

### 構造的および機能的損失を考慮した上水道システムの復旧戦略

東京都市大学 学生員○小松 陸  
東京都市大学 正会員 丸山 収

#### 1. はじめに

現在、埋設より 20 年以上経過した水道管が 8 割を占め、水道管施設の更新事業が急務とされているが、十分な水準に達しているとは言えない状況である。

地震発生時に多大な被害が懸念されており、東日本大震災においては、約 220 万戸が断水した。

したがって、地震被害時に効率的な復旧戦略の事前策定、及び、復旧順序の算出手法確率が必要である。

本研究では公共事業体が管理運営する水道システムを対象にして、地震発生時の被害をリスク評価で定量的に行う。復旧戦略策定では、小規模ネットワークを用いた復旧順序の算定方法の考察、および、復旧戦略を提案することを目的としている。

#### 2. 対象地域

本研究で対象とする、水道システムは大口径配水管から構成される上層ネットワークと、小口径配水管から構成される下層ネットワークの二層構成であるが、耐震化が整備されている上層ネットワークは除外し、耐震化整備が現状で満足な状態ではない下層ネットワークを対象としている。

ここでは、仮想都市を対象とし、4 次メッシュ (500 m×500m) に変換し<sup>1)</sup>、GIS ソフトを用いて、4 次メッシュ内に地震動、配水管路、地盤種別、人口などのデータを入力し、解析を行っている<sup>2)</sup>。

データベース内では、町丁目単位の人口をメッシュ単位の割り振り、給水人口を算出した。また、メッシュ単位の管路データは、管種、管径ごとの管路総延長を、メッシュ内給水人口に比例するように配分した。

#### 3. 水道システムの評価方法

##### 3-1 被害予測

被害率の推定方法は、日本水道協会による推定式を使用する<sup>3)</sup>。

$$R_m(V) = C_p \times C_d \times C_g \times C_1 \times R(V) \tag{1}$$

$$R(V) = 3.11 \times 10^{-3} \times (V-15)^{1.30} \tag{2}$$

$R_m(V)$  : 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,  $C_1$  : 液状化補正係数,  $V$  : 地表面最大速度 (kine) である。ここで、平均被害率に対し、先ほど案分した管路総延長を乗じることで、メッシュごとの平均被害箇所数を算出することができる。

$$r_k = R_m(V)_k \times L_k \tag{3}$$

$r_k$  : k メッシュの平均被害箇所数,  $R_m(V)_k$  : k メッシュの平均被害率,  $L_k$  : k メッシュの管路総延長。

ダクタイル鋳鉄管の管径 100~150mm での評価期間 50 年超過確率 2% 地震動が発生した場合の平均被害箇所数の結果を図-1 に示す。

算出した平均被害箇所数を基に、構造的損失、機能的損失を求め、合計した値を総損失とする。

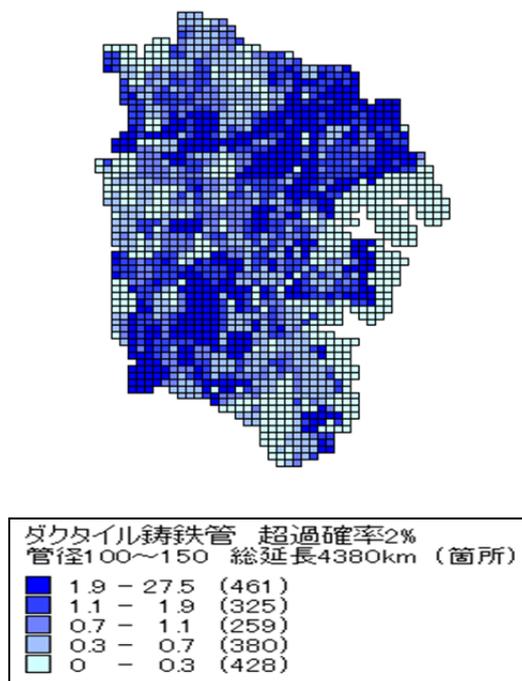


図-1 ダクタイル鋳鉄管-超過確率 2% 平均被害箇所数

### 3-2. 構造的損失

構造的損失額は式(4)で与えられる。

$$Y_1 = a^m (x_1 + x_2 + x_3 \cdots x_n) \quad (4)$$

ここで、 $Y_1$ ：構造的損失額， $a$ ：復旧工事費用， $m$ ：管の種類， $x$ ：被害箇所数， $n$ ：メッシュ番号となっている。ここで管の種類ごとにそれぞれ算出し、合計した値を構造的損失額とする。これは水道管の再調達価格である。

