

## 下水道管渠の集合的な維持管理実施のための更新対象地域の特定手法

大阪大学大学院 学生員 ○篠崎 秀太

大阪大学大学院 正会員 貝戸 清之

### 1. はじめに

我が国では、下水道管渠（以下、管渠）の更新が盛んに行われており、効率的な維持管理を行う方法が求められる。管渠は、広範に点在する構造物であるため離れた損傷ごとに対応すると効率性の課題が生じる。加えて、管渠は地下に埋設された構造物であり、作業効率性の観点から近接した管渠は同時に更新する例もしばしば見られるが、維持管理上のリスクの大きな管渠の疎密を十分に考慮した更新施策は立案されていない。よって、今後の効率的な管渠の維持管理の観点からも疎密を定量化し、管渠の更新対象地域を特定することは重要な課題である。

以上の背景を踏まえて、本研究では、維持管理上のリスクの大きな管渠の疎密に関する情報を定量化する。なお、維持管理上のリスクは、現行ガイドライン<sup>1)</sup>に則り、混合マルコフ劣化ハザードモデルにより定量化される損傷の発生確率および人口密度により定義される影響度の積により再設定する、地域別の管渠の疎密に関する情報は、リスクに紐づいた位置情報にデュアル・カーネル密度推定法を援用し定量化する。

上記手法により、維持管理上のリスクの大きな管渠の疎密に関する情報を定量化し、効率的な管渠の維持管理を行うための手法として提案する。

### 2. 推定モデル

#### (1) 維持管理上のリスク $R^k$ の推定

本研究では、劣化速度の推定に混合マルコフ劣化ハザードモデルを用いる<sup>2)</sup>。管渠の劣化速度 $\theta_i^k$ を、

$$\theta_i^k = \varepsilon^k \exp(\beta_i x^k) \quad (1)$$

と表現する。なお、 $i$ は健全度、 $k$ は施設番号を表す。点検項目が $M$ 項目存在しているとき、 $x^k = [x_1, x_2 \cdots x_M]^T$ 、 $\beta_i = [\beta_{i,1}, \beta_{i,2} \cdots \beta_{i,M}]$ と表記できる。また、 $x_1 = 1$ より $\beta_{i,1}$ は定数項である。なお、可観測要因による劣化速度の変動を表す未知パラメータ

$\beta_i$ 、特性変数 $x^k$ では表現しきれない不可観測要因の影響を管渠区間単位に対して1つのパラメータに集約し、確率変数 $\varepsilon^k$ で表現する。このパラメータを以降、異質性パラメータ $\varepsilon^k$ と称す。本研究で課題となる管渠間の不可観測要因による劣化速度の差異を $\varepsilon^k$ の大小で表現し、損傷の発生確率に関する指標とする。

そして、損傷の影響度には行政区ごとの人口密度 $\rho$ を用いて $\varepsilon^k$ との積により、

$$R^k = \rho \varepsilon^k \quad (2)$$

と維持管理上のリスク $R^k$ を定義する。

#### (2) デュアル・カーネル密度推定量

本研究では、重点維持管理地域を可視化するために、カーネル密度推定法を用いる。一般的にカーネル密度推定量は、

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{k=1}^n K\left(\frac{x - x^k}{h}\right) \quad (2)$$

と記述される。 $n$ は管渠数、 $h$ は $f(x)$ の滑らかさを表す平滑化パラメータを示す。本研究では、1区間の管渠が地域全体に与える影響を表現するカーネル関数 $K(x)$ に標準正規分布を用いる。式(2)に示すカーネル密度推定量は、管渠密度のみを表現する。これに、維持管理上のリスクを情報として与えるために、 $R^k$ で重み付けたカーネル密度推定量を、

$$f'(x) = \frac{1}{nh} \sum_{k=1}^n R^k K\left(\frac{x - x^k}{h}\right) \quad (3)$$

と定式化する。式(3)に示す重み付けカーネル密度は管渠間の劣化速度の差異に関する情報を有するが、極端に管渠密度の偏りがある場合には、管渠密度の影響を過剰に反映し、リスクの差異を表現できない。よって、本研究では式(2)式(3)より、

$$g(x) = \begin{cases} f'(x) - f(x) & g(x) \geq 0 \\ 0 & g(x) < 0 \end{cases} \quad (4)$$

