

中心極限定理を用いた上水道システムの地震リスク解析

東京都市大学 学生会員 ○長谷川 千夏

1. はじめに

我が国は地震が頻繁に発生する地震大国であり、M7級の首都直下型地震が今後30年以内に約70%の確率で発生すると懸念されている。現在、埋設より20年以上経過した既設配水管が8割を占めており、公共事業費をはるかに上回る被害が発生すると予想されている。したがって、公共事業に対する国全体の意識を改善するべく、対象構造物が受ける地震被害の様子を明確に評価する必要がある。

本研究では、対象構造物を上水道システムの下層ネットワークとし、地震災害時の被害予測を行っていき、各地域の予想被害箇所数を算出し、構造的予想被害額のPML(Probable Maximum Loss)を求めて、対象地域の現状のリスク評価を行うことを目的とする。

解析対象は横浜市の上水道システムである。対象地域を500m四方の4次メッシュで区切り、既存の研究ではメッシュごとの被害は独立として考えてきた。本研究においては中心極限定理を用いて各メッシュの相関を考慮してPMLを求め、独立で考えた場合との比較を行っていく。

2. 研究方法

既存の研究¹⁾では各メッシュを独立で考えてきた。GISソフトを用いて、メッシュに人口、地盤種別、地震動などのデータ²⁾³⁾⁴⁾を組み込み、予想される被害箇所数を算出した。算出した予想被害箇所数から、以下の式を用いて、構造的被害額を算出する。

$$R(V) = 3.11 \times 10^{-3} \times (V-15)^{1.30} \quad (1)$$

$$R_m(V) = C_p \times C_d \times C_g \times C_l \times R(V) \quad (2)$$

$$W = R(V) \times L \times a \quad (3)$$

ここで $R_m(V)$: 平均被害率 (箇所/km), $R(V)$: 標準被害率, W : 構造的被害額, C_p : 管種補正係数, C_d : 管系補正係数, 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), a : 再調達価格である。(3)式で求めた構造的被害額から、図-1に示したように

グラフ化し、横軸の0~0.9を積分し、PMLを求める。

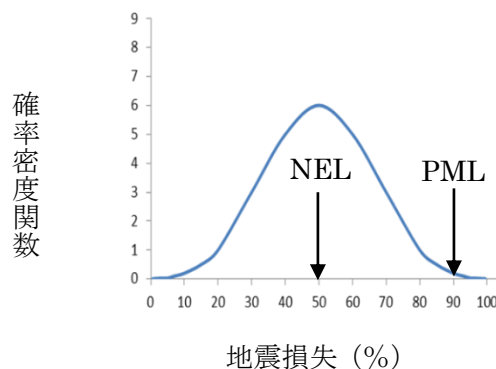


図1 確率密度関数によるPMLとNEL

既存の研究⁵⁾においては、高田、下村らが考案する地震動の空間相関性を表すマクロ空間相関係数関数の式に着目をしてメッシュの相関を求めていたが、本研究においては新たに中心極限定理を用いたガウス分布に着目をして解析を行っていく。

3. 研究対象

解析対象は横浜市の上水道システムである。対象地域を図2に示すように、500m四方の4次メッシュで区切り、メッシュごとの相関を考慮して解析を行う。まず対象は連続する20のメッシュ領域とし、独立で考えた場合と相関を調べ、それを考慮した場合と比較をしてPML値に変化が生じるのかを調べていく。

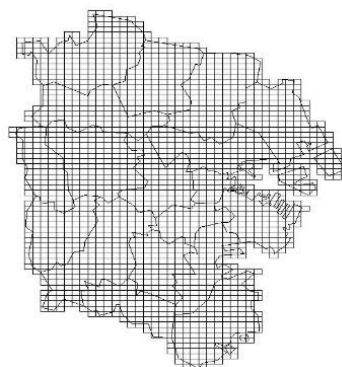


図-2 横浜市のメッシュ区分図

キーワード 構造的被害損失 PML指標 中心極限定理 ガウス関数

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 Tel.080-4729-8599 E-mail.g1118073@tcu.ac.jp

4. 相関による損出評価

メッシュの相関を考慮するにあたり、多変量ポアソン分布と多変量ガウス分布の比較を行っていく。マルコフ連鎖モンテカルロ法による多変量ポアソン分布のサンプルを作成し、これらを解析対象地域全体に拡張することで、構造的損失の和は多変量正規分布と一致するか調べた。

$$W_q = a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \dots + a_n \cdot x_n \quad (4)$$

