

広域水道システムの地震時送水信頼性評価のシミュレーション

岐阜大学大学院 学生会員 OLE QUANG DUC

岐阜大学工学部 正会員 能島 暢呂

岐阜大学工学部 正会員 加藤 宏紀

1. 研究の背景と目的

2011年東北地方太平洋沖地震では、広域水道システムの送水管被害による復旧遅延が大きな問題となり、地震時送水信頼性の向上が課題となっている。本研究では、東日本大震災における宮城県の大崎広域水道及び仙南・仙塩広域水道¹⁾を対象として、実際の被害と復旧データをもとにシミュレーションを行って、各市町の給水地点への送水可能性と復旧所要時間を再評価し、将来予測のための検討を行うものである。

2. 送水ネットワークのモデル化

東日本大震災の被害事例について文献調査¹⁾⁴⁾を行い、宮城県中部の大崎広域水道（以下、大崎）と中南部の仙南・仙塩広域水道（以下、仙南・仙塩）を対象として、管路被害と復旧過程に関する基礎データを整備した。大崎は管路延長131kmで、二つの浄水場から10の市町村に水道用水が供給されている¹⁾。仙南・仙塩は管路延長201kmで、南部山浄水場から17市町に水道用水が供給されている¹⁾。

基幹施設と分岐点をノード、二つの隣接ノードを接続する管路をリンクとして扱い両者の送水管網のモデル化を行った。ノードの属性としては、供給ノード（浄水場）、需要ノード（各市町の給水地点）、分岐ノード（ポンプ場、調整池、分岐点）の3種類とした。また文献¹⁾をもとに、需要ノードの受水量を集計した。各リンクの管径については詳細不明のため、文献²⁾の区分ごとに管路延長の構成比を仮定した。さらに水源に近い上流側には大口径、下流側の枝分かれした部分や末端部に小口径となるように分布を仮定した。

3. 被災状況のモデル化と復旧戦略の設定

次に文献²⁾³⁾をもとに、両者の管径別の被害件数を集計した。管径別の被害率 R_d [件/km]は、管径別の被害件数 d_d を管径別の管路延長 l_d [km]で除して定義する。

$$R_d = d_d / l_d \quad (1)$$

リンクごとの被害確率 P は、被害箇所数がポアソン分

布に従うという仮定の下に次式で算出した。

$$P = 1 - e^{-R_d l} \quad (2)$$

ここで、 l [km]はリンクごとの長さである。口径別の標準復旧日数 T_R [日]は、上記の計算過程、水道施設の被害位置⁴⁾と実際の断水解消過程⁴⁾を重ね合わせた結果をもとに推定した。被害が発生したという条件のもとでのリンク復旧所要時間 T は次式で評価する。

$$T = (T_R R_d l) / (1 - e^{-R_d l}) \quad (3)$$

星谷ら⁵⁾はネットワーク復旧戦略として上流から下流へと復旧が進む「順次復旧」と各リンクに対して復旧作業を同時に開始する「同時復旧」を提案した。供給ノードから需要ノードまでの送水ルートをリンク i ($i=1,2,\dots,N$)の集合で表す。各リンクの復旧所要時間を T_i ($i=1,2,\dots,N$)として、この需要ノードの復旧所要時間は次式で与えられる。

$$\text{順次復旧: } S_N = T_1 + T_2 + \dots + T_N \quad (4)$$

$$\text{同時復旧: } S_N = \max\{T_1, T_2, \dots, T_N\} \quad (5)$$

また送水機能の復旧率は、復旧された各需要ノードの総受水量を全需要ノードの総受水量で除して求められる。今回、実際の断水解消過程⁴⁾を参考に、大崎については同時復旧、仙南・仙塩については順次復旧を適用してシミュレーションを行った。

4. シミュレーション結果

試行回数1万回のモンテカルロ・シミュレーションを行って、東日本大震災における各需要ノードへの送水可能性を再評価した。両者に関する結果をそれぞれ図1に示す。全体的に大崎は仙南・仙塩より送水可能性が低い。実際の復旧曲線と1万被害パターンの全ての復旧曲線を用いて、各時間断面で、最小値、25%値、中央値、75%値、最大値の代表5線の復旧過程を図2に示す。シミュレーション結果の幅は広いものの、大崎、仙塩・仙塩ともに、緑線の中央値は実際線に近く、推定結果は良好であるといえる。

