

C-21

水道統計に基づく管路脆弱性と地震後の復旧過程の評価

17T0263W 高木 迅哲

指導教員：丸山 喜久 劉 ウェン

1. 研究背景と目的

現在の日本における水道普及率は97%を超え、日常生活や社会経済活動に不可欠なライフラインである。地震などの自然災害発生時においても、基幹的な水道施設の安全性確保や重要施設等への給水の確保、被災した場合でも速やかな復旧ができる体制の確保などが求められる。しかし、2018年度末時点の水道事業における耐震化率は、基幹的管路40.3%、浄水施設30.6%、配水池56.9%と依然低い状況¹⁾であり、地震に対する備えが十分であるとはいえない。

近年発生した地震である2016年熊本地震や2018年北海道胆振東部地震においても、上水道管路の継手部引き抜けや管体破損等が発生し、断水被害が生じた。しかし、熊本地震における熊本市や、北海道胆振東部地震において管路被害が生じた8水道事業体の平均管路被害率は、過去の地震と比較して小さい傾向にある^{2),3)}。これらは耐震性の低い老朽管路の更新や耐震化が進められたためであり、耐震化によって管路被害が抑制されることが確認された。

ライフライン施設の地震時脆弱性を定量的に評価する指標として、能島は埋設管路施設について「脆弱性指数 V_{pd} 」を提案した⁴⁾。また、加藤らは1995年兵庫県南部地震の被災事例に基づいて、計測震度を説明変数とした供給系ライフラインの機能的被害・復旧過程を推定する評価モデルを構築した⁵⁾。本研究では、上記の脆弱性指数 V_{pd} および復旧評価モデルを用いて上水道管路網の地震時脆弱性と地震後の復旧過程を評価し、今後のライフライン網の耐震化推進に寄与することを目的とする。

2. 評価対象と脆弱性指数の算定式

本研究は2013、2016、2017年度の水道統計⁶⁾に記載された上水道事業体を対象とした。各水道事業体の導・送・配水管の管路延長データを用いた。

統計的な地震被害予測手法では、被害量を「施設量」、「脆弱性」、「ハザード」の3要素により予測する。鈴木ら⁷⁾はこれらのうち「脆弱性」の要素に注目して「脆弱性指数 V 」という指標を提案した（英文略称V-factor）。これは式(1)に示されるように、管径係数と管種係数との積を、対応する管径・管種別の布設延長距離で重み付けして平均して求められるもので、値が大きいほど脆弱性が高く、被害を受けやすいことを示す。

$$V = \frac{\sum_i \sum_j C_{di} C_{pj} L_{ij}}{\sum_i \sum_j L_{ij}} \quad (1)$$

ここで、 C_{di} ：管径区分 i の補正係数、 C_{pj} ：管種区分 j の補正係数、 L_{ij} ：管種・管径別の布設延長距離である。

脆弱性指数を式(1)の定義通りに求めるには、管径・管種別の布設延長距離のクロス集計表が必要である。しかし、多数の上水道事業体のクロス集計表を収集することは一般的に困難である。そこで、管径別および管種別の集計データに基づいて式(2)のように簡易評価する脆弱性指数 V_{pd} で代用することが提案されており⁴⁾、本研究ではこれを用いる。

$$V_{pd} = V_d \cdot V_p \\ = \frac{\sum_i (C_{di} \sum_j L_{ij})}{\sum_i \sum_j L_{ij}} \cdot \frac{\sum_j (C_{pj} \sum_i L_{ij})}{\sum_i \sum_j L_{ij}} \quad (2)$$

ここで、 V_d ：管径別脆弱性指数、 V_p ：管種別脆弱性指数、 $\sum_j L_{ij}$ ：管径別布設延長距離、 $\sum_i L_{ij}$ ：管種別布設延長距離である。

3. 熊本県の水道管路網の脆弱性評価

2016年度における、熊本県内の上水道事業体の V_{pd} 値の分布を図-1に示す。

熊本県内の上水道区域は熊本市を中心として沿岸部に集中している。 V_{pd} 値の分布は、最小値が熊本市0.537、最大値があさぎり町1.716である。

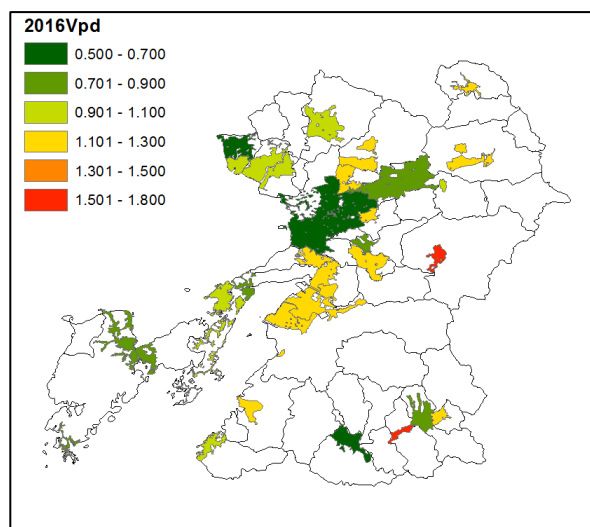


図-1 2016年度の熊本県内 V_{pd} 値分布

4. 熊本地震後の復旧過程の評価

熊本地震において、特に復旧に時間を要した水道事業体について、復旧曲線を用いて復旧過程の評価を行った。復旧曲線は、横軸に地震発生後の経過時間（経過日数）、縦軸に供給率をとり、地震後のライフライン供給率の時間的推移を示す。供給率は、事業体がライフラインを供給する全世帯のうち、その時点で供給可能である世帯の割合を指し、100%になると復旧完了となる。

