

## PML 指標を用いた上水道システムの地震リスク評価

東京都市大学 学生員 中沢雄太

東京都市大学 正会員 丸山 収

## 1. 目的

大規模地震によるライフライン被害は多くの人に損害を与えるため、早期復旧が求められる。本研究では、主要なライフライン施設である上水道に着目し、PML を評価指標とし、水道事業者の立場から構造的損失額および機能的損失額を確率的に計算することを目的としている。

## 2. 対象モデル

解析事例として用いるのは横浜市上水道システムにおける配水管ネットワークである。これは配水地区に浄水を供給する基点となる配水池や配水塔であるノードと各需要家に配水する地下埋設配水管のリンクで構成されている。本研究では、配水管ネットワークの連結特性を考慮せずに、4次メッシュ(500m×500m)単位で配水管の総延長を求めた後に、被害箇所数の推定を行っている。ここでメッシュの総数は約1800個である。地震動、配水管路、人口などデータをメッシュ単位でデータベース化し解析を行った。解析対象地域に評価期間50年とした確率地震を想定して、上水道システムの構造的損失を確率論的に評価することを行う。構造的損失は配水管のみに被害が発生するものとして、被害程度に応じた再調達価格で表される。

## 3. 想定地震

解析に用いる地震ハザードは、地震調査研究推進本部(J-SHIS)<sup>1)</sup>が公開している確率論的地震動予測地図「全ての地震(最大ケース)」を用いた。評価期間50年間における地震動の超過確率は、0.02(再現期間:2475年)、0.05(再現期間:975年)、0.1(再現期間:475年)および0.39(再現期間:101年)の4ケースを想定した。

## 4. 構造的被害推定方法

管路の被害予測は兵庫県南部地震における水道管路の被害データより求められた式、(1)と(2)を用いて行う。

$$R_m(V) = C_p \times C_d \times C_g \times C_l \times R(V) \quad (1)$$

$$R(V) = 3.11 \times 10^{-3} \times (V-15)^{1.30} \quad (2)$$

ここで、 $R_m(V)$ :平均被害率(箇所/km)、 $R(V)$ :標準被害率、 $C_p$ :管種補正係数、 $C_d$ :管径補正係数、 $C_g$ :地盤補正係数、 $C_l$ :液状化補正係数、 $V$ :地表面最大速度(kine)である。それぞれの配水管を、 $pipe_j$ : $j=1,2,\dots$ とする。配水管の被害は、延長方向にポアソン分布に従って発生すると考える。配水管の総延長 $L$ 、平均被害率 $R_m(V)$ として、 $x$ 箇所被害が発生する確率は次式で与えられる。

$$P(X=x) = \frac{(R_m(V) \times L)^x}{x!} e^{-R_m(V) L} \quad (3)$$

確率地震 $E_q$ の発生を条件として、対象配水地区が、 $n$ 個のメッシュで構成されているとする。メッシュ $i$ 内の $l$ 種類の配水管 $pipe_{i,k}$ : $i=1,2,\dots,n$ , $k=1,2,\dots,l$ が存在し、その平均被害率を $v_{i,k}$ とすると、平均被害箇所数 $r_{i,k}$ は次式で表される。

$$r_{i,k} = v_{i,k} \times L_{i,k} \quad (4)$$

ここで、 $L_{i,k}$ はメッシュ $i$ 内の配水管 $pipe_{i,k}$ の総延長である。したがって、メッシュ単位で $x_{i,k}$ 箇所の被害が発生する確率は次式で与えられる。

$$P(X_{i,k} = x_{i,k}) = \frac{(r_{i,k})^{x_{i,k}}}{x_{i,k}!} \exp(-r_{i,k}) \quad (5)$$

以上の計算方法を使用し管種管径ごとの被害予測を行った。その結果の一例として超過確率2%の想定地震時の铸铁管( $\phi 500$ ~)の被害予測を図-1に示す。これらの被害箇所数の総和に管種管径ごとの再調達価格 $\alpha$ を掛け合わせることで式(6)のように構造的損失額 $W$ を求めることができる。

$$\begin{aligned} W &= a_1 Z_1 + a_2 Z_2 + \dots + a_l Z_l \\ &= a_1 (X_{1,1} + X_{1,1} + \dots + X_{1,n}) \\ &\quad + a_2 (X_{2,1} + X_{2,1} + \dots + X_{2,n}) \\ &\quad + a_l (X_{l,1} + X_{l,1} + \dots + X_{l,n}) \end{aligned} \quad (6)$$

