

ネットワーク拠点の孤立日数に関する確率関数評価

(株)篠塚研究所 正会員 ○静間俊郎
武蔵工業大学 正会員 吉川弘道

1.はじめに

近年注目されている事業継続計画(BCP ; Business Continuity Planning)¹⁾では, 事業停止を如何に軽減するかが焦点となっている. 大地震時において, 施設の所有・管理者は, 対象となる施設・設備の機能不全の可能性だけでなく, 要求される機能がどの程度の期間停止するかを把握することが重要である.

本報は, 地震時におけるシステムの機能停止期間(復旧期間)の確率関数を求める簡便な方法を提示する. また, 簡単なネットワークシステムを対象に同手法を用いた機能停止(孤立)期間の数値解析例も合わせて示す.

2.直列および並列システムの機能停止評価

まず, 図1(a)に示す直列システムが地震損傷を受ける場合を想起する. ここでは, 損傷した Link について同時に復旧作業が進められ, 復旧期間(以下, 機能停止期間)は, 最短で完了するものとする. この原則より, システム中の最も復旧に要する Link の停止期間が, 直列システム全体のそれとなる.

システムを構成する複数 Link の地震動 α 作用時の機能停止期間を確率変数 D_i とする. 個々の Link の停止期間の組み合わせの最大値が選ばれることを考えると, システム全体としての停止期間 D は, 以下のように表わすことができる.

$$D = \max(D_1, D_2, D_3, \dots, D_n | \alpha) \quad (1)$$

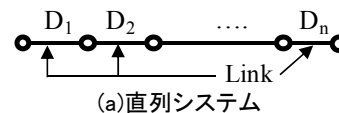
システムの機能停止期間 D に関する非超過確率関数 $F_D(d)$ は, 個々の Link の停止期間の最大値が d となる確率として, 以下のように示される²⁾.

$$\begin{aligned} F_D(d | \alpha) &= P(D \leq d | \alpha) \\ &= P(D_1 \leq d, D_2 \leq d, \dots, D_n \leq d | \alpha) \end{aligned} \quad (2)$$

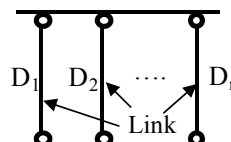
ここで, Link の機能停止期間 D_i について互いに独立とすると, 確率関数は下式となる.

$$F_D(d | \alpha) = \prod_{i=1}^n F_{D_i}(d | \alpha) \quad (3)$$

一方, 図1(b)に示す並列システムが地震損傷を受ける



(a)直列システム



(b)並列システム

図1 構造系システム

場合は, システムを構成する Link の少なくとも1箇所が復旧すると機能は復旧する. よって, この場合, システムの機能停止期間の確率変数 D は, 以下となる.

$$D = \min(D_1, D_2, D_3, \dots, D_n | \alpha) \quad (4)$$

ここで, システムの機能停止期間の確率変数 D の超過確率関数 $1-F_D(d)$ は, 以下のように表すことができる³⁾.

$$\begin{aligned} 1-F_D(d | \alpha) &= P(D > d | \alpha) \\ &= P(D_1 > d, D_2 > d, \dots, D_n > d | \alpha) \end{aligned} \quad (5)$$

個々の Link の機能停止を独立とすると, 確率関数は下式となる.

$$1-F_D(d | \alpha) = \prod_{i=1}^n (1-F_{D_i}(d | \alpha)) \quad (6)$$

このように, 損傷箇所の同時復旧の原則より, 直列および並列システムの機能停止期間の確率関数は容易に求められる. また, 対象が直列, 並列システムが混在する複雑なシステムであっても, 直列と並列の組合せとして考えることで, 確率関数は算出できる.

3.数値解析例

前述の提案手法の適用例として, 図2に示す横浜市栄区に位置する4か所(A~D)のネットワーク拠点の地震時の機能停止期間(以下, 孤立日数)の確率関数を求める. ここに, 拠点に通じる道路が地震損傷によって全て途絶した場合, その拠点は孤立すると仮定する. 表1に各主要道路区間(Link1~5)の脆弱性情報^{4) 5)}を示す. 同表には, 損傷形態に応じた耐力中央値(基盤面最大加速度(Peak engineering Bedrock Acceleration ; PBA)換算)なら

Key words : Business Continuity Planning, 機能停止, ネットワーク, 直列システム, 並列システム, 孤立日数

連絡先: 東京都新宿区西新宿4丁目5-1 幸伸ビル3F TEL: 03-5351-3781 FAX: 03-5351-3783

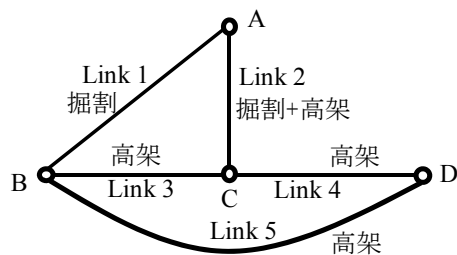


図2 対象道路ネットワークモデル

びに復旧日数を示している。ここに、各主要道路区間（Link1～5）の損傷形態について、無被害も含め、掘割区間は斜面崩壊のみの2形態、高架区間は橋脚の構造被害のみの4形態、掘割+高架区間は斜面崩壊および橋脚の構造被害の2要因の8形態を考える。なお、地震動評価の対数標準偏差は0.45、地震動と耐力の複合対数標準偏差は、文献4),5)を参照し0.6とする。

