

リアルタイム地震防災のための上水道管路網の最適モニタリング

金沢大学大学院自然科学研究科	正会員	宮島 昌克
金沢大学工学部		○菊川 雅司
金沢大学工学部	正会員	北浦 勝
真柄建設株式会社	正会員	安達 賢

1. はじめに

上水道システムの地震時の被害は、過去の震害例を見てわかるように都市生活に多大な影響を与えるだけでなく、地震直後における復旧作業にも大きな影響を与える。したがって、地震直後に被害状況が即座に把握できることが望まれる。上水道ネットワークにおいては、配水場などにおいて供給状態を監視し、大きな異常を把握することはできるが、地震時の被害箇所を特定できるモニタリングシステムとはなっていない。

そこで本研究では、金沢市を対象として、地震時流量解析を実施し、防災拠点の位置などを考慮しながら、上水道システムのモニタリング位置の重要度を決定する手法について考察した。

2. 対象管路と想定地震

本研究で対象とした地域は、金沢市の計画給水区域であり、対象管路は、口径が 300 mm 以上の上水道幹線配水管¹⁾である。これをノードとリンクと供給点からなるネットワークにモデル化したものを図 1 に示す。モデル化において、ノード付近の人口を、そのノードの給水人口とする。対象とした想定地震は、金沢市内を通過している活断層として推定される森本・富樫断層が活動した場合($M=7.1$)である²⁾。

3. 解析手法

①影響度の算出

本研究における解析手法は、モンテカルロ法を用いて、確率的要因を含むリンクが地震時において、システムとしてどのように振る舞うかを考慮し流量解析³⁾を行うものである。まず、片山・久保らの式⁴⁾によりリンクの被害率を求め、リンクの被害の発生がポアソン過程に従うものとし破壊確率を与える。次に、上記の確率によって破壊を与えた時の流量、漏水量、取り出し水量を考慮した流量解析を行い、各ノードで地震時における必要水量を取り出せていなければ、そのノードは破壊の影響を受けているとする。これを多数回のシミュレーションを行い、ノードの影響度を求める。これを次のように定義する。

$$\text{影響度} = \frac{\text{必要水量を取り出せない回数}}{\text{シミュレーション回数}} \quad (1)$$

②ノードの重み付け

本研究で対象としたノードの重みは、ノード付近の給水人口、地震時発生時に重要となる公的病院、指定避難場所、特別消防区域などを考慮して決定される。これらを重みとして換算する方法は、次のようである。各ノードでの病床数、指定避難場所の面積、特別消防区域に指定されている世帯数を、それぞれの最大値で割ったもの各指標の重みとし、その和を各ノードの基準値 1 としたあわせものをノードの重みとする。

③リンクの重要度推定

破壊の影響を受ける給水人口が多いリンクほど重要度が高く、そのリンクをモニタリングすることによって早期復旧につながると考え、最適モニタリング位置と考えられるリンクを推定するために、重要度を次のように数値化した。

(1)で定義したノードにおける影響度に給水人口とノードの重みを掛けたものを各ノードでの影響人口とする。この影響人口を、下流側から上流側に遡って累計したものを各ノードでの累計影響人口とする。また、ノードの累計影響人口とそのノードの上流側にあるリンクの累計影響人口は、同値とする。ただし、あるノードでの上流側ノード数(リンク数)が複数の場合は、累計影響人口をその数で割り、それぞれのリンクに振り分けるものとする。この方法により、

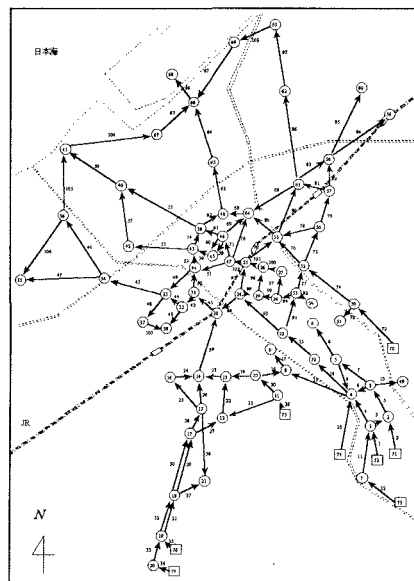


図 1 金沢市幹線配水管路網図

各ノードと各リンクが影響を与える累計影響人口の値が得られる。これによって得られた値をリンクの重要度と考えると、上流側のリンクの累計影響人口が大きな値となるのは当然である。そこで、重要度を次のように定義した。

