

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 学生員 ○川端 庸介
東京都市大学 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、地震により水道管がどの程度被害を受け、断水するかを解析し、断水率の分布を求めることを目的としている。

2. 解析対象データベース

解析を行う上で、地震ハザード情報を与え、構築したネットワークの連結性を評価する。

(1) 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、配水池などから各需要家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表現する。また各需要家に配水する際の管の分岐もノードとする。上層ネットワークは耐震化が進み地震による影響が少ないものと判断し、影響の現れやすい下層ネットワークのリンクのみを解析対象とする。

(2) 地理情報システム

解析を行うにあたり、仮想都市を一辺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、地盤種類、管の種別総延長、地震分布などのデータが入力されている。

(3) 仮想ネットワーク

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-3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を供給ノード、薄紫色の②～⑪をノード、青色の⑫～⑳を需要ノード、矢印①～⑳をリンク、赤い丸で示したリンクが今回の解析対象である。

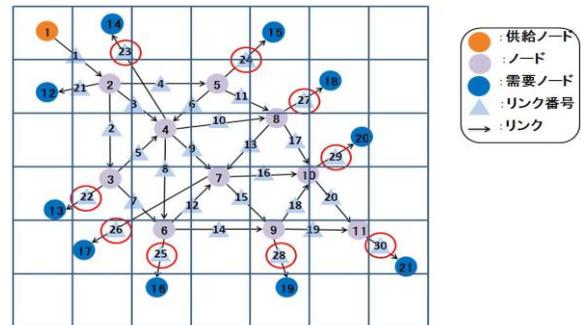


図-3 仮想ネットワーク及びメッシュ

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。

(1) 被害率

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。また、既往の研究ではメッシュを独立として被害率を算出していたが、本研究では地震動の相関を考慮した。以下に示す高田・下村らが考案したマクロ空間相関係数関数に着目し、その係数を被害率算出の際に用いている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。

キーワード 断水率 連結性 機能的損失

(2) 被害箇所数

式(1)で求めた平均被害率と、メッシュごとの管路総延長 L を乗じることで、平均被害箇所数を算出することが出来る。メッシュ i , 配水管 j の平均被害箇所数 $x_{i,j}$ は、次式となる。

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

モンテカルロ法によりメッシュごとの被害箇所数をシミュレートし、断水率を算定する。

(3) 断水率

次に断水率について以下の式(4)のように定義する。

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

この式は、モンテカルロ法と最小費用流を組み合わせ、地震による被害を受けていない平常時給水率と、地震により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。

最小費用流とは、最小費用かつ最短経路でのフローを導き出す計算手法である。

4. 数値解析による断水率分布の算定方法

解析に用いる想定地震は、地震調査研究推進本部(J-SHIS)³⁾が公開している確率論的地震動を用いる。評価期間 50 年間として、超過確率 0.02, 0.05, 0.1, 0.39 の 4 ケースを使用した。

地震による下層ネットワークの被害について、式(1)、(2)および相関係数を用いて配水管の平均被害率を算定する。求めた平均被害率と管の総延長を乗じて平均被害箇所数を求め、被害の空間相関を満足する様に被害箇所数をシミュレートする。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の状態とする。その状態で、最小費用流を用いて解析を行い断水率の算定を行う。またリンク 1 は水源につながっているため破壊確率を 0 として解析を行う。

図-3 の需要家へと給水するノード 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 の需要ノードにおける断水率を求めることが出来る。この解析を N 回を行い、需要ノードごとに断水率を N 回分算出し、ヒストグラムを作成する。

5. 数値解析

本研究では、鋳鉄管と鋼管を解析対象とし、解析回数を 1000 回と設定して行う。

(1) 鋼管の解析結果

鋼管は全ての管径において断水率が 0 になった。これは鋼管の総延長が鋳鉄管と比較して短く、強度が高いため、地震による被害を受けなかったと推測されるので、鋼管については省略する。

(2) 鋳鉄管の解析結果

鋳鉄管の管径 100~150mm 解析結果について述べる。鋳鉄管では地震動の強さ、管径ごとに断水率の分布が変化した。なおリンク 21 はリンク 1 の破壊確率を 0 と設定しているため、全ての地震、管径においても断水率は 0 となるため解析結果からは除外している。水源からの距離が近いリンク 22~24 を上流として、超過確率の違いが分かりやすいリンク 22 の断水率の分布を例として図 - 8 に示す。

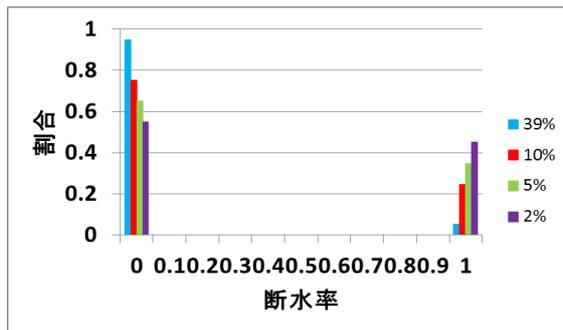


図 - 8 リンク 22 での断水率の分布

この分布図から、超過確率が高くなるにつれて、断水率も増加していることがわかる。

6. 今後の展望

今回は解析回数を 1000 回に設定したが、今後は回数を増やすことで、より精密なデータを取る必要がある。また、断水率の分布に偏りが生じており、ネットワークの再検討、解析の際の各リンクへの被害箇所数の対応方法の再検討も必要である。

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)