

B-06

シナリオ地震後におけるペルー・リマ市の上水道復旧期間の推定

19T0240K 一本 凌

指導教員：丸山 喜久，劉 ウェン

1. 研究背景・目的

現代社会において、上水道は非常に重要なライフライン設備である。近年、日本で発生した地震では、配水管に大きな被害が出ることもあり、被害の大きかった地域では、数週間にわたって水の供給が途絶え、復旧までに時間を要したり。上水道の地震時途絶の影響を効果的に抑制するには、水道事業者側の地震時被害防止・軽減対策の強化と合わせて、市民の備えなどを強化し、社会全体の抵抗力と回復力を高めることが望ましい。そのためにも、想定地震におけるにおける水道システムの被害規模と復旧過程を的確に予測することが重要である。

能島・杉戸²⁾は、地震後のライフラインの残存能力を確率論的に評価するモデルを提案した。1995年の阪神・淡路大震災で得られた被害統計に基づき、ライフラインの停止確率と停止期間を評価する二段階の実証モデルを開発した。そして、このモデルを修正して東日本大震災に適用し、電力、水道、都市ガス供給サービスの復旧期間を算出した³⁾。

このような背景のもと、本研究では、兵庫県南部地震被災事例に基づいた確率論的评价モデルをペルー・リマ市におけるシナリオ地震に適用し、上水道システムの復旧期間を試算した。さらに、熊本地震の被災データを用いた場合の予測モデルとの比較を行うことで、予測モデルの妥当性を検証し、ペルー・リマ市の復旧戦略の立案に貢献することを目指した。

2. 本研究で用いたデータ

本研究では、Pulidoら⁴⁾および関連研究によって想定されたプレート間地震のシナリオを採用し、最大加速度分布から計測震度を算出した。配水管については、管種・口径別の延長距離、管種・口径係数を用いた。管材は石綿セメント管、ポリ塩化ビニル管、ダクタイル鋳鉄管、ポリエチレン管、鋳鉄管の5種類を考慮した。

3. 震災後のライフラインの二段階評価モデルについて

(1) 第一段階：機能停止確率の予測モデル

地震直後の水道機能停止確率を予測するモデルである。停止の有無を計測震度 I に対する二項反応と捉

え、機能的フラジリティを I の関数としている。機能停止確率 $p(I)$ はパラメータ b_0, b_1 を用いたロジットモデルで表現され、次式により評価される。

$$p(I) = \frac{\exp[b_0 + b_1 \cdot I]}{1 + \exp[b_0 + b_1 \cdot I]} \quad (1)$$

(2) 第二段階：機能停止期間の予測モデル

計測震度 I で機能停止する条件下での停止期間 t を予測するモデルである。断水期間と計測震度 I との関係を統計的に処理してガンマ分布でモデル化されている。停止期間 t の平均値 μ と標準偏差 σ は、 I の二次関数で表されている。

$$\mu(I) = a_0 + a_1 I + a_2 I^2 \quad (2)$$

$$\sigma(I) = c_0 + c_1 I + c_2 I^2 \quad (3)$$

さらにモーメント法を適用して2つのパラメータ

$$\alpha(I) = \left(\frac{\mu(I)}{\sigma(I)} \right)^2, \quad \beta(I) = \frac{\sigma^2(I)}{\mu(I)} \quad (3)$$

を求め、次式のガンマ分布の確率密度関数に代入して時間積分することによって、断水期間の非超過確率 $F(t | I)$ が求められる。

$$f(t | I) = \frac{t^{\alpha(I)-1} \exp\left(-\frac{t}{\beta(I)}\right)}{\beta(I)^{\alpha(I)} \Gamma(\alpha(I))} \quad (4)$$

(3) 供給率曲線の算出

二段階の式(1)と式(4)を組み合わせると、計測震度 I 、地震後経過期間 t の供給率曲線 $P(I|t)$ が得られる。

$$D(t | I) = \{1 - p(I)\} + p(I) \cdot F(t | I) \quad (5)$$

(4) 評価モデルの変更

前節で述べたモデルは、阪神・淡路大震災を基に開発されたものであり、水道システムの脆弱性に関する地域的な条件を考慮し、ペルー・リマ市に適用するために、モデルを修正した⁵⁾。

配水管の脆弱性指数 V_{pd} は水道管路の被害発生件数の統計的推定モデルの補正係数を用いて式(6)のように算出される⁴⁾。

$$V_{pd} = \frac{\sum_i \sum_j C_{di} C_{pj} L_{ij}}{\sum_i \sum_j L_{ij}} \quad (6)$$

ここで、 C_d と C_p はそれぞれ口径と管種の補正係数である。 L_{ij} は、口径 i 、管種 j の管路の長さである。能島・杉戸²⁾による調査地域の配水管路の脆弱性指数は

