

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—

岐阜大学工学部 正会員 ○加藤 宏紀
岐阜大学工学部 正会員 能島 暢呂

1. はじめに

地震時の供給系ライフライン被害は、市民生活・社会経済活動を大きく阻害する。ライフライン事業者は被害の防止軽減のため様々なハード・ソフト対策を推進しているが、ユーザー側の自助・共助の促進によってライフライン途絶の影響軽減を図ることは、地震防災やBCMのうえで重要な課題である。そのためには、ライフライン被害予測を適切に行う必要がある。しかし実際のライフライン復旧進捗状況は、きわめて多くの要因に影響を受ける。例えば、供給システムを構成する施設・設備の被害状況（箇所数、被害の程度、空間分布など）、復旧戦略（投入する人員の時空間的配置など）、復旧効率（現場の作業環境、交通状況、建物被害状況、資機材調達の可能性、その他の復旧支障要因など）である。こうした要因を逐一モデル化する方法による被害・復旧予測は一般に困難であり、個別地点でのライフライン機能被害・復旧を実務レベルで予測するための簡便な方法が求められる。例えば「中小企業BCP策定運用指針¹⁾」においては、三重県地震被害想定(1997)による震度別復旧日数を例に挙げ、阪神・淡路大震災の被災事例に基づく最終的な復旧日数の2分の1の日数を平均的復旧日数と設定している。筆者らは、震度情報による地震時ライフライン機能被害・復旧予測モデル²⁾を構築し、これに基づく機能的被害と事業者・利用者の対策効果を定量的に評価する方法³⁾を提案してきた。

本研究ではその最新モデル⁴⁾を用いて、表1のような概略的評価方法の高度化を図るものであり、任意地点でのライフライン利用可能性を簡便に評価が実施できるよう、Excel/VBAで実装した評価ツールを開発した。

表1 ライフライン復旧日数の設定例¹⁾

震度	復旧所要日数			平均的復旧日数		
	電気	水道	ガス	電気	水道	ガス
震度6弱	1~2日	半月	1ヶ月	1日	7日	15日
震度6強	3~4日	1ヶ月	2ヶ月	2日	15日	30日
震度7	1週間	2ヶ月以	3ヶ月以	4日	30日	45日

2. 任意地点での地震時ライフライン供給率についての評価方法

供給系ライフラインの地震時機能評価モデルは、兵庫県南部地震の被災事例に基づいて構築されており、計測震度 I に基づいて (i)機能停止確率 $p(I)$ と (ii)機能停止という条件下での機能停止期間 t の非超過確率 $F(t|I)$ を二段階で評価するものである。これらを組みあわせることで式(1)の供給率曲線 $P(I, t)$ が得られる。

$$P(I, t) = \{1 - p(I)\} + p(I) \cdot F(t|I) \tag{1}$$

ここで電気(E)・水道(W)・都市ガス(G)の3システムを考えると、 $2^3 = 8$ 通りの停止パターンが存在する。各ライフラインの復旧可能性の独立性を仮定すると、震度 I での停止パターン $(\delta_E, \delta_W, \delta_G)$ 別の生起確率は式(2)で定義される (δ は供給可能(1)・供給不可能(0)を表す二値変数)。

$$Q(\delta_E, \delta_W, \delta_G; I, t) = \prod_{k=E, W, G} P_k(I, t)^{\delta_k} \cdot \{1 - P_k(I, t)\}^{1-\delta_k} \tag{2}$$

さらに、ライフライン停止パターン $(\delta_E, \delta_W, \delta_G)$ での活動水準を0(活動停止)~1(通常的水準)の範囲で基準化した値としてライフライン停止パターン別機能充足度 $R(\delta_E, \delta_W, \delta_G; t)$ を定義すると、地震後 t 日の機能充足度 $\bar{R}(I, t)$ は、 $R(\delta_E, \delta_W, \delta_G; t)$ を $Q(\delta_E, \delta_W, \delta_G; I, t)$ で加重平均することで評価される³⁾。

$$\bar{R}(I, t) = \sum_{k=E, W, G} R(\delta_E, \delta_W, \delta_G; t) \cdot Q(\delta_E, \delta_W, \delta_G; I, t) \tag{3}$$

