

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

アジア航測（株）正会員 ○鈴木 康夫
岐阜大学大学院 学生員 佐藤 寛泰
岐阜大学 正会員 能島 暢呂 杉戸 真太

1. はじめに

筆者ら¹⁾は、兵庫県南部地震の被災事例に基づいて、着目地点の震度情報をパラメータとする地震時供給系ライフラインの被害・復旧を簡易的に予測するモデルを構築した。水道・都市ガス埋設管の物理的被害は、被害・復旧に多大な影響を及ぼすことから、埋設管の脆弱性を考慮することが重要となる。本研究は、上述の予測モデルに管種・管径を考慮した補正を加えることにより、被害・復旧の予測精度の向上を図るものである。

2. 供給系ライフラインの二段階評価モデル¹⁾

本研究で改良の対象とするのは、兵庫県南部地震の震度分布とライフライン機能停止状況から構築した予測モデルである。震度 I より (i) 機能停止の確率 $p(I)$ と (ii) 機能停止という条件下での機能停止期間の非超過確率 $F(t|I)$ を二段階で評価するモデルとなっている。

この二段階評価モデルを組み合わせることにより、震度 I の地点における供給率曲線が得られる。震度 I で地震後経過期間 t における供給率曲線 $D(t|I)$ は次式によって示される。

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

図1は、震度 I における機能停止期間の分布を計測震度4.5から7.0まで0.5刻みで示したものである。各システムとも、計測震度が大きくなると地震直後の機能停止確率が高くなり、また停止期間も長期化する傾向を示す。

上記の評価モデルは特定地点における確率予測を行うものであるが、想定地震による地域全体の供給率曲線を得るには、震度分布と人口分布をオーバーレイすることにより求められる震度曝露人口²⁾を供給地域内で算出し、式(1)の震度ごとの供給率曲線 $D(t|I)$ に重み付けして集計すればよい。

3. 埋設管の脆弱性を考慮した二段階評価モデルの改良

上述の二段階評価モデルは、兵庫県南部地震の被災事例に基づいたものである。従って、モデル構築の基礎データとした兵庫県南部地震の埋設管の脆弱性と、対象地域の埋設管の脆弱性の違いを考慮して予測値を修正する必要がある。

3.1 埋設管の脆弱性を表す脆弱性指数 α の定義

まず埋設管の脆弱性を表す脆弱性指数 α を定義する。

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \alpha_{d_i} \cdot \alpha_{p_j} \cdot L_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n L_{ij}} \quad (2)$$

α_{d_i} : 管径係数, α_{p_j} : 管種係数,
 L_{ij} : 管種・管径別の埋設距離

管種係数 α_{p_j} と管径係数 α_{d_i} は、配水管の地震被害予測において用いられる補正係数であり、兵庫県南部地震の被災事例により表1のようなものが用いられている。³⁾

管種・管径別の埋設距離 L_{ij} については、各事業者へのアンケートとヒアリングにより調査を行った。震災時と現在の水道埋設管の脆弱性指数を図2に示す。震災時の脆弱性指数 α^* は0.446となった。被害想定の対象とするシステムについても脆弱性指数 $\hat{\alpha}$ を求め、それらの比率 $\gamma = \hat{\alpha}/\alpha^*$ をモデル改良に用いる。例えば、東海地方Y市の水道埋設管の脆弱性指数 $\hat{\alpha}$ は1.007であり、比率は $\gamma = \hat{\alpha}/\alpha^* = 2.26$ となる。

3.2 脆弱性の違いを考慮した等価震度 I_{eq}

等価震度 I_{eq} を、「脆弱性の違いを考慮して、図1の予測モデルに当てはめる上での震度」と定義する。等価震度算出の概念を図3に示す。脆弱性指数の比率 γ を埋設管標準被害率に乗じて、震度 I_0 を等価震度 I_{eq} に変換する。標準被害率 R_f の地震動強度指標は、一般的に最大加速度・最大速度・SI値が用いられているので、震度に変換して用いる。標準被害率 R_f は式(3)の形で、震度 I_0 と地震動強度指標との関係は式(4)の形で示される。

$$R_f = c(X - g)^d \quad (3)$$

$$I_0 = a \log_{10} X + b \quad (4)$$

X : 地震動強度指標, a, b, c, d, g : 係数

これより、震度を地震動強度指標とした標準被害率 R_f は次式のようになる。

$$R_f = c \cdot \left\{ 10 \left(\frac{I_0 - b}{a} \right) - g \right\}^d \quad (5)$$