この計算結果をもとにPMLに90%非超過確率に相当する構造的損失総額を算出しなければならない。これは、

キーワード: PML 地震リスク 上水道システム

連絡先: 〒158-8557 世田谷区玉堤 1-28-1 TEL 03-5707-0104, E-mail: omaruya@tcu.ac.jp

分布関数の特性である中心極限定理を利用し、ガウス分布に近似させ、グラフ化した面積を積分することによって求めることが出来る。

5. 配水管被害の相関

ここでより正確なデータを計算するためにメッシュ間の相関について考える。人為的に作成したメッシュに対して地震動、地盤および配水管などの計算を行ったがこれらは確率的な相関を有するものと考えられる。ここである2つのメッシュの被害発生箇所数は、共通のポアソン過程を有するものとする。相関を持たない場合と同様に計算を行っていくと平均と分散が一致せずポアソン過程の再生性を満足せず、被害総額の計算が困難となる。ここで相関を持たない場合と同様に中心極限定理が適応可能であるか、簡易モデルを用いて実験を行い、その結果を図-2 および図-3 示す。グラフからわかるように相関を持つ場合のポアソン分布とガウス分布が近似している。計算結果から、相関を有する場合にも中心極限定理によるガウス近似が適用できることが解った。

6.機能的損失について

復旧まで断水期間、水道事業は水道料金収入を得る意ことが出来ない。この料金収入の減少額を、機能的損失額とする。ここでは管種管径を問わず配水地区ごとの平均被害箇所数とそれらの管の総延長を割ることで断水率(被害箇所数/km)とする。断水率と災害が起こることのない場合の1日の総排水量(m<sup>3</sup>/日)また、断水期間から機能的損失額の計算を行う。ここで問題となるのが、復旧の順序の決定である。復旧に対応可能な人員数、どこから優先的に作業を行うかで断水期間および機能的損失額は異なると考えられる。当然のことながら、病院や配水を行う周辺の配水管を直さなければならない。これらのことを踏まえた上で復旧順位の検討を今後行う必要がある。

7.まとめ

相関を有さない場合の横浜市の管種管径ごとの被害箇所の計算を行い、構造的損失額の計算を行う際、相関を有する場合でも中心極限定理が適応可能であるということが立証された。相関を有する場合の被害箇所の計算および復旧順位を策定し、その結

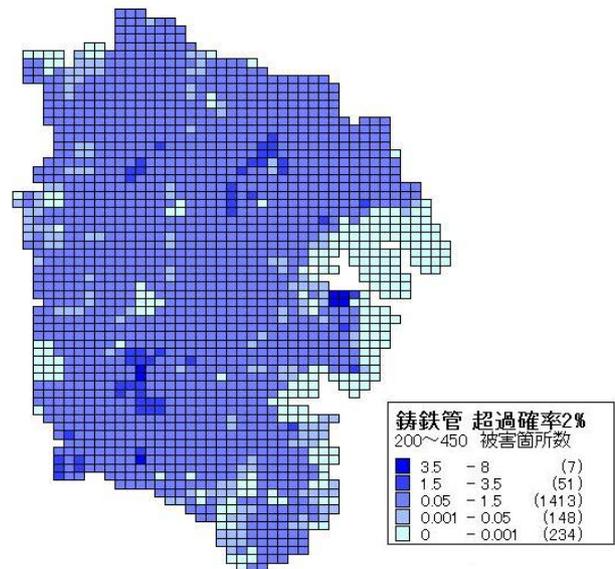


図-1 铸铁管における被害箇所数の結果

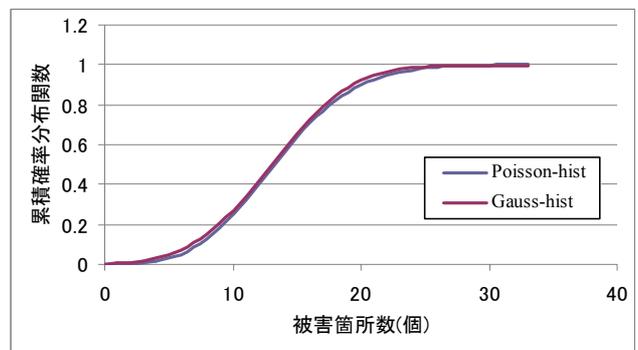


図-2 ポアソン分布・ガウス分布の累積確率分布関数

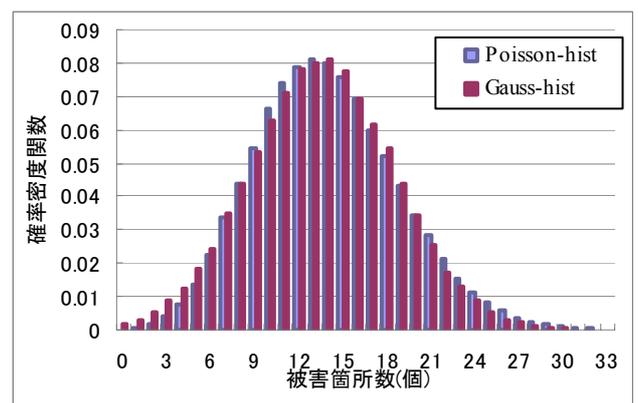


図-3 ポアソン分布・ガウス分布の確率密度関数

果から機能的損失額の計算を行い、構造的損失および機能的損失を合わせた総被害については、講演時に発表する。

参考文献 1) 地震調査研究推進本部(J-SHIS)

<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>, <http://www.jishin.go.jp/main/>