図-2 に熊本地震発生後の断水状況の報告^{8),9)}をもとに作成した復旧曲線を示す。凡例の括弧内は(V_{pd} 値、計測震度)の順に記載した。計測震度の差があるため一概には比較できないものの V_{pd} 値が比較的小さい熊本市や大津町・菊陽町は地震発生後約 6 日と、他事業体よりも非常に早期に復旧している。

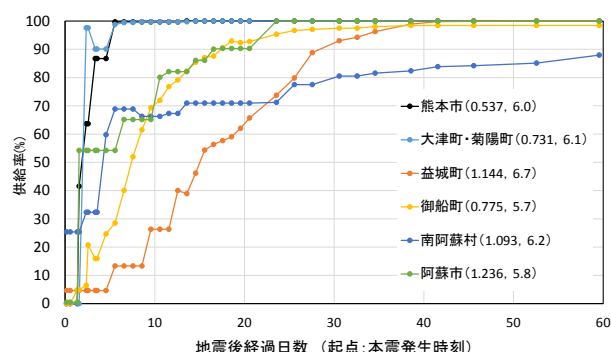


図-2 熊本地震における復旧曲線

次に、実測値と推定値を比較することで、各水道事業体の地震後の復旧過程を評価した。図-3 に益城町の復旧曲線を示す。実測値は図-2 と同様である。推定値は、加藤らが構築した供給系ライフラインの機能的被害・復旧過程評価モデル⁵⁾に、熊本地震本震発生時の V_{pd} 値、計測震度を適用し作成した。

推定値と実測値それぞれの供給率の時間的推移に着目する。推定値では復旧完了までに約 100 日を要するとされる一方、実測値では約 40 日で復旧が完了している。このように推定値より実測値の方が短い復旧所要日数となる結果が熊本地震に関しては評

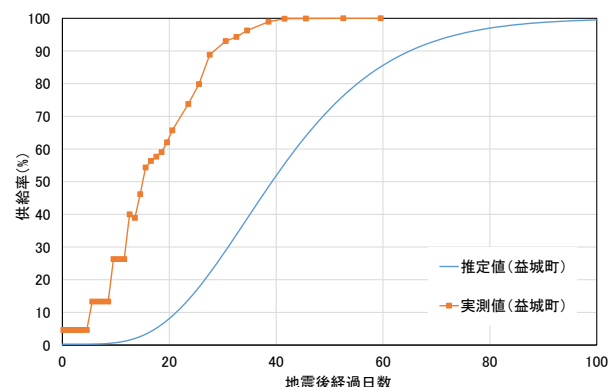


図-3 益城町の復旧曲線の比較

価した 6 事業体のうち 5 事業体において得られた。理由としては、過去の震災経験から各種耐震化の施策が進められたり、水道事業体間の相互応援体制が拡充されたりしたことで、早期の応急復旧が可能になったことが挙げられる。

5. まとめ

本研究では脆弱性指数 V_{pd} を用いて地震被災地の脆弱性指数を求めたのちに、既往研究において構築された供給系ライフラインの地震時機能的被害・復旧評価モデル⁵⁾を使用し地震後の復旧過程の評価を行った。地震後の復旧過程に関して、 V_{pd} 値で評価される地震時脆弱性と、復旧所要日数には概ね関係性があることが確認できた。また、評価モデルによる推定値は実測値よりも復旧所要日数が長期化する傾向にあった。近年は各種耐震化の施策が進められたことにより、評価モデルが基づいている兵庫県南部地震の被災事例と比べ管路全体の被害が抑制され、短期間で復旧する事例が確認された。今後の展望としては、他の地震や事業体に対して同様の評価を行い、平常時の耐震化事業がより効果的になるよう寄与することを目指す。

参考文献

- 1) 厚生労働省：報道発表資料 水道事業における耐震化の状況（平成 30 年度），2020.
- 2) 厚生労働省：平成 28 年（2016 年）熊本地震水道施設被害等現地調査団報告書，2017.
- 3) 厚生労働省：平成 30 年（2018 年）北海道胆振東部地震水道施設被害等調査報告書，2020.
- 4) 能島暢呂：脆弱性指数を用いたライフライン網の地震時脆弱性評価～上水道配管網への適用～，地域安全学会論文集，No.10，pp.137-146，2008.
- 5) 加藤宏紀・能島暢呂：供給系ライフラインの地震時機能的被害・復旧評価モデル—地点別簡易評価法のツール開発—，第 70 回土木学会年次学術講演会，I_067，pp.134-135，2015.
- 6) （社）日本水道協会：平成 25，28，29 年度水道統計（施設・業務編），第 96-1 号，第 99-1 号，第 100-1 号，2015，2017，2019.
- 7) 鈴木康夫・佐藤寛泰・能島暢呂・杉戸真太：埋設管路網の脆弱性を考慮した地震時ライフライン機能の簡易評価モデル，第 58 回土木学会年次学術講演会，I-349，2003.（CD-ROM）
- 8) 熊本県：平成 28 年熊本地震に関する災害対策本部会議資料
- 9) 厚生労働省：平成 28 年熊本地震関連情報