$$\text{重要度} = \text{各リンクの累計影響人口} / \text{累計に含まれているノード数} \quad (2)$$

こうすることによって各リンクの累計影響人口をノード数で平均化し、累計による影響をなくした。累計に含まれるノード数は、累計影響人口を求める方法と同様にして、下流側から上流側に累計した。

④簡単なネットワークモデルへの適用

上記の手法を図2のような簡単なリンクに適用した結果を表1、表2に示す。図2において、□は供給点、○はノード、矢印はリンクを表す。番号はノードとリンクの番号である。ただし、簡単のためにノードの給水人口を100人とし、重みを1とする。表2の結果を見ると、重要度は、供給点につながるリンク7において小さくなり、影響度が大きいノード4の上流側のリンク3で値が大きくなっている。重要度が小さくなるのは、リンク7ではノード7の影響度は0となっているために累計影響度は増えずに、累計ノード数が増えるので重要度は小さくなっていると考えられる。すなわち、累計影響人口を求める経路において、影響度の大きいノードの有無でリンクの累計影響人口は変わる。このように考えると、重要度が大きくなっているリンクは、最も多くの給水人口に影響を与えるリンクと考えることができる。

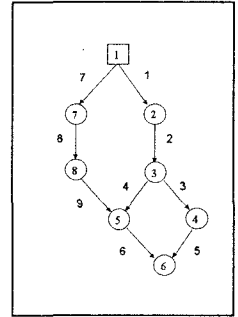


表 1 ノード影響人口

ノード	影響度	人口	重み	影響人口	累計影響人口
1	0	0	1	0	52
2	0	100	1	0	36
3	0.1	100	1	10	36
4	0.15	100	1	15	20
5	0.07	100	1	7	12
6	0.1	100	1	10	10
7	0	100	1	0	16
8	0.1	100	1	10	16

表 2 リンク影響人口

リンク	累計影響人口	累計ノード数	重要度
1	36	4.25	8.5
2	36	3.25	11.1
3	20	1.5	13.3
4	6	0.75	8
5	5	0.5	10
6	5	0.5	10
7	16	2.75	5.8
8	16	1.75	9.1
9	6	0.75	8

図 2 簡単なモデル

4. 金沢市上水道配水リンクへの適用

図1に示す金沢市の上水道幹線配水管路網を対象として解析を実施した。得られた結果は、影響度が高くなる、すなわち、地震時に水が流れてこなくなる可能性の高いノードの下流側、給水人口が多く、防災拠点の存在するノードの上流側リンクがクリティカルポイントとなった。この結果を見ると、本研究で考慮した要因を全て含んだリンクがクリティカルポイントとなっており最適モニタリング位置となると考えられる。また、金沢市ではネットワークの末端の方に人口集中地域があるが、ここでは給水人口が多く、累計に含まれるノード数が少ないためにクリティカルポイントとなっているリンクもあった。

クリティカルポイントを算出する際に最も影響を与えたと考えられるのは、給水人口とノードの上流側のリンク数であった。これについては更に検討が必要である。

5. おわりに

地震時における上水道のネットワークの流量解析を行い、防災拠点などによる重みを考慮し、最適モニタリングの位置について考察した。本手法では、ノードの給水人口が最も影響を与える要因となっていると考えられる。このため、給水人口の多いノード付近のリンクがクリティカルポイントとなった。これについて今後更に検討し、重みの大きさの相互関係についても検討を進める予定である。

参考文献

- 1)金沢市企業局：上水道管路概要図，1995.
- 2)金沢市：金沢市震災アセスメント調査業務委託 報告書(概要版)，1997.
- 3)高桑哲男：配水管網の解析と設計，森北出版(株)，1978.
- 4)久保慶三郎・片山恒雄：地下埋設水道管の被害予測，川崎市の震災予測に関する調査報告書，1975.