表2にシナリオ地震⁶⁾によるA地点の孤立日数の平均値を日数上位10地震について示す。A地点は、Link1およびLink2が双方損傷した場合に孤立する。同様に、B～D地点の孤立日数も算出し、これらをリスクカーブとして、図3に示す。リスクカーブは、算定した孤立日数上位順にシナリオ地震を並べ、これら地震の年間発生確率を累積し、横軸に孤立日数平均値、縦軸に年超過確率（年累積発生確率）をとったものである。ここに、図中の○、□…等のシンボルは、各シナリオ地震による孤立日数である。同図より、他地点との連絡可能な道路がB, C地点と比べて1本少ないA, D地点の孤立日数が大きくなっている。また、図4に当該地域において最大級の地震である関東地震（表2の1番上の地震）時の孤立日数の確率関数を示す。確率関数をみると、冗長性の劣るA, D地点はB, C地点と比べ、分布の形状が右によっていることが分かる。なお、ここでは各主要道路区間（Link1～5）に作用する地震動の大きさ（PBA）は、同値としている。

4.まとめ

本報では、システムの機能停止期間の確率関数を簡便に求める方法を提示した。本提案手法は、直列および並列システムが混在した複雑なシステムの停止期間の確率関数を容易に求めることができ、有用である。ただし、損傷したLink（施設）の同時復旧の原則が前提として必要となる。一方で、近接する施設の地震損傷の相関は高く（近接敷地の地震動強さの相関の高さに起因する）、離間が大きいと低いとされている。この地震損傷の相関の程度を考慮した機能停止期間の評価は今後の課題とする。

表1 フラジリティ情報

被害要因	損傷モード	耐力中央値 (Gal)	機能停止期間 (日)
高架道路	軽微	380	5
構造被害	中破	600	50
	大破・倒壊	730	300
斜面崩壊	崩壊	500	75

※耐力中央値は基盤面最大加速度（PBA）で示している

表2 各シナリオ地震発生時の孤立日数平均値（A地点）

No.	震源名	マグニチュード	PBA (cm/s ²)	A地点孤立日数	年間発生確率	累積確率
1	1703,1923 関東地震	8.0	361.1	14.6	0.001181	0.001181
2	衣笠・北武断層帯	7.0	359.1	14.4	0.000121	0.001303
3	(139.50, 35.30)	7.0	355.8	14.1	0.000040	0.001343
4	(139.70, 35.30)	7.0	338.5	12.3	0.000085	0.001428
5	(139.50, 35.50)	7.0	330.8	11.5	0.000085	0.001512
6	(139.70, 35.50)	7.0	317.0	10.2	0.000085	0.001596
7	(139.50, 35.30)	6.5	293.7	8.0	0.000127	0.001723
8	(139.70, 35.30)	6.5	275.7	6.5	0.000190	0.001913
9	(139.50, 35.50)	6.5	267.8	5.9	0.000190	0.002102
10	神縄・国府津・松田断層帯	7.5	260.2	5.4	0.001188	0.003287

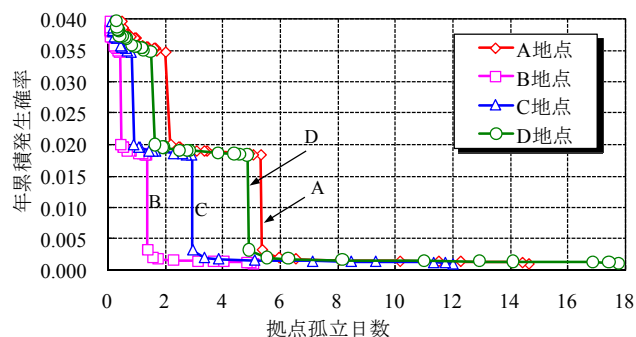


図3 孤立日数（平均値）に関するリスクカーブ

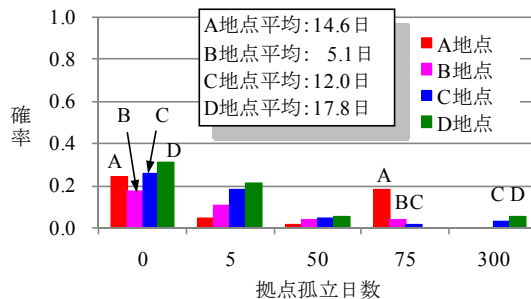


図4 関東地震時の孤立日数の確率関数

参考文献

- 1) 内閣府：事業継続ガイドライン第一版,2005.
- 2) 星谷勝, 宮崎正敏：上水道システムの地震災害復旧の戦略と予測, 土木学会論文報告集, 第331号, pp.45-54.,1983.
- 3) 荷福努, 川上洋介, 中村孝明：BCPに資する機能停止期間の評価モデル, 理論応用力学講演会論文集, 2008.
- 4) 中村孝明, 長沼敏彦, 静間俊郎, 篠塚正宣：統計解析による道路橋脚の地震時損傷確率に関する研究, 第10回日本地震工学シンポジウム論文集, pp3165-3174, 1998.
- 5) 下野正人, 大矢敏雄, 中村孝明, 大津宏康：自然斜面の地震時崩壊危険度の統計的評価, 第10回日本地震工学シンポジウム論文集, pp3541-3546, 1998.
- 6) 宇賀田健：シナリオ地震による日本全国の地震危険度評価, 建築学会構造系論文集, 第541号, pp.95-104., 2001.