

A-10

近年の地震被害データに基づく上水道の復旧予測式の提案

18T0231B 小野 瑞歩
指導教員：丸山 喜久，劉 ウェン

1. 研究背景・目的

近年，日本ではマグニチュード7クラスの地震が多発しており，ライフラインにも被害が及んでいる．上水道においては，水道施設や管路に被害が生じたことで多数の世帯で断水が発生し，復旧までに時間を要した¹⁾．また，地震調査研究推進本部は，南海トラフ地震や首都直下地震などの大規模地震の発生の切迫性を指摘している²⁾．これらの地震では，上水道管路の破損や長期間の断水が懸念される．

発生が予測されている大規模地震に対して，自治体は地震被害想定³⁾を作成している．上水道の被害想定では，管路の被害率（物的被害）から断水率（機能的被害）を予測する際に川上の式⁴⁾を用いる．この式は地震発生直後，地震発生から1日後，2日後における管路被害率と断水率の関係を表すものである．主に兵庫県南部地震のデータによって構築されており，単一の地震被害データに依存している．

そこで，本研究では，近年発生した地震の上水道の被害データを追加することにより，川上の式の再検討を行い，新たなモデルを提案する．また，川上の式は地震発生からの経過日数によって式が異なるため，時系列的に連続な評価ができない．そこで，説明変数に経過日数を加えて断水率の時系列変化を予測するモデルを新たに構築する．得られた予測モデルをもとに，東京湾北部地震が発生した場合の断水過程について連続的に評価する．

2. 本研究で用いたデータ

本研究の対象地震は，1995年兵庫県南部地震，2004年新潟県中越地震，2007年能登半島地震，2007年新潟県中越沖地震，2008年岩手・宮城内陸地震，2011年東北地方太平洋沖地震，2016年熊本地震，2018年北海道胆振東部地震の8地震である．

これらの地震で導・送・配水管に被害が生じた水道事業体の管路被害率と断水率を使用した．地震発生後の断水状況に関する報告⁵⁾などに基づいて作成および整理した．

3. 川上の式の再検討

使用するデータは，前章で作成したデータのうち，各地震における水道事業体ごとの管路被害率と地震発生直後，地震発生から1日後，2日後の断水率である．関数形は川上の式を踏襲し，式(1)とした．

$$y = \frac{1}{1 + ax^b} \tag{1}$$

ここで， y は断水率， x は管路被害率（件/km）， a, b は回帰定数を表す．式(1)を式(2)のように変形し最小二乗法により回帰分析を行った後，得られた回帰定数 a, b を初期値に設定して非線形回帰を行う．

$$\log \frac{1-y}{y} = \log a + b \log x \tag{2}$$

地震発生直後，地震1日後，地震2日後の3つの経過日数について，それぞれ回帰定数を求める．また，データを停電の影響の有無で場合分けし4つのモデルを構築した（表1）．

表1 停電の影響有無による場合分け

	停電や導・送水管被害の影響	
	含む	含まない
給水戸数での重み付き回帰分析	モデル1	モデル2
重みなし回帰分析	モデル3	モデル4

回帰分析の結果から，重み付き回帰分析では断水率が極端に高くなったため，本研究ではモデル3とモデル4を採用した．停電対策が完了し，導・送水管の耐震化が十分に講じられている場合はモデル4を，そうでない場合はモデル3を適用すればよい．表2にモデル4の回帰定数を，図1にモデル4の地震発生直後のグラフを示す．モデル4は，川上の式と比較して断水率の予測値が高くなった．

表2 モデル4の回帰定数

	地震発生直後	1日後	2日後			
	川上式	本研究	川上式	本研究	川上式	本研究
a	0.0473	0.00953	0.307	0.292	0.319	0.309
b	-1.61	-2.03	-1.17	-1.17	-1.18	-1.35

