

ネットワークの連結性を考慮した上水道システムの機能的損失

東京都市大学大学院 学生員 ○川端 庸介
東京都市大学大学院 正会員 丸山 収

1. はじめに

我が国の既設配水管の多くは建設当時より50年以上経過し、劣化の進行が見られるため、地震時に甚大な被害を生じる可能性がある。そのため、被害軽減を目的とした配水管の耐震化、更新が必要となっている。これらの工事は住民の理解のもとに行うのであるが、工事による被害軽減効果を理解してもらうための明確な指標が確立されていない。その指標を作成するにあたり、地震による水道システムへの被害を予測し、地震時における断水状況を推定する必要がある。

本研究では仮想都市を対象として地理情報システムを用いて埋設管のハザード情報を与え、ネットワークの連結性を考慮した上で、地震時の機能的損失を確率論的に評価することを試みる。

2. 上水道システム

解析対象である上水道システムは、配水池などを結ぶ大口径配水管からなる上層ネットワークと、配水池などから各家庭に配水する小口径配水管網からなる下層ネットワークによって構成されている。

ネットワークは、リンクとノードから構成され、配水地区に浄水を供給する基点となる配水池などをノード、ノードから各需要家に配水する配水管をリンクとして表現する。また各需要家に配水する際の管の分岐をノードとする。本研究では、上層ネットワークは耐震化が、下層ネットワークのリンクのみを解析対象とする。

解析を行うにあたり、仮想都市を一边500mの正方形からなる4次メッシュに分割する。地理情報システムには人口分布などのデータが入力されている。

本研究では水道管の断水率算定方法の構築が目的であるため、仮想ネットワークを構築し、解析を行う。図-1に構築した仮想ネットワーク及びメッシュを示す。オレンジ色の①、②～④を供給ノード、薄紫色の⑤～⑪をノード、青色の⑫～⑳を需要ノード、

矢印①～③をリンク、赤い丸で示したリンクに必要な水量が配水されるかどうかを検討する。が今回の解析対象である。今回の解析では2～4つの供給ノードを設置して解析を行い、結果を比較する。

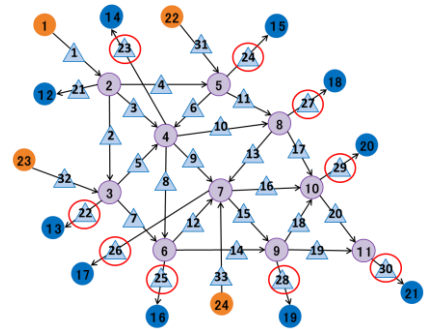


図-1 供給ノードが複数個の仮想ネットワーク

3. 解析手法

水道ライフラインネットワークの構造的被害を表す指標として以下に示す式を用いてメッシュごとの被害率を求める。

管路の被害予測は式(1)および式(2)の日本水道協会による推定式を使用する。

$$R_m(V) = C_p \times C_d \times C_g \times C_l \times R(V) \quad (1)$$

$$R(V) = 3.11 \times 10^{-3} \times (V - 15)^{1.3} \quad (2)$$

ここで、 $R_m(V)$: 平均被害率(箇所/km)、 $R(V)$: 標準被害率、 C_p : 管種補正係数、 C_d : 管径補正係数、 C_g : 地盤補正係数、 C_l : 液状化補正係数、 V : 地表面最大速度(kine)である¹⁾。本研究では鋼管、鋳鉄管を解析対象とした。本研究では、メッシュ間の被害箇所数の相関を地震動相関として与えている。以下に示す高田・下村らによるマクロ空間相関関数を用いて、被害箇所のシミュレーションを行っている²⁾。

$$R_{LL}(h) = e^{(-h/b)} \quad (3)$$

ここで、 $R_{LL}(h)$: 地震動の相関強さ、 h : 2点間の離間距離、 b : 相関距離である。

メッシュごとに被害箇所数を、式(1)で求めた平均被害率にメッシュごとの管路総延長 L を乗じて求める。メッシュ i 、配水管 j の平均被害箇所数 x_{ij} は、次式となる。

