上水道システムの地震時機能的被害評価

東京都市大学大学院　学生会員　近野正彦
東京都庁　正会員　中沢雄太
東急建設　正会員　和田脩平
東京都市大学　正会員　丸山　收

1. はじめに

我が国の既設水道管網の多くが建設当時より半世紀以上経過しており，システムに劣化進行が見られ、災害時における多大な被害発生が予測される．その被害を軽減するために早急な対応が要求されている．現在，被害を軽減するために管路の耐震化や更新が急務となっている．

本研究では，ネットワーク系施設である水道管網の地震時機能損失を確率論により評価することを目的として，断水確率をモンテカルロシミュレーションにより評価している．その際，管網解析により評価する代わりにネットワーク理論の最小費用流問題を援用している．

2. ネットワークの耐震性能指標

本研究では水道ライフラインネットワークの耐震性能を表す指標として以下を用いる．

(1) 被害率

現在，管路の物理的損傷を表す指標である被害率は以下の式(1)より算定される [1)]．

$$\nu(D,V) = C_1 C_2 C_3 C_4 \nu_0 (D,V) \quad (1)$$

ここで,

D: 管径，V: 地震動応答速度

C_1: 管種補正係数，C_2: 管径補正係数

C_3: 地形補正係数，C_4: 液状化度合係数

ν_0 ：標準被害率

(2)断水率

震災時の機能的損傷を表す指標として，断水率があるが，本研究では以下の式を用いることとする．

1－(震災時給水人口／平常時給水人口)　(2)

3. 断水率の算定

本研究では，仮想ネットワークモデルへモンテカルロ法と最小費用流問題を組み合わせた手法を用いて評価を行うものとする．

1)ネットワークの作成

図１に示す基本配管モデルにより，水道管網モデルの作成方法について述べる．

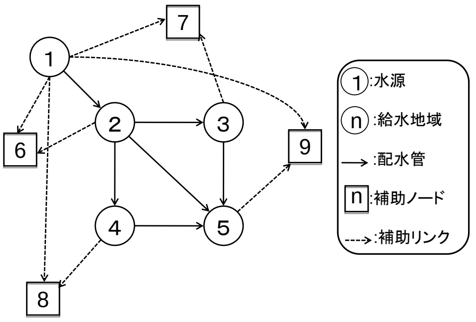

図 1．配管基本モデル

2)ネットワーク作成手順

ネットワークは，水源，給水地域，補助ノード，配水管の各ノードとリンクによって構成される．ネットワーク作成にあたり，以下の条件でネットワーク作成を行う．

- 各給水地域の必要水量の合計水量を①の水源から流れるように設定し，水源と合計給水量の収支を合わせる．
- 各給水地域の必要とされる水量が流れているかを確認するための補助ノードを作成する．
- 断水が起きた際に，水源を出た水量が，各給水地域の必要水量と等しくなるように水源から補助ノードに補助リンクを作成する．
- 各リンクに水量と費用を設定する．この際に，配水管には低い費用，補助リンクには高い費用を設定する．

3)最小費用流

最小費用流とは，最少費用かつ最短経路でのフローを導き出す計算手段である [2)]．図１のモデルにおいて，断水のない平常時であれば，費用を低く設定し

キーワード:　上水道システム, 地震リスク, 機能的損失
連絡先:〒158-8557　世田谷区玉堤 1-28-1　TEL 03-5707-0104，E-mail:omaruya@tcu.ac.jp

た配水管を通り，各給水地域に必要水量が行くこととなる．本研究ではこの最小費用流を用いたプログラミングによって解析を行い，断水率の算定を行う．

4)解析手順

管路の被害率と平均被害箇所数の算定を行い，そのいくつかの被害箇所数を各リンクに与え，その状態でネットワーク・フロー解析を行い断水率の算定をする．そして，この計算を n 回行いその平均値より断水率の算定，評価を行う．

