

ライフライン系の地震時同時被害に関する確率論的考察

岐阜大学大学院 ○安藤 騰志
岐阜大学工学部 正会員 能島 暢呂

1. はじめに

電気・水道・ガスなどのライフラインは、平常時に相互に依存して機能しているため、地震時にはさまざまな被害連関を生じる。特に、複数ライフラインが地中に埋設されている都市圏では、これらの物理的被害が近接した地点で同時発生することが予想され、この場合、機能的被害波及、さらには復旧作業の錯綜による復旧支障など、より大きな被害連関を生むと考えられる。近接地点での物理的同時被害には、地震時のランダム被害が重複して生じる偶発的同時被害と、盛土等の崩壊に伴い必然的に発生する同時被害が考えられる。本研究では前者の偶発的同時被害について、確率論的に考察するものである。

2. 同時被害に関する確率論的検討

(1) 一次元モデル

袴田は¹⁾、面的広がりを持つ2つのライフラインシステムを図1のように一次元に伸長した線上構造物としてモデル化し、同時被害に関する確率論的検討を行った。被害は各システムの全長で一様・独立・ランダムに発生すると仮定し、被害率(単位長さ当たりの平均被害箇所数)をそれぞれ ν_1, ν_2 で表した。両システムは十分に近接しており、被害位置は共通に、一次元座標で表せるとしている。このとき、 l 以内の近傍における同時被害発生率は、 $\nu_1\nu_2l$ となり、有限長さ L において、長さ l 以内での両システムの同時被害の平均発生数は $\nu_1\nu_2lL$ で表される。また、その同時被害発生数は式(1)のポアソン分布に従う。なお、システム2から見た場合も同様の結論に至る。

$$P(k) = \frac{(\nu_1\nu_2lL)^k e^{-\nu_1\nu_2lL}}{k!} \quad (1)$$

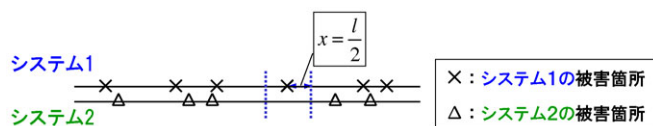


図1 2システムの一次元モデルの概念図

(2) 二次元モデル

対象地域においてあるライフラインの管路施設が面的に一様に分布していると仮定する。その施設密度(単位面積あたりの管路延長)を $\rho_f(\text{km}/\text{km}^2)$ と表し、図2のように、任意の位置から半径 x 内における管路延長は $\pi x^2 \rho_f(\text{km})$ となる。管路上に発生する被害が一様かつランダムであると、その被害率を ν (箇所/km)で表す。このとき半径 x 内の平均被害箇所数は式(2)で表わされる。

$$\pi x^2 \rho_f(\text{km}) \cdot \nu(\text{箇所}/\text{km}) = \pi \nu \rho_f x^2(\text{箇所}) \quad (2)$$

また、被害箇所数 k は式(3)のポアソン分布に従う。

$$P(k) = \frac{(\pi \nu \rho_f x^2)^k e^{-\pi \nu \rho_f x^2}}{k!} \quad (3)$$

任意の地点から x 以内に少なくとも被害が1箇所以上発生する確率は式(4)となり、これが最近接距離の非超

過確率の分布となる。

$$F(x) = 1 - P(0) = 1 - e^{-\pi \nu \rho_f x^2} \quad (4)$$

また、着目地点から最も近い被害箇所までの距離の確率密度関数は式(5)となる。これはレイリー分布である。一般式は式(6)であり、一般式におけるパラメータは式(7)である。

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx} = 2\pi \nu \rho_f x e^{-\pi \nu \rho_f x^2} \quad (5)$$

$$f(x) = \frac{x}{\theta^2} e^{-\frac{x^2}{2\theta^2}} \quad (6)$$

$$\theta = \frac{1}{\sqrt{2\pi \nu \rho_f}} \quad (7)$$

式(4)において $\nu = 0.01$ と固定し、 $\rho_f = 10, 20, 50, 100$ と変化させた結果を後出の図4に実線で示す。単位面積当たりの平均被害箇所数は $\nu \rho_f = 0.1, 0.2, 0.5, 1$ であり、平均被害箇所数が増えるほど、近接被害が発生するため、最近接距離は短くなる。

