁾）の選択などを考慮して復旧率を決定した。そして各リンクおよびサブシステムの復旧時間が復旧率一定の指数分布であると仮定した。復旧率はその逆数である期待復旧日数が被害件数に比例し、従事する作業班の数に反比例するとした。順次復旧と同時復旧では1つのリンクの修復に作業できる作業員数が異なることを考慮している。

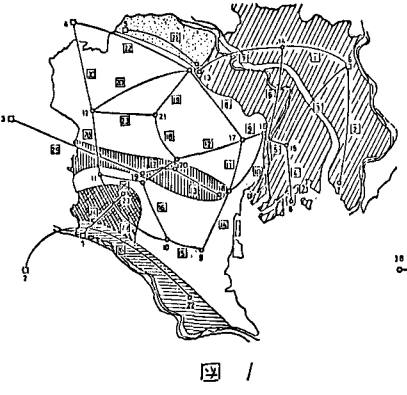


表 1

Link	Diameter (mm)	Length (KM)
1	2200	9.47
2	1750 - 1800	10.79
3	1800 - 1900	10.42
4	1900 - 1950	6.53
5	2000	2.80
6	1150 - 1300	19.15
7	1250 - 1300	10.15
8	2200	8.48
9	2000	2.15
10	1000	7.35
11	1400	5.10
12	1500 - 2000	7.15
13	1100	6.49
14	1350	6.75
15	1800 - 2000	4.80
16	1800	5.15
17	2000	4.15
18	1500	6.60
19	1100 - 1200	4.00
20	1800 - 1900	11.95
21	1800	10.30
22	2200	14.65
23	2000	10.20
24	1600 - 1700	14.25
25	1800 - 2000	4.15
26	1350 - 1800	6.65
27	2000 - 2200	4.15
28	2200	6.10
29	1600 - 1972	12.40
30	2200	11.80

表 2

Sub System	Length (KM)	Water Supplying Population (Persons)
1	0.00	0
2	0.00	0
3	0.00	0
4	0.00	0
5	0.00	0
6	0.00	0
7	47.00	63253
8	13.00	69452
9	15.15	32032
10	30.10	348352
11	19.25	144610
12	66.78	677566
13	63.44	964191
14	50.87	732590
15	49.58	1011197
16	48.38	1003054
17	19.14	565495
18	28.35	911824
19	63.44	964191
20	27.79	543989
21	40.96	635953
22	37.80	452222
23	43.05	561920

復旧戦略PR-I ではノード10, 13, 16, 18, 22, 23 を重要ノードと選定し、浄水場とそれらを結ぶ幹線路を決定した。この場合、重要ノードは給水人口の大きいノード、または給水系に分解したときに直列システムになる場合の末端ノードなどとした。

システムの復旧は給水回復人口が全給水人口に対して占める比率で表わし復旧過程A(α)を予測した。図2は基本パターン（順次復旧）Aを適用したときの戦略PR-I, IIとPR-IIIによる復旧曲線の期待値を比較したものである。同時に基本パターン（同時復旧）Bを用いたときの復旧曲線を示したのが図3である。両図から、まず復旧の初期においてはPR-IIIの戦略がPR-I, IIに比べて復旧速度が速い。これはPR-IIIが現状の被害を知った上で次に取るべき復旧作業の中で最も機能評価が向上するように復旧作業を行うからである。復旧の中期から末期にかけてはPR-IとPR-IIが優位に立っているが、システムの特徴やネットワークの形状などを考慮した戦略すなわち事前計画にもとづくものであるからであろう。またPR-IIに比べて常にPR-Iの復旧が遅れているのは、PR-Iが短期間に機能回復を考えた戦略でなく、重要拠点へ優先的にいち早く水を供給しようとする戦略だからである。いずれの戦略も、立ち上り部を除いて復旧曲線の傾向、復旧日数などは文献⁽⁴⁾⁽⁵⁾の予測結果と同程度で一致している。

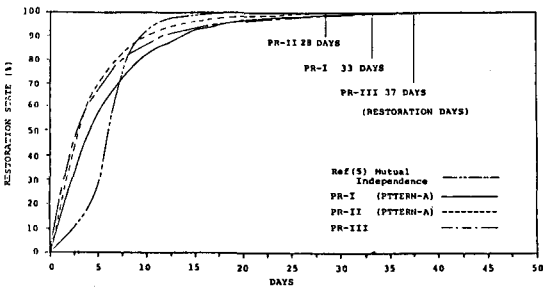


図 2

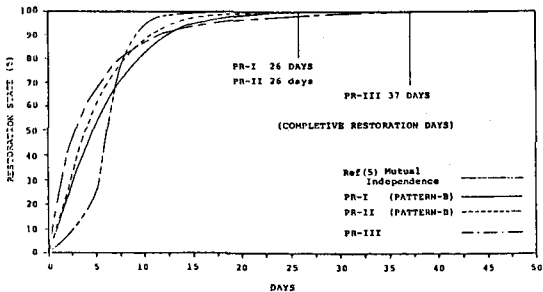


図 3

(参考文献) (1) 星谷, 土木学会第36回年次学術講演会, 1981, 10, (2) 伊理, 古林, ネットワーク理論, 日科技連, 1976. 9. (3) 東京都防災会議, 東京都区部における地震被害の想定に関する報告書, 1978. 5. (4) 東京都水道局, 区部における送・配水管の被害箇所の想定並びに送・配水管及び給水装置の応急復旧に関するケースタディ, 1978. 6 (5) 星谷, 小池, 宮崎, 土木学会論文報告集 No. 323, 1982. 7.