キーワード 広域水道システム、地震被害、復旧過程、モンテカルロ・シミュレーション

連絡先 〒501-1193 岐阜市柳戸1-1 岐阜大学工学部社会基盤工学科 TEL:058-293-2416

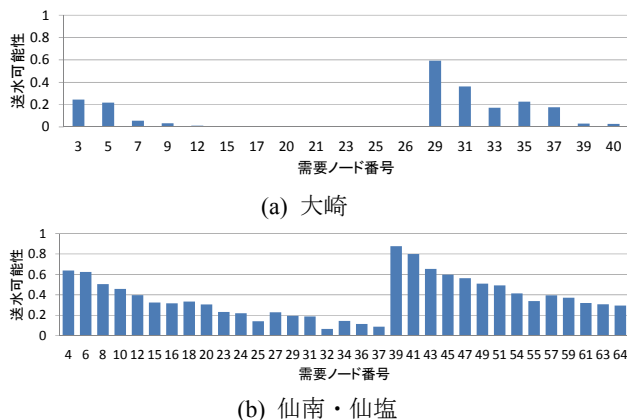


図1 需要ノードへの送水可能性

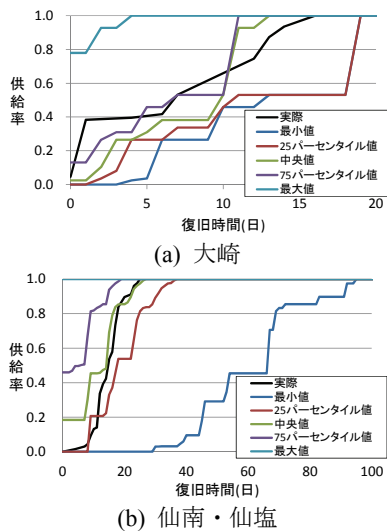


図2 代表5線のネットワーク全体の復旧過程

次に、1万被害パターンにおけるネットワーク全体の復旧完了時間の分布を図3に示す。大崎では同時復旧の特徴によって復旧完了時間の多様性は低く、おおむね1～3週間程度となっている。仙南・仙塩ではばらつきは大きく、2～6週間程度となっている。

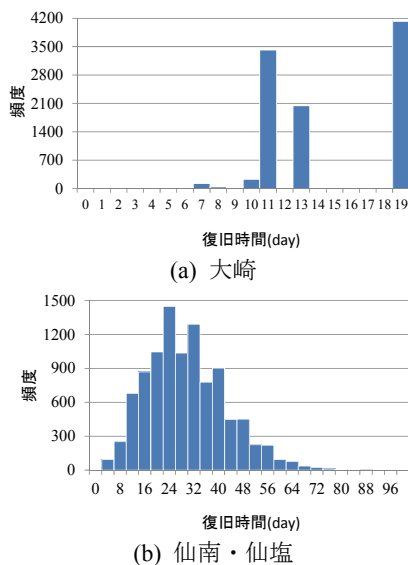


図3 ネットワーク全体の復旧完了時間の分布

また、各需要ノードへの復旧所要時間の四分位数を図4に示す。各需要ノードへの復旧所要時間の平均値と実測値の関係を図5に示す。図1と合わせて見ると、浄水場からの送水距離が長いほど送水可能性が下がるとともに、復旧時間が長期化することがわかる。また、図5より、大崎の一部でやや過小評価、仙南・仙塩の一部でやや過大評価の傾向を示し、改善の余地はあるものの、概ね良好な推定となっている。

5. おわりに

本研究では宮城県での2つの広域水道事業を対象として、東日本大震災時の送水可能性と復旧過程の予測を試みた。今後、より实际的な復旧状況を把握し、被害・復旧予測モデルの条件として組み込む方針である。

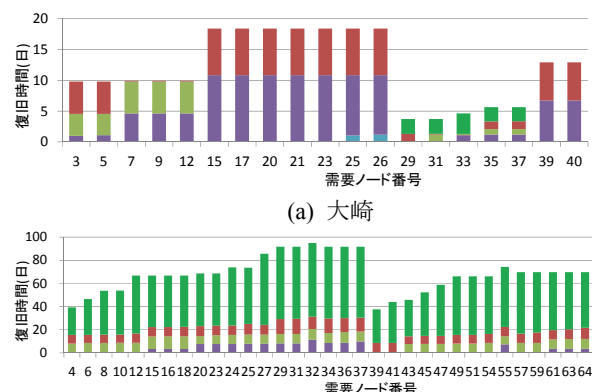


図4 需要ノードへの復旧所要時間の4分位数

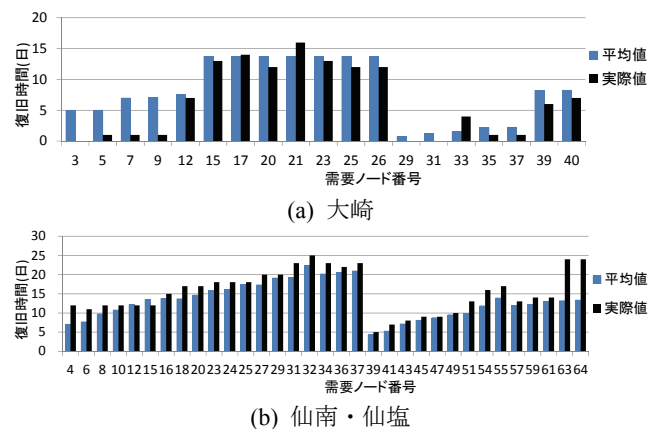


図5 需要ノードの平均復旧所要時間と実測値の関係

参考文献

- 1) 宮城県：宮城県 HP, <http://www.pref.miyagi.jp/>
- 2) 厚生労働省健康局水道課：平成23年(2011年)東日本大震災水道施設被害等現地調査団報告書, 2011.9.
- 3) 社団法人日本水道協会：平成23年(2011年)東日本大震災における管本体と管路附属設備の被害調査報告書, 2012.9.
- 4) 厚生労働省健康局水道課：東日本大震災水道施設被害状況調査 最終報告書, 2013.3.
- 5) 星谷勝・宮崎正敏：上水道システムの地震災害復旧の戦略と予測, 土木学会論文報告集, pp1-10, 第331号・1983年3月.