以上では単一のシステムを対象とした。次に、2種類のシステムにおける被害間の最近接距離を考える。図3に示すように、一方を「基準システム」とし、他方を「対象システム」とする。双方は実際には同一面上にある。被害発生をランダムとしているので、「基準システム」の任意の被害箇所から「対象システム」の被害箇所への最近接距離の確率分布は「対象システム」における式(4)、(5)に一致する。

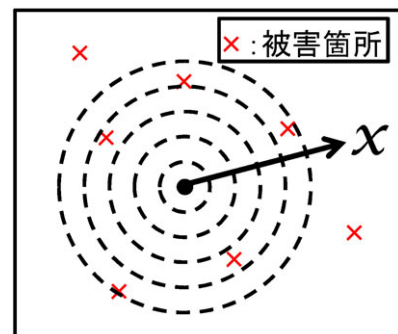


図2 二次元モデルの概念図

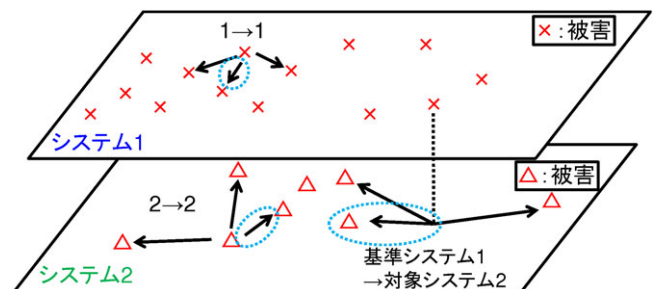


図3 2システムの被害間の最近接距離

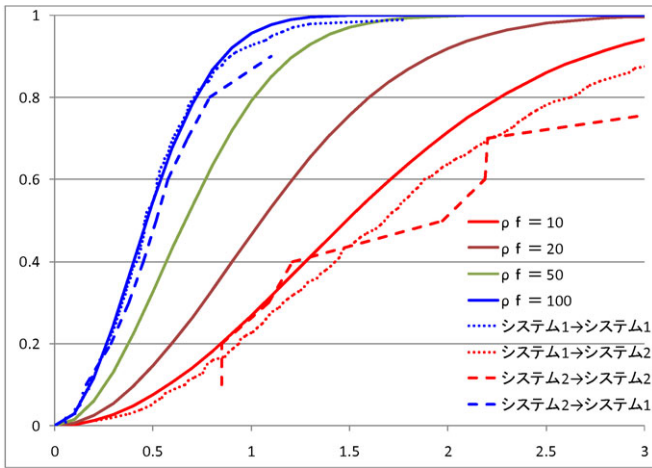


図4 理論解とシミュレーションの比較

3. モンテカルロシミュレーションによる検証

モンテカルロシミュレーション法を用いて理論解を検証する。敷設面積を $A=100\text{km}^2$ とし、システム1, 2の被害率 $\nu=0.01$ に固定し、システム1で施設密度 $\rho_f=100$ 、システム2で $\rho_f=10$ とした。システム1, 2の平均被害箇所数はそれぞれ100, 10である。ここでの検討はシミュレーション回数を5回とし、得られた最近接距離の平均値より累積分布を求めた。この設定条件のもとに「基準システム i 」→「対象システム j 」($i, j=1, 2$)の4パターンにおける最近接距離を図4に示した。

(1) 同種システムでの比較 (システム1→1, 2→2)

システム1については、シミュレーション解と理論解はほぼ一致している。システム2については、被害箇所数が少なく、シミュレーション回数も少ないため、不規則な形状となっている。システム2については、シミュレーション回数を増やすことで理論解に近づくと考えられる。

(2) 異種システムでの比較 (システム1→2, 2→1)

「対象システム」の分布にほぼ一致していることが確認できる。システム1→2を見た場合、全体的に類似した傾向を示しているものの、理論解に比べて最近接距離がやや大きくなっている。システム2→1を見た場合も同様である。原因として、シミュレーションでは有限の敷設面積を対象として実行した一方、理論解では無限の広がり仮定しているためと考えられる。

