

バックアップ効果を考慮した地震時ライフライン機能停止の影響評価

岐阜大学 正会員 ○能島 暢呂
飛騨市 岡田 大知

1. はじめに

地震によって供給系ライフライン（電力・水道・都市ガス）の機能が停止すると、生活支障や社会生産活動の停止といった様々な影響を広域かつ長期的に及ぼす。その影響評価を目的として筆者らは、兵庫県南部地震の被災事例に基づくライフライン地震時機能予測モデル¹⁾と、「機能充足度」を用いたライフライン機能停止の影響評価モデル²⁾を提案してきた。本研究では、ユーザー側のバックアップ保有による影響緩和効果を考慮するため、バックアップの持続時間に関する確率分布を導入し、ライフライン停止状況下における「機能充足度」を時間関数に拡張し、供給系ライフライン被害が都市機能に及ぼす影響波及を定量的に推定する枠組みを提案するものである。

2. バックアップを考慮したライフライン停止パターン別の機能充足度の時間関数

白谷ら²⁾は、地震時のライフライン供給停止が各産業に与える影響を、機能充足度を用いて定量化する方法を提案した。3種の供給系ライフラインの停止パターンは 2^3 通りあり、各パターンに陥ったときの各業種における活動水準を0～1の値（0は全く活動していない水準、1は通常時の水準）で表したものを機能充足度と定義する。供給系ライフラインの停止パターンは $2^3=8$ 通り存在しているので、各パターンの業種 i の機能充足度を $R_i(\delta_E, \delta_W, \delta_G)$ で表す。ただし δ は供給可能(1)・供給不可能(0)を表す二値変数であり、Eは電力、Wは水道、Gは都市ガスを表す。ここで供給系ライフラインのうち2種以上供給停止している場合には、それぞれの供給系ライフラインが単独で停止している場合の機能充足度の値を掛け合わせて評価することとする。図1(a)に食料品製造業の停止パターン別機能充足度の例を示す。

供給系ライフラインのユーザーは、ある程度の時間であれば、バックアップ機能等によりライフライン停止を許容することができ、機能充足度は徐々に低下するものと考えられる。ここでは、こうした影響緩和効果を考慮し、機能充足度を時間関数に拡張する。本研究では、バックアップの持続時間に関する非超過確率、すなわち累積分布関数を $B(t)$ で表す。これを用いて、供給系ライフライン停止パターン別機能充足度を導入し、各業種の供給系ライフラインの途絶に対する機能充足度の時間関数 $A_k(t)$ を次式のように定義する。

$$A_k(t) = 1 - (1 - R_k) \cdot B_k(t) \quad (1)$$

ただし、 R_k は各ライフラインの単独停止時の機能充足度（バックアップが無い場合）、 k は電力(E)、水道(W)、都市ガス(G)を表す添字である。これを用いて、各業種における供給系ライフライン停止パターン別機能充足度の時間関数 $R_i(\delta_E, \delta_W, \delta_G; t)$ を次式で定義する。

$$R_i(\delta_E, \delta_W, \delta_G; t) = \prod_{k=E, W, G} A_k(t)^{1-\delta_k} \quad (2)$$

これは、停止している供給系ライフラインに関する $A_k(t)$ を、各時間断面で掛け合わせたものであり、バックアップを考慮せず時間関数としていない機能充足度と同様の扱いである。例として、食料品製造業における停止パターン別機能充足度の時間関数の例を図1(b)に示す。

3. ライフライン停止パターン別機能充足度の時間関数を考慮した地震時機能充足度

2^3 通りの停止パターンの時系列変化を、供給系ライフライン機能被害予測モデルを利用してモデル化する。式(1)で表される供給率 $P_k(I, t)$ を供給可能である確率として扱うと、各ライフラインの復旧可能性を独立と仮