式(5)の標準被害率 R_f に、脆弱性指数の比率 γ を乗

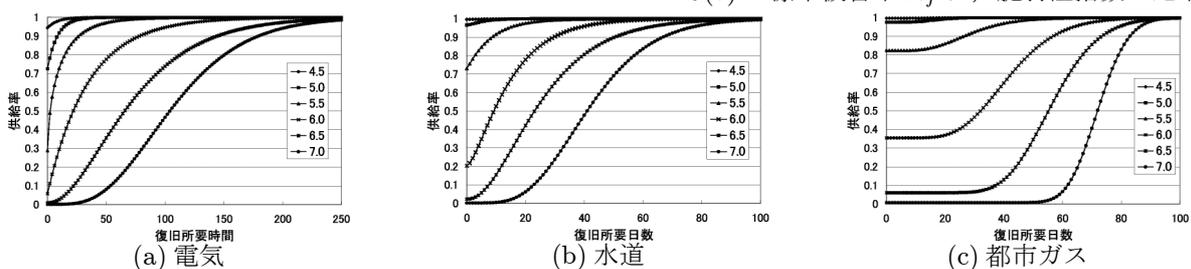


図1 震度 I におけるライフライン機能の供給率曲線

キーワード：ライフライン, 震度, 機能停止確率, 機能停止期間, 兵庫県南部地震, 管路脆弱性
連絡先：〒501-1193 岐阜市柳戸1-1 TEL：058-293-2427 (Fax 兼用)

表1 水道埋設管の管種係数 α_{pi} , 管径係数 α_{di} ³⁾ とそれらの積

		管種							
		DIP(A,K,T)	DIP(S,S II)	CIP	SP	VP	SGP	ACP	
管径	補正係数	0.30	0.00	1.00	0.30	1.00	4.00	2.50	
	~φ75	1.60	0.48	0.00	1.60	0.48	1.60	4.00	
	φ100~φ150	1.00	0.30	0.00	1.00	0.30	1.00	4.00	
	φ200~φ250	0.90	0.27	0.00	0.90	0.27	0.90	3.60	
	φ300~φ450	0.70	0.21	0.00	0.70	0.21	0.70	2.80	
	φ500~φ600	0.50	0.15	0.00	0.50	0.15	0.50	2.00	
	φ600~φ1000	0.40	0.12	0.00	0.40	0.14	0.40	1.60	
	φ1000~	0.20	0.06	0.00	0.20	0.06	0.20	0.80	

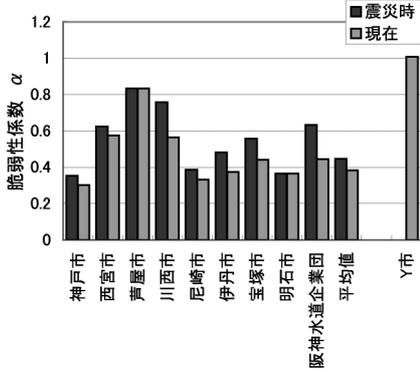


図2：震災時と現在の水道埋設管の脆弱性指数 α^*

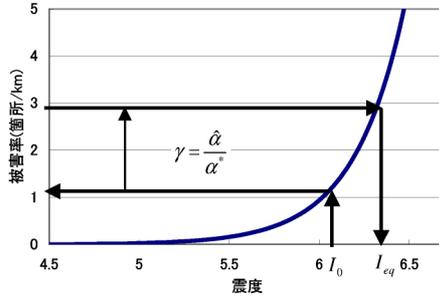


図3：震度 I_0 から等価震度 I_{eq} への変換の概念図

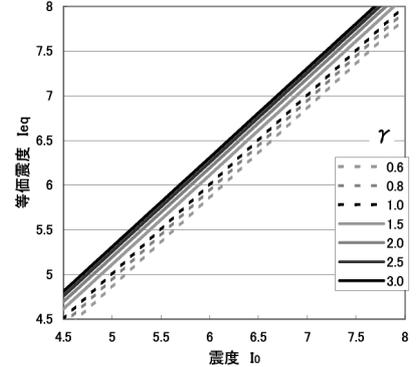


図4：震度 I_0 と等価震度 I_{eq} の関係例

じたときの地震動強度指標を等価震度 I_{eq} とすると、等価震度 I_{eq} と震度 I_0 の関係は次式により評価できる。

$$I_{eq} = \begin{cases} I_0 & (I_0 \leq a \log_{10} g + b) \\ a \log_{10} \left\{ \gamma^{\frac{1}{a}} \cdot 10^{\left(\frac{I_0 - b}{a} \right)} + g(1 - \gamma^{\frac{1}{a}}) \right\} + b & (I_0 > a \log_{10} g + b) \end{cases} \quad (6)$$