4. 今後の予定

2007年新潟県中越沖地震における柏崎市のライフライン被害より各種被害間の最近接距離が君島ら²⁾によって求められた。本研究で用いたモデルの最近接距離と実被害の最近接距離を比較する。そして、柏崎市については、配水管およびガス導管のネットワークデータに基づいて、実際の施設の敷設状況(図4, 5)を考慮する。また、地震動分布と重ね合わせて被害率分布を求めてシミュレーションを実施し、モデルの有効性を検証する方針である。

また従来の研究の対象範囲を広げて、首都圏の一都三県(東京・神奈川・千葉・埼玉)を対象としたライフラインデータベースに基づいて、東京湾北部地震を想定地震とした考察を進める方針である。

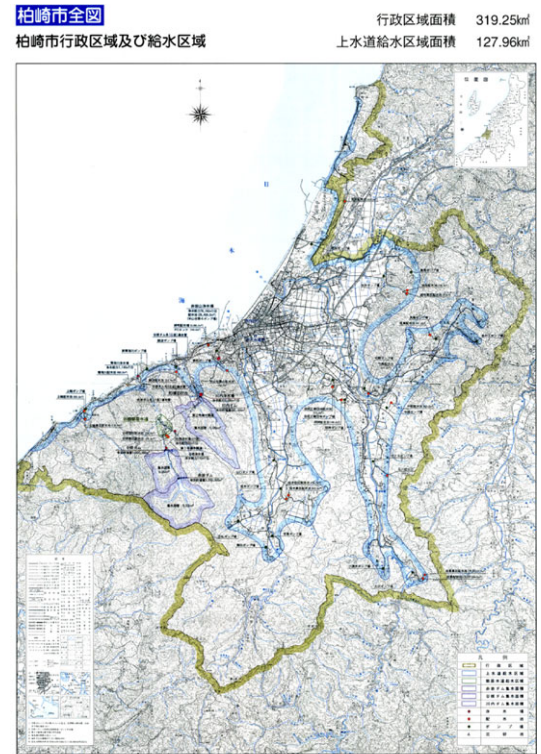


図5 柏崎市の給水区域³⁾

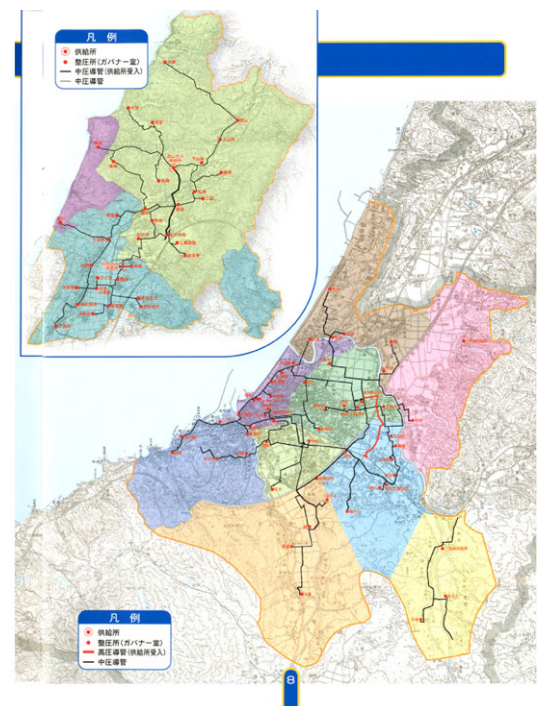


図6 柏崎市のガス供給区域⁴⁾

参考文献

- 1) 袴田健太: ライフライン系の地震時被害連関に関する確率論的考察, 2009.2, 岐阜大学修士論文
- 2) 君島康太, 丸山喜久, 山崎文雄: 新潟県中越沖地震におけるライフライン被害の空間相関性の分析 第30回土木学会地震工学研究発表会論文集 論文番号4-0013 2009.5
- 3) 柏崎市ガス水道局: 「柏崎の水道」, 2002.6
- 4) 柏崎市ガス水道局: 「柏崎のガス」, 2005.8