4. 数値解析例

本研究では図 4 で示す仮想水道ネットワークモデルを使用する．また各リンクのフロー量と各需要ノードの必要給水量は表 1，2 で表す．

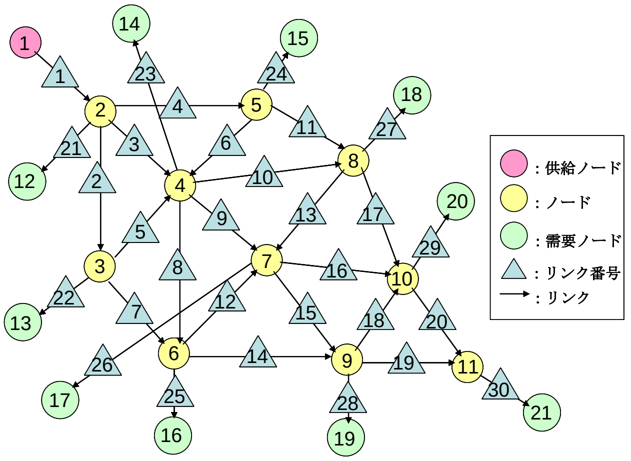

図 2．仮想水道ネットワークモデル

表 1．リンクデータ

リンク番号	フロー量(m³)	リンク番号	フロー量(m³)
1	270	16	10
2	90	17	30
3	70	18	10
4	90	19	10
5	5	20	20
6	10	21	20
7	65	22	20
8	5	23	30
9	40	24	30
10	10	25	20
11	50	26	40
12	10	27	20
13	10	28	30
14	40	29	30
15	10	16	30

表 2．ノードデータ

ノード番号	必要給水量(m³)
21	20
22	20
23	30
24	30
25	20
26	40
27	20
28	30
29	30
30	30
合計	270

尚，本研究では，図 2 の解析対象地区に対して，再現期間 50 年でそれぞれの超過確率が 39%, 10%, 5%, 2%の地震加速度 3)を想定して，GIS ソフトを用いてメッシュ分割された対象地区の管網の平均被害箇所数の算定行い，断水率の算定を行う．その際，メッシュ間の相関は独立であると仮定し，水源の破壊確率を 0 として解析を行う．そして水道ネットワークモデルにおいてそれぞれの地震が発生した際，地震の規模によって断水率にどのような影響が生じるか，また各需要ノードの断水率にどのような影響が生じるかを検討・評価を行った．

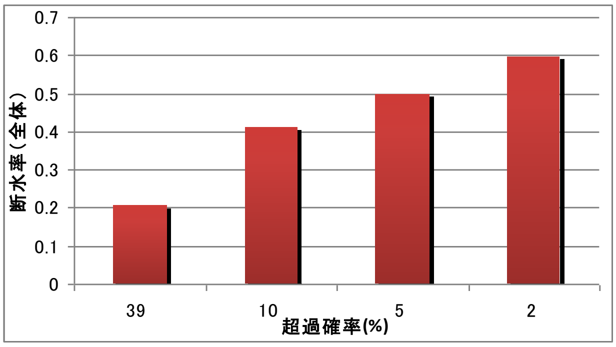

図 3．断水率の比較

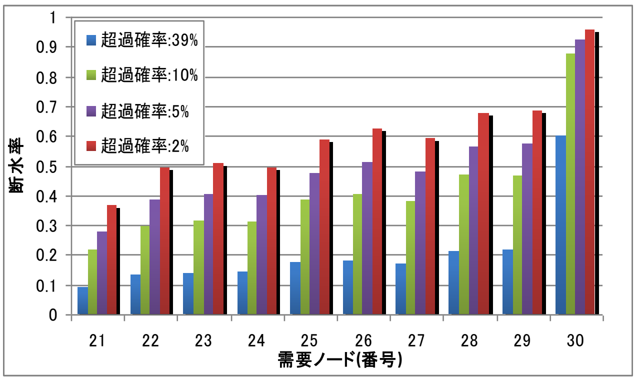

図 4．各需要ノードの断水率の比較

図 3 より，当然のことながら与えた地震動の超過確率が小さくなるほど断水率が高くなっていることが分かる．図 4 から，供給ノードから下流になるにつれて断水率が高くなるという定性的な特性が反映されている．

5. まとめ

本研究により，地震の規模と断水率との関係について解析，評価を行うことができた．また，ネットワークの断水被害の特性も評価することができた．

以上は，あくまで定性的な結果であるので，既存水道管網を対象とした事例解析を行っていく．

参考文献

1) 日本水道協会：地震による水道管路の被害予測，1998

2) 久保：組合せ最適化とアルゴリズム，共立出版社，2000

3) 防災科学研究所：地震ハザードステーション（J-SHIS）