図4は、震度 I_0 と等価震度 I_{eq} の関係を示したものである。等価震度 I_{eq} は、脆弱性指数の比率 γ が1以下の場合、震度 I_0 より低い値となり、 γ が1以上の場合は、震度 I_0 より高い値となる。

3.3 水道埋設管の脆弱性を考慮したY市の適用事例

3.1で求めた脆弱性指数の比率 $\gamma = 2.26$ を用いて、Y市における等価震度 I_{eq} を算出し、水道埋設管の脆弱性を考慮した被害・復旧予測を行う。水道埋設管の標準被害率は最大加速度を指標とした式(7)を用い³⁾、最大加速度から震度への変換は式(8)を用いる⁴⁾。

$$R_f = 4.11 \times 10^{-9} \times A_{max}^{2.92} \quad (A_{max} \leq 800) \quad (7)$$

$$I_0 = 1.89 \cdot \log_{10} A_{max} + 0.59 \quad (8)$$

これより、Y市の等価震度 I_{eq} と震度 I_0 の関係は次式のようにになる。

$$I_{eq} = I_0 + 0.647 \cdot \log_{10} \frac{1.007}{0.446} = I_0 + 0.23 \quad (9)$$

Y市に二段階評価モデルを適用する場合には、震度 I_0 に0.23上増して用いることになる。

図5は、想定東海地震の震度分布⁵⁾を用いて、脆弱性を考慮した場合と考慮しない場合のY市の水道の供給率曲線である。脆弱性を考慮した場合、断水人口がかなり増加し、復旧所要日数も長くなる結果となった。これは、Y市における埋設管が阪神地域の埋設管よりも脆弱であり、脆弱性指数の比率 $\gamma = 2.26$ に応じて、震度が0.23上増しされるためである。

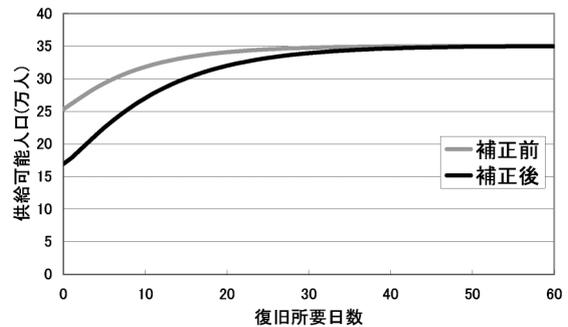


図5 想定東海地震でのY市の供給率曲線

また、地盤・液状化による影響を考慮する場合にも、埋設管と同様の手法で予測値を修正することができる。地震被害予測の地盤係数及び液状化係数を用いて、阪神地域と対象地域の差異を反映すればよい。

4. おわりに

本研究では、地中埋設管の脆弱性を考慮して、地震時ライフライン機能を簡易的に評価するモデルを構築した。本論では水道埋設管についての方法を紹介したが、同様の方法で都市ガス埋設管にも適用できる。

今後は、南海トラフ沿いの巨大地震の推定震度分布を用いて、埋設管の脆弱性を考慮した想定地震の被害・復旧予測を行う予定である。

謝辞：貴重なデータをご提供いただいた多くの方々に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 能島暢呂, 杉戸真太, 鈴木康夫, 石川裕, 奥村俊彦: 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, 土木学会論文集, No.724/I-62, pp.187-200, 2003年1月.
- 2) 能島暢呂, 杉戸真太, 久世益充, 鈴木康夫: 震災ポテンシャル評価のための震度曝露人口指標の提案, 第21回日本自然学会学術講演会講演概要集, pp61-62, 2002年9月
- 3) 財団法人 水道技術研究センター: 地震による水道被害の予測及び探査に関する技術開発研究報告書(厚生科学研究費補助による共同研究) 第1巻, pp1-23, 2000年3月
- 4) 童華南, 山崎文雄: 地震動強さ指標と新しい気象庁震度との対応関係, 地震工学と都市防災に関する論文選集 -六本木における10年-, pp65-68, 1999年8月
- 5) 久世益充, 杉戸真太, 能島暢呂: 海洋型巨大地震による広域震度分布推定について, 第21回日本自然災害学会学術講演会講演概要集, pp79-80, 2002年9月