### 3-2. 機能的損失

各需要点に必要な水量を設定し、震災時に管路であるリンクに被害が発生し、通水不可能になった場合に各需要点に供給可能な水量と、平常時の給水量を比較することによって断水率を算定する。

断水率の算定式は式(5)で与えられる。

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

また、機能的損失額は式(6)で与えられる。

$$Y_2 = b^m (y_1 + y_2 + y_3 \cdots y_n) \quad (6)$$

ここで、 $Y_2$ ：機能的損失額， $b$ ：一需要家当たりの水道料金， $m$ ：管の種類， $y$ ：断水戸数， $n$ ：メッシュ番号となっている。復旧完了までの徴収不能な金額の合計が、機能的損失額となる。

### 4-2 最小費用流問題

最小費用流問題とモンテカルロ法を用いて断水率の算定を行う。以下の図-2の簡易ネットワークモデルを用いて説明を行う。

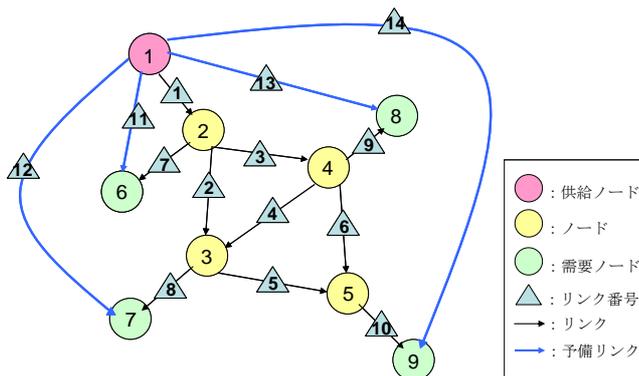


図-2 簡易ネットワークモデル

図-2は、9個のノードと14本のリンクから構成されるネットワークモデルである。

ノードとは、水道施設の拠点であり、リンクとは拠点同士を結ぶ水道管である。

赤色のノードは水を供給するノード、緑色のノードは水を消費する需要ノードを表している。次に黒色のリンクはネットワークに水を運ぶリンクを表しており、青色のリン

クは予備リンクとなっている。予備リンクとは、最小費用流問題の前提である、各ノードに流入する量に対して、各ノードで消費される量と流出する量を合わせたものが一致するという条件を満たすためのリンクである。

## 5. 復旧戦略の検討

### 5-1 小規模ネットワークでの優先順位の設定

構造的被害額と機能的被害額を合計したものが上水道システムの総被害額となる。一方、復旧時には優先順位が生じる。当然であるが、設定した復旧戦略により復旧曲線は異なる。優先順位を決定するに当たって、以下の3つの評価基準を設定した。1：最短時間で復旧する。2：重要施設がある地区を優先して復旧する。3：全体の断水率を早く回復させる。この条件のもとで、試験的に小規模なネットワークで優先順位を決定した。

### 5-2 小規模ネットワークでの解析結果

解析は、ノード数が21、リンク数が30の小規模ネットワークで行った。

平均被害率にリンク長を考慮して、各リンクの被害箇所数を求める。全体の被害箇所数が0になった時、断水率が0となり、復旧が完了する。

1日当たりの復旧可能数を3箇所と仮定し、復旧する。なお、再調達費用は1として計算している。

ダクタイル鋳鉄管の管径100-150、超過確率2%地震動時のネットワーク全体の条件ごとの復旧曲線を図-3に示す。

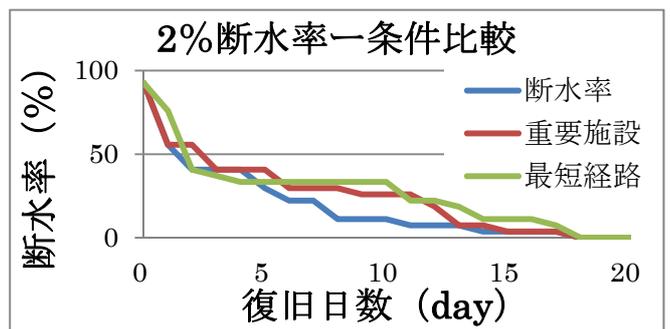


図-3 復旧条件ごとの復旧曲線

## 参考文献

- 1) e-stat 政府統計の総合窓口：地図で見る統計
- GISポータルサイト：GIS（地理情報システム）について
- 2) 国土交通省 地理空間情報プラットフォーム
- 3) 社団法人日本水道協会 地震による水道管路の被害予測