キーワード ライフライン、地震時機能停止、バックアップ機能、影響評価

連絡先 〒501-1193 岐阜市柳戸1-1 岐阜大学工学部 TEL 058-293-2416

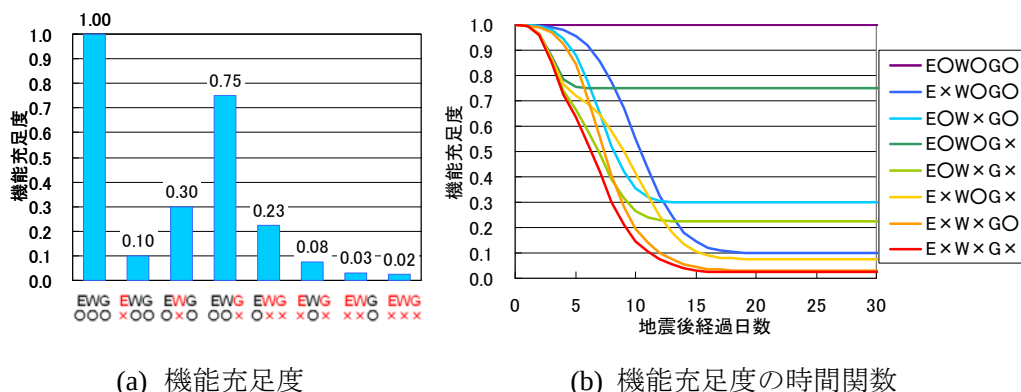
定すれば、震度 I の場合の停止パターン $(\delta_E, \delta_W, \delta_G)$ の生起確率 $Q(\delta_E, \delta_W, \delta_G; I, t)$ は次式により求められる。

$$Q(\delta_E, \delta_W, \delta_G; I, t) = \prod_{k=E, W, G} P_k(I, t)^{\delta_k} \cdot \{1 - P_k(I, t)\}^{1-\delta_k} \quad (3)$$

震度 I 、時間 t の条件下において、停止パターンに応じて掛け合わせたものである。ライフライン停止パターン別の機能充足度の時間関数 $R_i(\delta_E, \delta_W, \delta_G; t)$ を、震度 I における停止パターン生起確率の時系列 $Q(\delta_E, \delta_W, \delta_G; I, t)$ で加重平均することにより、業種 i の地震時機能充足度 $\bar{R}_i(I, t)$ を次式で評価する。

$$\bar{R}_i(I, t) = \sum_{k=E, W, G} R_i(\delta_E, \delta_W, \delta_G; t) \cdot Q(\delta_E, \delta_W, \delta_G; I, t) \quad (4)$$

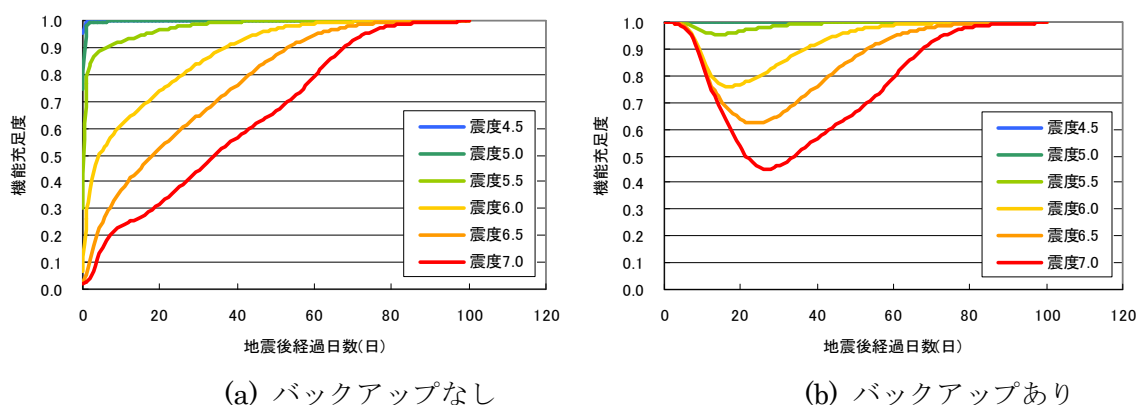
図2(a)はバックアップを保有していない場合の地震時機能充足度の例である。地震発生直後からの機能充足度の急速な回復は電力復旧の効果であり、それ以降は水道、都市ガスの復旧による効果である。次に図2(b)は、バックアップの持続時間を考慮した場合の地震時機能充足度である。計測震度が高いほど機能充足度の低下が大きいことは同じであるが、バックアップの効果により、地震直後の機能充足度の低下が緩和されていることがわかる。このようにバックアップ保有によってライフライン停止の影響が緩和されている。実際にはバックアップ保有量やコストに関する制約を考慮したうえで、最適なバックアップ戦略を検討する必要がある。



(a) 機能充足度

(b) 機能充足度の時間関数

図1 ライフライン停止パターン別機能充足度（食料品製造業）



(a) バックアップなし

(b) バックアップあり

図2 計測震度別の地震時機能充足度（計測震度4.5～7.0，食料品製造業）

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性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
- 2) 白谷啓行・能島暢呂・杉戸真太・佐藤慶昇：供給系ライフラインの地震時機能停止が製造業に与える影響の評価モデル，第12回日本地震工学シンポジウム論文集，2006.11, paper No.283, pp.1238-1241 (on CD-ROM).