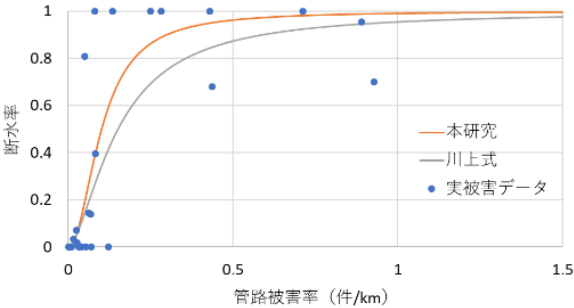


図1 地震発生直後の断水率の予測（モデル4）

4. 復旧予測モデルの構築

ロジスティック回帰分析によって、断水率を時系列的に連続に予測するモデルを構築した。関数形は式(3)と式(4)を仮定し、どちらが優れたモデルであるか比較した。

$$y = \frac{1}{1 + \exp(-(b_0 + b_1x_1 + b_2x_2))} \quad (3)$$

$$y = \frac{1}{1 + \exp(-(b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3))} \quad (4)$$

ここで、 y は断水率、 x_1 は地震発生からの経過日数、 x_2 は管路被害率(件/km)、 x_3 はモーメントマグニチュード、 $b_0 \sim b_3$ は回帰定数である。前章同様、停電や導・送水管の被害の影響を含む場合と含まない場合について分析した。

既往地震にモデルを適用し、実際の断水率と予測した断水率の誤差の二乗和を地震ごとに比較した。その結果、式(4)のほうが誤差の二乗和が小さくなり、実際の被害データとの乖離が小さいと判断した。したがって本研究では式(4)を採用する。表3は本研究で得られた式(4)の回帰定数である。

表3 式(4)の回帰定数

	停電や導・送水管の被害の影響	
	含む	含まない
b_0	-4.66	-4.62
b_1	-0.16	-0.18
b_2	1.66	1.86
b_3	0.56	0.48

5. 東京湾北部地震への適用

式(4)を用いて、東京湾北部地震が発生した場合の断水の復旧過程について評価した。マグニチュードは7.3とした。図2は地震発生直後と地震発生から14日後の断水率の分布である。

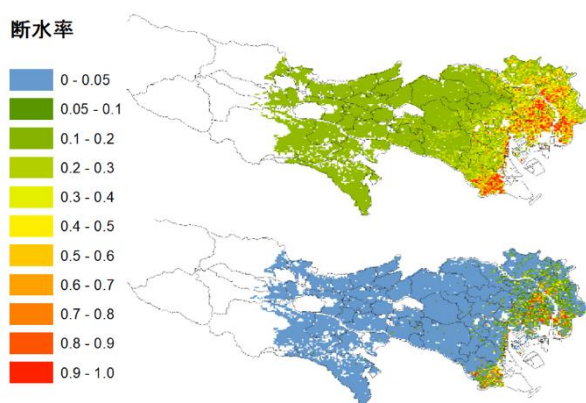


図2 地震発生直後の断水率分布（上図）と地震発生から14日後の断水率分布（下図）

地震発生直後は東京都の広範囲で断水率が0.2以上となり、特に東京湾周辺では断水率が0.8を超える地域が多く見られた。地震発生から14日が経過すると大半の地域で断水率が0.05以下となり、復旧が進んでいることが分かる。

6. 結論

本研究では、近年発生した8地震を対象として、川上の式に代わる新たな断水率予測モデルの構築を試みた。どちらのモデルにおいても、断水被害が停電や導・送水管の被害の影響を含んでいる場合と含んでいない場合の二種類を提案した。停電対策が完了し、かつ導・送水管の耐震化が十分に講じられているか否かで、事業体ごとにモデルを使い分けることが望ましい。

川上の式の改良モデルの構築では、川上の式よりも断水率が高くなる傾向が見られた。断水率を時系列的に連続に予測するモデルを東京湾北部地震に適用した際には、概ね14日程度で断水率が低くなることが確認できた。今後は、使用したデータの更なる精査や説明変数の再検討を行うことで、より高精度な予測モデルの構築を目指す。

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) 内閣府：防災情報のページ 地震災害
<http://www.bousai.go.jp/kyoiku/hokenkyousai/jishin.html>
- 3) 内閣府：防災情報のページ 5.被害想定的基本的考え方1
http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/to-unankai_nankaijishin/2/5-1.htm
- 4) 川上英二：道路交通システムの形状と連結確率との関係、第1回都市直下地震災害総合シンポジウム、pp.169-172, 1996
- 5) 例えば、阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告 ライフライン施設の被害と復旧、土木学会 地盤工学会 日本機械学会 日本建築学会 日本地震学会、1997