キーワード 断水率 連結性 機能的損失

連絡先: 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL:03-5707-0104

$$X_{i,j}=R_m(i,j)(V)\times L_{i,j} \quad (4)$$

次に、各メッシュにおける被害発生は相関を有する多項ポアソン分布に従うものとする。解析に際して、図-1 に示す仮想ネットワークに多項ポアソン分布に従う被害箇所をシミュレートして与え、ネットワーク解析法の最小費用流問題を援用して各リンクの流量を計算する。この計算をモンテカルロシミュレーション的に行い、断水率を算定する。断水率について以下の式(5)のように定義する。

$$\text{断水率}=1-(\text{被災時給水率}/\text{平常時給水率}) \quad (5)$$

式(5)は、地震被害を受けていない平常時給水率と、被害を受けた際の被災時給水率を算出して、断水率を算定するものである。

4. 数値解析による断水率および相関性の算定方法

前述した式(1)～(4)を用いて管路の被害率と被害箇所数を求め、被害箇所数をネットワークモデルの各リンクに与え、被害を受けた管を通水不可とし、その状態で、最小費用流を用いて解析を行い断水率および断水率の相関性の算定を行う。また、供給リンクに関しては破壊しないものとしている。

図-1 の需要家に給水するノード 12～21 に直接つながるリンク 21～30 について断水率を算出することで、ノード 12～21 での断水率を求めることが出来る。この解析を 1000 回行い、需要ノードの断水率を算出し、ヒストグラムおよび相関性のグラフを作成する。

5. 断水率の解析結果

解析回数を 1000 回とし、铸铁管の管径 100～150mm で解析した結果、供給ノード数ごとに分布が

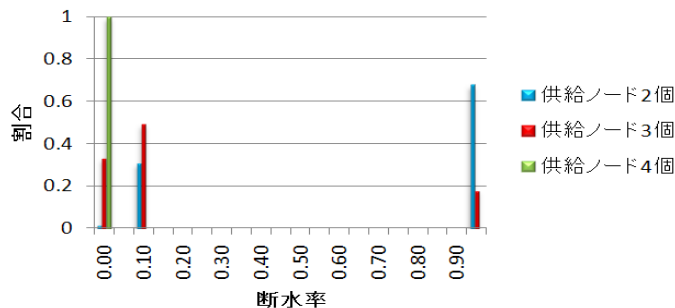


図-2 リンク 26 での断水率の分布

変化した。ネットワークの中央に位置するリンク 25～27 を中流とし、供給ノード数の違いが分かりやすいリンク 26 の断水率のヒストグラムを図-2 に示す。

このヒストグラムから、供給ノードを増やすにつれ、断水率は減少していることがわかる。

5.1 相関性の解析結果

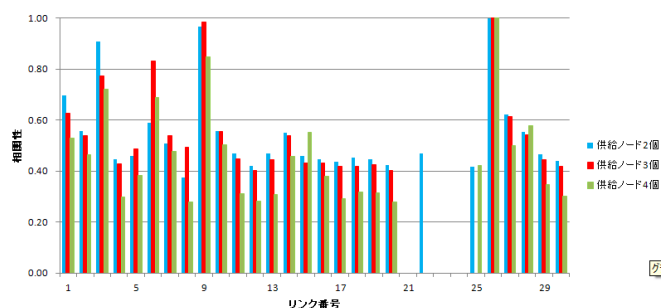


図-3 リンク 26 での断水率の相関性

断水率の相関性の結果を上記図-3 に示す。ノード数を変更することでリンクの相関性の値は多少変化しているが、全体手には大きな変化は見られない。

6. 今後の展望

供給ノードの設置場所を変更することで断水率、相関性にどのような結果が得られるのか解析を行う。また、ネットワーク形状による検討を行うことが必要である。たとえば、図-4 は現在作成している仮想ネットワークであり、これに複数の供給ノードを設置して、断水率の検討をしていく。

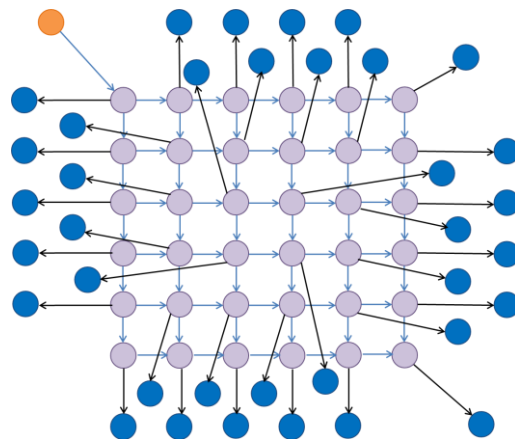


図-4 仮想ネットワーク

参考文献

- 1) 社団法人日本水道協会：地震による水道管路の被害予測，1998
- 2) 高田 毅士，下村 哲人：台湾集集地震記録に基づく地震動のマクロ空間相関特性，日本建築学会，構造系論文報告集，vol.565，2003，pp. 41-48
- 3) 地震調査研究推進本部(J-SHIS)