キーワード 供給系ライフライン, 震度情報, 被害・復旧予測モデル, 地点別評価, 簡易評価ツール

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

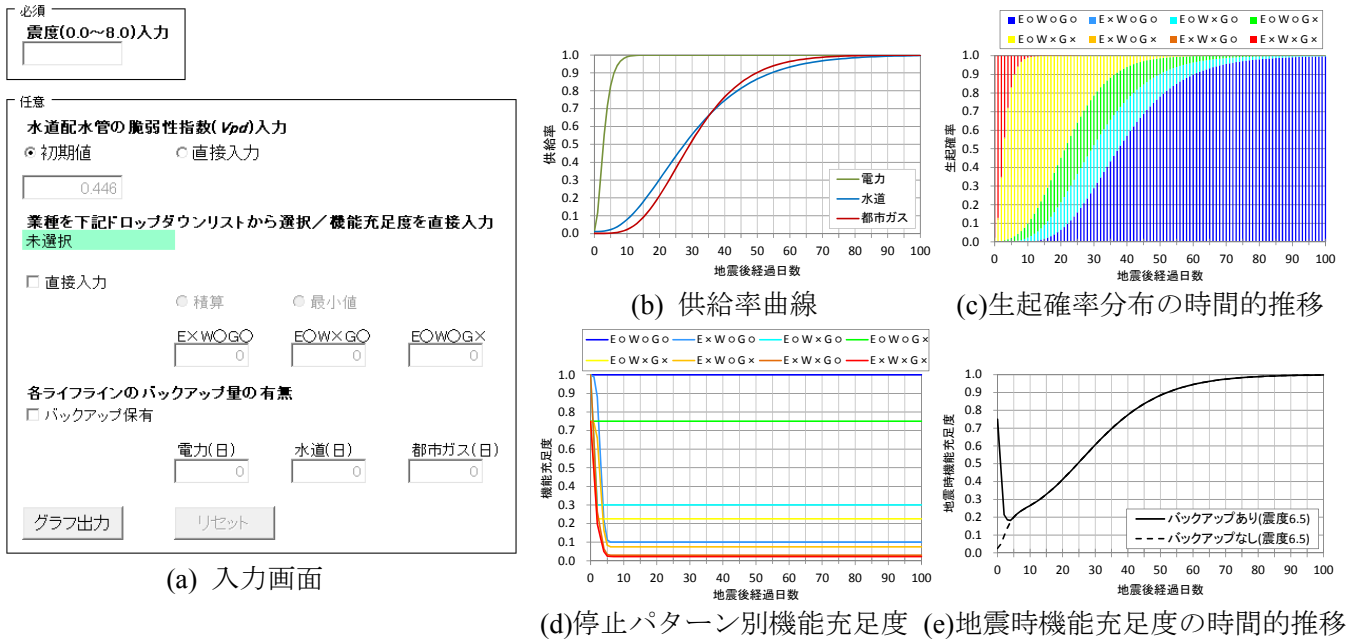


図1 供給系ライフライン機能被害・復旧予測モデル(個別地点簡易評価)の実装画面と評価例

3. Excel/VBAによる地点別簡易評価法のシステム実装

以上の評価方法を Excel/VBA で実装した評価ツールの入力画面を図 1(a)に示す。ユーザーは入力項目をプリセット値から選択するか、もしくは直接入力することができる。図 1(b)~(e)はそれぞれ、式(1)の「システム別の供給率曲線」、式(2)の「停止パターン別生起確率の時間的推移」、ライフライン停止パターン別機能充足度 $R(\delta_E, \delta_W, \delta_G; t)$ 、式(3)の「地震時機能充足度」の出力画面を示したものであり、計測震度を 6.5 としている。また、停電・断水・都市ガス停止の単独発生時の機能充足度をそれぞれ 0.1・0.3・0.75 とし、停止の組み合わせに関しては各項の乗算値としている。各ライフライン機能の途絶に対するバックアップ効果も反映できるようになっている。この例では、停電・断水・都市ガス停止に対するバックアップ持続時間を平均 3 日・1 日・0 日、変動係数 0.3 の正規分布と設定している。

図 1(b)の供給率曲線は当該地点で時間 t における供給可能性を示すものである。図 2 に示すように、被害状況に関するプラス要因とマイナス要因をユーザーが考えながら柔軟に復旧日数を設定できるところに特徴がある。例えば、供給ネットワークにおける着目地点の相対的位置による影響(+: ネットワーク上流側に位置するため早期復旧が見込める, -: 下流側のため復旧がずれ込む恐れがある)や、被害・復旧状況全般の影響(+: 優先復旧の協定を結んでいる, -: 周辺で甚大な液状化被害が予想され復旧がずれ込む可能性が高い)、あるいはライフライン被害の状況付与に関するユーザーの基本姿勢(±: 標準的な状況を想定したい, -: 最悪に近い状況を想定したい)などである。こうした要因を考慮しながら縦軸の供給率のレベルを設定し、復旧日数を設定することができる。本研究で示した地点別の簡易評価ツールは、BCP 策定の基礎資料として活用が期待されるため、市区町村別(面的評価)の簡易評価ツールとあわせて公開する方針である。

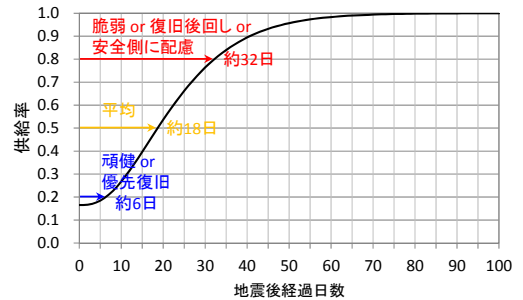


図2 ライフライン復旧日数の設定例

謝辞: 本研究では、文部科学省「都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト(2012-16年度)③都市災害における災害対応能力の向上方策に関する調査・研究」(代表: 林春男 京都大学防災研究所教授)の補助を得た。記して謝意を表す。

参考文献 1) 中小企業庁: 中小企業BCP策定運用指針 http://www.chusho.meti.go.jp/bcp/contents/level_b/bcpgl_08_16_3.html 2) 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.225-238, 2003.1. 3) 能島暢呂: 事業者と利用者の対策効果を考慮した供給系ライフラインの地震時機能停止の影響評価モデル, 地域安全学会論文集 No.15, pp.153-162, 2011.11. 4) 能島暢呂, 加藤宏紀: 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別評価 -, 第5回 相互連関を考慮したライフライン減災対策に関するシンポジウム講演集, pp.94-104, 2013.12.