として、密度の過剰な偏りを考慮したデュアル・カー

キーワード 地理情報 統計的劣化予測 下水道管渠

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 TEL：06-6879-7622

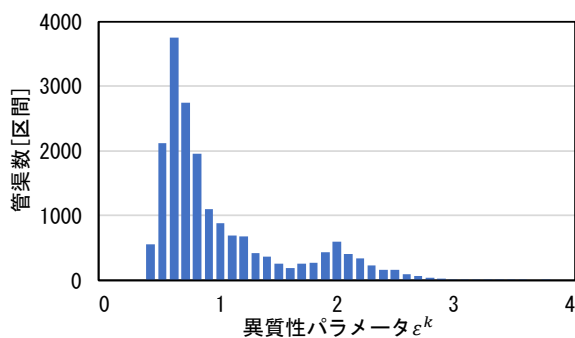


図-1 異質性パラメータの推定結果

ネル密度推定量<sup>3)</sup>を定式化する。

### 3. 実証分析

本研究では、大阪市建設局が管理する管渠の点検台帳を用いて実証分析を行う。点検台帳から必要項目の欠損があるサンプルを除くと、使用できるデータサンプルが18,849個の得られた。なお、式(4)において劣化速度の差異は間接的に異質性パラメータ $\varepsilon^k$ で重み付けたため、劣化速度の差異はなるべく異質性パラメータ $\varepsilon^k$ のみに集約することが好ましい。そこで、特性変数 $x^k$ は、定数項 $\beta_{i,1}$ のみで可観測要因を表現した。

図-1に発生確率の指標として用いる推定された全18,849区間の異質性パラメータ $\varepsilon^k$ のヒストグラムを示す。本研究では、異質性パラメータ $\varepsilon^k$ を管渠の点検単位1区間ごとに設定するため、 $\varepsilon^k$ の大きさが対応した区間の平均的な劣化速度に対する劣化速度の大きさを表す。なお、 $\varepsilon^k = 1$ は平均的な劣化速度を表現し、劣化速度について $\varepsilon^k > 1$ は平均より大、 $\varepsilon^k < 1$ は、平均より小であることをそれぞれ示すことを留意された。影響度として用いる行政区ごとの人口密度 $\rho$ については、大阪市が公表する平成27年度の国勢調査の結果を用いた。なお、 $\varepsilon^k, \rho$ ともに最大値で除することにより、最大値が1になるようにした。

図-2には、デュアル・カーネル密度推定による管渠の集合的な更新を要する地域の推定結果を示す。実際は、管理者が更新に費やす予算等により、更新対象として設定する水準は変化する。仮に本研究では、管渠の更新対象地域をカラースケールの赤色から黄色の場合とする。このとき、図-2より集合的な更新対象地域は浪速区、西区周辺になる。なお、本研究で例示した更新基準の設定基準は、任意で設定したものであるため、維持管理者との協議の上設定すべきことを留意



図-2 デュアル・カーネル密度の推定結果

されたい。

以上の推定結果で集合的に管渠を更新対象地域に対して、別途に施策を講じることにより、維持管理の効率化を図る可能性がある。

### 4. おわりに

本研究では維持管理上のリスクが大きな管渠の疎密に関する情報を定量化し、効率的な管渠の維持管理のために集合的に更新を行うべき地域を例示した。以下に得られた知見を示す。

- 劣化予測に地理的な可視化を行うモデルを併用することにより、リスクが大きな管渠が密集した更新対象地域を視覚的に特定する手法を提案した。
- 大阪市の点検データを用いて維持管理上のリスクを定量化するシミュレーションを例示した。

しかし、カーネル密度推定法を始めとする空間統計の分野で議論される境界の議論を行っていないため、今後、検討を進める予定である。

#### 【参考文献】

- 1) 国土交通省：下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン-2015年度版-, 2015
- 2) 貝戸清之, 小林潔司, 青木一也, 松岡弘大：混合マルコフ劣化ハザードモデルの階層ベイズ推定, 土木学会論文集 D3, Vol.68, No.4, pp.255-271, 2012.
- 3) 西村圭太, 杉本興運, 菊地俊夫：コミュニティサイクル利用観光者の回遊行動特性-埼玉県川越市を事例に-, 日本観光研究学会機関誌, Vol.29, No.2, pp.29-42, 2018