再調達価格 $a_i = 1.0, i = 1, 2, \dots, n$

破損箇所の周辺分布はポアソン分布によって与えられる。L. akshminarayana の提案した、ポアソンの限界乗法の要因のプロダクトとして 2 変量ポアソン分布を多変量の相関のポアソン分布として採用する。

$$\begin{aligned} P^{*j}(X_1^j = x_1^j, X_2^j = x_2^j, \dots, X_m^j = x_m^j) \\ = \frac{(r_1^j)^{x_1^j} (r_2^j)^{x_2^j} \dots (r_m^j)^{x_m^j}}{x_1^j! x_2^j! \dots x_m^j!} e^{-(r_1^j + r_2^j + \dots + r_m^j)} \\ \times [1 + \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} \alpha_{i,k}^j (e^{-x_i^j} - e^{-r_i^j \cdot c}) (e^{-x_k^j} - e^{-r_k^j \cdot c})] (i \neq k) \end{aligned} \quad (5)$$

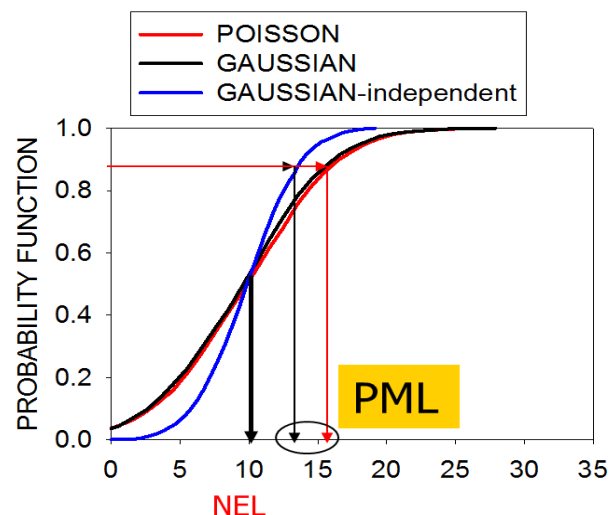
ここで、 $c = 1 - e^{-1}$ $\alpha_{i,k}^j$ を範囲とした場合

$$\rho_{i,k}^j = \alpha_{i,k}^j \sqrt{r_i^j r_k^j} c^2 e^{-(r_i^j + r_k^j)c} \quad (6)$$

よりメッシュの相関関係が求められる。

次に、モンテカルロシミュレーションによる非相関場の中心極限定理の精度を調べていった。ランダムな数字の合計の確率論的性質は中心極限定理によりガウス分布に収束していく。しかし相関の場合は中心極限定理が適用できる場合があり、これを確認する。相関を考慮した場合において相関がポアソン分布の場合、推定確率関数がガウス分布に収束していくことにより中心極限定理が適用されることが判明した。この結果を用いて相関を考慮した PML 値を求める。

被害評価をまとめたものが図-3 となるが、ガウス分布として青が独立なもの、黒が相関を考慮したものとなるが、比較をしてみると NEL 値に変化は見られなかったが、PML 値に関しては相関を考慮した場合のほうが大きくなるという結果となった。



Physical Loss

図-3 被害評価の解析結果

5. 今後の展望

現時点では約 1800 あるメッシュのうち 20 ほどのメッシュだけで解析を行ってきたが、今後は解析を行っていくメッシュを増やしていき中心極限定理を用いて相関を考慮した場合と、独立として考えた場合の PML 値の差がどの位開いていくのかを調べていく。それに加えて再調達価格は 1 円として解析を行ってきたが、実際の費用を用いて解析を行いより精度の高い解析をする。その結果より公共工事の重要性の理解と認識してもらうための指標の作成を行っていく。

参考文献

- 1) 嶽仁志・丸山収・山本欣弥・星谷勝：上水道下層配水管網の地震 PML 算定 土木学会論文集 第 63 巻 第 1 号 pp.673～674
- 2) 横浜市水道局 記者発表 平成年度予算概要 <http://www.city.yokohama.lg.jp/suidou/press/press-20150202.html>
- 3) e-stat：政府統計の総合窓口 <https://www.estat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do>
- 4) GIS 国土交通省国土計画局 <http://www.gsi.go.jp/GIS/>
- 5) 高田毅士，下村哲人：台湾集集地震記録に基づく地震動のマクロ空間相関特性 建築学会構造系論文集，第 565 号，pp.41～48，