0.446 であり、配水管路の脆弱性の差を考慮したモデルの修正が必要である。

確率論的評価モデルを適用するために、以下の2つの関係を仮定した。

$$R_f = 2.24 \times 10^{-3} \times (PGV - 20)^{1.51} \tag{7}$$

$$I_0 = 1.82 \log_{10} PGV + 2.42 \tag{8}$$

式(7)は、東京都が用いた配水管被害率の推定式⁶⁾である。式(8)は、Karim and Yamazaki⁷⁾が構築した震度とPGVの関係である。

脆弱性指数 V_{pd} は、被害率 R_f に比例するパラメータである。 R_f の被害率を与える等価震度を I_{eq} とすると、式(9)のようになり、式(7)、(8)の係数を代入するとペルー・リマ市における等価震度 I_{eq} が求まる。

$$I_{eq} = a \log_{10} \left\{ \gamma^{\frac{1}{d}} \cdot 10^{\left(\frac{I_0 - b}{a}\right)} + g \left(1 - \gamma^{\frac{1}{d}}\right) \right\} + b \tag{9}$$

4. ペルー・リマ市での二段階評価モデルの適用

修正した評価モデルをペルー・リマ市に適用した。図1は、地震発生後の経過日数に対する供給率の推移を示したものである。この結果、一部の地区では1ヶ月を超える復旧期間が予想される。

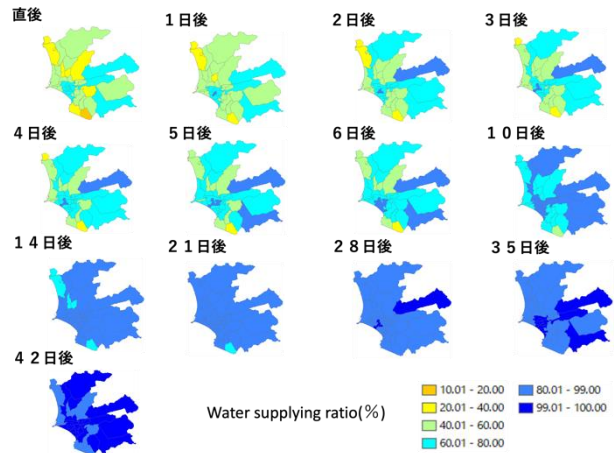


図1 地震発生後の供給率の解消過程

5. 予測モデルの見直し

兵庫県南部地震のデータを熊本地震のデータに置き換えて上水道システムの復旧期間を推定することによって、予測モデルの見直しを図った(表1)。

表1 予測モデルのパラメータ (熊本地震)

機能停止確率の 予測モデル	b_0	-20.73602
	b_1	4.1373379
機能停止期間の 予測モデル	a_1	19.428
	a_2	-14.11
	a_3	2.3453
	c_1	5.7239
	c_2	-4.8898
	c_3	0.94

図2は、兵庫県南部地震と熊本地震それぞれについて、計測震度による供給率の解消過程の予測モデルを比較したグラフである。震度が大きくなると、熊本地震のデータの方が早く復旧するという傾向が得られた。この結果には、震度が大きかった熊本市の復旧が早かったことが反映されている。

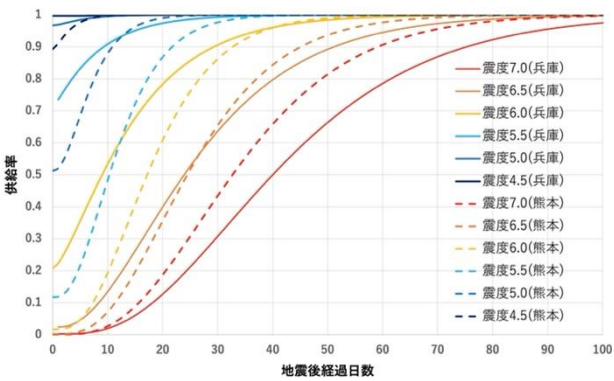


図2 供給率曲線の予測モデルの比較

6. 結論

本研究では、先行研究で行われてきた復旧シミュレーションの手法をペルー・リマ市に適用し、シナリオ地震時の上水道復旧期間を評価した。日本の被災事例に基づいて構築した予測モデルの枠組みを用いることで、現地の震度情報に基づく復旧期間の推定が可能であることが確認できた。

今後は、ペルー国内の既往地震に関する詳細なデータを分析することで、現地の情勢を反映した復旧シミュレーションを目指す。

参考文献

1) 厚生労働省：水道施設の耐震化の推進 最近の主な地震と水道の被害状況
<https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/taishin/index.html>

2) 能島・杉戸：震度情報に基づく供給系ライフラインの地震時機能リスクの二段階評価モデル，2003

3) 能島・加藤：供給系ライフラインの地震時機能評価モデルの改良と再検証-東日本大震災を対象とした都道府県評価，2013

4) N. Pulido, S. Nakai, H. Yamanaka, D. Calderon, Z. Aguilar and T. Sekiguchi, “Estimation of a source model and strong motion simulation for Tacna City, South Peru,” 2014

5) 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~上水道配水管網への適用~, 2008

6) 東京都：防災情報のページ <https://www.bousai.metro.tokyo.lg.jp/taisaku/torikumi/1000902/1021571.html>, 2022

7) K.R. Karim and F. Yamazaki, “Correlation of JMA instrumental seismic intensity with strong motion parameters,” Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 31, pp. 1191-1212, 2002